

## روش‌های رگرسیونی برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و ضریب تاج‌بارش مستقیم در توده دست‌کاشت کاج تهران

سید محمدمعین صادقی<sup>۱</sup> و پدرام عطارد<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۳)

### چکیده

مطالعه حاضر با هدف برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش ( $S$ )، نرخ تبخیر به شدت بارندگی ( $\bar{E}/\bar{R}$ ) و ضریب تاج‌بارش مستقیم ( $p$ ) با استفاده از روش‌های رگرسیونی (Mean, Morton و Gash, Minimum) در توده ۴۴ ساله کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) واقع در پارک جنگلی چیتگر با اقلیم نیمه‌خشک انجام گرفت. مقدار بارندگی ( $GR$ ) در هر رخداد به‌وسیله ۱۰ باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین محیط باز و تاج‌بارش ( $TF$ ) به‌وسیله ۵۰ باران‌سنج که به‌طور تصادفی در زیر تاج‌پوشش توده نصب شده بودند، در دوره یکساله (از تاریخ ۱۳۹۱/۰۶/۰۱ تا ۱۳۹۲/۰۶/۰۱) اندازه‌گیری شد. باران‌ریایی ( $I$ ) از تفاوت  $TF$  و  $GR$  در هر بارش به‌دست آمد. در مجموع ۵۰ رخداد  $GR$  با عمق تجمعی ۲۶۲/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری و مقادیر  $TF$  تجمعی و درصد تاج‌بارش در هر رخداد ( $TF:GR$ ) به‌ترتیب ۶۹/۵ درصد و ۵۳/۲ درصد برآورد شد. بهترین رابطه برازش داده‌شده بین درصد تاج‌بارش در هر رخداد ( $TF:GR$ ) و  $GR$  در کل دوره پژوهش به‌صورت مثبت و لگاریتمی با ضریب تبیین ( $R^2$ ) ۰/۶۳۰ به‌دست آمد [۳۵/۴۹۴  $TF:GR = 16/598 \ln(GR) +$ ]. همچنین این روابط برای دوره‌های خشک (اردیبهشت تا دهم آبان و مرطوب به‌صورت مثبت و خطی به ترتیب با ضرایب  $R^2$  ۰/۹۸۸ و ۰/۹۶۶ محاسبه شد. مقدار ضریب  $p$ ، ۰/۱۹ و مقدار متوسط  $S$  با کمک سه روش مذکور، ۱/۲۳ میلی‌متر و ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$  نیز ۰/۱۰ محاسبه شد. از آنجا که اندازه‌گیری اجزای  $GR$ ، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک زمان‌بر و هزینه‌بر است و اندازه‌گیری‌ها به‌صورت دستی با حضور در عرصه انجام می‌گیرد، روش‌های رگرسیونی برآورد  $I$  و اجزای آن مانند  $S$  و ضرایب  $p$  و  $\bar{E}/\bar{R}$  می‌توانند کاربرد زیادی داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم نیمه‌خشک، باران‌ریایی، تاج‌بارش، سوزنی‌برگ.

Pypker *et al.*, 2005, 2012; Asadian and Weiler, 2008; Krämer and Hölscher, 2009; Licata *et al.*, 2011; Sadeghi *et al.*, 2013, 2014, (2015a, b).

کمترین مقدار باران برای اشباع تاج‌پوشش را ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش می‌نامند (Sadeghi *et al.*, 2013, 2014). به‌طور کلی، اکوسیستم‌های جنگلی، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش بیشتری نسبت به اکوسیستم‌های کشاورزی و علفزارها دارند (Van Dijk and Bruijnzeel, 2001; Vegas Galdos *et al.*, 2012). ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش بیشتر سبب می‌شود که مقدار  $I$  در اکوسیستم‌های جنگلی بیش‌تر از سایر اکوسیستم‌های گیاهی باشد. همچنین مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش سوزنی‌برگان بیشتر از پهن‌برگان است (Zinke, 1967; Samba *et al.*, 2001; Sadeghi *et al.*, 2015b). یکی از شاخص‌های تأثیرگذار بر ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران در هر رخداد  $(\bar{E}/\bar{R})$  است (Licata *et al.*, 2011).

بیشینه مقدار باران برای اشباع تاج‌پوشش را نقطه اشباع آبی تاج‌پوشش  $(P_s)$  می‌نامند که از جمع مقادیر ضریب تاج‌بارش و ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (میلی‌متر) به‌دست می‌آید (Carlyle-Moses and Gash, 2011). در هنگام استفاده از روش‌های رگرسیونی در برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی که نقطه انحنا یا خمیدگی بین نمودار تاج‌بارش - محور  $y$  و باران - محور  $x$  است، در نظر گرفته می‌شود که نشان‌دهنده این است که قبل از این نقطه تمام مقدار تاج‌بارش رسیده به کف جنگل به صورت تاج‌بارش بوده و مقدار ریزش‌های تاجی برابر صفر در نظر گرفته می‌شود که در اصطلاح به آن،

## مقدمه و هدف

تاج‌بارش ( $TF$ )<sup>۱</sup> بخشی از باران ( $GR$ )<sup>۲</sup> است که با عبور از روشنه‌های تاج‌پوشش (تاج‌بارش مستقیم)<sup>۳</sup> یا برخورد به تاج‌پوشش (ریزش‌های تاجی،  $CD$ )<sup>۴</sup> به پوشش کف جنگل می‌رسد. بخشی از باران که از طریق تاج‌پوشش درختان ربایش شده و به پوشش کف جنگل نمی‌رسد، باران‌ربایی ( $I$ )<sup>۵</sup> نامیده می‌شود (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳; Sadeghi *et al.*, 2014, 2015a, b).

مقدار تاج‌بارش در اکوسیستم‌های جنگلی به عوامل اقلیمی شامل مقدار بارش، شدت بارش، اندازه قطرات باران، زمان بارش (روز/شب، فصل)، زاویه بارش، طول دوره بارش، فاصله زمانی بین رخدادهای بارش، نوع بارش (برف، تگرگ و باران)، دمای هوا، نرخ تبخیر، درصد رطوبت نسبی سرعت و جهت باد (Gash, 1979; Wei and Zhou, 1991; Satterlund and Adams, 1992; Davie and Durocher, 1997; Klaassen *et al.*, 1998; Baird and Wilby, 1999; Huber and Irumé, 2001; Price and Carlyle-Moses, 2003; Vrugt *et al.*, 2003; Link *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2005, 2012; Bryant *et al.*, 2005; Llorens and Domingo, 2007; Staelens *et al.*, 2008; Licata *et al.*, 2011; Sadeghi *et al.*, 2013, 2014, 2015a, b) و نیز عوامل زیستی شامل تراکم توده، ترکیب پوشش گیاهی، اشکوب‌بندی، تراکم و توزیع مکانی شاخه‌ها، شاخص پوشش گیاهی (مجموع شاخص‌های سطح برگ و سطح چوب)، بافت پوست تنه و شاخه‌ها، شکل برگ‌ها، آب‌گریزی/آب‌دوستی برگ‌ها، نوع گونه (سوزنی‌برگ/پهن‌برگ، خزان‌کننده/همیشه‌سبز)، درصد تاج‌پوشش، سن توده، سطح مقطع درختان و ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش ( $S$ )<sup>۶</sup> بستگی دارد (Aussenac, 1968; Herwitz, 1987; Liu, 1997; Link *et al.*, 2004; Wei *et al.*, 2005; Fleischbein *et al.*, 2005;

<sup>1</sup> Throughfall ( $TF$ )

<sup>2</sup> Gross rainfall ( $GR$ )

<sup>3</sup> Free throughfall/ Direct throughfall

<sup>4</sup> Canopy drips ( $CD$ )

<sup>5</sup> Rainfall interception ( $I$ )

<sup>6</sup> Canopy (water) storage capacity ( $S$ )

<sup>7</sup> The ratio of mean evaporation rate from the wet canopy to the mean rainfall intensity ( $\bar{E}/\bar{R}$ )

<sup>8</sup> Canopy saturation point ( $P_s$ )

ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش انتخاب شود تا آب بیش‌تری به پوشش کف جنگل برسد (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳).

دانستن مقدار صحیح ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش مربوط به هر گونه/توده در فرایندهای مدلسازی و پیش‌بینی مقدار  $I$  ضروری است (Gash *et al.*, 1995; Sadeghi *et al.*, 2013). شناخت فرایند باران‌ربایی و اجزای آن در مدیریت منابع آبی، جنگلداری، کشاورزی و بحث تغییر اقلیم بسیار مهم است (Muzylo *et al.*, 2009). برای برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، روش‌های مبتنی بر رگرسیون، که با اندازه‌گیری مقدار تاج‌بارش در هر رخداد باران در عرصه همراه‌اند، کاربرد وسیع‌تری دارند (Gash *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 2007; Pypker *et al.*, 2012). دلیل کاربرد وسیع این روش‌ها، هزینه کم و دقت قابل قبول آنهاست (Asadian, 2007; Sadeghi *et al.*, 2013, 2014, 2015a, b). هرچند که برای افزایش صحت ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش برآوردشده با استفاده از این روش‌ها، باید تعداد کافی رخدادهای باران اندازه‌گیری شوند (Sadeghi *et al.*, 2015a).

هدف از این پژوهش، برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش ( $S$ )، نرخ تبخیر به شدت بارندگی ( $\bar{E}/\bar{R}$ ) و ضریب تاج‌بارش مستقیم ( $p$ ) با استفاده از روابط رگرسیونی در دوره یکساله در توده دست‌کاشت کاج تهران است. برآورد این اجزا در انتخاب گونه‌های مناسب و سازگار برای جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیز برآورد بیلان آبی جنگلکاری‌ها اهمیت دارد.

## مواد و روش‌ها

### - منطقه پژوهش

این پژوهش در توده دست‌کاشت ۴۴ ساله کاج تهران در قطعه نمونه ۰/۳ هکتاری، واقع در پارک جنگلی چیتگر، بین شهرهای تهران و کرج (عرض

نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی می‌گویند. در واقع تا قبل از این نقطه، با افزایش باران، مقدار تاج‌بارش با روند کندی افزایش می‌یابد و از این نقطه به بعد، به دلیل اشباع تاج‌پوشش، شاهد شروع تاج‌بارش به‌صورت ریزش‌های تاجی (علاوه بر مقادیر تاج‌بارش مستقیم)، خواهیم بود. در نهایت از جمع مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم (میلی‌متر) و ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (میلی‌متر)، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش محاسباتی به‌دست می‌آید.

امروزه مدیریت بهینه منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت زیادی پیدا کرده است (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳؛ صادقی و همکاران، Gutschick and BassiriRad, 2003; Sadeghi *et al.*, 2014, 2015a, b). مقدار آب در دسترس پوشش گیاهی در این مناطق تنها از روی مقدار  $GR$  تعیین نمی‌شود و بستگی زیادی به اجزای مختلف بیلان آب در این مناطق (باران‌ربایی، رواناب، ظرفیت نگهداری آب لاشبرگ، ظرفیت نگهداری آب خاک، تبخیر از سطح خاک) دارد (Chang, 2003; Loik *et al.*, 2004). به‌طور کلی در این مناطق بیش از ۹۵ درصد آب باران به‌صورت تبخیرتغرق ( $ET$ )<sup>۱</sup> دوباره به هواسپهر باز می‌گردد (Breshears *et al.*, 2005). تبخیرتغرق از مجموع مقادیر آب تبخیر از سطح خاک، تعرق پوشش گیاهی و باران‌ربایی تشکیل می‌شود. مهم‌ترین شاخص کنترل‌کننده مقدار باران‌ربایی پوشش‌های گیاهی، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش آنهاست (Pypker *et al.*, 2005). بیشتر رخدادهای بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخدادهای با مقدار متوسط و کوچک‌اند (Loik *et al.*, 2004). درصد زیادی از مقدار باران در توده‌هایی که ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش زیادی داشته باشند، به پوشش کف جنگل نمی‌رسد و بنابراین در این مناطق، باید گونه‌هایی با مقدار اندک

<sup>1</sup> Evapotranspiration ( $ET$ )

ارتفاع درخت در نظر گرفته شد).

بعد از اندازه‌گیری هر باران، باران‌سنج‌ها از آب تخلیه و از شاخ و برگ تمیز شدند و سپس در جای خود قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری مقدار تاج‌بارش، ۵۰ باران‌سنج دستی، مشابه باران‌سنج‌های اندازه‌گیری باران، در ابتدا به صورت تصادفی زیر تاج‌پوشش توده کاج تهران قرار داده شدند. توزیع این باران‌سنج‌ها به گونه‌ای بود که تمام سطح قطعه نمونه را به صورت یکنواخت پوشش دهند. بعد از هر پنج رخداد باران (Pypker *et al.*, 2005)، نیمی از باران‌سنج‌ها جابه‌جا و در مکان‌های دیگر در سطح توده به‌طور تصادفی نصب می‌شدند و نیمی از باران‌سنج‌ها نیز در کل دوره پژوهش در نقاط ثابت در توده مستقر بودند. هدف از این کار، کاهش خطا در اندازه‌گیری تاج‌بارش در سطح توده است (Lloyd and De Marques, 1988; Tóbon-Marín *et al.*, 2000)، زیرا تغییرات مکانی تاج‌بارش در سطح توده بسیار زیاد است و مرور منابع نشان می‌دهد که با جابه‌جایی تعدادی از باران‌سنج‌ها بعد از هر رخداد باران، شاهد کاهش خطای اندازه‌گیری تاج‌بارش خواهیم بود (Van Dijk and Bruijnzeel, 2001; Ziegler *et al.*, 2009).

میزان (حجم) باران و تاج‌بارش طی هر بارندگی با استفاده از استوانه‌ی مدرج با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. محفظه‌ی اطراف کلیه باران‌سنج‌ها با فویل‌های آلومینیومی جهت کاهش اثر نور خورشید (تبخیر) پوشانده شد (Fleischbein *et al.*, 2005).

مرور منابع نشان می‌دهد که در سوزنی‌برگان سهم ساقاب ( $SF$ )<sup>۱</sup> ناچیز (کمتر از ۲ درصد) است (Gash *et al.*, 1995; Valente, 1999; Levia and Frost, 2003; Dang *et al.*, 2005; Licata *et al.*, 2011). بسیاری از مطالعات از اندازه‌گیری  $SF$ ، به دلیل وقتگیر و پرهزینه بودن در کنار سهم کم، آن صرف‌نظر کنند

جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۲۵۰ متر) انجام گرفت. مشخصات این توده شامل میانگین قطر برابر سینه ۲۲ سانتی‌متر، ارتفاع ۹/۱ متر، ارتفاع تاج ۲/۹ متر، درصد تاج‌پوشش ۶۰ درصد، تعداد در هکتار ۱۰۲۰ پایه درخت، تک‌اشکوبه و میانگین شیب، چهار درصد است. ۴۵ درصد پوشش گیاهی این پارک را گونه کاج تهران تشکیل می‌دهد.

- اقلیم

برای تعیین وضعیت اقلیمی منطقه، از داده‌های اقلیمی ثبت‌شده در طی دوره ۱۷ ساله (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۱) ایستگاه هواشناسی همدیدی چیتگر (۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و هشت دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲۱۵ متر از سطح دریا) استفاده شد. میانگین دمای سالانه ( $\pm$  خطای معیار) ۱۷/۰ درجه سانتی‌گراد ( $\pm ۰/۱$ ) و میانگین بارندگی سالانه ۲۷۲ میلی‌متر ( $\pm ۱۳/۰$ ) گزارش شده است. با استفاده از فرمول دومارتن، منطقه پژوهش با شاخص خشکی ۱۰/۱، در طبقه اقلیمی نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. با استفاده از منحنی آمبروترمیک، دوره خشکی در این منطقه شش ماه از سال (از پنجم اردیبهشت تا دهم آبان) و دوره مرطوب از اول فرودین تا چهارم اردیبهشت و از یازدهم آبان تا آخر اسفند را شامل می‌شود.

- روش اندازه‌گیری و محاسبه اجزای باران

برای برآورد مقدار باران‌رایی تاج‌پوشش، مقادیر باران و تاج‌بارش در دوره یکساله (از ۱۳۹۱/۰۶/۰۱ تا ۱۳۹۲/۰۶/۰۱) اندازه‌گیری شدند. با استفاده از ۱۰ عدد باران‌سنج دستی با قطر دهانه هشت سانتی‌متر و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر در نزدیک‌ترین فضای باز در مجاورت توده مورد نظر، مقدار باران در هر رخداد بارش محاسبه شد. محل استقرار باران‌سنج‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که با تاج درختان تداخل نداشته باشند (حداقل فاصله آنها تا نزدیک‌ترین درخت برابر

<sup>۱</sup> Stemflow/Stemfall ( $SF$ )

تاج‌بارش، محور  $y$  و باران، محور  $x$  را تشکیل می‌دهند. ۱- روش Minimum (Leyton *et al.*, 1967; ) (Llorens and Gallart, 2000): ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش از رسم رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران به دست می‌آید؛ با قرار دادن صفر به جای مقدار تاج‌بارش، در معادله حاصل، مقدار به دست آمده برابر با مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش خواهد بود.

۲) روش Gash و Morton (1978): در این روش، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش از رسم معادله رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران، برآورد می‌شود. یعنی در معادله خط رگرسیون، مقدار باران برابر با صفر قرار داده می‌شود و عدد به دست آمده برابر با مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش است (Gash and Morton, 1978).

۳) روش Mean (Link *et al.*, 2004): در این روش ابتدا دو رگرسیون خطی رسم می‌شود. رگرسیون الف بین تاج‌بارش و باران برای باران‌هایی است که برای اشباع تاج‌پوشش کافی نیستند (کمتر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش). رگرسیون ب رابطه بین تاج‌بارش و باران در بارندگی‌هایی است که برای اشباع تاج‌پوشش کافی و مناسبند (برابر یا بزرگ‌تر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش). تفاوت بین تاج‌بارش و باران در محل برخورد دو خط رگرسیون، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش را نشان می‌دهد (Link *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2005).

ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$ ، برابر تفاضل شیب رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران (برای رخدادهای برابر یا بزرگ‌تر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش) از یک است (Klaassen *et al.*, 1998; Link *et al.*, 2004; ) (Pypker *et al.*, 2012; Sadeghi *et al.*, 2013). با ضرب کردن میانگین مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش در ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$ ، مقدار  $\bar{E}/\bar{R}$  به میلی‌متر به دست می‌آید.

(Llorens and Gallart, 2000; Liu *et al.*, 2001; ) (Gomez-Peralta *et al.*, 2008; Licata *et al.*, 2011; Sadeghi *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2013). در این پژوهش نیز به دلایل یادشده، ساقاب اندازه‌گیری نشد و مقدار باران‌ریایی از تفاضل مقدار تاج‌بارش از مقدار باران در هر رخداد باران به دست آمد.

- روش‌های برآورد مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم و ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش

در روش‌های مبتنی بر رگرسیون در برآورد مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم و ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، در ابتدا یک نقطه به صورت چشمی به عنوان نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی در نظر گرفته می‌شود.

ضریب تاج‌بارش مستقیم را می‌توان به صورت غیرمستقیم، از شیب رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران، برای باران‌هایی کمتر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش، تخمین زد (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Leyton *et al.*, 1967; Jackson, 1975; Gash *et al.*, 1995; Pypker *et al.*, 2005; Sadeghi *et al.*, 2013; 2014, 2015a, b). مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم (میلی‌متر) از حاصل ضرب میانگین مقدار تاج‌بارش تمام رخدادهای باران (میلی‌متر) در عدد ضریب تاج‌بارش مستقیم به دست می‌آید. ضریب تاج‌بارش مستقیم در رخدادهای باران کوچک‌تر از نقطه اشباع آب تاج‌پوشش از جنس باران است، زیرا در این باران‌ها فرض بر این است که مقدار ریزش‌های تاجی برابر صفر است. شایان ذکر است که ضریب تاج‌بارش مستقیم در کل رخدادهای باران از جنس تاج‌بارش است و نشان می‌دهد که چند درصد از مقدار تاج‌بارش رسیده به کف جنگل از فضای خالی تاج‌پوشش عبور می‌کند.

به منظور برآورد مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، از باران‌های برابر یا بیشتر از مقدار برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش، بر اساس سه روش زیر استفاده می‌شود (Jackson, 1975; Klaassen *et al.*, )

### نتایج

درصد) و ۸۰/۰ میلی‌متر (۳۰/۵ درصد) اندازه‌گیری و محاسبه شد. میانگین (±خطای معیار)، بیشترین و کمترین مقدار تاج‌بارش در کل دوره پژوهش به ترتیب ۳/۳ (±۰/۶)، ۱۵/۹ و ۰/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین میانگین، بیشینه و کمینه مقدار باران‌ریایی نیز در کل دوره پژوهش به ترتیب ۱/۵ (±۰/۱)، ۴/۴ و ۰/۲ میلی‌متر برآورد شد (جدول ۱).

در طول دوره پژوهش، ۲۶۲/۵ میلی‌متر باران در ۵۵ رخداد اندازه‌گیری شد که ۱۸ رخداد باران در دوره خشک (با عمق تجمعی ۶۲/۵ میلی‌متر) و ۳۷ رخداد باران در دوره مرطوب (با عمق تجمعی ۲۰۰ میلی‌متر) جمع‌آوری شد. مجموع عمق تاج‌بارش و باران‌ریایی در توده کاج تهران به ترتیب ۱۸۲/۵ میلی‌متر (۶۹/۵

جدول ۱- میانگین، خطای معیار، بیشینه، کمینه و مجموع عمق بارندگی (GR) و باران‌ریایی (I) توده کاج تهران در کل دوره پژوهش و به تفکیک دوره‌های خشک (پنجم اردیبهشت تا دهم آبان) و مرطوب در پارک جنگلی چیتگر تهران

I			GR						
دوره مرطوب		دوره خشک	کل دوره		دوره مرطوب	دوره خشک	کل دوره		
درصد	میلی‌متر	درصد	میلی‌متر	درصد	میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر		
۲۷/۸	۱/۵	۳۷/۱	۱/۳	۳۱/۳	۱/۵	۵/۴	۳/۵	۴/۸	میانگین
۱۳/۳	۰/۲	۱۵/۴	۰/۲	۶/۷	۰/۱	۰/۸	۰/۹	۰/۶	خطای معیار (±)
۷۳/۸	۴/۴	۷۹/۳	۳/۱	۷۹/۳	۴/۴	۱۷/۳	۱۳/۹	۱۷/۳	بیشینه
۵/۲	۰/۲	۲۲/۳	۰/۴	۵/۲	۰/۲	۰/۵	۰/۷	۰/۵	کمینه
۱۰۰	۵۶/۳	۱۰۰	۲۳/۷	۱۰۰	۸۰	۲۰۰	۶۲/۵	۲۶۲/۵	مجموع

خشک بود ( $P < 0.05$ ).

در پژوهش پیش رو، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی برای کل دوره پژوهش و دوره‌های خشک و مرطوب به ترتیب ۱/۴، ۱/۸ و ۱/۴ میلی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۲ نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی را در کل دوره پژوهش نشان می‌دهد).

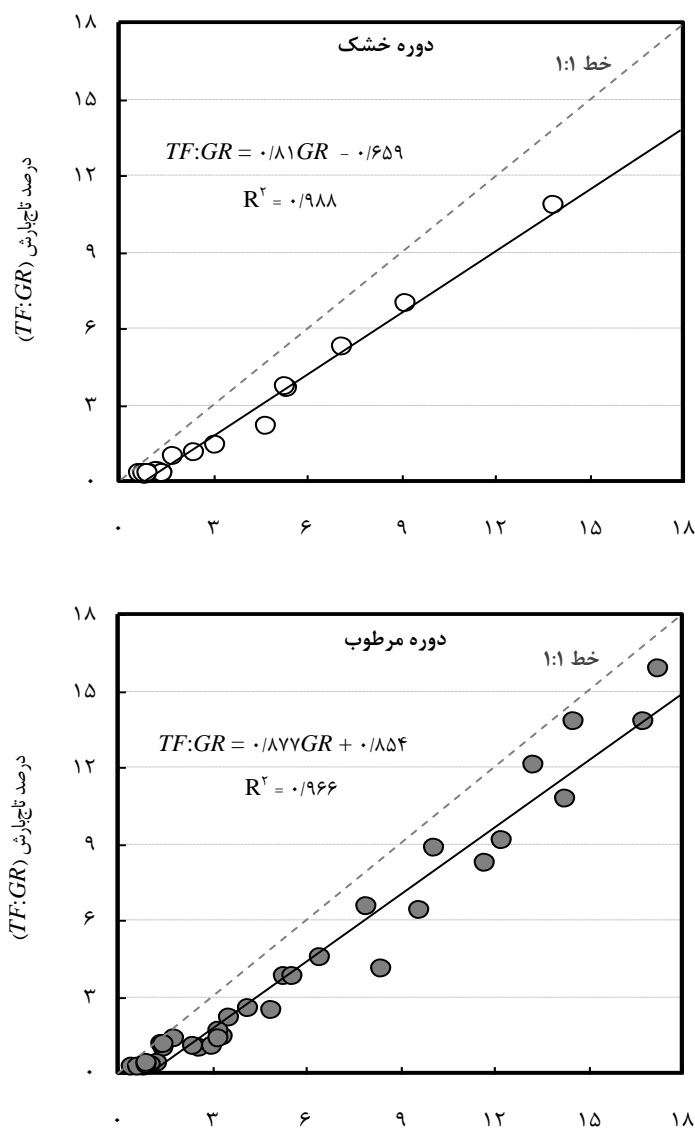
مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (با سه روش) و  $\bar{E}/\bar{R}$  با استفاده از روابط موجود در شکل ۳ محاسبه و اعداد آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

در دوره پژوهش میانگین مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش بر اساس سه روش برآوردی، ۱/۲۳ میلی‌متر (±۰/۰۴) حاصل شد. همچنین مقدار نقطه محاسباتی اشباع آب تاج‌پوشش در کل دوره پژوهش نیز ۲/۰۴ میلی‌متر محاسبه شد.

همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری بین تاج‌بارش و باران در کل دوره پژوهش ( $TF = 0.865GR - 0.811$ ;  $r = 0.985$ ) و نیز دوره‌های خشک ( $TF = 0.810GR + 0.1659$ ;  $r = 0.994$ ) و مرطوب ( $TF = 0.877GR + 0.1854$ ;  $r = 0.983$ ) در سطح ۹۵ درصد مشاهده شد.

بهترین رابطه‌ی برازش داده‌شده بین درصد تاج‌بارش ( $TF:GR$ ) و باران در کل دوره پژوهش به صورت مثبت و لگاریتمی با ضریب تبیین ( $R^2$ ) ۰/۶۳۰ به دست آمد  $[GR + 35/494] \ln (GR) + 16/598$   $TF:GR =$  همچنین این روابط برای دوره‌های خشک و مرطوب به صورت مثبت و خطی به ترتیب با ضرایب تبیین ( $R^2$ ) ۰/۹۸۸ و ۰/۹۶۶ به دست آمد (شکل ۱).

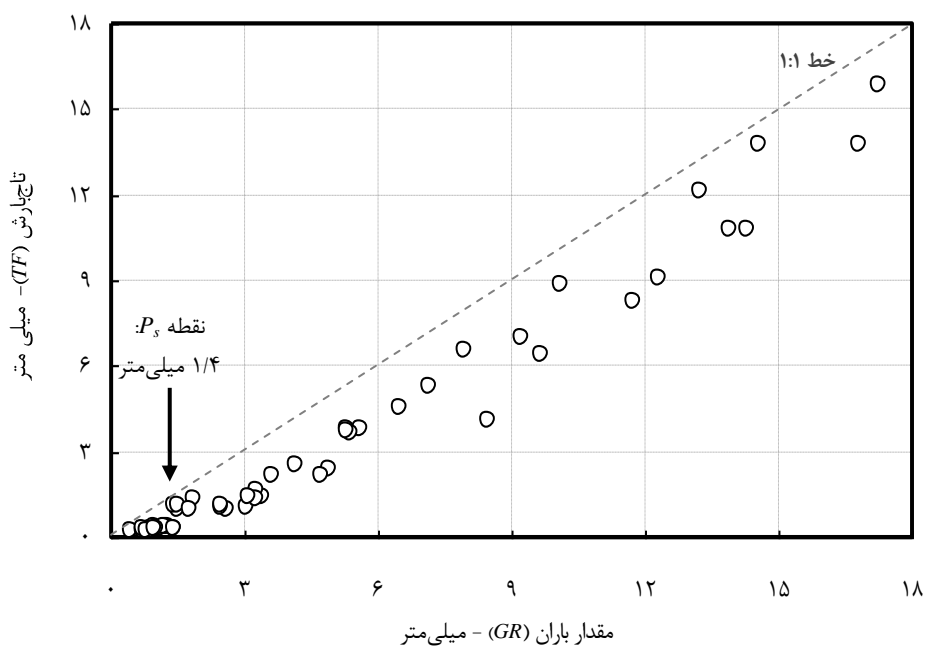
مقدار متوسط درصد تاج‌بارش در دوره پژوهش ۵۳/۲ درصد به دست آمد (جدول ۲) و درصد تاج‌بارش در دوره مرطوب به طور معنی‌داری بیشتر از دوره



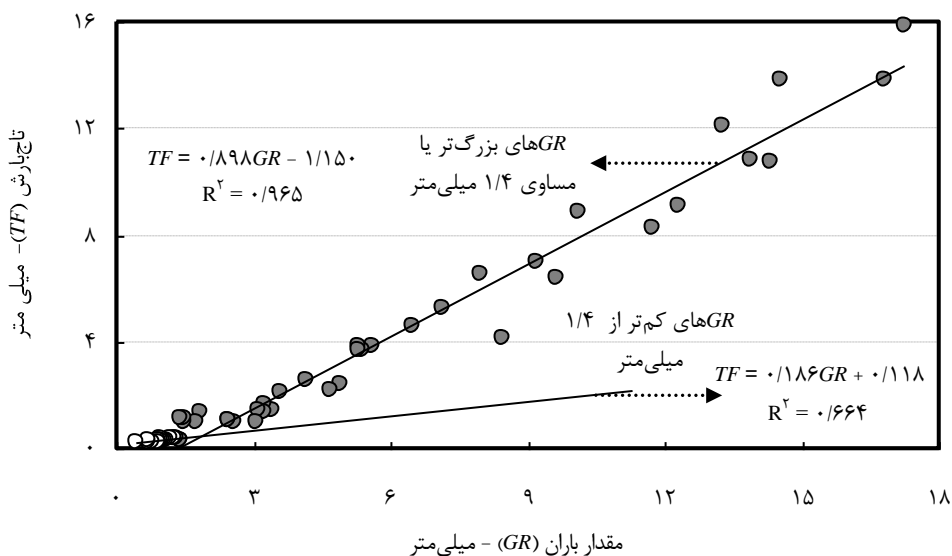
شکل ۱- رابطه درصد تاج‌بارش ( $TF:GR$ ) و باران ( $GR$ ) برای توده کاج تهران در پارک جنگلی چیتگر تهران در دوره‌های خشک (پنجم اردیبهشت تا دهم آبان) و مرطوب (هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد باران است)

جدول ۲- میانگین، خطای معیار، بیشینه و کمینه درصد تاج‌بارش ( $TF:GR$ ) در توده کاج تهران در کل دوره پژوهش و به تفکیک دوره‌های خشک (پنجم اردیبهشت تا دهم آبان) و مرطوب در پارک جنگلی چیتگر تهران

درصد تاج‌بارش ( $TF:GR$ )						
دوره مرطوب		دوره خشک		کل دوره		
درصد	میلی‌متر	درصد	میلی‌متر	درصد	میلی‌متر	
۵۶/۹	۳/۱	۴۵/۶	۱/۶	۵۳/۲	۲/۶	میانگین
۳/۶	۰/۱	۴/۶	۰/۱	۲/۹	۰/۱	خطای معیار ( $\pm$ )
۹۴/۸	۱۵/۹	۷۷/۷	۱۰/۸	۹۴/۸	۱۵/۹	بیشینه
۲۰/۷	۰/۳	۲۲/۳	۰/۳	۲۰/۷	۰/۲	کمینه



شکل ۲- رابطه تاج‌بارش (TF) و باران (GR) برای توده کاج تهران در پارک جنگلی چیتگر تهران در کل دوره پژوهش (اول شهریور ۱۳۹۱ تا اول شهریور ۱۳۹۲) برای برآورد نقطه اشباع تاج‌پوشش ( $P_s$ ) (هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد باران است)



شکل ۳- رابطه‌ی بین تاج‌بارش (TF) و باران (GR) برای توده کاج تهران در پارک جنگلی چیتگر تهران برای باران‌های بیشتر از نقطه اشباع تاج‌پوشش ( $P_s$ ) ( $1/4 \leq$  میلی‌متر) - ۳۷ رخداد باران- و کمتر از نقطه  $P_s$  ( $1/4 >$  میلی‌متر) - ۱۸ رخداد باران- در طی دوره پژوهش (هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد باران است)



جدول ۳- مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم ( $p$ ) و ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش ( $S$ ) برای توده کاج تهران در پارک جنگلی چیتگر تهران در دوره پژوهش (اول شهریور ۱۳۹۱ تا اول شهریور ۱۳۹۲) و دوره‌های خشک (پنجم اردیبهشت تا دهم آبان) و مرطوب

$P_s$ (میلی‌متر)		$\bar{E}/\bar{R}$		$S$ (میلی‌متر)		$p$		
محاسباتی	برآوردی	میلی‌متر	ضریب	Mean	Morton و Gash	Minimum	میلی‌متر	ضریب
۱/۳۵	۱/۴	۰/۱۷	۰/۱۵	۱/۱۶	۰/۹۹	۱/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۱
۱/۹۷	۱/۸	۰/۱۲	۰/۰۹	۱/۳۰	۱/۱۹	۱/۳۲	۰/۷۰	۰/۱۸
۲/۰۴	۱/۴	۰/۱۲	۰/۱۰	۱/۲۶	۱/۱۵	۱/۲۸	۰/۸۱	۰/۱۹

### بحث

بیش‌تر از دوره خشک بود (۵/۴ میلی‌متر در مقابل با ۳/۵ میلی‌متر)، انتظار می‌رفت این نتیجه به دست آید؛ زیرا مرور منابع نشان داد که اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار بر توزیع اجزای باران، مقدار باران در هر رخداد است (عطارد و همکاران، ۱۳۹۰؛ صادقی و عطارد، ۱۳۹۳، صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Sadeghi et al., 2013, 2014, 2015a, b). همچنین در دوره خشک متوسط دمای هوا بیشتر است که سبب می‌شود مقدار آب‌دوستی برگ‌ها افزایش و در نتیجه مقدار تاج‌بارش (منظور مقدار ریزش‌های تاجی) کاهش یابد.

در این پژوهش همبستگی‌های مثبت معنی‌داری بین تاج‌بارش و باران در کل دوره پژوهش و دوره‌های خشک و مرطوب مشاهده شد، به این معنی که با افزایش مقدار باران، مقدار تاج‌بارش افزایش نشان می‌دهد که منطبق بر یافته سایر پژوهشگران است (Carlyle-Moses, 2004; Ahmadi et al., 2009; ) (Sadeghi et al., 2013; Xu et al., 2013).

مطالعات گذشته وابستگی کمی و کیفی تاج‌بارش را به فاکتورهای اقلیمی، خصوصیات باران و ویژگی‌های پوشش گیاهی نشان داده‌اند. از این‌رو اختلاف درصدهای تجمعی و نسبی تاج‌بارش توده تحت بررسی با دیگر توده‌ها را می‌توان به دلیل اختلاف در فاکتورهای اقلیمی (دمای هوا، مقدار تبخیر، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و فشار بخار اشباع هوا)، اختلاف در خصوصیات باران (مقدار بارندگی، شدت بارندگی، مدت زمان بارش باران و

بیشتر مطالعات اکوهیدرولوژی، به‌ویژه در مورد فرایند باران‌ربایی ( $I$ )، در اکوسیستم‌های طبیعی انجام گرفته است (Hörmann et al., 1996; Carlyle-Moses, 2004; Bryant et al., 2005; Ahmadi et al., 2009). به‌تازگی علاقه مدیران و پژوهشگران به مقدار باران‌ربایی و اجزای آن در اکوسیستم‌های دست‌کاشت افزایش یافته است، زیرا باران‌ربایی بخش زیادی از باران (۳۰/۵ درصد در این پژوهش) را در هر توده به خود اختصاص می‌دهد و بنابراین کارشناسان جنگل در انتخاب گونه برای جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با استفاده از مقادیر باران‌ربایی و تعرق قادر به تصمیم‌گیری مناسب به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب برای آبیاری در این اکوسیستم‌ها خواهند بود (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Sadeghi et al., 2014, 2015a, b).

در این پژوهش ۶۹/۵ درصد از مجموع باران سالانه در توده کاج تهران صرف تاج‌بارش می‌شود که به اندازه میانگین نتایج سایر پژوهش‌ها است. مرور منابع نشان می‌دهد که درصد تاج‌بارش سالانه ۵۰ تا ۹۰ درصد است (Carlyle-Moses and Gash, 2011). درصد تاج‌بارش تجمعی دوره مرطوب بیشتر از دوره خشک در توده کاج تهران به‌دست آمد (به‌ترتیب ۷۲/۳ درصد و ۶۸ درصد). درصد تاج‌بارش دوره مرطوب (۵۶/۹ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دوره خشک (۴۵/۶ درصد) محاسبه شد. از آن جایی که مقدار متوسط هر رخداد باران در دوره مرطوب

Wei and Zhou, 1991; Klaassen *et al.*, 1996; Davie and Durocher, 1997; Tóbon-Marín *et al.*, 2000; Liu *et al.*, 2001; Price and Carlyle-Moses, 2003; Link *et al.*, 2004; Wei *et al.*, 2005; در (Staelens *et al.*, 2008; Ahmadi *et al.*, 2009) رخ داده‌های باران با مقدار کم، نرخ  $\bar{E}/\bar{R}$  بالا است (Sadeghi *et al.*, 2013). اغلب با افزایش مقدار  $GR$  درصد رطوبت نسبی نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه درصد تاج‌بارش در مقادیر زیاد باران، زیاد می‌شود (Klaassen *et al.*, 1998). همچنین در رخ داده‌های با مقدار زیاد باران، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش تکمیل می‌شود و در نتیجه درصد بیشتری از هر باران به تاج‌بارش تبدیل می‌شود (Wei *et al.*, 2005; Pypker *et al.*, 2012).

در این پژوهش مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم،  $0/19$  به دست آمد که در دامنه اعداد گزارش شده دیگر محققان است. دلیل اختلاف مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم در این مطالعه با دیگر بررسی‌ها را می‌توان تفاوت در اشکوب‌بندی، اندازه قطرات باران، تعداد در هکتار، درصد تاج‌پوشش و زاویه بارش مربوط دانست (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Leyton *et al.*, 1967; Gash and Morton, 1978; Gash, 1979; Liu, 1997; Pypker *et al.*, 2005; Bryant *et al.*, 2005; Llorens and Domingo, 2007; Sadeghi *et al.*, 2013, 2014, 2015a, b). آگاهی از مقدار این ضریب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که کمبود آب عاملی مهم بر استقرار درختان و زادآوری است، سبب آگاهی در مورد انتخاب فاصله کاشت مناسب، چگونگی اشکوب‌بندی توده‌ها و انتخاب تیمارهای مناسب جنگل‌شناسی (تنک کردن و روشن کردن) می‌شود.

میانگین مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش با سه روش رگرسیونی،  $1/23$  میلی‌متر در دوره پژوهش به دست آمد که در بازه مرور منابع است. مرور منابع در مورد مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش در توده‌های سوزنی‌برگ، دامنه  $0/3$  تا  $6/6$  میلی‌متر را نشان می‌دهد (Zinke, 1967). زاویه برگ‌ها،

زمان وقوع بارندگی، اندازه قطرات باران<sup>۱</sup>، ویژگی‌های پوشش گیاهی (سن توده، ترکیب و ساختار توده، گونه تشکیل دهنده توده، شاخص سطح برگ، تراکم درختان، مورفولوژی و ساختار تاج‌پوشش درختان) و ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش دانست (Jackson, 1975; Rutter *et al.*, 1975; Gash and Morton, 1978; Gash, 1979; Mulder, 1985; Calder, 1996; Xiao *et al.*, 2000; Samba *et al.*, 2001; Iroumé and Huber, 2002; Vrugt *et al.*, 2003; Carlyle-Moses, 2004; Fleischbein *et al.*, 2005; Pypker *et al.*, 2005, 2011, 2012; Ahmadi *et al.*, 2009; Sadeghi *et al.*, 2013, 2014, 2015a, b). نمونه، با افزایش سرعت باد، درصد تاج‌بارش کاهش نشان می‌دهد (Klaassen *et al.*, 1996; Herbst *et al.*, 2008). زیرا افزایش سرعت باد سبب تکان خوردن آب باران از سطح برگ‌ها و کاهش مقدار تاج‌بارش می‌شود. همچنین تکرار باران، عامل بسیار مؤثر بر تاج‌بارش است، به طوری که وقوع یک باران به صورت مستمر، یا چند باران کوچک با وقفه‌های خشک در بین آنها، هر کدام می‌تواند تفاوت زیادی را سبب شود. در حالت دوم، حتی اگر عمق بارندگی با حالت اول یکسان باشد، به دلیل اینکه در فاصله زمانی بین باران‌ها، آب ذخیره می‌تواند به وسیله تبخیر تا حدودی خالی شود، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش بیشتر و در نتیجه تاج‌بارش کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، تاج‌بارش کاهش می‌یابد (Rutter *et al.*, 1975; Herwitz, 1987; Baird and Wilby, 1999; Toba and Ohta, 2005; Pypker *et al.*, 2005; Sadeghi *et al.*, 2015a). بنابراین آگاهی از توزیع مکانی تاج‌بارش به وسیله تاج‌پوشش درختان، به دلیل تأثیرگذاری بر الگوهای مکانی رطوبت در خاک و پراکنش پوشش کف و زادآوری در جنگل بسیار مهم است.

در این پژوهش با افزایش مقدار باران، درصد نسبی تاج‌بارش ( $TF:GR$ ) افزایش یافت که همسو با یافته‌های دیگر پژوهشگران است (Aussenac, 1968; )

<sup>1</sup> Rain drop size

سیستم‌های خودکار وجود ندارد و اندازه‌گیری‌ها به صورت دستی با حضور در عرصه بعد از وقوع هر رخداد بارندگی و تا زمان مشخص بعد از هر رخداد باران (حداکثر تا ۱۰ ساعت پس از اتمام هر رخداد بارش) باید انجام گیرد، مدل‌ها و روش‌های رگرسیونی برآورد باران‌رایی و اجزای آن مانند ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و ضرایب تاج‌بارش مستقیم و  $\bar{E}/\bar{R}$  می‌توانند کاربرد زیادی داشته باشند، به‌ویژه در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که مدت زمان بیشتری نیاز است تا تعداد رخداد باران لازم برای دست‌یافتن به میانگین باران‌رایی هر توده/درخت اندازه‌گیری شود.

### منابع

صادقی، سید محمد معین و پدرام عطارد، ۱۳۹۳. برآورد پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش تک‌درختان کاج تهران در اقلیم نیمه‌خشک، مجله جنگل ایران: ۶(۲): ۱۶۷-۱۸۲.

صادقی، سید محمد معین، پدرام عطارد، توماس گرنٹ پیپرک و ویلما بایرام‌زاده، ۱۳۹۳. برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و ضریب تاج‌بارش مستقیم تک درختان سرو نقره‌ای (پژوهش موردی: پارک جنگلی چیتگر تهران)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲(۳): ۴۶۰-۴۴۷.

عطارد، پدرام، سید محمد معین صادقی، لایلا سلیمان‌نژاد، مهدیه منافی و عتیقه اصغری، ۱۳۹۰. مقایسه باران‌رایی تک درختان کاج تهران و پلت در جنگل‌های شهری، مجله تحقیقات علوم و مهندسی جنگل، ۱(۴): ۵۲-۳۹.

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 the growing season, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33: 557-568.

Asadian, Y., 2007. Rainfall interception in an urban environment. M.Sc. Thesis in the University of British Columbia, Canada.

آب‌دوستی/آب‌گریزی برگ‌ها، اندازه قطرات باران، شدت باران، دمای هوا، سرعت باد، درصد تاج‌پوشش توده و شاخص سطح برگ بیشترین تأثیر را بر ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش در هر توده دارند (Satterlund and Adams, 1992; Calder, 1996; ) Hörmann *et al.*, 1996; Calder *et al.*, 1996; Price and Carlyle-Moses, 2003; Link *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2005, 2012; Liang and Ding, 2013; Sadeghi *et al.*, 2013, 2014, 2015a, b).

در این پژوهش ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$ ، ۰/۱۰ به دست آمد که در بازه مرور منابع (۰-۰/۴۰) است. مقدار ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$  بستگی زیادی به گرادیان فشار بخار اشباع، انرژی جنبشی ذرات باران، مقاومت آیرودینامیکی برگ‌ها و دمای هوا دارد (Zinke, 1967; Chang, 2003; Link *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2005; Liang and Ding, 2013).

مقدار نقطه محاسباتی اشباع آب تاج‌پوشش در این پژوهش ۲/۰۴ میلی‌متر به دست آمد. به این معنی که در نقطه‌هایی از توده که درصد تاج‌پوشش کاملاً بسته است (۱۰۰ درصد)، تا مقدار باران ۲/۰۴ میلی‌متر، هیچ مقداری از تاج‌بارش به پوشش کف جنگل نمی‌رسد. مقدار نقطه محاسباتی اشباع آب تاج‌پوشش از جمع مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم (۰/۸۱ میلی‌متر) و ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (۱/۲۳ میلی‌متر) به دست می‌آید. به دست آوردن این مقدار در هر توده کمک می‌کند تا درصد تاج‌پوشش توده را در مکان‌های مختلف تغییر داد. در نقاط پرشیب در توده، می‌توان نقطه محاسباتی اشباع آب تاج‌پوشش را بیشتر (جلوگیری از خطر فرسایش) در نظر گرفت و در نقاطی که نیاز است آب بیشتری به اشکوب زیرین جنگل برسد، با اعمال روش‌های جنگل‌شناسی می‌توان مقدار نقطه اشباع آب تاج‌پوشش را کاهش داد و با این اقدام از آبیاری توده و هزینه‌های آن جلوگیری و به استقرار زادآوری درختان کمک کرد.

با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری اجزای باران به‌ویژه در ایران که امکان به‌کارگیری

- Asadian, Y., and M. Weiler, 2008. A new approach in measuring rainfall interception by urban trees in coastal British Columbia, *Water Quality Research Journal of Canada*, 44(1): 16-25.
- Aussenac, G. 1968. Interception des précipitations par le couvert forestier, *Annals of Forest Science*, 25(3): 135-156.
- Baird, A.J., and R.L. Wilby, 1999. Eco-hydrology - Plants and water in terrestrial and aquatic environments, Routledge, 424 pp.
- Breshears, D.D., N.S. Cobb, P.M. Rich, K.P. Price, C.D. Allen, R.G. Balice, W.H. Romme, J.H. Kastens, M.L. Floyd, J. Belnap, J.J. Anderson, O.B. Myers, and C.W. Meyer, 2005. Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 15144-15148.
- Bryant, M.L., S. Bhat, and J.M. Jacobs, 2005. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US, *Journal of Hydrology*, 312: 95-108.
- 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.
- Calder, I.R., R.L. Hall, and P.T.W. Rosier, 1996. Dependence of rainfall interception on drop size: 2. Experimental determination of the wetting functions and two-layer stochastic model parameters for five tropical tree species, *Journal of Hydrology*, 185: 379-388.
- Carlyle-Moses, D.E., 2004. Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre oriental matorral community, *Journal of Arid Environments*, 58: 181-202.
- Carlyle-Moses, D.E., and J.H.C. Gash, 2011. Rainfall interception loss by forest canopies. In *Forest hydrology and biogeochemistry: synthesis of past research and future directions*. Levia DF, Carlyle-Moses D, Tanaka T (Ed.). Ecological Studies. Vol. 216. Springer., New York, 740 pp.
- Chang, M., 2003. *Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests*. CRC Press: Boca Raton., Florida, 373 pp.
- Dang, H.Z., Z.F. Zhou, and Y.S. Zhao, 2005. Study on forest interception of *Picea crassifolia*, *Journal of the Soil and Water Conservation*, 19: 60-64
- Davie, T.J.A., and M.G. Durocher, 1997. A model to consider the spatial variability of rainfall partitioning within deciduous canopy 1. Model description, *Hydrological Processes*, 11: 1509-1523.
- Fleischbein, K., W. Wilcke, J. Boy, C. Valarezo, W. Zech, and K. Knoblich, 2005. Rainfall interception in a lower mountain forest in Ecuador: effects of canopy properties, *Hydrological Processes*, 19: 1355-1371.
- Gash, J.H.C., 1979. An analytical model of rainfall interception by forest, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105: 43-55.
- Gash, J.H.C., and A.J. Morton, 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from the Thetford forest, *Journal of Hydrology*, 48: 89-105.
- Gash, J.H.C., C.R. Lloyd, and G. Lachaud, 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model, *Journal of Hydrology*, 170(1-4): 79-86.
- Gomez-Peralta, D., S.F. Oberbauer, M.E. McClain, and T.E. Philippi, 2008. Rainfall and cloud-water interception in tropical montane forests in the eastern Andes of Central Peru, *Forest Ecology and Management*, 255(3-4): 1315-1325.
- Gutschick, V. P., and H. BassiriRad, 2003. Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants: toward a unified definition and evaluation of their consequences, *New Phytologist*, 160: 21-42.
- Herbst, M., P.T.W. Rosier, D.D. MnNeil, R.J. Harding, and D.J. Gowing, 2008. Seasonal variability of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1655-1667.
- Herwitz, S.R., 1987. Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on streamflow and throughfall generation, *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 425-432.

- Hörmann, G., A. Branding, T. Clemen, M. Herbst, A. Hinrichs, and F. Thamm, 1996. Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany, *Agricultural and Forest Meteorology*, 79: 131-148.
- Huber, A., and A. Iromé, 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest cover in Chile, *Journal of Hydrology*, 248: 78-92.
- Iroumé, A., and A. Huber, 2002. Comparison of interception losses in a broadleaved native forest and a *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile, *Hydrological Processes*, 16: 2347-2361.
- Jackson, I.J., 1975. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical rainforest, *Journal of Hydrology*, 24: 215-238.
- Klaassen, W., F. Bosveld, and E. De Water, 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception, *Journal of Hydrology*, 212-213: 36-50.
- Klaassen, W., H.J.M. Lankreijer, and A.W.L. Veen, 1996. Rainfall interception near a forest edge, *Journal of Hydrology*, 185: 349-361.
- Krämer, I., and D. Hölscher, 2009. Rainfall partitioning along a tree diversity gradient in a deciduous old-growth forest in Central Germany, *Ecohydrology*, 2: 102-114.
- Levia, D.F., and E.E. Frost, 2003. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems, *Journal of Hydrology*, 274: 1-29.
- Leyton, L., E.R.C. Reynolds, and F.B. Thompson, 1967. Rainfall interception in forest and moorland. In Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology, Sopper WE, Lull HW (Ed.). Pergamon Press., New York, 163-178 pp.
- Liang, W., and G. Ding, 2013. Simulation of rainfall interception in a *Pinus tabulaeformis* plantation in North China, *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(1): 976-983.
- Licata, J.A., T.G. Pypker, M. Weigandt, M.H. Unsworth, J.E. Gyenge, M.E. Fernández, T.M. Schichter, and B.J. Bond, 2011. Decreased rainfall interception balances increased transpiration in exotic ponderosa pine plantations compared with native cypress stands in Patagonia, Argentina, *Ecohydrology*, 4: 83-93.
- Link, T.E., M. Unsworth, and D. Marks, 2004. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(3-4): 171-191.
- Liu, S.G., 1997. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies, *Ecological Modelling*, 99: 151-159.
- Liu, S.G., P. Sun, and J. Wang, 2001. Hydrological functions of forest vegetation in upper reaches of Yangtze River, *Journal of Natural Resources*, 16: 451-456.
- Llorens, P., and F. Domingo, 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe, *Journal of Hydrology*, 335: 37-54.
- Llorens, P., and F. Gallart, 2000. A simplified method for forest water storage capacity measurement, *Journal of Hydrology*, 240: 131-144.
- Loik, M.E., D.D. Breshears, W.K. Lauenroth, and J. Belnap, 2004. A multi-scale perspective of water pulses in dryland ecosystems: climatology and ecohydrology of the western USA, *Oecologia*, 141: 269-281.
- Mulder, J.P.M., 1985. Simulating interception loss using standard meteorological data. In The Forest-Atmosphere Interaction. Hutchinson BA, Hicks BB (eds). Reidel: Dordrecht, pp. 177-196.
- Muzylo, A., P. Llorens, and F. Valente, 2009. A review of rainfall interception modeling, *Journal of Hydrology*, 370: 191-206.
- Price, A.G., and D.E. Carlyle-Moses, 2003. Measurement and modelling of growing-season canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest stand, southern Ontario, Canada, *Agricultural and Forest Meteorology*, 119: 69-85.

- Pypker, T.G., B.J. Bond, T.E. Link, D. Marks, and M.H. Unsworth, 2005. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 113-129.
- Pypker, T.G., C.C. Tarasoff, and H.S. Koh, 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.
- Rutter, A.J., A.J. Morton, and P.C. Robins, 1975. A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwoods stands, *Journal of Applied Ecology*, 12: 367-380.
- Sadeghi, S.M.M., P. Attarod, and T.G. Pypker, 2015b. Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. Plantation located in a semiarid climate, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17: 145-156.
- Sadeghi, S.M.M., P. Attarod, J.T. Van Stan, T.G. Pypker, and D. Dunkerley, 2015a. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 76-85.
- Sadeghi, S.M.M., P. Attarod, T.G. Pypker, and D. Dunkerley, 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.
- Sadeghi, S.M.M., P. Attarod, T.G. Pypker, and V. Bayramzadeh, 2013. Mathematical models for estimation of canopy water storage capacity by individual *Pinus eldarica* trees. GIAN International Conference "Biosphere Reserves, A way to Sustainability".
- Samba, S.A.N., C. Camire, and H.A. Margolis, 2001. Allometry and rainfall interception of *Cordyla pinnata* in semi-arid agroforestry parkland, Senegal, *Forest Ecology and Management*, 154: 277-288.
- Satterlund, D.R., and P.W. Adams, 1992. *Wildland Watershed Management*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 436 pp.
- Staelens, J., A.D. Schrijver, K. Verheyen, and 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., and T. Ohta, 2005. An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests, *Journal of Hydrology*, 313: 208-220.
- Tobón-Marin, C., I.W. Bouten, and S. Dekker, 2000. Forest floor water dynamics and root water uptake in four forest ecosystems in northwest Amazonia, *Journal of Hydrology*, 237: 169-183.
- Valente, F., 1999. Intercepção da precipitação em povoamentos florestais esparsos. Ph.D. thesis. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Van Dijk, A.I.J.M., and L.A. Bruijnzeel, 2001. Modelling 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.
- Vegas Galdos, F., C. Álvarez, A. García, and J.A. Revilla, 2012. Estimated distributed rainfall interception using a simple conceptual model and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), *Journal of Hydrology*, 468-469: 213-228.
- Vrugt, J.A., S.C. Dekker, and W. Bouten, 2003. Identification of rainfall interception model parameters from measurements of throughfall and forest canopy storage, *Water Resources Research*, 39. DOI: 10.1029/2003WR002013.
- Wang, D., G. Wang, and E.N. Anagnostou, 2007. Evaluation of canopy interception schemes in land surface models, *Journal of Hydrology*, 347: 308-318.
- Wei, X., and X. Zhou, 1991. Hydrological characteristics of oak forest. In studies on Forest Ecosystems, Zhou, X. (Ed.). Northeast Forestry University Press, Harbin, pp. 332-345

- Wei, X., S. Liu, G. Zhou, and C. Wang, 2005. Hydrological processes in major types of Chinese forest, *Hydrological Processes*, 19: 63-75.
- Xiao, Q., E.G. McPherson, L. Ustin, M. Grismer, and J. Simpson, 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California, *Hydrological Processes*, 14: 763-784.
- Xu, Z., Z. Feng, C. Zhao, J. Zheng, J. Yang, F. Tian, H. Peng, C. Wang, S. Peng, and H. Sher, 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.
- Ziegler, A.D., T.W. Giambelluca, M.A. Nullet, R.A. Sutherland, C. Tantasarin, J.B. Vogler, and J.N. Negishi, 2009. Throughfall in an evergreen-dominated forest stand in northern Thailand: Comparison of mobile and stationary methods, *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 373-384.
- Zinke, P.J., 1967. Forest Interception Study in the United States. In: "*Forest Hydrology*" (Ed): Sopper, W.E. and Lull, H.W. *Pergamon Press, Oxford*, PP. 137-161.

## Estimation of the canopy storage capacity and free throughfall coefficient by a *Pinus eldarica* afforestation using the regression-based methods

S.M.M. Sadeghi<sup>1</sup>, and P. Attarod<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran.

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

(Received: 27 October 2013, Accepted: 3 May 2014)

### Abstract

The study aims to estimate the canopy storage capacity ( $S$ ) and the ratio of mean evaporation rate from the wet canopy to the mean rainfall intensity ( $\bar{E}/\bar{R}$ ), and the free throughfall coefficient ( $p$ ) of *Pinus eldarica* (44 years-old-age) afforestation using three regression-based methods (Minimum, Gash and Morton and Mean methods) in the Chitgar Forest Park, near Tehran, with a semiarid climate zone. To measure gross rainfall ( $GR$ ), 10 rain gauges were fixed in an open space nearby to the stand and throughfall ( $TF$ ) was measured during a year using the 50 rain gauges randomly placed underneath the canopy cover. Rainfall interception ( $I$ ) was computed as the difference between  $GR$  and  $TF$ . Fifty rain storms were recorded with a cumulative depth of 262.5 mm. The  $TF$  and  $(TF:GR)\%$  were recorded 69.5% and 53.2% of the rainfall event on the cumulative-based, and event-based (each  $GR$ ), respectively. Positive logarithmic correlations were observed between  $(TF:GR)\%$  and  $GR$  during the study period ( $TF:GR = 16.598 \ln GR + 35.494$ ;  $R^2 = 0.630$ ). For dry (from May to November) and wet periods these values corresponded to 0.988 and 0.966 by positive linear correlations. The mean value of  $S$ ,  $\bar{E}/\bar{R}$ , and  $p$  were estimated 1.23 mm, 0.10, and 0.19, respectively. Since measurements of the amount of  $GR$  and  $I$  are expensive and time-consuming in semiarid and arid regions, and attended measurements in the field are currently carried out, thereto, regression models for estimating  $I$  and its components, e.g.,  $S$ ,  $p$ , and  $\bar{E}/\bar{R}$  coefficients can successfully been applied.

**Keywords:** Needle-leaved, Rainfall interception, Semiarid climate zone, Throughfall.

\* Corresponding author

Tel: +982632223044

Email: attarod@ut.ac.ir