

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۷

ص ۶۴۱-۶۵۳

## تأثیر جنگل کاری‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای بر باران‌ربایی در اقلیم نیمه خشک

❖ سید محمد معین صادقی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
❖ پدram عطارد؛ دانشیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

این پژوهش با هدف مقایسه باران‌ربایی ( $I$ ) توده‌های دست‌کاشت کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) در پارک جنگلی چیتگر تهران با اقلیم نیمه‌خشک انجام شد. میزان بارندگی ( $GR$ ) با استفاده از ۱۰ باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین فضای باز به توده‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان تاج‌بارش ( $TF$ )، تعداد ۵۰ باران‌سنج به‌طور تصادفی در هر توده نصب شد و اندازه‌گیری‌ها از شهریور ۱۳۹۱ تا شهریور ۱۳۹۲ انجام شد. از ۵۵ رخدادهای  $GR$  اندازه‌گیری‌شده با مجموع عمق ۲۶۲/۵ میلی‌متر، مقدار  $I$  تجمعی کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب ۸۰/۰ میلی‌متر (۳۰/۵ درصد) و ۶۰/۳ میلی‌متر (۲۳/۰ درصد) و همچنین درصد باران‌ربایی ( $I:GR$ ) به ترتیب ۴۶/۸ و ۳۷/۸ درصد به‌دست آمد. همبستگی‌های مثبت معناداری بین  $I$  و  $GR$  در سطح ۹۵ درصد برای کاج تهران ( $r = ۰/۶۶۳$ ) و  $r = ۰/۸۱۱$  +  $I = ۰/۱۳۵GR$ ) و سرو نقره‌ای ( $r = ۰/۷۵۷$ )؛  $r = ۰/۶۲۰$ ؛  $I = ۰/۱۰۰GR$ ) مشاهده شد. نتایج نشان داد درصد  $I:GR$  دو گونه فقط در کلاسه  $GR$ ‌هایی با مقدار کم (۰/۱-۵/۰ میلی‌متر) اختلاف معناداری باهم دارند ( $P < ۰/۰۱$ ). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گونه سرو نقره‌ای مناسب‌تر از کاج تهران برای جنگل‌کاری در این اقلیم است، زیرا مقدار آب رسیده به کف جنگل در توده‌های سرو نقره‌ای بیشتر است.

واژگان کلیدی: باران‌سنج دستی، پارک جنگلی چیتگر، توده دست‌کاشت، مقدار باران.

## مقدمه

پژوهشگران و مدیران با در نظر گرفتن مشکلات روزافزون تخریب جنگل‌ها در چند دهه گذشته، انجام دادن عملیات جنگل‌کاری و احیای مناطق تخریب‌یافته را به‌منزله یکی از راهکارهای مهم برشمردند. از جمله گونه‌های غیربومی استفاده‌شده در امر جنگل‌کاری‌ها و فضای سبز شهری، کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) هستند که سازگاری بالایی را در کشور نشان داده‌اند [۱، ۲]. کاج تهران را می‌توان گونه غالب بیشتر جنگل‌کاری‌ها و فضای سبز شهری در کشور نام برد که در اقلیم‌های مختلف ایران در قالب طرح‌های احیای جنگل و فضای سبز از سوی سازمان جنگل‌ها، مراتع، و آبخیزداری کشور و سازمان‌های تابع کاشته می‌شود [۳]. این گونه بسیار کم‌توقع، با مقاومت زیاد به شرایط خشکی، اشباع‌بودن خاک، سرما و گرماست [۴؛ ۵؛ ۱]. سرو نقره‌ای نیز کاربرد زیادی به‌منزله بادشکن دارد و مقاوم به خشکی و گرماست و در همه خاک‌ها می‌تواند زیست کند و از مقاوم‌ترین گونه‌های سوزنی‌برگ دنیا محسوب می‌شود [۶؛ ۷].

جنگل‌کاری‌ها می‌توانند چرخه‌های هیدرولوژیکی را تغییر دهند و بر تعادل و توازن آب‌ها در مقیاس محلی و منطقه‌ای تأثیر بگذارند [۱؛ ۲؛ ۸؛ ۹]. یکی از تأثیرات مهم استقرار پوشش گیاهی، افزایش سطوح برخوردکننده آب باران ( $GR$ )<sup>۱</sup> تا رسیدن به کف جنگل است که اشاره به مفهوم باران‌ریایی ( $I$ )<sup>۲</sup> تاج‌پوشش دارد.

$I$  مقداری از  $GR$  است که بر روی برگ‌ها/سوزن‌ها و شاخه‌های یک درخت ذخیره و حین/پس از بارندگی تبخیر می‌شود. تاج‌بارش ( $TF$ )<sup>۳</sup> به دو صورت به کف جنگل می‌رسد؛ بخشی بدون برخورد به تاج درخت و از میان حفره‌های تاج‌پوشش (تاج‌بارش مستقیم)<sup>۴</sup> و بخشی هم پس از برخورد به شاخ و برگ درختان (ریزش‌های تاجی،  $CD$ )<sup>۵</sup> به کف جنگل می‌رسد. سهمی از  $GR$  هم پس از جاری شدن روی تنه و شاخه‌های درختان به کف جنگل می‌رسد که به آن ساقاب ( $SF$ )<sup>۶</sup> گفته می‌شود. مقدار  $I$  را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار  $GR$  در بالای تاج‌پوشش درختان یا در یک منطقه باز نزدیک توده و تفاضل آن با مجموع تاج‌بارش ( $TF$ ) و ساقاب ( $SF$ )، مطابق رابطه ۱ محاسبه کرد [۱؛ ۲؛ ۱۰]:

$$I = GR - (TF + SF) \quad \text{رابطه (۱)}$$

یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار بر مقدار  $I$  هر گونه، ظرفیت نگه‌داری تاج‌پوشش ( $S$ )<sup>۷</sup> است [۱۱-۱۳] که حداقل مقدار آب لازم برای پرکردن ظرفیت آبی تاج‌پوشش است [۱۴] و تا زمانی که مقدار  $S$  پر نشود، مقدار  $CD$  برابر با صفر خواهد بود. مقدار ذخیره  $I$  در هر رخداد  $GR$ ، کوچک و ناچیز است، ولی به دلیل آنکه تعداد دفعاتی که تاج‌پوشش پر و خالی می‌شود زیاد است، مقدار  $I$  در مقیاس‌های زمانی طولانی، بزرگ در نظر گرفته می‌شود و معمولاً آن را هم‌تراز با جریان بزرگ تعرق به‌شمار می‌آورند [۱۵]. فرایند  $I$  شدت‌های زیاد  $GR$  را کند می‌کند و از این طریق موجب نفوذ تدریجی آب به خاک و

3. Throughfall ( $TF$ )

4. Free Throughfall/ Direct Throughfall

5. Canopy Drips/ Crown Drips ( $CD$ )6. Stemflow/ Stemfall ( $SF$ )7. Canopy Storage Capacity ( $S$ )1. Gross Rainfall ( $GR$ )2. Rainfall Interception ( $I$ )

هدف این پژوهش، اندازه‌گیری مقدار  $I$  توده‌های دست‌کاشت غیربومی کاج تهران و سرو نقره‌ای در دوره یکساله در منطقه نیمه‌خشک است.

### روش پژوهش

این پژوهش در پارک جنگلی چیتگر تهران (طول و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی)، حد واسط فاصله تهران و کرج انجام شد. دو گونه کاج تهران و سرو نقره‌ای، که در مجموع ۴۸ درصد سطح پوشش درختی این پارک را شامل می‌شوند، برای پژوهش در نظر گرفته شدند. برای هر گونه، یک قطعه نمونه با وسعت ۰/۳ هکتار با شرایط توپوگرافی و ارتفاع از سطح دریا یکسان (میانگین ارتفاع از سطح دریای توده‌ها ۱۲۵۰ متر) انتخاب شدند (جدول ۱).

در نتیجه کاهش خطر فرسایش آبی خاک می‌شود [۱۸-۱۶]. از دیگر تأثیرات فرایند  $I$  بر چرخه‌های اکویدرولوژی، چگونگی توزیع و نفوذ آب  $GR$  در کف جنگل است که بر روی الگوهای رطوبت خاک [۱۶؛ ۱۹؛ ۲۰]، رشد ریشه‌ها، ترکیب زادآوری و پوشش کف جنگل [۲۱]، و ترکیبات شیمیایی آب‌های سطحی و زیرزمینی [۲۲] اثر می‌گذارد.

در توده‌های جنگلی در مناطق گرمسیری، فرایند  $I$  به میزان زیادی مطالعه شده است [۲۳-۲۵]، ولی به‌ندرت در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بررسی فرایندهای  $I$  و هیدرولوژی جنگل در سطح توده صورت گرفته است. در تنها مطالعه صورت گرفته در ایران، مطهری و همکاران،  $I$  تجمعی توده کاج تهران در منطقه نیمه‌خشک را با اندازه‌گیری ۳۰ رخداد  $GR$ ، ۳۷/۱ درصد به‌دست آوردند [۲۶].

جدول ۱. مشخصات کمی توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر تهران (اعداد داخل پرانتز به خطای معیار اشاره دارند)

| گونه        | ارتفاع درخت (متر) | قطر برابر سینه (سانتی‌متر) | ارتفاع تاج (متر) | تعداد در هکتار | درصد تاج‌پوشش |
|-------------|-------------------|----------------------------|------------------|----------------|---------------|
| کاج تهران   | ۹/۱ (±۰/۶)        | ۲۲ (±۳)                    | ۲/۹ (±۰/۳)       | ۱۰۲۰           | ۶۰            |
| سرو نقره‌ای | ۸/۰ (±۰/۵)        | ۲۰ (±۳)                    | ۳/۱ (±۰/۲)       | ۹۶۰            | ۴۵            |

خشکی ۱۰/۱، در طبقه اقلیمی نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. تعداد روزهای بارانی و یخبندان در این منطقه به ترتیب ۷۳ (± ۴) و ۴۱ روز (± ۳) است. میانگین رطوبت نسبی سالانه نیز ۳۹ درصد (± ۱) ثبت شده است.

بارندگی‌ها ( $GR$ ) به مدت یک سال (شهریور ۱۳۹۱-۱۳۹۲) به‌منظور برآورد مقدار  $I$  دو توده، اندازه‌گیری شدند.  $GR$  در هر رخداد با استفاده از ۱۰ باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین فضای باز به توده‌ها

براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه همدیدی چیتگر، با فاصله تقریبی چهار کیلومتر از توده‌های بررسی شده (با مختصات ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۲۱۵ متر)، طی ۱۷ سال (۱۳۷۵-۱۳۹۱) میانگین بارندگی سالانه (خطای معیار ±) ۲۷۲ میلی‌متر (۱۳ ±) اندازه‌گیری شده است. میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد (±۰/۱) است. با بهره‌گیری از فرمول دومارتن، منطقه پژوهش شده با شاخص

صرف نظر شد [۳۱-۳۴] و بنابراین مقدار  $I$  از تفاضل بین مقدار  $TF$  از مقدار  $GR$  در هر رخداد محاسبه شد.

### نتایج و بحث

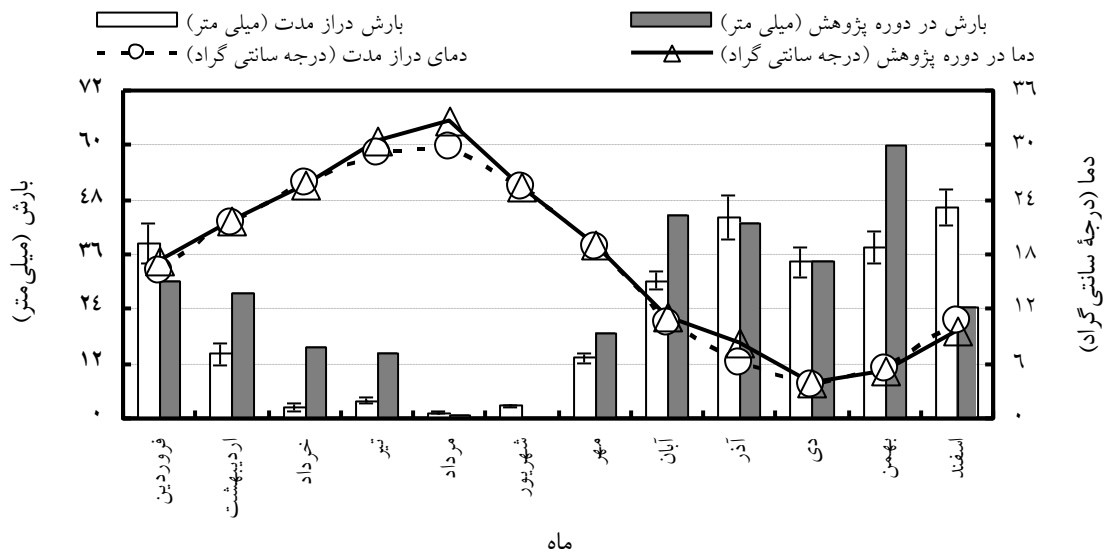
تحلیل داده‌های اقلیمی در دوره اندازه‌گیری این پژوهش (شهریور ۱۳۹۱ تا شهریور ۱۳۹۲) و مقایسه آن با آمار ۱۷ ساله درازمدت (۱۳۷۵-۱۳۹۱) در منطقه مطالعه شده نشان داد که میانگین بارندگی در این دوره (۳۱۶ میلی‌متر)، نسبت به میانگین درازمدت، ۱۶ درصد بیشتر بود؛ به طوری که در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مهر، آبان و بهمن بیشتر از میانگین درازمدت بود. میانگین دما در بازه زمانی این پژوهش (۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد) نیز بیشتر از مقدار مشابه آن در درازمدت (۱۷ درجه سانتی‌گراد) بود؛ به طوری که دما در ماه‌های فروردین، مرداد، شهریور، آبان، و آذر بیشتر از میانگین درازمدت ثبت شد (شکل ۱).

در دوره پژوهش، ۵۵ رخداد  $GR$  با عمق تجمعی ۲۶۲/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. میانگین ( $\pm$  خطای معیار)، کمترین و بیشترین مقدار  $GR$  به ترتیب ۴/۸ (۰/۶  $\pm$ )، ۱۷/۳ و ۰/۵ میلی‌متر بود. همچنین، رخدادها به پنج کلاس مقدار  $GR$  شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، که به ترتیب دارای ۲۶، ۱۰، ۶، ۴ و ۹ رخداد  $GR$  بودند، دسته‌بندی شدند. مقداری از  $GR$ ، که به صورت  $I$  از دسترس توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در طی دوره اندازه‌گیری خارج شد، به ترتیب ۸۰/۰ میلی‌متر (۳۰/۵ درصد) و ۶۰/۳ میلی‌متر (۲۳/۰ درصد) بود (شکل ۲).

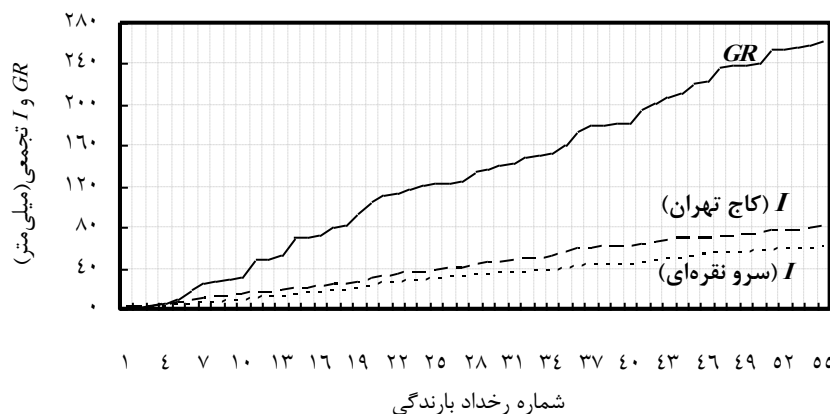
(کمتر از ۳۰ متر)، جمع‌آوری شد [۲۷]. برای اندازه‌گیری مقدار  $TF$ ، ۵۰ باران‌سنج دستی، براساس طرحی تصادفی، در زیر تاج پوشش هریک از توده‌ها نصب شدند. پس از هر ۵ رخداد  $GR$  [۲۸]، نیمی از باران‌سنج‌ها جابه‌جا و در مکان‌های دیگر در سطح توده به طور تصادفی نصب می‌شدند و نیمی از باران‌سنج‌ها نیز در کل دوره پژوهش در مکان ثابت در توده قرار داشتند. هدف از این کار، کاهش خطای نمونه‌برداری در بررسی اجزای بارندگی در سطح توده است [۲۹]، زیرا تغییرات مکانی  $TF$  در سطح توده بسیار زیاد است [۲۷]. محفظه اطراف باران‌سنج‌ها با فویل‌های آلومینیومی به منظور کاهش اثر نور خورشید پوشانده شدند [۳۰].

اندازه‌گیری میزان  $TF$  در هر بارندگی هم‌زمان با اندازه‌گیری  $GR$  و به روش مشابه با آن و با استفاده از استوانه مدرج با دقت یک میلی‌متر صورت گرفت. در صورت وقوع بارندگی در شب، اندازه‌گیری‌ها در روز بعد و قبل از طلوع خورشید انجام پذیرفت. حداقل چهار تا پنج ساعت بدون بارندگی برای تفکیک باران‌ها از یکدیگر در نظر گرفته شد، با این فرض که در این مدت تاج درختان فرصت کافی برای خشک شدن دارند. در صورت وقوع باران در کمتر از فاصله زمانی یادشده، مجموع بارندگی‌ها در این مدت به منزله یک رخداد  $GR$  در نظر گرفته شد. بعد از اندازه‌گیری هر بارندگی، کلیه باران‌سنج‌ها از آب تخلیه و همچنین از شاخ و برگ تمیز شدند.

$SF$  سهم بسیار اندکی از هر  $GR$  را در سوزنی‌برگان به خود اختصاص می‌دهد و به نسبت این سهم، اندازه‌گیری آن بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. به همین دلیل، در پژوهش حاضر از اندازه‌گیری آن



شکل ۱. میانگین بارش و دمای ماهانه براساس آمار هواشناسی ۱۷ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۱) ایستگاه هواشناسی همدیدی چیتگر و مقایسه آن با بارندگی و دما در دوره پژوهش از شهریور ۱۳۹۱ تا یک شهریور ۱۳۹۲ (بارها نشان دهنده خطای معیار میانگین بارش در درازمدت اند)



شکل ۲. باران (GR) و باران ربایی (I) تجمعی طی دوره پژوهش (یک شهریور ۱۳۹۱ تا یک شهریور ۱۳۹۲) در توده های کاج تهران و سرو نقره ای در پارک جنگلی چیتگر، تهران

۳۲/۶ درصد به دست آوردند [۳۶]. همچنین، در پژوهش یادشده، درصد I تجمعی گونه کاج تهران ۴۴/۶ درصد به دست آمد. بنابراین، یافته های این پژوهش با یافته های باقری و عطارد (۱۳۹۰)، که براساس آن، درصد I تجمعی کاج تهران بیشتر از سرو نقره ای است، همسوست. تفاوت بین این گونه ها

I به منزله بخش مهمی از فرایند چرخه آب و به منزله اتلاف در تراز آبی در نظر گرفته می شود [۳۵]. تاکنون درصد I تجمعی توده های سرو نقره ای در دنیا بررسی نشده است. در تنها پژوهش بر روی باران ربایی گونه سرو نقره ای، باقری و عطارد (۱۳۹۰)، درصد I این گونه در سطح تک درخت را

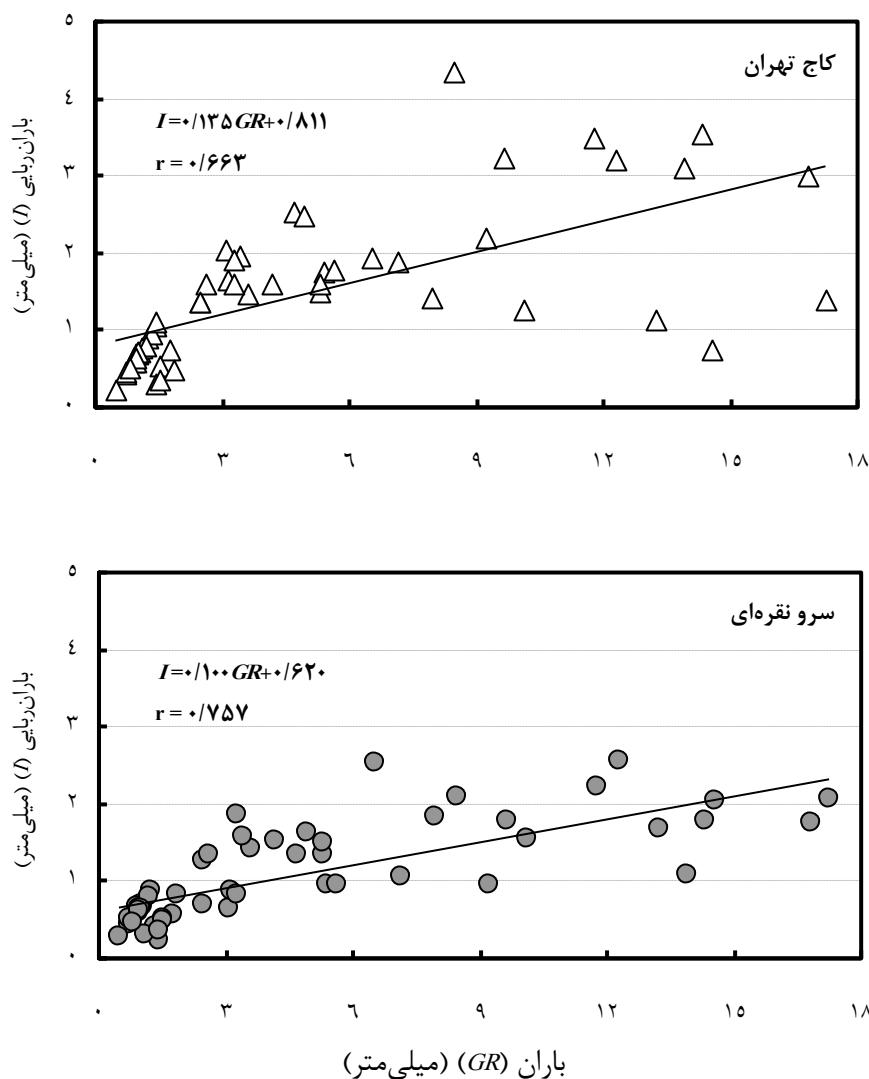
(منظور ریزش‌های تاجی،  $CD$ ) را داشت و افزایشی در مقدار  $I$  مشاهده نکرد، ولی از آنجا که یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر مقدار  $S$  و در نتیجه  $I$  ضریب  $(\bar{E}/\bar{R})$  است، تبخیر در زمان بارندگی‌هایی با مقدار زیاد (از آنجا که بیشتر این بارندگی‌ها در مدت زمانی طولانی‌تری از بارندگی‌های با مقدار کم در این مناطق به وقوع می‌پیوندد)، بیشتر است که سبب می‌شود تاج از آب نسبتاً خالی شود که سبب افزایش مقدار  $I$  با افزایش مقدار  $GR$  می‌شود. بنابراین، اگر رخدادهای  $GR$  در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر اتفاق بیفتند، با قاطعیت می‌توان گفت که مقدار  $I$  نیز افزایش خواهد یافت.

میانگین درصد باران‌ربایی ( $I:GR$ ) کاج تهران  $46/8$  درصد  $R = [0/794 \pm 2/9]$ ؛  $\ln + 64/506$ ؛  $I:GR = [16/598(GR) + 2/9]$  درصد  $2/9$ ؛  $I:GR = [16/852 \ln(GR) + 55/824]$ ؛  $r = 0/816$   $\pm$  به‌دست آمد. نتایج مقایسه میانگین‌های درصد  $I:GR$  نشان داد که اختلاف معناداری در سطح ۵ درصد بین این دو گونه وجود دارد. باقری و عطار (۱۳۹۰) این مقدار را برای تک‌درختان کاج تهران ۶۸ درصد و سرو نقره‌ای ۵۵ درصد بیان کردند که دلیل اختلاف با پژوهش حاضر، تفاوت سطح اندازه‌گیری (توده و تک‌درخت) است. در هنگام مطالعه در سطح تک‌درخت، به دلیل اینکه درصد تاج‌پوشش یک یا نزدیک به آن است [۴۵]، بنابراین درصدهای  $I$  انتظار می‌رود بیشتر از هنگام مطالعه در سطح توده باشد، مانند پژوهش حاضر که درصد تاج‌پوشش توده‌های مطالعه‌شده در پژوهش حاضر ۶۰ درصد (کاج تهران) و ۴۵ درصد (سرو نقره‌ای) است. نتایج این پژوهش با دیگر مطالعات قدری متفاوت است.

به دلیل تفاوت در ساختار تاج، شاخص سطح برگ، آرایش شاخه‌ها، درصد تاج‌پوشش، تعداد در هکتار، مقدار  $S$  و ابعاد درختان است [۲۴؛ ۲۶-۲۸؛ ۳۴-۴۲].

نتایج این پژوهش در حد واسط مقدار  $I$  تجمعی در پژوهش‌های انجام‌شده در بین سوزنی‌برگان قرار دارد. درصد  $I$  در توده‌های سوزنی‌برگ بین ۱۲ تا ۵۰ درصد  $GR$  سالانه گزارش شده است [۱۰؛ ۳۷]. برای نمونه، روتر و همکاران (۱۹۷۱) در مطالعه‌ای که روی توده ۴۰ ساله جنگل کاری شده *Pinus nigra* در جنوب شرقی انگلستان انجام دادند، درصدهای تجمعی باران‌ربایی را ۳۵ درصد به‌دست آوردند [۱۱]. لورنز و همکاران (۱۹۹۷) در مطالعه‌ای روی توده *Pinus sylvestris*، به این نتیجه رسیدند که درصد  $I$  تجمعی این توده ۲۴ است [۴۳]. مطهری و همکاران (۱۳۹۱) مقدار  $I$  تجمعی توده کاج تهران در منطقه نیمه‌خشک را  $37/1$  درصد به‌دست آوردند [۲۶]. لیانگ و دینگ (۲۰۱۳) درصد تجمعی  $I$  با جنگل کاری با گونه *Pinus tabulaeformis* را  $29/82$  درصد به‌دست آوردند [۴۲]. ژو و همکاران (۲۰۱۳)  $I$  تجمعی توده *Picea crassifolia* را در مناطق خشک و نیمه‌خشک چین، ۲۷ درصد به‌دست آوردند [۴۴].

همبستگی‌های صعودی خطی و معناداری بین  $I$  و  $GR$  در سطح معناداری ۹۵ درصد برای کاج تهران ( $I = 0/135GR + 0/811$ ؛  $r = 0/663$ ) و سرو نقره‌ای ( $I = 0/100GR + 0/620$ ؛  $r = 0/757$ ) مشاهده شد (شکل ۳). یعنی با افزایش مقدار  $GR$ ، مقدار  $I$  نیز افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران نیز منطبق است [۲۶؛ ۳۸]. با افزایش مقدار  $GR$ ، مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش ( $S$ ) تکمیل شده و باید انتظار افزایش مقدار تاج‌بارش



شکل ۳. رابطه بین باران ربایی ( $I$ ) و باران ( $GR$ ) در توده های کاج تهران و سرو نقره ای در دوره پژوهش (یک شهریور ۱۳۹۱ تا یک شهریور ۱۳۹۲) در پارک جنگلی چیتگر، تهران

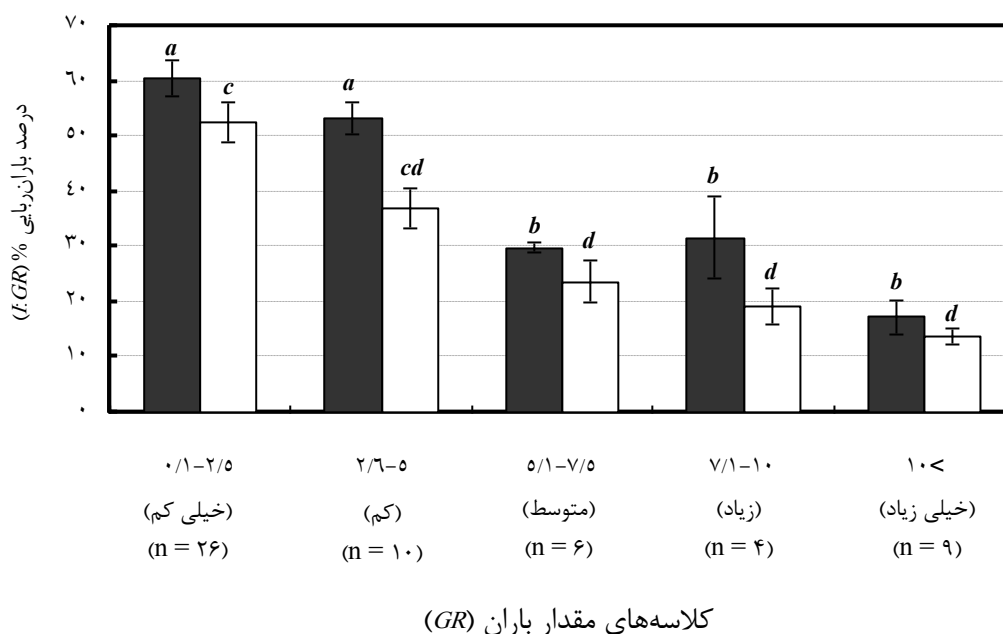
تعداد، زمان، و دوره بارندگی)، زاویه شاخه نسبت به تنه، شکل تاج، شاخص سطح برگ، ضخامت برگ، مقدار  $k$ ، مقدار شیره گیاهی<sup>۱</sup>، نسبت تبخیر در زمان بارندگی  $(\bar{E}/\bar{R})$ <sup>۲</sup> و سایر پارامترهای دیگر در طی دوره پژوهش مرتبط باشد [۴۶-۴۸].

دلایل اختلاف اندک نتایج این پژوهش و مطالعات دیگر، همان طور که سابقه پژوهش نشان می دهد، می تواند به عواملی نظیر اختلاف در نوع گونه، ترکیب و ساختار توده ها، سن توده ها، آشکوب بندی، ارتفاع تاج، سطح مقطع توده ها، درصد تاج پوشش، توپوگرافی منطقه، عوامل اقلیمی (دما، رطوبت نسبی، فشار بخار اشباع هوا، سرعت، و جهت باد)، خصوصیات بارش (برف/ باران، مقدار و شدت باران،

1. Sap Flow  
2. Ratio of mean evaporation rate from the wet canopy ( $\text{mm h}^{-1}$ ) to the mean rainfall intensity ( $\text{mm h}^{-1}$ ) ( $\bar{E}/\bar{R}$ )

خیلی زیاد هستند. نتایج دسته‌بندی رخدادهای  $GR$  به پنج کلاس مقدار  $GR$  نشان داد که با افزایش مقدار  $GR$ ،  $I:GR$  برای دو گونه کاهش نشان می‌دهد که منطبق بر یافته‌های سایر پژوهشگران است [۳۱؛ ۴۰؛ ۴۳]. البته  $I:GR$  گونه کاج تهران برای کلاس  $GR$  زیاد از این روند چندان تبعیت نمی‌کند (شکل ۴) و همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد  $I:GR$  این کلاس از  $GR$  بیشترین درصد خطای معیار را دارد ( $\pm 7/3$  درصد)؛ که همین امر بیان‌کننده خطای زیاد اندازه‌گیری مقدار  $I$  این کلاس از  $GR$ ها است و بنابراین لازم است تعداد رخداد اندازه‌گیری در این کلاس از  $GR$  افزایش یابد.

برای تبیین بهتر نتایج،  $GR$ ها به پنج کلاس مقدار  $GR$  شامل کلاس‌های خیلی کم (۰/۱-۲/۵ میلی‌متر)، کم (۲/۶-۵/۱ میلی‌متر)، متوسط (۵/۱-۷/۵ میلی‌متر)، زیاد (۷/۶-۱۰/۰ میلی‌متر) و خیلی زیاد ( $> 10/0$  میلی‌متر) دسته‌بندی شدند. نتایج این دسته‌بندی نشان داد که با افزایش مقدار  $GR$ ، درصد  $I:GR$  برای دو گونه کاهش نشان می‌دهد (به جز درصد  $I:GR$  گونه کاج تهران برای کلاس  $GR$  زیاد). بیشترین و کمترین درصد  $I:GR$  براساس طبقه‌بندی کلاس‌های  $GR$ ، به ترتیب برای کاج تهران ۶۰/۷ درصد ( $\pm 3/3$ ) در کلاس خیلی کم و ۱۷/۳ درصد ( $\pm 3/0$ ) در کلاس خیلی زیاد و برای سرو نقره‌ای ۵۲/۶ درصد ( $\pm 3/7$ ) در کلاس خیلی کم و ۱۳/۹ درصد ( $\pm 1/4$ ) در کلاس



شکل ۴. درصد باران ربایی (%  $I:GR$ ) در پنج کلاس باران ( $GR$ ) طی دوره پژوهش (یک شهریور ۱۳۹۱ تا یک شهریور ۱۳۹۲) در توده‌های کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.، ستون سیاه) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.، ستون سفید) در پارک جنگلی چیتگر، تهران (حروف اشاره به مقایسه درصد باران ربایی بین کلاس‌های مختلف  $GR$  در بین هر گونه و بارها نشان‌دهنده خطای معیار است. n دلالت بر تعداد رخداد  $GR$  در هر کلاس دارد)



اختلاف معناداری بین دو گونه در ماه‌های خرداد، شهریور، مهر، و آذر در سطح ۱ درصد و در اسفند در سطح ۵ درصد مشاهده می‌شود. سابقه پژوهش نشان می‌دهد که مقدار *GR* نسبت به پارامترهای اقلیمی (سرعت و جهت باد، دما، رطوبت نسبی و فشار بخار اشباع هوا) تأثیرگذاری بیشتری بر درصد *I:GR* دارد [۳۶]. از آنجا که متوسط مقدار *GR* در ماه تیر (۰/۸۵ میلی‌متر) نسبت به دیگر ماه‌ها کمتر است (۴/۹ میلی‌متر)، در تیر، مطابق انتظار، بیشترین درصد *I:GR* ماهانه مشاهده می‌شود. همچنین، کمترین درصد *I:GR* ماهانه برای کاج تهران، ۳۱ درصد (فروردین) و سرو نقره‌ای ۲۳ درصد (خرداد) به دست آمد. فروردین بیشترین میانگین *GR* ماهانه را در این پژوهش دارد (۶/۶ میلی‌متر) و انتظار می‌رود که کمترین درصد *I:GR* را به خود اختصاص دهد.

با استفاده از آزمون توکی، بین درصد *I:GR* کاج تهران و *GR* ها در کلاسه‌های خیلی کم و کم با دیگر کلاسه‌ها اختلاف معناداری دارد ( $P < 0/01$ ). در مورد گونه سرو نقره‌ای، درصد *I:GR* کلاسه خیلی کم با کلاسه‌های متوسط، زیاد، و خیلی زیاد اختلاف معناداری دارد ( $P < 0/01$ ). همچنین نتایج آزمون دانکن، که بین میانگین درصد *I:GR* در دو گونه در هر کلاسه مقدار *GR* انجام شد، نشان داد که درصد *I:GR* دو گونه فقط در کلاسه *GR*هایی با مقدار کم اختلاف معناداری دارند ( $P < 0/01$ ).

بیشترین درصد *I:GR* ماهانه برای هر دو گونه، مربوط به تیر ماه است (کاج تهران ۶۷/۵ درصد و سرو نقره‌ای ۶۲/۸ درصد) (جدول ۲). همچنین کمترین *I:GR* ماهانه برای کاج تهران ۳۱ درصد (فروردین) و سرو نقره‌ای ۲۳ درصد (خرداد) است. براساس مقایسه میانگین‌های ماهانه *I:GR* (درصد)،

جدول ۲. تغییرات ماهانه مقدار باران (*GR*) و میانگین درصد *I* تجمعی و درصد باران‌ریایی (*I:GR*) در توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر تهران (اعداد داخل پرانتز به خطای معیار اشاره دارد)

| ماه‌های سال | <i>GR</i>        | کاج تهران             | سرو نقره‌ای        |
|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| تعداد رخداد | مقدار (میلی‌متر) | <i>I</i> تجمعی (درصد) | <i>I:GR</i> (درصد) |
| فروردین     | ۳۳/۰             | ۲۱/۸ (۵/۰ ±)          | ۳۱/۰ (۱۰/۲ ±)      |
| اردیبهشت    | ۳۱/۶             | ۱۸/۹ (۸/۰ ±)          | ۴۵/۸ (۱۳/۵ ±)      |
| خرداد       | ۱۳/۸             | ۳۳/۳ (۵/۰ ±)          | ۴۵/۴ (**۱۷/۰ ±)    |
| تیر         | ۱/۷              | ۶۷/۶ (۵/۶ ±)          | ۶۷/۵ (۰/۹ ±)       |
| مرداد       | ۰                | -                     | -                  |
| شهریور      | ۱۱/۸             | ۳۵/۳ (۹/۷ ±)          | ۵۷/۷ (**۱۶/۹ ±)    |
| مهر         | ۱۵/۹             | ۴۶/۴ (۴/۸ ±)          | ۵۱/۰ (**۶/۶ ±)     |
| آبان        | ۴۴/۰             | ۲۲/۹ (۳/۱ ±)          | ۴۷/۴ (۸/۵ ±)       |
| آذر         | ۳۷/۶             | ۳۷/۰ (۲/۹ ±)          | ۴۸/۴ (**۷/۶ ±)     |
| دی          | ۳۳/۷             | ۲۷/۴ (۵/۲ ±)          | ۳۸/۹ (۷/۵ ±)       |
| بهمن        | ۲۶/۸             | ۴۴/۳ (۵/۲ ±)          | ۴۸/۱ (۶/۵ ±)       |
| اسفند       | ۱۲/۶             | ۳۵/۵ (۷/۱ ±)          | ۵۰/۱ (**۱۱/۵ ±)    |

\*\* اختلاف معنادار در سطح ۱ درصد

\* اختلاف معنادار در سطح ۵ درصد

### نتیجه‌گیری

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تبخیر تعرق بیشتر از بارش است. از دیدگاه هیدرولوژیکی، در این مناطق بیلان آب منفی است، زیرا به واسطه دمای زیاد و خشکی هوا تبخیر تعرق از میزان بارش فزونی می‌گیرد. به دلیل کم بودن مقدار  $GR$ ، در این مناطق پوشش گیاهی فقیر و پراکنده است. بنابراین، برای انتخاب گونه‌های مناسب برای جنگل‌کاری در این مناطق باید مقدار  $I$  گونه‌ها نیز در کنار دیگر عوامل

مانند تعرق، مقاومت به خشکی و عمق ریشه‌دوانی در نظر گرفته شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بارندگی مهم‌ترین فاکتور اقلیمی تأثیرگذار بر رشد درخت است [۴۹] و مقدار آب باران رسیده به کف جنگل در بین توده‌های مختلف متفاوت است. براساس نتایج این پژوهش، از دیدگاه باران‌رسانی، گونه سرو نقره‌ای مناسب‌تر از کاج تهران برای جنگل‌کاری در این اقلیم است، زیرا مقدار آب رسیده به کف جنگل در توده‌های سرو نقره‌ای بیشتر است.

## References

- [1]. Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., and Dunkerley, D. (2015). Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 76-85.
- [2]. Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Pypker, T.G., and Dunkerley, D. (2014). Is canopy interception increased in semiarid tree plantations? Evidence from a field investigation in Tehran, Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 792-806.
- [3]. Sadeghi, H., Kahavrinezhad, R., Fahimi, H., Falahiyan, F.A., and Imani Pour, V. (2007). The effect of NaCl salinity on growth and mineral uptake in *Pinus eldarica* M. *Journal of Horticulture and Technology*, 8(3): 199-212.
- [4]. Sardabi, H. (1998). Eucalypt and pine species trials on the Caspian littoral and lowlands of Iran. Research Institute of forests and Rangelands (RIFRI), Tehran, I.R. Iran. Technical Publication No: 193.
- [5]. Shayanmehr, F., Jalali, S. GH., Ghanati, F., and Kartoolinejad, D. (2008). Discrimination of *Pinus eldarica* MEDW. and its two new species by epicuticular wax, lignin content, electrophoretic isozyme and activity of peroxidase. *Feddes Repertorium*, 119(7-8): 644-654.
- [6]. Sadati, S.E., Mostafanejhad, S.R., and Mokhtari, J. (2007). An investigation on adaptability of *Cupressus arizonica* in a 10- years period in Caspian Sea plain (Chamestan). *Pajouhesh and Sazandegi*, 77: 76-83.
- [7]. Gilman, E.F., and Watson, D.G. (1993). *Cupressus arizonica* var. *arizonica*, Fact Sheet, ST-222, 3 pp.
- [8]. Chang, M. (2006). *Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests*, second ed. Taylor and Francis, Boca Raton, FL. p. 488.
- [9]. Eltahir, E.A.B., and Bras, R.L. (1993). A description of rainfall interception over a large area. *Journal of Climate*, 6: 1002-1008.
- [10]. Shachnovich, Y., Berliner, P.R., and Bar, P. (2008). Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. *Journal of Hydrology*, 349: 168-177.
- [11]. Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., and Monton, A.J. (1971). A predictive model of rainfall interception forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine. *Agricultural Meteorology*, 9: 367-384.
- [12]. Gash, J.H.C. (1979). An analytical model of rainfall interception by forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105: 43-55.
- [13]. Liu, S. (1998). Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-Central Florida. *Journal of Hydrology*, 207: 32-41.
- [14]. Gash, J.H.C., and Morton, A.J. (1978). An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from theford forest. *Journal of Hydrology*, 38(1-2): 49-58.
- [15]. Savenije, H.H.G. (2004). The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrological Processes*, 18: 1507-1511.
- [16]. Roberts, M.C., and Klingeman, P.C. (1970). The influence of land form and precipitation parameters on flood hydrograph. *Journal of Hydrology*, 11: 393-411.
- [17]. Walsh, R.P.D., and Voigt, P.J. (1977). Vegetation litter: an underestimated variable in hydrology and geomorphology. *Journal of Biogeography*, 4: 253-274.

- [18]. Asadian, Y. (2007). Rainfall interception in an urban environment. M.Sc Thesis the University of British Columbia, 84 p.
- [19]. Ratt, K.J., Draaijers, G.P.J., Schaap, M.G., Tietema, A., and Verstraten, J.M. (1991). Spatial variability of throughfall water and chemistry and forest floor water content in a rangeland. *Journal of Range Management*, 44(3): 286-288.
- [20]. Schume, H., Jos, G., and Katzensteiner, K. (2003). Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway Spruce (*Picea abies* L.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. *Geoderma*, 112: 273-287.
- [21]. Mottonen, M., Jarvinen, E., Hokkanen, T.J., Kuuluvaniemi, T., and Ohtonen, T. (1999). Spatial distribution of soil ergosterol in the organic layer of a mature Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. *Soil Biology and Biogeochemistry*, 3: 503-516.
- [22]. Bottcher, K., Strelbel, O., and Lauer, S. (1997). Spatial variability of groundwater solute concentrations at the water table under a pine stand on sandy soil with deep ground water. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 160: 67-72.
- [23]. Schellekens, J. (2000). The Interception and Runoff Generating Processes in the Bisley Catchment, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25 (7-8): 659-664.
- [24]. Gomez-Peralta, D., Oberbauer, S.F., McClain, M.E., and Philippi, T.E. (2008). Rainfall and cloud-water interception in tropical montane forests in the eastern Andes of Central Peru. *Forest Ecology and Management*, 255: 1315-1325.
- [25]. Zimmermann, B., Zimmermann A., and Van Breugel, M. (2013). Variation in rainfall interception along a forest succession gradient. *Geophysical Research*, 15: 4156.
- [26]. Motahari, M., Attarod, P., Etemaad, and V., Shirvany, A. (2012). Rainfall size and interception of a *Pinus eldarica* afforestation in a semi-arid climate zone (Chitgar Forest Park). *Journal of Forest and Wood Products*, 65(1): 82-95.
- [27]. Van Dijk, A.I.J.M., and Bruijnzeel, L.A. (2001). Modeling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2. Model validation for a tropical upland mixed cropping system. *Journal of Hydrology*, 247: 239-262.
- [28]. Pypker, T.G., Bond, B.J., Link, T.E., Marks, D., and Unsworth M.H. (2005). The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: examples from a young and an old-grown Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 113-129.
- [29]. Lloyd, C.R., and De Marques, F. (1988). Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian Rainforest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 42: 63-73.
- [30]. Fleischbein, K., Wilcke, W., Goller, R., Boy, J., Valarezo, C., Zech, W., and Knoblich, K. (2005). Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. *Hydrological Processes*, 19(7): 1355-1371.
- [31]. Rowe, L. (1983). Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 66(1-4): 143-158.
- [32]. Lankreijer, H.J.M., Hendriks, M.J., and Klaassen, W. (1993). A comparison of models simulating rainfall interception of forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64: 187-199.
- [33]. Llorens, P., and Gallart, F. (2000). A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology*, 240: 131-144.
- [34]. Shi, Z., Wang, Y., Xu, L., Xiong, W., Yu, P., Gao, J., and Zhang, L. (2010). Fraction of incident rainfall within the canopy of a pure stand of *Pinus armandii* with revised Gash model in the Liupan Mountains of China. *Journal of Hydrology*, 385: 44-50.

- [35]. Zinke, P.J. (1967). Forest interception studies in the United States, Forest Hydrology, Pergamon Press: Oxford; 137-0161.
- [36]. Bagheri, H., and Attarod, P. (2012). 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). Iranian Journal of Forest, 3(4): 291-303.
- [37]. Gash, J.H.C., Wright, I.R., and Lloyd, C.R. (1980). Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. Journal of Hydrology, 48: 89-105.
- [38]. Carlyle-Moses, D.E. (2004). Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral. Journal of Arid Environments, 297: 124-135.
- [39]. Pypker, T.G., Tarasoff, C.C., and Koh, H.S. (2012). Assessing the efficacy of two indirect methods for quantifying canopy variables associated with the interception loss of rainfall in temperate hardwood forests. Open Journal of Modern Hydrology, 2: 29-40.
- [40]. Deguchi, A., Hattori, S., and Park, H. (2006). The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: application of the revised Gash model. Journal of Hydrology, 319: 80-102.
- [41]. Gerrits, A.M.J., Pfister, L., and Savenije, H.H.G. (2010). Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. Hydrological Processes, 24: 3011-3025.
- [42]. Liang, W., and Ding, G. (2013). Simulation of rainfall interception in a *Pinus tabulaeformis* plantation in North China. Journal of Food, Agriculture and Environment, 11(1): 976-981.
- [43]. Llorens, P., Poch, R., Latron, J., and Gallart, F. (1997). Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountains abandoned area II. Assessment of the applicability of Gash's analytical model. Journal of Hydrology, 199: 346-359.
- [44]. Xu, Z., Feng, Z., Zhao, C., Zheng, J., Yang, J., Tian, F., Peng, H., and Sher, H. (2013). The canopy rainfall interception in actual and potential distribution of Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) forest. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 61(1): 64-72.
- [45]. Pereira, F.L., Gash, J.H.C., David, J.S., David, T.S., Monteiro, P.R., and Valente, F. (2009). Modelling interception loss from evergreen oak Mediterranean Savannas: application of a tree-based modelling approach. Agricultural and Forest Meteorology, 149(3-4): 680-688.
- [46]. Horton, R.E. (1919). Rainfall interception. Monthly Weather Review, 47(9): 623-603.
- [47]. Raupach, M.R., Finnigan, J.J., and Brunet, Y. (1996). Coherent eddies and turbulence in vegetation canopies: the mixing-layer analogy. Boundary-Layer Meteorology, 78: 351-382.
- [48]. Kume, T., Manfroi, O.J., Kuraji, K., Tanaka, N., Horiuchi, T., Suzuki, M., and Kumagai, T. (2008). Estimation of canopy water storage capacity from sap flow measurements in a Bornean tropical rainforest. Journal of Hydrology, 352: 288-295.
- [49]. Glock, W.S., and Agerter, S.R. (1962). Rainfall and tree growth. In: T.T. Kozlowski (ed.), Tree Growth. Ronald Press, New York.

