

ارزیابی مدل فیزیکی مبنای Sparse Gash در برآورد باران ربایی جنگل‌های پهن برگ هیرکانی

طوبی پناهنده^۱، پدram عطارد^{۲*}، منوچهر نمیرانیان^۲، ویلما بایرام‌زاده^۳ و سید محمدمعین صادقی^۴

۱. کارشناس ارشد علوم زیستی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۴. پژوهشگر پسادکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده جنگل‌شناسی و مهندسی جنگل، دانشگاه ترنسلیوانیا برانشوف، برانشوف، رومانی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴

چکیده

مشکلات اندازه‌گیری باران ربایی در توده‌های جنگلی، ضرورت استفاده از مدل‌های برآوردکننده باران ربایی را دوچندان می‌کند. پرکاربردترین مدل‌های برآوردکننده باران ربایی، مدل‌های فیزیکی مبنای هستند که از بین آنها مدل Sparse Gash بیشترین کاربرد را دارد. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی مدل Sparse Gash در برآورد باران ربایی پنج توده جنگلی (دو توده جنگلی از گونه بلندمازو، دو توده جنگلی از گونه راش شرقی و یک توده پلت) در ناحیه رویشی هیرکانی بود. بدین منظور، مقدار باران و تاج‌بارش در هر توده به ترتیب با بهره‌گیری از ۵ و ۲۰ جمع‌آوری‌کننده باران اندازه‌گیری و باران ربایی از کسر مقدار تاج‌بارش از مقدار باران محاسبه شد. برای ارزیابی مدل، از چهار آماره درصد خطا (*Error*)، میانگین مطلق خطا (*MAE*)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (*RMSE*) و ضریب کارایی (*CE*) استفاده شد. نتایج نشان داد که بر اساس ضریب همبستگی پیرسون، همبستگی بین مقادیر برآوردشده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری باران ربایی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار است. در همه توده‌های تحت بررسی، مقادیر آماره *CE* که بیانگر کارایی مدل Sparse Gash در برآورد باران ربایی است، بیشتر از ۰/۵ به دست آمد که بیانگر قابلیت مناسب مدل است. همچنین بر اساس آماره درصد خطا، مدل قابلیت مناسبی در برآورد باران ربایی چهار توده راش شرقی منطقه لاجیم (۱۰/۳- درصد)، بلندمازو منطقه کوه‌میان (۱۲/۷+ درصد)، بلندمازو منطقه ساری (۱۰/۸+ درصد) و پلت منطقه ساری (۱۵/۴- درصد) نشان داد. بررسی عملکرد مدل‌های مختلف فیزیکی مبنای در جنگل‌های با گونه‌های متفاوت و خصوصیات مختلف آلومتریک، اقلیمی و باران، می‌تواند به تکمیل اطلاعات درباره کارایی مدل‌های مختلف در برآورد باران ربایی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: اکوهیدرولوژی جنگل، بلندمازو، پلت، راش شرقی، مدل فیزیکی مبنای.

مقدمه

تحقیقات دانش اکوهیدرولوژی جنگل را به خود تخصیص داده است. برهم‌کنش بین باران و پوشش گیاهی در هنگام برخورد باران با تاج‌پوشش درختان سبب می‌شود که باران به سه جزء باران ربایی (*I*)، تاج‌بارش (*T_r*) و ساقاب (*S_r*) تقسیم شود [۲]. باران ربایی سهمی از باران است که روی برگ‌ها یا سوزن‌ها، شاخه‌ها و تنه پوشش گیاهی ذخیره شده و در هنگام بارندگی یا مدت زمانی پس از آن تبخیر

از نخستین پژوهش درباره نحوه توزیع باران در هنگام برخورد با تاج‌پوشش درختان در اکوسیستم‌های مختلف و دسته‌بندی آن به اجزای مختلف، بیش از یک قرن می‌گذرد [۱] و توزیع اجزای باران و مدل‌سازی آن، بخش مهمی از

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۹۱۲۷۰۱۳۹۹۶

Email: attarod@ut.ac.ir

می‌شود و دوباره به اتمسفر بازمی‌گردد. باران‌ریایی، اتلاف آبی باران توسط تاج‌پوشش و تنه پوشش گیاهی است و مقدار آن در پژوهش‌های مختلف داخل کشور تا ۴۴ درصد از باران سالانه ذکر شده است [۲] که نشان‌دهنده سهم زیاد آن در چرخه هیدرولوژی جنگل است.

آگاهی از مقدار باران‌ریایی توده‌های مختلف جنگلی، می‌تواند در انتخاب گونه مناسب به منظور جنگل‌کاری [۳] و اجرای عملیات پرورشی جنگل [۴] مؤثر باشد. با توجه به مشکلات اندازه‌گیری باران‌ریایی، مانند زمان‌بر و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری‌ها و نیازمندی به ابزار نیمه‌پیشرفته و پیشرفته، مدل‌هایی به منظور برآورد باران‌ریایی بدون اندازه‌گیری در توده با استفاده از چند متغیر هواشناسی و مشخصه‌های مربوط به پوشش گیاهی ارائه شدند [۱].

دانشمندی به نام روتر در سال ۱۹۷۱، نخستین بار مدلی برای برآورد مقدار باران‌ریایی تاج‌پوشش و تنه درختان با استفاده از داده‌های هواشناسی و مشخصه‌های تاج‌پوشش معرفی کرد. متغیرهای هواشناسی استفاده‌شده در این مدل عبارت‌اند از مقدار بارش، سرعت باد، دمای هوا، تابش خالص خورشیدی و فشار بخار آب که مقدار تبخیر را کنترل می‌کنند [۱]. مشخصه‌های مربوط به پوشش گیاهی عبارت‌اند از ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S_t)، ضریب ساقاب (p_t)، ظرفیت نگهداری آب روی تنه درخت (S_r) و ضریب تاج‌بارش مستقیم (p). مهم‌ترین مشکل کاربردی مدل روتر، تعداد زیاد داده‌های لازم است [۱]. گش در سال ۱۹۷۹، مدل ساده‌تری را بر پایه بارش‌های رخ داده معرفی کرد. این مدل که مدل تحلیلی Gash نامیده می‌شود، موفقیت زیادی در برآورد مقدار باران‌ریایی در جنگل‌هایی با تاج‌پوشش متراکم در اکوسیستم‌های معتدل و گرمسیری دارد. ضعف این مدل، کاربرد آن در جنگل‌های تنک است که مقدار باران‌ریایی برآوردشده را بیش از مقدار واقعی برآورد می‌کند [۱، ۵، ۶]. برای رفع این نقص، در سال ۱۹۹۵ میلادی، گش و همکاران مدل دیگری به نام Sparse

Gash (اصلاح‌شده گش) برای جنگل‌های تنک ارائه دادند که در پیش‌بینی باران‌ریایی در جنگل‌هایی با تاج‌پوشش تنک [۱، ۷، ۸] و حتی متراکم [۱]، به نتایج بهتری نسبت به مدل پیشین نائل شد. در این مدل، تبخیر از سطح تاج‌پوشش، رابطه خطی با پوشش تاجی یعنی سطحی از زمین دارد که توسط تاج‌پوشش درختان پوشانده می‌شود (منظور مساحت سایه‌انداز تاج‌پوشش است) [۵].

در پژوهش حاضر مدل Sparse Gash به دلیل سادگی و انعطاف‌پذیری زیاد انتخاب شد. این مدل به پارامترهای اندکی احتیاج دارد که به منظور برآورد این پارامترها می‌توان از مشاهدات بارندگی و تاج‌بارش استفاده کرد [۵]. داده‌های هواشناسی مورد استفاده آن محدودند (تنها مقدار باران) و داده‌های در دسترس‌تری مانند ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، تاج‌بارش مستقیم و نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران (\bar{E}/\bar{R})، در آن به کار می‌روند. برای برآورد باران‌ریایی با استفاده از مدل Sparse Gash، تنها مشخصه مورد نیاز پوشش گیاهی، درصد تاج‌پوشش است [۱، ۵].

در خارج از کشور، تحقیقات مختلفی به منظور ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف در پیش‌بینی مقدار باران‌ریایی انجام گرفته است. برای نمونه دکاروالیو لوپز و همکاران [۹] عملکرد مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی جنگل‌های خشک گرمسیری برزیل را بررسی کردند و این مدل را برای برآورد باران‌ریایی این جنگل‌ها مناسب خواندند. لی و همکاران [۱۰] قابلیت مدل یادشده را در جنگل‌کاری‌های سوزنی‌برگ *Pinus tabuliformis* در شمال چین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در جنگل‌های با تراکم درختی کم، این مدل قابلیت مناسبی در برآورد باران‌ریایی ندارد. در داخل کشور، تا کنون تحقیقات اندکی درباره کارایی مدل‌های مختلف Gash در برآورد باران‌ریایی در اکوسیستم‌های مختلف کشور انجام گرفته است [۷، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. در ناحیه رویشی

هیرکانی تنها یک پژوهش درباره مقایسه کارایی مدل‌های اصلاح شده Gash در برآورد باران ربایی توده راش شرقی در غرب این ناحیه صورت پذیرفته است [۱۳]. در این ناحیه ریشی باتوجه به تنوع گونه‌ای زیاد، پیچیدگی ساختار جنگل و رژیم بارندگی متغیر، بررسی کارایی مدل Sparse Gash در برآورد باران ربایی توده‌های جنگلی مختلف ضروری است؛ بنابراین هدف این پژوهش، ارزیابی مدل Sparse Gash در برآورد باران ربایی پنج توده جنگلی در ناحیه ریشی هیرکانی بود.

هیرکانی تنها یک پژوهش درباره مقایسه کارایی مدل‌های اصلاح شده Gash در برآورد باران ربایی توده راش شرقی در غرب این ناحیه صورت پذیرفته است [۱۳]. در این ناحیه ریشی باتوجه به تنوع گونه‌ای زیاد، پیچیدگی ساختار جنگل و رژیم بارندگی متغیر، بررسی کارایی مدل Sparse Gash در برآورد باران ربایی توده‌های جنگلی مختلف ضروری است؛ بنابراین هدف این پژوهش، ارزیابی مدل Sparse Gash در برآورد باران ربایی پنج توده جنگلی در ناحیه ریشی هیرکانی بود.

مواد و روش‌ها

مناطق پژوهش

این پژوهش در چهار منطقه ناحیه ریشی هیرکانی واقع در استان‌های گلستان (کوهمیان) و مازندران (ساری، لاجیم و کلاردشت) در پنج توده جنگلی انجام گرفت (جدول ۱). در این پژوهش، دو توده جنگلی از گونه بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)، دو توده راش شرقی

جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش، از داده‌های تاج‌بارش و مقدار باران اندازه‌گیری شده در کوهمیان، ساری، لاجیم و کلاردشت بهره گرفته شد (جدول ۲). برای اندازه‌گیری مقدار باران در هر رخداد، از پنج باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین فضای باز به هر توده تحت مطالعه استفاده شد که به صورت کاملاً عمودی در کف جنگل مستقر شدند. مقدار تاج‌بارش نیز با استفاده از ۲۰ باران‌سنج دستی (مشابه باران‌سنج‌های دستی به کاررفته برای جمع‌آوری باران) اندازه‌گیری شد که در زیر تاج‌پوشش هر توده به صورت تصادفی نصب شدند. در نهایت باران ربایی از کسر مقدار تاج‌بارش از مقدار باران در هر رخداد محاسبه شد.

جدول ۱. مشخصات عمومی، پوشش گیاهی، هواشناسی و اقلیمی مناطق تحت بررسی در استان‌های گلستان و مازندران

منطقه				مشخصه
کلاردشت	لاجیم	ساری	کوهمیان	
۳۶° ۳۰'	۳۶° ۱۵'	۳۶° ۲۸'	۳۷° ۵۶'	عرض جغرافیایی (شمالی)
۵۱° ۹'	۵۳° ۱۰'	۵۲° ۱۴'	۵۵° ۱۴'	طول جغرافیایی (شرقی)
۱۳۲۰	۱۰۰۰	۸۰۰	۱۵۰	ارتفاع از سطح دریا (متر)
راش شرقی	راش شرقی	پلت	بلندمازو	گونه
۹۳	۴۹/۵	۲۰	۲۱	متوسط قطر توده (سانتی‌متر)
۹/۵	۳۱/۵	۱۹	۱۸	متوسط ارتفاع توده (متر)
۸۳	۹۰	۸۰	۷۰	متوسط تاج‌پوشش (درصد)
۴۶۹	۸۸۰	۷۲۸	۷۰۰	متوسط مقدار باران (میلی‌متر در سال)
۱۳/۲	۱۶/۵	۱۶/۰	۱۶/۸	متوسط دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)
مدیرانه‌ای	مرطوب	مرطوب	نیمه‌مرطوب	نوع اقلیم (بر اساس نمایه اقلیمی دومارتن)

جدول ۲. مشخصات باران و تاج‌بارش در توده‌های تحت بررسی در استان‌های گلستان و مازندران

منطقه				مشخصه
کلاردشت	لاجیم	ساری		
		پلت	بلندمازو	
۸	۵	۷	۱۲	طول دوره پژوهش (ماه)
۲۱	۳۸	۲۰	۲۴	تعداد رخداد باران اندازه‌گیری شده
۵/۲	۳/۱	۱/۱	۰/۵	کمترین مقدار باران اندازه‌گیری شده (میلی‌متر)
۶۰/۲	۳۹/۴	۳۵/۰	۵۴/۷	بیشترین مقدار باران اندازه‌گیری شده (میلی‌متر)
۱۸/۱	۱۱/۵	۱۷/۳	۱۹/۵	متوسط مقدار باران (میلی‌متر)
۷/۷	۸/۴	۱۱/۹	۱۲/۰	متوسط مقدار تاج‌بارش (میلی‌متر)
۳۹/۴	۴۰/۶	۵۵/۸	۳۳/۶	متوسط باران ربایی نسبی (درصد)

مدل Sparse Gash

در رابطه‌های ۳ و ۴، n تعداد باران کافی برای اشباع تاج پوشش و S_c نسبت ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش به پوشش تاجی است.

ارزیابی مدل و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، ۷۰ درصد داده‌ها در هر توده برای راه‌اندازی مدل و ۳۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی مدل استفاده شدند [۹]. برای ارزیابی مدل، از چهار آماره درصد خطا ($Error$)، میانگین مطلق خطا (MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا ($RMSE$) و ضریب کارایی (CE) بهره گرفته شد (رابطه‌های ۶ تا ۹) [۱۵، ۱۶].

$$Error(\%) = \left(\frac{\bar{O} - \bar{P}}{\bar{O}} \right) \times 100 \quad (6)$$

$$RMSE = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad (7)$$

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (8)$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

در این رابطه‌ها، \bar{O} میانگین داده‌های مشاهداتی، \bar{P} میانگین داده‌های برآوردی، N تعداد داده مشاهده شده، P_i مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل (مقدار برآورد شده) و O_i مقدار مشاهده شده (مقدار اندازه‌گیری شده) است. $RMSE$ و MAE آماره‌هایی هستند که برای ارزیابی خطای مدل استفاده می‌شوند که دامنه آنها بین صفر تا مثبت بی‌نهایت است و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشند، خطای مدل کمتر است. $Error$ آماره‌ای است که برای ارزیابی درصد خطای مدل استفاده می‌شود و مقدار آن از مثبت بی‌نهایت تا منفی بی‌نهایت است و علائم مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی مدل هستند که هرچه مقدار آنها به صفر نزدیک‌تر باشد، خطای مدل کمتر است. CE که

برای راه‌اندازی مدل Sparse Gash، محاسبه مقادیر پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش شامل نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی ($P'_{g-estimated}$)، نقطه اشباع آب تاج پوشش محاسباتی (P'_g)، ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش (S)، ضریب تاج بارش مستقیم (p)، نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران (\bar{E}/\bar{R}) و همچنین مقدار باران (P_G) در هر رخداد نیاز است. نحوه محاسبه این پارامترها در پژوهش‌های پیشین بیان شده است [۱۴]. پس از محاسبه پارامترهای اکوهیدرولوژیک در هر توده، باران‌ریایی با استفاده از مدل Sparse Gash از مجموع باران‌ریایی تعداد m باران ناکافی برای اشباع تاج پوشش (I_c) و تعداد n باران کافی برای تاج پوشش (I_n) برآورد می‌شود. پس از تعیین دو گروه بارندگی، برای محاسبه باران‌ریایی تعداد m باران ناکافی برای اشباع تاج پوشش (I_c)، رابطه ۱ به کار گرفته شد:

$$I_c = c \sum_{j=1}^m P_{G,j} \quad (1)$$

در این رابطه، c پوشش تاجی است که از رابطه $1-p$ محاسبه شد و مقدار بارندگی در بارش زبه میلی‌متر است. به منظور محاسبه باران‌ریایی در تعداد n باران کافی برای اشباع تاج پوشش (I_n)، از رابطه زیر استفاده شد:

$$I_n = I_w + I_a + I_s \quad (2)$$

در این رابطه I_w بارانی که صرف مرطوب کردن تاج پوشش شده، I_a تبخیر قبل از اشباع تاج پوشش، اما قبل از قطع باران و I_s تبخیر بعد از قطع باران است (رابطه‌های ۳ تا ۵).

$$I_w = ncP_s - ncS_c \quad (3)$$

$$I_a = ncS_c \quad (4)$$

$$I_s = \left(\bar{E} / \bar{R} \right) \sum_{j=1}^n (P_{G,j} - P_s) \quad (5)$$

اندازه‌گیری‌شده باران‌ریایی در مرحله ارزیابی مدل، از آزمون t -جفتی در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

راه‌اندازی مدل

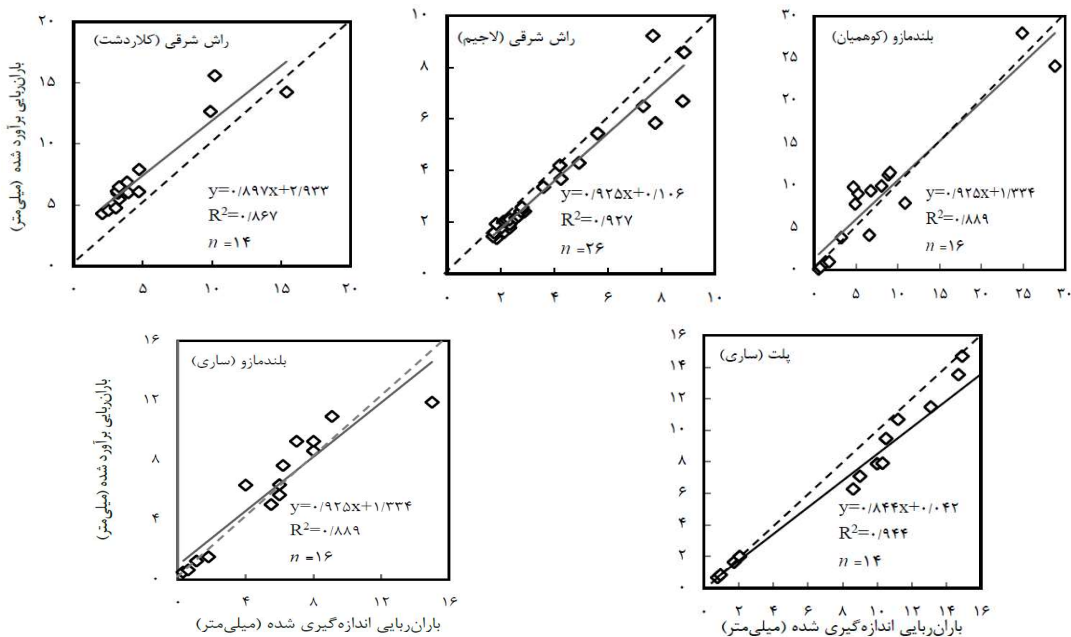
مقادیر کمی اجزای مدل در هر توده تحت مطالعه به تفکیک در جدول ۳ آورده شده است که این اجزا در توده‌های مختلف اختلاف چشمگیری با هم دارند.

ضریب نش و ساتکلیف نیز نام دارد، آماره‌ای است که برای ارزیابی عملکرد مدل استفاده می‌شود و دامنه آن بین منفی بی‌نهایت تا مثبت ۱ است و هرچه به مثبت ۱ نزدیک‌تر باشد، مدل دارای کارایی بهتری است و مقادیر بیشتر از $+0/5$ ، نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است [۱۵، ۱۶].

در مرحله راه‌اندازی مدل، از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین مقادیر برآوردشده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری باران‌ریایی استفاده شد. برای مقایسه بین مقادیر برآوردشده توسط مدل و مقادیر

جدول ۳. مقادیر اجزای مدل Sparse Gash به تفکیک توده‌های تحت بررسی در استان‌های گلستان و مازندران

منطقه	مشخصه	ساری		کوهمیان	لاجیم	کلاردشت
		پلت	بلندمازو			
	تعداد باران کافی برای اشباع آب تاج‌پوشش (n)	۱۱	۱۱	۱۳	۲۰	۱۰
	تعداد باران ناکافی برای اشباع آب تاج‌پوشش (m)	۳	۳	۳	۶	۴
	ضریب تاج‌بارش مستقیم (p)	۰/۴۰	۰/۵۴	۰/۸۰	۰/۵۶	۰/۱۷
	ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (که میلی‌متر)	۲/۲۱	۰/۰۹	۲/۷۸	۱/۴۰	۱/۹۴
	نقطه اشباع آب تاج‌پوشش ($P'g$ ، میلی‌متر)	۳/۳۰	۳/۳۰	۴/۹۳	۴/۴۱	۷/۲۱
	نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران (\bar{E}/\bar{R})	۰/۴۰	۰/۳۲	۰/۵۵	۰/۲۱	۰/۳۹



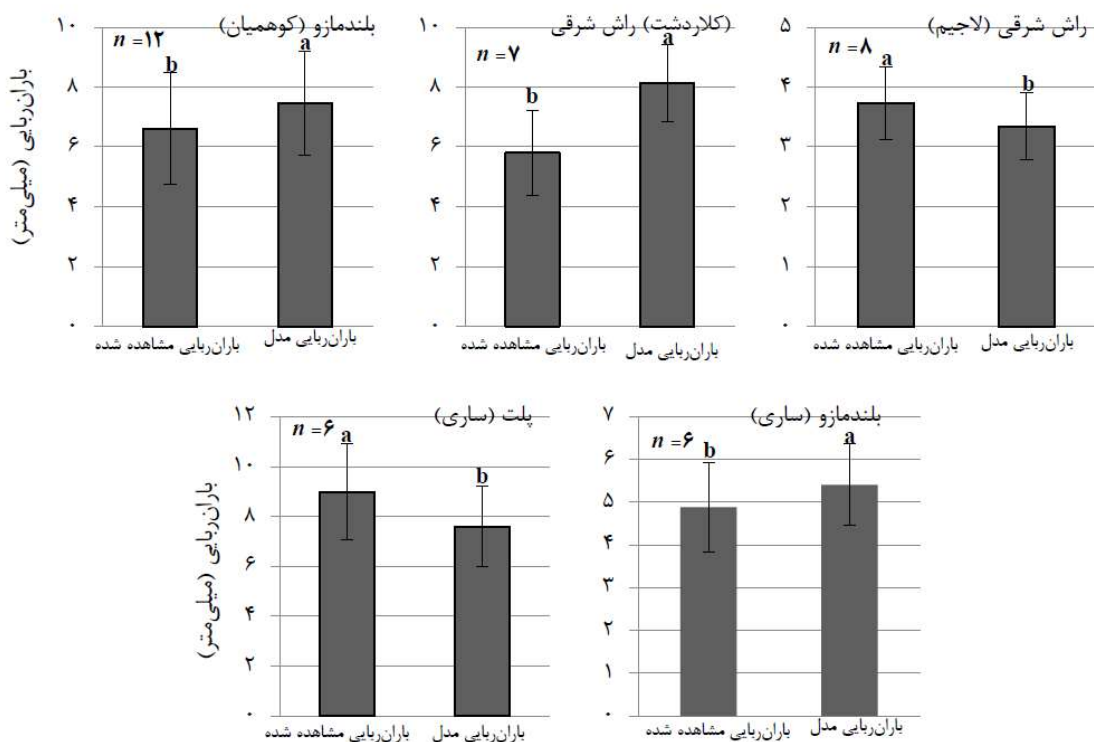
شکل ۱. مقادیر باران‌ریایی اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده توسط مدل Sparse-Gash. در هر نمودار، n بیانگر تعداد رخداد باران و خط چین بیانگر خط ۱:۱ است.

در توده کاج تهران در پارک جنگلی چیتگر تهران مشاهده کردند، در تطابق است.

ارزیابی مدل

در شکل ۲، مقایسه میانگین مقادیر باران‌ریایی برآوردشده توسط مدل و باران‌ریایی مشاهده‌شده در مرحله ارزیابی مدل نشان داده شده است. نتایج آزمون t-جفتی، بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها در همه توده‌های تحت بررسی است ($P < 0/05$ ، شکل ۲).

در شکل ۱، مقادیر برآوردی مدل Sparse Gash در مناطق تحت پژوهش برای ۷۰ درصد از رخدادهای هر توده نشان داده شده است. بر اساس ضریب همبستگی پیرسون، همبستگی بین مقادیر برآوردشده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری باران‌ریایی در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار است. این نتایج با یافته‌های مطهری و همکاران [۱۱] که همبستگی معنی‌داری بین مقادیر برآوردشده توسط مدل Sparse Gash و مقادیر اندازه‌گیری باران‌ریایی



شکل ۲. میانگین مقدار باران‌ریایی مشاهده‌شده و میانگین باران‌ریایی برآوردشده با مدل در مرحله ارزیابی مدل. میله‌ها بر خطای معیار میانگین دلالت دارند. حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌داری اختلاف بین میانگین مقادیر برآوردی و مشاهده‌شده باران‌ریایی در هر توده است ($P < 0/05$). n بیانگر تعداد رخداد باران در هر توده است.

بیش‌برآورد می‌کند (شکل ۲ و جدول ۴). در تمامی توده‌ها، مقادیر آماره CE که بیانگر کارایی مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی است، بیشتر از ۰/۵ حاصل شد (جدول ۴).

بر اساس جدول ۴، آماره‌های ارزیابی در مرحله ارزیابی مدل در پنج توده تحت بررسی محاسبه شده است. در توده راش شرقی منطقه کلاهدشت و دو توده بلندمازو، مدل Sparse Gash مقادیر باران‌ریایی را

جدول ۴. مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل Sparse Gash برای برآورد مقدار باران‌ریایی در پنج توده تحت بررسی

آماره‌های ارزیابی مدل	لاجیم	کلاردشت	کوهمیان		ساری
			بلندمازو	بلندمازو	
	راش شرقی	راش شرقی	پلت	بلندمازو	پلت
Error (درصد)	-۱۰/۲۹	+۴۰/۲۹	+۱۲/۶۵	+۱۰/۷۷	-۱۵/۴۰
RMSE (میلی‌متر)	۰/۴۲	۲/۳۶	۰/۹۲	۰/۵۷	۱/۵۴
MAE (میلی‌متر)	۰/۳۸	۲/۳۴	۰/۸۴	۰/۵۳	۱/۳۸
CE	۰/۹۴	۰/۵۴	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۸۷

۶/۵+ درصد بیشتر از مقدار واقعی باران‌ریایی بوده است [۷]. لانکرایر و همکاران به ارزیابی مدل Sparse Gash جنگل‌های آمیخته پهن‌برگ پرداختند و نتیجه گرفتند که این مدل برآوردی بیشتر از مقدار واقعی دارد (۲۰/۳ درصد). یکی از راهکارهای احتمالی برای کاهش خطای برآوردی مدل Sparse Gash، کاربرد آن در سنج‌های زمانی کوتاه‌تر (منظور دوره‌های برگ‌دار و بی‌برگی) است [۱۹]. در همین زمینه پایپر و همکاران با بررسی پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش در جنگل سوزنی برگ *Pseudotsuga menziesii* در آمریکا به این نتیجه رسیدند که حتی برای سوزنی‌برگان که تغییرات فصلی تاج‌پوشش به صورت چشمی زیاد نیست، باید در هنگام استفاده از مدل‌های فیزیکی مبنا برآوردگر مقدار باران‌ریایی، اجزای تشکیل‌دهنده مدل را برای هر فصل، جداگانه در نظر گرفت [۲۰]. در پژوهشی دیگر، صادقی و همکاران با بررسی پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه درختان پهن‌برگ خزان‌کننده اقیانوس و چنار در دوره‌ای سه‌ساله در پارک جنگلی چیتگر، به این نتیجه رسیدند که مقادیر پارامترهای اکوهیدرولوژیک در دوره‌های گذر (انتقالی) برگ بسیار متفاوت است [۲۱] و این پارامترها، به‌عنوان ورودی اصلی مدل‌های فیزیکی مبنا در برآورد مقدار باران‌ریایی شناخته می‌شوند [۱]. از این‌رو پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی در توده‌های پهن‌برگ خزان‌کننده، به بررسی کارایی مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی در سنج‌های زمانی کوتاه‌تر (مانند دوره‌های برگ‌داری و بی‌برگی) پرداخته شود. دکاروالیو

بر اساس یافته‌های این پژوهش، خطای مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی توده‌های پهن‌برگ جنگل‌های هیرکانی ۱۵/۴- درصد (کم‌برآوردی در توده پلت ساری) تا ۴۰/۳+ درصد (بیش‌برآوردی در توده راش شرقی منطقه کلاردشت) در نوسان است. البته با توجه به آماره CE که مقادیر بیشتر از ۰/۵+، بیانگر قابلیت برآوردی مناسب مدل‌های هیدرولوژیکی است [۱۷]، عملکرد مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی توده‌های پهن‌برگ در این پژوهش مطلوب توصیف می‌شود. هرچند با توجه به مقادیر آماره Error (جدول ۲)، مدل Sparse Gash در توده راش شرقی کلاردشت به دلیل خطای برآوردی زیاد، قابلیت مناسبی در برآورد باران‌ریایی ندارد. گش و همکاران در پژوهشی ارزیابی مدل Sparse Gash را در جنگل‌های *Pinus pinaster* در فرانسه ارزیابی کرده و کارایی آن را در جنگل‌های تنک تأیید کردند، زیرا مقدار برآوردی باران‌ریایی توسط مدل Sparse Gash ۴ درصد کمتر از مقدار مشاهده‌شده حاصل شد [۵]. دایکس به ارزیابی مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی گونه‌های مختلف همیشه‌سبز در جنگل‌های گرمسیری پرداخت و اذعان داشت که برآورد باران‌ریایی با این مدل بسیار عالی است (خطای برآوردی برابر با ۱ درصد و مقدار برآوردی بیشتر از مقدار مشاهده‌شده) [۱۸]. صادقی و همکاران با بررسی عملکرد مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی سالانه توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در پارک چیتگر تهران به این نتیجه رسیدند که مقدار برآوردی مدل Sparse Gash برای کاج تهران ۹/۰+ درصد و برای سرو نقره‌ای

لوپز و همکاران عملکرد مدل Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی جنگل‌های پهن‌برگ خشک گرمسیری برزیل را ارزیابی کردند و این مدل را برای برآورد باران‌ریایی این جنگل‌ها مناسب دانستند (مقدار ضریب CE : ۰/۹۴ تا ۰/۹۷ در توده‌های مختلف) [۹]. تیو و همکاران به ارزیابی مدل Sparse Gash در پیش‌بینی مقدار باران‌ریایی توده دست‌کاشت سوزنی‌برگ لاریکس در چین پرداختند و خطای برآوردی مدل را تنها ۵ درصد بیان کردند که حاکی از کارایی مناسب این مدل است [۲۲].

در این پژوهش، درصد خطای برآوردی دو توده راش بسیار متفاوت حاصل شد، به طوری که مقدار آماره $Error$ در لاجیم ۱۰/۳- درصد و در کلاردشت ۴۰/۳+ درصد به دست آمد. یکی از محتمل‌ترین دلایل این تفاوت، ارتفاع زیاد کلاردشت از سطح دریا نسبت به لاجیم است (۱۳۲۰ متر در مقابل ۱۰۰۰ متر) که سبب فزونی مقدار ورود مه‌بارش به اکوسیستم کلاردشت نسبت به لاجیم و افزایش خطای مدل شده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی، مقدار مه‌بارش به‌عنوان یکی از ورودی‌های آب به اکوسیستم در کنار مقدار باران بررسی شود.

یکی از یافته‌های این پژوهش این است که مقدار برآوردی مدل Sparse Gash در همه توده‌های تحت بررسی، در مقادیر باران با مقدار رخداد کوچک، دارای دقت مناسبی است، حال آنکه با افزایش مقدار باران، خطای برآورد مدل بیشتر می‌شود. در برخی تحقیقات به این موضوع پرداخته شده است که مدل Sparse Gash در رخدادهای باران‌های با مقدار کم، برآوردی دقیق دارد، حال آنکه در رخدادهای باران برابر و بزرگ‌تر از نقطه اشباع آبی تاج‌پوشش، اغلب این مدل، باران‌ریایی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند [۷، ۱۸، ۲۳، ۲۴]. برای اصلاح برآورد مدل در باران‌هایی با مقدار رخداد زیاد، باید پارامتر نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران (\bar{E}/\bar{R}) - به‌عنوان اصلی‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر مقدار

باران‌ریایی در رخدادهای باران با مقدار زیاد- به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری شود [۶، ۲۵]. گیمیره و همکاران کارایی مدل اصلاح‌شده Sparse Gash در برآورد باران‌ریایی جنگل‌های ثانویه در مناطق گرمسیری را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که این مدل قابلیت مناسبی در برآورد باران‌ریایی (خطای کمتر از ۵+ درصد) دارد و برای بهبود آن باید پارامتر \bar{E}/\bar{R} به‌صورت مستقیم در عرصه اندازه‌گیری شود [۲۵]. شایان ذکر است که اندازه‌گیری مستقیم این پارامتر، نیازمند ابزار پیشرفته و گران‌قیمت است.

بر اساس جدول ۲، توده پهن‌برگ راش شرقی کلاردشت دارای بیشترین قطر برابر سینه و کوتاه‌ترین ارتفاع متوسط درختان نسبت به چهار توده دیگر این پژوهش است. از آنجا که در توده‌های تحت بررسی، مقدار ساقاب اندازه‌گیری نشده و این ورودی آب به جنگل ممکن است تا ۴۵ درصد مقدار باران سالانه باشد [۲]، بنابراین این فرضیه (یعنی ناچیز در نظر گرفتن مقدار ساقاب)، سبب می‌شود که مقدار باران‌ریایی در هر رخداد باران به‌درستی برآورد نشود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی، به بررسی کارایی مدل Sparse Gash با ورود مقدار ساقاب به مدل پرداخته شود تا بتوان با قطعیت بیشتری درباره کارایی مدل صحبت کرد.

باید توجه کرد که در برآورد باران‌ریایی، مدل‌های فیزیکی‌مبنا، دقیق‌اند و می‌توان از آنها در مناطق اقلیمی، جغرافیایی و نیز برای گونه‌های مختلف گیاهی استفاده کرد؛ بنابراین می‌توان گفت این قبیل مدل‌ها، مختص منطقه خاصی نیستند و در توده‌ها و اقلیم‌های مختلف کاربرد دارند [۱]؛ البته قابلیت آنها در برآورد باران‌ریایی در مناطق و توده‌های مختلف متفاوت است و از این‌رو ارزیابی آنها در هر اقلیم و برای گونه درختی ضرورت دارد.

نتیجه‌گیری

بلندمازو و پلت منطقه ساری نشان داد. بررسی عملکرد مدل‌های مختلف فیزیکی مبنای جنگل‌های با خصوصیات متفاوت آلومتریک، اقلیمی و باران، به تکمیل شکاف اطلاعاتی درباره کارایی مدل‌های مختلف در برآورد باران ربایی کمک می‌کند. تعیین دقیق مقدار باران ربایی، به عنوان اتلاف آبی تاج پوشش، به فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مدیران جنگل کمک زیادی می‌کند و در نتیجه سبب مدیریت صحیح‌تر منابع آبی می‌شود.

هدف اصلی مدل‌سازی اکوهیدرولوژی جنگل، درک بهتر چگونگی توزیع اجزای مختلف چرخه هیدرولوژی در بوم‌سازگان‌های جنگلی است. یکی از جنبه‌های اصلی بررسی اکوهیدرولوژی جنگل، بررسی مقدار باران ربایی توده‌های مختلف جنگلی است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، مدل Sparse Gash قابلیت مناسبی در برآورد باران ربایی در جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده چهار توده راش شرقی منطقه لاجیم، بلندمازو منطقه کوه‌میان،

References

- [1]. Muzlyo, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J.J., Domingo, F., and Gash, J.H.C. (2009). A review of rainfall interception modelling. *Journal of Hydrology*, 370(1-4): 191-206.
- [2]. Sadeghi, S.M.M., Gordon, D.A., and Van Stan II, J.T. (2020). A Global Synthesis of Throughfall and Stemflow Hydrometeorology. In *Precipitation Partitioning by Vegetation* (pp. 49-70). Springer, Cham.
- [3]. Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., and Pypker, T.G. (2016). The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. *Science of the Total Environment*, 568: 845-855.
- [4]. Sun, X., Onda, Y., Kato, H., Gomi, T., and Komatsu, H. (2015). Effect of strip thinning on rainfall interception in a Japanese cypress plantation. *Journal of Hydrology*, 525: 607-618.
- [5]. Gash, J., Lloyd, C., and Lachaud, G. (1995). Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170: 79-86.
- [6]. Lloyd, C.R., Gash, J.H., and Shuttleworth, W.J. (1988). The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 43(3-4): 277-294.
- [7]. Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan II, J.T., Pypker, T.G., and Dunkerley, D. (2015). Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 76-85.
- [8]. Fathizadeh, O., Hosseini, S.M., Keim, R.F., and Boloorani, A.D. (2018). A seasonal evaluation of the reformulated Gash interception model for semi-arid deciduous oak forest stands. *Forest Ecology and Management*, 409: 601-613.
- [9]. de Carvalho Lopes, D., Neto, A.J.S., de Queiroz, M.G., de Souza, L.S.B., Zolnier, S., and da Silva, T.G.F. (2020). Sparse Gash model applied to seasonal dry tropical forest. *Journal of Hydrology*, 590: 125497.
- [10]. Li, Y., Liu, X., Zhang, C., Li, Z., Zhao, Y., and Niu, Y. (2020). Effect of initial plant density on modeling accuracy of the revised sparse Gash model: a case study of *Pinus tabuliformis* plantations in northern China. *Hydrology Research*, 51(5): 1170-1183.
- [11]. Motahari, M., Attarod, P., Pypker, T.G., Etemad, V., and Shirvany, A. (2013). Rainfall interception in a *Pinus eldarica* in a semi-arid climate: An application of the Gash model. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(5): 981-994.
- [12]. Sadeghi, S.M.M., Van Stan II, J.T., Pypker, T.G., and Friesen, J. (2017). Canopy hydrometeorological dynamics across a chronosequence of a globally invasive species, *Ailanthus altissima* (Mill., tree of heaven). *Agricultural and Forest Meteorology*, 240: 10-17.
- [13]. Sefidi, K., and Sadeghi, S.M.M. (2020). Comparison of revised Gash models for estimating rainfall interception in an oriental beech stand, west of Hyrcanian region. *Iranian Journal of Forests* (in-press).

- [14]. Attarod, P., and Sadeghi, S.M.M. (2018). *Forest Ecohydrology*, Tehran: Jahad Daneshgahi.
- [15]. Dawson, C.W., Abrahart, R.J., and See, L.M. (2007). HydroTest: a web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. *Environmental Modelling and Software*, 22: 1034-1052.
- [16]. Nazari, M., Chaichi, M.R., Kamel, H., Grismer, M., and Sadeghi, S.M.M. (2020). Evaluation of estimation methods for monthly reference evapotranspiration in arid climates. *Arid Ecosystems*, 10(4): 329-326.
- [17]. Hennemuth, B., Bender, S., Bülow, K., Dreier, N., Keup-Thiel, E., Krüger, O., Mudersbach, C., Radermacher, C., and Schoetter, R. (2013). Statistical methods for the analysis of simulated and observed climate data, applied in projects and institutions dealing with climate change impact and adaptation, CSC Report 13, Climate Service Center, Hamburg, Germany, 135 p.
- [18]. Dykes, A.P., (1997). Rainfall interception from a lowland tropical rainforest in Brunei. *Journal of Hydrology*, 200: 260-279.
- [19]. Lankreijer, H., Lundberg, A., Grelle, A., Lindroth, A. and Seibert, J., (1999). Evaporation and storage of intercepted rain analysed by comparing two models applied to a boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99: 595-604.
- [20]. 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 an old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 113-129.
- [21]. Sadeghi, S.M.M., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., Tamjidi, J., Friesen, J., and Farahnaklangroudi, M. (2018). Importance of transitional leaf states in canopy rainfall partitioning dynamics. *European Journal of Forest Research*, 137: 121-130.
- [22]. Tu, L., Xiong, W., Wang, Y., Yu, P., Liu, Z., Han, X., & Xu, L. (2021). Integrated effects of rainfall regime and canopy structure on interception loss: A comparative modelling analysis for an artificial larch forest. *Ecohydrology*, e2283.
- [23]. Liu, Z., Wang, Y., Tian, A., Liu, Y., Webb, A.A., Wang, Y., Zho, H., Yu, P., Xiong, W., and Xu, L. (2018). Characteristics of canopy interception and its simulation with a revised Gash model for a larch plantation in the Liupan Mountains, China. *Journal of Forestry Research*, 29(1): 187-198.
- [24]. Nazari, M., Sadeghi, S.M.M., Van Stan II, J.T., and Chaichi, M.R. (2020). Rainfall interception and redistribution by maize farmland in central Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100656.
- [25]. Ghimire, C.P., Bruijnzeel, L.A., Lubczynski, M.W., Ravelona, M., Zwartendijk, B.W., and van Meerveld, H.I. (2017). Measurement and modeling of rainfall interception by two differently aged secondary forests in upland eastern Madagascar. *Journal of Hydrology*, 545: 212-225.

Performance of the physically-based Sparse Gash model for estimating rainfall interception of the Hyrcanian broad-leaved forests

T. Panahande; MSc Graduated of Forest Biology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

P. Attarod*; Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

M. Namiranian; Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

V. Bayramzadeh; Associate Prof., Department of Wood and Paper Sciences, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, I. R. Iran

S.M.M. Sadeghi; Postdoctoral Researcher, Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Transilvania University of Brasov, Brasov, Romania

(Received: 24 April 2021, Accepted: 05 July 2021)

ABSTRACT

The difficulties in the measurement of rainfall interception in forests confirm the necessity of presenting models. The widely used models for estimating rainfall interception are physical-based models, among which the Sparse Gash is the most commonly used. We evaluated the Sparse Gash model for estimating the rainfall interception of five forest stands (two chestnut-leaved oak stands, two oriental beech stands, and one velvet maple stand) in the Hyrcanian region. In each stand, the gross rainfall and throughfall were measured using 5 and 20 rainfall collectors, respectively, and rainfall interception was calculated by subtracting the throughfall from gross rainfall. To evaluate the performance of the model, we used statistical metrics: Error percentage (*Error*), Mean Absolute Error (*MAE*), Root Mean Square Error (*RMSE*), and the Model Efficiency coefficient (*CE*). Based on the Pearson correlation coefficient, the correlation between the values estimated by the model and the observed values was statistically significant at a 95% confidence interval. In all forests, the values of the *CE* were higher than 0.5, indicating the appropriate efficiency of the model. Based on the *Error*, the model showed good capability in estimating the rainfall interception of four forest stands (*i.e.*, oriental beech in Lajim, chestnut-leaved oak in Kohmiyan and Sari, and velvet maple in Sari *Error* metric were found to be -10.3%, +12.7%, +10.8%, and +15.4%, respectively). Studying the performance of physically-based models in forests with different species and different allometric, climatic, and rainfall characteristics completes the information gap about the efficiency of models to estimate rainfall interception.

Keywords: Chestnut-leaved oak, Forest ecohydrology, Oriental beech, Physically-based model, Velvet maple.

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