جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۵، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱
ص ۱۳-۲۴ (پژوهشی)
DOI: 10.22059/jfwp.2021.321066.1157

حساسیت تاج‌بارش تک‌درختان بلوط ایرانی به مقدار باران در جنگل‌های زاگرس (خرم‌آباد و ایلام)

زینب خوش‌صفا[۱]، پدرام عطارد[۲*]، سید مهدی حشمت‌الواعظین[۳]، امید فتحی‌زاده[۴]، چیوهانگ تانگ[۵]

۱. دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴. استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران
۵. استاد مؤسسهٔ علوم جغرافیا و تحقیقات منابع طبیعی، آکادمی علوم چین، پکن، چین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

چکیده

روند روزافزون خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در جنگل‌های زاگرس به چالش اصلی مدیریت جنگل در این ناحیه تبدیل شده است. هدف این پژوهش، تعیین حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی به مقدار باران در جنگل‌های زاگرس استان‌های لرستان و ایلام بود. برای بررسی روند بارندگی سالانه، از داده‌های بارش درازمدت دو ایستگاه خرم‌آباد و ایلام و آزمون‌های من-کندال و سن استفاده شد. در هر منطقه، پنج درخت بلوط دانه‌زاد تیپیک برای اندازه‌گیری باران و تاج‌بارش در دورهٔ برگدار انتخاب شد. شیب رگرسیون خطی بین درصد تغییرات مقدار باران در مقابل درصد تغییرات تاج‌بارش، میانگین ضریب حساسیت تاج‌بارش در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بارش سالانه و میانگین رخداد باران در سال (٦/٦ میلی‌متر در خرم‌آباد و ۸/۵ میلی‌متر در ایلام)، در دورهٔ درازمدت تحت بررسی، فاقد روند معنی‌داری بودند. بررسی رخدادهای حدی نشان داد که تعداد باران‌های بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر در سال در ایلام، روندی کاهشی و تعداد باران‌های کمتر از ۲ میلی‌متر در سال در خرم‌آباد، روندی افزایشی و معنی‌دار داشتند. ضریب حساسیت تاج‌بارش درختان به مقدار باران در ایلام به‌طور میانگین ۳/۳ و در خرم‌آباد ۱/۳ به‌دست آمد. در هر دو منطقه، حساسیت تاج‌بارش درختان به رخدادهای کوچک‌تر از میانگین، بیشتر از رخدادهای بزرگ‌تر از میانگین بود (ایلام ٤/۳ در مقابل ۱/۲ و خرم‌آباد ۱/۷ در مقابل ۱/۱). حساسیت زیاد تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی به مقدار باران در صورت تداوم روند کاهشی مقدار باران در جنگل‌های خرم‌آباد و ایلام، به کاهش تاج‌بارش و تسریع روند خشکیدگی در این جنگل‌ها خواهد انجامید.

واژه‌های کلیدی: خشکیدگی، داده‌های هواشناسی، رخداد باران، من-کندال،

مقدمه

تاج‌بارش قسمت اعظم رخداد باران (در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد) را شامل می‌شود [۱، ۲] که به‌طور مستقیم از طریق فضاهای موجود در تاج‌پوشش درخت یا پس از برخورد با تاج به پوشش کف می‌رسد [۳]. مقدار تاج‌بارش کمتر از باران و همچنین شدت آن نسبت به بارش کمتر است [٤].

عوامل متعددی در تغییرپذیری مکانی- زمانی مقدار تاج‌بارش مشارکت دارند [۵]. این عوامل ممکن است زیستی یا غیرزیستی باشند. عوامل محیطی غیرزیستی همان شرایط آب‌وهوایی بوده و شامل زمان وقوع باران، مدت و شدت

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

باران، سرعت و جهت باد و دمای هوا هستند. عوامل زنده نیز عبارت است از نوع گونه، ظرفیت ذخیرهٔ آب توسط تاج‌پوشش، خاصیت آب‌گریزی تاج‌پوشش (Canopy water repellency) و نیز ساختار سه‌بعدی تاج‌پوشش [۱].

در میان عوامل ذکرشده، مقدار باران مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر مقدار تاج‌بارش است [۲، ٦]. مقدار باران به‌طور واضح بر مقدار آبی که در تاج‌پوشش نفوذ می‌کند و همچنین آبشویی سطح برگ مؤثر است [۲]. اگر مقدار باران کم باشد، ممکن است کاملاً توسط تاج‌پوشش جذب یا صرف تبخیر شود، درحالی که اگر مقدار باران بیشتر از ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش باشد، سهم بیشتری از تاج‌بارش به‌صورت ریزش‌های تاجی خواهد بود [۷]. به‌علت وابستگی بین تاج‌بارش درختان به مقدار باران و دیگر پارامترهای اقلیمی، تغییر احتمالی این پارامترها، تاج‌بارش را دستخوش تغییر قرار خواهد داد [۲، ٦، ۸]. بررسی تغییرات مقدار تاج‌بارش به‌دلیل تأثیراتی که بر تولید اولیهٔ خالص، زیست‌شیمیایی خاک [۹]، جوامع میکروبی خاک [۱۰] و تعادل آب جنگل دارد، از اهمیت بسزایی برخوردار است، چراکه بر مقدار آب رسیده به کف جنگل اثر می‌گذارد [۱۱].

جنگل‌های زاگرس با گونهٔ غالب بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) و با وسعت تقریبی ۵ تا ٦ میلیون هکتار، حدود ٤۰ درصد از کل جنگل‌های ایران را در بر گرفته‌اند [۱۲]. این جنگل‌ها که بیشتر در طبقات اقلیمی مناطق نیمه‌خشک قرار می‌گیرند، از مهم‌ترین منابع تولید آب کشور به‌شمار می‌آیند و بیشترین تأثیر را نیز در تعدیل آب‌وهوا و تعادل اقتصادی و اجتماعی منطقه دارند [۱۲]. مطابق آخرین آمار سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ خورشیدی، حدود ۲۵ درصد از این جنگل‌ها دچار زوال شده‌اند. یکی از مهم‌ترین دلایل خشکیدگی بوم‌سازگان جنگلی زاگرس، تغییر عوامل اقلیمی طی زمانی کوتاه است [۱۳]. از این‌رو پایش درازمدت عوامل اقلیمی به‌ویژه باران و تاج‌بارش در جنگل‌های زاگرس ضروری است [۱٤]. برای تحقق این موضوع، پژوهش‌هایی در منطقهٔ زاگرس انجام گرفته است که از جمله می‌توان به بررسی اثر تبخیر تعرق بر زوال جنگل [۱۳]، پایداری زمانی و مکانی الگوهای مکانی تاج‌بارش [۵]، بررسی ارتباط بین متغیرهای ساختاری جنگل و باران‌ربایی [۱۵] و اثر اندازهٔ باران بر باران‌ربایی تاج‌پوشش تک‌درختان بلوط ایرانی [۷] اشاره کرد.

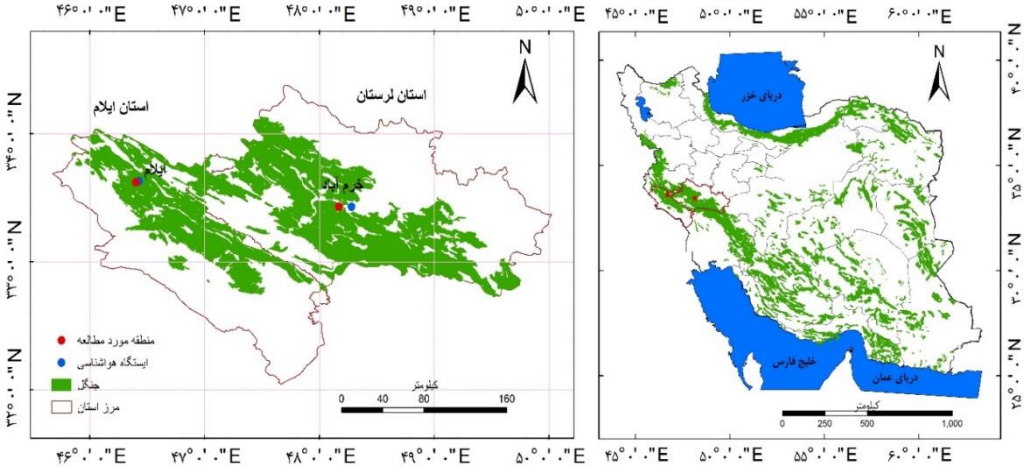
در پژوهش پیش رو با پرداختن به ارزیابی تغییرات تاج‌بارش به‌علت تغییر در مقدار باران، تلاش شده است که ضریب حساسیت نسبی تاج‌بارش تک‌درختان بلوط ایرانی به مقدار باران در ناحیهٔ رویشی زاگرس برآورد شود. تحقیقات دربارهٔ حساسیت یا تغییرپذیری تاج‌بارش درختان و توده‌های جنگلی به مقدار باران در کشور بسیار نادر است. تنها در دو پژوهش به ارزیابی حساسیت تاج‌بارش توده‌های طبیعی و دست‌کاشت نسبت به تغییر اندازهٔ باران، در جنگل‌های هیرکانی و نیز تک‌درختان سوزنی‌برگ در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور پرداخته شده است [٦–۱٦]. این در حالی است که در خصوص تحلیل حساسیت تاج‌بارش تک‌درختان بلوط ایرانی نسبت به مقدار باران در جنگل‌های زاگرس، تاکنون پژوهشی انجام نگرفته است. تعیین مقدار حساسیت تاج‌بارش درخت به مقدار باران، ابزار مفیدی برای مدیران جنگل به‌هنگام مواجهه با تغییرات کنونی و آینده باران است تا اقدامات ضروری در مناطقی با ضرایب حساسیت بیشتر یا به‌عبارتی در معرض خشکیدگی بیشتر انجام گیرد. هدف این تحقیق، تعیین حساسیت نسبی تاج‌بارش تک‌درختان بلوط ایرانی به مقدار باران در جنگل‌های زاگرس در استان‌های خرم‌آباد و ایلام است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ باران و تاج‌بارش در دو استان لرستان و ایلام استفاده شد.

اندازه‌گیری‌ها در استان ایلام در نزدیکی شهر ایلام (۶۲۹۸۶۹/۸ شرقی، ۳۷۲۰۵۳۲/۶ شمالی و ارتفاع تقریبی ۱۳۸۳ متر از سطح دریا) در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ انجام گرفته بود [۵]. در استان لرستان نیز اندازه‌گیری‌ها در سال ۱۳۹۲ در پارک جنگلی شوراب با مساحت ۵۷۰ هکتار (۲۳۶۵۸۰/۷ شرقی، ۳۷۰۲۹۱۸/٤ شمالی و ارتفاع تقریبی ۱۲۵۰ متر از سطح دریا) واقع در ۲۵ کیلومتری شهر خرم‌آباد انجام گرفته بود (شکل ۱) [۱۷].



شکل ۱. موقعیت مناطق تحت بررسی و ایستگاه‌های هواشناسی در استان‌های ایلام و لرستان

وضعیت اقلیمی

برای تحلیل وضعیت اقلیمی منطقهٔ پژوهش در استان ایلام (شهرستان ایلام) از داده‌های اقلیمی درازمدت (۱۳۹٦–۱۳٦۵) ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی ایلام (٦۳۲۹۳٦/٦ شرقی، ۳۷۲۲٤۲۳ شمالی و ارتفاع ۱۳٦۳ متر از سطح دریا) استفاده شد که در فاصلهٔ کمتر از ٤ کیلومتر از منطقهٔ پژوهش قرار دارد. برای تحلیل وضعیت اقلیمی منطقهٔ پژوهش در استان لرستان (شهر خرم‌آباد- پارک جنگلی شوراب) نیز از داده‌های اقلیمی درازمدت (۱۳۹٦–۱۳۳۰) ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد (فرودگاه) (۲٤۷٤۳۰/٦ شرقی، ۳۷۰۲٦۲۸/٦ شمالی و ارتفاع ۱۱٤۷/۸ متر از سطح دریا) استفاده شد که در فاصلهٔ کمتر از ۱۰ کیلومتر از منطقهٔ پژوهش جای دارد. متوسط دمای سالانه در خرم‌آباد ۱۷/٤ درجهٔ سانتی‌گراد (خطای معیار ۰/۳±) و در ایلام ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد (خطای معیار ۰/۵±) است.

اندازه‌گیری باران و تاج‌بارش

اندازه‌گیری باران و تاج‌بارش در هر یک از مناطق تحت بررسی روی پنج تک‌درخت تیپیک (شکل، اندازه و فرم رویشی این درختان، مشابه میانگین درختان موجود در منطقه است) بلوط دانه‌زاد ایرانی که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند، انجام گرفت. درختان منتخب، سالم، با ویژگی‌های ریخت‌شناسی مشابه و از نظر پراکنش قطری و ارتفاعی، مشابه پراکنش قطری و ارتفاعی درختان مجاور بودند و به‌طور متوسط ٤۰–۳۰ متر از یکدیگر فاصله داشتند و هیچ‌گونه تداخل تاجی نداشتند (جدول ۱) [۵، ۱۷].

اندازه‌گیری باران و تاج‌بارش به‌مدت چهارده ماه، طی دو سال پیاپی، از فروردین تا آذر ۱۳۸۹ و از فروردین تا مرداد ۱۳۹۰ در ایلام و به‌مدت سه ماه از مهر تا آذر ۱۳۹۲ در پارک جنگلی شوراب خرم‌آباد در طی دورهٔ برگدار درختان انجام گرفت. در هر دو منطقه برای اندازه‌گیری مقدار باران از شش جمع‌آوری‌کنندهٔ پلاستیکی با دهانهٔ دایره‌ای به قطر ۹ سانتی‌متر در فضای باز در نزدیکی مناطق پژوهش استفاده شد. میانگین عمق بارندگی جمع‌آوری‌شده توسط شش جمع‌آوری‌کننده، متوسط عمق بارندگی در نظر گرفته شد.

جدول ۱. مشخصات تک‌درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در شهرستان‌های خرم‌آباد و ایلام

	درخت	ارتفاع (متر)	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	سطح تاج (متر مربع)		درخت	ارتفاع (متر)	قطر برابرسینه (سانتی‌متر)	سطح تاج (متر مربع)
	۱	۷/۸	۴۵	۷۱/۸		۱	۱۰	۵۸	۵۲/۸
	۲	۶/۳	۲۶	۲۹/۲		۲	۵/۵	۶۶	۵۸/۱
خرم‌آباد	۳	۶/۳	۲۷	۲۹/۸	**ایلام**	۳	۱۱	۶۷	۷۸/۵
	۴	۷/۱	۳۲	۵۲/۸		۴	۱۰/۷	۷۵	۴۵/۳
	۵	۷/۶	۳۰	۴۵/۴		۵	۸/۴	۶۳	۶۶/۴
	میانگین	۷/۲	۳۲/۰	۴۵/۸		**میانگین**	۹/۱	۶۵/۸	۶۰/۲

برای اندازه‌گیری تاج‌بارش، از شانزده جمع‌آوری‌کننده مشابه جمع‌آوری‌کننده‌های باران، قرارگرفته در جهت‌های اصلی و فرعی هر تک‌درخت استفاده شد. حداقل زمان چهار تا پنج ساعت بدون بارندگی، برای تفکیک باران‌ها از یکدیگر در نظر گرفته شد، با این فرض که در این مدت، تاج‌پوشش می‌تواند کاملاً خشک شود. همچنین در صورت وقوع باران در کمتر از فاصلهٔ زمانی یادشده، مجموع بارندگی‌ها در این مدت، یک رخداد باران در نظر گرفته شد [۵، ۱۷].

روندیابی باران

برای بررسی روند باران در دو منطقه از آزمون‌های من-کندال و سن استفاده شد. روش غیرپارامتریک من- کندال به‌علت سادگی، قوی بودن در تشخیص روند، حل مشکل داده‌های گمشده و نیاز نداشتن داده‌ها به توزیع خاص، کاربرد گسترده‌ای در پژوهش‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی دارد و از آن برای تشخیص وجود روند افزایشی یا کاهشی یکنواخت در سری‌های زمانی استفاده می‌شود [۱۸]. آزمون من-کندال با تعریف آمارهٔ S به‌شکل زیر تعریف می‌شود [۱۹]:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sgn(X_j - X_i) \qquad (۱)$$

که در آن X_i و X_j دو دادهٔ متوالی سری زمانی و n طول سری زمانی است. $Sgn(x)$ تابع علامت است و با رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود.

$$Sgn(x) = \begin{cases} 1 & if \quad (X_i - X_j) > 0 \\ 0 & if \quad (X_i - X_j) = 0 \\ -1 & if \quad (X_i - X_j) < 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

هنگامی که n≥۸ باشد، آمارهٔ S تقریباً نرمال توزیع می‌شود و میانگین و واریانس آن به‌صورت زیر است:

$$E(S) = 0 \qquad (۳)$$

$$Var(S) = \frac{1}{18} \times (n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i\,(i-1)(2i+5)) \qquad (٤)$$

در این رابطه، t_i تعداد داده‌ها در گروه گره‌دار و m تعداد دسته‌ها با داده‌های گره‌دار است. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، یک گره را تشکیل می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m ام برابر t است. میزان استانداردشدهٔ Z از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \dfrac{s-1}{\sqrt{V(s)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \dfrac{s+1}{\sqrt{V(s)}} & S < 0 \end{cases} \qquad (۵)$$

فرض صفر در آزمون من-کندال، بر نبود روند دلالت دارد و فرض یک (رد فرض صفر) بیان‌کنندهٔ وجود روند در سری زمانی داده‌هاست. اگر مقدار قدر مطلق Z بزرگ‌تر از مقدار $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ (برای آزمون دوطرفه) یا $Z_{1-\alpha}$ (برای آزمون یکطرفه) باشد، فرض صفر رد می‌شود.

آزمون سن، تخمینگری غیرپارامتریک است که به‌منظور تحلیل سری‌های زمانی برای ضرایب رگرسیون

خطی به‌کار می‌رود و شامل احتمال گره‌ها در t_i است. این روش در جایی به‌کار می‌رود که فرض خطی بودن روند پذیرفته شود. این به‌معنای آن است که $f(t)$ برابر است با:

$$f(t) = Q_t + B \quad (٦)$$

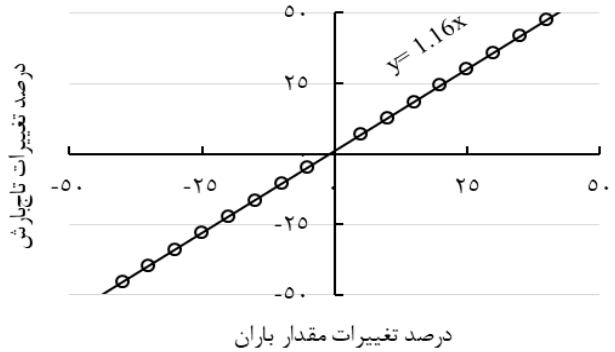
در این رابطه، Q شیب و B ثابت خط است. اگر بتوانیم روند را به‌صورت خطی در نظر بگیریم، از این روش غیرپارامتری می‌توان استفاده کرد. اگر n مقدار برای جفت (t_i, x_i) وجود داشته باشد، ضریب رگرسیون خطی به‌عنوان n مقدار از $i = 1,2,\dots,n; j > i ; t_i \neq t_j$ برای $A_{ij} = \frac{(x_i - x_j)}{(t_i - t_j)}$ تعریف می‌شود. Q شیب تخمینگر سن، میانهٔ n مقدار داده A_{ij} است و برابر است با:

$$Q = \begin{cases} A(n+1)/2 & \text{اگر } n \text{ فرد باشد} \\ \frac{1}{2}\left(An/2 + A(n+2)/2\right) & \text{اگر } n \text{ زوج باشد} \end{cases} \quad (٧)$$

اگر Q با آزمون دوطرفه در فاصلهٔ اطمینان (1-α) درصد بررسی شود، شیب با استفاده از روش غیرپارامتری براساس توزیع نرمال به‌دست می‌آید [۱۸]. در هر دو آزمون من- کندال و سن، سطوح معنی‌داری P=۰/۰۵ بود و برای اجرای آزمون‌ها از نرم‌افزار XLSTAT نسخهٔ ۲۰۲۰ استفاده شد.

تعیین حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی

حساسیت نشان‌دهندهٔ تغییرات نسبی یک متغیر وابسته (در این تحقیق منظور تاج‌بارش است) در مقابل تغییرات نسبی متغیر مستقل (مقدار باران) است [۱٦]. در پژوهش پیش رو، برای محاسبهٔ میانگین کشش‌پذیری یا حساسیت نسبی تاج‌بارش به مقدار باران از نوعی مدل رگرسیون خطی استفاده شد [٦]. در این روش، شیب رگرسیون بین درصد تغییرات در رخداد باران در مقابل درصد تغییرات در تاج‌بارش به‌عنوان ضریب حساسیت میانگین محاسبه شد (شکل ۲). برای نمونه، اگر ضریب حساسیت ۰/۱ باشد، یعنی به‌ازای ۱۰ درصد افزایش در رخداد باران، تاج‌بارش ۱ درصد افزایش می‌یابد [٦]. در این پژوهش، به مقایسهٔ حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی به رخداد باران تنها در دورهٔ برگدار بسنده شد.



شکل ۲. نمونه‌ای از رگرسیون خطی بین درصد تغییرات مقدار باران در مقابل درصد تغییرات تاج‌بارش

نتایج و بحث

روند درازمدت بارش در ایستگاه‌های خرم‌آباد و ایلام

متوسط بارش سالانه در سال‌های ۱۳۳۰ تا ۱۳۹٦ در ایستگاه خرم‌آباد ٤۹۳ میلی‌متر (خطای معیار ±۱۵) و در سال‌های ۱۳٦۵ تا ۱۳۹٦ در ایستگاه ایلام ۵٦۲ میلی‌متر (خطای معیار ±۲۹) محاسبه شد (جدول ۲). طی سال‌های بررسی‌شده در خرم‌آباد بیشترین بارندگی سالانه ۷۷۱ میلی‌متر (سال ۱۳۷۲) و کمترین آن ۲۳۷ میلی‌متر (سال ۱۳۵۲) و در ایلام بیشترین بارندگی سالانه ۹۹٦ میلی‌متر (سال ۱۳۷۳) و کمترین آن ۳۲۰ میلی‌متر (سال ۱۳٦۵)

ثبت شد (جدول ۲). در طی این مدت، در ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد، ٤٤٨٥ رخداد باران با میانگین ٦٧ رخداد در سال (خطای معیار ۱/۷±) و بیشینهٔ ۹٤ میلی‌متر (سال ۱۳۹۵) و در ایستگاه هواشناسی ایلام، از سال ۱۳٦۵ تا ۱۳۹٦، تعداد ۲۰۳٤ رخداد باران با میانگین ٦٤ رخداد در سال (خطای معیار ۲±) و بیشینهٔ ۲۸۲ میلی‌متر (سال ۱۳۹٤) ثبت شد (جدول ۲). در ایستگاه خرم‌آباد ٥٤ درصد و در ایستگاه ایلام ٦٦ درصد از رخدادهای باران، کمتر از میانگین رخداد باران (٦/٦ میلی‌متر در خرم‌آباد و ۸/۵ میلی‌متر در ایلام) بودند (جدول ۲).

جدول ۲. ویژگی‌های درازمدت بارش سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی خرم‌آباد و ایلام

ایستگاه هواشناسی (دورهٔ زمانی)	میانگین سالانه (اشتباه معیار) (میلی‌متر)	کمترین - بیشترین مقدار بارش سالانه (میلی‌متر)	تعداد رخداد باران	میانگین تعداد رخداد باران در سال (اشتباه معیار)	بیشترین مقدار رخداد باران (میلی‌متر)	درصد رخدادهای کمتر از میانگین	میانگین بارش در هر رخداد باران (اشتباه معیار) (میلی‌متر)
خرم‌آباد (۱۳۳۰-۱۳۹۶)	۴۹۳(۱۵)	۲۳۷-۷۷۱	۴۴۸۵	۶۷(۱/۷)	۹۴	۵۴	۶/۶(۰/۱)
ایلام (۱۳۶۵-۱۳۹۶)	۵۶۲(۲۹)	۳۲۰-۹۹۶	۲۰۳۴	۶۴(۲)	۲۸۲	۶۶	۸/۵(۰/۳)

آزمون‌های من- کندال و سن، روند درازمدت باران سالانه (مقدار Z به‌ترتیب ۱/۲- و ۱/۸۱- و مقدار Q به‌ترتیب ۱/۷۳- و ٦/۷۲-) و نیز روند درازمدت میانگین اندازهٔ رخداد باران در سال (مقدار Z به‌ترتیب ۱/٤۸- و ۱/۱۹- و مقدار Q به‌ترتیب ۰/۰۱- و ۰/۰۳-) در ایستگاه‌های خرم‌آباد و ایلام را در دورهٔ زمانی بررسی‌شده معنی‌دار نشان ندادند. با وجود مشاهده تغییرات کاهشی مقدار باران در هر دو منطقه، نتایج این پژوهش همسو با نتایج بررسی‌های مختلف است که مقدار باران سالانه را در بیشتر ایستگاه‌های منطقه زاگرس فاقد روند معنی‌دار گزارش کردند [۲۰، ۲۱].

بررسی روند باران‌های حدی نیز نشان داد که روند درازمدت تعداد رخدادهای بارش بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر در سال در ایلام، معنی‌دار و نزولی (مقدار Z و Q به‌ترتیب ۲/٦۲- و ۰/۲۲-) بود، درحالی که در خرم‌آباد روندی برای این رخدادها مشاهده نشد (مقدار Z و Q به‌ترتیب ۰/۸۳- و ۰/۰۳-). در مقابل، روند تعداد رخدادهای بارش کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر در سال، در خرم‌آباد معنی‌دار و صعودی (مقدار Z و Q به‌ترتیب ۲/۷۱ و ۰/۲۲) و در ایلام فاقد روند مشاهده شد (مقدار Z و Q به‌ترتیب ۰/٤۹- و صفر). به نظر می‌رسد این تغییرات و جابه‌جایی‌ها در اندازهٔ باران و گرایش به‌سمت کوچک یا بزرگ شدن رخدادهای باران، گواهی بر وجود تغییرات اقلیمی در این جنگل‌ها باشد [۱٦]. با توجه به میانگین مقدار باران در هر رخداد در ایلام و خرم‌آباد (حدود ۷/۵ میلی‌متر)، کاهش معنی‌دار تعداد رخدادهای بزرگ (بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر)، بیانگر تداوم سال‌های خشک در این مناطق است [۲۲]. به‌طور میانگین حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد تعداد رخدادهای سالانه در خرم‌آباد و ایلام، باران‌های بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر هستند. به‌علاوه مرور منابع نشان می‌دهد که ظرفیت نگهداری آب توسط تاج‌پوشش درختان بلوط ایرانی ۱/۵ تا ۲ میلی‌متر برآورد شده است [۲۳] و بنابراین افزایش تعداد باران‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر نیز ممکن است سبب کاهش مقدار آب در دسترس درختان بلوط ایرانی شود. در حدود ۳۵ تا ٤۰ درصد تعداد رخدادهای سالانه در خرم‌آباد و ایلام باران‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌مترند.

مشخصات رخداد باران و تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی

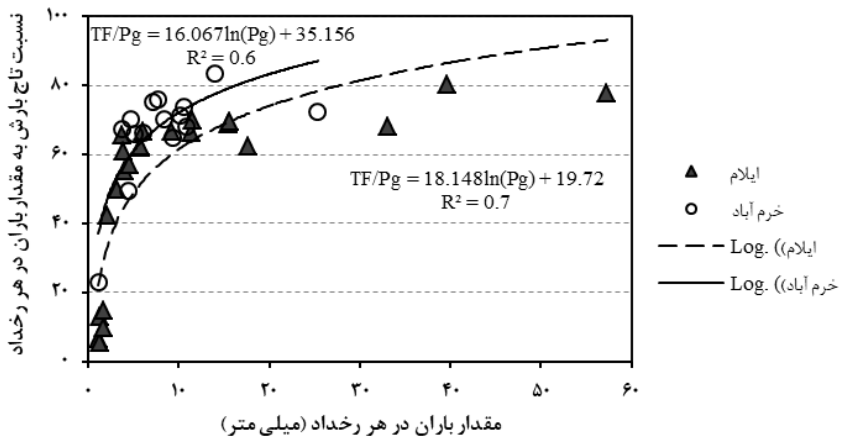
در خرم‌آباد، ۱۵ رخداد باران با عمق تجمعی ۱۲۹ میلی‌متر و در ایلام ۲۳ رخداد باران با عمق تجمعی ۲۵۷ میلی‌متر

در فصل برگدار اندازه‌گیری شد. بیشینه، کمینه و میانگین رخداد باران، در طی دورهٔ بررسی در خرم‌آباد به‌ترتیب ۲۵/۳ میلی‌متر، ۱/۱ میلی‌متر و ۸/٦ میلی‌متر (خطای معیار ۱/۵±) بود و مقادیر متناظر در ایلام به‌ترتیب ۵۷/۳، ۱/۱ و ۱۱/۱ میلی‌متر (خطای معیار ۳±) اندازه‌گیری شد (جدول ۳). عمق تجمعی تاج‌بارش در خرم‌آباد ۹۱/٤ میلی‌متر (۷۱ درصد از باران) و در ایلام ۱۷۷/٤ میلی‌متر (٦۹ درصد از باران) محاسبه شد (جدول ۳) [۵، ۱۷]. تشابه در سهم تاج‌بارش از مقدار باران در هر دو منطقه، ارتباط تنگاتنگی با نوع گونه، ساختار تاج‌پوشش و شرایط اقلیمی مشابه دارد [٦، ۱٦].

نتایج نشان داد که رابطهٔ لگاریتمی مثبتی بین مقدار باران و نسبت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی وجود دارد (ضریب تبیین (R^2) در خرم‌آباد ۰/٦ و در ایلام ۰/۷) (شکل ۳). این رابطهٔ به‌نسبت قوی نشان می‌دهد که با افزایش باران، سهم تاج‌بارش از باران افزایش می‌یابد که این موضوع همسو با یافته‌های پژوهشگران دیگر است [۲-۱٦]. در مقیاس تک‌درخت، مدل غیرخطی نتایج بهتری برای ارائهٔ درصد تاج‌بارش و ضریب تغییرات آن به‌عنوان تابعی از رخداد باران دارد و امکان شناسایی رفتارهای متمایز برای رخدادهای متفاوت باران را فراهم می‌کند. پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که به‌طور کلی مقدار باران، عامل اصلی در تغییرپذیری تاج‌بارش است [۱، ۲، ٦، ۲٤]

جدول ۳. ویژگی‌های رخداد باران و تاج‌بارش در مناطق تحت بررسی در خرم‌آباد و ایلام

منطقه	فراوانی رخداد باران	عمق تجمعی باران (میلی‌متر)	میانگین مقدار باران (اشتباه معیار) (میلی‌متر)	کمینه-بیشینه مقدار باران (میلی‌متر)	عمق تجمعی تاج‌بارش (میلی‌متر)	درصد تاج‌بارش
خرم‌آباد	۱۵	۱۲۹	۸/۶ (۱/۵)	۲۵/۳-۱/۱	۹۱/۴	۷۱
ایلام	۲۳	۲۵۷	۱۱/۱ (۳)	۵۷/۳-۱/۱	۱۷۷/۴	۶۹



شکل ۳. رابطهٔ بین مقدار باران و نسبت تاج‌بارش به مقدار باران در هر رخداد برای درختان بلوط ایرانی در خرم‌آباد و ایلام

ضریب حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی

به‌طور میانگین، تاج‌بارش تک‌درختان بلوط ایرانی در ایلام، ضریب حساسیت بیشتری به مقدار باران در مقایسه با تاج‌بارش درختان در خرم‌آباد داشت (۳/۳ در مقابل ۱/۳) (جدول ٤). برای نمونه، ضریب حساسیت ۳/۳ در ایلام نشان می‌دهد که اگر رخداد باران ۱۰ درصد کاهش پیدا کند (برای مثال از ۸/۵ به ۷/٦ میلی‌متر)، مقدار تاج‌بارش ۳۳ درصد کاهش می‌یابد، درحالی که همین

مقدار کاهش باران در خرم‌آباد (برای مثال از ٦/٦ به ۵/۹ میلی‌متر)، با توجه به ضریب حساسیت تاج‌بارش (۱/۳)، موجب ۱۳ درصد کاهش در مقدار تاج‌بارش درختان خواهد شد. ضریب حساسیت تاج‌بارش به مقدار باران می‌تواند رابطهٔ مستقیمی با مقدار آب در دسترس درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس و در نتیجه خشکیدگی این درختان داشته باشد. طبق بررسی‌ها، ناحیهٔ رویشی زاگرس از سال ۱۳۸۰ خورشیدی به بعد، با کاهش مقدار رخدادهای باران مواجه شده است [۱۳]. بررسی ضریب حساسیت نشان می‌دهد که تاج‌بارش در کدام منطقه با توجه به اقلیم، ابعاد و شرایط درختان، بیشتر تحت تأثیر تغییر رخداد باران قرار می‌گیرد.

نتایج این پژوهش حاکی از بروز تغییرات در رخداد باران در مناطق تحت بررسی (کاهش معنی‌دار تعداد باران‌های بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر در ایلام و افزایش معنی‌دار تعداد باران‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر در خرم‌آباد) است. به‌طور کلی می‌توان گفت در صورت تغییر مقدار باران، با توجه به ضرایب حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی، احتمالاً این درختان تغییر زیادی را در دسترسی به باران تجربه خواهند کرد. به‌عبارت دیگر، چنانچه روند تغییر اقلیم، کوچک شدن رخداد باران را در جنگل‌های زاگرس در پی داشته باشد، مقدار تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی در این ناحیه به‌شدت کاهش خواهد یافت و اثرهای سوء آن در ایلام با توجه به زیاد بودن ضریب حساسیت تاج‌بارش درختان آن به مقدار باران، بیشتر خواهد بود، زیرا این ضریب نشان می‌دهد که احتمالاً تاج‌بارش کمتری در ایلام به زیر درختان بلوط ایرانی می‌رسد.

افزون‌بر تفاوت اقلیمی و ویژگی‌های باران، تفاوت در ویژگی‌های ریخت‌شناسی تک‌درختان در دو منطقه (به‌طور میانگین ارتفاع درختان در ایلام ۱/۹ متر بلندتر، قطر حدود ۳٤ سانتی‌متر بزرگ‌تر و تاج‌پوشش آنها ١٤/٤ متر مربع بیشتر از درختان در خرم‌آباد است) نیز ممکن است یکی از دلایل اختلاف در ضریب حساسیت باشد. درختانی با ارتفاع بیشتر و تاج گسترده‌تر، حساسیت بیشتری به تغییرات مقدار باران از خود نشان دادند، همچنان که درخت شمارهٔ ۳ در ایلام، بیشترین ضریب حساسیت را به خود اختصاص داد (۵/۱) (جدول ٤). هرچه تاج‌پوشش گسترده‌تر بوده و عمق بیشتری داشته باشد، به‌دلیل باران‌ربایی بیشتر، تاج‌بارش کمتری به زیر درخت می‌رسد [۲۵]. بزرگ بودن ضریب حساسیت تاج‌بارش نسبت به مقدار باران ممکن است یکی از عواملی باشد که در خشکیدگی درختان قطور بلوط ایرانی دخالت دارد، چراکه طبق بررسی‌های صورت‌گرفته در زاگرس، درختان بلوط قطورتر خشکیدگی بیشتری را تجربه کرده‌اند [۲٦]. درختانی با ویژگی‌های ساختاری مشابه (ارتفاع، سطح مقطع و تاج‌پوشش به‌نسبت مساوی) مانند درختان ۲ و ۳ در خرم‌آباد، ضریب حساسیت یکسان (۱/٤) دارند و اختلاف بین ضریب حساسیت تاج‌بارش به باران‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از میانگین رخداد باران نیز در آنها برابر است (۰/۵) (جدول ٤).

در هر دو منطقه، ضریب حساسیت تاج‌بارش برای باران‌های کوچک‌تر از میانگین، مقدار بیشتری از باران‌های بزرگ‌تر از میانگین بود (در ایلام ٤/۳ در مقابل ۱/۲ و در خرم‌آباد ۱/۷ در مقابل ۱/۱) (جدول ٤). حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی به باران‌های کوچک‌تر از میانگین نیز در ایلام به‌طور تقریبی دو و نیم برابر خرم‌آباد محاسبه شد (٤/۳ در مقابل ۱/۷) (جدول ٤). اختلاف بین ضریب حساسیت تاج‌بارش برای باران‌های کوچک‌تر از میانگین و باران‌های بزرگ‌تر از میانگین باران نیز در ایلام ۳/۱ و در لرستان ۰/٦ محاسبه شد.

حساسیت بیشتر به رخدادهای کوچک‌تر از میانگین نشان می‌دهد که در رخدادهای کوچک، تاج‌بارش بیشتر تحت تأثیر تغییرات مقدار باران است. کوچک شدن مقدار

باران در مقایسه با میانگین درازمدت در مناطق تحت بررسی و پیرو آن کمتر شدن تاج‌بارش رسیده به کف جنگل، پیامدهایی برای منابع آب این اکوسیستم‌ها دارد و در صورت ادامهٔ این روند، احتمالاً باران کمتری در آینده به کف جنگل خواهد رسید [۱۶]. بنابراین باید توجه خاص به مناطقی که مقدار باران نسبت به میانگین درازمدت در حال کوچک شدن است توجه خاصی شود. هنگام مواجههٔ مدیران جنگل با تغییرات اقلیمی، حساسیت زیاد تاج‌بارش درختان موجب می‌شود که مدیریت جنگل و هیدرولوژی آن پیچیده‌تر شود [۱۶].

جدول ۴. ضریب حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی نسبت به مقدار باران در خرم‌آباد و ایلام

	درخت	ضریب حساسیت	ضریب حساسیت تاج‌بارش برای بارش‌های بزرگ‌تر از میانگین	ضریب حساسیت تاج‌بارش برای بارش‌های کوچک‌تر از میانگین		درخت	ضریب حساسیت	ضریب حساسیت تاج‌بارش برای بارش‌های بزرگ‌تر از میانگین	ضریب حساسیت تاج‌بارش برای بارش‌های کوچک‌تر از میانگین
	۱	۱/۴	۱	۲		۱	۳/۰	۱/۲	۳/۹
	۲	۱/۴	۱/۲	۱/۷		۲	۲/۶	۱/۱	۳/۷
خرم‌آباد	۳	۱/۴	۱/۲	۱/۷	**ایلام**	۳	۵/۱	۱/۲	۶/۷
	۴	۱/۲	۰/۸	۱/۶		۴	۲/۷	۱/۱	۳/۵
	۵	۱/۲	۱/۱	۱/۴		۵	۳/۱	۱/۲	۴
	میانگین	۱/۳	۱/۱	۱/۷		**میانگین**	۳/۳	۱/۲	۴/۳

نتیجه‌گیری

نتایج آزمون‌های من- کندال و سن نشان داد که روند درازمدت باران سالانه در خرم‌آباد و ایلام معنی‌دار نیست. از سویی، بروز وقایع حدی در ایلام با روند معنی‌دار و نزولی بارانهای بزرگ‌تر از ۱۰ میلی‌متر در سال و در خرم‌آباد با روند معنی‌دار و صعودی بارانهای کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر در سال تشخیص داده شد. تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی در ایلام، ضریب حساسیت بزرگ‌تری در مقایسه با تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی در خرم‌آباد در مقابل تغییرات مقدار باران نشان داد (۳/۳ در مقابل ۱/۳). تاج‌بارش اثر مهمی در تعادل بین باران، رواناب و دیگر مؤلفه‌های بودجهٔ آب دارد و از این‌رو، تغییرپذیری اندازهٔ باران و حساسیت زیاد تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی در ناحیهٔ رویشی زاگرس، احتمالاً در دسترسی درختان به باران مشکل ایجاد خواهد کرد. برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر جنگل‌های ناحیهٔ رویشی زاگرس، پیشنهاد می‌شود در کل این ناحیه روند تغییرات بارش و نیز ضریب حساسیت تاج‌بارش درختان بلوط ایرانی به اندازهٔ باران بررسی شود.

References

[1]. Levia Jr, D. F., and Frost, E. E. (2006). Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. Progress in Physical Geography, 30(5): 605-632.

[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, Springer, Cham, 49-70.

[3]. Chappell, N. A., Bidin, K., and Tych, W. (2001). Modelling rainfall and canopy controls on net-precipitation beneath selectively-logged tropical forest. Plant Ecology, 153(1): 215-229.

[4]. Xiao, Q., McPherson, E. G., Ustin, S. L., Grismer, M. E. and Simpson, J. R., (2000). Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. Hydrological Processes, 14(4): 763-784.

[5]. Fathizadeh, O., Attarod, P., Keim, R. F., Stein, A., Amiri, G. Z., and Darvishsefat, A. A. (2014). Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees. Hydrological Processes, 28(3): 1124-1136.

[6]. Attarod, P., Tang, Q., Van Stan II, J. T., and Liu, X. (2018). National assessment of throughfall sensitivity to changes in storm magnitude for the forests of Iran. Forest Systems, 27(3): 5.

[7]. Fathizadeh, O., Attarod, A., Darvish Sefat, A. A., and Zahedi Amiri, G. (2012). Rainfall event size effect on the canopy interception loss of individual *Quercus brantii* trees in the Zagross ragion. Natural Ecosystems of Iran, 2(2): 45-52.

[8]. Sadeghi, S. M. M., and Attarod, P. (2015). Estimation of the canopy storage capacity and free throughfall coefficient by a *Pinus eldarica* afforestation using the regression-based methods. Iranian Journal of Forest, 7(1): 1-16.

[9]. Nepstad, D. C., Moutinho, P., Dias-Filho, M. B., Davidson, E., Cardinot, G., Markewitz, D., and Schwalbe, K. (2002). The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 107(20): 18-53.

[10]. Rosier, C. L., Van Stan, J. T., Moore, L. D., Schrom, J. O., Wu, T., Reichard, J. S., and Kan, J. (2015). Forest canopy structural controls over throughfall affect soil microbial community structure in an epiphyte-laden maritime oak stand. Ecohydrology, 8(8): 1459-1470.

[11]. Wei, X., Bi, H., and Liang, W. (2017). Factors controlling throughfall in a *Pinus tabulaeformis* forest in North China. Scientific Reports, 7(1): 1-10.

[12]. Sagheb Talebi, K., Sajedi, T., and Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran; A Treasure from the Past, a Hope for the Future. Springer. Research Institute of Forest and Rangelands, No. 339, Tehran.

[13]. Attarod, P., Sadeghi, S. M.M., Taheri Sarteshnizi, F., Saroyi, S., Abbasian, P., Masihpoor, M., Kordrostami, F., and Dirikvandi, A. (2015). Meteorological parameters and evapotranspiration affecting the Zagros forests decline in Lorestan province. Iranian Journal of Forests and Rangelands Research and Protection, 13(2): 97-112.

[14]. Attarod, P., Rostami, F., Dolatshahi, A., Sadeghi, S. M. M., Amiri, G. Z., and Bayramzadeh, V. (2016). Do changes in meteorological parameters and evapotranspiration affect declining oak forests of Iran?. Journal of Forest Science, 62(12): 553-561.

[15]. Fathizadeh, O., Hosseini, S. M., Zimmermann, A., Keim, R. F., and Boloorani, A. D. (2017). Estimating linkages between forest structural variables and rainfall interception parameters in semi-arid deciduous oak forest stands. Science of the Total Environment, 601: 1824-1837.

[16]. Attarod, P., Tang, Q., Pypker, T. G., Liu, X., and Bayramzadeh, V. (2020). Potential impact of climate change on throughfall in afforestation areas located in arid and semi-arid environments. Arid Land Research and Management, 35(1): 104-119.

[17]. Gheibi, F., Kiadaliri, H., Attarod, P., Shirvany A. (2018). Rainfall and dust interception potentials of oak trees and man-made plantations in the semi-arid forests. Caspian Journal of Environmental Sciences, 19(3):391-399.

[18]. Sicard, P., Mangin, A., Hebel, P., and Malléa, P., (2010). Detection and estimation trends linked to air quality and mortality on French Riviera over the 1990–2005 period. Science of the Total Environment, 408(8): 1943-1950.

[19]. Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., and Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the mann-kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. Frontiers in Earth Science, 6(8): 14.

[20]. Attarod, P., Sadeghi, S. M. M., Pypker, T. G., and Bayramzadeh, V. (2017). Oak trees decline; a sign of climate variability impacts in the west of Iran. Caspian Journal of Environmental Sciences, 15(4): 373-384

[21]. Barani, N., and Karami, A. (2019). Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in decuple agroecology regions of Iran. Environmental Sciences, 17(4): 75-90.

[22]. Ye, J. S., Gong, Y. H., Zhang, F., Ren, J., Bai, X. K., and Zheng, Y. (2018). Which temperature and precipitation extremes best explain the variation of warm versus cold years and wet versus dry years?. Journal of Climate, 31(1): 45-59.

[23]. Fathizadeh O., Attarod P., Pypker T. G., Darvishsefat A. A., and Zahedi Amiri G. (2013). Seasonal variability of rainfall interception and canopy storage capacity measured under individual Qak (Quercus brantii) trees in Western Iran. Journal of Agricultural Science and Technology, 15: 175–188.

[24]. Lima, R. S. D., Bourscheidt, V., and Tanaka, M. O. (2018). Relationships between rainfall and throughfall in a secondary forest in southeastern Brazil: an evaluation of different statistical models. Brazilian Journal of Water Resources, 23(16): 1-14.

[25]. Liu, Y., and Zhao, L. (2020). Effect of plant morphological traits on throughfall, soil moisture, and runoff. Water, 12(6), 1731.

[26]. Golmohamadi, F., Hassanzad Navroodi, I., Bonyad, A. E., and Mirzaei, J. (2017). Effects of some environmental factors on dieback severity of trees in Middle Zagros forests of Iran (case study: strait Daalaab, Ilam Province). Journal of Plant Research, 30(3): 633-643.

Throughfall sensitivity of individual Brant`s oak trees to rainfall magnitude in the Zagros forests (Khorramabad and Ilam)

Z. Khoshsafa; Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

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

S. M. Heshmatol Vaezin; Assoc., Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

O. Fathizadeh; Assist., Prof., Department of Forestry, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, I. R. Iran.

Q. Tang; Prof., Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, China.

(Received: 25 March 2021, Accepted: 11 July 2021)

ABSTRACT

The increasing trend of declining Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) trees in the Zagros forests has become the main challenge of forest management in this region. The aim was to investigate throughfall sensitivity of individual Brant`s oak trees to rainfall magnitude in the Zagros forests of Lorestan and Ilam Provinces. Long-term meteorological data of Khorramabad and Ilam stations and Mann-Kendall and Sen tests were used to investigate the annual rainfall trend. Five typical individual brant's oak trees per region were selected to measure rainfall and throughfall within the leafed period. The mean sensitivity coefficient of throughfall was the linear regression slope between the percentages of changes in rainfall event versus the percentage of changes in throughfall. None of the selected regions showed significant trends for annual rainfall and mean rainfall event size per year (6.6 mm for KhorramAbad against 8.5 mm for Ilam) in the long-term review. In contrast, rainfalls > 10 mm in Ilam and rainfalls < 2 mm in Khorramabad presented significant decreasing and increasing trends, respectively. The sensitivity coefficient of throughfall was on average 3.3 in Ilam and 1.3 in Khorramabad. We found out that the throughfall sensitivity to events below average was more than those of events above average (Ilam 4.3 *vs.* 1.2 and Khorramabad 1.7 *vs.* 1.1). If the decreasing trend of rainfall magnitude in Khorramabad and Ilam forests continues, high sensitivity of throughfall of Brant's oak trees to rainfall magnitude will lead to reduced throughfall and accelerate the dieback process in these forests.

Keywords: Dieback, Mann-Kendall, Meteorological data, Rainfall event.

* Corresponding Author; Email: attarod@ut.ac.ir, Tel: +989127013996