

ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش و تأثیر آن بر باران ربایی توده کاج تهران در منطقه نیمه خشک

مریم السادات مطهری^۱ و پدرام عطار^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. پست الکترونیک: attarod@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۱۴

چکیده

تحقیق حاضر با هدف برآورد میزان ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش و تاج بارش مستقیم در توده جنگل کاری شده کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) در پارک جنگلی چیتگر واقع در منطقه نیمه خشک با بارندگی سالیانه ۲۶۷/۶ میلی متر و دمای سالیانه ۱۷/۲ درجه سانتی گراد انجام شد. میزان بارندگی در هر بارش توسط ۶ عدد جمع آوری کننده باران در یک محیط باز واقع در نزدیکی توده هدف و تاج بارش توسط ۴۵ عدد جمع آوری کننده نصب شده به صورت تصادفی در سطح توده، از مهر ۱۳۸۸ تا اردیبهشت ۱۳۸۹ اندازه گیری گردید و باران ربایی به طور غیرمستقیم با تفاضل تاج بارش از مقدار بارندگی در هر بارش برآورد شد. در این مدت، در مجموع ۱۶۴/۸ میلی متر باران ثبت شد که از این مقدار، ۶۱/۲ میلی متر آن به باران ربایی و ۱۰۳/۶ میلی متر آن به تاج بارش اختصاص یافت. مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش با ۳ روش غیرمستقیم (از نمودار رابطه بین تاج بارش و بارندگی در هر بارش) Morton و Gash، Leyton و Pypker- Jackson به ترتیب ۱/۷ میلی متر، ۱/۴ میلی متر و ۱/۸ میلی متر و ضریب تاج بارش مستقیم ۰/۱۴۲۲ برآورد شد. در بارندگیهای بیش از ۱/۶ میلی متر و کمتر از ۱/۶ میلی متر، به ترتیب حدود ۴۴ و ۹۱/۳ درصد از مقدار بارندگی در هر بارش به صورت باران ربایی از دسترس خارج شد. ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش بخش قابل توجهی از باران ربایی را در توده جنگل کاری شده کاج تهران در منطقه نیمه خشک که رطوبت خاک یک فاکتور محدود کننده در رشد گیاه و تولید آن محسوب می شود، به خود اختصاص داد.

واژه های کلیدی: باران ربایی، جنگل کاری، کاج تهران، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش، منطقه نیمه خشک.

مقدمه

درختان و به تبع آن جنگلها در چرخه آب در طبیعت تأثیر بسزایی دارند. هنگام بارش، جنگل کاریها مانند جنگلهای طبیعی بخشی از بارندگی را جذب کرده و از رسیدن آب باران به سطح زمین جلوگیری می کنند و در واقع بخشی از بارندگی را از چرخه آب جنگل خارج می کنند.

در اکوسیستم های جنگلی، باران با برخورد به تاج پوشش درختان به تاج بارش (Throughfall: TF)، ساقاب (Stemflow: SF) و باران ربایی (Interception: I)

تقسیم بندی می گردد. باران ربایی یا اتلاف آب باران از سطح تاج درختان بخشی از باران است که توسط تاج درختان گرفته شده و سپس به تدریج از سطح برگها، شاخه ها و تنه درختان تبخیر شده و یا توسط درختان جذب می شود و به سطح زمین نمی رسد (Samba et al., 2001). تاج بارش بخشی از باران است که یا بدون برخورد به تاج درخت و از میان حفره های تاج پوشش به سطح زمین می رسد که به آن تاج بارش مستقیم (Free throughfall: p) گفته می شود و یا پس از برخورد به شاخ و برگ درختان به سطح زمین می رسد (احمدی و

زمین می‌رسد و بعد از آن باران‌رایی تنها بوسیله تبخیر طی بارندگی افزایش می‌یابد (Klaassen *et al.*, 1998).

Aussenac & Boulangeat (1980) دریافتند که در شرایط آب و هوایی مشابه، مقدار باران‌رایی داخل یک توده جنگلی به مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش وابسته است. مرور منابع نشان می‌دهد که وقوع پدیده‌های مختلف حیاتی درختان، سطح تاج‌پوشش جنگل را تغییر می‌دهد که بر میزان ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش و باران‌رایی اثرگذار است. در واقع مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش و باران‌رایی در جنگلهای خزان‌کننده بین دوره‌های خزان و رویش تغییر می‌کند. به‌عنوان مثال در یک جنگل آمیخته پهن‌برگ در غرب ویرجینیا در فصل تابستان میزان ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش ۶۰ درصد بیشتر از فصل زمستان محاسبه شده است (Zinke, 1967). ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش با افزایش شاخص سطح برگ افزایش یافته و رابطه بین شاخص سطح برگ و ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش وابسته به گونه‌ها بوده و بین جنگلهای جوان و جنگلهای مسن و جنگلهای استوایی و معتدله متفاوت است (Pypker *et al.*, 2005).

سطح وسیعی از جنگل‌کاری در کشور را گونه کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw) به خود اختصاص می‌دهد، بنابراین آگاهی از میزان باران‌رایی و ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش در توده جنگل‌کاری شده با این گونه از اهمیت زیادی برخوردار است. گرچه گونه کاج تهران در کشورهای دیگری هم در سطح جهان در جنگل‌کاریها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مورد باران‌رایی جنس کاج تحقیقاتی در سطح جهان انجام شده است، اما تاکنون مطالعات جامعی در مورد باران‌رایی و ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش در جنگل‌کاری با این گونه به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بارندگی کم انجام نشده است. تنها در زمینه باران‌رایی تک درختان

همکاران، ۱۳۸۸). بخشی از باران هم پس از جاری شدن بر روی تنه و شاخه‌های درختان به کف جنگل می‌رسد که به این بخش از باران، ساقاب گفته می‌شود (Staelens *et al.*, 2008). تقسیم‌بندی بارندگی به باران‌رایی، تاج‌بارش و ساقاب بر تراز آبی در نواحی جنگلی تأثیر عمده‌ای دارد (Sraj *et al.*, 2008; Levia & Frost, 2003). همچنین باران‌رایی در مناطق جنگلی یک فرایند مهم در تراز آبی حوضه‌های آبخیز به شمار می‌آید (Herbst *et al.*, 2008).

همانطوری که گفته شد بخشی از آب باران توسط تاج‌پوشش درختان گرفته می‌شود. ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش (Canopy Water Storage Capacity: S) حداقل مقدار آبی است که برای تکمیل ظرفیت تاج‌پوشش لازم است (Gash & Morton, 1978). این مقدار آب یا در اثر تبخیر به اتمسفر برگردانده می‌شود، یا توسط سطح تاج‌پوشش جذب می‌شود و یا در نهایت زمانی که باران قطع شود به سطح زمین می‌رسد (Xiao *et al.*, 2000). در واقع ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش به‌عنوان یک عامل کلیدی کنترل‌کننده میزان باران‌رایی معرفی شده (Rutter *et al.*, 1971; Gash, 1979; Liu, 1997) و عامل اصلی ساختمان تاج‌پوشش در مدل‌سازی باران‌رایی به شمار می‌آید (Llorens & Gallart, 2000).

مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش در سوزنی‌برگان با پهن‌برگان متفاوت است و مقدار بیشتری را در سوزنی‌برگان نشان می‌دهد (Samba *et al.*, 2001). با توجه به اینکه بخشی از باران‌رایی صرف تکمیل ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش می‌شود، تعیین این مقدار را برای تفکیک اجزای باران‌رایی توجیه می‌کند.

بخشی از باران توسط تاج‌پوشش نگه داشته می‌شود و تا زمانی که تاج‌پوشش اشباع نشده است، قسمت زیادی از باران می‌تواند توسط آن گرفته شود. وقتی تاج‌پوشش اشباع شد، بارانی که بر روی درختان می‌بارد به سطح

کاج تهران و سرو نقره‌ای مطالعه‌ای در منطقه خشک انجام شده است (باقری، ۱۳۸۹)، ولی در زمینه ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش و همچنین ضریب تاج بارش مستقیم در هیچ یک از گونه‌های درختی در جنگلهای طبیعی و نیز در جنگل کاریها، تاکنون تحقیقی در ایران انجام نشده است و بنابراین مطالعه حاضر نخستین تحقیق در این زمینه می‌باشد و از این جهت که این دو عامل مهم، بر میزان باران ربایی درختان مؤثر هستند و در مدل سازیها هم کاربرد دارند، اهمیت دارد.

این مطالعه با هدف برآورد میزان ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش و رابطه آن با میزان باران ربایی و همچنین برآورد ضریب تاج بارش مستقیم در توده کاج تهران انجام شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند در مدیریت منابع آب و افزایش بازده هیدرولوژیک جنگل کاریها در مناطق خشک و نیمه خشک کشور از طریق انتخاب گونه مناسب و تراکم کاشت مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در توده خالص جنگل کاری شده چهل ساله کاج تهران واقع در فاز غربی پارک جنگلی چیتگر تهران با طول و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی انتخاب شد و اندازه گیریها در پلاتی به مساحت ۲۷۰ مترمربع با ارتفاع متوسط ۱۲۶۹ متر بالاتر از سطح دریا انجام شد. تراکم درختان در این پلات ۱۱۸۵ درخت در هکتار با رویه زمینی ۶۳/۵ مترمربع در هکتار، میانگین ارتفاع و قطر درختان به ترتیب ۱۱ متر و ۲۳/۵ سانتی متر می‌باشد.

برای تعیین وضعیت اقلیمی منطقه از داده‌های اقلیمی ثبت شده در طی یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۷۴ تا ۱۳۸۹) در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک چیتگر (۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی با ارتفاع

روش اندازه گیری تاج بارش و بارندگی در هر بارش مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش طی ۸ ماه (از اول مهر ۱۳۸۸ تا اواسط اردیبهشت ۱۳۸۹) اندازه گیری شد. با استفاده از ۶ جمع آوری کننده (Rainfall collector) (از جنس پلاستیک) با قطر دهانه ۹ سانتی متر و ارتفاع حدود ۳۰ سانتی متر در یک فضای باز در مجاورت توده مورد نظر، بارندگی در هر بارش جمع آوری و عمق بارش با استفاده از استوانه مدرج اندازه گیری شد. میانگین عمق بارش کل جمع آوری شده توسط ۶ جمع آوری کننده به عنوان عمق بارندگی در هر بارش در نظر گرفته شد.

برای اندازه گیری میزان تاج بارش، تعداد ۴۵ جمع آوری

کافی برای اشباع تاج پوشش (Sufficient rainfall for canopy saturation) و باران های ناکافی برای تکمیل ظرفیت آب روی تاج پوشش (Insufficient rainfall for canopy saturation)، تقسیم بندی می کنند، استوار هستند.

در روش غیرمستقیم ابتدا مقدار باران لازم برای تکمیل ظرفیت آب روی تاج پوشش از روی ابر نقاط نمودار بارندگی در هر بارش (محور x) و تاج بارش (محور y) به طور تخمینی تعیین می شود. در واقع نقطه ای از نمودار که شیب منحنی ابر نقاط افزایش می یابد، مقدار بارانی را نشان می دهد که برای اشباع تاج پوشش کافی بوده و در باران های بیشتر از این مقدار، سهم بیشتری از باران به تاج بارش اختصاص می یابد. کمتر از این حد را باران های ناکافی برای اشباع تاج پوشش و بیشتر از آن را باران های کافی برای اشباع تاج پوشش در نظر می گیرند (Jackson, 1975; Klaassen et al., 1998).

پس از تعیین مقدار باران برای تکمیل ظرفیت آب روی تاج پوشش، ۳ روش به شرح زیر جهت برآورد ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش مورد استفاده قرار گرفت. در این روشها فرض بر این است که طی بارندگی تبخیر ناچیز یا صفر است (Leyton et al., 1967; Llorens & Gallart, 2000).

۱) روش **Leyton**: رسم رگرسیون خطی بین تاج بارش (محور y) و بارندگی در هر بارش (محور x) برای باران هایی که برای اشباع تاج پوشش کافی هستند. در معادله خطی بین تاج بارش و بارندگی در هر بارش، زمانی که تاج بارش را مساوی صفر قرار دهیم، نقطه ای که محور مربوط به مقدار بارندگی در هر بارش را قطع می کند، میزان ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش را نشان می دهد.

۲) روش **Morton و Gash**: رسم رگرسیون خطی بین تاج بارش (محور y) و بارندگی در هر بارش (محور x) برای باران هایی که برای اشباع تاج پوشش کافی هستند. محل برخورد این خط رگرسیون با محور مربوط به

کننده تاج بارش (مشابه جمع آوری کننده های بارندگی در هر بارش)، به صورت تصادفی زیر تاج پوشش درختان کاج تهران در توده مورد نظر قرار داده شدند. جمع آوری کننده های تاج بارش به طور عمودی داخل زمین مستقر و ثابت گردیدند. توزیع این جمع آوری کننده ها به گونه ای بود که تمام سطح توده را به صورت یکنواخت پوشش دهند. اندازه گیریهای مقادیر بارندگی در هر بارش و تاج بارش حدود ۲ ساعت پس از اتمام هر بارندگی و در صورت وقوع بارندگی در شب، قبل از طلوع خورشید انجام گردید (Carlyle-Moses et al., 2004). در نهایت مقدار باران ربایی از تفاضل بین بارندگی در هر بارش و تاج بارش بدست آمد.

روش محاسبه ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش (S)
به طور کلی دو روش مستقیم (Direct method) یعنی روشهایی که در آنها ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش با کمک اندازه گیریهای مخصوصی در توده و بر روی تاج پوشش درختان بدست می آید و روش غیرمستقیم (Indirect method) یعنی روشهایی که از روی نمودار بدست آمده از بارندگی در هر بارش و تاج بارش، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش بدست می آید، جهت برآورد ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش وجود دارد. روشهای مستقیم از دقت بالاتری نسبت به روشهای غیرمستقیم برخوردارند، اما نیازمند دانش، دقت و هزینه بیشتری نسبت به روشهای غیرمستقیم هستند و همچنین غیر قابل دسترس تر هستند (Llorens & Gallart, 2000; Pypker et al., 2005).

به منظور برآورد ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش در این تحقیق، از روشهای غیرمستقیم نموداری که رابطه بین بارندگی در هر بارش و تاج بارش را در باران های به وقوع پیوسته نشان می دهد، استفاده شد. روشهای نموداری براساس تکنیک هایی که باران را به دو گروه باران های

برای تکمیل ظرفیت آب روی تاج پوشش کافی نیستند، شیب رگرسیون خطی، ضریب تاج بارش مستقیم را نشان می دهد (Leyton *et al.*, 1967; Jackson, 1975;)
 (Pypker *et al.*, 2005; Llorens & Gallart, 2000; Klaassen *et al.*, 1998).

نتایج

در طول دوره مطالعه از مهرماه ۱۳۸۸ تا اواسط اردیبهشت ۱۳۸۹، تعداد ۳۰ مورد بارندگی اندازه گیری گردید. مجموع عمق بارندگی کل طی این دوره ۱۶۴/۸ میلی متر بود که از این مقدار در طول کل دوره به ترتیب ۱۰۳/۶ میلی متر به تاج بارش و ۶۱/۲ میلی متر به باران ربابی اختصاص یافت. متوسط نسبت های تاج بارش و باران ربابی در هر بارش به ترتیب ۳۸/۶ و ۶۱/۴ درصد اندازه گیری شد.

برآورد مقدار باران کافی برای اشباع تاج پوشش

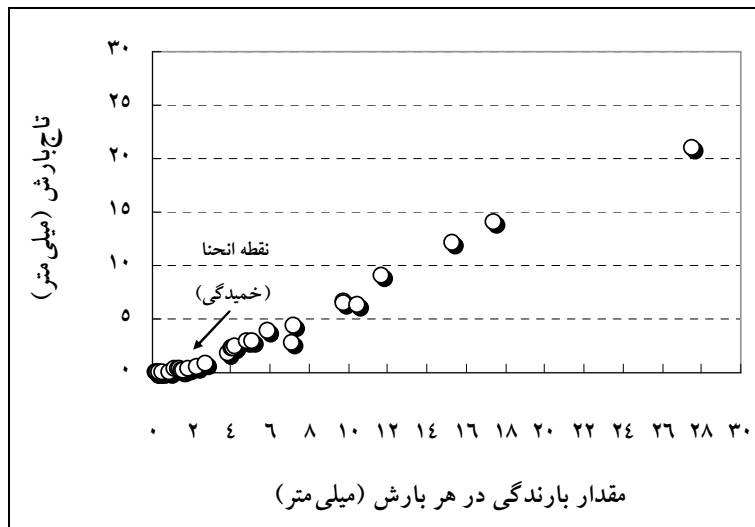
در تحقیق حاضر مقدار بارانی که برای اشباع تاج پوشش کافی است، از روی نمودار بین مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش برآورد شد. در واقع نقطه ای که بعد از آن شیب منحنی ابر نقاط افزایش می یابد (نقطه انحنای یا خمیدگی (Inflection point))، همان باران کافی برای اشباع تاج پوشش است که در این مطالعه ۱/۶ میلی متر بدست آمد (شکل ۱).

تاج بارش (محور y)، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش را نشان می دهد. یعنی در معادله خط رگرسیون، بارندگی در هر بارش (محور x) برابر صفر قرار داده می شود و عدد بدست آمده همان ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش است (Gash & Morton, 1978; Klaassen *et al.*, 1998).

۳) روش Pypker- Jackson: در این روش، ابتدا باران براساس اندازه های آن تقسیم بندی می شود و سپس در نموداری با محورهای مطابق با روشهای قبل، دو خط رگرسیون رسم می شود. رگرسیون (الف) بین تاج بارش و بارندگی در هر بارش برای بارندگی هایی است که برای اشباع تاج پوشش کافی نیستند. رگرسیون (ب) رابطه بین بارندگی در هر بارش و تاج بارش برای بارندگی هایی است که برای اشباع تاج پوشش کافی و مناسب هستند. تفاوت بین تاج بارش و بارندگی در هر بارش در محل برخورد دو خط رگرسیون، میزان ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش را نشان می دهد (Pypker *et al.*, 2005; Jackson, 1975).

ضریب تاج بارش مستقیم (p)

برآورد تاج بارش مستقیم مانند روشهای برآورد مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش با روش رسم خط رگرسیون امکان پذیر است. به این ترتیب که در نمودار بین تاج بارش و بارندگی در هر بارش برای باران هایی که

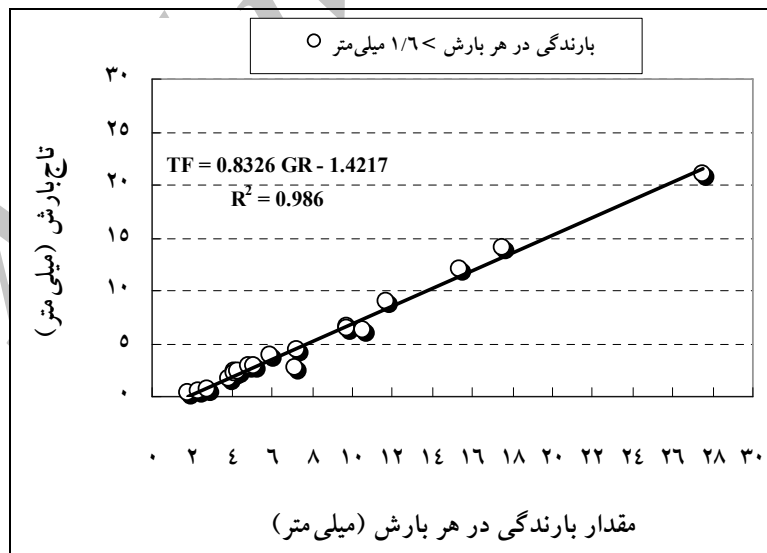


شکل ۱- رابطه بین مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش در توده کاج تهران (پیکان، مقدار باران کافی برای اشباع تاج پوشش (نقطه انحنای) (۱/۶ میلی متر) را نشان می دهد)

میلی متر، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش برآورد شد. با جایگزینی عدد صفر بجای تاج بارش در معادله و حل آن، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش، ۱/۷ میلی متر بدست آمد (شکل ۲).

ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش

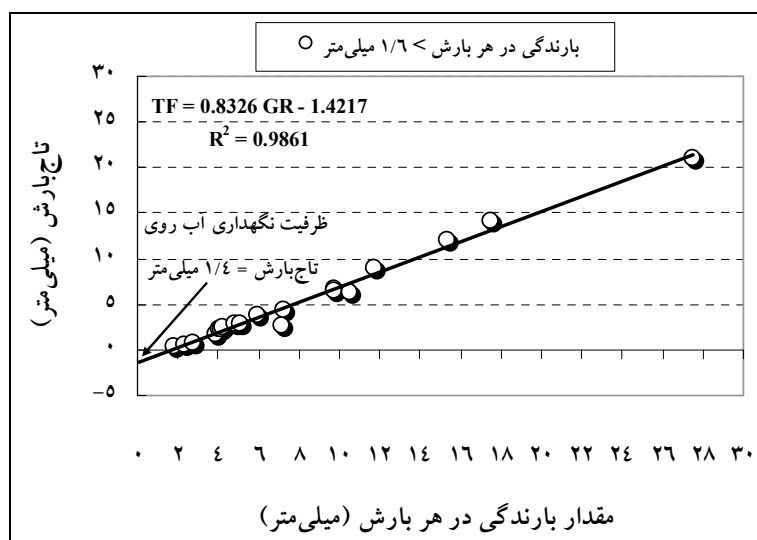
(۱) روش **Leyton**: با استفاده از معادله خط رابطه بین تاج بارش و مقدار بارندگی در هر بارش برای باران های کافی برای اشباع تاج پوشش یعنی باران های بیش از ۱/۶



شکل ۲- رابطه بین تاج بارش و مقدار بارندگی در هر بارش در بارندگیهای بیشتر از ۱/۶ میلی متر در توده کاج تهران (روش Leyton)

برآورد شد. با جایگزینی عدد صفر بجای بارندگی در هر بارش، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش، $1/4$ میلی متر بدست آمد (شکل ۳).

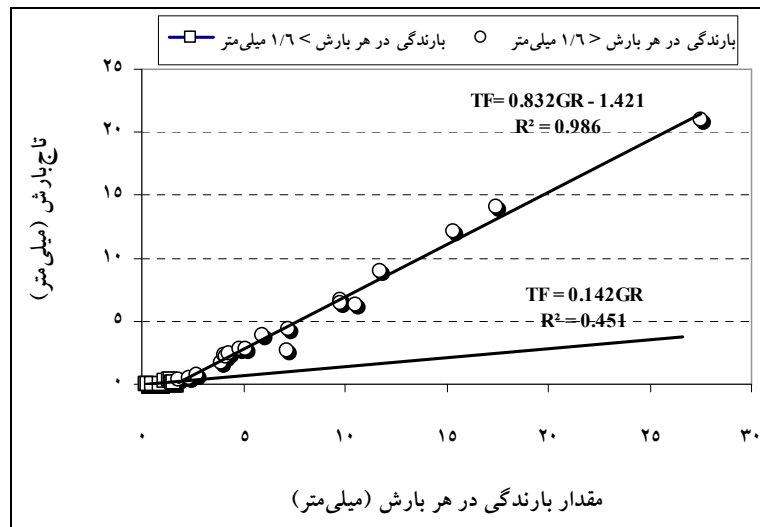
(۲) روش **Gash و Morton**: با استفاده از معادله خط رابطه بین تاج بارش و مقدار بارندگی در هر بارش در باران های کافی برای اشباع تاج پوشش یعنی باران های بیش از $1/6$ میلی متر، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش



شکل ۳- رابطه بین تاج بارش و مقدار بارندگی در هر بارش در بارندگیهای بیش از $1/6$ میلی متر در توده کاج تهران (روش **Gash و Morton**)

بارندگی در هر بارش، $2/1$ میلی متر محاسبه شد که به نام نقطه اشباع (Saturation point) نامیده می شود. با جایگزینی مقدار بدست آمده در یکی از معادلات، تاج بارش، $0/3$ میلی متر محاسبه گردید. در نهایت از تفاوت دو مقدار بدست آمده، ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش، $1/8$ میلی متر برآورد شد.

(۳) روش **Pypker- Jackson**: در این روش، از دو خط رگرسیون الف) رابطه بین مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش برای بارندگیهای بیشتر از $1/6$ میلی متر و خط رگرسیون ب) رابطه بین مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش برای بارندگیهای کمتر از $1/6$ میلی متر استفاده گردید (شکل ۴). با حل دو معادله خط، مقدار



شکل ۴- رابطه بین مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش در بارندگیهای بیشتر از ۱/۶ میلی متر (الف) و رابطه بین مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش در بارندگیهای کمتر از ۱/۶ میلی متر (ب) در توده کاج تهران (روش Pypker-Jackson)

(روش Morton و Gash) و ۱/۸ میلی متر (روش Pypker-Jackson) به ترتیب ۶۰/۹، ۵۰/۲ و ۶۴/۵ درصد از آن صرف تکمیل ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش شده است (جدول ۲). در ۱۱ بارندگی کمتر از ۱/۶ میلی متر تقریباً تمام باران ربایی (۹۱/۳ درصد از مقدار بارندگی در هر بارش) صرف تکمیل ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش شده است (جدول ۱).

رابطه ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش با باران ربایی از مجموع ۱۹ بارندگی که مقدار آنها بیش از ۱/۶ میلی متر بود، حدود ۴۴ درصد از بارندگی در هر بارش (۵۳ میلی متر) به صورت باران ربایی از دسترس خارج شده (جدول ۱) و در مقدارهای ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش ۱/۷ میلی متر (روش Leyton)، ۱/۴ میلی متر

جدول ۱- مجموع بارندگی و باران ربایی در بارندگیهای < ۱/۶ و > ۱/۶ میلی متر

مقدار باران (میلی متر)	تعداد باران (تعداد)	مجموع بارندگی (میلی متر)	باران ربایی (میلی متر)	درصد*
< ۱/۶	۱۹	۱۵۵/۴	۵۳	۴۴
> ۱/۶	۱۱	۹/۴	۸/۲	۹۱/۳

* منظور از درصد باران ربایی، میانگین درصد باران ربایی در هر بارندگی می باشد.

جدول ۲- برآورد ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش از باران ربایی در هر ۳ روش Morton و Gash، Leyton و Pypker-Jackson در

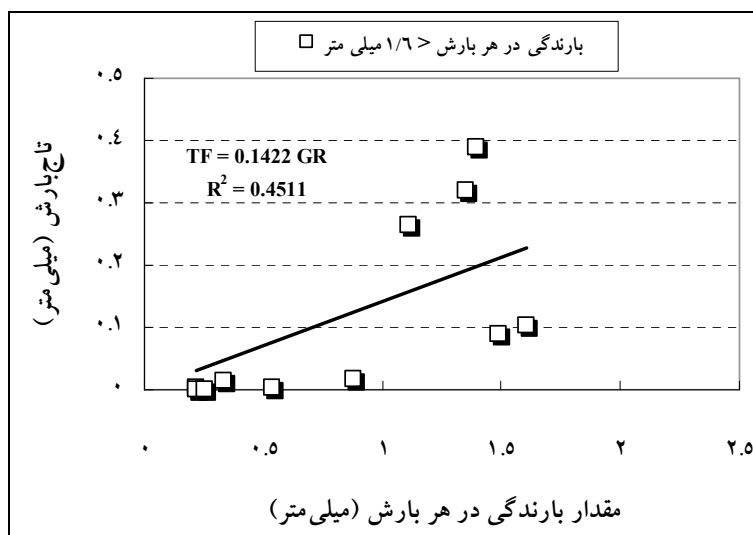
بارندگیهای < ۱/۶ و > ۱/۶ میلی متر

مقدار باران (میلی متر)	روش Leyton درصد (میلی متر)	روش Morton و Gash درصد (میلی متر)	روش Pypker-Jackson درصد (میلی متر)
< ۱/۶	۳۲/۳	۲۶/۶	۳۴/۲
> ۱/۶	۸/۲	۸/۲	۸/۲

(شکل ۵). یعنی ۰/۱۴۲۲ از بارندگی در هر بارش به صورت مستقیم از لابه لای تاج پوشش درختان به کف جنگل کاری رسیده است.

ضریب تاج بارش مستقیم

شیب خط نمودار بین بارندگی در هر بارش و تاج بارش برای بارندگیهای کمتر از ۱/۶ میلی متر، ۰/۱۴۲۲ است که نشان دهنده ضریب تاج بارش مستقیم می باشد



شکل ۵- رابطه بین مقدار بارندگی در هر بارش و تاج بارش در بارندگیهای کمتر از ۱/۶ میلی متر (شیب خط، ضریب تاج بارش مستقیم را نشان می دهد)

بحث

در بارندگیهای با مقدار کم، باران ربایی افزایش می یابد؛ دلیل این امر را می توان اینگونه بیان نمود که در این بارانها سهم بیشتری از باران صرف خیس نمودن و تکمیل ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش شده و سپس این مقدار آب باران از سطح تاج پوشش تبخیر و به صورت باران ربایی از دسترس خارج می شود و در نتیجه سهم تاج بارش از مقدار بارندگی در هر بارش و به عبارت دیگر مقدار آب وارد شده به کف جنگل کاری کاهش می یابد.

مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش در این بررسی با استفاده از نمودار تاج بارش و مقدار بارندگی در هر بارش با سه روش غیرمستقیم Gash, Leyton و Morton و Pypker- Jackson به ترتیب ۱/۷ میلی متر، ۱/۴

میلی متر و ۱/۸ میلی متر و ضریب تاج بارش مستقیم ۰/۱۴۲۲ برآورد شد. مقایسه مقادیر بدست آمده در توده کاج تهران مورد مطالعه با مقادیر گزارش شده در مطالعات پیشین در جدول ۳ ارائه شده است. به عنوان مثال Llorens & Gallart (2000)، گزارش کردند که مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش و ضریب تاج بارش مستقیم در یک توده جنگل کاری شده با *Pinus sylvestris* در اسپانیا با تراکم ۱۴۰۰ اصله درخت در هکتار به ترتیب، ۲ میلی متر و ۰/۲ می باشد. آنها ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش را با استفاده از یک روش مستقیم اندازه گیری کردند. همچنین Liu (1998)، در یک جنگل کاری با *Pinus elliotii* (۱۱۹۰ اصله درخت در هکتار که مشابه با این مطالعه می باشد) مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش را ۰/۷ میلی متر محاسبه کردند. Llorens

درختان ننگه داشته می‌شود را کاهش دهد (Jackson, 1975). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش، حتی اگر خصوصیات تاج‌پوشش ثابت بماند، در هر بارش متغیر است.

ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش بدست آمده در این تحقیق نسبت به مطالعات صورت گرفته که از روش غیرمستقیم برای اندازه‌گیری استفاده کردند، عدد بالاتری را نشان داد (جدول ۳). دلیل آن بالا بودن درجه حرارت سطح تاج‌پوشش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که به مصرف آب باران بیشتر برای خنک کردن تاج‌پوشش منتهی می‌گردد. ویژگیهای سطح برخورد آب باران از جمله نوع گونه، شاخص سطح برگ، ابعاد برگها و شاخه‌ها و زاویه آنها هم در مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش مؤثر است (Jackson, 1975; Llorens & Gallart, 2000; Fleischbein et al., 2005; Pypker et al., 2005); اما ضریب تاج‌بارش مستقیم کمترین حد را در مقایسه با مطالعات قبلی نشان می‌دهد (جدول ۳). دلیل این امر را شاید بتوان درصد نسبتاً بالای تاج‌پوشش دانست که اجازه عبور کمتری به آب باران به‌عنوان تاج‌بارش مستقیم به کف جنگل کاری می‌دهد.

همانطور که در این مطالعه نشان داده شد، در بارندگیهای بیش از ۱/۶ میلی‌متر، با ظرفیت‌های نگهداری آب روی تاج‌پوشش محاسبه شده، در روش Pypker- Jackson، ۶۴/۵ درصد باران‌رایی و در روشهای Leyton و Gash و Morton به ترتیب ۶۰/۹ و ۵۰/۲ درصد باران‌رایی صرف تکمیل ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش می‌شود. بقیه این مقدار یا به صورت تبخیر هنگام بارندگی از دسترس خارج می‌شود و یا احتمالاً بخش کمی از آن از طریق ساقه درختان به سطح زمین می‌رسد. در بارندگیهای کمتر از ۱/۶ میلی‌متر بیش از ۹۱/۳ درصد از بارندگی در هر بارش به باران‌رایی اختصاص یافته است (جدول ۱).

(1997) در مطالعه‌ی خود در توده *Pinus sylvestris* مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش را با استفاده از روش غیرمستقیم (استفاده از رگسیون) ۱/۳ میلی‌متر و ضریب تاج‌بارش مستقیم را ۰/۱ برآورد کرد.

به‌طور کلی مقادیر گزارش شده برای ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش در توده‌های جنس کاج از ۰/۳ میلی‌متر تا ۲/۷ میلی‌متر و ضریب تاج‌بارش مستقیم هم از ۰/۱ تا ۰/۶ متغیر است. مقادیر بدست آمده برای ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش و ضریب تاج‌بارش مستقیم در توده کاج تهران مورد مطالعه در این تحقیق بین این بازه قرار می‌گیرد (جدول ۳).

در این مطالعه از روش Leyton و Pypker- Jackson مقدار مشابهی برای ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش بدست آمد و روش Gash و Morton عدد کوچکتری را با تفاوت جزئی نسبت به این دو نشان داد.

مقادیر بدست آمده برای ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش و ضریب تاج‌بارش مستقیم رابطه معنی‌داری با تراکم درختان در هکتار نشان نمی‌دهند (جدول ۳)، در نتیجه می‌توان گفت خصوصیات دیگری از جمله ویژگی‌های تاج‌پوشش مانند تراکم و ساختار آن، ویژگی‌های بارندگی و اقلیمی در مقدار این دو عامل تأثیرگذار هستند.

مطالعات قبلی نشان داد که مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش با شدت باران و تغییرات سرعت باد تغییر می‌کند (Hörmann et al., 1996; Jackson, 1975; Calder et al., 1996). مرور منابع نشان می‌دهد که افزایش شدت باران باعث کاهش ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش می‌گردد (Calder et al., 1996). همچنین گزارش شده که مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج‌پوشش تحت تأثیر تغییرات ایجاد شده در طول بارندگی مانند تغییر در سرعت باد می‌باشد که باعث تکان برگها و شاخه‌ها می‌شود (Hörmann et al., 1996). در واقع وزش باد می‌تواند مقدار آبی که توسط تاج‌پوشش

جدول ۳- مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش (S) و ضریب تاج بارش مستقیم (p) گونه های مختلف کاج در مناطق مختلف جهان

منبع	روش اندازه گیری	ضریب تاج بارش مستقیم	ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش (میلی متر)	تراکم درخت (اصلی در هکتار)	گونه
Llorens & Gallart (2000)	روش مستقیم	۰/۲	۲/۳	۵۰۹	<i>Pinus sylvestris</i>
Llorens & Gallart (2000)	روش مستقیم	۰/۴	۱/۲	۷۶۴	<i>Pinus sylvestris</i>
Gash & Morton (1978)	غیرمستقیم (Morton و Gash)	۰/۳	۰/۸	۸۰۰	<i>Pinus sylvestris</i>
Llorens & Gallart (2000)	روش مستقیم	۰/۲	۲	۱۴۰۰	<i>Pinus sylvestris</i>
Llorens & Gallart (2000)	روش مستقیم	۰/۳	۱/۵	۱۷۸۲	<i>Pinus sylvestris</i>
Gash et al. (1980)	غیرمستقیم (Morton و Gash)	۰/۱	۱	۱۸۷۰	<i>Pinus sylvestris</i>
Llorens (1997)	غیرمستقیم (Leyton)	۰/۱	۱/۳	۲۴۰۰	<i>Pinus sylvestris</i>
Llorens & Gallart (2000)	روش مستقیم	۰/۱	۲/۷	۲۶۷۴	<i>Pinus sylvestris</i>
Perttu et al. (1980)	-	-	۰/۳	۲۹۰۰	<i>Pinus sylvestris</i>
Rutter (1963)	غیرمستقیم (Leyton)	-	۱/۶	۴۶۰۰	<i>Pinus sylvestris</i>
مطالعه حاضر	غیرمستقیم (Leyton)	۰/۱	۱/۷	۱۱۸۵	<i>Pinus eldarica</i>
مطالعه حاضر	غیرمستقیم (Morton و Gash)	۰/۱	۱/۴	۱۱۸۵	<i>Pinus eldarica</i>
مطالعه حاضر	غیرمستقیم (Pypker- Jackson)	۰/۱	۱/۸	۱۱۸۵	<i>Pinus eldarica</i>
Valente et al. (1997)	غیرمستقیم (Leyton)	۰/۴	۰/۴	۳۱۲	<i>Pinus pinaster</i>
Lankreijer et al. (1993)	غیرمستقیم (Leyton)	۰/۴	۰/۳	۴۳۰	<i>Pinus pinaster</i>
Loustau et al. (1992)	غیرمستقیم (Morton و Gash)	۰/۶	۰/۵	۸۰۰	<i>Pinus pinaster</i>
Liu (1998)	روش مستقیم	-	۰/۴	۴۶۴	<i>Pinus elliottii</i>
Liu (1998)	روش مستقیم	-	۰/۵	۴۹۶	<i>Pinus elliottii</i>
Liu (1998)	روش مستقیم	-	۰/۴	۶۷۲	<i>Pinus elliottii</i>
Liu (1998)	روش مستقیم	-	۰/۷	۱۱۹۰	<i>Pinus elliottii</i>
Rutter et al., (1971)	غیرمستقیم (Leyton)	۰/۳	۱/۱	۶۰۰	<i>Pinus nigra</i>
Robins (1974)	-	-	۱	۶۰۰	<i>Pinus nigra</i>
Kelliher et al. (1992)	غیرمستقیم (Morton و Gash)	-	۰/۴	۴۵۰	<i>Pinus radiata</i>

نیمه خشک در ایران را به خود اختصاص می دهد و این امر برای مناطق خشک و نیمه خشک که رطوبت خاک یک فاکتور محدود کننده در رشد گیاه و تولید آن محسوب می شود، از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به اینکه باران ربایی و مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش در مطالعات مربوط به تراز آبی در جنگل کاریها در ایران مورد بررسی قرار نگرفته، لازم است در آینده به آن توجه بیشتری شود. برآورد میزان باران ربایی در کنار سایر عوامل، در انتخاب گونه های

علت اینکه در مقدار باران های کم، تمام بارندگی به ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش تبدیل نشده، احتمالاً به دلیل عبور مقداری از بارندگی از میان تاج پوشش بدون برخورد به آن (تاج بارش مستقیم) و یا تأثیر عوامل اقلیمی در هنگام وقوع باران از جمله وزش باد یا افزایش شدت بارندگی است.

تحقیق حاضر نشان داد که مقدار ظرفیت نگهداری آب روی تاج پوشش، بخش قابل توجهی از باران جذب شده توسط توده کاج تهران مورد مطالعه واقع در منطقه

of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1655-1667.

- Hörmann, 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: 131-148.
- Jackson, I.J., 1975. Relationships between rainfall parameters and interception by tropical rainforest. *Journal of Hydrology*, 24: 215-238.
- Kelliher, F.M., Whitehead, D. and Pollock, D.S., 1992. Rainfall interception by trees and slash in a young *Pinus radiata* D. Don stand. *Journal of Hydrology*, 131: 187-204.
- Klaassen, W., Bosveld, F. and deWater, E., 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212-213: 36-50.
- Lankreijer, H.J.M., Hendriks, M.J. and Klaassen, W., 1993. A comparison of models simulating rainfall interception of forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64: 187-199.
- 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 ecosystem. *Journal of Hydrology*, 274: 1-29.
- Leyton, L., Reynolds, E.R.C. and Thompson, F.B., 1967. Rainfall interception in forest and moorland. In: Sopper, W.E. and Lull, H.W., (Eds.), *International Symposium on Forest Hydrology*, Pennsylvania State University, Pergamon Press: 163-178.
- Liu, S.G., 1997. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecological Modeling*, 99: 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: 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: 131-144.
- Loustau, D., Bergigier, 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: 469-485.
- Perttu, K., Bishop, W., Grip, H., Jansson, P.E., Lindgren, A., Lindroth, A. and Noren, B., 1980. Micrometeorology and hydrology of pine forest ecosystems. I. Field studies. In: Person, T. (Ed.), *Structure and function of northern coniferous forest- an ecosystem system study*. *Ecological Bulletins*, 32: 75-121.
- Pypker, T.G., Baond, B.J., Link, T.E., Marks, D. and Unsworth, M.H., 2005. The importance of canopy

مناسب و سازگار جنگل کاری در مناطق خشک و نیمه خشک که کمبود آب محدود کننده استقرار و رشد جنگل کاری است، می تواند حائز اهمیت باشد. در این رابطه باید به میزان تعرق گونه های منتخب برای جنگل کاری در مناطق خشک و نیمه خشک نیز توجه ویژه کرد.

منابع مورد استفاده

- احمدی، م.ت.، عطارد، پ.، مروی مهاجر، م.ر.، رحمانی، ر. و فتحی، ج.، ۱۳۸۸. باران ربایی توده راش (*Fagus orientalis* Lipsky) خالص در فصل تابستان. مجله جنگل ایران، ۱ (۲): ۱۸۵-۱۷۵.
- باقری، ح.، ۱۳۸۹. اندازه گیری میزان باران ربایی کاج تهران و سرو نقره ای در مناطق خشک. پایان نامه کارشناسی ارشد جنگل شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه تهران، ۷۴ صفحه.
- Aussenac, G. and Boulangeat, C., 1980. Interception des precipitations et evapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus sylvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). *Annals of Forest Science*, 37: 91-107.
- Calder, I.R., Hall, R.L., Rosier, P.T.W., Bastable H.G. and Prasanna, K.T., 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.
- Fleischbein, K., Wilcke, W., Goller, R., Boy, J., Valarezo, C., Zech, W. and Knoblich, K., 2005. Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties. *Hydrological Processes*, 19 (7): 1355-1371.
- Gash, J., 1979. An analytical model of rainfall interception by forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105: 43-55.
- 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: 49-58.
- Gash, J.H.C., Wright, I.R. and Lloyd, C.R., 1980. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 48: 89-105.
- Herbst, M., Rosier, P.T.W., MnNeil, D.D., Harding, R.J. and Gowing, D.J., 2008. Seasonal variability

- forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 121-134.
- Staelens, J., Schrijver, A.D., Verheyen, K. and Verhoest, N. 2008. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvestris* L.) canopy: influence of foliage, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes*, 22: 33-45.
 - Valente, F., David, J.S. and Gash, J.H.C., 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*, 190: 141-162.
 - Xiao, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E. and Simpson, J.R., 2000. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. *Hydrological Processes*, 14: 763-784.
 - Zinke, P.J., 1967. Forest interception study in the United States. In: Sopper W.E. and Lull, H.W., (Eds.), *Forest Hydrology*. Pergamon, Oxford: 137-161.
 - structure in controlling the interception loss of rainfall: examples from a young and an old-grown Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 113-129.
 - 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: 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: 315-325.
 - Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C. and Monton, A.J., 1971. A predictive model of rainfall interception forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine. *Agricultural Meteorology*, 9: 367-384.
 - Samba, S.A.N., Camire, C. and Margolis, H.A., 2001. Allometry and rainfall interception of *Cordia pinnate* in semi-arid agroforestry parkland, Senegal. *Forest Ecology and Management*, 154: 277-288.
 - Sraj, M., Brilly, M. and Mikos, M., 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean

Archive of SID

Canopy water storage capacity and its effect on rainfall interception in a *Pinus eldarica* plantation in a semi-arid climate zone

M. Motahari¹ and P. Attarod^{2*}

1- M.Sc. Student of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2*- Corresponding author, Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: attarod@ut.ac.ir

Received: 04.07.2011

Accepted: 28.11.2011

Abstract

Forest canopy rainfall interception loss (I) and canopy water storage capacity (S) are important components of the water balance in arid and semi-arid climate zones. The goal of this research was to quantify S and free throughfall (p) in a mature *Pinus eldarica* Medw. afforestation planted in the Chitgar Forest plantation near Tehran, Iran. Measurements of gross precipitation (GR (n=6)) and throughfall (TF (n=45)) were recorded on an event basis from September 2009 to April 2010. I was calculated as the difference between GR and TF. For the measurement period, GR totaled 164.8 mm and rainfall interception loss (I) was 61.2 mm. In this study S was estimated as 1.7 mm, 1.4 mm and 1.8 mm by methods of Leyton, Gash and Morton, and Pypker- Jackson, respectively. Free throughfall (p) was estimated 0.1422. I was estimated 44% and 91.3% of total GR for rainfall events sufficient to saturate the canopy (GR>1.6 mm) and insufficient to saturate the canopy (GR<1.6 mm), respectively. The results demonstrate that canopy storage capacity represents a considerable portion of intercepted rainfall from GR in *P. eldarica* plantation regions of the semi-arid climate zone of Iran where soil moisture is a limiting factor on plant growth and productivity.

Key words: Interception, plantation, *Pinus eldarica*, canopy water storage capacity, semi-arid climate zone