جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸
ص ۸۹-۱۰۰
DOI: 10.22059/jfwp.2019.267717.970

برآورد مه‌بارش و باران‌ربایی در تودهٔ طبیعی راش شرقی خالص در جنگل‌های هیرکانی

عاطفه دژبان[۱]، پدرام عطارد[۲*]، قوام‌الدین زاهدی امیری[۲]، توماس گرنت پیپکر[۳]، کازوکی نانکو[۴]

۱. دانش‌آموختهٔ دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۲. استاد گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۳. دانشیار گروه علوم منابع طبیعی، دانشگاه تامپسون ریورز، ایالت بریتیش کلمبیا، کانادا
۴. پژوهشگر ارشد گروه پیشگیری از حوادث، هواشناسی و هیدرولوژی، مؤسسهٔ تحقیقات جنگلداری و تولیدات جنگل (FFPRI)، آژانس توسعه و تحقیقات ملی، ژاپن

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۶

چکیده

جنگل‌های هیرکانی به‌واسطهٔ دما و رطوبت نسبی زیاد، مه غلیظ در ارتفاعات و مه‌بارش از دیگر جنگل‌های معتدله و پهن‌برگ خزان‌کنندهٔ جهان متمایز شده‌اند. بر اهمیت مه‌بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع ورودی آب و تولید رطوبت در جنگل بسیار تأکید شده است. هدف پژوهش حاضر کمّی‌سازی مه‌بارش و باران‌ربایی تودهٔ طبیعی راش (*Fagus orientalis* Lipsky) در ارتفاعات و بیان اهمیت مه‌بارش در جنگل‌های هیرکانی است. نمونه‌برداری‌ها در زمان رشد کامل برگ درختان تا قبل از شروع خزان برگ‌ها در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در جنگل خیرود-بهاربن انجام گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری باران و تاج‌بارش به‌ترتیب ۱۰ و ۱۲۲ باران‌سنج در فضای باز و زیر تاج‌پوشش قرار گرفت. در دورهٔ پژوهش ۲۲ رخداد باران با مقدار تجمعی ۶۴۸ میلی‌متر ثبت شد و درصدهای تجمعی تاج‌بارش و باران‌ربایی در توده به‌ترتیب ۹۹/۴ و ۰/۲ درصد به‌دست آمد. به‌دلیل وجود مه در توده با درصد تجمعی ۳/۵ درصد، ۱۴ رخداد با باران‌ربایی منفی (تاج‌بارش بیشتر از باران) و مقدار تجمعی ۲۲/۶- میلی‌متر و ۳/۵- درصد از بارندگی و ۸ رخداد باران با باران‌ربایی مثبت (تاج‌بارش کمتر از باران) و مقدار تجمعی باران‌ربایی ۲۵/۵ میلی‌متر و ۳/۹ درصد از بارندگی ثبت شد. بیشترین مه‌بارش در سال ۱۳۹۵ و در مهرماه مشاهده شد. نتایج نشان داد که مه‌بارش سبب افزایش تاج‌بارش و کاهش باران‌ربایی می‌شود. بنابراین درختان راش تأثیر چشمگیری بر فرایندهای هیدرولوژیک محلی دارند و محافظت آنها در اکوسیستم کوهستانی موجب به دام انداختن قطره‌های مه و تولید مه‌بارش می‌شود که به تأمین آب زیرزمینی و رطوبت اکوسیستم کمک خواهد کرد. درک فرایندهای هیدرولوژیک توده با در نظر گرفتن پدیده‌های جوی به مدیران جنگل در مدیریت بهینهٔ توده‌های جنگلی و تنظیم ورودی آب به اکوسیستم یاری خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: باران‌ربایی، تاج‌بارش، جنگل‌های هیرکانی، راش خالص طبیعی، مه‌بارش.

مقدمه

باران‌ربایی[۱] بخشی از باران است که توسط برگ‌ها، شاخه‌ها و ساقه از دسترس درختان خارج شده و به‌واسطهٔ تبخیر به اتمسفر باز می‌گردد. ساقاب در میان برگ‌ها و شاخه‌ها جریان می‌یابد و از طریق تنهٔ درخت به کف جنگل می‌رسد [۱]. بخش دیگری از باران نیز با عنوان تاج‌بارش[۲] با عبور از روشنه‌های تاج پوشش یا برخورد به

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۷۰۱۳۹۹۶
Email: attarod@ut.ac.ir

1. Interception (I)
2. Throughfall (TF)

تاج‌پوشش به کف جنگل می‌رسد [۲]. پدیدهٔ مه‌بارش[1] (FP) به‌دلیل حضور همزمان چند عامل از جمله پوشش مداوم ابرها، باد و پوشش گیاهی متراکم به وقوع می‌پیوندد [۳]. قطره‌های ریز آب حاصل از مه توسط تاج‌پوشش جنگل به دام می‌افتند و روی برگ‌ها قطره‌های بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند و به‌شکل مه‌بارش به کف جنگل می‌رسند [۴]. به‌دلیل اینکه سرعت قطره‌های ریز آب حاصل از مه بسیار کمتر از سرعت صعود ابرهای بالارونده اطراف آنهاست، قطره‌های مه به‌صورت ذرات معلق در جو پخش می‌شوند و تنها درصد بسیار کمی از این قطره‌ها توسط باد به پایین کشیده می‌شوند و در خاک نفوذ می‌کنند که مقدار آن از ۰/۲ میلی‌متر در روز فراتر نمی‌رود [۴]. پوشش گیاهی می‌تواند بر باران و مقدار آب رسیده به کف زمین در نواحی مختلف تأثیر مستقیم داشته باشد [۵]. در مناطق کوهستانی، بارش می‌تواند به‌شکل جامد یا مایع رخ دهد و افزون‌بر باران، مه، سهم زیادی در بارش‌های محلی دارد [۵]. در تحقیق Uehara و Kume (۲۰۱۲) در تودهٔ *Pinus pumila* در کوهستان Hida در شمال ژاپن، وقوع مه‌بارش که سبب افزایش تاج‌بارش شد گزارش شده است [۶]. همچنین در پژوهش دیگری در جنگل‌های کوهستانی پرو، با ۱۵۶ گونهٔ درختی، مقدار باران و تاج‌بارش در دو ارتفاع ۲۴۶۸ و ۲۸۱۵ متر از سطح دریا اندازه‌گیری شد که مقدار تاج‌بارش و باران‌ربایی در ارتفاع بالاتر به‌ترتیب بیشتر و کمتر از ارتفاع پایین به‌دست آمد [۷]. Prada و همکاران (۲۰۰۹) نیز در جنگل‌های طبیعی در پرتغال، مقدار مه‌بارش و باران‌ربایی را در سه ارتفاع ۱۰۵۰، ۱۳۸۵ و ۱۵۸۰ متر از سطح دریا اندازه‌گیری کرده و گزارش کردند که به‌دلیل مه‌بارش بیشتر در ارتفاع ۱۵۸۰ متر، مقدار باران‌ربایی ۲۲۵- درصد باران برآورد شد که از جمله دلایل آن، ارتفاع بیشتر و نوع پوشش گیاهی، ساختار متفاوت درختان و شکل برگ‌ها بیان شد [۳]. در نواحی جنگلی مرتفع و کوهستانی که اغلب پوشیده از ابرهای کم‌ارتفاع هستند، مقداری از آب موجود در ابرها توسط تاج‌پوشش جنگل جذب شده و موجب افزایش مقدار تاج‌بارش در توده می‌شود و بخش زیادی از رواناب کل را تشکیل می‌دهد [۳]. به‌طور معمول به‌دلیل فرایند باران‌ربایی در جنگل، باران‌سنج‌های نصب‌شده در فضای باز، باران بیشتری را در مقایسه با باران‌سنج‌های واقع در زیر تاج‌پوشش (تاج‌بارش) دریافت خواهند کرد که در اثر وقوع پدیده مه‌بارش ممکن است این رابطه عکس شود، به‌طوری که رطوبت زیاد محیط، سبب تراکم مه و ایجاد فرایند میعان می‌شود که به کاهش شدید باران‌ربایی و افزایش تاج‌بارش می‌انجامد [۸].

بادهای شمال شرقی که منشأ آن تودهٔ پرفشار سیبری در شمال روسیه و منطقهٔ سیبری است، در هنگام عبور از سطح دریای کاسپین، رطوبت زیادی را به بخش‌های جنوبی دریای کاسپین منتقل می‌کند [۹]. بنابراین بخش‌های جنوبی دریای کاسپین تفاوت‌های بیوکلیماتیک چشمگیری نسبت به دیگر نقاط ایران دارد. برخی از مهم‌ترین خصوصیات بیوکلیماتیک این منطقه، کاهش بارش سالانه از غرب به شرق [۱۰]، بیشترین بارندگی در اوایل پاییز، دورهٔ فصل خشک بسیار کوتاه یا نبود فصل خشک در برخی مناطق بخش‌های غربی و رطوبت نسبی بسیار زیاد است که سبب ایجاد مه پایدار در ارتفاعات می‌شود [۱۲-۱۰]. گستردگی بخش وسیعی از جامعهٔ جنگلی راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در مناطق کوهستانی جنگل‌های هیرکانی [۱۱] و رطوبت نسبی زیاد در این مناطق سبب ایجاد مه پایدار در ارتفاعات می‌شود [۱۰، ۱۲]، بنابراین بررسی باران‌ربایی تودهٔ راش در ارتفاعات جنگل‌های هیرکانی و نشان دادن تأثیر ابرهای کم‌ارتفاع و مه‌بارش بر فرایندهای هیدرولوژیک در این اکوسیستم به مدیریت بهینهٔ توده‌های جنگلی با در نظر گرفتن شرایط بیوکلیماتیک و فرایندهای هیدرولوژیک و تنظیم ورودی آب به اکوسیستم

1. Fog precipitation (FP)

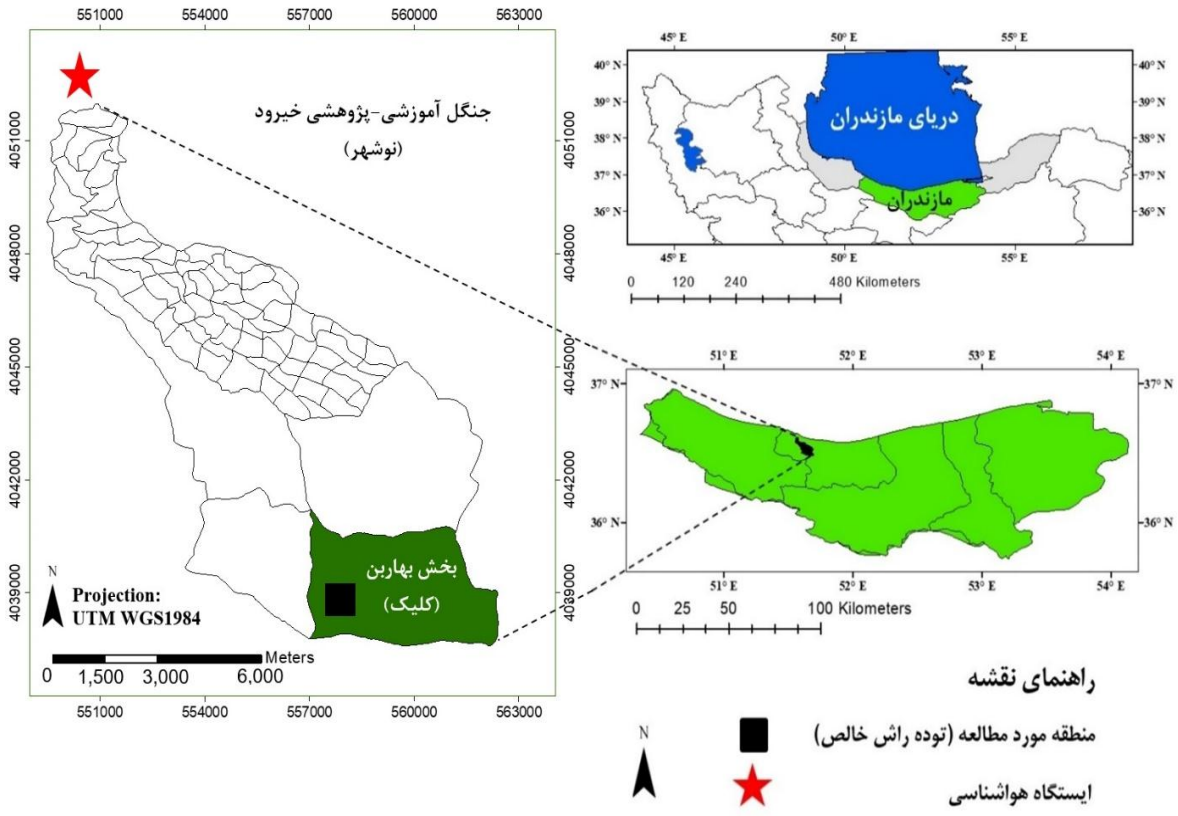
کمک شایانی خواهد کرد. تاکنون در خصوص کمّی‌سازی مه‌بارش در جنگل‌های شمال کشور تحقیقی انجام نگرفته است و این پژوهش از این نظر، جدید و حائز اهمیت است. هدف پژوهش حاضر، کمّی‌سازی مقادیر مه‌بارش و باران‌ربایی در تودهٔ طبیعی راش شرقی خالص واقع در ارتفاعات کوهستانی جنگل‌های هیرکانی و ارزیابی سهم مه‌بارش در تأمین آب مورد نیاز درختان در این جنگل‌هاست.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ تحقیق

پژوهش پیش رو در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تهران (خیرود) واقع در ۷ کیلومتری شرق نوشهر در بخش بهاربن در دامنهٔ طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه و ۴۹ ثانیه و ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه و ۹ ثانیه و دامنهٔ عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۹ ثانیه و ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه و ۵۰ ثانیه از بخش‌های مرکزی جنگل‌های هیرکانی انجام گرفت (شکل ۱).

براساس آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک نوشهر (با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقهٔ شرقی و ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقهٔ شمالی و ارتفاع ۲۰/۹- متر از سطح دریا) در طی یک دورهٔ ۴۰ ساله (۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵)، میانگین بارندگی سالانه (واریانس) ۱۲۹۷ میلی‌متر (۱۳۵) و میانگین دمای سالانه (واریانس) ۱۶/۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۵۱/۲) به‌دست آمد. گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به‌ترتیب مرداد با میانگین دمای ۲۵/۲ درجهٔ سانتی‌گراد و دی با میانگین دمای ۷/۲ درجهٔ سانتی‌گراد هستند. بخش بهاربن با مساحت بالغ بر ۱۵۵۰ هکتار در محدودهٔ ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا گسترده شده است [۱۳].



شکل ۱. منطقهٔ پژوهش در جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تهران، نوشهر (خیرود)، بخش بهاربن

شکل ۲- (الف). منطقهٔ پژوهش پوشیده از ابرهای کم‌ارتفاع و (ب) تودهٔ راش خالص (*Fagus orientalis* Lipsky)، در شرایط متفاوت (محصور در مه و آفتابی) در ارتفاعات جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تهران، بخش بهاربن (خیرود- نوشهر).

جنگل‌های بالادست بخش بهاربن در بیشتر اوقات سال پوشیده از ابرهای کم‌ارتفاع‌اند که از دلایل آن می‌توان به کوهستانی بودن منطقه اشاره کرد، به‌طوری که بادهای مرطوب دریایی در امتداد شیب صعود می‌کنند و ابرهای اروگرافیک[1] (کوهستانی) و مه را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). اندازه‌گیری‌ها در تودهٔ خالص و طبیعی راش شرقی (۱۰ درصد گونه‌های ممرز و توسکا) به مساحت ۴۹۰۰ مترمربع در ارتفاع ۱۴۷۶ متر از سطح دریا انجام گرفت (شکل ۱). تراکم درختان در توده ۱۸۸ درخت در هکتار با سطح مقطع ۵۱ متر مربع در هکتار، میانگین ارتفاع و قطر درختان به‌ترتیب ۲۹/۱ متر و ۵۱/۲ سانتی‌متر و میانگین شیب تودهٔ مورد نظر ۲۰ تا ۲۵ درصد و به‌سمت شمال است. حدود ۱۰ درصد از زیراشکوب توده، پوشیده از گونه‌های علفی فرفیون (Euphorbia)، کوله‌خاس (*Ilex spinigera*)، بنفشه (*Viola odorata*)، آسپرولا (*Asperula odorata*)، سانیکولا (*Sanicula europaea*) و پامچال (*Primula heterochroma*) است.

جمع‌آوری داده‌ها

باران (GR)، تاج‌بارش (TF)، ساقاب (SF)

مقادیر باران (GR)، تاج‌بارش (TF) و ساقاب (SF) در زمان رشد کامل برگ درختان[2] تا قبل از شروع خزان برگ‌ها[3] (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا اواسط آبان ۱۳۹۵ و اردیبهشت ۱۳۹۶ تا اواسط آبان ۱۳۹۶) جمع‌آوری شد.

1. Orographic

2. Full leaf
3. Leaf fall

مقدار باران با استفاده از ۱۰ باران‌سنج دستی[1] پلاستیکی با قطر دهانهٔ ۱۳ سانتی‌متر (مساحت دهانه ۱۳۲/۷ سانتی‌متر مربع) و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در فضای باز به فاصلهٔ ۱۰۰ متر و ارتفاع یکسان از توده اندازه‌گیری شد. باران‌سنج‌ها در فضای باز روی پایه‌های چوبی[2] به ارتفاع ۱۹۰ سانتی‌متر قرار گرفتند، به‌گونه‌ای که در زاویهٔ ۴۵ درجه از سطح آنها هیچ‌گونه تداخل با تاج درختان اطراف وجود نداشته باشد و به‌منظور کاهش تبخیر، با فویل آلومینیومی پوشیده شدند.

به‌منظور اندازه‌گیری تاج‌بارش، ۱۲۲ باران‌سنج دستی در فضای باز زیر تاج‌پوشش تودهٔ نیم‌هکتاری به‌صورت طرح تصادفی ساده در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری از سطح کف جنگل قرار گرفتند و همهٔ گیاهان علفی اطراف جمع‌آوری‌کننده‌های تاج‌بارش تا شعاع ۷۰ سانتی‌متری برداشته شدند. هر رخداد باران پنج تا هشت ساعت بعد از پایان باران با اطمینان از خشک شدن تاج‌پوشش و نیز بارندگی‌های شبانه، هنگام صبح، بعد از طلوع آفتاب اندازه‌گیری شدند. باران‌هایی که چند روز متوالی ادامه داشتند، یک رخداد باران در نظر گرفته شدند [۱۴]. فاصلهٔ زمانی بین دو رخداد باران بیش از هشت ساعت در نظر گرفته شد، زیرا به‌دلیل مه‌گیر بودن توده و افزایش غلظت مه در طول مدت بارندگی، برای خشک شدن تاج‌پوشش زمان بیشتری نیاز بود و در صورت وقوع باران در کمتر از فاصلهٔ زمانی ذکرشده، مجموع بارندگی‌ها یک رخداد باران در نظر گرفته شد. به‌منظور محاسبهٔ مقدار ساقاب، همهٔ درختان توده با توجه به پراکنش قطری، در سه طبقهٔ قطری ۴۰-۱۰، ۷۰-۴۰ و >۷۰ سانتی‌متر طبقه‌بندی شده و از هر طبقهٔ قطری به‌صورت تصادفی سه درخت انتخاب شدند. در مجموع ساقاب نه درخت در طول دورهٔ پژوهش بعد از هر بار بارندگی اندازه‌گیری شد. مقدار ساقاب با استفاده از ناودان‌های پلاستیکی اندازه‌گیری شد. ناودان‌ها از جنس PVC بودند و روی ساقهٔ درختان به‌صورت مارپیچی نصب شدند و ساقاب به داخل مخازن ۲۰ لیتری نصب‌شده در انتهای ناودان هدایت شد. برای محاسبهٔ عمق ساقاب تولیدشده توسط هر درخت، حجم ساقاب تولیدشده در هر بارندگی بر مساحت تاج درخت (CPA)[3] مربوط تقسیم شد [۱۵]. مقدار باران‌ربایی به‌صورت غیرمستقیم از تفاضل مجموع مقادیر تاج‌بارش و ساقاب از باران (I=GR-(TF+SF)) برآورد شد [۱۴].

تخمین مه‌بارش (FP)

با توجه به مه‌گیر بودن و با استناد به منابع موجود مبنی بر رطوبت نسبی زیاد در منطقه و تشکیل مه غلیظ در نواحی کوهستانی جنگل‌های هیرکانی [۱۲-۱۰]، مقدار تقریبی مه‌بارش با استفاده از روش Prada et al. (2009) تخمین زده شد [۳]. به‌طور معمول در مکان‌های بدون مه‌بارش، مقدار باران (GR)، بیشتر از باران خالص (NR[4]=TF+SF) است که به مقدار مثبت باران‌ربایی منجر می‌شود، اما در مواردی که باران خالص بیشتر از باران ناخالص شود (باران‌ربایی منفی)، مقدار آب اضافه‌شده به تاج‌بارش، به‌عنوان قطره‌های مه در نظر گرفته می‌شود که از تاج‌پوشش جدا شده است [۳]. درصورتی که تبخیر و ظرفیت ذخیرهٔ قطره‌های مه توسط تاج‌پوشش ناچیز باشد، مه‌بارش برابر با اختلاف مقدار باران با باران خالص (باران خالص بیشتر از باران) است [۳]. اگرچه در این‌صورت مه‌بارش کمتر از مقدار واقعی برآورد خواهد شد، زیرا مقدار آب حاصل از قطره‌های مه اضافه‌شده به تاج‌بارش تنها در رخدادهایی با باران‌ربایی منفی (باران خالص بیشتر از باران ناخالص) کمّی می‌شود و در رخدادهایی با باران‌ربایی مثبت این مقدار نادیده گرفته می‌شود. در این پژوهش، مقدار مه‌بارش با استفاده از فرمول باران‌ربایی

1. Manual rain-collector
2. Wooden Stake
3. Crown Projected Area (CPA)
4. Net Rainfall

تـــاج‌پوشـــش [۸] ($I=GR-NR_{(TF+SF)}$) تعیـــین شـــد. در رخدادهای با باران‌ربایی منفی، قدر مطلق مقدار باران‌ربایی به‌عنوان مه‌بارش در نظر گرفته شد. بنابراین میـانگین قـدر مطلق باران‌ربایی تاج‌پوشش را مـی‌تـوان بـه‌عنـوان مقـدار مه‌بارش در نظر گرفت و از رابطه ۱ محاسبه کرد [۳]:

(۱) مه‌بارش (FP) (میلی‌متر) = میـانگین | بـاران‌ربـایی (I) تاج‌پوشش در رخدادهای با مقدار منفی

نتایج و بحث

اجزای باران

در طی دورهٔ پژوهش، ۲۲ رخداد بـاران بـا مقـدار تجمعـی ۶۴۸ میلی‌متر ثبت شد که متوسط هر رخداد باران و درصـد ضریب تغییرات بـه‌ترتیـب ۲۹/۵ میلـی‌متـر و ۶۳/۲ درصـد به‌دست آمد. مقدار بارندگی در سال ۱۳۹۵ با مقدار تجمعـی ۳۳۶/۸ میلی‌متر (متوسط هر رخداد باران ۲۸/۱ میلـی‌متـر) و در سال ۱۳۹۶ با مقدار تجمعی ۳۱۱/۲ میلی‌متر (متوسط هـر رخداد باران ۳۱/۱ میلی‌متر) ثبت شد (جدول ۱).

در طول دورهٔ تحقیق، تاج‌بـارش بـا مقـدار تجمعـی و میانگین بـه‌ترتیـب ۶۴۴ و ۲۹/۳ میلـی‌متـر انـدازه‌گیـری و محاسبه شد که در مجموع ۹۹/۴ درصد از بارنـدگی را بـه خود اختصاص داد. مجموع عمـق سـاقاب و بـاران‌ربـایی به‌ترتیب ۲/۸ میلی‌متـر (۰/۴۳ درصـد از بارنـدگی) و ۱/۳ میلی‌متر (۰/۲ درصد از بارندگی) اندازه‌گیری شد. در سال ۱۳۹۵ مقدار باران خالص (تاج‌بـارش+ سـاقاب) بـا عمـق تجمعی ۳۴۹/۱ میلی‌متـر (۵۳/۸ درصـد از بارنـدگی) و در سال ۱۳۹۶ مقدار باران خـالص بـا عمـق تجمعـی ۲۹۷/۷ میلی‌متر (۴۵/۹ درصـد از بارنـدگی) ثبـت شـد. همچنـین کمترین مقدار باران‌ربایی با مجموع عمق ۱۲/۲- میلـی‌متـر (۱/۹- درصد از بارندگی) در سال ۱۳۹۵ و بیشترین مقدار باران‌ربایی با عمق تجمعی ۱۳/۶ میلی‌متـر (۲/۱ درصـد از بارنـدگی) در سـال ۱۳۹۶ انـدازه‌گیـری و محاسـبه شـد (جدول ۲).

جدول ۱. شاخص‌های آماری، تعداد رخدادها، عمق تجمعی و درصد تجمعی باران (GR) به تفکیک سال‌های نمونه‌برداری در طول دورهٔ پژوهش (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا آبان ۱۳۹۶) در تودهٔ راش خالص (*Fagus orientalis* Lipsky).

سال	رخداد باران	عمق تجمعی باران (میلی‌متر)	میانگین (میلی‌متر)	انحراف معیار (میلی‌متر)	حداقل (میلی‌متر)	حداکثر (میلی‌متر)	درصد از بارندگی کل
۱۳۹۵	۱۲	۳۳۶/۸	۲۸/۱	۲۰/۳	۶/۲	۸۶/۶	۵۲
۱۳۹۶	۱۰	۳۱۱/۲	۳۱/۱	۲۰/۲	۲/۵	۶۴	۴۸
کل	۲۲	۶۴۸	۲۹/۵	۱۹/۸	۲/۵	۸۶/۶	۱۰۰

جدول ۲. میانگین، عمق تجمعی و درصد تاج‌بارش (TF)، ساقاب (SF) و باران‌ربایی (I) به تفکیک سال‌های نمونه‌برداری در طول دورهٔ پژوهش (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا آبان ۱۳۹۶) در تودهٔ راش خالص (*Fagus orientalis* Lipsky).

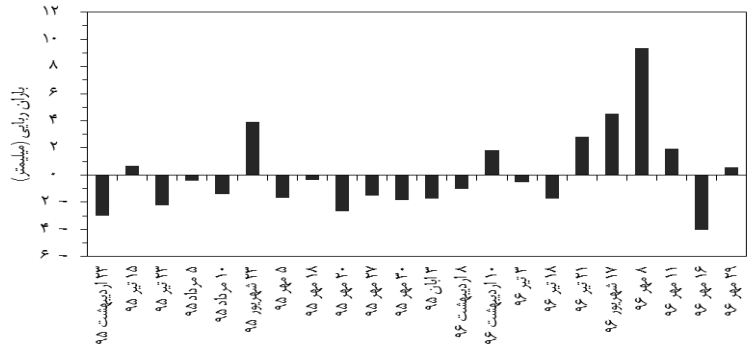
سال	شاخص آماری	تاج‌بارش		ساقاب		باران‌ربایی	
		میلی‌متر	درصد	میلی‌متر	درصد	میلی‌متر	درصد
۱۳۹۵	میانگین	۲۹	۹۸/۳	۰/۱۱	۰/۳۷	-۱	-۳/۴
	انحراف معیار	۲۰/۲	۱۰۲/۱	۰/۱۳	۰/۶۶	۱/۹	۹/۴
	تجمعی	۳۴۷/۷	۵۳/۶	۱/۳۶	۰/۲	-۱۲/۲	-۱/۹
۱۳۹۶	میانگین	۲۹/۶	۱۰۰/۳	۰/۱۴	۰/۴۷	۱/۴	۴/۷
	انحراف معیار	۱۹/۶	۹۸/۹	۰/۱۵	۰/۷۶	۳/۷	۱۸/۹
	تجمعی	۲۹۶/۳	۴۵/۷	۱/۴۰	۰/۲۲	۱۳/۶	۲/۱
	میانگین کل	۲۹/۳	۹۹/۳	۰/۱۳	۰/۴۹	۰/۲	۰/۷
	مجموع کل	۶۴۴	۹۹/۴	۲/۸	۰/۴۳	۱/۳	۰/۲

درصد تجمعی ساقاب در این پژوهش بسیار ناچیز و کمتر از ۱ درصد باران (۰/۴۳ درصد) اندازه‌گیری شد که در بسیاری از جنگل‌های کوهستانی نیز گزارش شده است [۷] و در دامنهٔ مقادیر گزارش‌شده توسط Rahmani و همکاران (۲۰۱۱) [۱۶] و Gomez و همکاران (۲۰۰۸) [۷] و بسیاری از مطالعات در جنگل‌های پهن‌برگ جهان است [۱۶]. درصد تجمعی کم ساقاب در جنگل‌هایی که ساقهٔ درختان پوشیده از خزه و گلسنگ است، بسیار معمول است [۱۷] و ساقهٔ درختان راش در تحقیق حاضر نیز از این خصوصیت مستثنا نبوده‌اند و بخش زیادی از ساقهٔ درختان با پوستهٔ ضخیم پوشیده از خزه و گلسنگ بودند.

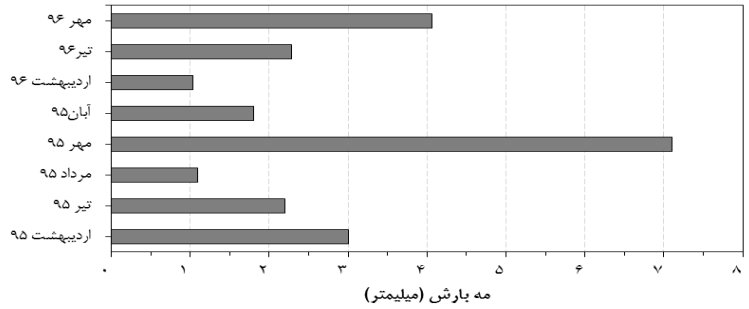
تخمین مه‌بارش (FP)

در این پژوهش، ۱۴ رخداد با باران‌ربایی منفی (تاج‌بارش بیشتر از باران) و مقدار تجمعی (انحراف معیار) ۲۲/۶- میلی‌متر (±۱) و ۳/۵- درصد از بارندگی و ۸ رخداد باران با باران‌ربایی مثبت (تاج‌بارش کمتر از باران) و مقدار تجمعی باران‌ربایی (انحراف معیار) ۲۵/۵ میلی‌متر (±۲/۸) و ۳/۹ درصد از بارندگی ثبت شد (شکل ۳).

کمترین و بیشترین مقدار تجمعی مه‌بارش به‌ترتیب حدوداً ۱ میلی‌متر و ۷ میلی‌متر در ماه‌های اردیبهشت ۱۳۹۶ و مهر ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد (شکل ۴). درصدهای تجمعی اجزای باران شامل تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی در تودهٔ راش خالص به‌ترتیب ۹۹/۴، ۰/۴۳ و ۰/۲ درصد به‌دست آمد. بنابراین باران خالصی که به کف جنگل می‌رسد، ۹۹/۸ درصد از بارندگی را شامل می‌شود. با توجه به اینکه باران‌ربایی درصد بسیار کمی از بارندگی را به خود اختصاص داده و مقدار آن نیز ۰/۲ درصد برآورد شده است و با توجه به وقوع ۱۴ رخداد با باران‌ربایی منفی، در نتیجهٔ وقوع مه‌بارش در تودهٔ راش بررسی‌شده انکارناپذیر است. در این زمینه درصد تجمعی مه‌بارش ۳/۵ درصد برآورد شد (جدول ۳).



شکل ۳. تغییرات باران‌ربایی (I) به تفکیک رخدادهای اندازه‌گیری‌شده در طول دورهٔ پژوهش (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا آبان ۱۳۹۶) در تودهٔ راش شرقی خالص (*Fagus orientalis* Lipsky).



شکل ۴. مقدار تجمعی مه‌بارش (FP) (میلی‌متر) در ماه‌های مختلف در طول دورهٔ پژوهش (مهر ۱۳۹۴ تا آبان ۱۳۹۶) در تودهٔ راش خالص (*Fagus orientalis* Lipsky).

جدول ۳. انحراف معیار، عمق (تجمعی) و درصد مه‌بارش (FP) به تفکیک سال‌های نمونه‌برداری در طول دورهٔ پژوهش (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا آبان ۱۳۹۶) در تودهٔ راش خالص (*Fagus orientalis* Lipsky).

سال	رخداد باران	رخداد با باران‌ربایی منفی	مه‌بارش (تجمعی) (میلی‌متر)	انحراف معیار (میلی‌متر)	درصد از بارندگی
۱۳۹۵	۱۲	۱۰	۱۵/۷	۰/۹	۲/۴
۱۳۹۶	۱۰	۴	۶/۹	۱/۴	۱/۱
کل	۲۲	۱۴	۲۲/۶	۱/۱	۳/۵

مقدار تجمعی مه‌بارش در طول دورهٔ پژوهش، ۲۲/۶ میلی‌متر برآورد شد که ۳/۵ درصد از بارندگی را به خود اختصاص داد. بیشترین مقدار مه‌بارش تجمعی (۱۵/۷ میلی‌متر و ۲/۴ درصد از بارندگی) در سال ۱۳۹۵ اندازه‌گیری شد (جدول ۳). تحقیقات نشان داد که در مناطق کوهستانی و مه‌گیر، رطوبت زیاد محیط سبب تراکم مه و ایجاد فرایند میعان[1] می‌شود که کاهش شدید باران‌ربایی و افزایش تاج‌بارش را در پی دارد [۸]. همچنین در مناطق کوهستانی جنگل‌های هیرکانی، رطوبت نسبی زیاد سبب ایجاد مه پایدار در ارتفاعات می‌شود [۱۰، ۱۲] که این شرایط در جنگل بهاربن روستای کلیک نیز وجود دارد [۱۱] و در طول دورهٔ پژوهش نیز وقوع مه غلیظ در منطقه و داخل جنگل تقریباً به‌طور روزانه مشاهده شد. نتایج مربوط به درصدهای تجمعی باران‌ربایی با نتایج تحقیقات Rahmani و همکاران (۲۰۱۱) [۱۶]، Abbasian و همکاران (۲۰۱۵) [۱۸] و Gorbani و Rahmani (۲۰۱۸) [۱۹] در جنگل‌های راش در ایران متفاوت است، به‌طوری که آنان مقدار باران‌ربایی تودهٔ راش را به‌ترتیب ۵۹/۸، ۳۰ و ۵۶/۵ درصد گزارش کرده‌اند. همچنین در تحقیقات در گونهٔ راش اروپایی در بخش جنوب انگلستان، مقدار باران‌ربایی را ۱۶ درصد [۲۰] و در تحقیق دیگری در جنوب فرانسه ۲۶ درصد از بارندگی کل برآورد کردند [۲۱]. به‌طور متوسط باران‌ربایی راش اروپایی در بسیاری از تحقیقات ۲۰ تا ۲۲ درصد گزارش شده است [۲۲]. درحالی که در بسیاری از پژوهش‌ها در جنگل‌های مرتفع کوهستانی با ارتفاع بیش از ۱۴۰۰ متر از سطح دریا و پوشیده از مه و ابرهای کم‌ارتفاع در جهان، افزایش مقدار تاج‌بارش و کاهش شدید باران‌ربایی به‌دلیل وقوع مه‌بارش را گزارش کرده‌اند [۳، ۶، ۷].

از دلایل اختلاف مقادیر باران‌ربایی مطالعات مذکور و پژوهش حاضر، می‌توان به اختلاف منطقه، وضعیت آب‌وهوایی و شرایط بیوکلیماتیک، دما و رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، ارتفاع جنگل، نوع تودهٔ جنگلی، ساختار درخت، اندازه، شکل و سطح برگ درختان اشاره کرد [۳، ۷]. ربودن قطره‌های مه ممکن است تحت تأثیر ساختار جنگل و تاج‌پوشش متفاوت باشد و نوع پوشش گیاهی به‌طور مستقیم بر مقدار باران رسیده به کف جنگل تأثیر می‌گذارد [۷]. همچنین شرایط بیوکلیماتیک جنگل‌های هیرکانی از غرب به شرق کاملاً متفاوت است و بارندگی سالیانه از غرب به شرق به‌شدت کاهش و دما افزایش می‌یابد [۱۰]. در نواحی جنوب و غرب هیرکانی نیز دورهٔ فصل خشک بسیار کوتاه است یا اصلاً وجود ندارد و رطوبت نسبی زیاد، سبب تولید مه غلیظ در نواحی مرتفع جنگل‌های هیرکانی می‌شود [۱۰، ۱۲]. بنابراین بخش‌های جنوبی دریای کاسپین تفاوت‌های بیوکلیماتیک چشمگیری با دیگر نقاط ایران دارد. در نتیجه، افزون‌بر اختلافات ساختاری توده، اندازه، شکل و نوع برگ درختان [۳]، اختلاف در شرایط آب‌وهوایی و بیوکلیماتیک ممکن است به بروز پدیدهٔ مه‌بارش تنها در برخی از قسمت‌های جنگل‌های هیرکانی منجر شود و این موضوع تا حدودی می‌تواند توجیه‌کنندهٔ گزارش نشدن مه‌بارش در مطالعات گذشته در جنگل‌های راش شرقی باشد.

1. Condensation

در پژوهش حاضر، ۱۴ رخداد از ۲۲ رخداد باران با مقادیر باران‌ربایی منفی ثبت شد که نشان می‌دهد در ۶۴ درصد رخدادها، مقدار تاج‌بارش بیش از باران شده است. پژوهش‌ها چند فرضیه را برای افزایش مقدار تاج‌بارش نسبت به باران بیان کرده‌اند: ۱. وزش باد شدید در محل جمع‌آوری باران (فضای باز) که مانع ورود آب به داخل ظروف جمع‌آوری باران یا تبخیر سطحی می‌شود؛ ۲. فاصلهٔ زیاد بین محل جمع‌آوری باران و تاج‌بارش؛ ۳. بارندگی به‌صورت مه‌بارش و حاکم بودن شرایط ابری و مه‌آلود در منطقه که سبب افزایش تاج‌بارش نسبت به باران می‌شود [۱۴].

در منطقهٔ پژوهش و در محل جمع‌آوری باران که جمع‌آوری‌کننده‌ها در ارتفاع ۱/۳۰ متری از سطح زمین قرار گرفته بودند، وزش باد بسیار ناچیز بود یا اصلاً بادی نمی‌وزید و همچنین به‌منظور کاهش تبخیر، اطراف ظروف با فویل آلومینیومی پوشیده شده بود. همچنین، فاصلهٔ بین توده و فضای باز برای جمع‌آوری باران نیز در حدود ۱۰۰ متر بود. بنابراین تنها فرضیهٔ قابل قبول موجود، برای اضافه شدن حجم تاج‌بارش، وجود مه‌بارش است که وقوع آن در ارتفاعات جنگل‌های هیرکانی ثابت شده [۷] و محتمل‌تر است. در مطالعات در زمینهٔ تأثیر مه‌بارش بر افزایش تاج‌بارش با استفاده از تکنیک ایزوتوپ، میانگین سهم مه‌بارش در افزایش تاج‌بارش، ۳۵ درصد تخمین زده شده است [۶].

نتایج تخمین مه‌بارش در این تحقیق می‌تواند با تحقیقات تکمیلی در آینده بیشتر بررسی شود، چراکه مه‌بارش به‌عنوان منبع تأمین آب زیرزمینی در اکوسیستم جنگل‌های هیرکانی حائز اهمیت است. این پژوهش تنها گامی اولیه برای بیان وقوع پدیدهٔ مه‌بارش در بخش‌هایی از جنگل‌های هیرکانی است و نشان می‌دهد که باران‌ربایی توده‌های راش در مناطق مختلف جنگل‌های شمال بسیار متفاوت است. شرایط بسیار متنوع بیوکلیماتیک جنگل‌های شمال موجب ایجاد توده‌های مختلف درختان شده است. درختان راش با تقاضای رطوبتی زیاد، در فصول خشک و کم‌باران می‌توانند رطوبت لازم را از مه‌بارش تأمین کنند و از طرفی حفظ و نگهداری این توده‌های جنگلی در مناطق کوهستانی موجب به دام انداختن قطره‌های مه توسط تاج‌پوشش حتی در نبود بارش و تولید مه‌بارش می‌شود که به تأمین آب زیرزمینی و رطوبت مورد نیاز اکوسیستم کمک خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش وقوع مه‌بارش به‌عنوان یکی از منابع ورودی آب در تودهٔ راش را تأیید می‌کند. وقوع پدیدهٔ مه‌بارش افزون‌بر خصوصیات بیوکلیماتیک، به خصوصیات مورفولوژیک و ساختاری درختان غالب در توده نیز بستگی دارد. با توجه به نتایج این پژوهش، ربودن مه توسط تاج‌پوشش در جنگل‌های کوهستانی می‌تواند ورودی مفاهیم هیدرولوژیک چشمگیری را در سطح حوضه‌های آبخیز ارائه دهد. به‌طوری که آگاهی از این خصوصیات به مدیران جنگل در مدیریت بهینهٔ تنظیم ورودی آب به توده‌های جنگلی، با در نظر گرفتن شرایط بیوکلیماتیک و پدیده‌های جوی در منطقه کمک خواهد کرد. همچنین حفظ و افزایش تاج‌پوشش جنگل در مناطق کوهستانی دارای ابرهای کم‌ارتفاع، سبب افزایش مه‌بارش برای تأمین نیاز آبی درختان در فصول خشک و کم‌باران خواهد شد. تحقیقات تکمیلی به‌منظور تخمین دقیق مه‌بارش و نیز نشان دادن اهمیت بوم‌سازگان‌های جنگلی هیرکانی در ناحیهٔ کوهستانی در به دام انداختن قطره‌های مه و ایجاد مه‌بارش، به‌عنوان منبع تولید آب، از توصیه‌های تحقیق حاضر است.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران کشور (INSF)، طرح حمایت از رسالهٔ دکتری به شمارهٔ ۹۵۸۵۰۰۷۲ انجام گرفته است. از این‌رو نویسندگان از رئیس محترم و یکایک مسئولان دلسوز صندوق حمایت از پژوهشگران بسیار سپاسگزارند.

References

[1]. Zimmermann, A., Zimmermann, B., and Elsenbeer, H. (2009). Rainfall redistribution in a tropical forest: Spatial and temporal patterns. Water Resources Research, 45(11):1-18.

[2]. Levia Jr, 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):1-29.

[3]. Prada, S., de Sequeira, M. M., Figueira, C., and da Silva, M. O. (2009). Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal). Agricultural and Forest Meteorology, 149(6-7):1179–1187.

[4]. Prada, S., and da Silva, M.O. (2001). Fog precipitation on the island of Madeira (Portugal). Environmental Geology, 41(3-4): 384–389.

[5]. Holder, C. D. (2004). Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest of Guatemala. Forest Ecology and Management, 190(2-3): 373–384.

[6]. Uehara, Y., and Kume, A. (2012). Canopy Rainfall Interception and Fog Capture by Pinus pumila Regal at Mt. Tateyama in the Northern Japan Alps, Japan. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 44(1): 143–150.

[7]. Gomez-Peralta, D., Oberbauer, S. F., McClain, M. E., and Philippi, T. E. (2008). Rainfall and cloud-water interception in tropical montane forests in the eastern Andes of Central Peru. Forest Ecology and Management, 255(3-4): 1315–1325.

[8]. Crockford, R.H., and Richardson, D. (2000). Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. Hydrological processes, 14 (16-17):2903-20.

[9]. Khalili, A. (1973). Precipitation patterns of central Elburz. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 21(2-3): 215-232.

[10]. Sagheb-Talebi, K.S., Sajedi, T., and Pourhashemi, M. (2013). Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future: Springer Science & Business Media.

[11]. Oladi, R., Elzami, E., Pourtahmasi, K., and Brauning, A. (2017). Weather factors controlling growth of Oriental beech are on the turn over the growing season. European Journal of Forest Research, 136(2):345–356.

[12]. Akhani, H., Djamali, M., Ghorbanalizadeh, A., and Ramezani, E. (2010). Plant biodiversity of Hyrcanian relict forests, N Iran: an overview of the flora, vegetation, palaeoecology and conservation. Pakistan Journal of Botany, 42(Special Issue):231-258.

[13]. Jashni, J., Marvi Mohadjer, M., Zahedi Amiri, Gh., Etemad, V., and Hamzehee, B. (2012). Plant associations in Baharbon district of Kheyroud Forest and its relationship to land forms. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(3): 402-419.

[14]. Carlyle-Moses, D.E., Laureano, J.F., and Price, A.G. (2004). Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. Journal of Hydrology, 297(1-4):124-135.

[15]. Shachnovich, Y., Berliner, P.R., and Bar, P. (2008). Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. Journal of Hydrology, 349(1-2):168-177.

[16]. Rahmani, R., Sadoddin A., and Ghorbani S. (2011). Measuring and modelling precipitation components in an Oriental beech stand of the Hyrcanian region, Iran. Journal of hydrology, 404(3-4):294-303.

[17]. Van Stan, J.T., and Pypker T.G. (2015). A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation. Science of the Total Environment, 536:813-824.

[18]. Abbasian, P., Attarod, P., Sadeghi, S.M., Van Stan, II 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.

[19]. Gorbani, S., and Rahmani, R. (2018). Seasonal and periodic variability of stemflow, throughfall, and interception loss of Oriental beech stands in Shast-Kalate forest. Iranian Journal of Forest, 9(4): 527-540.

[20]. Neal, C., Robson, A.J., Bhardwaj, C.L., Conway, T., Jeffery, H.A., Neal, M., Ryland, G.P., Smith, C.J. and Walls, J. (1993). Relationships between precipitation, stemflow and throughfall for a lowland beech plantation, Black wood, Hampshire, southern England: findings on interception at a forest edge and the effects of storm damage. Journal of Hydrology, 146: 221-233.

[21]. Granier, A., Biron, P., and Lemoine, D. (2000). Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands, Agricultural and Forest Meteorology, 100(4): 291–308.

[22]. Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K., and Verhoest, N.E.C. (2008). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (Fagus sylvatica L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. Hydrological Processes, 22(1): 33–45.

Fog precipitation and rainfall interception in a pure natural oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) stand in the Hyrcanian Forests, North of Iran

A. Dezhban; Ph.D. Graduated, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

P. Attarod*; Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

Gh. Zahedi Amiri; Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

T.G. Pypker; Associate Prof, Department of Natural Resource Sciences, Thompson Rivers University, British Colombia, Canada

K. Nanko; Senior Researcher, Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan

(Received: 17 October 2018, Accepted: 26 January 2019)

ABSTRACT

The Hyrcanian forests are typical deciduous broadleaf forests characterized by the important role in providing moisture to vegetation by fog precipitation (FP). The importance of FP on vegetated surfaces as a source of moisture has been acknowledged for a long time. The aim of this study was to quantify the FP and water interception in a natural oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) stand in the Hyrcanian forests, Iran. Event-based measurements were carried out in 2016 and 2017 during the full-leaf period. The rain-collectors used for measuring throughfall and gross-rainfall were n=122 and 10, respectively. During the measurement period, 22 rainfall events occurred (total rainfall = 648 mm). The amount of throughfall and interception were 99.4% and 0.2%, respectively. Due to considerable amount of fog (3.5%) throughfall was found to be greater than 100% of GR in 14 rainfall event with negative interception (total=-22.6 mm) and 8 rainfall event was found with positive interception (total=25.5 mm). Maximum FP was measured in September 2016. Results indicated the role of FP on increasing the throughfall and decreasing the interception. Because of the various bioclimatic conditions in the Hyrcanian forests, interception is extremely different in oriental beech stands. Therefore, *Fagus orientalis* would have significant influence on the local hydrological processes of the mountain forests of Hyrcanian and its water demand would supply by FP in dry seasons. So, the maintenance of beech stands would help to increase of FP by capturing of fog droplets which would provide groundwater and water demand-supply of these ecosystems.

Keywords: *Fagus orientalis*, Fog precipitation, Rainfall interception, The Hyrcanian forests, Throughfall.

* Corresponding Author, Email: attarod@ut.ac.ir, Tel: +98 9127013996