

## محاسبه پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش توده دست کاشت پیسه‌آ در جنگل‌های خزری

محمدتقی احمدی<sup>۱</sup>، پدرام عطارد<sup>۲\*</sup>، قوام‌الدین زاهدی‌امیری<sup>۳</sup>، سید محمدمعین صادقی<sup>۱</sup> و سید محمد حجتی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

<sup>۴</sup> دانشیار گروه جنگلداری دانشگاه کشاورزی علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۲)

### چکیده

این پژوهش با هدف شناخت پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش، شامل نقطه برآوردی اشباع آب تاج پوشش ( $P'_{G \text{ Estimated}}$ )، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش ( $S$ )، نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران ( $\bar{E}/\bar{R}$ )، ضریب تاج بارش مستقیم ( $p$ )، نقطه اشباع آب تاج پوشش ( $P'_{G}$ ) و ضریب قیفی تاج پوشش ( $F$ ) در گونه غیربومی پیسه‌آ (*Picea abies* L.) در جنگل لاجیم استان مازندران انجام گرفت. برای اندازه‌گیری تاج بارش، ۴۵ باران‌سنج دستی در زیر تاج پوشش این توده مستقر و متوسط ساقاب ۱۲ درخت به‌عنوان متوسط ساقاب توده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که درصدهای تجمعی تاج بارش، ساقاب و باران‌ریایی در توده دست کاشت پیسه‌آ به ترتیب ۴۱/۰ درصد، ۵/۱ درصد و ۵۳/۹ درصد به دست آمد. در این پژوهش، نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی: ۴/۲ میلی‌متر، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش: ۳/۵۴ میلی‌متر، ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$ : ۰/۳۸، ضریب تاج بارش مستقیم: ۰/۱۸، نقطه اشباع آب تاج پوشش: ۵/۹۰ میلی‌متر و ضریب قیفی تاج پوشش: ۴/۶ به دست آمد. با تغییرات در ترکیب گونه‌ای توده‌های طبیعی مانند جنگل کاری با گونه‌های غیربومی، در رطوبت خاک، خاکسازي و ترکیب پوشش کف جنگل تغییراتی به وجود می‌آید و بنابراین باید قبل از کاشت گونه، مقادیر توزیع اجزای بارش و پارامترهای اکوهیدرولوژیک مربوط به هر گونه را به عنوان معیارهای انتخاب گونه لحاظ کرد.

**واژه‌های کلیدی:** باران‌ریایی، تاج بارش، جنگل کاری، ساقاب، گونه غیربومی.

## مقدمه و هدف

امروزه واژه اکوهیدرولوژی توسط دانشمندان در ارتباط با شاخه هیدرولوژی در اکوسیستم‌ها به کار گرفته می‌شود که به معنای دانش شناخت ارتباط متقابل بین چرخه‌های هیدرولوژیک با اکوسیستم‌هاست و دانش اکوهیدرولوژی، مشخص می‌کند که چگونه پوشش‌های گیاهی توانایی کنترل رطوبت عمودی و افقی خاک (Duniway et al., 2010)، نفوذ آب در خاک (Thompson et al., 2010) و مقدار و چگونگی توزیع تاج بارش (TF) را دارند (Fathizadeh et al., 2014). از دیدگاه اکوهیدرولوژیست‌ها، پوشش گیاهی به‌ویژه درختان، به دلیل ذخیره آب، نظم‌دهی به جریان آب و جلوگیری از فرسایش خاک، اهمیت دارند (Attarod et al., 2015; Sadeghi et al., 2015a, b). تاج درختان به‌عنوان اولین مانع برخوردکننده باران (GR) در اکوسیستم‌های جنگلی، به‌طور مستقیم روی فرایندهای مربوط به چرخه‌های آب در اکوسیستم تأثیر می‌گذارند و به همین دلیل از نظر اکوهیدرولوژی اهمیت دارد (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳).

باران هنگام برخورد با تاج درختان به اجزای باران‌ریایی (I)، تاج بارش (TF) و ساقاب (SF) تقسیم می‌شود (Sadeghi et al., 2014; 2015a, b). باران‌ریایی، سهمی از باران است که بر روی برگ‌ها/سوزن‌ها، شاخه‌ها و تنه/ساقه درخت ذخیره می‌شود و در زمان/پس از بارندگی تبخیر و از دسترس درختان خارج می‌شود (Sadeghi et al., 2015a, b). تاج بارش بخشی از باران است که یا با عبور از روشنیه‌های تاج پوشش (تاج بارش مستقیم، p) یا با برخورد به تاج پوشش (ریزش‌های تاجی، CD) به پوشش کف جنگل می‌رسد (Sadeghi et al., 2014, 2015a, b). ساقاب نیز بخشی از باران است که از طریق تنه/ساقه به سمت پایین درختان جریان یافته و سپس به پوشش کف جنگل می‌رسد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Sadeghi et al., 2015a).

برای ارزیابی اکوهیدرولوژیک تاج پوشش درختان، ابتدا لازم است که پارامترهای اکوهیدرولوژیک هر گونه را محاسبه کرد که این پارامترها نقطه اشباع تاج پوشش برآوردی ( $P'_{G \text{ Estimated}}$ )<sup>۱</sup>، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش (S)<sup>۲</sup>، نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران ( $\bar{E}/\bar{R}$ )<sup>۳</sup>، ضریب تاج بارش مستقیم (p)<sup>۴</sup>، نقطه اشباع تاج پوشش ( $P'_{G}$ )<sup>۵</sup> و ضریب کیفی تاج پوشش (F)<sup>۶</sup> هستند. بیشتر مطالعات اکوهیدرولوژیک در اکوسیستم‌های جنگلی در داخل کشور، بر روی توزیع اجزای بارش صورت گرفته است و در این بین، بیشتر مطالعات به توزیع باران به اجزای تاج بارش و باران‌ریایی، پرداخته‌اند. در زمینه اندازه‌گیری و برآورد پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش درختان، مطالعات بیشتر در زمینه برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش و ضریب تاج بارش مستقیم انجام گرفته است (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Attarod et al., 2015; Sadeghi et al., 2014; 2015a, b) و دیگر پارامترهای اکوهیدرولوژیک، در یک مطالعه به‌صورت هم‌زمان، اندازه‌گیری و برآورد نشده است.

در طی چند دهه اخیر، جنگلکاری با استفاده از گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در شمال کشور به دلایل مختلف از قبیل احیای جنگل‌های مخروطی، مطالعه میزان سازگاری گونه‌های غیربومی، زراعت چوب و تأسیس پارک‌های جنگلی دست‌کاشت در حال توسعه است. در حقیقت کاشت گونه‌های جدید، به تغییر در مقدار باران رسیده به کف جنگل منجر می‌شود و از این نظر می‌تواند بر چرخه‌های اکوهیدرولوژیک تأثیر بگذارد. با شناخت پارامترهای

<sup>1</sup> Estimated of the canopy saturation point ( $P'_{G \text{ Estimated}}$ )

<sup>2</sup> Canopy (water) storage capacity (S)

<sup>3</sup> The ratio of mean evaporation rate from the wet canopy to the mean rainfall intensity ( $\bar{E}/\bar{R}$ )

<sup>4</sup> Free throughfall coefficient (p)

<sup>5</sup> Computed of the canopy saturation point ( $P'_{G}/P'_{G}$ )

Computed)

<sup>6</sup> Stemflow funneling ratio (F)

(۱۳۶۲ - ۱۳۹۲ خورشیدی) به‌دست‌آمده از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به توده تحت بررسی یعنی ایستگاه‌های هواشناسی کیاسر (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲۹۵ متر از سطح دریا) و پل سفید (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۶۱۰ متر از سطح دریا)، میانگین بارندگی سالانه ۸۸۰/۳ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. مرطوب‌ترین و خشک‌ترین ماه‌های سال به ترتیب آبان با میانگین بارش ماهانه ۱۱۶/۶ میلی‌متر و تیر با میانگین بارش ماهانه ۴۰/۴ میلی‌متر هستند (شکل ۱). میانگین دمای سالانه، ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است و گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به ترتیب مرداد با میانگین ۳۳/۶ درجه سانتی‌گراد و دی با میانگین ۱/۲ درجه سانتی‌گراد هستند. میانگین رطوبت نسبی سالانه نیز ۸۳ درصد است. با استفاده از نمودار آمبروترمیک، دوره خشکی در این منطقه حدود چهار ماه از سال - اردیبهشت تا مرداد- را شامل می‌شود.

#### اندازه‌گیری بارش، تاج‌بارش و ساقاب

این پژوهش از اواسط تیر تا انتهای آبان ۱۳۹۲ انجام گرفت. مقدار باران در هر رخداد، با استفاده از پنج باران‌سنج دستی (قطر دهانه ۸ سانتی‌متر و عمق ۲۲ سانتی‌متر) در نزدیک‌ترین فضای باز به توده (فاصله کمتر از ۳۰۰ متر)، جمع‌آوری شد. محل استقرار باران‌سنج‌ها به گونه‌ای انتخاب گردید که در زاویه ۴۵ درجه از سطح آنها، هیچ گونه تداخل با تاج درختان وجود نداشته باشد.

برای اندازه‌گیری تاج‌بارش، ۴۵ باران‌سنج براساس طرحی تصادفی (Sadeghi et al., 2015a, b)، در زیر تاج‌پوشش قطعه نمونه پیسه‌آ نصب شدند. هر یک از باران‌سنج‌های تاج‌بارش به‌صورت کاملاً عمودی در داخل زمین ثابت و مستقر شد. همچنین دهانه کلیه

اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش، می‌توان با دقت بیشتری از مقدار باران رسیده به کف جنگل آگاهی یافت، زیرا از دیدگاه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، بخشی از بارندگی که به کف جنگل می‌رسد، برای استقرار تجدید حیات گونه‌های درختی و درختچه‌ای که به مقدار بارندگی رسیده به کف جنگل بسیار وابسته‌اند، اهمیت زیادی دارد (Ahmadi et al., 2009; Sadeghi et al., 2015b).

از جمله گونه‌های کاشته‌شده در جنگلکاری‌ها می‌توان به پیسه‌آ (*Picea abies* L.) اشاره کرد که توانایی رشد در خاک غیرغنی از نظر مواد معدنی را دارد و با حداقل بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر در فصل رویش، رشد زیادی خواهد داشت و قابلیت تحمل زیاد آن به سرمای زمستان، سبب کاشت آن در مناطق میان‌بند و بالابند جنگل‌های شمال شده است. پژوهش پیش روی با هدف شناخت پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش گونه غیربومی پیسه‌آ در جنگل‌های میان‌بند شمال کشور انجام گرفته است.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه پژوهش

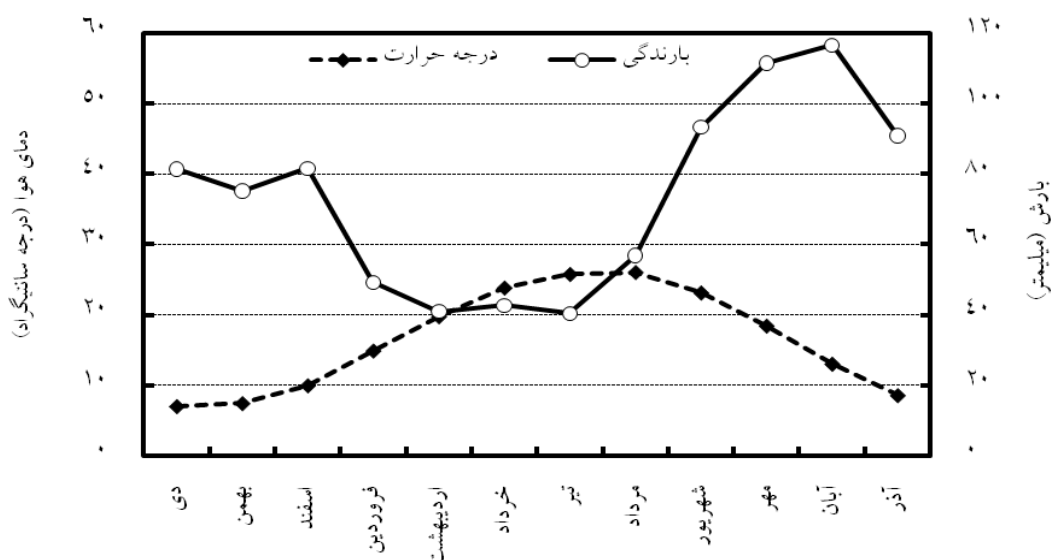
مطالعه حاضر در جنگلکاری خالص پیسه‌آ در طرح جنگلداری بخش پنج لاجیم، در ۳۵ کیلومتری جنوب شهر ساری در استان مازندران انجام شد. به‌دلیل مخروطه بودن، در سال ۱۳۴۲، در رویشگاه مذکور عملیات قطع یکسره انجام گرفت و گونه پیسه‌آ در سطحی حدود ۴۵ هکتار جنگلکاری شد. برای انجام دادن این پژوهش، یک قطعه نمونه مربع‌شکل با مساحت نیم هکتار (عرض جغرافیایی شمالی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ۱۷ ثانیه، طول جغرافیایی شرقی ۵۳ دقیقه و ۱۰ درجه و ۱۴ ثانیه و ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا) با متوسط شیب ۱۵ درصد انتخاب شد.

##### اقلیم

بر اساس میانگین اطلاعات هواشناسی ۳۱ ساله

خشک شدن دارند- در نظر گرفته شد. در صورت وقوع باران در کمتر از فاصله زمانی یادشده، مجموع بارندگی‌ها در این مدت، به عنوان یک رخداد باران در نظر گرفته شد (Ahmadi *et al.*, 2011).

باران سنج‌های باران و تاج بارش، به منظور جلوگیری از ورود اجسام خارجی با توری پلاستیکی پوشانیده شد. برای تفکیک هر رخداد باران، فاصله زمانی بارندگی از رخداد قبل و بعد از آن دست کم هشت ساعت -با این فرض که در این مدت تاج درختان فرصت کافی برای



شکل ۱- نمودار آمبروترمیک منطقه تحقیق براساس میانگین داده‌های هواشناسی دو ایستگاه کیاسر و پل سفید (۱۳۹۲ - ۱۳۶۲)

در پژوهش حاضر، ساقاب ۱۲ درخت با استفاده از ناودان‌های مارپیچی شکل با قطر ۵ سانتی‌متر، به طوری که ناودان‌ها دست کم ۱/۵ دور به دور تنه درختان می‌چرخیدند، اندازه‌گیری شد. فاصله بین ناودان‌های لاستیکی جمع‌آوری ساقاب و تنه درختان، به منظور جلوگیری از عبور آب از فاصله بین ناودان‌ها و پوست درختان، با چسب سیلیکونی عایق‌بندی و درزگیری شد. این ناودان‌ها در ارتفاع برابر سینه نصب (Carlyle-Moses *et al.*, 2004) و خروجی آنها به ظرف‌های جمع‌آوری کننده ۲۰ لیتری، با یک رابط لاستیکی به قطر هفت سانتی‌متر و طول تقریبی یک متر، متصل شد.

برای محاسبه عمق ساقاب تولیدی درختان، حجم ساقاب جمع‌آوری شده هر یک از درختان نمونه، بر

مساحت تصویر تاج درخت مربوط (CPA)<sup>۱</sup>، تقسیم شد. برای اندازه‌گیری تصویر تاج درختان نمونه ساقاب، قطر تاج هر یک از درختان در چهار جهت اصلی با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری و سطح تاج درختان بر اساس فرمول دایره محاسبه شد (Ahmadi *et al.*, 2009). میانگین عمق ساقاب تولیدی توسط ۱۲ درخت نمونه در هر بارندگی، عمق ساقاب تولیدی آن رخداد در نظر گرفته شد.

برای محاسبه عمق ساقاب تولیدی درختان، حجم ساقاب جمع‌آوری شده هر یک از درختان نمونه، بر

<sup>۱</sup> Crown Projection Area (CPA)

ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش و نرخ تبخیر به شدت باران در طول زمان بارندگی ( $\bar{E}/\bar{R}$ ) برآورد می شود (Leyton et al., 1967; Sadeghi et al., 2014; ) (2015a, b; Attarod et al., 2015).

#### ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش

متداول ترین روش رگرسیونی برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش (بیشینه آب ذخیره شده توسط تاج پوشش بعد از توقف بارندگی)، روش Mean است (Pypker et al., 2005; Sadeghi et al., 2015a). در این روش، تاج بارش، محور  $y$  و باران، محور  $x$  را تشکیل می دهد. تفاوت بین تاج بارش و باران در محل برخورد دو خط رگرسیون رخدادهای باران کمتر و نیز برابر یا بیشتر از نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش را نشان می دهد (Link et al., 2004; Pypker et al., 2005; ) (Sadeghi et al., 2014; 2015a, b).

نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$ ، برابر تفاضل شیب رگرسیون خطی بین تاج بارش و باران (برای رخدادهای برابر یا بزرگ تر از نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش) از ۱ است (Link et al., 2004; Sadeghi et al., 2014; 2015a, b).

#### ضریب تاج بارش مستقیم

ضریب تاج بارش مستقیم اغلب به صورت غیرمستقیم، از شیب رگرسیون خطی بین تاج بارش و باران، برای باران های کمتر از نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش، تخمین زده شود (Sadeghi et al., 2014; 2015a, b).

#### نقطه اشباع آب تاج پوشش

در این پژوهش جهت به دست آوردن مقدار نقطه اشباع آب تاج پوشش ( $P'_G$ )، از رابطه Licata et al. (2011) استفاده شد (رابطه ۱).

$$P'_G = \frac{b_2}{|a_1 - a_2|} \quad \text{رابطه ۱}$$

#### پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش

در این پژوهش، پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش شامل نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش ( $P'_G$  Estimated)، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش ( $S$ )، نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران ( $\bar{E}/\bar{R}$ )، ضریب تاج بارش مستقیم ( $p$ )، نقطه اشباع آب تاج پوشش ( $P'_G$ ) و ضریب قیف شکل تاج پوشش ( $F$ ) محاسبه شد.

#### نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش

برای برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش ( $S$ )، نسبت تبخیر به شدت باران در طول زمان بارندگی ( $\bar{E}/\bar{R}$ )، ضریب تاج بارش مستقیم ( $p$ ) و نقطه اشباع آب تاج پوشش ( $P'_G$  یا  $P'_G$  Computed)، در ابتدا باید نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی ( $P'_G$  Estimated) تعیین شود (صادقی و عطارد، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Sadeghi et al., 2014; 2015a, b).

بدین منظور، به صورت چشمی، اولین نقطه انحنای نمودار بین تاج بارش (محور  $TF - y$ ) و باران (محور  $GR - x$ ) در کل رخدادهای باران، به عنوان نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی در نظر گرفته می شود (Pypker et al., 2005; Sadeghi et al., 2014; ) (2015a, b). بنابراین با پیدا کردن نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش، باران ها به دو دسته ناکافی برای اشباع تاج پوشش<sup>۱</sup> و کافی برای اشباع تاج پوشش<sup>۲</sup> تقسیم می شوند (Attarod et al., 2014; Sadeghi et al., ) (2014; 2015a, b). با رسم رگرسیون خطی بین تاج بارش و باران، برای رخدادهای باران کمتر از نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش، ضریب تاج بارش مستقیم برآورد می شود. همچنین با رسم رگرسیون خطی بین تاج بارش و باران، برای باران های برابر یا بیشتر از نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش، مقدار

<sup>1</sup> Pre-saturation/Pre-infestation periods of canopy/Insufficient rainfall to saturate the canopy

<sup>2</sup> Post-saturation/Post-infestation periods of canopy/Sufficient rainfall to saturate the canopy

متوسط، کمینه و بیشینه مقدار باران ثبت شده به ترتیب، ۱۱/۵ میلی متر، ۳/۱ میلی متر و ۳۹/۴ میلی متر به دست آمد. از این مقدار باران، ۴۶/۱ درصد به صورت باران خالص (۲۰۲/۱ میلی متر) به کف جنگل رسید (۱۷۹/۸ میلی متر به صورت تاج بارش و ۲۲/۳ میلی متر به صورت ساقاب) و درصد تجمعی باران ربایی نیز ۵۳/۹ درصد به دست آمد.

### پارامترهای اکوهیدرولوژیک

در این پژوهش، نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی، ۴/۲ میلی متر به دست آمد (شکل ۲) و براساس این نقطه، باران‌ها به هشت رخداد باران ناکافی برای اشباع آب تاج پوشش (خط  $R_1$ ) و ۳۰ رخداد کافی برای اشباع آب تاج پوشش (خط  $R_2$ ) تقسیم شدند (شکل ۳).

بر اساس شکل ۳، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش ( $S$ ) توده پیسه آ ۳/۵۴ میلی متر محاسبه شد. ضرایب  $\bar{E}/\bar{R}$  و تاج بارش مستقیم ( $p$ ) نیز به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۱۸ به دست آمدند. براساس روابط موجود در شکل ۳، نقطه اشباع آب تاج پوشش ( $P'_G$ ) ۵/۹۰ میلی متر به دست آمد.

در این رابطه  $b_2$  و  $a_2$  به ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون خطی باران‌های برابر یا بیشتر از نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش ( $P'_G$  Estimated، خط  $R_2$ ) و  $a_1$  شیب خط رگرسیون خطی باران‌های کمتر از نقطه اشباع برآوردی آب تاج پوشش (خط  $R_1$ ) است.

### ضریب قیفی تاج پوشش

از رابطه Herwitz (1986) برای برآورد ضریب قیفی تاج - معرف حرکت پذیری جریان ساقاب مطابق با رابطه ۲، استفاده شد.

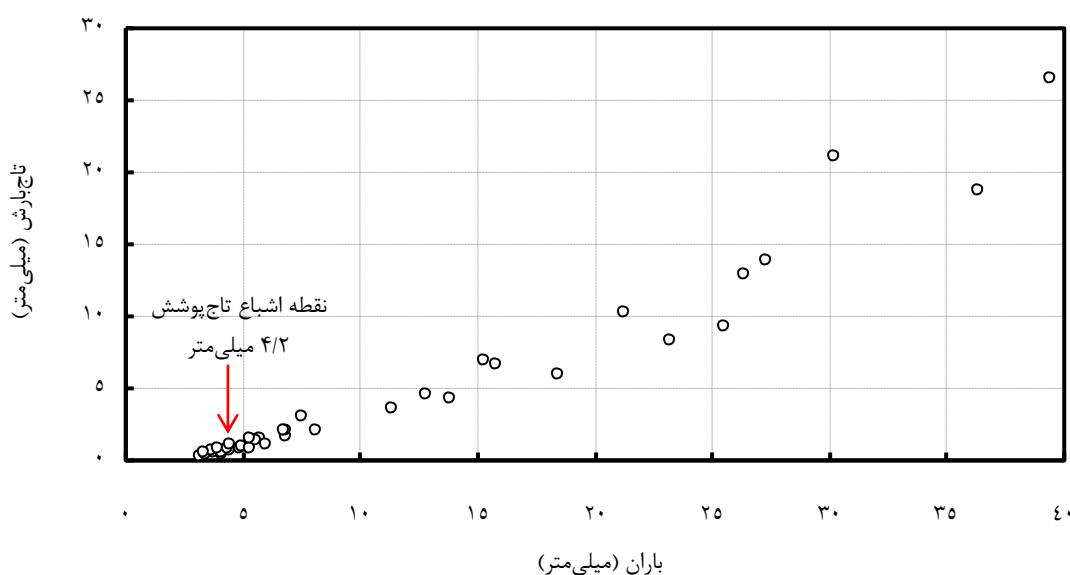
$$F = \frac{V}{BA \times GR} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه  $V$ ، حجم ساقاب (سانتی متر مکعب)،  $BA$  سطح مقطع درخت (سانتی متر مربع) و  $GR$  عمق هر رخداد باران (سانتی متر) است.

### نتایج

#### توزیع اجزای بارندگی

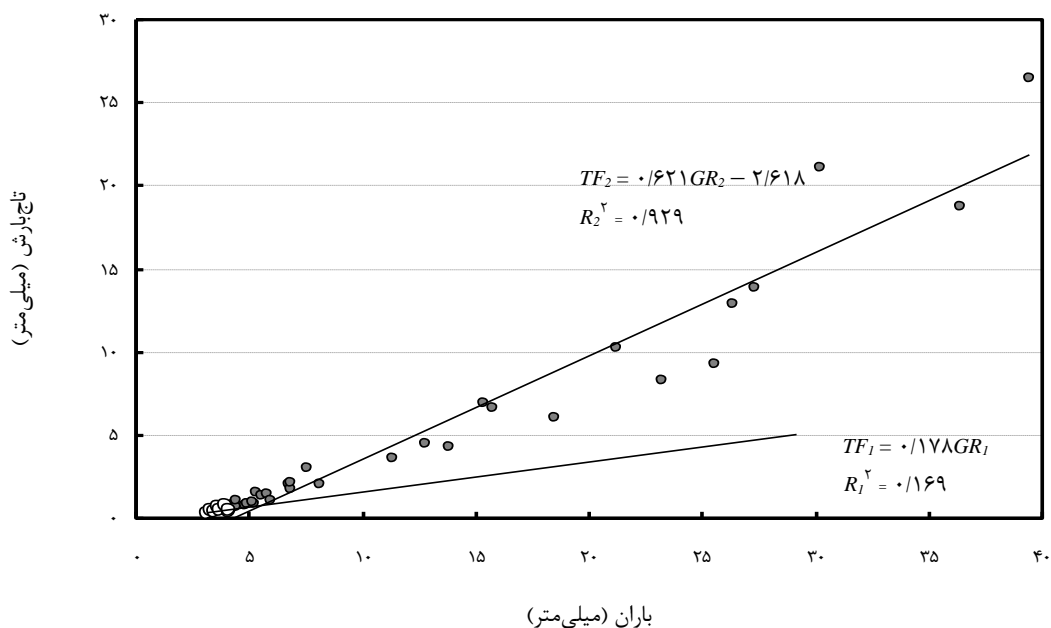
۳۸ رخداد باران در دوره پژوهش اندازه گیری و عمق تجمعی باران ۴۳۸/۳ میلی متر ثبت شد.



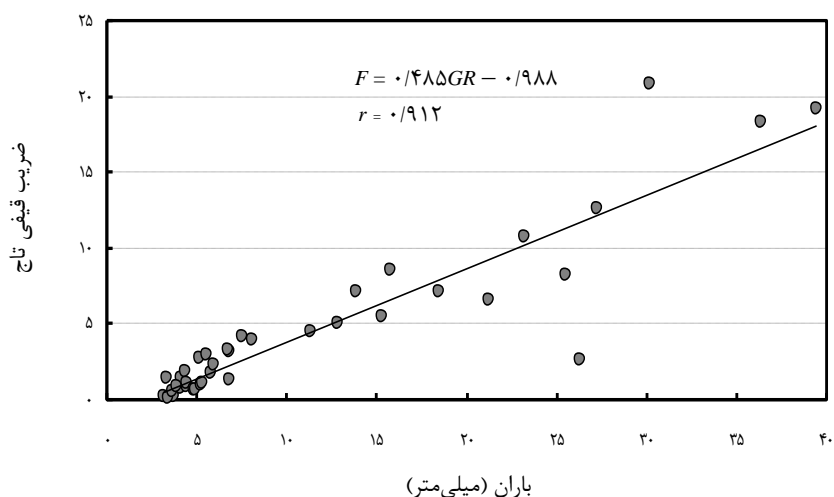
شکل ۲- رابطه بین باران ( $GR$ ) و تاج بارش ( $TF$ ) توده پیسه آ در طرح جنگلداری لاجیم، مازندران، برای تعیین نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی ( $P'_G$  Estimated). هر خط تیره نشان دهنده یک رخداد باران و پیکان، نشان دهنده باران کافی برای اشباع تاج پوشش است.

ضریب کیفی تاج پوشش ( $F$ ) در این پژوهش ۴/۶ به دست آمد. بر اساس شکل ۴، این ضریب با مقدار باران، دارای همبستگی مثبت و معنی داری است ( $r = ۰/۹۱۲$ ).

با توجه به ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) بین باران و تاج بارش در باران های کمتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش، همبستگی مثبت دیده شد و در باران های کافی برای اشباع آب تاج پوشش، همبستگی مثبت و معنی دار در سطح ۹۹ درصد مشاهده شد.



شکل ۳- رابطه بین باران ( $GR$ ) و تاج بارش ( $TF$ ) در توده پیسه آ در طرح جنگلداری لاجیم، مازندران، برای باران های بیشتر از نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی ( $P_G$  Estimated) ( $\leq ۴/۲$  میلی متر، دایره های خاکستری، خط  $R_2$ ) و کمتر از این نقطه ( $> ۴/۲$  میلی متر، دایره های سفید، خط  $R_1$ ) در دوره پژوهش (هر دایره معرف یک رخداد باران)



شکل ۴- رابطه ضریب کیفی ( $F$ ) و باران ( $GR$ ) در توده پیسه آ در طرح جنگلداری لاجیم، مازندران

## بحث

Attarod *et al.*, 2015). ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش، مهم‌ترین پارامتر کنترل‌کننده مقدار باران‌رایی در اکوسیستم‌های جنگلی است (Pypker *et al.*, 2005; Sadeghi *et al.*, 2015a).

ضریب  $\bar{E}/\bar{R}$  در این پژوهش ۰/۳۸ به دست آمد. بازه مرور منابع نیز نشان می‌دهد که مقدار این ضریب در توده‌های سوزنی‌برگ بین ۰/۴۰ - ۰ گزارش شده است (Zinke, 1967; Gash *et al.*, 1980) که این نسبت ارتباط زیادی با شدت باران، مقدار باران، زمان بارندگی، سرعت باد، درصد تاج پوشش، نقصان فشار بخار آب (VPD) و ضخامت آیرودینامیکی تاج پوشش در جابه‌جایی گرمای نهان<sup>۱</sup> دارد (Monteith and Unsworth, 1990; Calder, 1996; Link *et al.*, 2004; Pypker *et al.*, 2005).

درصد تاج بارش مستقیم ( $p$ ) در واقع معرف درصد تاج پوشش توده بررسی شده است؛ زیرا از یک منهای ضریب  $p$  مقدار درصد تاج پوشش توده محاسبه می‌شود (Pypker *et al.*, 2005). در این توده، ضریب تاج بارش مستقیم، ۰/۱۸ به دست آمد که نشان‌دهنده بسته بودن تاج پوشش این توده است. اختلاف عدد گزارش شده در این پژوهش با دیگر بررسی‌ها را می‌توان به تفاوت در اشکوب‌بندی، اندازه قطره‌های باران، تعداد در هکتار، درصد تاج پوشش و زاویه بارش مربوط دانست (Pypker *et al.*, 2005; Sadeghi *et al.*, 2014; 2015a, b).

رابطه ضریب قیفی تاج پوشش ( $F$ ) با مقدار باران در پیسه‌آ به صورت صعودی بود. با افزایش باران، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش تکمیل می‌شود و بعد از اشباع تاج پوشش، سهم بیشتری از هر باران از طریق تاج پوشش به سوی تنه درختان جاری شده و در نتیجه مقدار ساقاب بیشتر می‌شود که همسو با یافته‌های دیگر پژوهشگران در زمینه ارتباط مقدار

درصدهای تجمعی تاج بارش، ساقاب و باران‌رایی در توده دست کاشت پیسه‌آ به ترتیب ۴۱، ۵/۱ و ۵۳/۹ درصد به دست آمد. مرور منابع نشان می‌دهد که درصد تجمعی تاج بارش در بین توده‌های سوزنی‌برگ بین ۴۳ (Ford and Deans, 1978) تا ۸۷/۵ است (Lankereijer *et al.*, 1999). دلیل کمتر بودن درصد تجمعی تاج بارش نسبت به حد گزارش شده، رژیم باران متفاوت در جنگل‌های شمال است که مطابق با آن، شدت باران‌ها کم است و بنابراین تاج پوشش فرصت بیشتری برای خشک شدن و تکمیل ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش خود دارد. دلیل دیگر آن، تعداد رخدادهای باران با مقدار کم در این منطقه؛ هر چه تعداد این رخدادهای با مقدار کم، بیشتر باشد، درصد تاج بارش کمتر خواهد بود (Sadeghi *et al.*, 2014; 2015a, b). درصد ساقاب گزارش شده در این پژوهش (۵/۱ درصد) در بازه پیشینه پژوهش در ارتباط با سوزنی‌برگان - بین صفر (Lankereijer *et al.*, 1993) تا ۲۷ درصد - است (Ford and Deans, 1978). با وجود پوست ضخیم در گونه پیسه‌آ، به دلیل وجود پوشش خزهای در تنه این درختان، ساقاب این گونه ۵/۱ درصد به دست آمده است.

ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش ( $S$ ) توده پیسه‌آ ۳/۵۴ میلی‌متر برآورد شد که در حد میانی دامنه مقادیر گزارش شده توسط پژوهشگران، تا ۶/۶ میلی - متر گزارش شده است (Zinke, 1967). دلیل تفاوت مقدار ظرفیت نگهداری پیسه‌آ نسبت به دیگر پژوهش‌ها، ممکن است اختلاف پارامترهای درصد تاج پوشش، شاخص سطح برگ ( $LAI$ )، آب‌دوستی/آب‌گریزی برگ‌ها، زاویه برگ‌ها، اندازه قطره‌های باران، شدت باران، دمای هوا، سرعت باد و آب‌دوست بودن برگ‌های درختان باشد (Pypker *et al.*, 2005; Keim *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2013; Sadeghi *et al.*, 2014; 2015a, b).

<sup>1</sup> Canopy aerodynamic resistance to latent heat transfer



Attarod, P., S.M.M. Sadeghi, T.G. Pypker., H. Bagheri, M. Bagheri, and V. Bayramzadeh, 2015. Needle-leaved trees impacts on rainfall interception and canopy storage capacity in an arid environment, *New Forests*, 46: 339–355.

Bellot, J. and A. Escarre, 1998. Stemflow and throughfall determination in a resprouted Mediterranean helm-oak forest, *Annals of Forest Sciences*, 55: 847–867.

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., J.S. Flores-Laureano, and A.G. Price, 2004. Throughfall and throughfall spatial variability in Mediterranean oak forest communities of northeastern Mexico, *Journal of Hydrology*, 297: 124–135.

Duniway, M.C., K.A. Snyder, and J.E. Herrick, 2010. Spatial and temporal patterns of water availability in a grass-shrub ecotone and implications for grassland recovery in arid environments, *Ecohydrology*, 3: 55–67.

Fathizadeh, O., P. Attarod, R.F. Keim, G. Zahedi Amiri, and A.A. Davishsefat, 2014. Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees, *Hydrological Processes*, 28: 1124–1136.

Ford, E.D., and J.D. Deans, 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation, *Journal of Applied Ecology*, 15: 905–917.

Gash, J.H.C., I.R. Wright, and C.R. Lloyd, 1980. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain, *Journal of Hydrology*, 48: 89–105.

Herwitz, S.R., 1986. Infiltration-excess caused by stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest, *Earth Surface Processes and Landforms*, 11: 401–412.

Keim, R.F., A.E. Skaugset, and M. Weiler, 2006. Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity, *Advances in Water Resources*, 26: 974–86.

باران با ضریب  $F$  است (Levia *et al.*, 2010).

با تغییرات در ترکیب گونه‌ای توده (مانند جنگلکاری با گونه‌های غیربومی) شاهد دگرگونی رطوبت خاک (Schume *et al.*, 2003)، خاکسازي رطوبت خاک (Bellot and Escarre, 1998) و ترکیب پوشش کف جنگل (Mottonen *et al.*, 1999) خواهیم بود. بنابراین باید قبل از کاشت گونه، مقادیر توزیع اجزای بارش و پارامترهای اکوهیدرولوژیک مربوط به هر گونه، به‌عنوان معیارهای انتخاب گونه لحاظ شوند.

## منابع

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

صادقی، سید محمدمعین و پدرام عطارد، ۱۳۹۴. روش‌های رگرسیونی برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و ضریب تاج‌بارش مستقیم در توده دست‌کاشت کاج تهران، مجله جنگل ایران، ۷(۱): ۱–۱۷.

صادقی، سید محمدمعین، پدرام عطارد، توماس گرنت پیپکر 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): ۴۴۷–۴۶۰.

Ahmadi, M.T., P. Attarod, and V. Bayramzadeh, 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: 1105–1120.

Ahmadi, M.T., P. Attarod, M.R. Marvi Mohadjer, R. Rahmani, 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.

- Lankreijer, H.J.M., M.J. Hendriks, and W. Klaassen, 1993. A comparison of models simulating rainfall interception of forests, *Agricultural and Forest Meteorology*, 64: 187–199.
- Lankreijer, H., A. Lundberg, A. Grelle, A. Lindroth, and J. Seibert, 1999. Evaporation and storage of intercepted rain analyzed by comparing two models applied to a boreal forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 98–99: 595–604.
- Levia, D.F., J.T. Van Stan, S.M. Mage, and P.W. Kelley-Hauske, 2010. Temporal variability of stemflow volume in a beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size, *Journal of Hydrology*, 380: 112–120.
- Leyton, L., E.R.C. Reynolds, and F.B. Thompson, 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, 163–178.
- 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: 171–191.
- Mottonen, M., E. Jarvinen, T.J. Hokkanen, T. Kuuluvaniemi, and T. Ohtonen, 1999. Spatial distribution of soil ergosterol in the organic layer of a mature scot pine (*Pinus sylvestris* L.) forest, *Soil Biology and Biogeochemistry*, 3: 503–516.
- Monteith, J.L., and M.H. Unsworth, 1990. Principles of environmental physics (Second Eds.), Edward Arnold, 53–54.
- 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.
- 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, 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, and T.G. Pypker, 2015b. Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* plantation located in a semiarid climate, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17: 145–156.
- Schume, H., G. Jos, and K. Katzensteiner, 2003. Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed norway spruce (*Picea abies* L.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand, *Geoderma*, 112: 273–287.
- Thompson, S.E., C.J. Harman, P. Heine, and G.G. Katul, 2010. Vegetation-infiltration relationships across climatic and soil type gradients, *Journal of Geophysical Research*, DOI: 10.1029/2009JG001134.
- Zinke, P.J., 1967. Forest interception study in the United States. In: *Forest Hydrology* (Eds.): Sopper, W.E. and Lull, H.W. Pergamon Press, Oxford, 137–161.

## Estimating canopy ecohydrological parameters of a *Picea abies* stand in the Caspian forests, North of Iran

M.T. Ahmadi<sup>1</sup>, P. Attarod<sup>2\*</sup>, G. Zahedi Amiri<sup>3</sup>, S.M.M. Sadeghi<sup>1</sup>, and S.M. Hojjati<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD 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

<sup>3</sup>Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>4</sup>Associate Prof., Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

(Received: 25 January 2015, Accepted: 23 June 2015)

### Abstract

The aim of this research was to estimate the ecohydrological parameters of the canopy covers including estimated canopy saturation point ( $P'_{G \text{ Estimated}}$ ), canopy storage capacity ( $S$ ), the ratio of mean evaporation rate from the wet canopy to the mean rainfall intensity ( $\bar{E}/\bar{R}$ ), free throughfall coefficient ( $p$ ), computed canopy saturation point ( $P'_{G}$ ), and stemflow funneling ratio ( $F$ ) of a *Picea abies* plantation in Lajim, Mazandaran province, north of Iran. To measure the throughfall ( $TF$ ), 45 rain-gauges were installed beneath the crown of the stand. Stemflow ( $SF$ ) was measured using the average of 12 individual trees equaled to the  $SF$  amount. Over the measurement period, the cumulative percentage of  $TF$ ,  $SF$ , and rainfall interception ( $I$ ) were 41.0%, 5.1%, and 53.9%, respectively. The abovementioned ecohydrological parameters were found to be 4.2 mm, 3.54 mm, 0.38, 0.18, 5.90 mm, and 4.6, respectively. The ecohydrological parameters should be considered while converting natural stands to plantations by exotic tree species as this altering would change soil humidity, soil pedogenesis, as well as forest floor composition.

**Keywords:** Exotic species, Plantation, Rainfall interception, Stemflow, Throughfall.

