



## مقایسه مدل‌های اصلاح‌شده Gash در برآورد باران‌ربایی توده راش شرقی در غرب ناحیه هیرکانی

کیومرث سفیدی<sup>۱</sup> و سید محمدمعین صادقی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل  
<sup>۲</sup> گروه مهندسی جنگل، دانشکده جنگلشناسی و مهندسی جنگل، دانشگاه ترانسیلوانیای براشو، براشو، رومانی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۳۰)

### چکیده

متداول‌ترین مدل‌های برآوردکننده باران‌ربایی، مدل‌های فیزیکی مبنا هستند که در میان آنها مدل‌های Gash بیشترین کاربرد را دارند. هدف این پژوهش، مقایسه بررسی کارایی مدل‌های فیزیکی‌مبنای اصلاح‌شده Gash در برآورد باران‌ربایی توده راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در جنگل‌های سیاهکل استان گیلان بود. در طی دوره یکساله (فروردین تا اسفند ۱۳۹۴)، مقادیر باران، تاج‌بارش و ساقاب در توده مدنظر اندازه‌گیری و مقدار باران‌ربایی محاسبه شد. برای برآورد مقدار باران‌ربایی، مدل‌های Gash-1 و Gash-2 انتخاب شدند و کارایی این دو مدل طی سنجه‌های زمانی سالانه، دوره برگ‌دار و دوره بی‌برگی بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که به‌صورت کلی، پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه در بین سنجه‌های زمانی مختلف، اختلاف چشمگیری داشتند. در هر سه سنجه زمانی مدنظر، مدل Gash-2 کارایی بهتری از مدل Gash-1 داشت و مناسب‌ترین عملکرد این مدل، در برآورد باران‌ربایی سالانه بود (خطای برآوردی: ۸/۸+ درصد؛ ضریب کارایی: ۰/۹۲). فرایندهای اکوهیدرولوژی جنگل در توده‌های پهن‌برگ خزان‌کننده باید در سنجه‌های زمانی متفاوت به‌صورت مجزا بررسی شود، زیرا رفتار اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش در زمان، متفاوت است. ضمن اینکه مدل‌ها نیز در سنجه زمانی، عملکرد مشابه ندارند. بنابراین باید با بررسی‌های بیشتر، مدل‌های کارا در هر سنجه زمانی و در هر توده جنگلی مشخص شود تا با تعیین مدل مناسب، به برآورد صحیح باران‌ربایی در جنگل‌های هیرکانی کمک شود.

**واژه‌های کلیدی:** اکوهیدرولوژی جنگل، توزیع اجزای باران، دوره برگ‌دار، دوره بی‌برگی.

### مقدمه

تقسیم می‌شود (Nezamdoost et al., 2018; Gordon et al., 2020). باران‌ربایی، اتلاف آبی باران توسط تاج‌پوشش و تنه/ساقه پوشش گیاهی تلقی می‌شود. در طی این فرایند، سهمی از هر رخداد باران از دسترس پوشش گیاهی خارج می‌شود. در پوشش‌های گیاهی مختلف، مقادیر باران‌ربایی متفاوت است (Nezamdoost et al., 2018; Lin et al., 2020; )

اکوهیدرولوژی جنگل همه تقابل‌های هیدرولوژیکی گیاه-خاک-اتم‌سفر را در بر می‌گیرد. بیشتر پژوهش‌های اکوهیدرولوژی جنگل در داخل کشور، درباره توزیع اجزای باران بوده است. منظور از فرایند توزیع اجزای باران این است که باران هنگام برخورد به تاج‌پوشش به تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی

(2009) که در آن ۸۰ مقاله مختلف درباره مدل سازی باران ربایی در جهان بررسی شده، مدل های فیزیکی مبنای اصلاح شده Gash - با نام های Gash-1 (Gash et al., 1995) و Gash-2 (Valente et al., 1997) - بیشترین استفاده و مناسب ترین کارایی را در برآورد باران ربایی دارند. از دیگر مزایای این مدل ها این است که نیازمند داده های فراوان ورودی و نیز داده های ورودی در سنجه های زمانی ساعتی نیستند. به صورت کلی، پژوهش های موجود درباره توزیع اجزای باران در داخل کشور را می توان به پنج دسته تقسیم کرد: ۱. تجزیه عناصر شیمیایی تاج بارش و ساقاب؛ ۲. توزیع زمانی و مکانی تاج بارش؛ ۳. کمی سازی مقدار توزیع اجزای باران؛ ۴. محاسبه اجزای مدل سازی توزیع اجزای باران (پارامترهای اکوهیدرولوژیک برای مدل سازی توزیع اجزای باران)؛ ۵. مدل سازی توزیع اجزای باران. در داخل کشور، اولین پژوهش درباره توزیع اجزای باران به کمی سازی مقدار توزیع اجزای باران پرداخته شد (Ghorbani & Rahmani, 2009). بیشتر پژوهش ها درباره توزیع اجزای باران کشور نیز به این موضوع پرداخته اند و در بیشتر آنها، با چشم پوشی از مقدار اندازه گیری ساقاب و با فرض صفر بودن آن، مقدار باران ربایی بیش برآورد شده است. محاسبه اجزای مدل سازی توزیع اجزای باران از سال ۱۳۹۱ (Motahari et al., 2013) آغاز شد. اغلب به دلیل اندازه نگرفتن ساقاب، مقادیر پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش برای مدل سازی توزیع اجزای باران در پژوهش های داخلی محاسبه شده و با فاصله پنج ساله، از سال ۱۳۹۶، مقادیر پارامترهای اکوهیدرولوژیک تنه درختان برای مدل سازی توزیع اجزای باران در پژوهش های داخلی بیان شده است (Sadeghi et al., 2017). درباره مدل سازی باران ربایی، پژوهش های انگشت شماری در داخل کشور به انجام رسیده است. در اولین پژوهش، Motahari et al. (2013) به برآورد باران ربایی توده

(Sadeghi et al., 2020) و در چرخه های هیدرولوژی، این مقدار در محاسبات بیلان آبی وارد نمی شود؛ هر چند مقدار آن در پژوهش های مختلف داخل کشور تا ۴۴ درصد از باران سالانه (Sadeghi et al., 2014) ذکر شده است. استفاده از باران ربایی تاج پوشش در مدل های هیدرولوژیکی از مؤلفه های اصلی در چرخه هیدرولوژی و بیلان آبی است که سبب دقیق تر شدن مدل سازی های منابع آب می شود. البته لازمه در نظر گرفتن باران ربایی در مدل سازی ها و محاسبه های هیدرولوژیکی، اطلاع از کمیت آن در هر رخداد باران و در سنجه های زمانی برگدار، بی برگی و سالانه است که گاه تفاوت مقادیر باران ربایی در دوره های برگدار و بی برگی به حدود ۴۰ درصد می رسد (Sadeghi et al., 2020). از آنجا که اندازه گیری باران ربایی وقت گیر و پرهزینه است، از مدل سازی در برآورد مقدار باران ربایی استفاده می شود. اصطلاح مدل برای همگان مفهومی آشناست و کاربرد آن در علوم و فنون مختلف بسیار متداول است. مدل، توصیف یا قیاسی است که برای درک بهتر پدیده هایی که امکان دیدنشان وجود ندارد استفاده می شود. در علوم طبیعی مانند جنگل که متغیرهای مختلفی دخیل اند، رسیدن به مدلی که دقیقاً مشابه سیستم واقعی عمل کند، بسیار مشکل است (Attarod & Sadeghi, 2018). بنابراین بررسی کارایی مدل های مختلف در برآورد باران ربایی در اقلیم ها و توده های مختلف جنگلی، به گسترش استفاده از مدل سازی و شناسایی مدل های کارا کمک می کند.

از یک قرن پیش، مدل سازی ارتباط متقابل بین پوشش گیاهی و اجزای چرخه هیدرولوژیک آغاز شده (Horton, 1919)؛ هر چند به طور تقریبی از نیم قرن پیش (۱۹۷۱ میلادی)، استفاده از مدل سازی در برآورد مقدار باران ربایی شروع شده (Rutter et al., 1971) و تاکنون هفده مدل فیزیکی مبنای برآورد باران ربایی در دنیا معرفی شده است (Muzylo et al., 2009; Návar, 2017). براساس مقاله مروری

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

این پژوهش در توده طبیعی راش شرقی بخش هفت شنرود (پارسل ۷۳۲) شهرستان سیاهکل استان گیلان با عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 55' 30''$  شمالی و طول جغرافیایی  $49^{\circ} 47' 50''$  شرقی انجام گرفت. در توده راش انتخاب‌شده، میانگین قطر برابر سینه ۴۴ سانتی‌متر، میانگین ارتفاع درختان ۲۸/۱ متر، میانگین ارتفاع تاج ۱۳/۲ متر، نسبت ارتفاع تاج به ارتفاع درخت ۰/۴۷، درصد تاج‌پوشش در دوره برگ‌دار ۵۰، تراکم درختان ۵۲۰ پایه در هکتار و سطح مقطع توده ۷۹/۱ متر مربع در هکتار در قطعه نمونه بررسی شده بود. در قطعه نمونه دایره‌ای مدنظر (با مساحت تقریبی ۰/۵ هکتار)، ۵۰ عدد باران‌سنج دستی برای اندازه‌گیری تاج‌بارش به صورت تصادفی توزیع شد. در این قطعه نمونه، میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۰۰۰ متر، میانگین شیب ۲۵ درصد و جهت دامنه غربی است (Sefidi & Sadeghi, 2020).

### شیوه اجرای پژوهش

#### محاسبه باران‌ربایی

برای محاسبه باران‌ربایی و نیز پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه، باید مقادیر تاج‌بارش و ساقاب در عرصه اندازه‌گیری شود. بدین منظور، مقادیر باران، تاج‌بارش و ساقاب به مدت یک سال (فروردین تا اسفند ۱۳۹۴ خورشیدی) در قطعه نمونه مدنظر اندازه‌گیری شد. مقدار باران‌ربایی از کسر مقدار مجموع تاج‌بارش و ساقاب از مقدار باران در هر رخداد محاسبه شد. اطلاعات درباره چگونگی نمونه‌برداری مقادیر باران، تاج‌بارش و ساقاب در توده و نیز نحوه محاسبه پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه درختان در پژوهش (Sefidi et al., 2020) موجود است. برای راه‌اندازی مدل‌های اصلاح‌شده Gash، محاسبه مقادیر پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش شامل نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی

دست‌کاشت کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) با استفاده از مدل Gash-1 (Gash et al., 1995) در پارک جنگلی چیتگر پرداختند و عملکرد این مدل را تأیید کردند. (Sadeghi et al., 2015) به ارزیابی کارایی مدل Gash-1 در برآورد باران‌ربایی توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Greene) پرداختند و بیان کردند که خطای این مدل در برآورد مقدار باران‌ربایی در سنجه زمانی سالانه، کمتر از ۱۰ درصد است. (Sadeghi et al., 2017) در پژوهشی به برآورد مقدار باران‌ربایی توده‌های دست‌کاشت عرعر (*Ailanthus altissima* (Miller) Swingle) در پارک جنگلی چیتگر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل Gash-2 عملکرد مقبولی (خطای کمتر از ۱۵ درصد) در سنجه زمانی سالانه دارد، هرچند در سنجه‌های زمانی برگ‌دار و بی‌برگی، خطای مدل تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. می‌توان جمع‌بندی کرد که ارزیابی مدل‌های فیزیکی‌مبنای اصلاح‌شده Gash برای برآورد باران‌ربایی در داخل کشور در جنگل‌های چیتگر (Sadeghi et al., 2015, 2017)، جنگل‌های ایلام (Fathizadeh et al., 2018) و گونه زراعی ذرت در ورامین (Nazari et al., 2020) انجام گرفته و این مدل‌ها در دیگر بوم‌سازگان‌های جنگلی کشور، مانند ناحیه ریشی هیرکانی ارزیابی نشده است. همچنین در پژوهش‌های پیشین داخل کشور، تاکنون کارایی همزمان دو مدل Gash-1 و Gash-2 بررسی نشده است. بنابراین هدف این پژوهش، بررسی قابلیت مدل‌های فیزیکی‌مبنای اصلاح‌شده Gash (Gash-1 و Gash-2) در برآورد باران‌ربایی جنگل‌های راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) در سیاهکل گیلان بود. نتایج برآورد این مدل‌ها، به انتخاب مدل مناسب برای برآورد باران‌ربایی جنگل‌های راش - به‌عنوان دومین گونه از نظر وسعت و حجم در جنگل‌های هیرکانی - به مدیران و برنامه‌ریزان جنگل کمک می‌کند.

تاج پوشش می شود (میلی متر، رابطه ۶)،  $I_a$  تبخیر از تاج پوشش بعد از توقف باران (میلی متر، رابطه ۷)،  $I_s$  تبخیر بعد از اشباع شدن آب تاج پوشش اما قبل از قطع بارندگی، یعنی تبخیر در زمان بارندگی (میلی متر، رابطه ۸)،  $q$  تعداد رخدادهای باران کافی برای اشباع آب تنه و  $m + n - q$  تعداد رخدادهای باران ناکافی برای اشباع آب تنه است.

$$I_w = ncP'_g - ncS_c$$

رابطه ۶

$$I_a = ncS_c$$

رابطه ۷

$$I_s = (\bar{E}_c / \bar{R}) \sum_{j=1}^n (P_{g_j} - P'_g)$$

رابطه ۸

در رابطه های،  $S_c$  و  $\bar{E}_c$  به ترتیب نشان دهنده ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش و تبخیر از تاج پوشش در زمان بارندگی است که بر درصد تاج پوشش تقسیم شده است.

مدل های فیزیکی مبنای اصلاح شده Gash-2

(Valente et al., 1995)

مدل Gash-2 که در بسیار از پژوهش ها مدل Sparse Gash خوانده شده است، به دلیل بهبود مدل Gash-1، در برآورد باران ربایی جنگل های تنک با تاج پوشش اندک معرفی شد. در مدل Gash-2، همه مراحل محاسبات باران ربایی، شبیه به رابطه های مدل Gash-1 انجام می گیرد و تنها نکته تغییر یافته در این مدل این است که در همه معادلات این مدل ضریب ساقاب، ظرفیت نگهداری آب تنه و نرخ تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران، بر درصد تاج پوشش تقسیم و سپس در معادله ها ارائه می شوند.

( $P'_g$ -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 پارامترهای اکوهیدرولوژیک تنه شامل ظرفیت نگهداری آب تنه ( $S_t$ )، ضریب ساقاب ( $p_t$ ) و نقطه اشباع آب تنه ( $P''_g$ ) به همراه مقدار باران ( $P_g$ ) در هر رخداد باران نیاز است.

مدل های فیزیکی مبنای اصلاح شده Gash-1

(Gash et al., 1995)

برای راه اندازی این مدل، باران ربایی کل ( $I_t$ ) با استفاده از رابطه ۱ برآورد می شود.

$$I_t = I_c + I_n + I''_t + I'''_t$$

رابطه ۱

در این رابطه،  $I_c$  باران ربایی در زمان رخدادهای باران که برای اشباع آبی تاج پوشش کافی نیستند (رابطه ۲)،  $I_n$  باران ربایی تعداد  $n$  رخداد باران کافی برای اشباع آب تاج پوشش (رابطه ۳)،  $I''_t$  باران ربایی از سطح تنه در زمان  $q$  رخداد باران کافی برای اشباع آب تنه (رابطه ۴) و  $I'''_t$  باران ربایی از سطح تنه در زمان  $m + n - q$  رخداد باران ناکافی برای اشباع آب تنه است (رابطه ۵).

$$I_c = c \sum_{j=1}^m P_{g_j}$$

رابطه ۲

$$I_n = I_w + I_a + I_s$$

رابطه ۳

$$I''_t = qS_t$$

رابطه ۴

$$I'''_t = (qS_{tc} + p_t) \sum_{j=1}^{m+n-q} P_{g_j}$$

رابطه ۵

در این رابطه ها،  $c$  درصد تاج پوشش،  $m$  تعداد رخدادهای باران ناکافی برای اشباع آب تاج پوشش،  $I_w$  باران ربایی مقدار بارانی است که صرف مرطوب کردن

$$RMSE = \left[ N^{-1} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{0.5} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$AIC = N \ln(RMSE) + 2t \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

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 برآوردشده)،  $O_i$  مقدار مشاهده شده (مقدار اندازه‌گیری شده) و  $t$  تعداد پارامترهای مدل محاسباتی است.  $RMSE$  آماره‌ای است که برای ارزیابی خطای مدل استفاده می‌شود و بازه آن بین صفر تا مثبت بی‌نهایت است و هرچه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، خطای مدل کمتر است.  $Error$  آماره‌ای است که برای ارزیابی خطای مدل استفاده می‌شود و مقدار آن از مثبت بی‌نهایت تا منفی بی‌نهایت است. علائم مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی مدل‌اند که هرچه مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، خطای مدل کمتر است.  $AIC$  معیاری برای سنجش نیکویی برازش است و مقدار کمتر آن بیانگر بیشتر بودن کیفیت مدل است.  $CE$  آماره‌ای است که برای ارزیابی کارایی مدل استفاده می‌شود و دامنه آن بین منفی بی‌نهایت تا ۱ است و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، مدل کارا تر است (Dawson et al., 2007; Sadeghi et al., 2019).

### نتایج

اطلاعات کلی درباره مقدار باران و باران‌رایی در سه سنجه زمانی طی دوره یکساله پژوهش، ۷۵ رخداد باران در توده راش شرقی اندازه‌گیری شد که میانگین مقدار باران در هر رخداد ۸/۱ میلی‌متر (خطای

### روش تحلیل

این پژوهش در سه سنجه زمانی دوره برگدار (اول فروردین تا ۱۵ آبان ۱۳۹۴)، دوره بی‌برگی (۱۶ آبان تا ۲۹ اسفند ۱۳۹۴) و سالانه بررسی شد. ۷۵ درصد داده‌ها در هر سنجه برای راه‌اندازی مدل‌ها و ۲۵ درصد داده‌ها برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شدند. بنابراین برای راه‌اندازی مدل‌های Gash-1 و Gash-2، ۷۵ درصد رخدادهای باران در هر سنجه زمانی استفاده شد؛ با توجه به اینکه در سنجه‌های زمانی سالانه، برگدار و بی‌برگی به ترتیب ۷۵، ۵۰ و ۲۵ رخداد باران اندازه‌گیری شد، ۵۶، ۳۷ و ۱۸ رخداد باران برای راه‌اندازی مدل به ترتیب در سنجه‌های زمانی سالانه، دوره برگدار و دوره بی‌برگی به کار رفت. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. برای بررسی همگنی داده‌ها از آزمون لون<sup>۲</sup> بهره گرفته شد. سپس به دلیل نرمال و همگن بودن داده‌ها، از آزمون‌های پارامتری برای مقایسه بین مقادیر باران‌رایی استفاده شد. بدین منظور تجزیه واریانس بین مقادیر باران‌رایی اندازه‌گیری شده و برآوردشده توسط دو مدل صورت گرفت و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف‌ها، از آزمون دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد. از ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) نیز برای بررسی معنی‌داری همبستگی بین مقادیر برآوردشده و اندازه‌گیری شده باران‌رایی بهره گرفته شد. برای ارزیابی مدل‌های مدنظر، از چهار آماره درصد خطا ( $Error$ )، ریشه دوم میانگین مربع خطا ( $RMSE$ )، ضریب اطلاعات آکاییک ( $AIC$ ) و ضریب کارایی ( $CE$ ) بهره گرفته شد (رابطه‌های ۹ تا ۱۲؛ Dawson et al., 2007).

$$Error(\%) = \left( \frac{|\bar{O} - \bar{P}|}{\bar{O}} \right) \times 100 \quad \text{رابطه ۹}$$

1. Kolmogorov-Smirnov test  
2. Levene's test

### پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش و تنه در سه سنجه زمانی

مقادیر محاسبه شده پارامترهای اکوهیدرولوژیک تاج پوشش و تنه در سنجه های زمانی سالانه، برگدار و بی برگگی در جدول ۱ مشاهده می شود. مقدار پارامتر ضریب ساقاب ( $P_t$ ) در سنجه های زمانی بررسی شده ثابت بود. بیشترین تفاوت بین مقدار هر پارامتر در سنجه های زمانی، متعلق به پارامتر نقطه اشباع آب تنه ( $P''_g$ ) است که در دوره برگدار، به طور تقریبی سه برابر دوره بی برگگی بود (جدول ۱).

معیار:  $\pm 0/8$  میلی متر) بود. در دوره های برگدار و بی برگگی، متوسط مقدار باران به ترتیب  $8/2$  میلی متر ( $\pm 1/0$  میلی متر) و  $7/9$  میلی متر ( $1/6$  میلی متر) حاصل شد. میانگین درصد تجمعی باران ربایی در دوره های سالانه، برگدار و بی برگگی به ترتیب  $11/7$ ،  $13/6$  و  $7/6$  درصد محاسبه شد. میانگین درصد نسبی باران ربایی (باران ربایی در هر رخداد باران،  $I:P_g$ ) در دوره های یاد شده به ترتیب  $22/4$ ،  $24/5$  و  $18/3$  درصد به دست آمد.

جدول ۱- مقادیر مشخصه های اکوهیدرولوژیک تاج پوشش و تنه درختان راش شرقی در سنجه های زمانی مختلف

سنجه زمانی			پارامتر اکوهیدرولوژیک
سالانه	دوره برگدار	دوره بی برگگی	
۱/۸۱	۲/۱۱	۱/۵۳	نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی ( $P'_g$ -Estimated) (میلی متر)
۱/۶۳	۱/۲۱	۰/۷۸	نقطه اشباع آب تاج پوشش محاسباتی ( $P'_g$ ) (میلی متر)
۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۲۹	ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش ( $S$ ) (میلی متر)
۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۵۳	ضریب تاج بارش مستقیم ( $p$ ) (بدون واحد)
۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۵	نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران ( $\bar{E}/\bar{R}$ )
۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۰۹	ظرفیت نگهداری آب تنه ( $S_t$ ) (میلی متر)
۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	ضریب ساقاب ( $P_t$ ) (بدون واحد)
۱/۶۱	۲/۰۹	۰/۷۰	نقطه اشباع آب تنه ( $P''_g$ ) (میلی متر)

باران ربایی اندازه گیری شده، باران ربایی برآورد شده توسط مدل Gash-1 و باران ربایی برآورد شده توسط مدل Gash-2 تنها در سنجه زمانی سالانه، دارای اختلاف معنی داری است ( $p < 0/05$ ). براساس شکل ۲، میانگین مقدار برآورد شده توسط مدل Gash-1 در سنجه زمانی سالانه به صورت معنی داری بیشتر از مقدار باران ربایی واقعی و مقدار باران ربایی برآورد شده توسط مدل Gash-2 است (شکل ۲). مقادیر برآوردی باران ربایی مدل Gash-2 در سه سنجه زمانی متفاوت، با مقدار اندازه گیری شده باران ربایی تفاوت آماری معنی داری ندارد (شکل ۲).

نتایج مرحله ارزیابی مدل نشان می دهد که در

### راه اندازی مدل ها

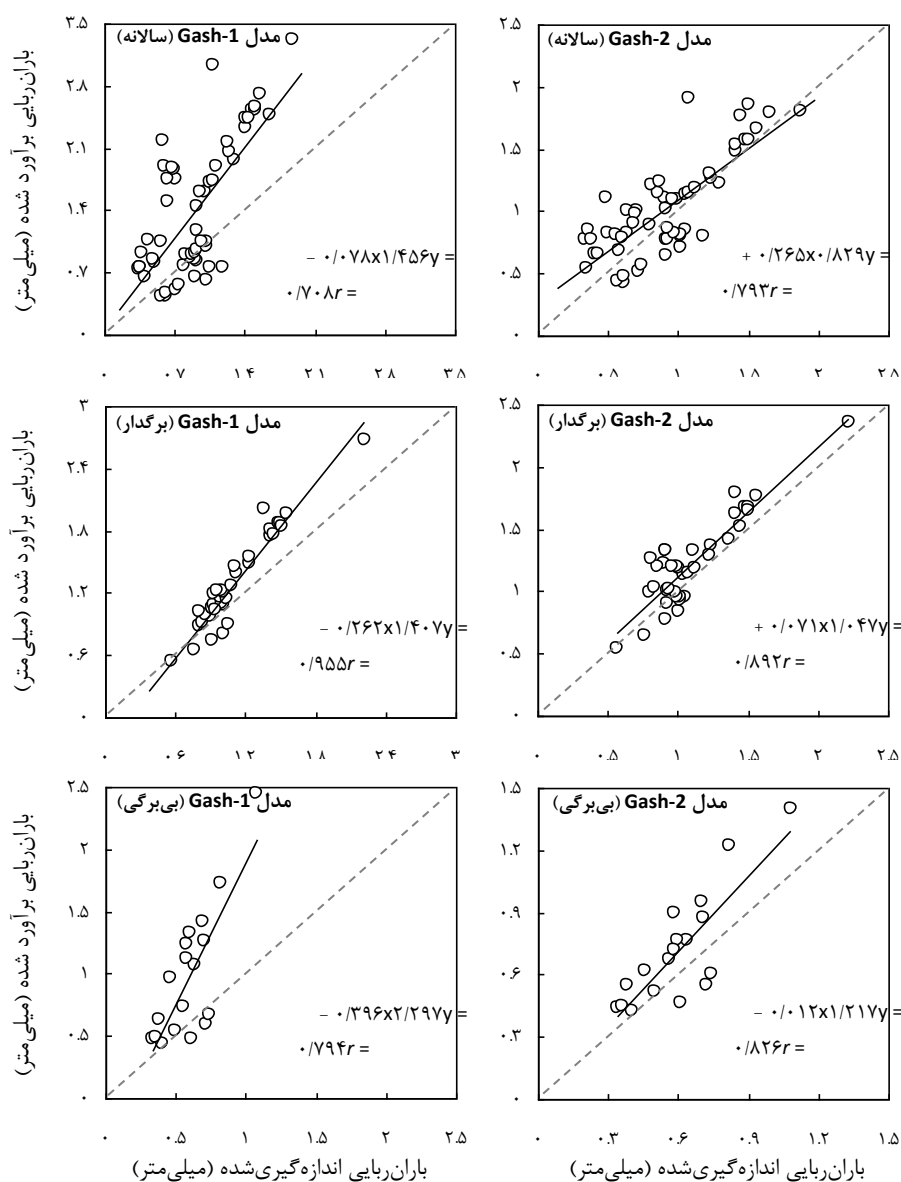
در شکل ۱، مقادیر برآوردی مدل های Gash-1 و Gash-2 در سنجه های زمانی متفاوت ارائه شده است. براساس شکل ۱، همبستگی قوی و معنی داری بین مقادیر باران ربایی اندازه گیری شده و باران ربایی برآورد شده توسط مدل های Gash-1 و Gash-2 در همه سنجه های زمانی به دست آمد ( $p < 0/01$ ). براساس نزدیکی خط رگرسیون به خط ۱:۱، بهترین حالت در مدل Gash-1 حاصل شد (شکل ۱).

### اعتبارسنجی مدل ها

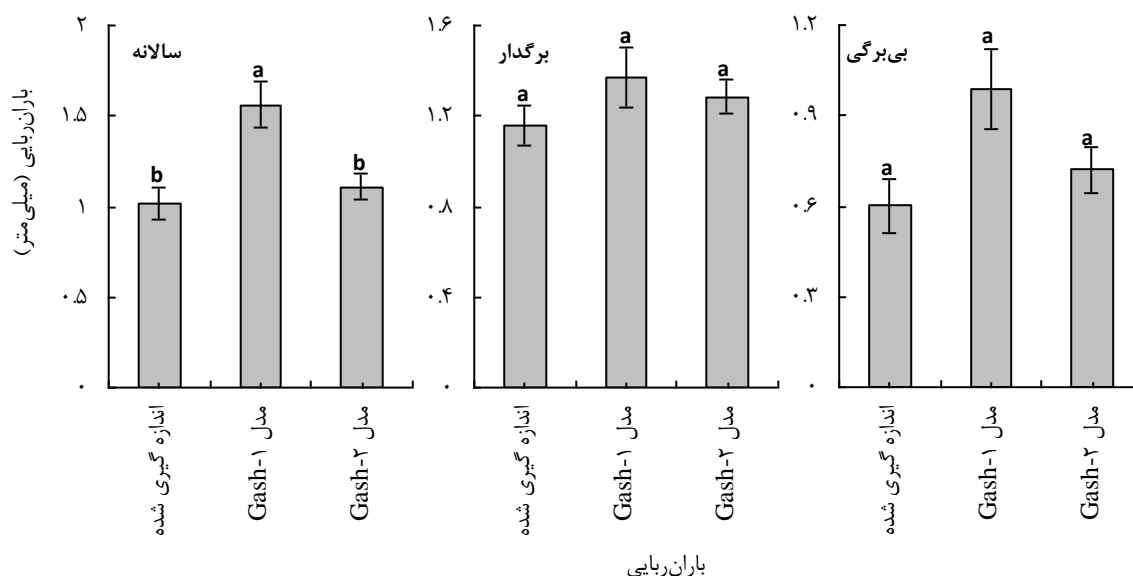
براساس آزمون ANOVA، میانگین مقادیر باران ربایی در مرحله اعتبارسنجی بین گروه های

سنجه زمانی دیگر، توانایی این مدل نامطلوب است (جدول ۲). به صورت میانگین در هر سه سنجه زمانی مدنظر، هر دو مدل مقدار باران‌ریایی را بیش‌برآورد می‌کنند که میانگین *Error* در مدل Gash-1 ۴۵/۱ درصد و در مدل Gash-2 ۱۳/۱ درصد است.

همه سنجه‌های زمانی بررسی شده، مدل Gash-2 عملکرد بهتری از مدل Gash-1 در برآورد باران‌ریایی دارد (جدول ۲). مدل Gash-1 تنها در سنجه زمانی برگدار، قابلیت برآورد باران‌ریایی را دارد، زیرا مقدار ضریب *CE* آن در سنجه یادشده ۰/۴۷ است و در



شکل ۱- مقادیر باران‌ریایی اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های فیزیکی مبنا Gash-1 و Gash-2 در توده راش شرقی در سنجه‌های زمانی. هر دایره به یک رخداد باران اشاره دارد. خط چین بیانگر خط ۱:۱ است.



شکل ۲- میانگین مقدار باران‌ریایی در سنجه‌های زمانی در گروه‌های مختلف. خطوط بار بر خطای معیار میانگین هر گروه دلالت دارند. حروف متفاوت بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف در سطح آماري ۹۵ درصد است.

جدول ۲- مقادیر آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های Gash برای برآورد مقدار باران‌ریایی در سنجه‌های زمانی متفاوت در توده راش شرقی

پارامتر ارزیابی مدل	مدل Gash-2			مدل Gash-1			میانگین
	سالانه	برگدار	بی‌برگی	سالانه	برگدار	بی‌برگی	
Error (درصد)	+۵۳/۲	+۱۸/۱	+۶۴/۰	+۴۵/۱	+۱۸/۱	+۶۴/۰	+۱۳/۱
RMSE (میلی‌متر)	۰/۵۷	۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۱۲
AIC	۳/۳۲	-۳/۸۸	۸/۶۸	۲/۷۱	-۳/۸۸	۸/۶۸	۱۳/۵۴
CE	-۱/۲۳	۰/۴۷	-۴/۳۲	-۱/۶۹	۰/۴۷	-۴/۳۲	۰/۸۰

اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه در دوره‌های برگدار و بی‌برگی (جدول ۱) نشان می‌دهد که باید بررسی‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان، در دوره‌های برگدار و بی‌برگی به‌طور مجزا انجام گیرد (Sadeghi et al., 2018; Fathizadeh et al., 2020). در پژوهش Sadeghi et al. (2018) درباره مقادیر توزیع اجزای باران و پارامترهای اکوهیدرولوژیک درختان افاقیا و چنار در پارک جنگلی چیتگر، این مهم به‌خوبی روشن شده است که در توده‌های

## بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که باران‌ریایی سهم بزرگی از چرخه توزیع اجزای بارندگی را در جنگل‌های راش به خود تخصیص می‌دهد؛ به‌طوری که میانگین درصد نسبی باران‌ریایی در سنجه‌های زمانی سالانه، برگدار و بی‌برگی به ترتیب ۲۴/۵، ۲۲/۴ و ۱۸/۳ درصد حاصل شد. تفاوت حدود ۶ درصدی بین میانگین درصد نسبی باران‌ریایی در دوره‌های برگدار و بی‌برگی و نیز تفاوت بین مقادیر پارامترهای



مدل Gash-1 شده است (Valente et al., 1997; Sadeghi et al., 2019). در واقع مدل Gash-2 به دنبال کاهش بیش‌برآوردی مدل Gash-1 در توده‌های تنک معرفی شد و برای کاهش بیش‌برآوردی مدل Gash-1، درصد تاج‌پوشش به همه معادله‌های این مدل اضافه شد (Valente et al., 1997). درصد تاج‌پوشش پارامتر تأثیرگذاری در اکوهیدرولوژی جنگل است (Sadeghi et al., 2018) که اندازه‌گیری مستقیم آن به وسایل گران‌قیمت نیاز دارد و در این پژوهش از روش غیرمستقیم که مبتنی بر رگرسیون خطی بین مقادیر تاج‌بارش و باران در رخداد‌های باران کمتر از نقطه اشباع آب تاج‌پوشش است، برای برآورد آن استفاده شد که این روش در پژوهش‌های متعددی استفاده می‌شود (Fathizadeh et al., 2018).

با توجه به آماره‌های ارزیابی مدل (جدول ۲) می‌توان گفت مدل فیزیکی مبنای Gash-2 قابلیت مطلوبی در برآورد باران‌ریایی در سه سنجه زمانی بررسی شده دارد. مدل‌های فیزیکی مبنا بسیار دقیق‌اند و در مناطق اقلیمی، جغرافیایی و نیز برای گونه‌های مختلف گیاهی می‌توان از آنها استفاده کرد. بنابراین می‌توان گفت این قبیل مدل‌ها مختص به منطقه خاصی نیستند و می‌توانند در گونه‌ها و اقالیم مختلف کاربرد داشته باشند (Muzyllo et al., 2009; Sadeghi et al., 2017, 2019; Nazari et al., 2020). هرچند قابلیت آنها در برآورد باران‌ریایی در مناطق و توده‌های مختلف ممکن است متفاوت باشد، از این‌رو ارزیابی آنها در مناطق مختلف ضروری است.

تعیین دقیق مقدار باران‌ریایی، به‌عنوان اتلاف آبی تاج‌پوشش، به فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مدیران جنگل کمک چشمگیری می‌کند و در نتیجه سبب مدیریت صحیح‌تر بر منابع آبی می‌شود. اندازه‌گیری باران‌ریایی، وقتگیر و پرهزینه است و در همه نقاط کشور امکان‌پذیر نیست. از این‌رو پژوهشگران همواره در پی مدل‌هایی با دقت بیشتری در برآورد صحیح مقدار این پارامتر اکوهیدرولوژیک

پهن‌برگ خزان‌کننده، بررسی مشخصه‌های اکوهیدرولوژی باید در دوره‌های انتقالی تاج‌پوشش به‌صورت مجزا انجام گیرد تا بتوان درکی درست از فرایندهای اکوهیدرولوژیکی جنگل داشت.

درصد خطای برآوردی دو مدل بررسی‌شده در سنجه‌های زمانی مختلف متفاوت است (جدول ۲). Sadeghi et al. (2015) به بررسی عملکرد مدل Gash-1 در توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در پارک چیتگر تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقدار برآوردی مدل Gash-1 برای کاج تهران  $9/0 +$  درصد و سرو نقره‌ای  $6/5 +$  درصد بیشتر از مقدار واقعی باران‌ریایی بوده است. (Valente et al., 1997) با بررسی عملکرد مدل‌های Gash-1 و Gash-2 در گونه‌های *Pinus Ait.* و *Eucalyptus globules Labill.* به این نتیجه رسیدند که درصد خطای مدل Gash-1 در دو توده یادشده به ترتیب  $43/8$  و  $40/6$  درصد است که درباره مدل Gash-2، به ترتیب به  $1/8$  و  $2/9$  درصد کاهش یافته است که دلیل آن وارد کردن درصد تاج‌پوشش به معادلات در مدل Gash-2 است. شاید دلیل میانگین خطای  $13$  درصدی مدل Gash-2 در برآورد باران‌ریایی در این پژوهش، اندازه نگرفتن مستقیم درصد تاج‌پوشش باشد؛ از این‌رو پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی، درصد تاج‌پوشش به‌صورت مستقیم بررسی و نتایج آن با روش غیرمستقیم درصد تاج‌پوشش مقایسه شود. همچنین به احتمال زیاد بیشتر بودن درصد تاج‌پوشش در دوره برگدار نسبت به دوره بی‌برگی سبب شده که کارایی مدل Gash-2 در دوره برگدار مطلوب‌تر از دوره بی‌برگی باشد، به‌طوری که درصد خطای برآوردی باران‌ریایی در دوره برگدار  $8/8$  درصد کمتر از دوره بی‌برگی است (جدول ۲).

تفاوت بین عملکرد مدل Gash-1 و Gash-2 در برآورد باران‌ریایی به این دلیل است که در مدل Gash-2، درصد تاج‌پوشش (c) وارد مدل شده و ورود این پارامتر تا حد زیادی سبب اصلاح بیش‌برآوردی

استفاده کرد. براساس یافته‌های این پژوهش، مدل Gash-2 قابلیت مناسبی در برآورد باران‌ریایی در سنجه‌های زمانی سالانه، برگ‌دار و بی‌برگی در جنگل‌های پهن‌برگ راش شرقی در سیاهکل گیلان از خود نشان داد. بررسی عملکرد مدل‌های مختلف فیزیکی‌مبنا در جنگل‌های با خصوصیات متفاوت آلومتریک، اقلیمی و باران، می‌تواند به تکمیل شکاف اطلاعاتی درباره کارایی مدل‌های مختلف در برآورد باران‌ریایی کمک کند.

پوشش گیاهی بوده‌اند. هدف اصلی مدل‌سازی اکوهیدرولوژی جنگل، درک بهتر چگونگی توزیع اجزای مختلف چرخه هیدرولوژی در بوم‌سازگان‌های جنگلی است. طبیعت تکاملی مدل‌سازی، امری اجتناب‌ناپذیر است و با بررسی مدل‌های مختلف در گونه‌ها و اقلیم‌های متفاوت، مدل‌های جدیدتر جایگزین مدل‌های قبلی می‌شوند که مدل‌های جدیدتر باید اعتبارسنجی، واسنجی و تأیید شوند تا بتوان از آنها در دیگر بوم‌سازگان‌ها یا گونه‌های جنگلی

## References

- Attarod, P., & Sadeghi, S.M.M. (2018). *Forest Ecohydrology*, Tehran: Jahad Daneshgahi.
- Dawson, C.W., Abrahart, R.J., & 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.
- Fathizadeh, O., Hosseini, S.M., Keim, R.F., & Bolorani, 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.
- Fathizadeh, O., Sadeghi, S.M.M., Holder, C.D., & Su, L. (2020). Leaf phenology drives spatio-temporal patterns of throughfall under a single *Quercus castaneifolia* C.A.Mey. *Forests*, 11, 688.
- Gash, J.H.C., Lloyd, C.R., & Lachaud, G. (1995). Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170, 79-86.
- Ghorbani, S., & Rahmani, R. (2009). Estimating of interception loss, stemflow and throughfall in a natural stand of oriental Beech (Shastkalateh forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(4), 638-648.
- Gordon, D.A.R., Coenders-Gerrits, M., Sellers, B.A., Sadeghi, S.M.M., & Van Stan, J.T. (2020). Rainfall interception and redistribution by a common North American understory and pasture forb, *Eupatorium capillifolium* (Lam. dogfennel). *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 4587-4599.
- Horton, R.E. (1919). Rainfall interception. *Monthly Weather Review*, 47, 608-623.
- Lin, M., Sadeghi, S.M.M., & Van Stan, J.T. (2020). Partitioning of rainfall and sprinkler-irrigation by crop canopies: a global review and evaluation of available research. *Hydrology*, 7, 76.
- Motahari, M., Attarod, P., Pypker, T.G., Etemad, V., & Shirvany, A., (2013). Rainfall interception and canopy storage capacity of a *Pinus eldarica* plantation in a semi-arid climate zone: an application of the Gash model. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, 981-994.
- Muzylo, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J.J., Domingo, F., & Gash, J.H.C. (2009). Review of rainfall interception modelling. *Journal of Hydrology*, 370, 191-206.
- Nazari, M., Sadeghi, S.M.M., Van Stan II, J.T., & Chaichi, M.R. (2020). Rainfall interception and redistribution by maize farmland in central Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100656.
- Návar, J. (2017). Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico. *Journal of Hydrology*, 548, 458-470.

- Nezamdoost, H., Sefidi, K., Rasoulzadeh, A., & Sadeghi, S.M.M. (2018). Quantifying throughfall, stemflow, and rainfall interception in a *Fagus orientalis* forest and a *Picea abies* plantation in Siahkal, Gilan. *Iranian Journal of Forest*, 9(3), 385-397.
- Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., & Morton, A.J. (1971). A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology*, 9, 367-384.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Pypker, T.G., & Dunkerley, D. (2014). Is canopy interception increased in semiarid tree plantations? Evidence from a field investigation in Tehran, Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 792-806.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., & Dunkerley, D. (2015). Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 76-85.
- Sadeghi, S.M.M., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., & 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.
- Sadeghi, S.M.M., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., Tamjidi, J., Friesen, J., & Farahnaklangroudi, M. (2018). Importance of transitional leaf states in canopy rainfall partitioning dynamics. *European Journal of Forest Research*, 137, 121-130.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Bozorg Haddad, o., Van Stan, J., & Pypker, T.G. (2019). Comparison of different Gash physically-based models for estimating stemflow in Elder pine stand in Chitgar Forest Park. *Iranian Journal of Forest*, 10(4), 461-473.
- Sadeghi, S.M.M., Gordon, A., & Van Stan, J.T. (2020). A Global Synthesis of Throughfall and Stemflow Hydrometeorology, in: *Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis*, edited by: Van Stan, J.T., Gutmann, E., and Friesen, J., Springer Nature, pp. 49-70.
- Sefidi, K., & Sadeghi, S.M.M. (2020). The diversity of microhabitats and the ecological value of habitat trees in oriental beech stands. *Iranian Journal of Forest*, 12(2), 147-160.
- Sefidi, K., Sadeghi, S.M.M., Fathizadeh, O., Rasoulzadeh, A., & Nazamdoost, H. (2020). Estimation of canopy and trunk ecohydrological parameters of *Fagus orientalis* and *Picea abies* stands (Siahkal, Gilan province). *Journal of Forest Research and Development*, 5, 11-17.
- Valente, F., David, J.S., & 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.



*Research Article*

## Comparison of revised Gash models for estimating rainfall interception in an oriental beech stand, west of Hyrcanian region

K. Sefidi<sup>1\*</sup> and S.M.M. Sadeghi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Associate Prof., Faculty of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran  
<sup>2</sup>Department of Forest Engineering, Forest Management Planning and Terrestrial Measurements, Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Transilvania University of Brasov, Brasov, Romania

(Received: 15 July 2020; Accepted: 20 November 2020)

### Abstract

The most common models for estimating rainfall interception are physical-based models, of which Gash models are the most widely used. Therefore, this study aimed to compare the efficiency of revised Gash models in estimating the rainfall interception of *Fagus orientalis* Lipsky in Siahkal forests, Gilan province. During the one-year measurement period in the study plot (March 2015 to March 2016), gross rainfall, throughfall, and stemflow values were collected and the amount of rainfall interception was computed. For modeling rainfall interception, Gash-1 and Gash-2 models were selected, and the performance of these two models was evaluated during time scales: annual, leafed, and leafless periods. The results showed that in general, canopy and trunk ecohydrological parameters were obviously different amongst time scales. In all time scales studied, the Gash-2 model performs better than the Gash-1 model, and the most appropriate performance of Gash-2 model is in estimating annual interception (estimation error: +8.8%; efficiency coefficient: 0.92). In summary, it can be said that forest ecohydrological processes in deciduous broadleaf stands should be studied separately during different time scales, because the ecohydrological response of canopy cover in different time scales is varied. Also, different models in different time scales do not have the same performance. Hence, further studies are needed to determine the efficient models in each time scale of each forest stands, and by obtaining the appropriate model, we can help to accurately estimate the interception in Hyrcanian forests.

**Keywords:** Forest ecohydrology, rainfall partitioning, leafed period, leafless period.