

روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیر تعرق مرجع در ناحیه ریشی زاگرس شمالی

آوازه دولتشاهی^۱، پدram عطارد^{۲*}، قوام‌الدین زاهدی امیری^۳، سید محمد معین صادقی^۴، ویلما بایرام‌زاده^۵

۱. کارشناس ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲. دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۳. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴. دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۵. دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۵

چکیده

هدف تحقیق حاضر، امتحان درستی فرضیه ارتباط بین تغییر پارامترهای اقلیمی و خشکیدگی جنگل در ناحیه ریشی زاگرس بود. بدین منظور، تغییرات درازمدت پارامترهای هواشناسی و تبخیر تعرق مرجع (ET_0) ایستگاه‌های همدیدی پیرانشهر، سقز و خرم‌آباد در ناحیه ریشی زاگرس شمالی در دو مقیاس زمانی سالانه و فصلی در معرض آزمون آماری قرار گرفت. به کمک رابطه ترکیبی فائو-پنمن-مانتیت، ET_0 محاسبه و از آزمون‌های غیرپارامتری من‌کنندال و اسپیرمن برای بررسی معنی‌دار بودن روند بلندمدت ET_0 و پارامترهای مؤثر بر آن، و نیز از روش تخمین‌گر sen برای بررسی مقدار شیب خط روند استفاده شد. نتایج نشان داد روند دمای هوا در ایستگاه پیرانشهر طی دوره ۲۴ ساله، صعودی و معنی‌دار است ($P < 0.01$). آزمون اسپیرمن، روند سرعت باد را در ایستگاه‌های سقز (دوره ۴۰ ساله) و خرم‌آباد (دوره ۴۱ ساله) معنی‌دار و صعودی نشان داد. در مقیاس زمانی فصلی، روند پارامترهای اقلیمی و ET_0 با استفاده از دو آزمون من‌کنندال و اسپیرمن در بیشتر موارد مشابه یکدیگر بوده و روند ET_0 در بیشتر ایستگاه‌ها مثبت بوده است. نتایج این تحقیق مقدماتی نشان می‌دهد که تغییرات روند برخی پارامترهای اقلیمی و ET_0 در ناحیه ریشی زاگرس شمالی معنی‌دار است و بنابراین فرضیه ارتباط بین تغییر پارامترهای اقلیمی و ET_0 با زوال اکوسیستم‌های جنگل در ناحیه زاگرس شمالی تا حدودی تأیید می‌شود، ولی باید این ارتباط با داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های بیشتری در کل ناحیه ریشی زاگرس لحاظ شود.

واژگان کلیدی: آزمون من‌کنندال، آزمون اسپیرمن، روش تخمین‌گر sen زاگرس شمالی، فائو-پنمن-مانتیت.

مقدمه

پارامترهای اقلیمی از میانگین را بیان می‌کند و ممکن است در دوره‌های زمانی مختلف اتفاق بیفتد. بنابراین، تغییر اقلیم، تغییر برگشت‌ناپذیر در متوسط شرایط آب‌وهوایی است که در یک ناحیه اتفاق می‌افتد [۲، ۳] و هر تغییر در پارامترهای اقلیمی را نمی‌توان تغییر اقلیم نامید. با افزایش گازهای گلخانه‌ای، مقادیر پارامترهای اقلیمی دچار تغییر می‌شود؛ این تغییرات، تأثیر زیادی بر اجزای چرخه هیدرولوژیک نظیر بارش (شدت، نوع و

تغییر اقلیم با تغییر پارامترهای اقلیمی دارای تفاوت علمی است. تغییر اقلیم، نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای یک منطقه است؛ در حال حاضر روند گرم شدن دمای کره زمین را بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می‌کنند [۱]. تغییر پارامترهای اقلیمی دوره‌ای است و نوسانات و انحراف

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۷۰۱۳۹۹۶

نواحی خشک و نیمه‌خشک فلات مرکزی ایران است [۱۱]. پژوهشگران روند فصلی و سالانه ET_0 و متغیرهای مؤثر بر آن را در ۱۰ ایستگاه همدیدی در جنوب ایران در دوره زمانی ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند و دریافتند که به ترتیب سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی، تأثیرگذارترین پارامترها بر مقدار ET_0 بوده‌اند [۱۲].

یک از رخدادهای تلخ سال‌های اخیر در جنگل‌های زاگرس که هر روز بر وسعت آن افزوده می‌شود، زوال یا خشکیدگی بلوط است؛ به‌طور قطع یکی از عوامل تضعیف این اکوسیستم ارزشمند در غرب کشور، تغییر پارامترهای اقلیمی و ET_0 در اثر پدیده گرم شدن جهانی است. قسمت وسیعی از ناحیه رویشی زاگرس را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند و تغییر اقلیم در این نوع اقلیم‌ها، اثرگذاری شدیدتری دارد؛ بنابراین شناخت روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در این ناحیه ضروری است؛ ضمن اینکه این اکوسیستم بسیار شکننده و حساس به تغییر اقلیم است [۱۳]. هدف این پژوهش، بررسی روند فصلی و سالانه مقدار ET_0 و پارامترهای مؤثر بر آن در سه ایستگاه همدیدی پیرانشهر، سقز و خرم‌آباد در ناحیه رویشی زاگرس شمالی است. این تحقیقات اطلاعات خوبی در زمینه رفع تأثیرات سوء تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌های جنگلی به ما می‌دهد و در زمینه مدیریت منابع آب نیز بسیار کمک‌کننده است، چراکه گرم شدن زمین سبب تغییر چرخه هیدرولوژیک خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

به‌منظور بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی (دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد) و محاسبه ET_0 ، از داده‌های اقلیمی سه ایستگاه هواشناسی همدیدی پیرانشهر، سقز و خرم‌آباد در ناحیه رویشی زاگرس شمالی استفاده شد (جدول ۱).

مقدار بارش)، رواناب، آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک و نیز تبخیرتعرق (ET) دارد [۴]. ET پارامتر تأثیرگذار بر آب مورد نیاز گیاهان است و نیز در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب اهمیت دارد؛ هرگونه تغییر در مقدار ET بر چرخه هیدرولوژیک تأثیرگذار خواهد بود [۴].

از آنجا که اندازه‌گیری مستقیم ET در عرصه، نیازمند دستگاه‌های پیشرفته و گران‌قیمت است، در بسیاری از مناطق جهان از تبخیرتعرق مرجع (ET_0)^۱ استفاده می‌کنند. تبخیرتعرق از سطح مرجع، بدون مشکل کمبود آب، ET_0 نامیده می‌شود. سطح مرجع یک چمن فرضی سبز با ویژگی‌های مشخص نظیر ارتفاع یکنواخت ۱۲ سانتی‌متر، در حال رشد فعال و دارای سایه‌افکنی کامل است [۵]. مقدار ET_0 فقط بر اساس پارامترهای هواشناسی (دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و تابش خورشید) محاسبه می‌شود و ویژگی‌های گیاه و عوامل مربوط به خاک در هنگام برآورد آن در نظر گرفته نمی‌شود [۵].

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه روند ET_0 در نقاط مختلف جهان انجام گرفته است که برآیند نتایج آنها نشان‌دهنده الگوهای متفاوتی در این زمینه در اقلیم‌ها و نقاط مختلف است [۴، ۶، ۷، ۸، ۹]. برای نمونه، در پژوهشی، روند سالانه مقدار ET_0 برای ۲۰ ایستگاه همدیدی غرب کشور در طول سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۶، بررسی شد و نتیجه نشان داد که در ۳۰ درصد از ایستگاه‌ها، ET_0 روند سالانه افزایشی معنی‌دار داشته است [۱۰]. در بررسی دیگری، روند ET_0 با استفاده از ۳۴ ایستگاه هواشناسی در شمال چین طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۵۰، کاهنده گزارش شد [۸]. در تحقیقی دیگر درباره روند ET_0 با استفاده از آمار ۱۶ ایستگاه همدیدی در مقیاس زمانی ماهانه و فصلی مشخص شد که بیشترین روند افزایشی در مقدار ET_0 ، به ترتیب در شمال غرب و شمال شرق کشور و بیشترین روند کاهش به ترتیب در

1. Reference Evapotranspiration (ET_0)

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی و طول دوره آماری در ناحیه رویشی زاگرس شمالی

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	دوره آماری (میلادی)
پیرانشهر	۱۴۴۴	۳۶° ۴۲'	۴۵° ۹'	۱۹۸۶-۲۰۰۹
سقز	۱۵۲۳	۳۶° ۱۵'	۴۶° ۱۶'	۱۹۷۰-۲۰۰۹
خرم‌آباد	۱۱۴۸	۳۳° ۲۶'	۴۸° ۱۷'	۱۹۷۰-۲۰۱۰

می دهد که این سه روش به صورت مکمل هم، در بررسی‌های هواشناسی به کار می‌روند [۱۴].

نتایج و بحث

روند تغییرات بلندمدت پارامترهای اقلیمی و ET_0

بر اساس دسته‌بندی نمایه دومارتن در ناحیه رویشی زاگرس شمالی، پیرانشهر دارای اقلیم مرطوب (۲۹/۴)، سقز دارای اقلیم مدیترانه‌ای (۲۲/۳) و خرم‌آباد دارای اقلیم نیمه‌خشک (۱۸/۶) است. در ناحیه رویشی زاگرس شمالی، متوسط دمای هوا و بارش به ترتیب ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد و ۵۴۳ میلی‌متر و بیشترین میزان متوسط دمای هوا مربوط به ایستگاه خرم‌آباد (۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد) است (شکل ۱). میانگین سالیانه بارش در ایستگاه پیرانشهر بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها ثبت شد (۶۵۸ میلی‌متر در سال). میانگین پارامترهای رطوبت نسبی و سرعت باد در ناحیه رویشی زاگرس شمالی به ترتیب ۵۰ درصد و ۲/۳ متر بر ثانیه به دست آمد. میانگین سالیانه رطوبت نسبی، در ایستگاه سقز، بیشترین میزان (۵۲ درصد) و در ایستگاه خرم‌آباد (کمترین میزان ۴۶ درصد) را داشت. پژوهشگران در تحقیقی با بررسی چهار ایستگاه در ناحیه رویشی زاگرس جنوبی، مقدار متوسط پارامتر رطوبت نسبی هوا را ۳۸ درصد بیان کردند که ۱۲ درصد کمتر از نتایج این پژوهش در زاگرس شمالی است [۱۵]؛ بنابراین یکی از دلایل احتمالی کمتر بودن مقدار خشکیدگی بلوط در زاگرس شمالی نسبت به جنوبی، بیشتر بودن پارامتر رطوبت نسبی در منطقه زاگرس شمالی است. هر چه از ایستگاه پیرانشهر به سمت ایستگاه خرم‌آباد حرکت می‌کنیم، از سرعت باد کاسته می‌شود؛ به صورتی که کمترین مقدار متوسط سرعت باد مربوط به ایستگاه خرم‌آباد است (۱/۸ متر بر ثانیه). مرور

برای تعیین نوع اقلیم از نمایه اقلیمی دومارتن (I_{DM}) استفاده شد (رابطه ۱):

$$I_{DM} = P / (T + 10) \quad (1)$$

در این رابطه، I_{DM} نمایه خشکی دومارتن، P میانگین بارش سالیانه (میلی‌متر) و T میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) است.

محاسبه تبخیرتغرق مرجع (ET_0)

به منظور برآورد مقادیر روزانه ET_0 از رابطه فائو-پنمن-مانتیت استفاده شد (رابطه ۲) [۵]؛ بر اساس مرور منابع و نیز بر پایه نظر سازمان خواربار جهانی، این روش بهترین روش برآورد ET_0 است:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_r (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_r)} \quad (2)$$

در این رابطه، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، R_n مقدار تابش خالص (مگاژول بر مترمربع در روز)، G چگالی شار حرارتی خاک (مگاژول بر مترمربع در روز)، γ ضریب سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، T متوسط دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) و $e_s - e_a$ نقصان فشار بخار هوا (کیلوپاسکال) است.

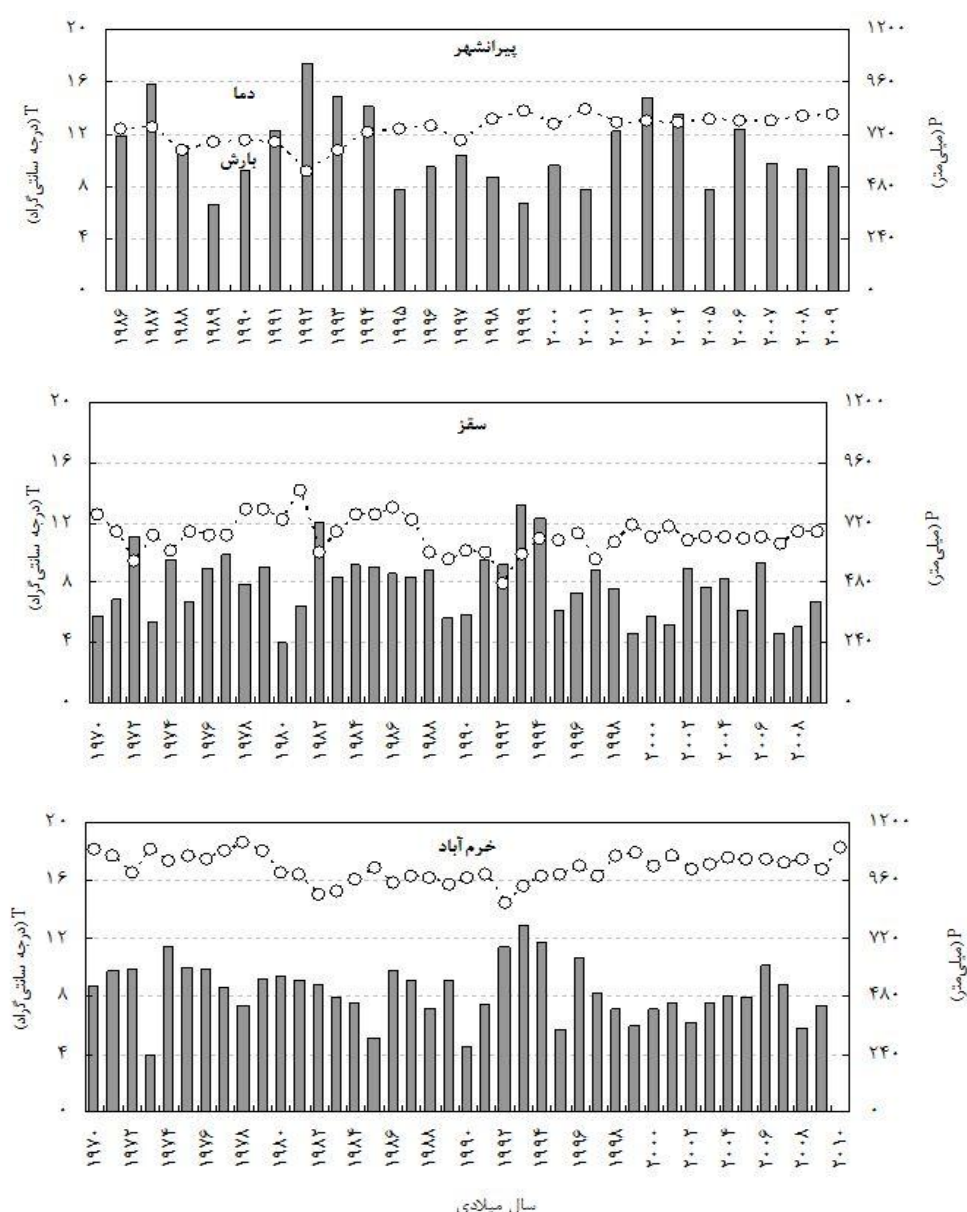
روش‌های ارزیابی معنی دار بودن روندهای پارامترهای

اقلیمی و ET_0

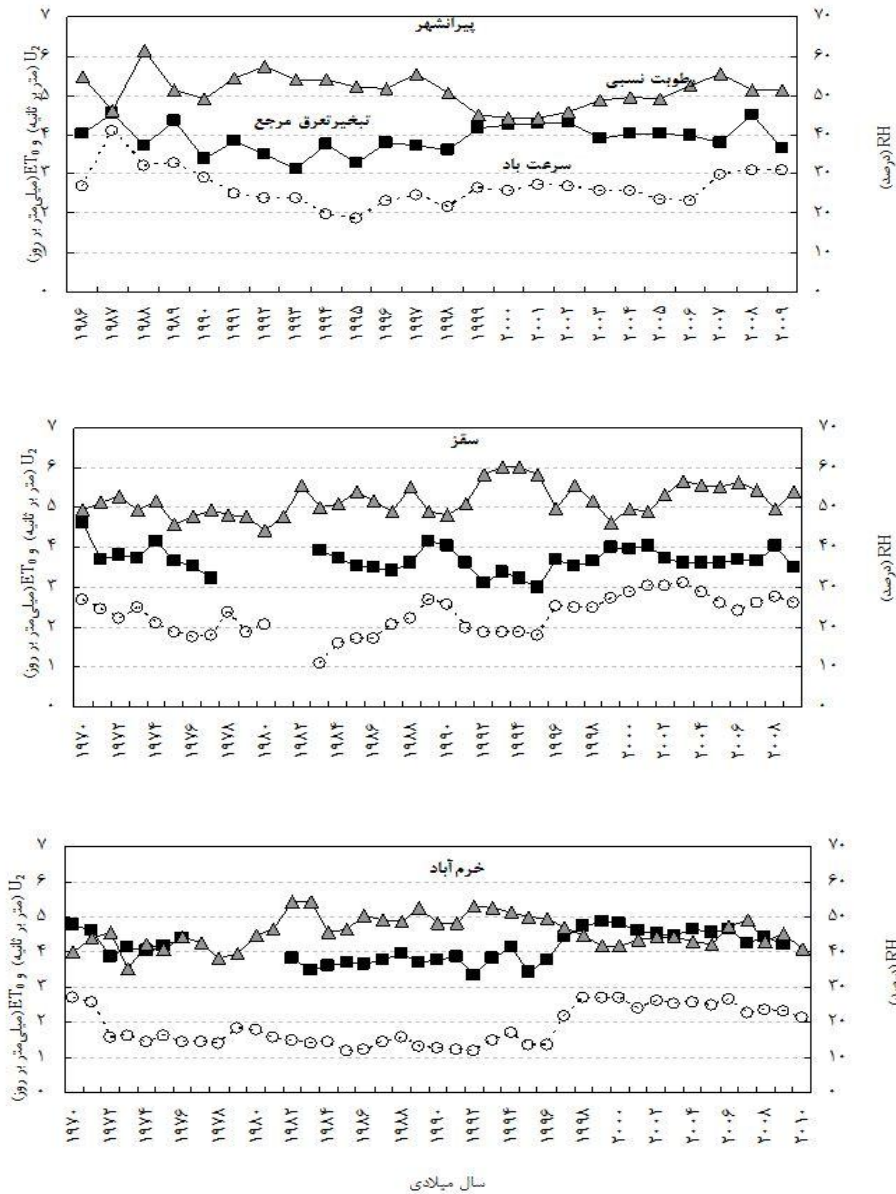
به منظور تعیین معنی دار بودن و مقدار شیب خط روند پارامترهای اقلیمی و ET_0 از سه آزمون من‌کندال، اسپیرمن و تخمین‌گر شیب سن استفاده شد. مرور منابع نشان

نیمه‌خشک جهان می‌شود که در نهایت، افزایش فرایند بیابان‌زایی را در پی دارد [۱۶، ۱۷]. به‌طور قطع تغییرات پارامترهای اقلیمی، مقدار ET_0 اکوسیستم جنگل‌های طبیعی در ناحیه رویشی زاگرس را تحت تأثیر قرار داده و سبب شده که این اکوسیستم ضعیف‌تر شود. دانشمندان اقلیم‌شناس، پارامتر ET_0 را به‌عنوان پارامتر معرف و در برگیرنده کلیه پارامترهای اقلیمی می‌شناسند و لازم است این پارامتر در کنار پارامترهای اقلیمی، در پژوهش‌های اقلیمی بررسی شود.

منابع نشان می‌دهد که مقدار متوسط پارامتر سرعت باد در ناحیه رویشی زاگرس جنوبی، ۱/۷ متر بر ثانیه است [۱۵]. میانگین روزانه ET_0 در ایستگاه پیرانشهر، ۳/۹ میلی‌متر در روز، در ایستگاه سقز ۳/۷ میلی‌متر در روز و در ایستگاه خرم‌آباد ۴/۱ میلی‌متر در روز به‌دست آمد (شکل ۲). نتایج دیگر پژوهش‌ها نشان می‌دهند که پدیده گرم شدن جهانی به احتمال زیاد با افزایش تبخیر-تعرق گیاهان همراه است که سبب افزایش شدت فصول خشک در اقلیم‌های خشک و



شکل ۱. روند تغییرات درازمدت دمای هوا (T ، درجه سانتی‌گراد) و بارش (P ، میلی‌متر) در ناحیه رویشی زاگرس شمالی



شکل ۲. روند تغییرات درازمدت پارامترهای سرعت باد (u_2 متر بر ثانیه)، رطوبت نسبی (RH، درصد) و تبخیرتعرق مرجع (ET_0 میلی متر در روز) در ناحیه رویشی زاگرس شمالی

داشته‌اند، اغلب روند تغییرات دما در آنها صعودی و معنی دار بوده است [۱۸]. براساس تازه‌ترین اطلاعات مرکز آمار کشور در سال ۱۳۹۰ خورشیدی، در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، پیرانشهر با افزایش ۱۹/۷ درصدی، بیشترین درصد افزایش جمعیت را داشته است. در سقز، روند رطوبت نسبی با استفاده از آزمون من کندال (۲/۵۱) و سرعت باد (۲/۹۵)، معنی دار بود، درحالی که این روندها

معنی‌داری روند بلندمدت پارامترهای اقلیمی و ET_0

مقیاس زمانی سالانه

نتایج بررسی پارامترهای اقلیمی و ET_0 در مقیاس زمانی سالانه نشان می‌دهد (جدول ۲) که دمای هوا در پیرانشهر طی ۲۴ سال، دارای روند افزایشی معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد بوده است. مرور منابع نشان می‌دهد شهرهایی که از نظر صنعتی و جمعیتی در دهه اخیر رشد چشمگیری

کشور دست یافتند و بیان شد که علامت و اندازه روند تغییرات سرعت باد در کشور، از نظم خاصی برخوردار نیست و توزیع تصادفی دارد [۱۹].

در پیرانشهر معنی دار نبود. در ایستگاه خرم‌آباد، روند پارامتر سرعت باد با استفاده از آزمون اسپیرمن با آماره ۲/۳۲ در سطح ۵ درصد معنی دار است. در پژوهشی، به نتایج مشابه در روند سالانه پارامتر سرعت باد در کل

جدول ۲. مقادیر آماره‌های Z Spearman's rho و آماره Q_{med} سالانه به ترتیب حاصل از آزمون من کندال، اسپیرمن و تخمین گر شیب سن در سه ایستگاه هواشناسی همدیدی پیرانشهر، سقز و خرم‌آباد

خرم‌آباد			سقز			پیرانشهر			پارامتر
Q_{med}	Spearman's rho	Z	Q_{med}	Spearman's rho	Z	Q_{med}	Spearman's rho	Z	
۰	-۰/۳۴۴	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۲	-۰/۴۰۴	-۰/۹۲	۰/۱۱**	۳/۷۰**	۳/۹۴**	دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)
-۰/۰۴۰	۰/۸۳۸	۰/۶۱۸	-۰/۱۳	۲/۷۵**	۲/۵۱*	-۰/۱۶۶	-۱/۴۶۴	-۱/۳۶۴	رطوبت نسبی (درصد)
-۰/۰۱۹	۲/۳۲*	۱/۵۶۱	۰/۰۲**	۳/۲۸**	۲/۹۵**	-۰/۰۰۴	-۰/۳۳۸	-۰/۲۲۳	سرعت باد (متر بر ثانیه)
-۰/۰۱۲	۱/۹۴۶	۱/۲۷	-۰/۰۰۲	-۰/۳۷۱	-۰/۴۰۸	۰/۰۱۵	۰/۸۲۶	۰/۸۱۹	تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)

ارقام معنی دار پررنگ‌تر؛ ** سطح معنی داری ۱ درصد؛ * سطح معنی داری ۵ درصد.

مقیاس زمانی فصلی

تفاوت است (آزمون من کندال: روند منفی، اسپیرمن: روند مثبت). سرعت باد نیز در ایستگاه سقز در فصل تابستان، با آزمون‌های من کندال و تخمین گر شیب سن به ترتیب غیرمعنی دار و در سطح ۱ درصد معنی دار نشان داده شد. متوسط شیب ET_0 با استفاده از تخمین گر شیب سن در همه فصول مثبت بوده است (به جز پاییز).

روند ET_0 در بیشتر فصول در هر سه ایستگاه مثبت و در ایستگاه پیرانشهر در فصل تابستان معنی دار است (در سطح ۹۹ درصد). روند ET_0 سقز در فصل بهار با توجه به آزمون اسپیرمن دارای روند افزایشی و معنی دار است. در فصل تابستان نیز روند ET_0 مثبت و معنی دار است (آزمون من کندال: در سطح ۹۵ درصد، آزمون اسپیرمن: در سطح ۹۹ درصد). در فصل پاییز نیز در ایستگاه سقز، روند کاهشی و معنی دار ET_0 مشاهده شد (در سطح ۹۵ درصد). در ایستگاه خرم‌آباد در بهار و تابستان، روند ET_0 افزایشی معنی دار است.

نتایج بررسی آزمون‌های من کندال و اسپیرمن و نیز اسپیرمن در مقیاس زمانی فصلی نشان داد که روند پارامترهای اقلیمی و ET_0 تفاوت معنی داری دارند (جدول ۳). در سری زمانی فصلی، روندهای مشخص شده با سه آزمون، در بسیاری از موارد مشابه یکدیگر بود که این روندها افزایشی یا کاهشی است. براساس آماره Z و $Spearman's Rho$ ، روند دمای هوا در پیرانشهر در بهار و تابستان، افزایشی و معنی دار (سطح ۹۹ درصد) است و در پاییز، روند این پارامتر تنها با توجه به آزمون اسپیرمن، افزایش معنی دار است. روند دمای هوا در سقز، در بیشتر فصول منفی بوده است. در فصل تابستان در سقز، دمای هوا با استفاده از آزمون من کندال روند معنی دار مشاهده شد.

نتیجه معنی داری روند رطوبت نسبی در بهار در ایستگاه سقز با استفاده از آزمون‌های من کندال و اسپیرمن

جدول ۳. مقادیر آمارهٔ Z Spearman's rho و Q_{med} فصلی به ترتیب حاصل از آزمون من کندال، اسپیرمن و تخمین گر شیب سن در ایستگاه‌های هواشناسی هم‌دیدگی پیرانشهر، سقز و خرم‌آباد

پیرانشهر		بهار		تابستان		پاییز		زمستان	
پارامتر	Z	Spearman's rho	Q_{med}	Z	Spearman's rho	Q_{med}	Z	Spearman's rho	Q_{med}
دمای هوا (درجهٔ سانتی‌گراد)	۲/۵۰ ^{**}	۲/۳۶ ^{**}	۰/۱۱ ^{**}	۳/۶۵ ^{**}	۲/۵۹ ^{**}	۰/۱۳ ^{**}	۱/۸۶	۲/۰۷ [*]	۱/۷۹
رطوبت نسبی (درصد)	-۰/۱۷۷	-۰/۰۹۶	-۰/۱۱۳	-۰/۰۶۷	-۰/۰۸۳	-۰/۰۱۲	-۰/۰۲۲	-۰/۰۴۱	-۱/۵۵
سرعت باد (متر بر ثانیه)	-۰/۱۳۷	-۰/۰۲۴	-۰/۰۰۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۰۱	-۱/۰۴۶	-۱/۵۴	۰/۰۲۶
تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)	۱/۰۰۲	۱/۰۲۴	۰/۰۰۲	۲/۷۰ ^{**}	۲/۶۴ ^{**}	۰/۰۰۴ ^{**}	-۰/۰۳۷	-۰/۰۳۷	۱/۶۳
سقز									
پارامتر	Z	Spearman's rho	Q_{med}	Z	Spearman's rho	Q_{med}	Z	Spearman's rho	Q_{med}
دمای هوا (درجهٔ سانتی‌گراد)	-۲/۷۸ ^{**}	-۲/۳۴ ^{**}	-۰/۰۴۵ ^{**}	-۲/۵۱ ^{**}	-۲/۷۵ ^{**}	-۰/۰۴۲ ^{**}	-۰/۰۲۲	-۰/۰۲۸	۰/۰۴۸
رطوبت نسبی (درصد)	-۱/۸۸	۱/۹۰	-۰/۱۹۰	-۰/۰۹۰	-۰/۰۹۱	-۰/۰۰۶۷	۲/۵۳ [*]	۲/۶۹ ^{**}	۲/۳۰ ^{**}
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲/۷۵ ^{**}	۲/۱۹ ^{**}	۰/۰۲۸ ^{**}	۱/۰۰۱	۲/۵۳ ^{**}	۰/۰۲۹ ^{**}	۱/۵۳	۱/۳۷	۲/۲۸ [*]
تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)	۱/۸۳	۲/۰۰ [*]	۰/۰۰۹	۲/۴۸ [*]	۲/۹۹ ^{**}	۰/۰۲۳ [*]	-۲/۲۷ [*]	-۲/۵۱ [*]	-۰/۰۹۰
خرم‌آباد									
پارامتر	Z	Spearman's rho	Q_{med}	Z	Spearman's rho	Q_{med}	Z	Spearman's rho	Q_{med}
دمای هوا (درجهٔ سانتی‌گراد)	۰/۱۰	-۰/۱۱۴	۰/۰۰	۰/۱۸۴	۰/۳۵	۰/۰۰۲	-۰/۰۵۴	-۰/۰۶۳	-۰/۰۰۵
رطوبت نسبی (درصد)	۰/۹۳	۱/۰۵	۰/۱۰	-۰/۰۶۹	-۰/۰۵۳	-۰/۰۰۴	۱/۴۳	۱/۴۲	۰/۱۷
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۲/۲۸ [*]	۲/۷۸ ^{**}	۰/۰۰۳ [*]	۲/۳۵ [*]	۲/۷۸ ^{**}	۰/۰۰۳ [*]	۲/۱۰ [*]	۲/۵۰ [*]	۱/۷۲
تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)	۲/۵۵ [*]	۲/۰۴ ^{**}	۰/۰۰۳ ^{**}	۲/۲۱ [*]	۲/۰۱ ^{**}	۰/۰۰۴ [*]	۱/۰۰۷	۱/۳۰	۱/۲۵

ارقام معنی‌دار پررنگ‌تر؛ ** سطح معنی‌داری ۱ درصد؛ * سطح معنی‌داری ۵ درصد

کاهش بیماری‌های گیاهی شود [۱۹]. افزایش سرعت باد، علاوه بر افزایش ET_0 ، ممکن است سبب افزایش مشکلات اقتصادی شود و خسارات آن در صورت کنترل نشدن، جبران‌ناپذیر است [۱۹، ۲۳].

نتیجه‌گیری

بر اساس گزارش‌های مؤسسه‌های بین‌المللی، دمای هوای جهان در پانزده سال اخیر (۲۰۱۲ - ۱۹۹۸ میلادی) ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است [۱۷]. به‌موازات این تغییرات در پارامترهای اقلیمی، علائم خشکیدگی جنگل‌های زاگرس نیز از سال ۲۰۰۰ ظاهر شده است. بنابراین این فرضیه که تغییر پارامترهای اقلیمی سبب خشکیدگی شده است تا حدودی تأیید می‌شود، گرچه این ارتباط باید با داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های بیشتری در کل ناحیه رویشی زاگرس بررسی شود. جنگل‌های زاگرس شمالی نیز که در حال حاضر به‌طور گسترده تحت تنش‌های مختلف، به‌ویژه تنش‌های ناشی از دخالت انسان‌اند، با تنش تغییر پارامترهای اقلیمی، سریع‌تر در معرض خشکیدگی قرار خواهند گرفت. شاید بتوان گفت عامل اصلی پدیده خشکیدگی در ناحیه رویشی زاگرس، ضعیف شدن این اکوسیستم و از دست دادن قابلیت خودتنظیمی آن باشد؛ تغییر پارامترهای اقلیمی، یکی از عوامل تشدیدکننده این پدیده به‌شمار می‌آید. از میان برداشتن عوامل محیطی حساس و استرس‌زا همچون سرشاخه‌زنی، دامداری، محافظت درختان در برابر آفات و بیماری‌ها و مدیریت ریزگردها، بهترین راهکار برای نجات این اکوسیستم ارزشمند است، زیرا این راهکارها اکوسیستم را در برابر تغییر پارامترهای اقلیمی مقاوم‌تر می‌کند.

نتایج ET_0 در مقیاس زمانی فصلی نشان می‌دهد که تعداد و درصد موارد معنی‌دار، در فصل تابستان بیشتر از بقیه فصل‌ها در هر سه ایستگاه مورد بررسی است (جدول ۳). آخرین گزارش‌های مؤسسه‌های بین‌المللی نشان داد که مناطق خشک، بر اثر گرمایش جهانی، خشک‌تر می‌شوند [۱۷]. با بررسی‌های انجام‌گرفته در ایستگاه پیرانشهر مشخص شد در مقیاس زمانی فصلی و سالانه، روند افزایشی ET_0 به‌دلیل معنی‌دار بودن روند صعودی دمای هوا بوده است. در پژوهشی، دلیل اصلی افزایش روند ET_0 ، افزایش دمای هوا ذکر شده است؛ وجود روند معنی‌دار افزایش دمای هوا و در طی آن روند صعودی و معنی‌دار ET_0 در فصل تابستان، نشان‌دهنده نتیجه‌ای مشابه است [۱۰]. در مقیاس زمانی سالانه، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و روند کاهشی و افزایشی در پارامترهای دمای هوا و رطوبت نسبی در ایستگاه سقز و خرم‌آباد و در مقیاس زمانی فصلی، با توجه به معنی‌داری عامل سرعت باد در بیشتر فصول در ایستگاه سقز و خرم‌آباد، دلیل افزایش روند ET_0 ، افزایش معنی‌دار سرعت باد بوده است. همان‌گونه که در پژوهشی، عامل سرعت باد را از عوامل تأثیرگذار بر روند ET_0 دانسته‌اند، در این پژوهش نیز عامل سرعت باد از عوامل افزایش ET_0 در این دو ایستگاه است [۱۱، ۲۰، ۲۱]. افزایش دما بر اثر پدیده تغییر جهانی که در بیشتر نقاط دنیا رخ داده است و خواهد داد، پیش‌آگاهی شایان توجهی است و باید دیگر پارامترهای اقلیمی نیز تجزیه و تحلیل شوند [۲۲]. دلیل اهمیت بررسی پارامتر رطوبت نسبی آن است که تأثیر مستقیمی بر مقدار دید، تشکیل ابر، مه، دود و ET_0 دارد [۱۹، ۲۳]. همچنین زیاد بودن رطوبت نسبی تا حد معینی، می‌تواند سبب استقرار بهتر پوشش گیاهی و

References

- [1]. Khosravi, M., Esmaelnejad, M., and Nazaripour, H. (2010). Climate change and effects on Water resource of Middle East. 4th International Congress of the Islamic World Geographers (ICIWG), Zahedan, 8 pp.
- [2]. Pierrehumbert, R.T. (2011). Principles of Planetary Climate, Cambridge University Press, England.
- [3]. Maslin, M. (2014). Climate Change: A Very Short Introduction (Third edition), Oxford Press.

- [4]. Goyal, R.K. (2004). Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*, 69: 1-11.
- [5]. Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guideline for computing crop water requirement in: *FAO Irrigation and Drainage Paper*, FAO, Rome, Italy, NO. 56.
- [6]. Esmailpour, M., and Dinpazhooh, Y. (2012). Analyzing long term trend of potential evapotranspiration in the Southern parts of the Aras river basin. *Geography and Environmental Planning Journal*, 47(3): 193-210.
- [7]. Xu, C., Gong, L., Tong, J., and Chen, D. (2006). Decreasing reference evapotranspiration in a warming climate – A case study of Changjiang (Yangtze) River Catchment During 1970-2000. *Advances in Atmospheric Sciences*, 23(4): 513-520.
- [8]. Tang, B., Tong, L., Shaozhong, K., and Zhang, L. (2011). Impacts of climate variability on reference evapotranspiration over 58 years in the Haihe river basin of north China. *Agricultural Water Management*, 98(10): 1660-1670.
- [9]. Sabziparvar, A.A., and Tabari, H. (2010). Regional estimation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 136(10): 724-731.
- [10]. Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Hosseinzadeh Talae, P., and Mohammadi, K. (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2): 128-136.
- [11]. Dinpashoh, Y., Jhahharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V.P., and Kahya, E. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3-4): 422-433.
- [12]. Nafarzadegan, A.R., Ahani, H., Singh, V.P., and Kherad, M. (2013). Parametric and non-parametric trend of evapotranspiration and its key influencing climatic variables (Case study: southern Iran). *Ecopersia*, 1(2): 123-144.
- [13]. Talebi, M., Sagheb-Talebi, KH., and Jahanbazi, H. (2006). Site demands and some quantitative and qualitative characteristics of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Chaharmahal & Bakhtiari province (western Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, ۱۴(۱): 67-79.
- [14]. Sabziparvar, A.A., and Shadmani, M. (2011). Trend analysis of reference Evapotranspiration rates by using the Mann-Kendal and Spearman tests in arid regions of Iran. *Journal of Water and Soil*, 25(4): 823-834.
- [15]. Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Dolatshahi, A., and Rostami, F. (2013). Changes in climatic parameters and reference evapotranspiration in the Zagros region. *National Conference on Environmental Hazards of Zagros*, Khorram Abad, Lorestan.
- [16]. Mahmood, R. (1997). Impacts of air temperature variations on the boro rice phenology in Bangladesh: implications for irrigation requirements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84 (3-4): 233-247.
- [17]. IPCC. (2013). Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M. (eds.), "Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [18]. Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M., and Sahabi, H. (2013). An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(1): 1-16.
- [19]. Ghahreman, N., and Gharekhani, A. (2010). Trend analysis of mean wind speed in different climatic regions of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(1): 31-43.
- [20]. Zhang, Y., Liu, CH., Tang, Y., and Yang, Y. (2007). Trends in pan evaporation and reference and actual evapotranspiration across the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research*, 112(D12): 1-12.
- [21]. Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Raghovanshi, N.S., and Singh, R. (2009). Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5): 508-515.
- [22]. Shirgholami, H., and Ghahraman, B. (2005). Study of time trend changes in annual mean temperature of Iran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 9(1): 9-24.
- [23]. Attarod, P., Kheirkhah, F., Khalighi Sigaroodi, SH., and Sadeghi, S.M.M. (2015). Sensitivity of reference evapotranspiration to global warming in the Caspian region, North of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(4): 869-883.

Trends of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the northern Zagros region

A. Dolatshahi; M.Sc. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

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

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

S. M. M. Sadeghi; Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I.R. Iran

V. Bayramzadeh; Department of Wood Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

(Received: 27 November 2015, Accepted: 24 February 2016)

ABSTRACT

In order to test the hypothesis of connection between the changes in climatic parameters and declining northern Zagros forests in the west of Iran, long-term trends of meteorological parameters and reference evapotranspiration (ET_0) on seasonal and annual time scales using three synoptic meteorological stations of Piranshahr, Saghez, and Khoram-Abad were examined. The Penman-Monteith combination equation was applied to calculate the ET_0 . To examine the long-term trends of meteorological parameters and ET_0 , the non-parametric tests of Mann-Kendal and Spearman were used and the magnitude of the slope of trends lines was tested using the Sen-slope estimator. Results showed that the increasing trends of air temperature in Piranshahr (1986-2009) were statistically significant ($P < 0.01$). Wind speed exhibited a significant positive trend in Saghez (1970-2009) and Khoram-Abad (1970-2010) by Spearman test (Saghez at 0.05% level, Khoram-Abad at 0.01% level). On seasonal time scale, the trends of climatic parameters and ET_0 were similar by Mann-Kendal and Spearman tests and ET_0 trends were positive in most stations. This preliminary research indicated that long-term trends of some climatic parameters and ET_0 in the northern Zagros region were statistically significant so that the hypothesis of the connection between decline of northern Zagros forests and changes in meteorological parameters was confirmed. Greater number of meteorological stations throughout the Zagros region, however, should be included in future research.

Keywords: FAO Penman–Monteith, Mann-Kendal test, Northern Zagros, Sen-slope estimator, Spearman test.

* Corresponding Author, Email: attarod@ut.ac.ir, Tel: +982632223044