



5th
Regional Conference on Climate Change
25-26 January 2016/Olympic Hotel, Tehran

پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم
تهران

تهران، هتل المپیک
۵-۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴

گرمایش جهانی، خشکسالی و طوفان‌های گرد و خاک: تهدیدی برای منطقه

آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق مرجع نسبت به متغیرهای اقلیمی و تعیین نقطه‌ی جهش در ایستگاه سینوپتیک شیراز

محمد قبائی سوق^۱، ابوالفضل مساعدی^۲

آدرس رایانامه نویسنده رابط (Mosaedi@um.ac.ir)

خلاصه

در پژوهش‌های تغییر اقلیم، آگاهی از تغییرات درازمدت متغیرهای هواشناسی و چگونگی تاثیر آنها بر مولفه‌های چرخه‌ی هیدرولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق (ET_o) ایستگاه سینوپتیک شیراز نسبت به متغیرهای هواشناسی موثر بر آن طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ در مقیاس ماهانه بررسی شده است. بدین منظور مقدار هر یک از متغیرهای هواشناسی در بازه‌ی ۳۰- تا ۳۰+ با گام افزایشی ۵ درصد تغییر و میزان حساسیت هر متغیر تعیین گردید. روند سری‌های ماهانه‌ی ET_o و متغیرهای هواشناسی بر اساس آزمون‌های من-کندال و تخمین‌گر سن برآورد و برای شناسایی نقطه‌ی جهش از آزمون‌های پیت و LOWESS استفاده گردید. براساس نتایج آنالیز حساسیت، طی ماه‌های خشک سال، متغیرهای دمای حداکثر، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی و طی ماه‌های مرطوب، متغیرهای دمای حداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد حساس‌ترین متغیرها می‌باشند. برپایه‌ی آزمون پیت سال ۱۹۸۵ به‌عنوان نقطه جهش در سری‌های میانگین ماهانه‌ی ET_o بدست آمد.

کلمات کلیدی: تغییر متغیرهای هواشناسی، روند، آزمون پیت، روش LOWESS.

۱. مقدمه

آگاهی از روند و نحوه‌ی تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) به‌عنوان یک مولفه اصلی چرخه هیدرولوژی که خود متأثر از متغیرهای هواشناسی نظیر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی و ... می‌باشد می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و کشاورزی نظیر تامین نیاز آبی گیاه جهت کاهش و مدیریت پدیده‌ی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد. تغییر اقلیم عبارتست از تغییرات در میانگین و دامنه‌ی مشخصه‌های اقلیمی در منطقه‌ای خاص و یا سراسر جهان در مقایسه با رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهداتی آن منطقه مورد انتظار است، به نحوی که این تغییرات برای مدتی در حدود چند دهه یا بیشتر ادامه داشته باشد [۱]. در پژوهش‌های تغییر اقلیم، آگاهی از تغییرات درازمدت متغیرهای هواشناسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا تغییرات هر یک از آنها در نتیجه تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به ایجاد تغییر در مقادیر برخی از مولفه‌های چرخه‌ی هیدرولوژیکی گردد. تبخیر و تعرق یکی از مولفه‌های اصلی چرخه‌ی هیدرولوژی به‌شمار می‌رود که متأثر از تغییر برخی پارامترهای هواشناسی نظیر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی و عوامل دیگر می‌باشد. تغییر دمای هوا سبب تغییر در فشار بخار اشباع هوا می‌گردد و تغییرات فشار بخار اشباع نیز می‌تواند منجر

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران
^۲ استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، ایران



5th
Regional Conference on Climate Change
25-26 January 2016/Olympic Hotel, Tehran

پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم
تهران

تهران، هتل المپیک
۵-۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴

گرمایش جهانی، خشکسالی و طوفان‌های گرد و خاک: تهدیدی برای منطقه

به تغییر نرخ مقدار ET_0 گردد. تبخیر و تعرق به علت نیاز به پارامترهای اقلیمی مختلف و اثر متقابل این پارامترها بر هم‌دیگر یک پدیده غیرخطی و پیچیده است و تفکیک میزان تغییرات ET_0 در اثر تغییر هر یک از پارامترهای اقلیمی تا حدود زیادی مشکل می‌باشد.

در دهه‌های گذشته پژوهشگران مختلفی در سراسر جهان به بررسی تغییرات روند ET_0 بر پایه‌ی آزمون‌های ناپارامتری (من-کندال و تخمین گر سن) و پارامتری روند (رگرسیون خطی، ρ اسپیرمن و ضریب همبستگی پیرسون) در مقیاس‌های مختلف زمانی پرداختند. آن‌ها روندهای افزایشی و کاهش‌ی مختلفی را در نقاط مختلف جهان گزارش نمودند که در ادامه برخی از آن‌ها آورده شده‌اند: روند کاهش‌ی تبخیر از تست تبخیر (E_{pan}) و ET_0 در بخش‌هایی از هند [۲]، روند کاهش‌ی مقدار ET_0 در منطقه‌ی آلبرتا [۳]، روند کاهش‌ی E_{pan} و ET_0 طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰ در حوضه‌ی چانگ‌جیانگ [۴]، روندهای کاهش‌ی مقادیر E_{pan} و ET_0 به ترتیب در ۴۷ و ۳۸ درصد از ایستگاه‌ها طی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۳ در فلات تبت [۵]، روند کاهش‌ی مقدار ET_0 طی دوره‌ی ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۲ در هند [۶]، روند کاهش‌ی ET_0 طی سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۶۱ در شمال چین [۷]، روند کاهش‌ی ET_0 برای مناطق مرطوب شمال شرق هند در مقیاس‌های سالانه و فصلی طی ۲۲ سال [۸]، روندهای افزایش‌ی و کاهش‌ی E_{pan} طی دوره‌ی ۲۰۰۰-۱۹۷۱ در ۴۶ ایستگاه در کانادا [۹]، روندهای کاهش‌ی و افزایش‌ی ET_0 برای مناطق مختلف ایران در مقیاس‌های سالانه و فصلی [۱۰]، روند افزایش‌ی ET_0 در نواحی خشک شمال شرقی نیجریه [۱۱]، روند افزایش‌ی ET_0 در بندر کائوشینگ تایوان طی یک دوره‌ی ۴۸ ساله [۱۲]، روند افزایش‌ی ET_0 در ایستگاه‌های نیمه‌غربی ایران طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۶ [۱۳]، روندهای افزایش‌ی و کاهش‌ی ET_0 طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۶ در ۱۰ ایستگاه جنوبی ایران [۱۴].

در برخی از پژوهش‌های انجام شده ضمن بررسی روند ET_0 ، تاثیر تغییرات متغیرهای هواشناسی موثر بر ET_0 نظیر دما، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و سرعت باد بر روندهای مشاهده شده نیز ارزیابی شده‌اند که در ادامه مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی شناسایی شده بر وقوع روندهای کاهش‌ی و افزایش‌ی ET_0 در مناطق مختلف جهان و ایران آورده شده‌اند. آن‌ها روند کاهش‌ی مشاهده شده برای مقادیر ET_0 را ناشی از روند افزایش‌ی رطوبت نسبی و کاهش‌ی تابش خورشیدی [۱]، روندهای کاهش‌ی متغیرهای تابش خورشیدی و سرعت باد [۴]، روند کاهش‌ی سرعت باد [۱۵]، روند کاهش‌ی سرعت باد، افزایش‌ی رطوبت نسبی و افزایش‌ی دمای حداکثر به ترتیب در شمال غرب، مرکز و شمال شرق چین [۱۶]، روند افزایش‌ی دمای هوا و کاهش‌ی سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی [۵]، روند کاهش‌ی سرعت باد و تابش خالص [۸] برشمردند. هم‌چنین برخی از پژوهشگران افزایش‌ی مقدار سرعت باد [۱۲] و روند افزایش‌ی دمای هوا [۱۳] را مهم‌ترین عوامل در افزایش‌ی روند مقدار ET_0 ذکر کردند. بر اساس نتایج برن و هس [۹] متغیرهای سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع به ترتیب بیشترین نقش در روندهای افزایش‌ی و کاهش‌ی E_{pan} در کانادا طی دوره‌ی ۱۹۷۱-۲۰۰۰ را داشتند.

در برخی از پژوهش‌ها با انجام آنالیز حساسیت بر مبنای روش‌های رگرسیون گام به گام یا تغییر مقادیر ورودی در روش پنمن-مونیت حساسیت تبخیر و تعرق به متغیرهای هواشناسی موثر بر آن را در ایستگاه‌های مختلف کشور با شرایط آب و هوایی متفاوت، ارزیابی کردند که بر اساس نتایج آن‌ها: تغییرات سرعت باد موثرترین متغیر در روند تغییرات ET_0 در ایستگاه‌های مختلف ایران [۱۰]، در مقیاس سالانه متغیرهای فشار بخار واقعی و سرعت باد به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین حساسیت در ۶ ایستگاه مختلف از شرایط مختلف آب و هوایی ایران [۱۷]، پارامترهای دما و رطوبت نسبی دارای بیشترین حساسیت و پارامترهای سرعت باد و ساعات آفتابی در مرتبه‌های بعدی حساسیت در روش فائو پنمن-مونیت در ۵ ایستگاه از ایران (تهران، مشهد، اصفهان، تبریز و شیراز) [۱۸]، تغییرات ET_0 در ایستگاه‌های جنوب ایران با مرکزیت استان فارس متاثر از متغیرهای سرعت باد، رطوبت نسبی و تعداد ساعات آفتابی می‌باشند [۱۴].

در پژوهش حاضر با برآورد مقادیر ET_0 از روش پنمن-مونیت، حساسیت مقادیر آن طی ماه‌های مختلف سال نسبت به تغییر هر یک از متغیرهای هواشناسی موثر بر آن بررسی شده است. هم‌چنین با تعیین سطح معنی‌داری روند برای هر یک از متغیرهای هواشناسی و مقادیر ET_0 با استفاده از آزمون من-کندال و برآورد شیب خط روند از تخمین گر سن، به تعیین نقطه‌ی جهش در سری‌های رونددار ET_0 ماهانه طی یک دوره‌ی ۵۵ ساله در ایستگاه سینوپتیک شیراز اقدام شده است.



5th
Regional Conference on Climate Change
25-26 January 2016/Olympic Hotel, Tehran

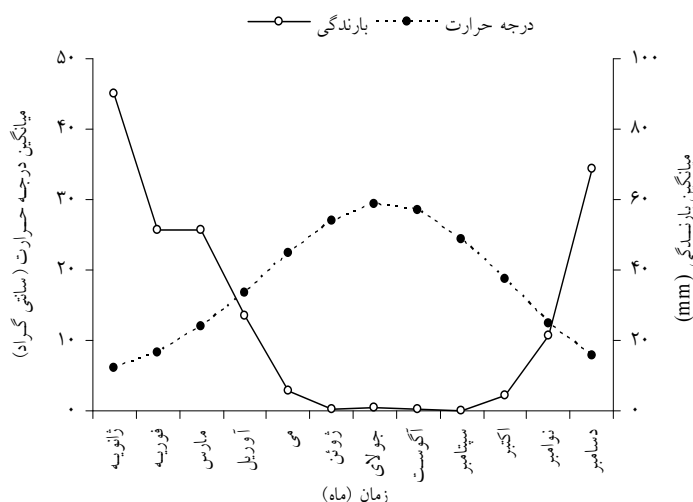
پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییرات اقلیم
تهران

تهران، هتل المپیک
۵-۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴

گرمایش جهانی، خشکسالی و طوفان‌های گرد و خاک: تهدیدی برای منطقه

۳. مشخصات ایستگاه مورد بررسی و داده‌های مورد استفاده

ایستگاه سینوپتیک شیراز واقع در استان فارس، دارای ارتفاع ۱۴۸۴ متر از سطح دریا با مختصات جغرافیایی طول ۵۲ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی می‌باشد. این ایستگاه با میانگین بارندگی ۳۲۰/۱ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۴۱ درصد و دمای ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد بر اساس اقلیم‌نماهای دوماستن و آمبرژه به ترتیب دارای آب و هوای نیمه‌خشک و خشک سرد می‌باشد. در این تحقیق آمار ماهانه‌ی متغیرهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد، ایستگاه سینوپتیک شیراز از ابتدای سال ۱۹۶۰ تا پایان سال ۲۰۱۴ میلادی از سازمان هواشناسی کشور اخذ و داده‌های مفقود بر اساس روش نسبت‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاه فسا برآورد گردید. بر اساس منحنی آمبروترمیک (شکل ۱) دوره‌ی خشک در این ایستگاه از اواسط آوریل تا اواسط نوامبر (به مدت ۷ ماه از سال) ادامه دارد. هم‌چنین دوره‌ی مرطوب از اواسط نوامبر تا اواسط آوریل (به مدت ۵ ماه از سال) ادامه می‌یابد.



شکل ۱- منحنی آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک شیراز طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴

۴. برآورد تبخیر و تعرق مرجع

روش پنمن-مونیت به دلیل دقت بالای نتایج آن در مقایسه با سایر روش‌ها در مناطق مختلف جهان، به عنوان صحیح‌ترین روش برآورد ET_0 پذیرفته شده است. این روش توسط کارشناسان سازمان فائو نیز به عنوان بهترین روش برای تعیین ET_0 پیشنهاد شده است. در این پژوهش روش پنمن-مونیت برای برآورد ET_0 انتخاب شده است زیرا این روش دو ترم تابشی و آیرودینامیک را بر پایه‌ی اصولی فیزیکی بهم مرتبط می‌سازد. در این روش پارامترهای پیش‌فرض معادله‌ی اصلی برای گیاه کوتاه فرضی با ارتفاع ۰/۱۲ متر استفاده شده است. معادله‌ی برآورد ET_0 از روش پنمن-مونیت در رابطه‌ی ۱ آورده شده است.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$



در رابطه ی ۱، T میانگین دمای روزانه ($^{\circ}C$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع ($kPa\ C^{-1}$)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، G چگالی شار گرمای خاک ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، γ ضریب سایکرومتری رطوبتی ($kPa\ C^{-1}$)، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری ($m\ s^{-1}$)، e_s فشار بخار اشباع (kPa) و e_a فشار بخار واقعی (kPa) می‌باشد [۱۹].

۵. آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق نسبت به متغیرهای هواشناسی

برای تعیین حساسیت ET_0 نسبت به متغیرهای هواشناسی معمولاً از منحنی‌های حساسیت استفاده می‌گردد که در آن‌ها با تغییر مقدار هریک از پارامترهای هواشناسی در نسبت‌های مختلف مقدار تغییرات ET_0 محاسبه و نسبت به هم در یک نمودار رسم می‌شوند. ایرماک (۲۰۰۶) ضرایب حساسیت را با تقسیم مقدار افزایش یا کاهش ET_0 به ازای یک واحد افزایش یا کاهش در مقدار هر یک از متغیرهای هواشناسی در مقیاس روزانه به شرح زیر محاسبه نمود:

$$SC' = \frac{\Delta ET_0}{\Delta CV} \quad (2)$$

که در آن SC' ضریب حساسیت، ΔCV یک واحد تغییر در متغیر هواشناسی و ΔET_0 مقدار تغییر در ET_0 محاسبه شده در اثر تغییر متغیر هواشناسی می‌باشد. برای بدست آوردن ضریب حساسیت بدون بعد، ضریب حساسیت SC' مطابق رابطه ی ۲ نرمال می‌شود.

$$SC = \frac{\Delta ET_0 / ET_0}{\Delta CV / CV} \quad (3)$$

که در آن SC ضریب بدون بعد حساسیت، ET_0 و CV مقادیر پایه و بدون تغییر می‌باشند. مقدار SC برابر با $0/10$ - نشان می‌دهد با ۱۰ درصد افزایش متغیر هواشناسی انتظار می‌رود ET_0 به مقدار ۱ درصد کاهش یابد [۲۰]. آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر ET_0 با تغییر هریک از متغیرهای هواشناسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی به مقدار ۵ درصد در بازه ی ۳۰- تا ۳۰+ (۱۲ سناریو) مطابق روش بیان شده انجام و با رسم نمودار درصد تغییرات ET_0 نسبت به درصد تغییر هریک از متغیرهای هواشناسی در هر ماه پارامترهای مهم موثر بر ET_0 تعیین شدند. در این روش هرچه شیب خط بدست آمده برای هر متغیر بیشتر باشد نشان‌دهنده ی حساسیت بیشتر مقدار ET_0 نسبت به آن متغیر می‌باشد.

۶. تعیین روند

تاکنون روش‌های مختلفی برای بررسی روند سری‌های زمانی ارائه گردیده که در دو دسته ی پارامتریک و ناپارامتریک طبقه‌بندی می‌شوند. روش‌های ناپارامتری برای بررسی وجود روند در سری پارامترهای اقلیمی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های بریده باشند از کارایی بالاتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردار است. در این پژوهش از آزمون‌های ناپارامتریک من- کندال و تخمین گر سن^۱ استفاده شده است.

آزمون ناپارامتریک من- کندال بر پایه مرتبه‌ی داده‌ها استوار است و یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری برای تحلیل روند داده‌هاست (۲۵). مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد. این آزمون توسط سازمان جهانی هواشناسی برای آشکارسازی و تعیین روند متغیرهای هواشناسی نیز توصیه شده است (۱۰). به منظور تعیین معنی‌داری روند از آماره این آزمون، (Z) از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن مقادیر مثبت و منفی Z به ترتیب نشان‌دهنده ی روندهای افزایشی و کاهشی می‌باشند. در صورتی $|Z| < Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد و در سطح مشخص شده داده‌ها دارای روند می‌باشند. معادلات و روابط آزمون من- کندال در پژوهش‌های مختلفی ارائه شده است که می‌توان به آن‌ها رجوع کرد [۶]، [۱۰]، [۱۳]، [۱۴]، [۲۱].

¹ Sen s estimator



سن (۱۹۶۸) با بسط و توسعه یک سری مطالعات آماری، یک روش ناپارامتریک را به منظور تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش تمام نقاط قوت روش من-کندال را دارد، بعلاوه این که در تحلیل روند سری‌های زمانی که در آن‌ها فراوانی داده‌های تکراری زیاد باشد از ارجحیت بیشتری نسبت به روش من-کندال برخوردار است و نتایج قابل قبول‌تری بدست می‌دهد. در این روش ابتدا شیب بین هر دو جفت داده مشاهداتی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

$$\beta = \text{median} \left(\frac{x_j - x_k}{j - k} \right) \quad (4)$$

که در آن x_j و x_k به ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی در زمان j و k ($k > j$) است. با اعمال رابطه فوق برای هر جفت داده یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید که از محاسبه‌ی میانه این سری زمانی شیب خط روند، β حاصل می‌گردد. مقدار مثبت β صعودی بودن و مقدار منفی آن نزولی بودن روند را نشان می‌دهد. در ادامه پارامتر C_α در سطح اطمینان مورد نظر از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{var}(S)} \quad (5)$$

که در آن $\text{var}(S)$ از روابط آزمون من-کندال محاسبه می‌گردد. هم‌چنین $Z_{1-\alpha/2}$ از توزیع نرمال استاندارد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطح اطمینان مورد آزمون به دست می‌آید. سپس حدود اعتماد بالا و پائین M_1 و M_2 با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌گردد:

$$M_1 = \frac{N' + C_\alpha}{2} \quad (6)$$

$$M_2 = \frac{N' - C_\alpha}{2} \quad (7)$$

در روابط فوق N' تعداد شیب‌های محاسبه شده می‌باشد که برابر با $n(n-1)/2$ می‌باشد، M_1 و M_2 به ترتیب شیب‌های متناظر با حدهای بالا و پائین اطمینان هستند. اگر مقادیر M_1 و M_2 به گونه‌ای باشد که عدد صفر بین آن‌ها قرار گیرد، به عبارت دیگر یکی مثبت و دیگری منفی باشد، فرض صفر پذیرفته شده و سری زمانی هیچ‌گونه روندی نخواهد داشت [۱۳]، [۲۱].

۷. آزمون تعیین نقطه جهش پیت

روند، یکی از مشخص‌ترین عواملی است که باعث ناهمگنی سری‌های اقلیمی می‌شود. آزمون پیت به منظور شناسایی جهش در مقدار میانگین داده‌ها در طول زمان و معمولاً پس از این که معنی‌داری روند با آزمون من-کندال در سطوح مختلف تایید شد بکار می‌رود. مقدار آماره‌ی این آزمون از رابطه‌ی ۸ برآورد می‌گردد.

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^T \text{sgn}(x_j - x_i), \quad 1 \leq t \leq T \quad (8)$$

در این رابطه T طول دوره‌ی آماری و $\text{sgn}(\theta)$ مشابه روابط آزمون من-کندال می‌باشد. در این آزمون مهم‌ترین نقطه‌ی معنی‌دار جهش در جایی تعیین می‌شود که مقدار $|U_{t,T}|$ برابر بیشینه گردد: $K_t = \max |U_{t,T}|$ و سطح معنی‌داری از رابطه‌ی ۹ محاسبه می‌شود.

$$p = 2 \exp \left[-6K_t^2 / (T^2 + T^3) \right] \quad (9)$$

در این رابطه هرچه آماره‌ی p به صفر نزدیک‌تر باشد اختلاف میانگین سری قبل از جهش و بعد از جهش معنادارتر می‌شود و در سطح ۹۵ درصد به ازای مقادیر P-value کوچکتر از ۰/۰۵ معنی‌دار تلقی می‌شود [۲۲].



5th
Regional Conference on Climate Change
25-26 January 2016/Olympic Hotel, Tehran

پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییرات اقلیم

تهران، هتل المپیک
۵-۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴

گرمایش جهانی، خشکسالی و طوفان‌های گرد و خاک: تهدیدی برای منطقه

۸. روش گرافیکی LOWESS

روش‌های گرافیکی مولفه‌ی مهمی را در تجزیه و تحلیل سری‌های آماری تشکیل می‌دهند. بسیاری از روش‌های گرافیکی از تکنیک نمودار پراکنش وزن‌دار محلی هموار^۱ (LOWESS) بهره می‌برند. روش LOWESS یک روش آماری گرافیکی ناپارامتریک است که برای نشان دادن روند در سری زمانی داده‌ها استفاده می‌شود. این روش هیچ رابطه یا مدل معینی را برای سری داده‌ها تصور نمی‌کند. در عوض یک الگوریتم رگرسیون وزنی متناوب را برای برآورد هر کدام از داده‌های سری زمانی با استفاده از داده‌های مجاور استفاده می‌کند. وزن اختصاص داده شده برای هر کدام از داده‌های مجاور متناسب با دوری و نزدیکی آن‌ها به داده‌ای است که مقدار آن برآورد می‌گردد [۲۳]. در روش LOWESS از رابطه‌ی رگرسیونی برای برآورد هر کدام از داده‌های سری زمانی استفاده می‌شود. سپس داده‌های برآورد شده به یکدیگر وصل می‌شوند تا منحنی هموار LOWESS بدست آید. سپس از روی منحنی هموار شده می‌توان تغییرات زمانی یا روند داده‌ها را با مشاهده چشمی تشخیص داد.

۹. نتایج الگوهای تغییر متغیرهای هواشناسی و تبخیر و تعرق

در شکل ۲ نمودار جعبه‌ای برای هر یک از متغیرهای هواشناسی و مقدار ET_0 محاسبه شده از روش پنمن-مونیتث در طول ماه‌های مختلف سال برای ایستگاه سینوپتیک شیراز طی ۵۵ سال مورد بررسی ارائه شده است. به طور کلی انتظار می‌رود که با افزایش متغیرهای دما، تابش خورشیدی و سرعت باد و کاهش مقدار رطوبت نسبی مقدار ET_0 افزایش یابد. الگوی مشاهده شده برای متغیرهای هواشناسی در شکل ۲ تا حد زیادی در تناسب با این انتظار می‌باشد. بر اساس این شکل، الگوی افزایشی ET_0 از ابتدای ماه ژانویه آغاز و طی ماه‌های ژوئن و جولای به بیشینه مقدار خود می‌رسد سپس در یک شاخه‌ی پائین‌رونده تا پایان ماه دسامبر روند کاهشی آن ادامه دارد. الگوی مشابهی برای متغیرهای دمای حداقل و حداکثر و تعداد ساعات آفتابی با مشابهت رفتاری بالا و در تناسب زیاد با الگوی تغییرات ET_0 مشاهده شده است. برای متغیر رطوبت نسبی مقدار بیشینه‌ی آن از ماه ژانویه شروع و به مقدار کمینه طی ماه‌های ژوئن و جولای می‌رسد سپس در یک شاخه‌ی بالا‌رونده مقدار آن به بیشینه مقدار در ماه دسامبر افزایش می‌یابد که الگوی مشاهده شده در تطابق با انتظار کاهش مقدار ET_0 با افزایش مقدار رطوبت نسبی می‌باشد. دامنه‌ی تغییرات متغیر سرعت باد نسبت به سایر متغیرهای هواشناسی طی ماه‌های مختلف سال دارای تغییرات افزایشی و کاهشی کمتری می‌باشد به طوری که روند افزایشی آن از ماه ژانویه شروع و در ماه می به حداکثر مقدار خود می‌رسند و سپس کاهش می‌یابد. الگوی تغییرات سرعت باد با درجه مشابهت رفتاری کمتر نسبت به سایر متغیرها در تناسب با الگوی تغییرات ET_0 می‌باشد.

۱۰. نتایج آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق نسبت به متغیرهای هواشناسی

نتایج آنالیز حساسیت مقدار ET_0 نسبت به تغییر هر یک از متغیرهای هواشناسی طی ماه‌های مختلف سال (۱۲ ماه) در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. در این شکل‌ها درصد تغییرات مقدار ET_0 در محور عمودی نسبت به درصد تغییر برای هر یک از متغیرهای هواشناسی در سناریوهای مختلف (۱۲ سناریو) از ۳۰- تا ۳۰+ با گام افزایشی ۵ درصد در محور افقی رسم شده‌اند. در شکل‌های مذکور مقدار ضریب حساسیت هر متغیر را می‌توان با محاسبه‌ی شیب هر خط که بیانگر تغییرات ET_0 نسبت به افزایش متغیر هواشناسی می‌باشد به صورت عددی محاسبه نمود اما به صورت کیفی نیز هر متغیری که دارای شیب تغییرات بیشتری باشد به عنوان حساس‌ترین متغیر انتخاب شده می‌گردد. بر اساس نتایج شکل‌های بدست آمده طی ماه‌های مختلف سال حساسیت مقدار ET_0 نسبت به متغیرهای هواشناسی تا حدودی با هم متفاوت می‌باشد به طوری که طی ماه‌های مرطوب بر اساس منحنی آمبروترمیک ارائه شده در شکل ۱، نقش رطوبت نسبی نسبت به مقدار دمای حداکثر برجسته‌تر می‌شود و در ماه‌های خشک این نقش کم‌رنگ‌تر می‌گردد. در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس

¹ Locally Weighted Scatter plot Smoothing



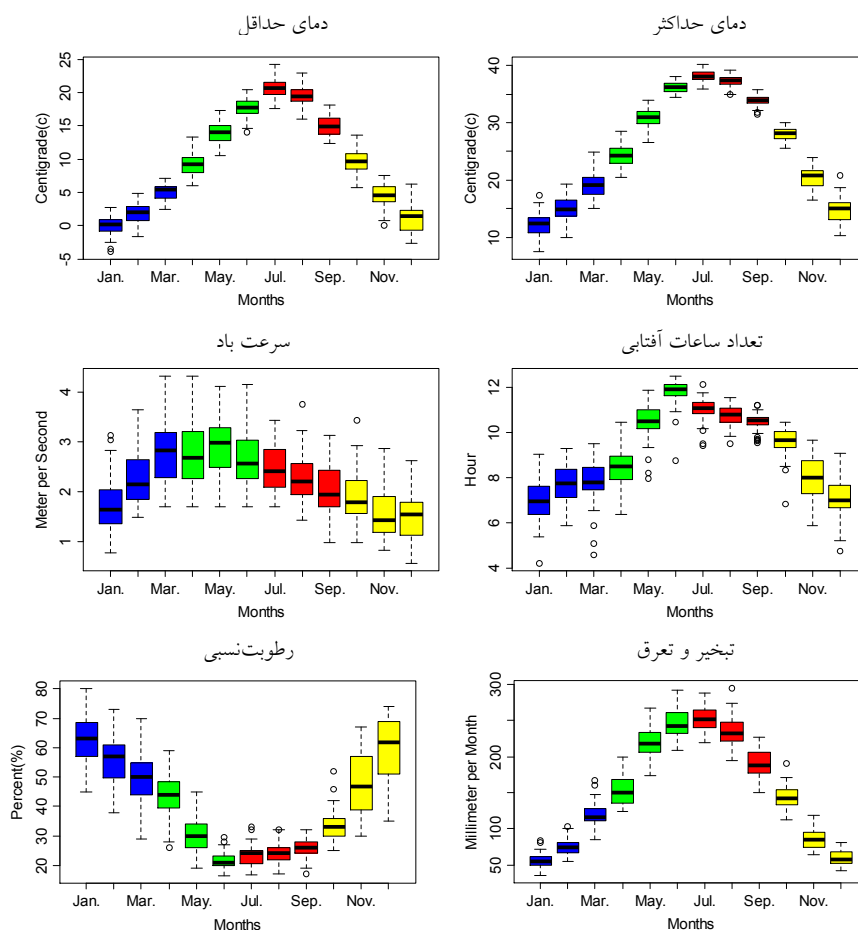
5th
Regional Conference on Climate Change
25-26 January 2016/Olympic Hotel, Tehran

پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییرات اقلیم

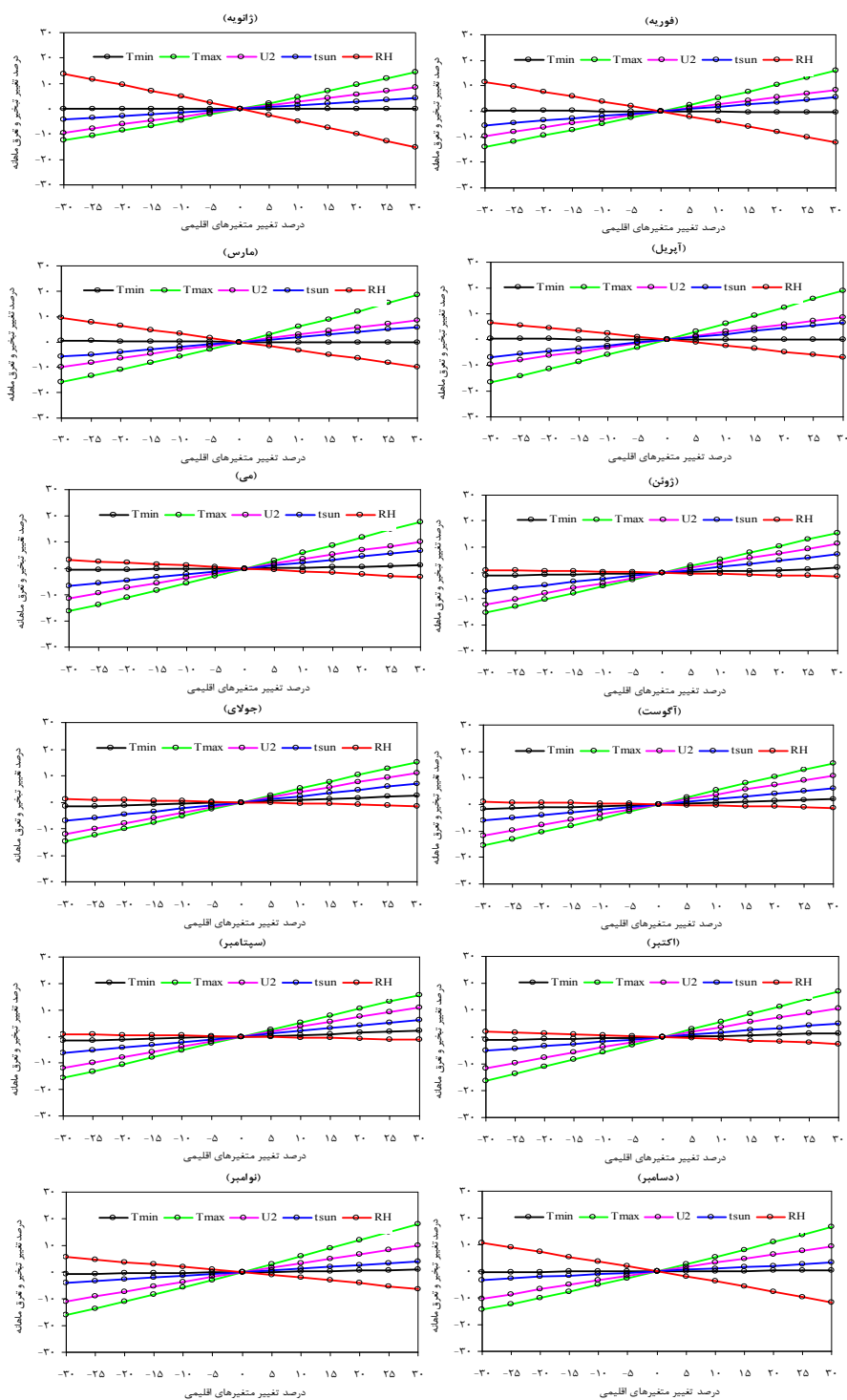
تهران، هتل المپیک
۵-۶ بهمن‌ماه ۱۳۹۴

گرمایش جهانی، خشکسالی و طوفان‌های گرد و خاک: تهدیدی برای منطقه

که برابر با ماه‌های دوره‌ی مرطوب سال در این ایستگاه می‌باشند متغیرهای دمای حداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد با بیشترین شب دارای حساس‌ترین ضرایب در برآورد ET_0 می‌باشند و متغیرهای تعداد ساعات آفتابی و دمای حداقل در مرتبه‌ی بعدی حساسیت قرار دارند. برای ماه‌های واقع در دوره‌ی خشک که از آوریل تا نوامبر ادامه دارند نقش متغیر رطوبت نسبی کمتر می‌شود و متغیرهای سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی اهمیت بیشتری می‌یابند به طوری که ترتیب حساسیت متغیرهای هواشناسی با بیشترین شب تغییرات به متغیرهای دمای حداکثر، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی اختصاص دارد و جایگاه متغیرهای هواشناسی رطوبت نسبی و دمای حداقل از نظر اهمیت طی ماه‌های دوره‌ی خشک متفاوت می‌باشد به طوری که طی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر که دارای بیشترین مقدار دمای حداقل و کم‌ترین مقدار رطوبت نسبی (شکل ۲) می‌باشند اهمیت دمای حداقل بیشتر از متغیر رطوبت نسبی می‌باشد اما طی ماه‌های اکتبر، نوامبر و آوریل با افزایش مقدار رطوبت اهمیت و حساسیت آن در برآورد ET_0 نسبت به دمای حداقل فزونی می‌یابد و در مرتبه‌ی چهارم از متغیرهای حساس قرار می‌گیرد.



شکل ۲- نمودارهای جعبه‌ای متغیرهای اقلیمی موثر بر ET_0 در ایستگاه سینوپتیک شیراز طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴

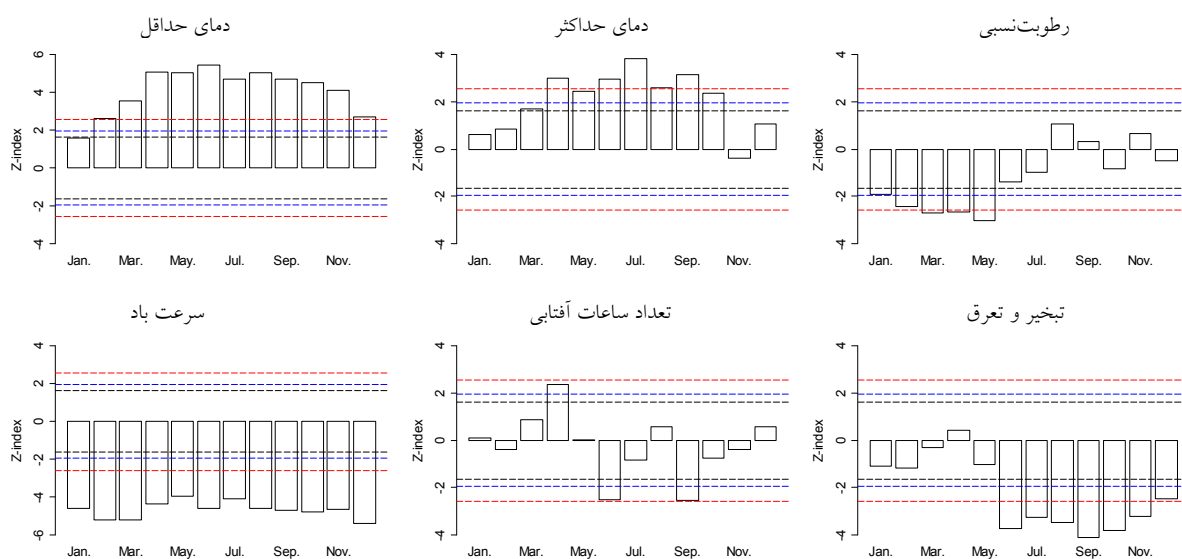


شکل ۳- آنالیز حساسیت مقدار ET_0 به هر یک از متغیرهای اقلیمی طی ماه‌های مختلف سال در ایستگاه شیراز



۱۱. نتایج روند تبخیر و تعرق و متغیرهای هواشناسی

نتایج تعیین روند برای هریک از متغیرهای هواشناسی و مقادیر ET_0 طی ماه‌های مختلف سال با تعیین آماره Z بر اساس آزمون من کندال در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. در این شکل سطوح معنی‌داری ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد بر اساس آزمون دو دامنه به ترتیب برابر با ۱/۶۴، ۱/۹۶ و ۲/۵۸ تعیین شده‌اند که به صورت خطوط نقطه‌چین برای تعیین سطح معنی‌داری روند نیز ترسیم شده‌اند. برپایه‌ی نتایج بدست آمده متغیر دمای حداقل در تمامی ماه‌های سال دارای روند افزایشی می‌باشد به طوری که روند مشاهده شده برای تمامی ماه‌های سال به جز ماه ژانویه در سطح ۹۵ درصد و بیشتر معنی‌دار می‌باشند. بررسی روند متغیر سرعت باد نشان دهنده‌ی روندهای کاهشی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد و بیشتر برای تمامی ماه‌ها در ایستگاه سینوپتیک شیراز می‌باشد. روند مشاهده شده برای متغیر دمای حداکثر طی ماه‌های مختلف به جز ماه نوامبر افزایشی و طی ماه‌های مارس تا اکتبر در سطح ۹۰ درصد و بیشتر این روند معنی‌دار نیز می‌باشند. بررسی روندهای بدست آمده برای متغیر رطوبت نسبی برای بیشتر ماه‌های سال از نوع کاهشی می‌باشند که طی ماه‌های ژانویه تا می در سطح ۹۵ درصد و بیشتر نیز معنی‌داری می‌باشند. برای متغیر ساعات آفتابی روندهای بدست آمده طی ماه‌های آوریل، ژوئن و سپتامبر به ترتیب افزایشی، کاهشی و کاهشی می‌باشند و در سطح ۹۵ درصد و بیشتر معنی‌دار می‌باشند این در حالی است که برای سایر ماه‌ها مقادیر روند از آماره‌ی Z ناچیز افزایشی با کاهشی برخوردارند. بررسی مقادیر روند ET_0 طی ماه‌های مختلف سال (به جز ماه آوریل) نشان دهنده‌ی روندهای کاهشی در ایستگاه شیراز می‌باشند به طوری که روندهای کاهشی طی ماه‌های ژوئن تا دسامبر در سطح ۹۵ درصد و بیشتر نیز معنی‌داری را نشان می‌دهند.



شکل ۴- مقادیر روند و سطحی معنی‌داری ET_0 و متغیرهای هواشناسی طی ماه‌های مختلف بر اساس آزمون من-کندال

نتایج آزمون ناپارامتری تخمین‌گر سن برای تعیین شیب خط روند و معنی‌داری آن برای مقادیر ET_0 در جدول ۱، آورده شده است. بر اساس نتایج این آزمون مقدار شیب خط روند ET_0 طی ماه‌های مختلف سال به جز آوریل منفی بدست آمدند که بیانگر شیب کاهشی می‌باشند. هم‌چنین بررسی معنی‌داری شیب بدست آمده برای ماه‌های مختلف سال نشان دهنده‌ی معنی‌داری شیب روند طی ماه‌های ژوئن تا دسامبر در سطح ۹۵ درصد می‌باشد. زیرا حدود بالا و پائین شیب در سطح مورد نظر هر دو منفی بدست آمده‌اند. بررسی نتایج بدست آمده از آزمون سن با نتایج بدست آمده از آزمون من-کندال در تطابق می‌باشد.

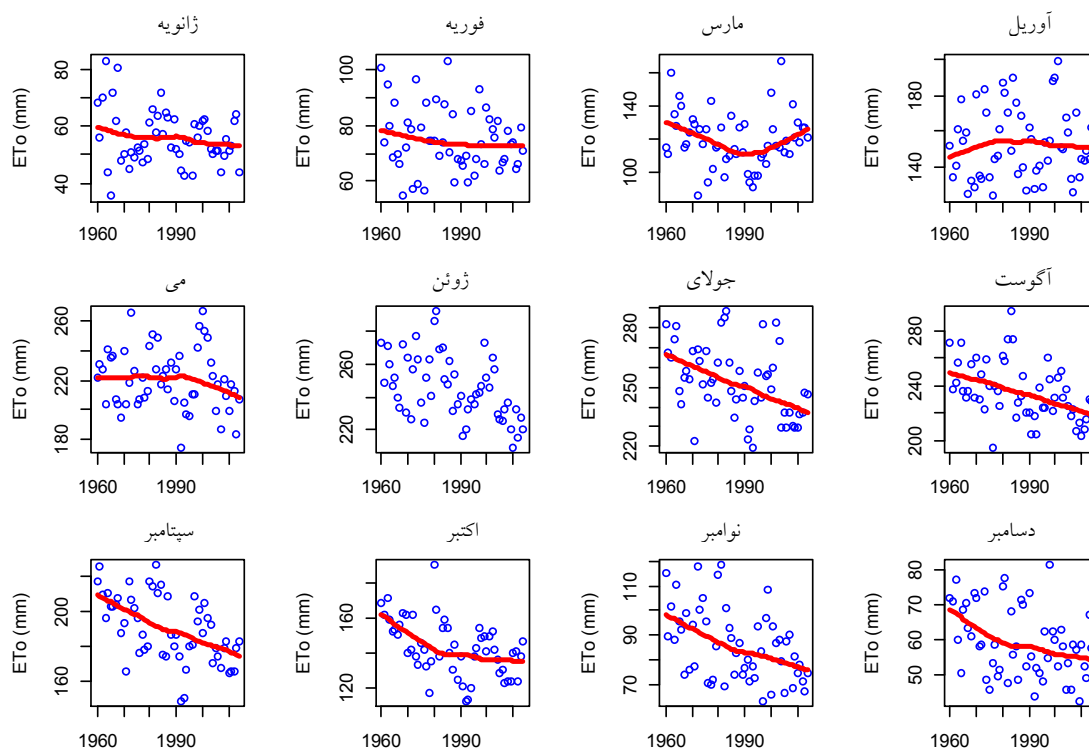


جدول ۱- نتایج آزمون سن برای تعیین شیب خط روند و معنی‌داری آن

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	آماره
-۰/۲۳۰	-۰/۴۰۴	-۰/۴۹۲	-۰/۶۵۴	-۰/۵۶۶	-۰/۵۰۴	-۰/۶۱۳	۰/۲۱۰	۰/۰۶۴	-۰/۰۴۵	-۰/۱۱۲	-۰/۰۸۵	β
-۰/۰۴	-۰/۱۷	-۰/۲۶	-۰/۳۷	-۰/۲۸	-۰/۲۳	-۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۰۷	M_1
-۰/۴۰	-۰/۶۳	-۰/۷۲	-۰/۹۲	-۰/۸۹	-۰/۷۶	-۰/۹۳	-۰/۵۵	-۰/۳۱	-۰/۳۴	-۰/۳۲	-۰/۲۸	M_2

۱۲. نتایج تعیین نقطه جهش در سری‌های تبخیر و تعرق ماهانه

در ادامه‌ی این پژوهش نتایج چگونگی روند و تعیین نقطه‌ی احتمالی جهش در مقادیر سری‌های ET_0 هر ماه بر اساس روش گرافیکی LOWESS شکل ۵ نشان داده شده‌اند. بر اساس نتایج آن محنی‌های هموار شده برای ماه‌های جولای تا سپتامبر و نوامبر تا دسامبر دارای الگوی مشابهی می‌باشند به طوری که این الگو دارای محنی کاهشی با یک نقطه‌ی جهش تقریبی در سال ۱۹۸۶ یا ۱۹۸۷ می‌باشد. شیب منحنی LOWESS قبل از سال‌های ذکر شده تندتر و پس از آن برای ماه‌های سپتامبر تا دسامبر هموارتر می‌گردد. منحنی‌های LOWESS طی ماه‌های ژانویه، فوریه و آوریل تقریباً هموار می‌باشند و جهش ناگهانی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود هرچند در ماه مارس این منحنی هموار حالت تقعر بیشتری به خود می‌گیرد. بررسی منحنی‌های LOWESS تا حد زیادی برای ماه‌هایی که مقدار روند ET_0 معنی‌دار بوده است نشان‌دهنده‌ی شیب بیشتر منحنی و به طور مشخص برای ماه‌های سپتامبر تا دسامبر نقطه‌ی تغییر در سری تبخیر و تعرق (سال ۱۹۸۶) نیز قابل مشاهده است.



شکل ۵- منحنی‌های LOWESS برای سری‌های ET_0 طی ماه‌های مختلف سال



برای تعیین دقیق‌تر نقطه‌ی تغییر احتمالی شکست در سری‌های معنی‌دار تبخیر و تعرق طی ماه‌های ژوئن تا دسامبر (شکل ۴ و جدول ۱) از آزمون نقطه‌ی جهش پیت استفاده شده است که نتایج آن برای ماه‌های مذکور در جدول ۲ آورده شده‌اند. بر پایه‌ی نتایج آن مقدار آماره‌ی p -value برای ماه‌های مذکور کمتر از ۰/۰۵ و برای بیشتر آن‌ها نزدیک به صفر بدست آمده است که نشانگر تفاوت میانگین سری‌های تبخیر و تعرق در ماه‌های قبل و بعد از نقطه‌ی جهش می‌باشد. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد برای ماه‌های ژوئن تا نوامبر سال جهش تقریباً در اطراف سال ۱۹۸۵ به وقوع پیوسته است و برای ماه دسامبر سال جهش برابر ۱۹۷۳ به دست آمده است. نتایج نقطه جهش پیت برای سال ۱۹۸۵ تقریباً با نتایج روش گرافیکی LOWESS در ماه‌های متناظر ارتباط نزدیکی دارند تا حد زیادی یکسان می‌باشند.

جدول ۲- نتایج آزمون پیت برای سری‌های ET_0 در ماه‌های دارای روند

مقادیر آماره‌ها	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
K	۴۵۴	۴۲۶	۴۷۲	۵۰۰	۴۵۸	۳۷۴	۳۳۲
P-value	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴
نقطه جهش	۱۹۸۶	۱۹۸۴	۱۹۸۴	۱۹۸۴	۱۹۸۵	۱۹۸۶	۱۹۷۳

۱۳. نتیجه‌گیری

در این پژوهش آنالیز حساسیت مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده از روش پنمن- مونتیت نسبت به متغیرهای هواشناسی موثر بر آن برای ایستگاه سینوپتیک شیراز طی یک دوره‌ی ۵۵ ساله (سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴) در مقیاس ماهانه بررسی شده است. هم‌چنین با تعیین روند متغیرهای هواشناسی و ET_0 بر اساس آزمون‌ها ناپارامتری من-کندال و سن در سطوح مختلف، نقطه‌ی جهش احتمالی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بر پایه‌ی نتایج بدست آمده از آنالیز حساسیت، طی ماه‌های خشک سال که از آوریل تا نوامبر ادامه دارند متغیرهای دمای حداکثر، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی حساس‌ترین متغیرهای هواشناسی بدست آمدند و برای ماه‌های مرطوب که در بازه‌ی زمانی دسامبر تا مارس واقع شده‌اند متغیرهای هواشناسی دمای حداکثر، رطوبت‌نسبی و سرعت باد حساس‌ترین متغیرها می‌باشند. پژوهش‌های مختلفی روند کاهشی مقدار ET_0 را در نقاط مختلف جهان گزارش کردند که بر اساس نتایج آن‌ها روندهای کاهشی سرعت باد و تابش خورشیدی و روند افزایشی رطوبت‌نسبی موثرترین پارامترها بر روند مشاهده شده بودند. در ایستگاه شیراز روندهای کاهشی معنی‌دار مشاهده شده برای ماه‌های ژوئن تا دسامبر با روندهای کاهشی معنی‌دار سرعت باد به عنوان دومین متغیر موثر در ماه‌های خشک تا حد زیادی مطابقت دارد از طرف دیگر نتایج برخی از پژوهش‌ها که در ارتباط با متغیرهای اقلیمی موثر بر ET_0 در ایران انجام گرفته‌اند و متغیر سرعت باد را به عنوان حساس‌ترین پارامتر معرفی نموده‌اند [۱۴]، [۱۰]، [۱۳]. اسلامیان و همکاران [۱۸] بیان می‌دارند با کاهش رطوبت‌نسبی، نقش متغیر سرعت باد در برآورد ET_0 افزایش می‌یابد. نتایج ایستگاه شیراز از نظر اهمیت نقش متغیر باد در روند مشاهده شده با نتایج فوق مطابقت دارد. بر پایه‌ی نتایج آزمون پیت، سال ۱۹۸۵ به‌عنوان سال جهش در سری‌های ماهانه‌ی ET_0 بدست آمد که بر اساس آن میانگین‌های سری‌های ماهانه‌ی تبخیر و تعرق در سال‌های قبل و بعد از این نقطه تفاوت معنی‌داری با هم دارند و تا حد زیادی با نتایج روش گرافیکی LOWESS مطابقت دارد.

۱۴. قدردانی

این پژوهش در راستای انجام بخشی از طرح پژوهشی شماره ۲ با کد ۲۴۵۰۱ انجام شده است. بدین وسیله از حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد که زمینه انجام این تحقیق را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.



۱۵. مراجع

- [1] IPCC. (2007), "Synthesis Report 2007: AR4, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- [2] Chattopadhyay N, Hulme M. (1997), "Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change" *Agricultural and Forest Meteorology*, 87 (1): 55–72.
- [3] Gan, T.W. (1998), "Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian prairies" *Water Resources Research*, 34 (11), 3009–3015.
- [4] Xu CY, Gong L, Jiang T, Chen D, Singh VP (2006), "Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment" *Journal of Hydrology*, 327(1): 81–93.
- [5] Zhang, Y., Liu, C., Tang, Y. and Yang, Y. (2007), "Trends in pan evaporation and reference and actual evapotranspiration across the Tibetan Plateau" *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112: D12110.
- [6] Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Raghuwanshi, NS., Singh, R. (2009), "Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India" *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5): 508–518.
- [7] Song, Z.W., Zhang, H.L., Snyder, R.L., Anderson, F.E., Chen, F. (2010), "Distribution and trends in reference evapotranspiration in the north China plain" *Journal of irrigation and drainage engineering*, 136 (4): 240–247.
- [8] Jhajharia, D., Shrivastava, S.K., Sarkar, D., Sarkar, S., (2009), "Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India". *Agricultural Forest Meteorology*, 149, 763–770.
- [9] Burn, D.H. and Hesch, N.M. (2007), "Trends in evaporation for the Canadian Prairies". *J Hydrol* 336 (1–2): 61–73.
- [10] Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V.P., Kahya, E. (2011), "Trends in reference crop evapotranspiration over Iran". *J Hydrol* 399(3–4): 422–433.
- [11] Hess, T.M. (1998), "Trends in reference evapo-transpiration in the North East Arid Zone of Nigeria, 1961–1991". *Journal of Arid Environment* 38, 99–115.
- [12] Yu, P.S., Yang, T.C. and Chou, C.C. (2002), "Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in southern Taiwan" *Climate Change*, 54, 165–179.
- [13] Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Hosseinzadeh Talaei, P., Mohammadi, K. (2011), "Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran". *Agric Forest Meteorol*, 151: 128–136.
- [14] Nafarzadegan, A.R., Ahani, H., Singh, V.P., Kherad, M. (2013) "Parametric and non-parametric trend of reference evapotranspiration and its key influencing climatic variables (case study: southern Iran)" *ECOPERSIA*, 1(2): 123–144.
- [15] Chen, J.M., Chen, X., Ju, W. and Geng, X. (2005), "Distributed hydrological model for mapping evapotranspiration using remote sensing inputs" *J Hydrol* 305(1–2): 15–39.
- [16] Thomas, A. (2000), "Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China" *International Journal of Climatology*, 20: 381–396.
- [17] Sharifi, A. and Dinpashoh, Y. (2014), "Sensitivity analysis of the penman-monteith reference crop evapotranspiration to climatic variables in Iran", *Water Resour Manage*, 28 (): pp 5465–5476.
- [18] Eslamian S, Khordadi MJ, Abedi-Koupai J (2011), "Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions". *Global and Planetary Change* 78(3): 188–194.
- [19] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) "Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements". *FAO Irrigation and Drainage Paper* 56, Rome, Italy, 300 p
- [20] Zhang, X., Kang, S., Zhang, L., and Liu, J. (2010), "Spatial variation of climatology monthly crop reference evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China" *Agricultural water management*, 97(10), 1506–1516.



- [21] Partal, T., Kahya, E. (2006), "Trend analysis in Turkish precipitation data". Hydrol Process 20: 2011–2026.
- [22] Pettitt, A.N. (1979), "A non-parametric approach to the change-point problem" Applied Statistics 28, 126-135.
- [23] Helsel D.R., and Hirsch R.M. (1992), "Statistical methods in water resources" (Vol. 49). Elsevier,