

برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش و ضریب تاج بارش مستقیم تک درختان سرو نقره‌ای (پژوهش موردی: پارک جنگلی چیتگر تهران)

سیدمحمد معین صادقی^۱، پدرام عطارد^{۲*}، توماس گرنٹ پیپکر^۳ و ویلما بایرام زاده^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: attarod@ut.ac.ir

۳- استادیار گروه علوم منابع طبیعی، دانشگاه تامپسون ریورز، کمپوس، ایالت بریتیش کلمبیا، کانادا.

۴- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۱۳

چکیده

پژوهش پیش‌رو با هدف برآورد میزان ظرفیت نگهداری تاج پوشش (S) و نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) با استفاده از روش Pereira و نیز ضریب تاج بارش مستقیم (p) در تک درختان سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) واقع در پارک چیتگر تهران با اقلیم نیمه‌خشک، طی یک سال (بهمن‌ماه ۱۳۹۰ تا بهمن‌ماه ۱۳۹۱) انجام شد. میزان بارندگی در هر رخداد توسط شش باران سنج و تاج بارش توسط ۲۰ باران سنج اندازه‌گیری شد. باران‌ریایی از تفاوت تاج بارش و باران در هر رخداد باران به دست آمد. در مجموع ۵۵ رخداد باران با عمق تجمعی ۲۳۴ میلی‌متر ثبت و درصدهای تجمعی و نسبی باران‌ریایی به ترتیب ۲۱/۸ درصد و ۳۲/۱ درصد برآورد شدند. بین باران‌ریایی و باران، همبستگی توانی مثبت و معنی‌داری ($r = 0/89$) و بین درصد نسبی باران‌ریایی و باران برای میانگین پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای همبستگی توانی منفی و معنی‌داری ($r = 0/69$) مشاهده شد. میانگین مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، ۰/۳۸ میلی‌متر، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی، ۰/۱۴ و ضریب تاج بارش مستقیم، ۰/۴۶ به دست آمدند. برای مدیریت صحیح جنگل‌کاری‌ها، آگاهی از مقدار باران‌ریایی و اجزای آن مانند ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی و نیز ضریب تاج بارش مستقیم در کنار مقدار تعرق درختان می‌تواند به انتخاب گونه‌های مناسب و سازگار در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کمک نماید. جهت برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش که پارامتر مهمی در فرآیند باران‌ریایی می‌باشد، می‌توان از تنها روش موجود در سطح تک درختان، روش Pereira، استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم نیمه‌خشک، باران‌ریایی، تاج بارش مستقیم، روش Pereira، سرو نقره‌ای، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش.

مقدمه

Xiao & McPherson, 2011; Buttle & Farnsworth, 2012). مقداری از باران که بر روی برگ‌ها یا سوزن‌ها، شاخه‌ها و تنه یا ساقه درخت ذخیره شده و در زمان یا پس از بارندگی تبخیر شده و از دسترس درختان خارج می‌شود را باران‌ریایی می‌نامند. تاج بارش سهمی از باران است که یا

باران (Gross rainfall, GR) هنگام برخورد با تاج درختان به اجزای باران‌ریایی (I , Rainfall interception)، تاج بارش (TF , Throughfall) و ساقاب ($Stemflow/SF$) تقسیم می‌شود (Gerrits et al., 2010;)

به صورت مستقیم با عبور از تاج، (تاج بارش مستقیم) (Free throughfall) و یا به صورت غیرمستقیم بعد از برخورد به تاج پوشش، (ریزش‌های تاجی) (Canopy drips/ Release throughfall) به پوشش کف جنگل می‌رسد. همچنین ساقاب بخشی از باران است که از طریق ساقه یا تنه به سمت پایین درختان جریان یافته و سپس به پوشش کف جنگل می‌رسد (Mair & Fares, 2010)، بنابراین باران خالص (Net rainfall, NR)، یعنی باران رسیده به پوشش کف جنگل، از جمع مقادیر تاج بارش و ساقاب به دست می‌آید. همچنین مقدار باران ربایی از تفاوت بین باران و باران خالص به دست می‌آید.

تغییر در ساختار و پراکنش درختان از طریق جنگل کاری‌ها، بهره‌برداری یا اعمال عملیات جنگل کاری (مانند روشن کردن و تنک کردن)، بر ساختارهای مکانی و زمانی فرآیندهای اکوهیدرولوژیک مانند چرخه عناصر محلول، کیفیت آب، نفوذپذیری آب در خاک، فرسایش خاک و حجم رواناب سطحی تأثیر زیادی دارد (Williams et al., 2004; Loren et al., 2010; Hejduk & Kasprzak, 2010). مهم‌ترین اثر جنگل کاری‌ها بر فرآیندهای اکوهیدرولوژیک، افزایش مقدار باران ربایی همراه با افزایش سطح تاج پوشش می‌باشد که کاهش مقدار باران رسیده به سطح زمین (باران خالص) و در نتیجه کاهش حجم رواناب را به دنبال دارد (Lormand, 1988; Calder, 1996; Villarreal & Bengtsson, 2004; Buttle & Farnsworth, 2012)، بنابراین آگاهی از میزان باران ربایی گونه‌های درختی مورد استفاده در پروژه‌های جنگل کاری، به انتخاب گونه مناسب، تعیین فاصله کاشت بهینه و اعمال تیمارهای مناسب و به موقع جنگل‌شناسی کمک می‌نماید.

برای برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش روش‌های متفاوتی به صورت مستقیم (مانند سنجش از دور، میرایی اشعه‌ها و مرطوب کردن مصنوعی سطوح گیاهی در آزمایشگاه) و غیرمستقیم (روش‌های رگرسیونی) وجود دارد (Gash et al., 1995; Keim et al., 2005; Pypker et al., 2012; Vegas Galdos et al., 2012). که روش‌های غیرمستقیم به دلیل هزینه کم و عدم نیاز به دستگاه‌های پیشرفته، کاربرد بیشتری دارند (Gash et al., 1995; Link et al., 2004; Pypker et al., 2012). در روش‌های غیرمستقیم رگرسیونی برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش با رسم رگرسیون خطی بین تاج بارش (محور y) و باران (محور x) برای باران‌های برابر و بیشتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش (Canopy saturation point, P_s)، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش به دست می‌آید (Leyton et al., 1967; Pereira et al., 2009). نقطه اشباع آب تاج پوشش در واقع مقداری از آب باران است که برای اشباع شدن تاج پوشش لازم است و اگر ضریب تاج بارش مستقیم را برابر صفر در نظر بگیریم، آنگاه مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش با این نقطه برابر می‌باشد، هر چند که اغلب مواقع این نقطه بیشتر از نقطه ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش است. نقطه اشباع آب تاج پوشش از رابطه بین تاج بارش و باران در کل رخدادهای باران و به صورت چشمی (Subjectively) از روی منحنی بین تاج بارش (محور y) و باران (محور x) تعیین می‌شود

به صورت مستقیم با عبور از تاج، (تاج بارش مستقیم) (Free throughfall) و یا به صورت غیرمستقیم بعد از برخورد به تاج پوشش، (ریزش‌های تاجی) (Canopy drips/ Release throughfall) به پوشش کف جنگل می‌رسد. همچنین ساقاب بخشی از باران است که از طریق ساقه یا تنه به سمت پایین درختان جریان یافته و سپس به پوشش کف جنگل می‌رسد (Mair & Fares, 2010)، بنابراین باران خالص (Net rainfall, NR)، یعنی باران رسیده به پوشش کف جنگل، از جمع مقادیر تاج بارش و ساقاب به دست می‌آید. همچنین مقدار باران ربایی از تفاوت بین باران و باران خالص به دست می‌آید.

تغییر در ساختار و پراکنش درختان از طریق جنگل کاری‌ها، بهره‌برداری یا اعمال عملیات جنگل کاری (مانند روشن کردن و تنک کردن)، بر ساختارهای مکانی و زمانی فرآیندهای اکوهیدرولوژیک مانند چرخه عناصر محلول، کیفیت آب، نفوذپذیری آب در خاک، فرسایش خاک و حجم رواناب سطحی تأثیر زیادی دارد (Williams et al., 2004; Loren et al., 2010; Hejduk & Kasprzak, 2010). مهم‌ترین اثر جنگل کاری‌ها بر فرآیندهای اکوهیدرولوژیک، افزایش مقدار باران ربایی همراه با افزایش سطح تاج پوشش می‌باشد که کاهش مقدار باران رسیده به سطح زمین (باران خالص) و در نتیجه کاهش حجم رواناب را به دنبال دارد (Lormand, 1988; Calder, 1996; Villarreal & Bengtsson, 2004; Buttle & Farnsworth, 2012)، بنابراین آگاهی از میزان باران ربایی گونه‌های درختی مورد استفاده در پروژه‌های جنگل کاری، به انتخاب گونه مناسب، تعیین فاصله کاشت بهینه و اعمال تیمارهای مناسب و به موقع جنگل‌شناسی کمک می‌نماید.

به بیشینه مقدار باران ذخیره شده توسط تاج پوشش درختان در زمانی که بارندگی متوقف شده باشد، ظرفیت نگهداری تاج پوشش (Canopy storage capacity/ Forest canopy water storage, S) می‌گویند (Link et al., 2004). ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش عامل مهمی در کنترل مقدار باران ربایی است (Link et al., 2004; Gerrits)

پژوهش پیش‌رو با هدف برآورد مقادیر ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و نرخ تبخیر به شدت بارندگی در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) با استفاده از روش Pereira و نیز مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم در تک‌درختان سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Green.) که از جمله گونه‌های پراستفاده در جنگل‌کاری‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور می‌باشد، انجام شده است. با مطالعه در سطح تک درختان بهتر می‌توان اثر کل پوشش جنگلی را در مقایسه با مطالعه در سطح توده یا سطح بوم‌منظر بیان کرد (David *et al.*, 2006; Asadian, 2007).

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پارک جنگلی چیتگر تهران (عرض و طول جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی، متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۲۵۰ متر) انجام شد. پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای در یک قطعه جنگل‌کاری شده ۴۳ ساله برای اندازه‌گیری‌ها انتخاب شدند (جدول ۱). این درختان دارای تاج کاملاً سالم بوده و هیچ‌گونه تداخل تاجی با درختان مجاور خود نداشتند.

(Klaassen *et al.*, 1998; Pypker *et al.*, 2005; Mair & Fares, 2010). در واقع نقطه‌ای از منحنی که شیب نمودار ابر نقاط افزایش می‌یابد، نشان‌دهنده مقداری از باران است که برای اشباع آب تاج‌پوشش کافی بوده و در باران‌های برابر یا بزرگ‌تر از این نقطه، سهم بیشتری از هر رخداد باران به تاج‌بارش اختصاص می‌یابد. روش‌های غیرمستقیم رگرسیونی متداول در برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، مانند روش‌های Gash و Morton (۱۹۷۸) و Minimum (Jackson, 1975) برای هنگامی که تغییرپذیری تاج‌بارش زیاد است، مانند مطالعه در سطح تک‌درختان (Individual tree/ Tree based) (David *et al.*, 2006) نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (Pereira *et al.*, 2009). در این روش‌ها فرض بر این است که تبخیر در زمان بارندگی بسیار اندک یا صفر است (Pypker *et al.*, 2012). Pereira روشی دیگر را برای تک‌درختان معرفی کرد که علاوه بر حساسیت‌پذیری کم به تغییرپذیری تاج‌بارش، در معادله آن از نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) نیز در برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش استفاده می‌شود (Pereira *et al.*, 2009) و بنابراین از این نظر نسبت به روش‌های دیگر برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش برتری دارد.

جدول ۱- مشخصات کمی تک‌درختان سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر. C_۱، C_۲ و... به ترتیب اشاره به درخت سرو نقره‌ای شماره یک، دو و... دارد.

گونه	ارتفاع درخت (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع تاج (متر)	قطر تاج (متر)	سطح تاج (مترمربع)
C _۱	۵/۸	۲۴	۳/۸	۴/۹	۷/۷
C _۲	۵/۳	۱۹	۳/۴	۴/۶	۷/۲
C _۳	۵/۴	۱۷	۳/۳	۴/۶	۷/۲
C _۴	۵/۱	۲۰	۳/۴	۴/۷	۷/۴
C _۵	۵/۲	۲۲	۳/۶	۴/۴	۶/۹
میانگین	۵/۴	۲۰	۳/۵	۴/۶	۷/۳

وضعیت اقلیمی

برای تعیین وضعیت اقلیمی منطقه از داده‌های اقلیمی ثبت‌شده از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی، ایستگاه

هواشناسی همدیدی چیتگر (عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و هشت دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۲۱۵ متر) که در فاصله

درخت به‌طور یکنواخت پوشیده شد. اندازه‌گیری میزان تاج بارش در زمان هر بارندگی، هم‌زمان با اندازه‌گیری باران و به‌روش مشابه با آن و با استفاده از استوانه مدرج با دقت یک میلی‌متر انجام شد. در صورت وقوع بارندگی در شب، اندازه‌گیری‌ها روز بعد و قبل از طلوع خورشید انجام پذیرفت. زمان 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 به‌عنوان یک رخداد باران در نظر گرفته شد.

باتوجه به میزان کم ساقاب در اقلیم نیمه‌خشک و به‌ویژه برای سوزنی‌برگان و نیز وقت‌گیر بودن و پرهزینه‌بودن اندازه‌گیری آن، در این پژوهش از اندازه‌گیری آن صرف‌نظر شد (Geiger, 1965; Bagheri *et al.*, 2011; Motahari & Attarod, 2012). بنابراین باران‌رایی از تفاضل بین مقدار تاج بارش از مقدار باران محاسبه شد.

براساس روش Pereira، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش از طریق رسم رگرسیون خطی بین تاج بارش (محور y) و باران (محور x)، برای باران‌های برابر و بیشتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش به‌دست می‌آید. در این روش بین تاج بارش و باران، برای باران‌های برابر یا بیشتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش یک رابطه خطی ($TF = aGR + b$) فرض می‌شود. آن‌گاه ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش (S) از رابطه (۱) قابل برآورد است:

$$S = -\frac{b}{\left[\left(\frac{\bar{E}}{\bar{R}}\right) - 1\right]} \frac{\bar{E}}{\bar{R}} \frac{1}{\ln\left[1 - \left(\frac{\bar{E}}{\bar{R}}\right)\right]}$$

کمتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش، ضریب تاج بارش مستقیم را نشان می‌دهد (Klaassen *et al.*, 1998; Llorens & Gallart, 2000; Link *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2005).

چهار کیلومتری تک درختان قرار دارد، طی یک دوره ۱۶ ساله (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۱) استفاده شد.

میانگین بارندگی سالانه براساس آمار به‌دست آمده ۲۷۲ میلی‌متر (خطای معیار $\pm 15/3$) می‌باشد که مرطوب‌ترین ماه سال، اسفند با میانگین بارش ماهانه ۴۶/۶ میلی‌متر (خطای معیار $\pm 5/5$) و خشک‌ترین ماه سال مرداد با میانگین بارش ماهانه ۱/۴ میلی‌متر (خطای معیار $\pm 0/3$) ثبت شده است. میانگین تعداد روزهای بارانی سال ۷۱ روز (خطای معیار ± 6) می‌باشد. میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد (خطای معیار $\pm 0/1$) گزارش شده است که گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به‌ترتیب، مرداد با میانگین ۲۹/۹ درجه سانتی‌گراد (خطای معیار $\pm 0/3$) و دی با میانگین دمای ۳/۸ درجه سانتی‌گراد (خطای معیار $\pm 0/3$) هستند. بر اساس نمودار آمبروترمیک دوره خشکی در این منطقه شش ماه از سال (از اواسط اردیبهشت تا اواسط آبان) می‌باشد. با بهره‌گیری از نمایه دومارتن، این منطقه با شاخص خشکی ۱۰/۱ در طبقه اقلیمی نیمه‌خشک قرار می‌گیرد.

روش پژوهش

به‌منظور برآورد مقدار باران‌رایی تک درختان سرو نقره‌ای، بارندگی‌ها به‌مدت یک سال (از بهمن ماه ۱۳۹۰ تا بهمن ماه ۱۳۹۱) اندازه‌گیری شدند. باران در هر رخداد با استفاده از شش باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین فضای باز به درختان (فاصله‌ای تقریباً ۳۰ متری) جمع‌آوری شد. برای اندازه‌گیری مقدار تاج بارش، ۲۰ باران‌سنج دستی براساس طرحی تصادفی در زیر تاج هر یک از درختان نصب شدند (Xiao & McPherson, 2011)، به‌طوری‌که سطح تاج هر

رابطه (۱)

در این رابطه، \bar{E}/\bar{R} از تفاضل عدد یک از شیب (a) رابطه خطی بین تاج بارش و باران در باران‌های برابر یا بیشتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش به‌دست می‌آید (Pereira *et al.*, 2009) و b نیز عرض از مبدأ این رابطه است. ضمن اینکه شیب نمودار (a) بین تاج بارش و باران برای باران‌های

نتایج

(جدول ۳).

مقادیر باران و باران‌ریایی در طول دوره اندازه‌گیری در یک سال اندازه‌گیری، ۵۵ رخداد باران با مجموع عمق ۲۳۴ میلی‌متر ثبت شد. درصد‌های تجمعی و نسبی باران‌ریایی % (I:GR) برای پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمون دانکن، بین میانگین درصد نسبی باران‌ریایی در طی دوره اندازه‌گیری در ارتباط با پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($P < 0.01$).

بیشترین مقدار باران ۱۷/۲ میلی‌متر، کمترین ۰/۴ میلی‌متر و میانگین آن در دوره پژوهش ۴/۳ میلی‌متر بود. مقدار باران‌ریایی تجمعی برای پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای به‌طور میانگین ۵۱ میلی‌متر (۲۱/۸ درصد) به‌دست آمد

جدول ۲- مقادیر باران‌ریایی برای ۵۵ رخداد بارندگی (عمق تجمعی ۲۳۴ میلی‌متر) و درصد نسبی باران‌ریایی % (I:GR) در هر رخداد باران در دوره پژوهش برای پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای

گونه	باران‌ریایی تجمعی	% (I:GR)*
	میلی‌متر	درصد
C _۱	۴۷/۸	۲۰/۴
C _۲	۵۰/۸	۲۱/۷
C _۳	۴۷/۸	۲۰/۴
C _۴	۵۵/۴	۲۳/۶
C _۵	۵۳/۳	۲۲/۸

* میانگین در هر رخداد

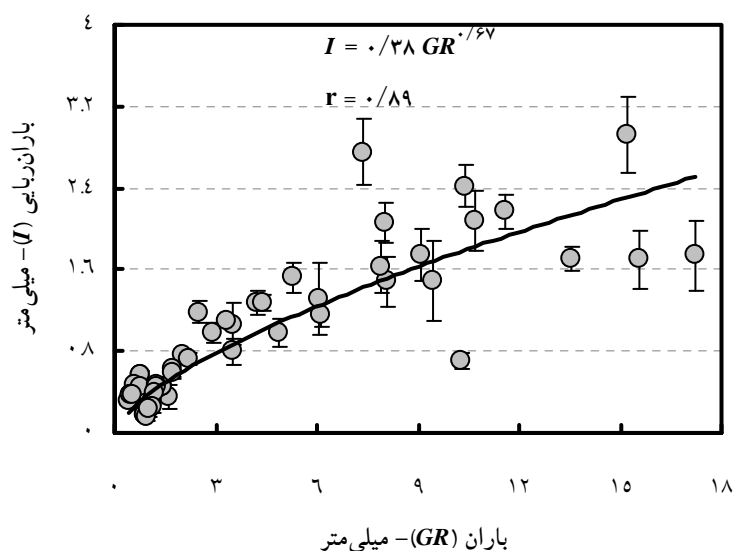
جدول ۳- مجموع، میانگین، بیشینه، کمینه و خطای معیار بارندگی و باران‌ریایی برای ۵۵ رخداد باران (عمق تجمعی ۲۳۴ میلی‌متر) و درصد نسبی باران‌ریایی % (I:GR) در دوره پژوهش. جدول، میانگین مقدارهای پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای را نشان می‌دهد.

تعداد باران	مشخصه آماری	باران	باران‌ریایی تجمعی	% (I:GR)*
		میلی‌متر	میلی‌متر	درصد
	مجموع	۲۳۴	۵۱/۰	-
۵۵	میانگین	۴/۳	۰/۹	۳۲/۱
	بیشینه	۱۷/۲	۲/۹	۷۷/۵
	کمینه	۰/۴	۰/۲	۶/۹
	خطای معیار (±)	۰/۶	۰/۱	۲/۵

* میانگین در هر رخداد

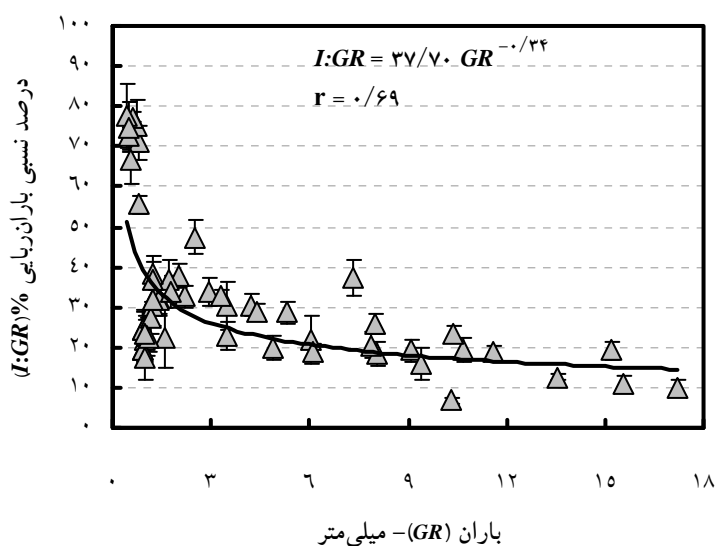
یعنی با افزایش مقدار باران، مقدار باران‌ریایی افزایش می‌یابد.

این بررسی نشان داد که بین باران‌ریایی و باران همبستگی توانی مثبت و معنی‌داری برای میانگین پنج تک‌درخت سرو نقره‌ای ($r = 0.89$) وجود دارد (شکل ۱).



شکل ۱- رابطه بین باران (GR) و باران ربایی (I) (میلی متر) برای تک درختان سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر در طی دوره پژوهش. هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد باران و بارها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشند.

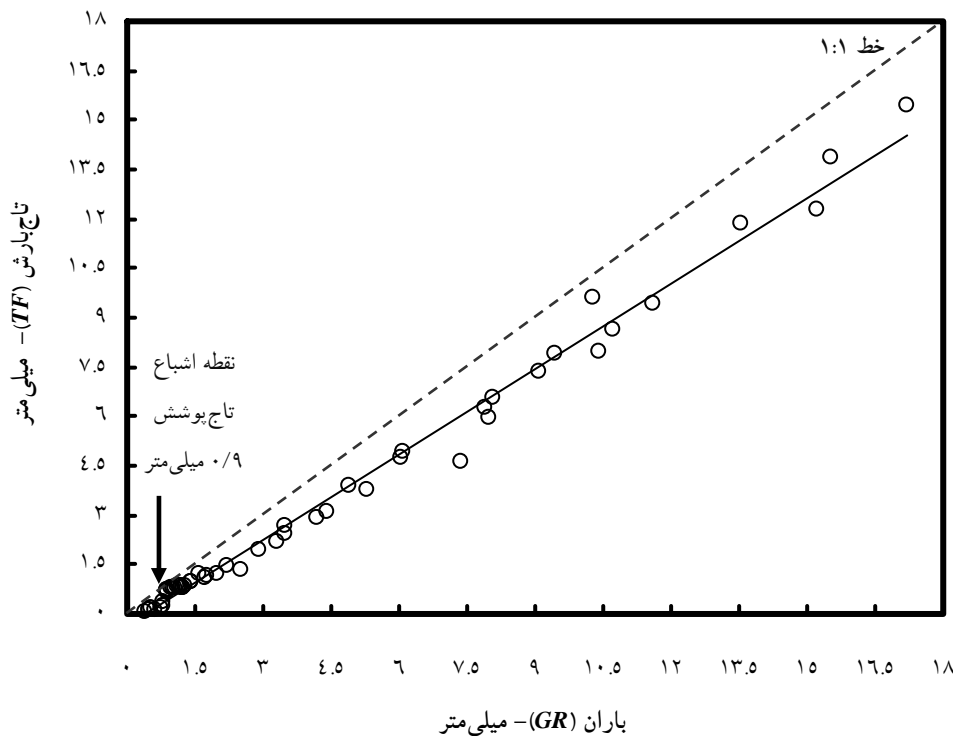
میانگین تک درختان سرو نقره‌ای همبستگی توانی منفی و معنی‌داری ($r = 0.69$) مشاهده شد (شکل ۲). یعنی با افزایش مقدار باران درصد نسبی باران ربایی کاهش نشان داد.



شکل ۲- رابطه بین باران (GR) و درصد نسبی باران ربایی ($I:GR$) % برای میانگین تک درختان سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر در طی دوره پژوهش. هر مثلث نشان‌دهنده یک رخداد باران و بارها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشند.

افزایش نشان داد. یعنی قبل از این نقطه، مقدار باران برای اشباع شدن تاج پوشش کافی به نظر نمی‌رسد و نسبت زیادی از هر رخداد باران صرف باران ربایی می‌شود.

برآورد نقطه اشباع آب تاج پوشش در این پژوهش نقطه اشباع آب تاج پوشش، به طور میانگین برای پنج درخت، حدود $0/9$ میلی‌متر برآورد شد (شکل ۳)، به طوری که بعد از این نقطه شیب منحنی ابر نقاط



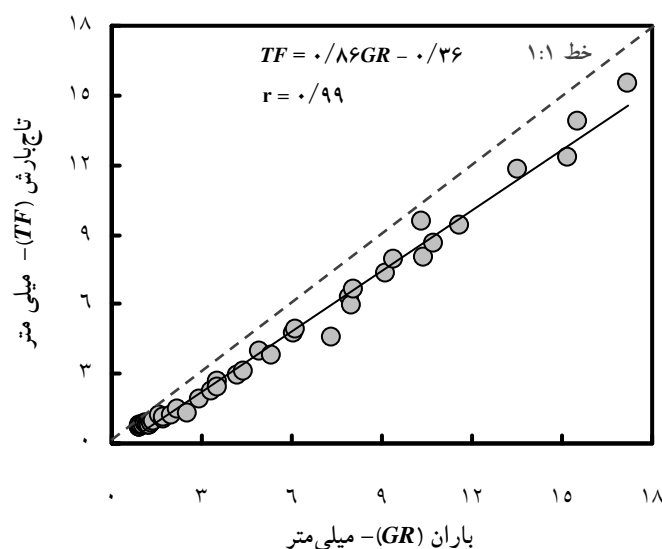
شکل ۳- رابطه بین باران (GR) و تاج بارش (TF) برای میانگین تاج بارش پنج تک درخت سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر در طی دوره پژوهش برای تعیین نقطه اشباع آب تاج پوشش. هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد باران و پیکان نشان‌دهنده باران کافی برای اشباع آب تاج پوشش است.

نقره‌ای برای باران‌های بیشتر یا مساوی $0/9$ میلی‌متر در جدول ۴ آورده شده است. همچنین مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش میانگین این پنج تک درخت با استفاده از رابطه بین تاج بارش و باران در شکل ۴ نشان داده شده است که این مقدار برابر با $0/38$ میلی‌متر برآورد شد (جدول ۴).

برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) و ضریب تاج بارش مستقیم در این پژوهش با استفاده از روش Pereira، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش پنج تک درخت سرو

جدول ۴- مقادیر ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، نرخ تبخیر به شدت بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) و ضریب تاج بارش مستقیم برای پنج تک درخت سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر با استفاده از باران‌های بیشتر و کمتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش (۰/۹ میلی متر)؛ ۴۷ رخداد باران بیشتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش و هشت رخداد باران کمتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش. در طی دوره پژوهش، C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 و... به ترتیب اشاره به درخت سرو نقره‌ای شماره یک، دو و... دارند.

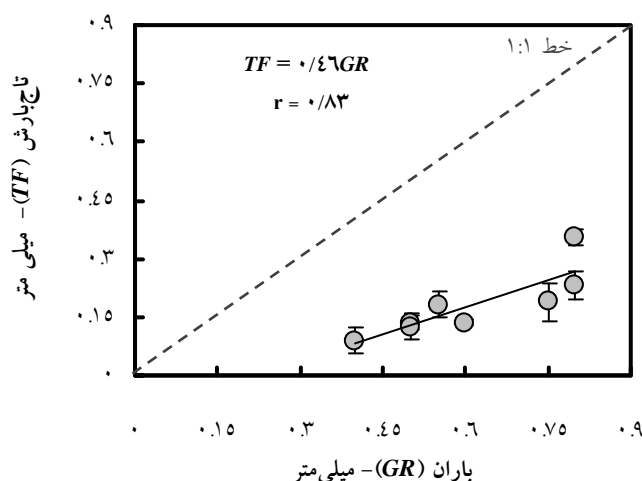
گونه	ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش (میلی متر)	نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی	ضریب تاج بارش مستقیم
C_1	۰/۳۶	۰/۱۲	۰/۲۷
C_2	۰/۴۲	۰/۱۳	۰/۴۰
C_3	۰/۳۷	۰/۱۲	۰/۶۲
C_4	۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۶۶
C_5	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۳۲
میانگین	۰/۳۸ (خطای معیار $\pm 0/01$)	۰/۱۴ (خطای معیار $\pm 0/01$)	۰/۴۶ (خطای معیار $\pm 0/08$)



شکل ۴- رابطه بین تاج بارش (TF) و باران (GR) برای میانگین پنج تک درخت سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر برای باران‌های بیشتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش (۰/۹ میلی متر)؛ ۴۷ رخداد باران در طی دوره پژوهش. هر دایره نشان دهنده یک رخداد باران است.

باران‌های کمتر از این نقطه، میانگین مقدار ضریب تاج بارش برای درختان سرو نقره‌ای ۰/۴۶ محاسبه شد (جدول ۴ و شکل ۵).

نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) به طور متوسط برای پنج تک درخت سرو نقره‌ای ۰/۱۴ به دست آمد. با استفاده از نقطه اشباع آب تاج پوشش (۰/۹ میلی متر)، از شیب خط نمودار بین باران و تاج بارش برای



شکل ۵- رابطه بین باران (GR) و تاج بارش (TF) برای تک درختان سرو نقره‌ای در پارک جنگلی چیتگر برای باران‌های کمتر از نقطه اشباع تاج پوشش (۹/۰ میلی‌متر)؛ هشت رخداد باران در طی دوره پژوهش (هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد باران است). بارها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین هستند.

بحث

درختان *Pinus resinosa* دو توده با سنین مختلف شود. مرور منابع نشان می‌دهد که درصد باران‌ریایی سوزنی‌برگان بین ۱۰ تا ۵۰ درصد از باران سالانه می‌باشد (Klaassen *et al.*, 1998; Link *et al.*, 2004). بنابراین یافته‌های این پژوهش در مقایسه با سایر مطالعات در محدوده بینابینی قرار دارد.

باران‌ریایی نقش مهمی در مدیریت حوضه‌های آبخیز جنگلی داشته و آگاهی از مقدار آن به مدیریت بهینه هیدرولوژی و جنگلداری هر منطقه کمک زیادی می‌کند. این پژوهش نشان داد که مقدار باران به شدت بر درصد‌های تجمعی و نسبی باران‌ریایی ($I:GR$) اثرگذار است (شکل ۲). با افزایش مقدار بارش در هر رخداد باران مقدار باران‌ریایی افزایش ولی درصد نسبی باران‌ریایی ($I:GR$) کاهش می‌یابد (Carlyle- Iroumé & Huber, 2002; Moses *et al.*, 2004; Fleischbein *et al.*, 2005; Staelens *et al.*, 2008). در باران‌های با مقدار کوچک، مقدار باران‌ریایی افزایش نشان می‌دهد، زیرا در این نوع باران‌ها سهم بیشتری از هر بارندگی صرف خیس‌کردن و تکمیل ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش شده و سپس نسبت زیادی از هر باران، از سطح تاج پوشش تبخیر و به صورت

طی دوره یک‌ساله پژوهش (بهمن‌ماه ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱) درمورد تک‌درختان سرو نقره‌ای در اقلیم نیمه‌خشک پارک چیتگر تهران، ۲۳۴ میلی‌متر باران در ۵۵ رخداد اندازه‌گیری شد که مقدار درصد تجمعی باران‌ریایی ۵۱ میلی‌متر (تقریباً ۲۲ درصد) و درصد نسبی باران‌ریایی $I:GR$ تقریباً ۳۲ درصد به دست آمد. در دنیا تاکنون در زمینه اندازه‌گیری اجزای بارش تک‌درختان سرو نقره‌ای، تنها یک پژوهش انجام شده است (Bagheri *et al.*, 2011). نتایج پژوهش یادشده در شهرستان بیارجمند (استان سمنان) با اقلیم خشک نشان می‌دهد که درصد‌های تجمعی و نسبی باران‌ریایی $I:GR$ به ترتیب ۳۲ و ۵۵ درصد است. دلیل تفاوت پژوهش یادشده با پژوهش پیش‌رو می‌تواند به تفاوت سن درختان که موجب اختلاف در شاخص سطح پوشش گیاهی می‌شود (Vegetation area index, VAI) و نیز به تفاوت اقلیمی در دو منطقه مربوط شود (Carlyle- Moses *et al.*, 2004; Asadian, 2007; Pypker *et al.*, 2012). برای نمونه، Buttle و Farnsworth (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدند که سن درختان می‌تواند باعث تفاوت در اندازه شاخه‌ها و در نهایت تفاوت در مقدار باران‌ریایی

گزارش *Pinus sylvestris* را به ترتیب ۲ میلی‌متر و ۰/۲۰ کردند. Link و همکاران (۲۰۰۴) مقادیرهای ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی و ضریب تاج بارش مستقیم توده‌های مسن *Pseudotsuga menziessi* را به ترتیب ۳/۳۲ میلی‌متر، ۰/۴۲ و ۰/۱۷ به دست آوردند. Pypker و همکاران (۲۰۰۵) در توده‌های جوان *Pseudotsuga menziessi* مقادیرهای ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی و ضریب تاج بارش مستقیم را به ترتیب ۱/۴۰ میلی‌متر، ۰/۱۷ و ۰/۱۲ برآورد کردند. Motahari و Attarod (۲۰۱۲) مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش گونه *Pinus eldarica* را ۱/۸ میلی‌متر و ضریب تاج بارش مستقیم را ۰/۱۴ برآورد کردند.

مقادیرهای ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش به دست آمده از پژوهش پیش‌رو در بازه مقادیرهای ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش سایر گونه‌های سوزنی‌برگ قرار دارد. مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش بستگی زیادی به سرعت باد، شاخص سطح برگ، تغییرات فصلی (Seasonal variability)، زاویه شاخه‌های درختان و درصد تاج پوشش دارد (Gerrits et al., 2010; Pypker et al., 2005, 2012; Vegas Galdos et al., 2012).

نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) گونه سرو نقره‌ای در دامنه اعداد گزارش شده در مورد این نسبت قرار دارد. این نرخ ارتباط زیادی با شدت باران، مقدار باران، زمان بارندگی، سرعت باد، درصد تاج پوشش، کمبود فشار بخار آب (Vapor pressure deficit, VPD) و ضخامت آیرودینامیکی تاج پوشش در جابجایی گرمای نهان (Canopy aerodynamic resistance to latent heat transfer) دارد (Monteith & Unsworth, 1990; Teklehaimanot et al., 1991; Calder, 1996; Link et al., 2004; Pypker et al., 2005; Jarvis & Fowler, 2008). برای نمونه، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی در شدت‌های کم باران، بیشتر از شدت‌های زیاد است، زیرا در شدت‌های کم باران، تبخیر از تاج پوشش در

باران‌رایی از دسترس پوشش گیاهی خارج می‌شود (Carlyle-Moses et al., 2004; Owens et al., 2006; Deguchi et al., 2006; Staelens et al., 2008; Sraj et al., 2008).

مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش در این پژوهش با استفاده از روش Pereira، به طور متوسط برای پنج تک درخت سرو نقره‌ای ۰/۳۸ میلی‌متر برآورد شد. همچنین \bar{E}/\bar{R} و ضریب تاج بارش مستقیم به طور متوسط ۰/۱۴ و ۰/۴۶ به دست آمد. از آنجایی که تاکنون پژوهشی در مورد مقادیر ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، \bar{E}/\bar{R} و ضریب تاج بارش مستقیم گونه سرو نقره‌ای در دنیا انجام نشده است، به همین منظور نتایج این پژوهش با دیگر گونه‌های سوزنی‌برگ در دنیا مورد مقایسه قرار گرفت. مرور منابع، مقادیرهای ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش را ۰/۳۰ تا ۳/۳۲ میلی‌متر (Lankreijer et al., 1993; Link et al., 2004)، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) را صفر تا ۰/۴۰ (Zinke, 1967; Gash et al., 1980) و ضریب تاج بارش مستقیم را ۰/۱۷ تا ۰/۶۰ نشان می‌دهند. برای نمونه، Gash و Morton (۱۹۷۸) مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش و ضریب تاج بارش مستقیم گونه *Pinus sylvestris* را ۰/۸۰ میلی‌متر و ۰/۳۰ گزارش نمودند. Loustau و همکاران (۱۹۹۲) مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش گونه *Pinus pinaster* را ۰/۵۰ میلی‌متر و ضریب تاج بارش مستقیم را ۰/۶۰ برآورد کردند. Lankreijer و همکاران (۱۹۹۳) مقادیرهای ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش و ضریب تاج بارش مستقیم را به ترتیب ۰/۳۰ میلی‌متر و ۰/۴۰ در مورد گونه *Pinus pinaster* برآورد کردند. Llorens (۱۹۹۷) در پژوهشی در مورد گونه *Pinus sylvestris*، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش را ۱/۳ میلی‌متر و ضریب تاج بارش مستقیم را ۰/۱۰ برآورد کرد. Liu (۱۹۹۸)، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش گونه *Pinus elliotti* را ۰/۷۰ میلی‌متر محاسبه کرد. Llorens و Gallart (۲۰۰۰) مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش و ضریب تاج بارش مستقیم گونه

بارندگی رخ می‌دهد و بستگی زیادی به اندازه باران، آب‌دوستی یا آب‌گریزی برگ‌ها و زمان بارندگی دارد (Edwards *et al.*, 1983; De Groen & Savenije, 2006). درحالی‌که تعرق به‌طور روزانه و در مدت زمانی طولانی اتفاق می‌افتد (Savenije, 2004) و بستگی زیادی به ذخیره رطوبت خاک دارد. بنابراین به‌منظور مدیریت صحیح عرصه‌های جنگل‌کاری‌شده، آگاهی از مقدار باران‌رایی و اجزای آن مانند ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، نرخ تبخیر به شدت بارندگی و همچنین ضریب تاج‌بارش مستقیم در کنار مقدار تعرق درختان، می‌تواند به انتخاب گونه‌های مناسب و سازگار در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کمک نماید.

References

- Asadian, Y. 2007. Rainfall interception in an urban environment. M. Sc. Thesis, University of British Columbia, 84p.
- Bagheri, H., Attarod, P., Etemaad, V., Sharafieh, H., Ahmadi, M.T. and Bagheri, M. 2011. Rainfall interception loss by *Cupressus arizonica* and *Pinus eldarica* in an arid zone afforestation. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(2): 314-25 (In Persian).
- Buttle, J.M. and Farnsworth, A.G. 2012. Measurement and modeling of canopy water partitioning in a reforested landscape: The Ganaraska Forest, southern Ontario, Canada. Journal of Hydrology, 466-467: 103-114.
- Calder, I.R. 1996. Dependence of rainfall interception on drop size. 1. Development of the two-layer stochastic model. Journal of Hydrology, 185: 363-378.
- Carlyle-Moses, D.E., Flores Laureano, J.S. and Price, A.G. 2004. Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. Journal of Hydrology, 297: 124-135.
- David, T.S., Gash, J.H.C., Valente, F., Pereira, J.S., Ferreira, M.I. and David, J.S. 2006. Rainfall interception by an isolated evergreen oak tree in a Mediterranean Savannah. Hydrological Processes, 20: 2713-2726.
- De Groen, M.M. and Savenije, H.H.G. 2006. A monthly interception equation based on the

زمان طولانی‌تری انجام می‌پذیرد. همچنین در باران‌های با مقدار کم، نرخ تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی بیشتر از باران‌های با مقدار بزرگتر است.

در این پژوهش، مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم به‌دست‌آمده در دامنه اعداد گزارش‌شده در مورد ضریب تاج‌بارش مستقیم دیگر گونه‌های سوزنی‌برگ قرار دارد. مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم به سرعت باد، اندازه قطرات باران (Rain drop size) و نسبت فضای خالی تاج بستگی زیادی دارد (Flerchinger & Saxton, 1989; Jetten, 1996; Pypker *et al.*, 2012). هر چه تاج یا تاج‌پوشش تنک‌تر باشد، سهم بیشتری از تاج‌بارش بدون برخورد به تاج یا تاج‌پوشش به سطح زمین می‌رسد (Wullaert *et al.*, 2009). در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود آب مواجه هستند، انجام تیمارهای جنگل‌شناسی مانند تنک‌کردن باعث افزایش ضریب تاج‌بارش مستقیم و در نتیجه افزایش باران خالص (مجموع ساقاب و تاج‌بارش) رسیده به کف جنگل می‌شود. در واقع با دانستن این ضریب، می‌توان مقدار فضای خالی تاج یا تاج‌پوشش درختان را به‌دست آورد (Gash & Morton, 1978; Pypker *et al.*, 2012).

Penman (۱۹۶۳) پیشنهاد داد که به‌دلیل مقدار کم باران‌رایی، تبخیر و اتلاف آب توسط این فرآیند در پوشش‌های گیاهی جدا از تعرق برآورد نشود، زیرا اندازه‌گیری آن مشکل و زمان‌بر است. Savenije (۲۰۰۴) به این نتیجه رسید که در مناطقی مانند مناطق خشک و نیمه‌خشک که بیشتر رخدادهای بارندگی، رخدادهایی با مقدار کم هستند، بخش عمده تبخیر توسط فرآیند باران‌رایی به هواسپهر باز می‌گردد؛ از این رو باران‌رایی باید به‌عنوان فرآیندی مجزا از تعرق برآورد شود. وی اثبات کرد که ترکیب‌کردن باران‌رایی و تعرق در یک مفهوم اشتباه است، زیرا مراحل تبخیر در حین فرآیندهای تعرق و باران‌رایی با هم متفاوت است. تعرق یک فرآیند فیزیولوژیک بوده، درحالی‌که باران‌رایی یک فرآیند فیزیکی است. همچنین از نظر مقیاس زمانی این دو فرآیند با هم اختلاف دارند. فرآیند باران‌رایی معمولاً در زمانی کوتاه تا یک روز پس از

- forest and a *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile. *Hydrological Processes*, 16: 2347-2361.
- Jarvis, P.G. and Fowler, D. 2008. Forests and Atmosphere, In: J. Evans, Ed., *The Forests Handbook*, Black-well Science, Oxford, 229-281.
 - Jackson, I.J. 1975. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical forests. *Journal of Hydrology*, 24: 215-238.
 - Jetten, V.G. 1996. Interception of tropical rainforest: Performance of a canopy water balance model. *Hydrological Processes*, 10(5): 671-685.
 - Keim, R.F., Skaugset, A.E. and Weiler, M. 2005. Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. *Journal of Hydrology*, 314: 263-274.
 - Klaassen, W., Bosveld, F. and DeWater, E. 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212-213: 36-50.
 - 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.
 - Leyton, L., Reynolds, E.R.C. and Thompson, F.B. 1967. Rainfall interception in forest and moorland. In: Sopper, W.E., Lull, H.W. (Eds.), *International Symposium on Forest Hydrology*, Pennsylvania State University, Pergamon Press, pp: 163-178.
 - Link, T.E., Unsworth, M. and Marks, D. 2004. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124: 171-191.
 - 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.
 - Llorens, P. 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.
 - Llorens, P. and Gallart, F. 2000. A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology*, 240: 131-144.
 - statistical characteristics of daily rainfall. *Water Resources Research*, 42: 1-10.
 - 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.
 - Edwards, K.A., Classen, G.A. and Schroten, E.H.J. 1983. The water resource in tropical Africa and its exploitation. ILCA Research Report No. 6. Available online: <http://ww.fao.org/wairdocs/ilri/x5524e/x5524e00.htm#contents> (Accessed on March 6, 2009).
 - 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.
 - Flerchinger, G.N. and Saxton, K.E. 1989. Simultaneous heat and water model of a freezing snow-residue-soil system: II. Field verification. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32(2): 573-578.
 - Gash, J.H.C., Lloyd, C.R. and Lachaud, G. 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170: 79-86.
 - Gash, J.H.C. and Morton, A.J. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *Journal of Hydrology*, 38(1-2): 49-58.
 - 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.
 - Geiger, R. 1965. *The Climate near the Ground*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 611p.
 - 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.
 - Hejduk, S. and Kasprzak, K. 2010. Specific features of water infiltration into soil with different management in winter and early spring period. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 58(3): 175-180.
 - Iroumé, A. and Huber, A. 2002. Comparison of interception losses in a broadleaved native

- 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
- 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.
 - Sraj, M., Brilly, M. and Mikos, M. 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean Forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 121-134.
 - Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K. and Verhoest, N.E.C. 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(1): 33-45.
 - Teklehaimanot, Z., Jarvis, P.G. and Ledger, D.C. 1991. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *Journal of Hydrology*, 123: 261-278.
 - Vegas Galdos, F., Álvarez, C., García, A. and Revilla, J.A. 2012. Estimated distributed rainfall interception using a simple conceptual model and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Journal of Hydrology*, 468-469: 213-228.
 - Villarreal, E.L. and Bengtsson, A. 2004. Inner city stormwater control using a combination of best management practices. *Ecological Engineering*, 22(4-5): 279-298.
 - Williams, M.R., Filoso, S. and Lefebvre, P.A. 2004. Effects of land-use change on solute fluxes to floodplain lakes of the central Amazon. *Biogeochemistry*, 68(2): 259-275.
 - Wullaert, H., Pohlert, T., Boy, J., Valarezo, T. and Wilcke, W. 2009. Spatial throughfall heterogeneity in a montane rain forest in Ecuador: Extent, temporal stability and drivers. *Journal of Hydrology*, 377: 71-79.
 - Xiao, Q. and McPherson, E.G. 2011. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. *Urban Ecosystems*, 14: 755-769.
 - Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. *Forest Hydrology*, Pergamon Press, Oxford, 137-161.
 - Lormand, J.R. 1988. The effects of urban vegetation on stormwater runoff in an arid environment. Master's thesis, School of Renewable National Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona, 100p.
 - Loren, L.W., Frank, H.W. and Thomas, F.C. 2010. Effect of land cover change on runoff curve number in Iowa, 1832-2001. *Ecohydrology*, 4(2): 315-321.
 - Loustau, D., Bergiger, P. and Granier, P. 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. II. An application of Gash analytical model of interception. *Journal of Hydrology*, 138: 469-485.
 - Mair, A. and Fares, A. 2010. Throughfall characteristics in three non-native Hawaiian forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 1453-1466.
 - Monteith, J.L. and Unsworth, M.H. 1990. *Principles of Environmental Physics*, 2nd Ed., Edward Arnold, New York, pp: 53-54.
 - Motahari, M. and Attarod, P. 2012. Canopy water storage capacity and its effects on rainfall interception in a *Pinus eldarica* plantations in a semi-arid climate zone. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1): 109-121 (In Persian).
 - Owens, M.K., Lyons, K.R. and Alegandro, C.L. 2006. Rainfall partitioning within semiarid Juniper communities: effects of event size and canopy cover. *Hydrological Processes*, 20: 3179-3189.
 - Penman, H.L. 1963. *Vegetation and Hydrology*. Tech. Comment No. 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, Harpenden, commonwealth Agricultural Bureaux, Farham Royal. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 89: 565-566.
 - 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.
 - 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.
 - Pypker, T.G., Tarasoff, C.C. and Koh, H.S. 2012.

Tree-based estimation of canopy water storage capacity and direct throughfall coefficient of *Cupressus arizonica* Green.

S.M.M. Sadeghi¹, P. Attarod^{2*}, T.G. Pypker³ and V. Bayramzadeh⁴

1- M.Sc. Student of Silviculture and Forest Ecology, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

2*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. E-mail: attarod@ut.ac.ir

3- Assistant Prof., Department of Natural Resource Sciences, Faculty of Science, Thompson Rivers University, Kamloops, British Columbia, Canada.

4- Assistant Prof., Department of Wood Science, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Alborz Province, Iran.

Received: 11.04.2013

Accepted: 05.06.2014

Abstract

The aim of this study was to estimate the individual tree-based 1) canopy water storage capacity (S), 2) ratio of mean evaporation rate from the wet canopy to the mean rainfall intensity ($\overline{E}/\overline{R}$) by the Pereira method, and 3) direct throughfall coefficient (p) for *Cupressus arizonica* trees. The trees were afforested in the Chitgar forest park in Tehran which is classified as a semiarid region. Measurements were carried out from February 2011 to February 2012. To measure the gross rainfall (GR), six rain-gauges were installed in an open space adjacent to the trees. Throughfall (TF) was measured using a number of twenty rain-gauges located under the crown of five individual trees. Rainfall interception (I) was calculated as the difference between GR and TF . During the measurement period, 55 rainfall events were recorded with a cumulative depth of 234 mm. The *C. arizonica* trees intercepted 21.8% and 32.1% of the incident rainfall on cumulative-based and event-based (each GR) manner, respectively. Positive and negative power correlations were observed between I and GR ($r = 0.89$) as well as between ($I: GR$) % and GR ($r = 0.69$) for the mean value of five individual trees. Mean values of S , $\overline{E}/\overline{R}$, and p were estimated as 0.38 mm, 0.14, and 0.46, respectively. I and its elements ($\overline{E}/\overline{R}$), S , and p as well as transpiration of trees are, therefore concluded as necessary parameters to be considered when selecting suitable species for afforestation projects in the arid and semiarid zone. In addition and as a key parameter for calculating I , S can be optimally estimated by Pereira method which is exclusively proposed for tree-based measurements.

Key words: Canopy water storage capacity, *Cupressus arizonica*, Direct throughfall coefficient, Pereira method, Rainfall interception, Semiarid climate.