

تعداد مناسب نمونه برای برآورد تاج‌بارش تک‌درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در جنگل‌های زاگرس

امید فتحی‌زاده^۱، پدram عطارد^{۲*} و هرمز سهرابی^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. پست الکترونیک: attarod@ut.ac.ir

۳- استادیار، گروه جنگلداری و علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۱۴

چکیده

تغییرات مکانی تاج‌بارش به دلیل ساختار ناهمگن تاج‌پوشش و الگوهای متغیر بارندگی بسیار زیاد است. مطالعات موجود در زمینه تعیین تعداد نمونه مناسب برای برآورد این متغیر بسیار ناچیز است. هدف این پژوهش، تخمین تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های موردنیاز برای برآورد میانگین تجمعی تاج‌بارش پنج تک‌درخت بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) با درصد خطای معین در جنگل‌های زاگرس نزدیک شهر ایلام است. در جنگلی در نزدیکی شهر ایلام به مدت ۱۴ ماه و در طول دوره رویش، اندازه‌گیری تاج‌بارش توسط ۱۶ عدد جمع‌آوری‌کننده در هشت جهت زیر تاج‌پوشش هر تک‌درخت انجام شد و میزان بارندگی نیز توسط شش عدد جمع‌آوری‌کننده باران مشخص شد. در این دوره، ۲۳ مورد بارندگی با مجموع عمق ۲۵۷/۴ میلی‌متر اندازه‌گیری شد که به‌طور متوسط ۶۸/۹ درصد آن به‌صورت تاج‌بارش از تاج‌پوشش عبور و به کف جنگل رسید. میانگین تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های لازم با درصد خطای پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد از میانگین تجمعی تاج‌بارش و با حدود اعتماد ۹۵ درصد به ترتیب ۷۰ (۴۱ تا ۱۳۸ عدد)، ۱۸ (۱۰ تا ۳۵ عدد) و ۸ (۵ تا ۱۵ عدد) عدد تخمین زده شد. بنابر نتایج این مطالعه، تعداد ۱۶ عدد جمع‌آوری‌کننده موردالستفاده برای اندازه‌گیری میانگین تجمعی تاج‌بارش با خطای ۱۵ درصد کافی است و برای تخمین آن با درصد خطای کمتر باید تعداد جمع‌آوری‌کننده‌ها افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: استراتژی نمونه‌برداری، بلوط ایرانی، تاج‌بارش، جنگل‌های زاگرس.

مقدمه

رویداد باران را به‌خود اختصاص می‌دهد (Levia & Frost, 2006). به آبی که از طریق تنه درختان به سمت پایین جریان می‌یابد و سپس به کف جنگل می‌رسد، ساقاب اطلاق می‌شود که سهم کمتری از جریان آب در جنگل از ۰/۸ درصد (Veneklaas, 1990) تا ۱۲/۲ درصد (Mamanteo & Veracion, 1985) را شامل می‌شود. از تفاوت بین کل رویداد باران و مجموع تاج‌بارش و ساقاب، باران‌ریایی به‌دست می‌آید.

توزیع مجدد باران در تاج‌پوشش جنگل منجر به ایجاد

رویداد باران در جنگل‌ها به تاج‌بارش (Throughfall)، ساقاب (Stemflow)، و باران‌ریایی (Interception loss) تقسیم می‌شود. تاج‌بارش بخشی از بارندگی است که به‌صورت مستقیم از طریق عبور از شکاف‌ها و روشنه‌های تاج‌پوشش یا به‌صورت غیرمستقیم بعد از برخورد با تاج‌پوشش و اشباع شدن ظرفیت نگهداری (Canopy storage capacity) آن به کف جنگل می‌رسد (Wullaert et al., 2009). به‌طور کلی، این بخش تقریباً چهار پنجم از کل

حداقل تعداد نمونه لازم در یک حد آستانه مشخص از خطا، از نظر اقتصادی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها حائز اهمیت است (Rodrigo & Avila, 2001). تعداد جمع‌آوری‌کننده‌هایی که برای تخمین تاج‌بارش در مقیاس توده استفاده شده است، از بسیار کم ($10 <$) (Madgwick & Ovington, 1959;) تا متوسط (۱۵ تا ۳۰) (Carlisle et al., 1997; Llorens et al., 1997; Czarowski & Olszewski, 1970; Pressland,) و زیاد ($30 >$) (Masukata et al., 1990) بوده است. تاکنون پژوهش‌هایی در مورد تعداد نمونه لازم برای برآورد تاج‌بارش در مقیاس توده‌های جنگلی (استوایی و معتدله) انجام شده است (Levia & Frost, 2006;) (Wullaert et al., 2009)، اما در مقیاس تک‌درخت هنوز پژوهشی گزارش نشده است.

بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در قسمت‌های مرکزی، جنوبی و جنوب‌شرقی زاگرس جامعه خالصی را تشکیل می‌دهد و تقریباً $3/5$ میلیون هکتار از ۵ میلیون هکتار جنگل‌های زاگرس را این جامعه به‌خود اختصاص داده است (Marvie Mohadjer, 2006). با توجه به پوشش نسبتاً تنگ جنگل‌های زاگرس، اهمیت مطالعه تک‌درختان ارجحیت پیدا می‌کند. هدف از پژوهش پیش‌رو، تعیین تعداد نمونه مناسب برای نمونه‌برداری به‌صورت تعیین تعداد جمع‌آوری‌کننده لازم برای اندازه‌گیری تاج‌بارش تک‌درختان بلوط ایرانی در ناحیه رویشی زاگرس است.

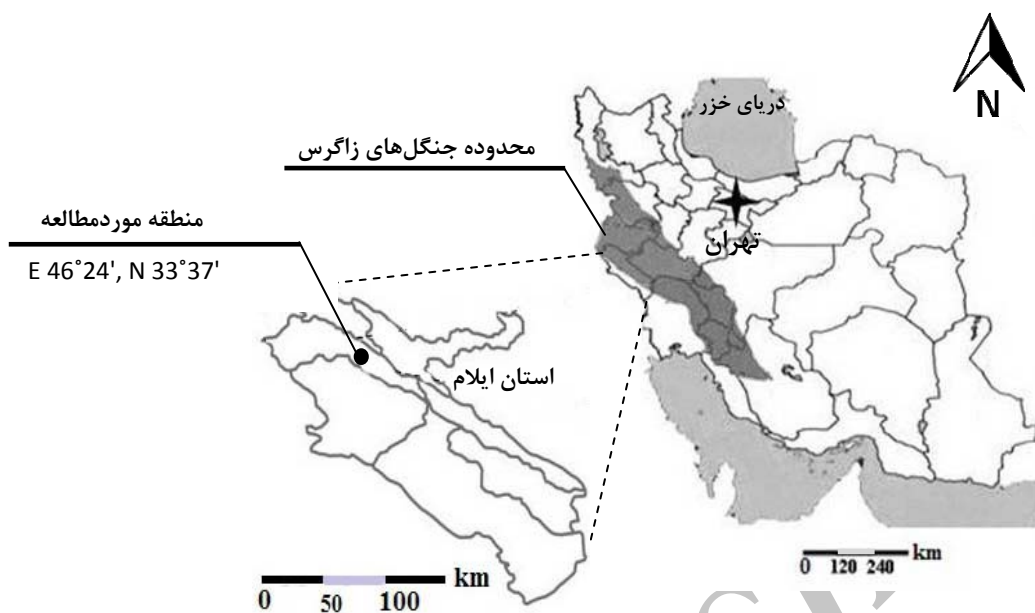
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های رویشگاه

این مطالعه از اواخر فرودین تا اوایل آذر ۱۳۸۹ و نیز از اواخر فرودین تا اواخر مرداد ۱۳۹۰ به‌مدت تقریباً ۱۴ ماه در منطقه‌ای در نزدیکی شهر ایلام با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۸۳ متر از سطح دریا انجام شد (شکل ۱).

الگوهای تاج‌بارش می‌شود که تغییرات مکانی زیادی را نشان می‌دهند (Levia & Frost, 2006) و تفاوت زیادی در این زمینه بین اکوسیستم‌های جنگلی وجود دارد (Lloyd & Marques, 1988; Holwerda et al., 2006). الگوهای مکانی فرآیندهای هیدرولوژیک و بیوشیمیایی متعددی در کف جنگل مانند توزیع مقدار آب خاک (Soil water content) (Schume et al., 2003)، نفوذ آب و جریانات یونی (Manderscheid & Matzner, 1995)، تجزیه مواد آلی خاک (Möttönen et al., 1999)، جذب آب ریشه (Bouten et al., 1992) و رشد ریشه (Ford & Deans,) (1978) با الگوهای مکانی تاج‌بارش مرتبط شده است. با توجه به تغییرات مکانی تاج‌بارش، مطالعه طرح‌های نمونه‌برداری که تخمین‌های قابل‌اطمینانی از میانگین تاج‌بارش را ارائه دهند، در دهه‌های اخیر مورد توجه بوده است (Helvey & Patric, 1965; Kimmins, 1973;) (Lloyd & Marques, 1988; Kostelnik et al., 1989; Puckett, 1991; Thimonier, 1998; Rodrigo & Avila, 2001, Holwerda et al., 2006).

به‌دلیل اهمیت کمیته و بیوشیمیایی تاج‌بارش (Parker, 1983; Price & Watters, 1989; Bellot & Escarre, 1991)، نمونه‌برداری مناسب از این جریان شرط لازم برای مطالعات آب و چرخه عناصر در جنگل است (Carlyle-Moses et al., 2004). برخلاف اندازه‌گیری بارندگی کل که در مطالعات با مقیاس کوچک معمولاً به وسیله یک یا دو جمع‌آوری‌کننده تخمین زده می‌شود، میانگین تاج‌بارش به‌دلیل تغییرات مکانی نسبتاً زیاد این جریان باید با تعداد بیشتری از جمع‌آوری‌کننده‌ها انجام شود (Lloyd & Marques, 1988; Puckett, 1991; Lawrence & Fernandez, 1993). Kimmins (۱۹۷۳) بیان می‌دارد که در بسیاری از مطالعات، محققان اطلاعات مربوط به دلایل استفاده از تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های مورد استفاده را ارائه نداده‌اند. بنابراین، نتایج چنین مطالعات جریان آب تاج‌پوشش به‌دلیل عدم ارائه برخی جنبه‌های آماری از ارزش کمتری برخوردار است. از سوی دیگر، انتخاب



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنگل‌های ایلام

درختان با یکدیگر و با درختان دیگر تداخل تاجی نداشتند. برای تعیین وضعیت اقلیمی منطقه از داده‌های اقلیمی ثبت شده طی یک دوره ۲۳ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸) ایستگاه هواشناسی شهرستان ایلام که در فاصله کمتر از یک کیلومتر از منطقه مورد مطالعه قرار دارد، استفاده شد. بر این اساس، متوسط بارندگی سالانه (\pm انحراف معیار) $589/20$ میلی‌متر ($\pm 159/8$) و متوسط درجه حرارت سالانه (\pm انحراف معیار) 17 درجه سانتی‌گراد ($\pm 1/5$) ثبت شده است.

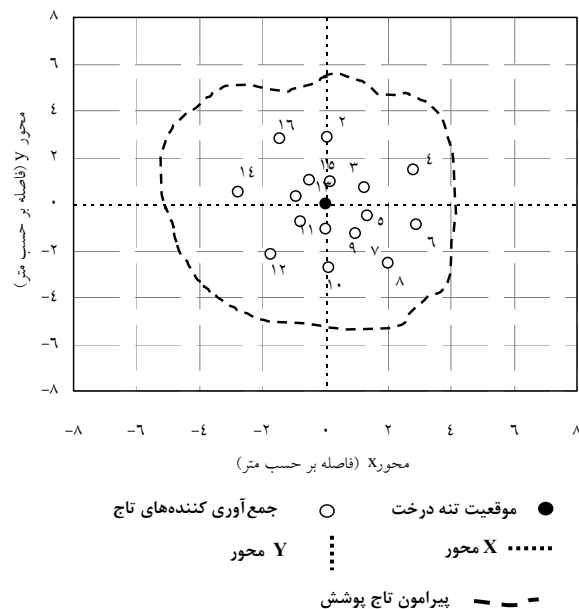
اندازه‌گیری‌ها بر روی پنج تک‌درخت بلوط ایرانی دانه‌زاد مسن که از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناسی قطر، ارتفاع و مساحت تاج اختلاف کمی داشتند و اندازه قطر و ارتفاع آنها نزدیک به میانگین قطر و ارتفاع توده منطقه مورد مطالعه بود، انجام شد (جدول ۱). همچنین انتخاب درختان به صورت تصادفی انجام گرفت. درختان انتخاب شده سالم بودند و متوسط فاصله آنها از یکدیگر ۳۰ تا ۴۰ متر بود. پراکنش درختان در رویشگاه به گونه‌ای بود که هیچ‌کدام از

جدول ۱- مشخصات تک‌درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در رویشگاه مورد مطالعه در نزدیک شهر ایلام

درخت	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	مساحت تاج (مترمربع)
A	۱۰	۵۸	۵۲/۸
B	۵/۵	۶۶	۵۸/۱
C	۱۱	۶۷	۷۸/۵
D	۱۰/۷	۷۵	۴۵/۳
E	۸/۴	۶۳	۶۶/۴
میانگین	۹/۱	۶۶	۶۰/۲

با آن انجام شد. شایان ذکر است که در صورت وقوع بارندگی در شب، اندازه‌گیری‌ها در روز بعد و قبل از طلوع خورشید انجام شد. حداقل زمان چهار تا پنج ساعت بدون بارندگی برای تفکیک باران‌ها از یکدیگر، با این فرض که در این مدت تاج‌پوشش می‌تواند کاملاً خشک شود، در نظر گرفته شد (Carlyle-Moses *et al.*, 2004). در صورت وقوع باران در کمتر از فاصله زمانی یادشده، مجموع بارندگی‌ها در این مدت به‌عنوان یک باران در نظر گرفته شد (Gomez *et al.*, 2002). همچنین در طول دوره مطالعه، مراحل رشد و توسعه تاج‌پوشش به‌صورت: ۱- دوره جوانه‌زنی برگ (Leaf Burst Period/ LBP) ۲- دوره کاملاً برگ‌دار (Full-Leafed Period/ FLP) و ۳- دوره زردی یا پیری برگ (Leaf Senescence Period/ LSP) مشاهده شد. در پژوهش پیش‌رو، به‌دلیل تعداد کم بارندگی‌ها در دوره‌های مذکور، بررسی آنها به‌صورت مجزا انجام نگرفت و هر سه این دوره‌ها به‌عنوان دوره برگ‌دار (LP) در نظر گرفته شد. شناسایی دوره‌های فنولوژیک تاج‌پوشش به‌صورت کیفی (مشاهده چشمی) و بازدید منظم (حداقل هفته‌ای) از تک‌درختان بلوط مورد مطالعه انجام شد.

جمع‌آوری و اندازه‌گیری بارندگی و تاج‌بارش میزان بارندگی با استفاده از شش جمع‌آوری‌کننده پلاستیکی با دهانه دایره‌ای به قطر نه سانتی‌متر در یک فضای باز در نزدیکی رویشگاه مورد مطالعه، جمع‌آوری و عمق بارش با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان تاج‌بارش، در زیر هر درخت تعداد ۱۶ جمع‌آوری‌کننده تاج‌بارش در فواصل متفاوت و در هشت جهت جغرافیایی اصلی و فرعی (در هر جهت دو عدد جمع‌آوری‌کننده) به‌صورت نزدیک به تنه و دور از تنه قرار داده شد. در مجموع، ۸۰ عدد جمع‌آوری‌کننده تاج‌بارش زیر پنج درخت بلوط ایرانی نصب شد (شکل ۲). این شبکه نمونه‌برداری و وضع قرارگیری جمع‌آوری‌کننده‌ها تا پایان دوره مطالعه ثابت ماند. از آنجاکه ساقاب اغلب سهم بسیار کوچکی از باران را در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و گونه‌های با پوست زبر، ضخیم و شیاردار به‌خود اختصاص می‌دهد و همچنین اندازه‌گیری آن نسبت به این سهم اندک بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است، در این مطالعه از اندازه‌گیری آن صرف‌نظر شد. اندازه‌گیری میزان (حجم) تاج‌بارش طی هر بارندگی، هم‌زمان با اندازه‌گیری بارندگی و به روش مشابه



شکل ۲ - موقعیت جمع‌آوری‌کننده‌های تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش تک‌درختان بلوط ایرانی (به‌عنوان نمونه برای درخت A). اعداد نمایانگر شماره جمع‌آوری‌کننده‌ها هستند.

تجزیه و تحلیل آماری

جمع آوری کننده های لازم برای تخمین تاج بارش از مقادیر تجمعی تاج بارش در کل دوره مطالعه استفاده شد. توزیع نرمال مقادیر تجمعی تاج بارش با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای تک درختان بلوط ایرانی تست شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده ها، با حذف داده های پرت، توزیع داده ها بهبود یافت.

نتایج

طی دوره مطالعه، ۲۳ مورد بارندگی با مجموع عمق ۲۵۷/۴ میلی متر اندازه گیری شد که میانگین عمق تاج بارش و باران ربایی (\pm انحراف معیار) به ترتیب ۱۷۷/۴ میلی متر ($\pm ۱۱/۸$) (۶۸/۹ درصد از بارندگی) و ۸۰ میلی متر ($\pm ۱۱/۸$) (۳۱/۱ درصد از بارندگی) برای درختان بلوط ایرانی محاسبه شد (جدول ۲). بیشترین میزان عمق بارندگی تجمعی و تعداد باران مربوط به FLP، به ترتیب ۱۶۱/۸ میلی متر و ۱۳ باران بود. همچنین کمترین این مقادیر مربوط به LSP، به ترتیب ۷/۲ میلی متر و ۲ باران اندازه گیری شد (شکل ۳).

همان طور که بیان شد، تاج بارش به دلیل ناهمگنی ساختار تاج پوشش دارای تغییرات مکانی است. برای اندازه گیری دقیق میانگین تاج بارشی که دارای تغییرات مکانی زیادی است، به تعداد زیادی جمع آوری کننده نیاز است. برای محاسبه حداقل تعداد جمع آوری کننده بهینه از نظر دقت اندازه گیری و همچنین صرفه جویی در هزینه و زمان، از معادله Kimmins (۱۹۷۳) که به صورت رابطه ۱ می باشد، استفاده شد. با استفاده از این رابطه، تعداد جمع آوری کننده های لازم برای تخمین تاج بارش در یک حد آستانه مطلوب محاسبه می شود.

$$n = \frac{t^2(a, n' - 1) C_v^2}{E^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، n تعداد جمع آوری کننده های مورد نیاز، t مقدار t استیودنت با احتمال خطای α و درجه آزادی $n' - 1$ ، n' تعداد جمع آوری کننده های بکار گرفته شده، C_v ضریب تغییرات به درصد و E برابر با خطای قابل قبول است که به صورت درصدی از میانگین بیان می شود.

در پژوهش پیش رو برای محاسبه تعداد

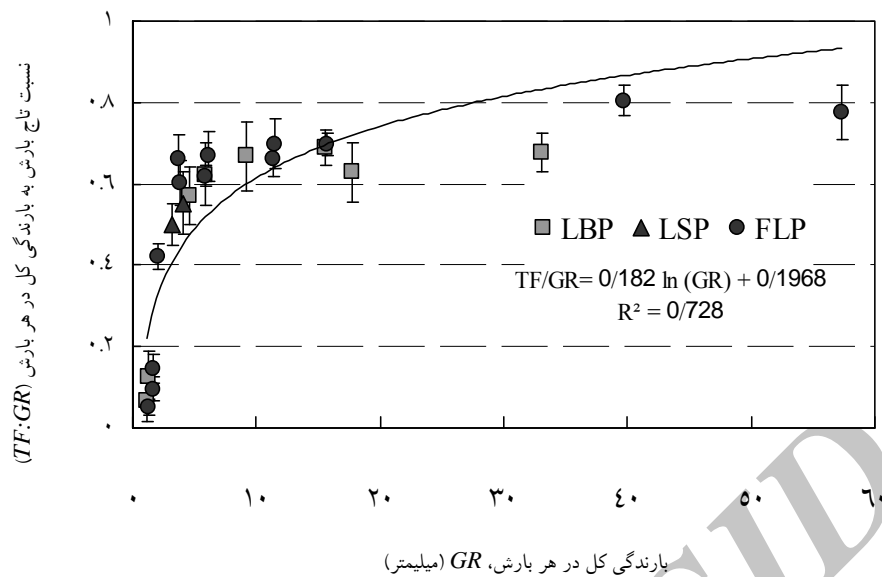
جدول ۲- مقادیر بارندگی، تاج بارش و ضریب تغییرات تجمعی تاج بارش تک درختان بلوط ایرانی در دوره رویش (برگدار)

تاج بارش	بارندگی		درخت نمونه					
	میلی متر	درصد	A	B	C	D	E	
تجمعی	۲۵۷/۴	۱۰۰	۱۸۴/۵	۱۸۸	۱۶۰/۲	۱۸۴/۳	۱۷۰/۱	۶۶/۱
میانگین	۱۱/۲	۱۰۰	۸	۸/۲	۷	۸	۷/۴	۴۹/۶
*ضریب تغییرات (درصد)	۱۵/۷		۱۶/۳		۲۷/۸		۲۰/۹	۱۵/۱

*تعداد جمع آوری کننده ها (n) برای همه درختان به غیر از درخت B که $n = ۱۴$ است، برابر ۱۶ بوده است.

تاج بارش و باران ربایی، عکس این نتیجه بین بارندگی و نسبت باران ربایی به بارندگی نیز صادق است، یعنی با افزایش مقدار بارندگی، نسبت باران ربایی به بارندگی به صورت لگاریتمی کاهش نشان می دهد.

نتایج به دست آمده از تحلیل رگرسیونی نشان داد که با افزایش مقدار بارندگی، نسبت تاج بارش به بارندگی در هر بارش در تک درختان بلوط ایرانی به صورت لگاریتمی روند افزایشی ($R^2 = ۰/۷۲۸$) دارد. با توجه به نحوه محاسبه

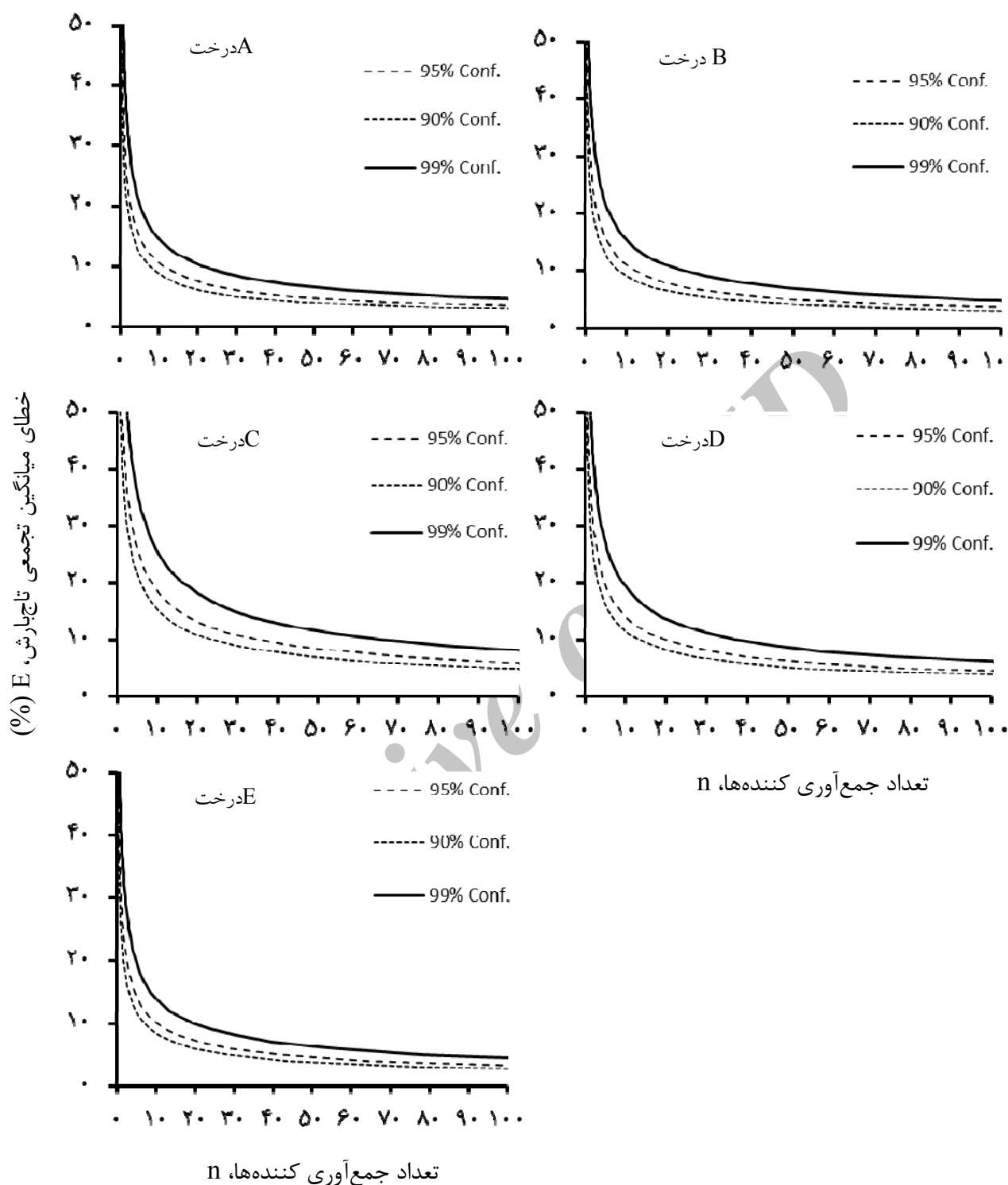


شکل ۳- رابطه نسبت تاج بارش به بارندگی ($TF:GR$) و بارندگی (GR) در تک درختان بلوط ایرانی در دوره برگدار (FLP: کاملاً برگدار، LBP: دوره جوانه زنی برگ، LSP: دوره پیری برگ).

به طور مستقیم به مقدار ضریب تغییرات و در نتیجه میزان ناهمگنی تاج بارش وابسته است، به طوری که در پژوهش پیش رو، بیشترین مقدار ضریب تغییرات تاج بارش و به دنبال آن بیشترین جمع آوری کننده های لازم برای اندازه گیری تاج بارش برای درخت C محاسبه شد.

چنان که در شکل ۴ مشاهده می شود، با وجود تفاوت هایی در نمودارهای به دست آمده برای درختان مختلف مورد بررسی، الگوی کلی رابطه درصد خطای میانگین تجمعی تاج بارش با تعداد جمع آوری کننده ها برای درختان مختلف یکسان است، به شکلی که ابتدا با افزایش تعداد جمع آوری کننده ها درصد خطا با شتاب زیادی کاهش می یابد و این روند تا رسیدن به تعداد ۱۰ جمع آوری کننده وجود دارد. پس از آن شتاب کاهش درصد خطا کاسته شده و با رسیدن به تعداد حدود ۲۰ جمع آوری کننده مقدار تغییرات درصد خطا به ازای افزایش تعداد نمونه ناچیز است.

برای تخمین میانگین تاج بارش با خطای معین، در گام اول تعداد جمع آوری کننده های مورد نیاز محاسبه شد (شکل ۴). در شکل ۴ نتایج محاسبات تعداد جمع آوری کننده های لازم برای تخمین میانگین تجمعی تاج بارش با درصد خطای مختلف به صورت نمودارهایی برای درختان بلوط ایرانی آورده شده است. بر این اساس، برای مثال برای درخت A با درصد خطای پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد به ترتیب ۴۴، ۱۱ و پنج جمع آوری کننده تاج بارش مورد نیاز است ($\alpha=0/05$). به همین صورت، میانگین تعداد جمع آوری کننده های لازم برای پنج درخت بلوط ایرانی مورد مطالعه با درصد خطای پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد از میانگین تجمعی تاج بارش و با حدود اعتماد ۹۵ درصد به ترتیب ۷۰ (۴۱ تا ۱۳۸)، ۱۸ (۱۰ تا ۳۵) و هشت (پنج تا ۱۵) عدد تخمین زده شد. همان طور که در شکل ۴ و جدول ۲ نیز دیده می شود، تعداد جمع آوری کننده های لازم برای تخمین میانگین تاج بارش



شکل ۴- رابطه بین خطای میانگین تجمعی تاج‌بارش (به درصد) و تعداد جمع‌آوری کننده‌ها (n) با حدود اعتماد مختلف ($\alpha = 0.1, 0.05, 0.01$) برای درختان بلوط ایرانی

بحث

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که تاج‌پوشش درختان بلوط ایرانی توزیع آب باران در سطح زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در واقع از ۱۰۰ درصد میزان بارندگی، ۶۸/۹ درصد آن بعد از عبور از تاج‌پوشش به سطح زمین می‌رسد و ۳۱/۱ درصد آن از دسترس خارج و وارد اتمسفر می‌شود. همچنین براساس نتایج، با افزایش مقدار بارندگی، سهم باران‌ریایی از بارندگی کاهش یافت که همسو با نتایج مطالعات Price و همکاران (۱۹۹۷)، Xiao و همکاران (۲۰۰۰) و Cao و همکاران (۲۰۰۸) است. دلیل کاهش سهم باران‌ریایی با افزایش عمق بارندگی را می‌توان این‌گونه بیان کرد که برای تولید تاج‌بارش ابتدا باید ظرفیت نگهداری تاج‌پوشش تکمیل شود. بدین‌صورت که طی بارندگی‌های کم، بخش زیادی از بارندگی صرف اشباع تاج می‌شود، اما با توجه به اینکه ظرفیت نگهداری آب تاج محدود است، طی بارندگی‌های زیاد سهم بیشتری از بارندگی کل صرف تولید تاج‌بارش می‌شود و در نتیجه نسبت باران‌ریایی به بارندگی کاهش می‌یابد (Deguchi et al., 2006; Sraj et al., 2008; Staelens et al., 2008).

میانگین تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های لازم برای اندازه‌گیری میانگین تجمعی تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی با پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد خطا به ترتیب ۷۰، ۱۸ و هشت عدد تخمین زده شد ($\alpha = 0/05$). در بین درختان مورد مطالعه، درخت C به دلیل ضریب تغییرات تاج‌بارش بیشتر به تعداد جمع‌آوری‌کننده بیشتری برای اندازه‌گیری تاج‌بارش نیاز دارد. علت بیشتر بودن ضریب تغییرات تاج‌بارش این درخت نسبت به سایر درختان می‌تواند ناشی از ناهمگنی تاج‌پوشش و در نتیجه ناهمگنی در توزیع مکانی تاج‌بارش باشد (Carlyle-Moses et al., 2004; Wullaert et al., 2009). همچنین، در بالای بعضی از جمع‌آوری‌کننده‌های درخت C شاخه به‌صورتی به سمت پایین خم شده بود که مانند یک قیف (Funnel) عمل می‌کرد و به این ترتیب موجب هدایت تاج‌بارش بیشتر به داخل جمع‌آوری‌کننده‌ها می‌شد که خود در افزایش ضریب تغییرات تاج‌بارش مؤثر است.

(Fathizadeh et al., 2014). برای کاهش اثر این فرآیند، در بعضی از مطالعات تغییر مکان جمع‌آوری‌کننده‌های تاج‌بارش بعد از هر بارندگی و یا چند بارندگی متوالی پیشنهاد شده است (Robson et al., 1994; Gomez et al., 2002). تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های مورد نیاز برای تخمین تاج‌بارش در مطالعات و توده‌های جنگلی مختلف بسته به نوع توده و درجه ناهمگنی ساختار تاج‌پوشش و در نتیجه ناهمگنی در توزیع مکانی تاج‌بارش (Rodrigo & Avila, 2001; Carlyle-Moses et al., 2004; Wullaert et al., 2009) بسیار متفاوت برآورد شده است. Wullaert و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه دو توده تخریب‌نشده و مدیریت‌شده در جنوب اکوادور، تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های مورد نیاز را برای اندازه‌گیری تاج‌بارش با خطای ۱۰ درصد از میانگین سالانه به ترتیب ۲۷ و ۲۰ عدد گزارش کردند ($\alpha = 0/05$). آنها علت زیاد بودن تعداد جمع‌آوری‌کننده‌ها برای تخمین تاج‌بارش را به ناهمگنی زیاد ساختار تاج‌پوشش به دلیل حضور فراوان گیاهان بالارونده، ایفیت‌ها، بازدانگان و سرخس‌ها نسبت داده‌اند. از سوی دیگر، Carlyle-Moses و همکاران (۲۰۰۴) در یک توده جنگلی نیمه‌استوایی در مکزیک، تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های مورد نیاز برای تخمین تاج‌بارش تجمعی در دوره مطالعه را تنها سه عدد محاسبه کردند ($\alpha = 0/05$, $E = 10\%$). در پژوهشی دیگر در مورد دو توده بلوط همیشه‌سبز (*Quercus ilex*) در اسپانیا این تعداد نه و ۱۱ عدد با خطای ۱۰ درصد و α برابر ۰/۰۵ گزارش شده است (Rodrigo & Avila, 2001). بنابراین در پژوهش پیش‌رو، تعداد ۱۶ جمع‌آوری‌کننده مورد استفاده برای تخمین میانگین تجمعی تاج‌بارش با خطای ۱۵ درصد کافی و برای تخمین آن با درصد خطای کمتر باید تعداد جمع‌آوری‌کننده‌ها افزایش یابد.

References

- Bellot, J. and Escarre, A. 1991. Chemical characteristics and temporal variations of

- montane rain forest: A comparison of sampling strategies. *Journal of Hydrology*, 327: 592-602.
- Kimmins, J.P. 1973. Some statistical aspects of sampling throughfall precipitation in nutrient cycling studies in British Columbian coastal forests. *Ecology*, 54: 1008-1019.
 - Kostelnik, K.M., Lynch, J.A., Grimm, J.W. and Corbett, E.S. 1989. Sample size requirements for estimation of throughfall chemistry beneath a mixed hardwood forest. *Journal of Environmental Quality*, 18: 274-280.
 - Lawrence, G.B. and Fernandez, I.J. 1993. A reassessment of areal variability of throughfall deposition measurements. *Ecological Applications*, 3: 473-480.
 - Levia, D.F. and Frost, E.E. 2006. Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 30: 605-632.
 - Llorens, P., Poch, R., Latron, J. and Gallart, F. 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*, 199: 331-345.
 - Lloyd, C.R. and Marques, F. 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42: 63-73.
 - Loustau, D., Berbigier, P., Granier, A. and El Hadj Moussa, F. 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. *Journal of Hydrology*, 138: 449-467.
 - Madgwick, H.A.I. and Ovington, J.D. 1959. The chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. *Forestry*, 32: 14-22.
 - Mamanteo, B.P. and Veracion, V.P. 1985. Measurements of fog drip, throughfall and stemflow in the mossy and Benguet pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) forest in the Upper Agno River Basin. *Sylvatrop-Philippines Forestry Research Journal*, 10: 271-282.
 - Manderscheid, B. and Matzner, E. 1995. Spatial and temporal variation of soil solution chemistry and ion fluxes through the soil in a mature Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand. *Biogeochemistry*, 30: 99-114.
 - nutrients in throughfall and stemflow of three species of Mediterranean holm oak forest. *Forest Ecology and Management*, 41: 125-135.
 - Bouten, W., Heimovaara, T.J. and Tiktak, A. 1992. Spatial patterns of throughfall and soil water dynamics in a Douglas fir stand. *Water Resource Research*, 28: 3227-3233.
 - Cao, Y., Ouyang, Z.Y., Zheng, H., Huang, Z.G., Wang, X.K. and Miao, H. 2008. Effects of forest plantation on rainfall redistribution and erosion in the red soil region of Southern China. *Land Degradation Development*, 19: 321-330.
 - Carlisle, A., Brown, A.H.F. and White, E.J. 1965. The interception of precipitation by oak (*Quercus petraea*) on a high rainfall site. *Quarterly Journal of Forestry*, 58: 140-143.
 - Carlyle-Moses, D.E., Fores Laureano, J.S. and Price, A. 2004. Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 297: 124-135.
 - Czarnowski, M.S. and Olszewski, J.L. 1970. Number and spacing of rainfall-gauges in a deciduous forest stand. *Oikos*, 21: 48-51.
 - Deguchi, A., Hattori, S. and Park, H. 2006. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: application of the revised Gash model. *Journal of Hydrology*, 319: 80-102.
 - Fathizadeh, O., Attarod, P., Keim, R.F., Zahedi Amiri, G.H. and Darvishsefat, A.A. 2014. Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees. *Hydrological Processes*, 28: 1124-1136.
 - Ford, E. and Deans, J. 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation. *Journal of Applied Ecology*, 15: 905-917.
 - Gomez, J.A., Vanderlinden, K., Giraldez, J.V. and Fereres, E. 2002. Rainfall concentration under olive trees. *Agricultural Water Management*, 55: 53-70.
 - Helvey, J.D. and Patric, J.H. 1965. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resource Research*, 1: 193-206.
 - Holwerda, F., Scatena, F.N. and Bruijnzeel, L.A. 2006. Throughfall in a Puerto Rican lower

- at the small plot scale. *Journal of Hydrology*, 158: 107-122.
- Rodrigo, A. and Avila, A. 2001. Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean holm oak forests. *Journal of Hydrology*, 243: 216-227.
 - Schume, H., Jost, G. and Katzensteiner, K. 2003. Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. *Geoderma*, 112: 273-287.
 - Sraj, M., Brilly, M. and Mikos, M. 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 121-134.
 - 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: 33-45.
 - Thimonier, A. 1998. Measurement of atmospheric deposition under forest canopies: Some recommendations for equipment and sampling design. *Environmental Monitoring and Assessment*, 52: 353-387.
 - Veneklaas, E.J. 1990. Nutrient fluxes in bulk precipitation and throughfall in two montane tropical rain forests, Colombia. *Journal of Ecology*, 78: 974-992.
 - Wullaert, H., Pohlert, T., Boy, J., Valarezo, C. and Wilcke, W. 2009. Spatial throughfall heterogeneity in a montane rain forest in Ecuador: Extent, temporal stability and drivers. *Journal of Hydrology*, 377: 71-79.
 - Xiao, Q.F., 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.
 - Marvie Mohadjer, M.R. 2006. *Silviculture*. University of Tehran Press, Tehran, 387p (In Persian).
 - Masukata, H., Ando, M. and Ogawa, H. 1990. Throughfall, stemflow and interception of rainwater in an evergreen broadleaved forest. *Ecological Research*, 5: 303-316.
 - Möttönen, M., Järvinen, E.T., Hokkanen, J., Kuuluvainen, T. and Ohtonen, R. 1999. Spatial distribution of soil ergosterol in the organic layer of a mature Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 503-516.
 - Navar, J., Carlyle-Moses, D.E. and Martinez, M.A. 1999. Interception loss from the Tamaulipan matorral thornscrub of north-eastern Mexico: an application of the Gash analytical interception loss model. *Journal of Arid Environments*, 41: 1-10.
 - Parker, G.G. 1983. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research*, 13: 57-133.
 - Pressland, A.J. 1973. Rainfall partitioning by an arid woodland (*Acacia aneura* F. Muell.) in South-West Queensland. *Australian Journal of Botany*, 21: 235-245.
 - Price, A.G., Dunham, K., Carleton, T. and Band, L. 1997. Variability of water fluxes through the black spruce (*Picea mariana*) canopy and feather moss (*Pleurozium schreberi*) carpet in the boreal forest of Northern Manitoba. *Journal of Hydrology*, 196: 310-323.
 - Price, A.G., Watters, R.J. 1989. The influence of overstory, understory and upper soil horizons on the fluxes of some ions in a mixed deciduous forest. *Journal of Hydrology*, 109: 185-197.
 - Puckett, L.J. 1991. Spatial variability and collector requirements for sampling throughfall volume and chemistry under a mixed hardwood canopy. *Canadian Journal of Forest Research*, 21: 1581-1588.
 - Robson, A.J., Neal, C., Ryland, G.P., Harrow, M. 1994. Spatial variation in throughfall chemistry

The optimum samples size to estimate throughfall for individual Brant's oaks (*Quercus brantii*) in Zagros forests

O. Fathizadeh¹, P. Attarod^{*2} and H. Sohrabi³

1- Ph. D. Student, Department of Forestry and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran.

2* - Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. E-mail: attarod@ut.ac.ir

3- Assistant Prof., Department of Forestry and Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran.

Received: 11.05.2013 Accepted: 07.05.2014

Abstract

Throughfall (TF) has a large spatial variability due to the heterogeneous canopy structure and variable rainfall patterns. In this study, the aim was to estimate the optimum number of collectors needed to obtain a mean cumulative TF value within certain error limits for five individual Brant's oak trees (*Quercus brantii*) in the Zagros forests of Ilam in western Iran. Sixteen TF manual gauges were placed beneath the five selected tree canopies in eight geographic directions and the gross rainfall (GR) was measured by the mean of six homemade gauges for a period of 14 months in leaf-on condition. During this period, 23 rainfall events with cumulative depth of 257.4 mm were collected, of which an average TF rate of 68.9% reached the forest floor. An average of 70 (range between 41-138), 18 (range between 10-35), and 8 (range between 5-15) gauges would be required to estimate mean cumulative TF to within ± 5 , ± 10 , and ± 15 percent errors at the 95% confidence level, respectively. Based on the results of this study, 16 gauges are sufficient to estimate mean cumulative TF with an error of 15% and a confidence interval of 95%. However, the number of gauges should be increased if a lower error rate for the mean cumulative TF estimations is required.

Keywords: Sampling strategy, *Quercus brantii*, throughfall, Zagros forests.