

## بهره‌گیری از روش‌های رگرسیون مبنا در تعیین پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش توده پیسه‌آ کلاردشت

پریسا عباسیان<sup>۱</sup>، پدرام عطارد<sup>۲\*</sup>، سید محمد معین صادقی<sup>۳</sup> و ویلما بایرام‌زاده<sup>۴</sup>

(۱) دانشجوی دکتری رشته جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه تهران، ایران.

(۲) دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران، ایران. \* رایانامه نویسنده مسئول: attarod@ut.ac.ir

(۳) دکتری رشته جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه تهران، ایران.

(۴) دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۲۸

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف برآورد پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش، شامل ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران ( $\bar{E} / \bar{R}$ ) و ضریب تاج‌بارش مستقیم با استفاده از روش‌های رگرسیون مبنا در توده دست‌کاشت پیسه‌آ (*Picea abies*) واقع در کلاردشت مازندران، با اقلیم نیمه‌مرطوب انجام شد. میزان بارندگی ( $P_g$ ) در هر رخداد توسط چهار باران‌سنج در نزدیک‌ترین محیط باز و تاج‌بارش ( $T_f$ ) توسط ۲۰ باران‌سنج که بر اساس طرح تصادفی در زیر تاج‌پوشش توده نصب شده بودند، اندازه‌گیری گردید. باران‌ریایی ( $I$ ) از تفاوت تاج‌بارش و بارندگی در هر بارش به دست آمد. در مجموع ۲۱ رخداد بارندگی با عمق تجمعی ۳۸۰/۱ میلی‌متر ثبت و مقادیر تاج‌بارش تجمعی و درصد تاج‌بارش ( $T_f\%$ ) به ترتیب ۴۸/۸ و ۳۹/۶ درصد اندازه‌گیری شدند. بین باران‌ریایی و بارندگی همبستگی خطی مثبت و معنی‌دار ( $R^2 = 0/88$ ) و بین درصد تاج‌بارش ( $T_f\%$ ) و بارندگی رابطه لگاریتمی ( $R^2 = 0/43$ ) مشاهده شد. مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم، ۰/۳۴، مقدار متوسط ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش، ۲/۱۵ میلی‌متر و ضریب  $\bar{E} / \bar{R}$  ۰/۴۳ محاسبه شد. آگاهی از مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم و ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش، در هنگام اعمال تیمارهای جنگل‌شناسی مناسب در هر توده، با توجه به رژیم بارندگی غالب آن اقلیم، عاملی مهم و موثر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پیسه‌آ، تاج‌بارش، جنگل‌کاری، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش.

### مقدمه

درختان و به طبع آن جنگل‌ها بر چرخه آب تأثیر به‌سزایی دارند (Levia & Frost, 2003). هنگامی که باران ( $P_g$ )<sup>۱</sup> اتفاق می‌افتد، جنگل‌کاری‌ها همچون جنگل‌های طبیعی درصدی از آن را جذب کرده و از رسیدن به پوشش کف جنگل جلوگیری می‌کنند و در واقع بخشی از باران را از چرخه آب جنگل خارج کرده و به اتمسفر باز می‌گردانند که

بحث آب در کشور به دلایلی از قبیل محدودیت منابع آن و توزیع مکانی و زمانی نامناسب بارندگی، توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. همچنین یکی دیگر از دلایل کمبود آب، بالا بودن میزان تبخیر است. بخش اعظم آب‌های حاصل از بارندگی طی فرآیند تبخیر از دسترس خارج می‌شوند.

<sup>1</sup> Gross Rainfall

به آن باران‌ریایی ( $I$ )<sup>۱</sup> می‌گویند. باران‌ریایی بخشی از بارندگی است که توسط تاج‌پوشش و تنه/ساقه درختان جذب شده و در زمان یا پس از رخداد بارندگی از سطح تاج‌پوشش و تنه/ساقه درختان تبخیر می‌شود (Hormann *et al.*, 1996). مقداری از بارندگی که پس از جاری شدن بر روی تنه/ساقه و شاخه‌های درختان به پوشش کف جنگل می‌رسد را ساقاب ( $S_f$ )<sup>۲</sup> می‌نامند. تاج‌بارش ( $T_f$ )<sup>۳</sup>، به مقدار باران رسیده به پوشش کف جنگل از طریق عبور بارندگی از تاج‌پوشش می‌گویند که به دو بخش تاج‌بارش مستقیم<sup>۴</sup>، به معنی مقداری از تاج‌بارش که از منافذ تاج‌پوشش و بدون برخورد با آن به پوشش کف جنگل می‌رسد و ریزش‌های تاجی ( $C_d$ )<sup>۵</sup>، یعنی مقداری از تاج‌بارش که با برخورد به تاج‌پوشش به پوشش کف جنگل می‌رسد، تقسیم‌بندی می‌شود. مقدار تاج‌بارش مستقیم به صورت ضریب تاج‌بارش مستقیم ( $p$ )<sup>۶</sup> تعیین و محاسبه می‌شود. محاسبه ضریب  $p$  اطلاعات زیادی در مورد تنک کردن، فاصله کاشت درختان و درصد تاج‌پوشش توده در اختیار مدیران جنگل می‌گذارد و فاکتوری مهم در مقدار آب رسیده به کف جنگل ( $P_{net}$ )<sup>۷</sup> از طریق تاج‌بارش است (Sadeghi *et al.*, 2014). ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش ( $S$ )<sup>۸</sup>، حداقل مقداری از بارندگی است که برای اشباع شدن تاج پوشش در زمان بارندگی لازم است (Gash & Morton, 1978). ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش به‌عنوان یک پارامتر کنترل‌کننده میزان باران‌ریایی تاج‌پوشش معرفی شده (Liu, 1997) و مقدار این فاکتور در سوزنی‌برگان بیشتر از پهن‌برگان است (Friesen *et al.*, 2015). با توجه به این مطالب که سهم زیادی از باران‌ریایی صرف پر کردن مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش می‌شود، تعیین این مقدار برای توزیع

باران در هنگام برخورد به تاج‌پوشش و تعیین سهم اجزای آن (تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ریایی) مهم است که یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر مقدار  $S$  ( $\bar{E}/\bar{R}$ ) (نسبت بین نرخ تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران در زمان بارندگی)<sup>۹</sup> است.

برای شروع ریزش‌های تاجی نیاز است که تاج درختان کاملاً خیس شود و پس از آنکه ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش تکمیل شده و تاج اشباع گردید (ظرفیت اشباع تاج‌پوشش،  $P_s$ )<sup>۱۰</sup>، تاج‌بارش به صورت ریزش تاجی هم به کف جنگل می‌ریزد؛ یعنی قبل از اینکه ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش اشباع شود، مقدار ریزش تاجی برابر با صفر فرض می‌شود و کل مقدار تاج‌بارش به صورت  $p$  در نظر گرفته می‌شود (با فرض کاملاً بسته بودن تاج‌پوشش (منظور درصد تاج‌پوشش ۱۰۰ درصد است) (Link *et al.*, 2004). مقدار باران‌ریایی تاج-پوشش از فرمول زیر قابل برآورد است (Tobón-Marín *et al.*, 2000):

$$I = P_g - (T_f + S_f) = P_g - ((C_d + p) + S_f) \quad (۱) \text{ رابطه}$$

به دنبال بهره‌برداری‌های غیراصولی و کمبود تجدید-حیات طبیعی در جنگل‌های شمال کشور، این مناطق در معرض تهدید قرار گرفته و بسیار شکننده شده‌اند. یکی از راهکارهای مهم در جهت احیا این جنگل‌ها، جنگل‌کاری است. در حقیقت کاشت گونه‌های جدید بومی و غیربومی، منجر به تغییر در مقدار بارندگی رسیده به کف جنگل می‌شود. با توجه به اهمیت زیاد آب و چرخه آن در اکوسیستم‌های جنگلی، از دیدگاه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، بخشی از بارندگی که به کف جنگل می‌رسد، برای استقرار تجدیدحیات گونه‌های درختی و درختچه‌ای که به مقدار بارندگی رسیده به کف جنگل وابستگی زیادی دارند، اهمیت قابل توجهی دارد (Ahmadi *et al.*, 2009).

<sup>1</sup> Rainfall Interception ( $I$ )

<sup>2</sup> Stemflow

<sup>3</sup> Throughfall

<sup>4</sup> Free Throughfall/ Direct Throughfall

<sup>5</sup> Canopy Drips

<sup>6</sup> Coefficient of Free Throughfall

<sup>7</sup> Net Rainfall

<sup>8</sup> Canopy (Water) Storage Capacity

<sup>9</sup> Ratio of mean evaporation rate from the wet canopy ( $\text{mm h}^{-1}$ ) to the mean rainfall intensity ( $\text{mm h}^{-1}$ )

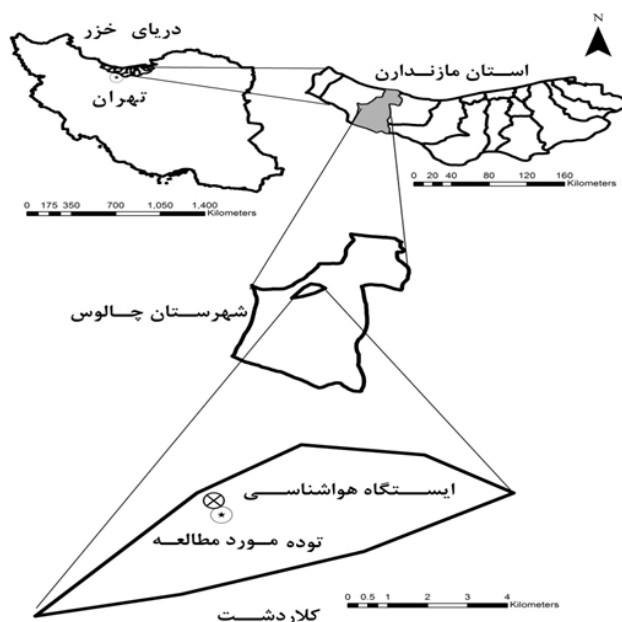
<sup>10</sup> Canopy Saturation Point

ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش، ضریب تاج‌بارش مستقیم و نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران توده دست-کاشت پیسه‌آ در کلاردشت است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در توده دست‌کاشت پیسه‌آ با مساحت ۰/۵ هکتار واقع در منطقه کلاردشت، در ۴۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان چالوس (طول جغرافیایی: ۵۱ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی: ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و میانگین ارتفاع از سطح دریا: ۱۳۲۰ متر) انجام شد (شکل ۱). این منطقه دارای جنگل‌های مخروطه راش-ممرز بوده که در سال ۱۳۴۴ با گونه پیسه‌آ با مبدا بذر یوگسلاوی کشت شده است. مشخصات توده مورد مطالعه در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

از جمله گونه‌های کاشته شده در جنگل‌کاری‌ها می‌توان به پیسه‌آ (*Picea abies*) اشاره کرد که توده‌های خالص آن در گیلان و مازندران دارای توفیق نسبی بوده است. در سال ۱۳۴۳ در شهرستان کلاردشت شروع به کاشت نهال‌های پیسه‌آ با مبدا بذر یوگسلاوی در جنگل‌های مخروطه راش-ممرز در این منطقه نمودند (پورمجیدیان، ۱۳۷۰). موفقیت پیسه‌آ در این منطقه توسط میربادیان و ثاقب‌طالبی (۱۳۷۰) گزارش شده و بهترین رویشگاه آن در کلاردشت در ۲۵ سالگی ۱۲۰ مترمکعب تولید در هکتار داشته است. در داخل کشور، مطالعه‌هایی در زمینه توزیع اجزای باران و پارامترهای اکوهیدرولوژیک درختان پیسه‌آ توسط احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در جنگل‌های لاجیم مازندران و نظام‌دوست و همکاران (۱۳۹۶) در جنگل‌های سیاهکل گیلان انجام گرفته است. با توجه به اینکه گونه پیسه‌آ از جمله گونه‌های مهم جهت جنگل‌کاری در اراضی مناطق شمال کشور می‌باشد، هدف از اجرای این پژوهش اندازه‌گیری مقادیر تاج‌بارش،



شکل ۱. موقعیت توده دست‌کاشت پیسه‌آ در استان مازندران، شهرستان چالوس، منطقه کلاردشت

جدول ۱. میانگین مشخصات کمی توده پیسه‌آ (*Picea abies*) در منطقه کلاردشت

توده پیسه‌آ	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع (متر)	تعداد در هکتار	سطح مقطع درختان (مترمکعب در هکتار)	درصد تاج‌پوشش
۲۸	۲۰/۲	۷۰۰	۴۳/۱	۷۰	

بارندگی سالانه ۴۲۹ میلی‌متر (خطای معیار  $\pm ۷۶/۴$ ) گزارش شده است. میانگین دما و مجموع بارندگی دوره مطالعه (مرداد تا آذر ۱۳۹۱ و فروردین تا خرداد ۱۳۹۲) و میانگین درازمدت این دوره به همراه حداکثر و حداقل دما و بارندگی طی دوره مطالعه و در درازمدت در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای تعیین وضعیت اقلیمی منطقه از داده‌های ثبت شده در طی دوره ۲۱ ساله (۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰) ایستگاه هواشناسی نهالستان کلاردشت (عرض جغرافیایی: ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی: ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا: ۱۱۵۰ متر) استفاده شد. میانگین دمای سالانه ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد (خطای معیار  $\pm ۰/۹$ ) و میانگین

جدول ۲. داده‌های اقلیمی درازمدت (۱۳۹۰-۱۳۷۰) و دوره پژوهش در کلاردشت بر اساس ایستگاه هواشناسی نهالستان کلاردشت

داده اقلیمی	میانگین سالانه	ماه	دوره پژوهش	ماه	درازمدت دوره پژوهش	ماه
کل	۴۲۹ $\pm$ ۷۶/۴		۳۴۸		۴۵۶ $\pm$ ۵۴/۳	
بارندگی (میلی‌متر)		آبان	۷۹	آبان	۵۸ $\pm$ ۳۵/۵	آبان
حداکثر ماهانه	۶۰ $\pm$ ۳۵	مرداد	۷	مهر	۲۱ $\pm$ ۱۴/۶	مرداد
حداقل ماهانه	۲۱ $\pm$ ۱۶/۳		۱۱		۱/۸ $\pm$ ۶/۹	
دما (درجه سانتی‌گراد)		مرداد	۲۲	مرداد	۲۱/۸ $\pm$ ۱/۳	مرداد
حداکثر ماهانه	۲۱/۸ $\pm$ ۳/۱	بهمن	۵	آذر	۴/۵ $\pm$ ۲/۸	آذر
حداقل ماهانه	۲/۸ $\pm$ ۰/۹					

از شاخ و برگ تمیز شدند و سپس در جای خود قرار داده شدند.

جهت اندازه‌گیری میزان تاج‌بارش، تعداد ۲۰ باران‌سنج دستی، مشابه باران‌سنج‌های اندازه‌گیری بارندگی، به صورت تصادفی زیر تاج‌پوشش توده پیسه‌آ قرار داده شدند. توزیع این باران‌سنج‌ها به گونه‌ای بود که کل سطح توده را به صورت یکنواخت پوشش دهند.

در این پژوهش از مقدار ساقاب، به دلیل ناچیز بودن مقدار آن در سوزنی‌برگان مناطق معتدله (Návar, 2013; Bialkowski & Buttler, 2015) صرف‌نظر شد و بنابراین مقدار باران‌ریایی از تفاضل مقدار تاج‌بارش از مقدار بارندگی در هر رخداد باران به دست آمد.

جهت برآورد میزان باران‌ریایی تاج‌پوشش، مقادیر بارندگی و تاج‌بارش طی هشت ماه (از تاریخ ۱۳۹۱/۰۵/۰۱ لغایت ۱۳۹۱/۰۹/۰۴ - ۱۳۹۲/۰۱/۰۵ لغایت ۱۳۹۲/۰۳/۱۰) اندازه‌گیری شدند. با استفاده از چهار عدد باران‌سنج دستی (از جنس پلاستیک) با قطر دهانه ۸ سانتی‌متر و ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر در نزدیک‌ترین فضای باز در مجاورت توده مورد نظر، مقدار بارندگی در هر رخداد بارش جمع‌آوری شد. محل استقرار باران‌سنج‌های بارندگی به گونه‌ای انتخاب شدند که هیچ‌گونه تداخلی با تاج درختان نداشته باشند (حداقل فاصله آنها تا نزدیک‌ترین درخت برابر ارتفاع درخت در نظر گرفته شد). میزان (حجم) بارندگی طی هر بارندگی با استفاده از استوانه مدرج با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. بعد از اندازه‌گیری هر بارندگی، باران‌سنج‌ها از آب تخلیه و همچنین

رابطه بین تاج‌بارش و باران در بارندگی‌هایی است که برای اشباع تاج‌پوشش کافی و مناسب هستند (برابر یا بزرگ‌تر از نقطه  $P_s$ ). تفاوت بین تاج‌بارش و باران در محل برخورد دو خط رگرسیون، مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش را نشان می‌دهد (Pypker et al., 2005).

ضریب  $\bar{E} / \bar{R}$ ، برابر تفاضل شیب رابطه خطی بین تاج-بارش و باران (برای رخدادهای برابر یا بزرگ‌تر از نقطه  $P_s$ ) از یک است (Pypker et al., 2005; Klaassen et al., 1998).

### نتایج

در طول دوره پژوهش، ۲۱ رخداد بارندگی با مقدار تجمعی ۳۸۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. مجموع عمق تاج‌بارش و باران‌ریایی در توده پیسه‌آ به ترتیب ۱۸۵/۳ میلی‌متر (۴۸/۸ درصد) و ۱۹۴/۸ میلی‌متر (۵۱/۲ درصد) اندازه‌گیری و محاسبه شد (شکل ۲). متوسط ( $\pm$  خطای معیار)، بیشترین و کمترین مقدار بارندگی به ترتیب ۱۸/۱ ( $\pm$  چهار)، ۶۰/۲ و ۵/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ )، همبستگی‌های مثبت معنی‌داری بین باران‌ریایی و باران در سطح ۹۵ درصد برای توده پیسه‌آ ( $r = 0.92$ ;  $P < 0.0001$ ) مشاهده شد (شکل ۳). به این معنی که با افزایش مقدار باران، مقدار باران‌ریایی نیز افزایش یافت. متوسط، بیشترین و کمترین درصد باران‌ریایی ( $I\%$ ) به ترتیب برابر با ۶۰/۴ ( $\pm$  ۳/۴)، ۸۰/۷ و ۲۶/۸ درصد می‌باشند و با افزایش مقدار باران، درصد باران‌ریایی کاهش می‌یابد.

به‌منظور برآورد مقادیر ضریب تاج‌بارش و ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش، نقطه  $P_s$  (نقطه انحنا یا خمیدگی) از روی ابر نقاط نمودار ( $P_g$ ) - محور  $x$ - و تاج‌بارش ( $T_f$ ) - محور  $y$ - به‌طور چشمی<sup>۱</sup> تعیین گردید. به این معنی که از این نقطه به بعد با افزایش مقدار باران، مقدار تاج‌بارش با شدت بیشتری افزایش می‌یابد. مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم، به‌صورت غیرمستقیم از شیب خط رگرسیون بین تاج‌بارش و باران برای باران‌هایی کمتر از نقطه  $P_s$ ، برآورد شد (Pypker et al., 2005).

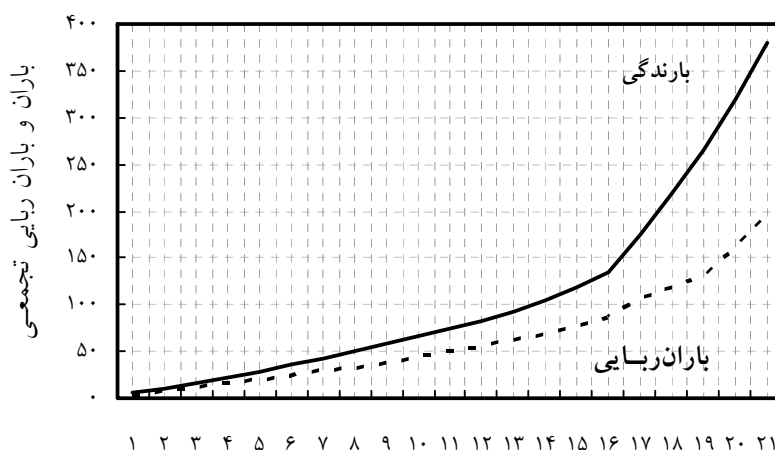
به‌منظور برآورد مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش، از باران‌های بیشتر از مقدار برآوردی  $P_s$  بر اساس سه روش رگرسیون مینای زیر استفاده شد (Klaassen et al., 1998) که مرور منابع این سه روش را به‌عنوان متداول‌ترین روش‌های برآوردی ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش معرفی کرده‌اند (عطارد و صادقی، ۱۳۹۶؛ Friesen et al., 2015):

(۱) روش Minimum (Leyton et al., 1967): از رسم رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران در رخدادهای بیشتر از نقطه  $P_s$ ، میزان ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش به‌دست می‌آید. بدین ترتیب که با قرار دادن صفر به جای مقدار تاج‌بارش در معادله حاصل، عدد به‌دست آمده برابر با مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش است.

(۲) روش Gash و Morton (۱۹۷۸): در این روش از معادله برخورد محور مربوط به تاج‌بارش و باران، مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش برآورد می‌شود، یعنی در معادله خط رگرسیون، مقدار باران برابر با صفر قرار داده می‌شود و عدد به‌دست آمده همان مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش است (Klaassen et al., 1998).

(۳) روش Mean (Link et al., 2004): ابتدا دو خط رگرسیون در این روش رسم می‌شود. رگرسیون (الف) بین تاج‌بارش و باران برای بارندگی‌هایی است که برای اشباع تاج‌پوشش کافی نیستند (کمتر از نقطه  $P_s$ ). رگرسیون (ب)

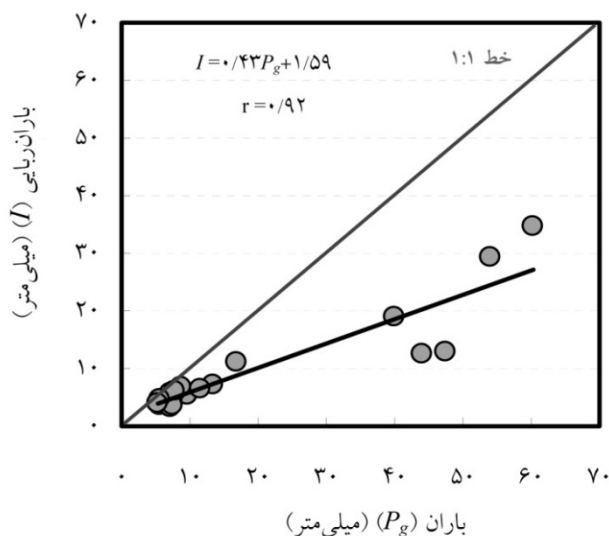
<sup>1</sup> Subjectively



شماره روز خرداد

شکل ۲. باران ( $P_g$ ) و باران ریایی ( $I$ ) تجمعی طی دوره پژوهش در توده پیسه‌آ در کلاردشت، مازندران

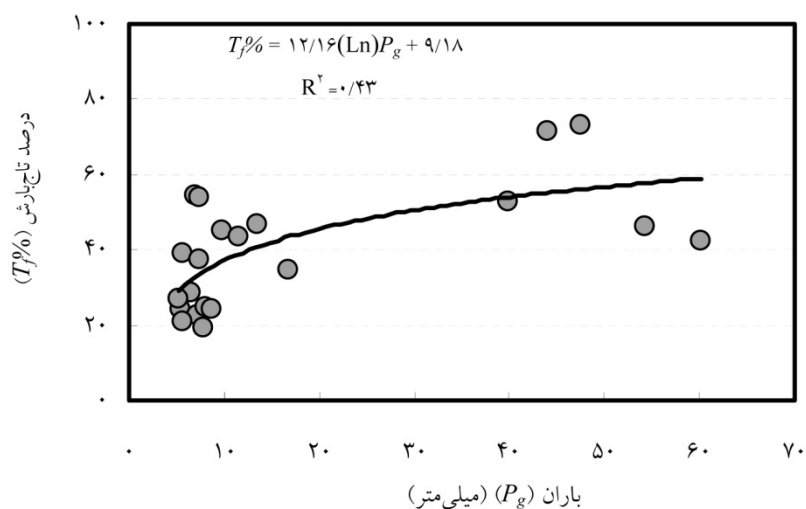
بدین گونه که در کلاسه مقدار باران‌های کم (۰/۱-۱۰) میلی‌متر) به ترتیب درصد باران‌ریایی  $67/6 \pm (3/4)$ ،  $58/5 \pm$  (میلی‌متر)، متوسط (۱۰/۱-۳۰) میلی‌متر) و زیاد (بیشتر از ۳۰ میلی‌متر)،  $42/8 \pm (6/4)$  و  $3/7$  است.



شکل ۳. رابطه بین باران‌ریایی ( $I$ ) و باران ( $P_g$ ) (میلی‌متر) در توده پیسه‌آ طی دوره پژوهش در کلاردشت (هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد باران است)

میلی‌متر در نظر گرفته شد و بر اساس آن، مقادیر ضریب تاج-بارش مستقیم، ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش (با سه روش) و  $\bar{E}/\bar{R}$  با استفاده از روابط موجود در شکل ۴ محاسبه و اعداد آن در جدول ۳ نمایش داده شد.

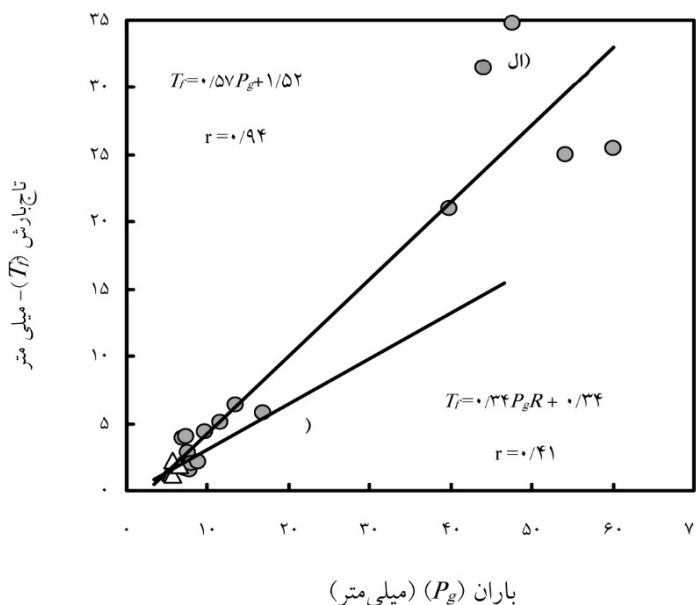
شکل ۳ درصد تاج‌بارش ( $T\%$ ) را در توده پیسه‌آ نشان می‌دهد که بهترین رابطه برازش داده شده بین درصد تاج-بارش و باران، به صورت مثبت لگاریتمی ( $9/18 + \ln(P_g) = 12/16$ ) با ضریب تعیین ( $R^2 = 0/43$ ) به دست آمد. در این پژوهش، نقطه  $P_s$  (نقطه انحنا یا خمیدگی)،  $7/0$



شکل ۴. رابطه بین درصد تاج‌بارش ( $T_f\%$ ) و باران ( $P_g$ ) برای توده پیسه‌آ در کلاردشت، مازندران (هر دایره نشان‌دهنده یک رخداد  $P_g$  است)

بر اساس شکل ۵، مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم، با استفاده از رگرسیون (ب)،  $0/334$  به‌دست آمد و با توجه به رگرسیون (الف)، مقدار متوسط  $S$  با سه روش مورد استفاده،

$2/15 (\pm 0/334)$  میلی‌متر و ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$  نیز  $0/43$  به‌دست آمد (جدول ۳).



شکل ۵. رابطه بین تاج‌بارش ( $T_f$ ) و باران ( $P_g$ ) در توده پیسه‌آ طی دوره پژوهش در کلاردشت، مازندران.

خط رگرسیون (الف) برای باران‌های بیشتر یا مساوی نقطه اشباع تاج‌پوشش ( $7/0$  میلی‌متر) -  $16$  رخداد باران و شکل دایره - و خط رگرسیون (ب) برای باران‌های کمتر از نقطه اشباع تاج‌پوشش ( $7/0$  میلی‌متر) - پنج رخداد باران و شکل مثلث.

جدول ۳. مقادیر ضریب تاج بارش مستقیم ( $p$ )، ظرفیت نگهداری تاج پوشش ( $S$ ) با استفاده از روش‌های Morton، Gash، Minimum و Mean و نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران در زمان بارندگی ( $\bar{E}/\bar{R}$ ) برای توده پیسه‌آ (*Picea abies*) در کلاردشت، مازندران

$\bar{E}/\bar{R}$	ظرفیت نگهداری تاج پوشش (میلی متر)			ضریب تاج بارش مستقیم	توده پیسه‌آ
	Mean	Gash and Morton	Minimum		
۰/۴۳	۲/۲۸	۱/۵۲	۲/۶۶	۰/۳۴	

در بارندگی‌های بیشتر از نقطه اشباع تاج پوشش و با توجه به مقدار ظرفیت نگهداری تاج پوشش برآورد شده، ۱۹/۸ درصد از مقدار باران ربایی، صرف پر کردن ظرفیت نگهداری تاج پوشش توده پیسه‌آ می‌شود. در پنج رخداد بارندگی با مقدار کمتر از نقطه اشباع تاج پوشش (> ۷ میلی متر)، بیشتر درصد باران ربایی تاج پوشش (۶۲/۳ درصد)، صرف پر کردن ظرفیت نگهداری تاج پوشش شده است.

در ۲۱ رخداد بارندگی، سهم ظرفیت نگهداری تاج پوشش (میانگین سه روش: ۲/۱۵ میلی متر) از مجموع باران ربایی، به طور میانگین برای توده پیسه‌آ، ۲۳/۲ درصد به دست آمد (جدول ۴). از مجموع ۱۶ رخداد بارندگی که مقدار آنها بیشتر از نقطه اشباع تاج پوشش ( $\geq 7$  میلی متر) بود، درصد باران ربایی تجمعی و درصد باران ربایی به ترتیب ۴۵/۸ درصد و ۵۶/۸ درصد به دست آمد و در نتیجه ۳۴/۴ میلی متر از باران ربایی، از طریق ظرفیت نگهداری تاج پوشش ربایش شد.

جدول ۴. مجموع بارندگی ( $P_g$ )، باران ربایی ( $I$ ) و درصد باران ربایی ( $I\%$ ) در کل دوره پژوهش و سهم متوسط ظرفیت نگهداری تاج پوشش ( $S$ ) (۲/۱۵ میلی متر) از باران ربایی در کل رخدادهای باران، باران‌های بیشتر از نقطه اشباع تاج پوشش ( $\geq 7$  میلی متر) و کمتر از آن (> ۷ میلی متر)

کل رخدادهای باران (میلی متر)	رخداد	باران		باران ربایی تجمعی (میلی متر)	باران ربایی تجمعی	درصد باران ربایی	درصد	ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش (میلی متر)	درصد
		تجمعی (میلی متر)	تجمعی (میلی متر)						
۲۱	۳۸۰/۱	۱۹۴/۸	۵۱/۲	۶۰/۴	۴۵/۲	۲۳/۲			
$\geq 7$	۱۶	۳۵۱/۳	۱۷۴/۱	۴۵/۸	۵۶/۸	۳۴/۴	۱۹/۸		
> 7	۵	۲۸/۸	۲۰/۷	۷۱/۸	۷۳/۰	۱۰/۸	۶۲/۳		

### بحث و نتیجه گیری

برهم کنش بین پوشش گیاهی و بارندگی دارای اهمیت ویژه‌ای از دیدگاه‌های اکولوژیک، هیدرولوژیک و زمین شناسی است (Levia & Frost, 2003). آب از اصلی ترین عوامل در تولید جنگل‌ها و بارندگی مهم ترین منبع تامین آب در این اکوسیستم‌ها است. در اکوسیستم‌های جنگلی تاج درختان با تاثیری که بر توزیع اجزای باران به تاج بارش، ساقاب و باران ربایی می‌گذارند، نقش مهمی را در چرخه آب

در سطوح مختلف (محل، حوزه آبخیز و کشوری) ایفا می‌نمایند (Yildiz et al., 2018). از آنجایی که آب اصلی ترین عامل در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان به شمار می‌رود و همچنین مقدار بارشی که به بستر جنگل می‌رسد برای استقرار زادآوری گونه‌های درختی و درختچه‌ای اهمیت زیادی دارد، بنابراین باید در انتخاب گونه جهت جنگل کاری به مقدار توزیع اجزای باران و پارامترهای اکوهیدرولوژیک گونه‌ها و مقدار باران رسیده به کف جنگل نیز توجه کرد.



ترکیب و ساختار توده، گونه تشکیل‌دهنده توده، شاخص سطح برگ، تراکم درختان، مورفولوژی و ساختار تاج‌پوشش درختان) و مقدار  $S$  دانست (Attarod; Pypker *et al.*, 2005).  
(*et al.*, 2015).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که همبستگی مثبت بین مقدار باران‌ریایی با مقدار بارندگی در توده پیسه‌آ وجود دارد، یعنی با افزایش مقدار بارندگی، مقدار باران‌ریایی افزایش می‌یابد که منطبق با دیگر پژوهش‌ها است (Crockford & Ahmadi *et al.*, 1990; Ricardsoon, 2009; Ahmadi *et al.*, 2011; Sadeghi *et al.*, 2014). برای نمونه، Sadeghi و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر مقدار باران بر باران‌ریایی توده کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) در اقلیم نیمه‌خشک را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار بارندگی، مقدار باران‌ریایی در هر دو توده افزایش می‌یابد.

این پژوهش نشان داد که مقدار بارندگی بر درصد تاج-بارش نسبی ( $T\%$ ) اثرگذار است (Staelens *et al.*, 2006); Staelens *et al.*, 2008). در باران‌های با مقدار کم، مقدار تاج-بارش اندک است، زیرا در این نوع بارندگی‌ها، بخش عمده-ای از هر بارندگی صرف خیس نمودن و تکمیل مقدار ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش شده و سپس این نسبت زیاد از هر بارندگی، از سطح تاج‌پوشش تبخیر و به‌صورت باران-ریایی از دسترس پوشش گیاهی خارج می‌شود (Staelens *et al.*, 2008). در این پژوهش مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم، ۰/۳۴ به‌دست آمد که در دامنه اعداد گزارش شده توسط دیگر پژوهشگران است (جدول ۵). دلیل اختلاف مقادیر  $p$  در این مطالعه با دیگر بررسی‌ها را می‌توان مربوط به تفاوت در آشکوب بندی، اندازه قطرات بارندگی، تعداد در هکتار، درصد تاج‌پوشش و زاویه بارش مربوط دانست (Pypker *et al.*, 2005). با دانستن مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم، می‌توان درصد تاج‌پوشش توده را برآورد نمود و در صورت نیاز به افزایش یا کاهش مقدار آن به‌ترتیب توده را با تیمارهای

با تغییرات در ترکیب گونه‌ای توده (مانند جنگل کاری با گونه‌های غیربومی) می‌توان شاهد دگرگونی رطوبت خاک (Schume *et al.*, 2003)، خاکساری (Bellot & Escarre, 1998)، مقادیر توزیع اجزای باران، ورود عناصر غذایی (Abbasian *et al.*, 2015) و ترکیب پوشش کف جنگل (Mottonen *et al.*, 1999) بود. بنابراین لازم است قبل از کاشت گونه، مقادیر توزیع اجزای باران و به‌تبع آن، مقادیر پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه مربوط به هر گونه را به‌عنوان معیارهای انتخاب گونه مناسب‌تر لحاظ نمود. بر اساس ۲۱ رخداد بارندگی در دوره پژوهش، درصد باران‌ریایی تجمعی و نسبی ( $P\%$ ) به‌ترتیب ۵۱/۲ و ۶۰/۴ درصد به‌دست آمد. از آنجایی که مطالعه‌های اندکی در مورد مقادیر اجزای بارندگی، در توده‌های پیسه‌آ در سطح جهان انجام شده، بنابراین به مقایسه نتایج این پژوهش با دیگر گونه‌های سوزنی‌برگ در سطح دنیا پرداخته شد و این نتیجه به‌دست آمد که نتایج این پژوهش بیشتر از بازه مقادیر گزارش شده در سطح دیگر توده‌ها است. برای نمونه، Buttler و Farnsworth (۲۰۱۲)، درصد باران‌ریایی توده *Pinus resinosa* را ۱۳ درصد و Crockford و Richardsoon (۱۹۹۰) در توده *Pinus radiata* ۱۸/۳ برآورد نمودند. مرور پژوهش‌های صورت گرفته در داخل کشور بر توده‌های پیسه‌آ نشان می‌دهد که مقدار باران‌ریایی تجمعی ۲۳/۳ درصد (نظام-دوست و همکاران، ۱۳۹۶) تا ۵۳/۹ درصد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴) در نوسان است. مطالعات گذشته وابستگی کمی و کیفی مقادیر باران‌ریایی را به فاکتورهای اقلیمی، خصوصیات باران و ویژگی‌های پوشش گیاهی نشان داده‌اند. از این‌رو اختلاف درصدهای باران‌ریایی و ۱ درصد توده مورد بررسی با دیگر توده‌ها را می‌توان به‌دلیل اختلاف در فاکتورهای اقلیمی (دمای هوا، میزان تبخیر، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و فشار بخار اشباع هوا)، اختلاف در خصوصیات بارندگی (مقدار، شدت، مدت‌زمان بارش، زمان وقوع و اندازه قطرات)، ویژگی‌های پوشش گیاهی (سن توده،

جنگل‌شناسی تنک‌تر یا بسته‌تر نمود. هرچه مقدار این ضریب بزرگ‌تر باشد، درصد تاج‌پوشش کمتر است و بالعکس.

جدول ۵. مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم ( $p$ ) و ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش ( $S$ ) توده‌های سوزنی‌برگ در دنیا

نام گونه	تعداد در هکتار	$S$ (میلی‌متر)	$p$	منبع
<i>Picea abies</i>	۷۰۰	۲/۱	۰/۳۴	پژوهش حاضر
<i>Pinus sylvestris</i>	۴۶۰۰	۱/۶	---	Rutter (1963)
<i>Pinus nigra</i>	۶۰۰	۱/۱	۰/۳	Rutter (1963)
<i>Pinus nigra</i>	۶۰۰	۱	---	Robins (1974)
<i>Pinus sylvestris</i>	۸۰۰	۰/۸	۰/۳	Gash & Morton (1978)
<i>Pinus pinaster</i>	۸۰۰	۰/۵	۰/۶	Loustau <i>et al.</i> (1992)
<i>Pinus pinaster</i>	۴۳۰	۰/۳	۰/۴	Lankreijer <i>et al.</i> (1993)
<i>Pinus sylvestris</i>	۲۴۰۰	۱/۳	۰/۱	Llorens (1997)
<i>Pinus elliottii</i>	۴۶۴	۰/۴	---	Liu (1998)
	۷۶۴	۱/۲	۰/۴	
	۵۰۹	۲/۳	۰/۲	
<i>Pinus sylvestris</i>	۱۴۰۰	۲	۰/۲	Llorens & Gallart (2000)
	۱۷۸۲	۱/۵	۰/۳	
	۲۶۷۴	۲/۷	۰/۱	
<i>Pinus tabulaeformis</i>	۱۴۱۰	۲/۷	---	Liang & Ding (2013)
<i>Abies fabri</i>	---	۱/۲	---	Sun <i>et al.</i> (2013)
<i>Pinus eldarica</i>	۱۱۸۵	۱/۸	۰/۱	مطهری (۱۳۸۹)
<i>Picea abies</i>	---	۳/۵	۰/۲	احمدی و همکاران (۱۳۹۴)

کمبود فشار بخار آب<sup>۱</sup> دارد (Pypker *et al.*, 2005). یکی از دلایل زیاد بودن نرخ  $\bar{E}/\bar{R}$  در این پژوهش، زمان دوره پژوهش است، بدین معنی که این پژوهش در گرمترین ماه‌های سال در کلاردشت انجام شد و از اندازه‌گیری اجزای بارندگی در زمستان صرف‌نظر شد (به دلیل بارش برف). در فصل زمستان به دلیل کاهش دما، نرخ  $\bar{E}/\bar{R}$  نیز کاهش می‌یابد و باعث خواهد شد که میانگین  $\bar{E}/\bar{R}$  کاهش یابد. در رخدادهای باران با مقدار زیاد، نرخ ضریب تبخیر به شدت باران بالا است

(Pypker *et al.*, 2005)، زیرا در مناطق معتدله، غالباً این رخدادهای در زمان طولانی‌تر باریده می‌شود. مقدار  $P_s$  در این

مقدار متوسط ضریب نگهداری تاج‌پوشش با سه روش مورد استفاده، ۲/۱۵ میلی‌متر به دست آمد که این عدد نیز در بازه ضرایب به دست آمده توسط سایر محققین است (جدول ۵). تفاوت در مقادیر این پژوهش با دیگر مطالعات به دلیل اختلاف در شدت بارندگی، شاخص سطح برگ، سرعت باد، آرایش بندی برگ‌ها، دمای هوا و مقدار ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$  است (Pypker *et al.*, 2005). ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$  در این پژوهش ۰/۴۳ به دست آمد. مقادیر  $\bar{E}/\bar{R}$  توده پسته‌آ بیشتر از بازه مرور منابع (۰-۰/۴۰) است (عطارد و صادقی، ۱۳۹۶).  $\bar{E}/\bar{R}$  ارتباط زیادی با شدت بارندگی، مقدار بارندگی، زمان بارندگی، فصل اندازه‌گیری، سرعت باد، درصد تاج‌پوشش و

<sup>1</sup> Vapor pressure deficit

داخل کشور، نیاز است پژوهشگران در آینده به بررسی‌های بیشتر در این زمینه اقدام نمایند.

### منابع

احمدی، م.ت.، عطارد، پ.، زاهدی‌امیری، ق.ا.، صادقی، س.م.م. و حجتی، س.م. (۱۳۹۴) محاسبه پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش توده دست‌کاشت پیسه‌آ در جنگل‌های خزری. مجله جنگل ایران، ۷(۴): ۴۵۹-۴۶۹.

پورمجیدیان، م. (۱۳۷۰) تحقیق پیرامون نتایج حاصل از جنگلکاری *Picea abies* در منطقه کلاردشت. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۶۲ صفحه.

عطارد، پ. و صادقی، س.م.م. (۱۳۹۶) اکوهیدرولوژی جنگل. انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ۲۶۲ صفحه.

مطهری، م. (۱۳۸۹) باران‌ربایی و تاج‌بارش توده کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw. در منطقه نیمه‌خشک، مطالعه موردی پارک جنگلی چیتگر. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۸۲ صفحه.

میربادیان، ع. و ناقب‌طالبی، خ. (۱۳۷۰) میزان موفقیت جنگل‌کاری پیسه‌آ در جوامع گیاهی مختلف در منطقه کلاردشت. انتشارات موسسه جنگل‌ها و مراتع کشور، دفتر جنگل‌کاری و پارک‌ها، چالوس، ۴۳ صفحه.

نظام‌دوست، ح.، سفیدی، ک.، رسول‌زاده، ع. و صادقی، س.م.م. (۱۳۹۶) کمی‌سازی تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی در توده‌های طبیعی راش و دست‌کاشت نونل در جنگل‌های سیاهکل، گیلان. مجله جنگل ایران، ۹(۳): ۳۸۵-۳۹۷.

Abbasian, P., Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Van Stan, J.T. and Hojjati, S.M. (2015) Throughfall nutrients in a degraded indigenous *Fagus orientalis* forest and a *Picea abies* plantation in the North of Iran. *Forest Systems*, 24(3): 035-035. doi: 10.5424/fs/2015243-06764/

Ahmadi, M.T., Attarod, P. and Bayramzadeh, V. (2011) Rainfall redistribution by an oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest canopy in the Caspian forests, northern Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13(20): 1105-1120.

پژوهش ۵/۱۵ میلی‌متر به‌دست آمد، به این معنی که در نقطه‌هایی از توده که درصد تاج‌پوشش کاملاً بسته است (۱۰۰ درصد) تا مقدار  $P_g$  ۵/۱۵ میلی‌متر، هیچ مقداری از تاج‌بارش به کف جنگل نمی‌رسد. مقدار  $P_s$  از جمع مقادیر ضریب تاج‌بارش مستقیم و ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش به-دست می‌آید (Sadeghi et al., 2015a; Sadeghi et al., 2015b). برآورد نقطه اشباع آب تاج‌پوشش در هر توده کمک می‌کند تا درصد تاج‌پوشش توده را در مکان‌های مختلف تغییر داد. در نقاط پرشیب در توده، می‌توان نقطه اشباع آب تاج‌پوشش را بیشتر (جهت 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 نقطه‌اشباع آب تاج‌پوشش را کاهش داد و با این اقدام از آبیاری توده و هزینه‌های آن جلوگیری و به استقرار زادآوری درختان کمک نمود (Sadeghi et al., 2018). یکی از راهکارهای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در جنگل‌کاری‌ها و فضای سبز شهری، شناخت پارامترهای اکوهیدرولوژیک درختان است. با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری توزیع اجزای باران و پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه درختان در ایران و کشورهایی که امکانات و سامانه‌های خودکار ثبت باران و اطلاعات اقلیمی وجود ندارد و اندازه‌گیری‌ها به‌صورت دستی با حضور در منطقه بعد از وقوع هر بارندگی و در زمان مشخص انجام می‌گیرد، برآورد پارامترهای اکوهیدرولوژیک درختان می‌تواند کاربردهای زیادی در انتخاب گونه‌های مناسب جنگل‌کاری در کشور، به‌ویژه در زمان معرفی گونه‌های غیربومی کشور مانند پیسه‌آ داشته باشد، زیرا کاشت گونه‌های غیربومی باعث تغییر در مقادیر کمی و کیفی توزیع اجزای باران نسبت به گونه‌های بومی می‌شود. در علم اکوهیدرولوژی، کلیه اجزای اکوسیستم‌ها که بر معادله بیلان آبی تاثیرگذارند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به نوپا بودن مطالعه پارامترهای اکوهیدرولوژیک درختان در

- constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212(1-4): 36-50.
- Lankreijer, H., Hendriks, M.J. and Klaassen, W. (1993) A comparison of models simulating rainfall interception of forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64(3-4): 187-199.
- Levia, D.F. and Frost, E.E. (2003) A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology*, 274(1-4): 1-29.
- Leyton, L., Reynolds, E.R.C. and Thompson, F.B. (1967) Rainfall interception in forest and moorland (pp: 163.178). In: W.E. Sopper & H.W. Lull. *International Symposium on Forest Hydrology*, New York: Pergamon Press, Inc.
- Liang, W. and Ding, G. (2013) Simulation of rainfall interception in a *Pinus tabulaeformis* plantation in North China. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1): 976-983.
- Link, T.E., Unsworth, M. and Marks, D. (2004) The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(3-4): 171-191.
- Liu, S. (1997) A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecological Modelling*, 99(2-3): 151-159.
- Liu, S.G. (1998) Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-central Florida. *Journal of Hydrology*, 207(1-2): 32-41.
- Llorens, P. (1997) Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. II- Assessment of the applicability of Gash's analytical model. *Journal of Hydrology*, 199(3-4): 346-359.
- Llorens, P. and Gallart, F. (2000) A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology*, 240(1-2): 131-144.
- Loustau, D., Berbigier, P. and Granier, A. (1992) Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand, II. An application of Gash's analytical model of interception. *Journal of Hydrology*, 138(3-4): 469-485.
- Mottonen, M., Jarvinen, E., Hokkanen, T.J., Kuuluvainen, T. and Ohtonen, R. (1999) Spatial distribution of soil ergosterol in the organic layer of a mature Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(4): 503-516.
- Ahmadi, M.T., Attarod, P., Marvi-Mohadjer, M.R., Rahmani R. and Fathi, J. (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(6): 557-568.
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Pypker, T.G., Bagheri, H., Bagheri, M. and Bayramzadeh, V. (2015) Needle-leaved trees impacts on rainfall interception and canopy storage capacity in an arid environment. *New Forests*, 46(3): 339-355.
- Bellot, J. and Escarre, A. (1998) Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean holm-oak forest. *Annals of Forest Science*, 55(7): 847-867.
- Bialkowski, R. and Buttle, J.M. (2015) Stemflow and throughfall contributions to soil water recharge under trees with differing branch architectures. *Hydrological Processes*, 29(18): 4068-4082.
- 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(1): 103-114.
- Crockford, R.H. and Richardsoon, D.P. (1990) Partitioning of rainfall in a Eucalypt forest and Pine plantation in southeastern Australia: IV The relationship of interception and canopy storage capacity, the interception of these forests, and the effect on interception of thinning the Pine plantation. *Hydrological Processes*, 4(2): 169-188.
- Friesen, J., Lundquist, J. and Van Stan, J.T. (2015) Evolution of forest precipitation water storage measurement methods. *Hydrological Processes*, 29(11): 2504-2520.
- 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.
- Hormann, G., Branding, A., Clemen, T., Herbst, M., Hinrichs, A. and Thamm, F. (1996) Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in northern Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79(3): 131-148.
- Klaassen, W., Bosveld, F. and DeWater, E. (1998) Water storage and evaporation as

- Farahnaklangroudi, M. (2018) Importance of transitional leaf states in canopy rainfall partitioning dynamics. *European Journal of Forest Research*, 137(1): 121–130.
- Schume, H., Jost, G. and Katzensteiner, K. (2003) Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. *Geoderma*, 112(3-4): 273-287.
- Staelens, J.A., De Schrijver A.D., 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.
- Staelens, J.A., De Schrijver, A.D., Verheyen, K. and Verhoest, N.E.C. (2006) Spatial variability and temporal stability of throughfall water under a dominant beech (*Fagus sylvatica* L.) tree in relationship to canopy cover. *Journal of Hydrology*, 330(3-4): 651-662.
- Sun, X., Wang, G., Lin, Y., Liu, L. and Gao, Y. (2013) Intercepted rainfall in *Abies fabri* forest with different-aged stands in southwestern China. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(4): 495–504.
- Tobón-Marin, C., Bouten, I.W. and Dekker, S. (2000) Forest floor water dynamics and root water uptake in four forest ecosystems in northwest Amazonia. *Journal of Hydrology*, 237(3-4): 169-183.
- Yildiz, O., Altundağ, E., Çetin, B., Güner, Ş.T., Sarginci, M. and Toprak, B. (2018) Experimental arid land afforestation in Central Anatolia, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(6): 355-355. doi: 10.1007/s10661-018-6724-1/
- Návar, J. (2013) The performance of the reformulated Gash's interception loss model in Mexico's northeastern temperate forests. *Hydrological Processes*, 27(11): 1626-1633.
- 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 old growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130(1-2): 113-129.
- Robins, P.C. (1974) A method of measuring the aerodynamic resistance to the transport of water vapour from forest canopies. *Journal of Applied Ecology*, 11(1): 315-325.
- Rutter, A.J. (1963) Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions, I, Measurements of rainfall and interception. *Journal of Ecology*, 51(1): 191-203.
- 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(6): 792–806.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P. and Pypker, T.G. (2015a) 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(1): 145–156.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., Pypker, T.G. and Dunkerley, D. (2015b) Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201(1): 76–85.
- Sadeghi, S.M.M., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., Tamjidi, J., Friesen, J. and

## Application of regression-based methods for determining canopy ecohydrological characteristics of *Picea abies* stand in Kelardasht

Parisa Abasian<sup>1</sup>, Pedram Attarod<sup>2\*</sup>, Seyed Mohammad Moein Sadeghi<sup>3</sup> and Vilma Bayramzadeh<sup>4</sup>

- 1) Ph.D Candidate of Silviculture and Forest Ecology, University of Tehran, Karaj, Iran.
- 2) Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, Iran.  
\*Corresponding Author Email Address: attarod@ut.ac.ir
- 3) Ph.D of Silviculture and Forest Ecology, Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran, Karaj, Iran.
- 4) Associate Professor, Wood Science Department, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Date of submission: 2018/05/18

Date of Acceptance: 2018/09/04

### Abstract

The aim of the present study was to estimate the canopy water storage capacity ( $S$ ) and ratio of mean evaporation rate from the wet canopy to the mean rainfall intensity ( $\bar{E}/\bar{R}$ ) and the direct throughfall coefficient ( $p$ ) of a *Picea abies* plantation in a semi-humid climate using the regression methods in Kelardasht, North of Iran. To measure gross rainfall ( $P_g$ ), four rain-gauges were installed in an open space adjacent to the stand and throughfall ( $T_f$ ) measured using the twenty rain-gauges which randomly located beneath the canopy cover. Rainfall interception ( $I$ ) was calculated as the difference between  $P_g$  and  $T_f$ . Twenty-one rainfall events were recorded with a cumulative depth of 380.1 mm. The  $T_f$  and  $T_f\%$  were recorded 48.8% and 39.6% of the incident rainfall on the cumulative-based and event-based (each  $P_g$ ), respectively. Positive linear correlation was observed between  $I$  and  $P_g$  ( $r = 0.92$ ) and logarithmic correlation was established between  $T_f\%$  and  $P_g$  ( $R^2 = 0.43$ ). The mean value of  $p$ ,  $S$ , and  $\bar{E}/\bar{R}$  were estimated to be 0.34, 2.15 mm, and 0.43, respectively. Awareness of  $p$  and  $S$  values can be applied for appropriate silvicultural treatments in forest stands with respect to climate and rainfall.

**Keywords:** Canopy water storage capacity, *Picea abies*, Plantation, Throughfall.