تحلیل روند تغییرات اقلیمی استان قم و پیامدهای آن

حسن دارابی [۱*]، عباس جعفری[۲]، کیمیا اخوان فرشچی[۳]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی طراحی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران darabih@ut.ac.ir
۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران jafari83@ut.ac.ir
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۵

چکیده

نگرانی های زیادی در استان قم به عنوان یکی از کم بارش ترین استان های کشور برای خطر وقوع خشکسالی شدید و تغییر اقلیم وجود دارد. لذا ضروری است، روند تغییرات عناصر شاخص اقلیمی بررسی و در جهت مدیریت و برنامه ریزی و توسعه صحیح استان مورد توجه قرار گیرد. بدین منظور، با استفاده از روش آماری من-کندال، تعدادی از مؤلفه های اقلیمی طی سال های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲ در این منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می دهد، میانگین حداقل و متوسط دمای سالانه دچار جهش اقلیمی شده و روند تغییرات معنی دار افزایشی در سطح ۹۹ درصد دارند، میزان بارتدگی سالانه فاقد روندی معنی دار می باشد. میانگین رطوبت نسبی سالانه نوسان زیادی داشته است و در سال ۱۳۸۹ پس از یک تغییر ناگهانی، روندی افزایشی و معنی داری را در سطح ۹۵ درصد اطمینان دنبال می کند. میانگین سرعت باد نیز روندی افزایشی را از سال ۱۳۸۰داشته است و در سطح ۹۵درصد معنی دار شده است، اما تا سال ۱۳۹۲ جهش اقلیمی در آن رخ نداده است. در اکثر موارد روند معنی دار افزایشی و تغییرات ناگهانی اقلیمی طی چهار سال اخیر صورت گرفته است. وقوع بارش‌های رگباری و سیل آسا، خطر فرسایش آبی و بادی، گسترش بیابانها و کویر، تشدید پدیده خشکسالی و کاهش منابع آبی و افت سطح آبهای زیر زمینی و کاهش کیفیت آن از تبعات منفی تغییرات اقلیمی نتایج این پدیده است.

کلمات کلیدی

"روندیابی"، "تغییرات اقلیمی"، "آزمون من-کندال"، "استان قم".

۱- مقدمه

در طول قرن بیستم آب و هوای زمین تعادل خود را از دست داده و دما رو به افزایش گذاشته است و اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی در حال وقوع است(Dracup & Vicuma,2005). دتینگر و همکاران در سال ۲۰۰۴ بیان می کنند که افزایش دمای جهانی به علت افزایش گازهای گلخانه ای در اتمسفر است(Dettinger, et al., 2004) و ریزگردهای جو در قرن بیست و یکم آن را تقویت نموده است. از سوی دیگر سیستم های انسانی از جمله صنایع بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی می شوند(علیجانی و قویدل، ۱۳۸۴) که تشدید کننده وضعیت هستند. پیامدهای تغییر اقلیم همچون خشکسالی، سیلاب های شدید و ناگهانی، امواج هوای سرد و گرم کره زمین را با بحرانهای مختلف مواجه کرده است(عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷). تغییر اقلیم باعث تغییر در عناصر اقلیمی بویژه دما و بارش در مناطق مختلف می شود. تغییرات دما و بارش در نقاط مختلف زمین از روند یکسانی تبعیت

نمی کنند و تغییر اقلیم الزاماً به معنای تغییر همزمان بارش و دما نمی‌باشد(Clark, 2003). مقدار، توزیع و تغییرات زمانی–مکانی بارش و دما از عوامل اساسی برای تصمیم گیری، مدیریت، برنامه ریزی و طراحی بویژه در مناطقی همچون کشور ایران است که به لحاظ جغرافیایی در نوار عرضی ۲۸ تا ۴۸ درجه شمالی قرار دارد و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است.

استان قم به عنوان یکی از کم بارش ترین استان های کشور، با مسایلی چون افزایش جمعیت و توسعه فعالیت های صنعتی و کشاورزی، کاهش بارندگی، افزایش دما و باد و بهره برداری از منابع آب زیر زمینی طی سال های اخیر مواجه شده است(آبدار اصفهانی، ۱۳۹۳) ، نگرانی های زیادی برای خطر وقوع خشکسالی شدید و تغییر اقلیم وجود دارد. لذا ضروری است، روند تغییرات عناصر شاخص اقلیمی بررسی و در جهت مدیریت و برنامه ریزی و توسعه صحیح استان مورد توجه قرار گیرد. در این پژوهش داده های آماری ۲۵ ساله ایستگاه شکوهیه قم برای شناسایی تغییرات ناگهانی و روند احتمالی تغییرات فاکتورهای اقلیمی بررسی می شود. هدف این تحقیق آشکار سازی تغییرات احتمالی در سری های زمانی است. آشکار سازی این تغییرات برای تصمیم گیری و برنامه ریزی تعیین کننده است.

پژوهش های متعددی در نقاط مختلف دنیا برای شناسایی تغییرات و روندهای احتمالی اقلیم صورت گرفته است و ثابت شده است که روند تغییرات از جایی به جای دیگر متفاوت است. در برخی نقاط کاهش بارش و افزایش دما درحالی که در برخی مناطق دیگر افزایش بارش و کاهش دما را تجربه کرده اند. نتایج بسیاری از پژوهش ها در مورد بارندگی های سالانه، فصلی و ماهانه روند افزایشی یا کاهشی را نشان داده اند اما بیشتر این روند ها از نظر آماری معنی دار نیستند. دما در کنار بارش در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است و از عوامل اصلی و اساسی در پهنه بندی اقلیمی محسوب می شود(علیجانی و قویدل ۱۳۸۴). لذا پژوهش های متعددی در زمینه افزایش متوسط دمای جهانی و منطقه ای صورت گرفته است. جدول ۱ و ۲ نگاهی اجمالی به نتایج برخی پژوهش های صورت گرفته در جهان و ایران درباره تغییر اقلیم دارد. آنچه در تحقیقات مشابه تاکید شده است نشان از وجود تغییرات دارد که ماهیت آنها بسته به زمان و مکان متفاوت است. از سوی دیگر شدت و روند تغییرات از الگوهای مختلفی تبعیت می کند.

جدول ۱- پیشینه پژوهش در جهان

ماخذ	فاکتورهای اقلیمی	مقیاس زمانی	محل پژوهش	دوره زمانی	نتایج کلی
(Mondal, et al, 2012)	تغییر روند بارش	بارش ماهانه	هندوستان	۱۹۷۱-۲۰۱۰	نرخ افزایشی بارش در برخی ماه ها و روند کاهشی در برخی دیگر از ماه ها،تغییر ناچیز در منطقه
(Chen, et al., 2007)	روند زمانی و پراکنش فضایی دما و بارش	سالانه و فصلی	چین	۱۹۵۱-۲۰۰۳	بارش فاقد روند، دما با روند افزایشی، روند کاهشی متوسط سالانه، بهار و زمستان روان آبها افزایش روان آب در تمام فصول بین سالهای ۲۰۵۰-۲۰۲۱
(Amani & Tmimi,2013)	متوسط سالانه دما	سالانه	عراق (بغداد- بصره- موسل- القایم)	۱۹۹۳-۲۰۰۹	روند افزایشی در بارش
(Wang, et al., 2014)	دما، رطوبت نسبی باد		چین	۱۹۵۴-۲۰۱۲	روند افزایشی چشمگیر دما، کاهش شدید رطوبت نسبی و سرعت باد

(Blain, 2014)	بارش دما	ماهانه حداقل و حداکثر	برزیل	-	رد فرض فقدان تغییر اقلیم در محل
(Danneberg, 2012)	دما بارش متوسط، حداکثر و حداقل روان‌آب	سالانه، تابستانه و زمستانه	تورینجیا- آلمان	۱۹۴۹-۱۹۹۹	دما در تابستان گرمتر و خشک تر در زمستان مرطوب‌تر، روند افزایشی در روان آب، شاخصهای تابستانه نشان دهنده روند کاهشی
(Karmeshu, 2012)	دما و بارش	سالانه	شمال ایالات متحده	۱۹۰۰-۲۰۱۱	روند افزایشی چشمگیر در دما به استثنای دو ایالت، (پیسیلوانیا و مین)، روند افزایشی چشمگیر آماری در بارش به استثنای دو ایالت(همشایر و مین)
(Safari, 2012)	دما	سالانه	رواندا	۱۹۸۵-۲۰۱۰	روند خنک شدن چشمگیر در دوره ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۷، ثبات از۱۹۷۹ تا۱۹۷۷، روند گرم شدن چشمگیر برای دوره بعد از ۱۹۷۹-۱۹۷۷
(Zarenisanak et al., 2013)	بارش متوسط دما حداکثر دما حداقل دما	سالانه	جنوب غربی ایران	۱۹۵۰- ۲۰۰۷	فقدان روند در اغلب سریهای فصلی و سالانه بارش، روند افزایش دمایی را طی فصول تابستان و بهار
(Yang, et al., 2011)	روان آب بارش پتانسیل تبخیر- تعرق	-	چین	-	کاهش ناگهانی در روان آب در سال ۱۹۹۰، روند کاهشی در بارش سالانه اغلب ایستگاه ها، افزایش روان آب با افزایش بارش و کاهش آن با افزایش پتانسیل تبخیر-تعرق
(king, et al, 2013)	بارش روزانه حداکثر	-	استرالیا	۲۰۰۹- ۱۹۰۰	روند افزایشی بارش روزانه در مقیاس جهانی، ارتباط قابل توجه با متوسط جهانی دمای نزدیک سطح زمین و تغییر شدت متوسط بارش بحرانی
(Zhan, et al, 2014)	نشانزدهای تغییر اقلیم و نشانزدهای انسانی	-	آبریز وی - چین	۱۹۸۹-۱۹۵۸ ۲۰۰۸-۱۹۹۰	تأثیر نشانزدهای اقلیمی ۴۰(٪-۳۷٪)، ونشانزدهای انسانی(۶۳٪-۶۰٪)، در کاهش روان

جدول ۲- پیشینه پژوهش در ایران

نام پژوهش یا پژوهشگران	فاکتورهای اقلیمی	محل پژوهش	دوره زمانی	نتایج کلی
رحیمی و دیگران (۱۳۹۰)	دما،بارش، تبخیر	دامنه های شمالی رشته کوههای کرکس	۱۹۸۰-۲۰۰۹ ۱۹۸۷-۲۰۰۷	سیر صعودی دما و تبخیر با شتاب بیشتری نسبت به دوره ۲۰۰۹-۱۹۸۰
(جهانبخش اصل و دیگران، ۱۳۹۰)	بارندگی سالانه	حوضه سفیدرود	۱۹۷۸-۲۰۰۷	روند معنی‌دار در بارندگی ایستگاه‌های خلخال و بیجار و عدم معنا داری در ایستگاه‌های رشت و زنجان، روند صعودی و معنی‌دار مقادیر بارندگی ایستگاه لاهیجان و روند نزولی و معنی‌دار ایستگاه میانه
(طبری و دیگران، ۱۳۷۸)	دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد تبخیرتعرق گیاه	دو اقلیم سرد و گرم	دوره چهل ساله ۱۳۴۵-۱۳۸۴	بیشترین نوسانهای بارش و سرعت باد، روند افزایشی معنی دار تبخیرتعرق گیاه مرجع،روندکاهشی بارندگی و رطوبت نسبی معنی دارروند کاهشی سرعت باد در اغلب ایستگاه های مورد مطالعه
(تبریزی و دیگران،۱۳۸۹)	روند تغیرات بارش	تهران	۱۹۶۰-۲۰۰۵	عدم معنادار روندهای صعودی و نزولی،معناداری تغییرات ناگهانی، افزایش مقدار ضریب تغییرپذیری بارش در سراسر منطقه با آغاز ماههای خشک ،حداقل مقدار ضریب تغییرپذیری بارش در سراسر منطقه با شروع بارش در ماه های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر، نوسان ضریب تغییرپذیری بارش با توجه به موقعیت
(علیجانی و دیگران، ۱۳۸۹)	حداقل، حداکثر و متوسط دما، بارش، رطوبت و ابرناکی	یزد	۱۹۵۳-۲۰۰۵	از سال ۱۹۹۷ به بعد تشدیدوضعیت خشکی در منطقه
(حجازی زاده و دیگران، ۱۳۸۸)	تغییرات دما و بارش و انحراف آن از حالت نرمال	تهران	۱۹۵۱-۲۰۰۵	روند افزایشی دمای سالانه، دماهای حداقل و حداکثر سالانه ، نوسانات پی در پی در سریهای بارش، عدم معناداری تغییرات ناگهانی در سری‌های سالانه و فصلی در اوایل دهه ۲۰۰۰
(عساکره، ۱۳۸۶)	بارش	ایران	۱۹۶۱-۲۰۰۳	۵۱/۴ مساحت ایران، در معرض تغییرات بارش، مناطق با بارندگی بیشتر متحمل تغییر بیشتر
(سبزی پرور و دیگران،۱۳۹۱)	دما	مناطق خشک و نیمه خشک ایران	۱۳۳۵-۱۳۸۴	روند معنی دار مثبت سالانه در دمای حداکثر در حدود ۷۰٪ ایستگاه ها و در دمای متوسط و حداقل در حدود ۹۰٪ ایستگاه ها
(عزیزی و دیگران، ۱۳۸۷)	رطوبت دما بارش ابرناکی	سواحل جنوبی دریای خزر	۱۹۵۵-۱۹۹۴	تغییرات از هر دو نوع روند و نوسان و در اکثر ایستگاه ها دمای حداقل روند افزایشی و دمای حداکثر روند کاهشی درصد تغییر بیشتردر فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز
(خداقلی و دیگران، ۱۳۹۳)	بارش استاندارد	اصفهان	۱۹۷۰-۲۰۰۹	خشکسالی شدید در سال ۲۰۰۰ و تکرار در ۲۰۰۸ فقدان روند معنی داری برای بارش

ادامه جدول ۲- پیشینه پژوهش در ایران

نام پژوهش یا پژوهشگران	فاکتورهای اقلیمی	محل پژوهش	دوره زمانی	نتایج کلی
(صبوری و دیگران، ۱۳۸۷)	بارش دما رطوبت نسبی باد	ایران	۱۹۵۱-۲۰۰۵	روند مثبت و منفی معنی دار باران ماهانه در زمستان و بهار، بیشترین روند معنی دار در میانگین دمای حداکثر در تابستان فاقد روند در زمستان ، روند افزایشی میانگین دمای حداقل ماهانه تقریباً در تمام فصول، روند صعودی میانگین دما
(دودانگه و دیگران، ۱۳۸۹)	بارش سیل جریان حداقل	سد سفید رود	۱۹۵۶-۲۰۰۴ ۱۹۵۵-۱۹۹۷	معنی داری روند مجموع بارش سالانه و بارش حداکثر ۲۴ ساعته، در تعداد کمی از ایستگاه ها، اما معنی دار جریان های حداقل و سیل در ایستگاه های بیشتر،
(دودانگه و دیگران، ۱۳۹۱)	رطوبت نسبی تبخیر، دمای هوا سرعت باد، تعداد ساعات آفتابی	اصفهان	۱۹۵۰-۲۰۰۵	سود مندی مدل های سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند پارامترهای اقلیمی
(خنامانی و دیگران، ۱۳۹۳)	آبهای زیرزمینی	دشت سگزی اصفهان	۱۳۷۴-۱۳۸۷	بهره برداری بی رویه از منابع آب، زیرزمینی با افزایش عمق، افزایش میزان املاح مختف شوری مانند کلر و سدیم
(انصاری و دیگران، ۱۳۹۱)	بارندگی تبخیر-تعرق	دشت نیشابور	۱۳۵۲-۱۳۸۵	روند منفی شیب آب دارای. اما بارندگی فاقد روند، همبستگی تغییرات سطح آب زیرزمینی با مقادیر شاخص فازی بارندگی و تبخیر-تعرق

۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

این مطالعه در شهر قم واقع جنوب استان تهران انجام شده است (شکل۱). داده های اقلیمی مربوط به ا یستگاه شکوهیه قم است. این ایستگاه در "۳۴°۴۶'۲۸ عرض و "۵۰°۵۱'۱۷ طول جغرافیایی با ارتفاع ۸۷۷/۸ متر از سطح دریا قرار دارد. سایر ایستگاه های هواشناسی موجود در استان قم دارای سوابق آماری به مراتب کمتری بودند لذا قابلیت استناد بالایی نداشتند. به همین منظور مطالعه به داده های ایستگاه شکوهیه قم محدود شده است. به منظور بررسی میزان و روند تغییرات اقلیمی، آمار سالانه میزان بارش، دما، باد و رطوبت نسبی از اداره کل هواشناسی قم به صورت کنترل شده، مربوط به ایستگاه سینوپتیک شکوهیه قم از سال ۱۳۶۸ تا سال ۱۳۹۲ تهیه گردید.

- **روش انجام مطالعه**

آشکار سازی تغییر و نوسان در عناصر اقلیمی با استفاده از شیوه های مختلفی امکان پذیر است. روند یابی یکی از عام ترین روش ها به حساب می آید. برخی از تغییرهای آب و هوایی

به طور کلی از توزیع نرمال پیروی نمی کند. در این صورت می توان از آزمون رتبه ای استفاده نمود. یکی از این آزمون ها روش من- کندال است. این آزمون نیاز به توزیع فراوانی نرمال یا خطی بودن رفتار نداشته و در برابر مقادیر فرین(داده هایی که کشیدگی زیاد دارند) و داده هایی که رفتار خطی انحراف چشمگیری دارند، بسیار قوی بوده و به منظور ارزشیابی روند به کار برده می شود. (زاهدی و همکاران ۱۳۸۶). به منظور بررسی میزان و روند تغییرات اقلیمی، آمار سالانه میزان بارش، دما، باد و رطوبت نسبی از اداره کل هواشناسی قم به صورت کنترل شده، مربوط به ایستگاه سینوپتیک شکوهیه قم از سال ۱۳۶۸ تا سال ۱۳۹۲ استفاده شد.

رابطه ۱: $$E_i = \frac{n_i(n_i-1)}{4}$$

رابطه ۲: $$V_i = \frac{n_i(n_i-1)(n_i+5)}{72}$$

رابطه ۳: $$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_I}}$$

در روابط ارائه شده، n_i ترتیب زمانی داده هاست. برای بررسی تغییرات $U^{'}$ نیز تعیین شود. مراحل محاسبه $U^{'}$ به شرح زیر است:

داده ها را رتبه بندی و این بار آماره t'_i را مشخص می شود که برابر است با تعداد رتبه های کوچکتر بعد از هر ردیف مورد نظر و سپس فراوانی تجمعی t'_i را از پایین به بالا محاسبه می گردد. امید ریاضی واریانس و شاخص $U^{'}$ به صورت زیر محاسبه می شود:

در این پژوهش تلاش گردید با استفاده از آزمون من – کندال روند تغییرات متغیرهای اقلیمی آنها آشکار گردد. آزمون من – کندال یکی از روشهای مهم برای آزمون روند سری زمانی محسوب می شود. این آزمون به دو روش محاسبه می شود:

۱- آزمون آماره (T) من-کندال

۲- آزمون نموداری من کندال. محاسبه این آزمون با تاکید بر روش دوم به شرح زیر است:

داده‌ها بر اساس ارزش آنها رتبه بندی صعودی نموده، به کوچکترین عدد، رتبه ۱ داده و به بقیه به صورت صعودی، رتبه های متوالی داده می شود. دوباره داده ها را بر اساس سال وقوع مرتب می شود. آماره t_i یعنی تعداد رتبه های کوچکتر قبل از هر ردیف را جمع زده، در ستون بعد نگاشته می شود. امید ریاضی، واریانس و شاخص من – کندال بر اساس روابط زیر بدست می آید:

رابطه ۴: $$E_i^{'} = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)}{4}$$

رابطه ۵: $$V_i^{'} = \frac{[N-(n_i-1)]-(N-n_i)[2(N-(n_i-1))+5]}{72}$$

رابطه ۶: $$U_i' = \frac{-(\sum t_i' - E_i^{'})}{\sqrt{V_i^{'}}}$$

در روابط مربوط به $U^{'}$ و N حجم نمونه آماری مورد مطالعه است. پس از محاسبه U و $U^{'}$ و ترسیم نمودارهای مربوطه می توان در خصوص وجود روند یا عدم آن در سری های زمانی، قضاوت کرد. محل تلاقی شاخص های U و $U^{'}$ نشانه تغییر ناگهانی در رفتار زمانی سری آماری است . عدم تلاقی منحنی و یا قرار گیری آنها در داخل محدوده ۹۵ درصد اطمینان ، تغییرات معنی داری را در داده ها نشان نمی دهد، اما اگر خطوط مذکور در داخل محدوده بحرانی ۱/۹۶ $\pm$ و ۲/۵۸ $\pm$همدیگر را قطع کنند و سپس از محدوده بحرانی خارج شوند، نشانه تغییری ناگهانی و روندی معنی دار به ترتیب در سطح ۹۵ درصد و ۹۹ درصد اطمینان است. اگر منحنی U به طرف مثبت حرکت کند روند مثبت و در غیر این صورت روند منفی دارد. تلاقی های بیرون از محدوده بحرانی تغییر ناگهانی رفتار سری را بیان می کند (Sneyers,1990 ; علیجانی و همکاران ۱۳۸۹).

۳- نتایج

تعیین روند تغییرات دما به عنوان محسوس ترین عنصر اقلیمی در اشکال ۲ تا ۷ برای متوسط، حداکثر و حداقل دمای سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در هر سه پارامتر معادله خط، روندی

افزایشی را در تغییرات دمای سالانه نشان می دهد(شکل۲،۴و۶).

میانگین دمای سالانه طبق تعریف آماره من-کندال روند مثبت و معنی داری را از سال ۱۳۷۱ شروع می کند و پس از آنکه در سال های۱۳۷۲، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۶ با شاخص بررسی تغییرات تلاقی داشته است در سال ۱۳۹۰ نیز یک جهش اقلیمی با روندی مثبت در محدوده بحرانی ۹۹ درصد در آن رخ داده است (شکل۳). روند معنی داری حداکثر دما پس از یک جهش اقلیمی در سال ۱۳۷۴ مثبت و معنی دار می شود اما شاخص U از سال ۱۳۸۰روندی کاهشی را دنبال می کند و در سال ۱۳۹۲ پس از خروج از سطح بحرانی به سمت یک جهش اقلیمی می رود(شکل ۵).

مطالعه خط روند بیشترین شیب مثبت افزایشی را برای میانگین حداقل دمای سالانه در مقایسه با متوسط و حداکثر دمای سالانه نشان می دهد(شکل۲،۴و۶). حداقل دمای سالانه پس از یک جهش اقلیمی در سال ۱۳۷۵، به سرعت رو به افزایش و در سطح ۹۹ درصد اطمینان معنی دار است و تا سال مورد بررسی این پژوهش ادامه می یابد(شکل ۷).

در واقع این وضعیت روند تغییرات دما و سطح معنی داری، بویژه اینکه میانگین کمینه دما از سطح معنی داری با سطح افزایشی بالاتری نسبت به متوسط سالانه دما برخوردار است، نشان دهنده وجود شیب گرمتر نسبت به قبل و کاهش اختلاف بیشینه و کمینه دما و کاهش تعداد روز یخبندان است. افزایش میانگین دمای سالانه در اکثر پژوهش های مشابه گزارش شده است(رحیمی و مجد،۱۳۹۰).

نتایج تحلیل سبزی پرور و همکارانش(۱۳۹۲) بر روی روند دما در برخی از ایستگاه های مناطق خشک و نیمه خشک کشور نشان داد که ۷۰ درصد ایستگاه ها در دمای حداکثر و حدود ۹۰ درصد ایستگاه ها در دمای حداقل و متوسط سالانه روند مثبت و معنی داری را داشته اند. برای تحلیل تغییرات اقلیم، علاوه بر بررسی افزایش دما که به عنوان آگاهی دهنده ها در این زمینه مورد توجه است، نقش دراز مدت تغییرات بارندگی نیز مورد توجه است.

تغییرات میزان بارندگی سالانه در ایستگاه مورد مطالعه، نوسانات بی نظم بارش را نسبت به دما نشان می دهد که نسبت به میانگین سالانه بارش، انحراف چندانی را نشان نمی دهد (شکل۸).

علی رغم شیب منفی که در آن است، نتایج نمودار شاخص U و U^* من-کندال برای ایستگاه مورد مطالعه هیچگونه روند معنی دار و یا جهش اقلیمی را نشان نمی دهد (شکل۹)، اما روند کاهشی بارندگی در سال های پایانی مورد بررسی این تحقیق به سمت یک جهش اقلیمی پیش می رود.

وجود روند افزایشی دما و نبود روند در مجموع بارش سالانه به عنوان دو جزء مؤثر در بیلان آبی منطقه علاوه بر اینکه باعث افزایش نیاز آبی، کاهش رطوبت خاک، تراکم پوشش گیاهی و ظرفیت مراتع و محصولات کشاورزی می شود، با توجه به اینکه منابع آب زیر زمینی مهمترین منبع تامین کننده آب مورد نیاز بخش های مختلف در منطقه می باشند، افت سطح ایستایی و کاهش کیفیت منابع آب زیر زمینی را نیز به دنبال دارد.

ضمن اینکه چنین شرایطی به معنای کاهش فراوانی بارش و افزایش بارش های سیلابی و فرسایش خاک و منابع طبیعی می باشد. در تحقیق رحیمی و مجد (۱۳۹۰) تغییرات میزان بارش سالانه در دامنه های شمالی کوه کرکس بدون روند گزارش شده است (رحیمی و مجد،۱۳۹۰).

در پژوهش جهانبخش اصل و همکارانش نیز (۱۳۹۰)در ایستگاه رشت و زنجان روندی مشاهده نشد اما ایستگاه های خلخال، بیجار و لاهیجان روند صعودی و ایستگاه ارومیه روندی نزولی و معنی دار داشتند(جهانبخش اصل و همکاران،۱۳۹۰). در پژوهش طبری و همکارانش(۱۳۸۷)، تغییرات بارندگی در دواقلیم سرد و گرم ایران روندی کاهشی و معنی دار داشت.

طی سالهای این تحقیق، میانگین سالانه رطوبت نسبی تغییرات زیادی داشته است(شکل۱۰)، که این موضوع سبب بروز تلاقی های بسیاری در دنباله شاخص های U و U^* من-کندال آن شده است. اما بارزترین جهش اقلیمی در سال ۱۳۸۹ رخ داده است و روند افزایشی معنی داری را در سطح ۹۵ درصد اطمینان، طی سالهای پس از آن نشان می دهد(شکل۱۱).

این تغییرات شدید در رطوبت نسبی از ویژگیهای اقلیم های گرم و خشک است. علی جانی و همکارانش(۱۳۸۹) در پژوهشی که به مطالعه روند تغییرات اقلیمی در شهر یزد پرداختند، روندی کاهشی معنی دار را در اکثر سال ها برای رطوبت نسبی مشاهده کردند(علی جانی و همکاران،۱۳۸۹). این روند کاهشی در مطالعه طبری و همکارانش در بررسی تغییرات پارامتر های هواشناسی در دو اقلیم سرد و گرم ایران نیز گزارش شده بود(طبری و همکاران،۱۳۸۷).

نوسانات تغییرات میانگین حداکثر رطوبت نسبی طی سال های مورد پژوهش زیاد بوده است و خط روند آن دارای یک شیب افزایشی است(شکل۱۲). اما شاخصU و U^* من-کندال هیچ گونه تغییر معنی داری را دراین پارامتر اقلیمی نشان نمی دهد(شکل۱۳).

هرچند که طی سالهای پایانی این مطالعه، شاخص U روند کاهشی را دنبال می کند و به سمت تلاقی با شاخص بررسی تغییرات می رود. تغییرات میانگین حداقل رطوبت نسبی نیز فاقد هرگونه روند محسوسی می باشد(شکل۱۴) و دو دنباله U و U^* من-کندال تقریبا به صورت موازی حرکت کرده و با چند بار برخورد به دلیل عدم تغییر جهت مشخص و معنی دار، روند خاصی را نمی توان برای آن تصور کرد(شکل۱۵).

تغییرات میانگین سرعت باد و شیب خط روند آن در دوره آماری مورد مطالعه رو به افزایش است(شکل۱۶). در سال ۱۳۷۰ یک تغییر ناگهانی در سرعت باد رخ داده است که روند کاهشی آن تا سال ۱۳۸۰ در سطح ۹۹ درصد اطمینان ادامه یافته است و پس از آن بدون آنکه جهشی در آن واقع شود، روندی افزایشی را دنبال می کند و از سال ۱۳۹۰ در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنی دار می شود. ضمن آنکه دو دنباله U و U^* من-کندال در سال ۱۳۹۲ با هم برخورد می کنند و وقوع یک تغییر اقلیمی ناگهانی محتمل است.

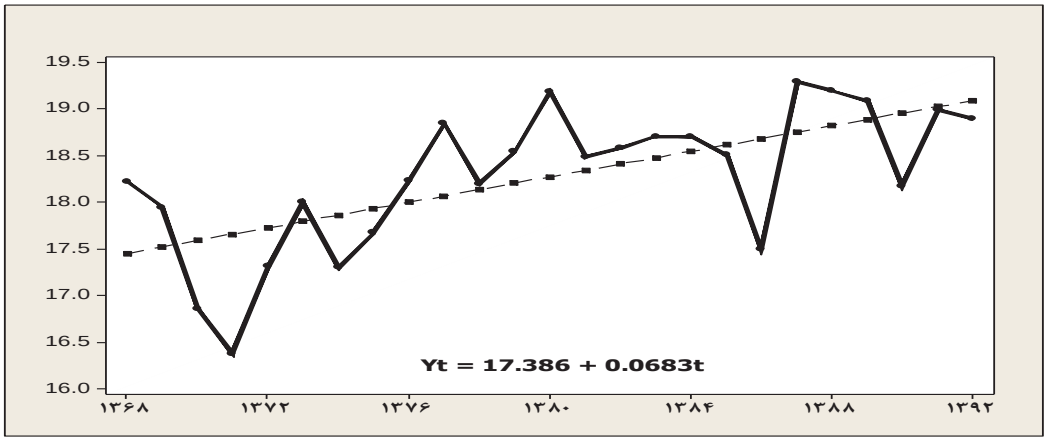
با توجه به افزایش میانگین سرعت باد و کاهش میزان بارندگی، خطر فرسایش بادی در این منطقه حاشیه کویر افزایش می یابد. طبری و همکارانش در بررسی تغییرات پارامتر های هواشناسی در دو اقلیم سرد و گرم ایران مشاهده کردند که سری زمانی سرعت باد در همه ایستگاه های مورد مطالعه شان به جز ارومیه روند معنی دار و کاهشی داشته است(طبری و همکاران،۱۳۸۷).

تحولات رخ داده در بررسی روندها موید نوعی تغییر در روند های ا قلیمی است که کلیت آن عبارت است از افزایش دما، تغییر در رطوبت نسبی، شیب کاهشی میزان بارش توام با افزایش وزش بادها با سرعت بالاتر.

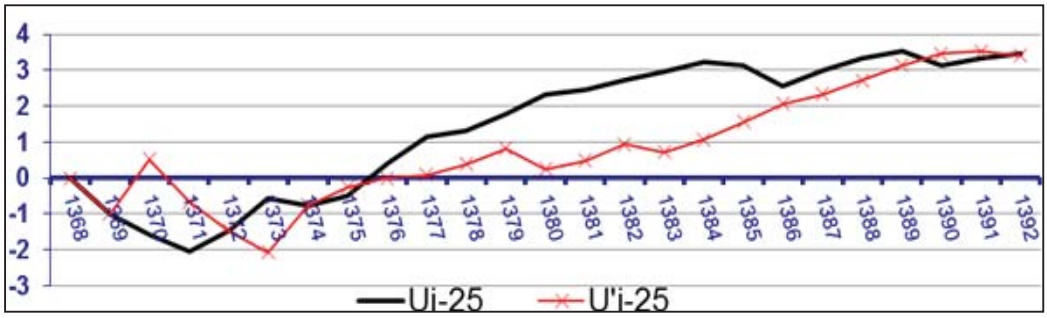
این رخدادها منجر به شکل گیری چرخه های بعدی می گردد که که اصطلاحا لوپ‌های ناشی از تغییرات اقلیمی محسوب می گردد. چرخه های وابسته به تغییرات باید شناسایی و براساس آن در هر بخش با استفاده از رویکردهای نوین اقدام به برنامه ریزی لازم گردد.

در این میان مطالعات میان رشته که به بررسی در هم کنش میان عوامل مختلف باهم پرداخته و تعاملات میان نظام مختلف طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و امنیتی را روشن و براساس آن چشم انداز آتی را تصویر کند الزامی انکار ناپذیر است.

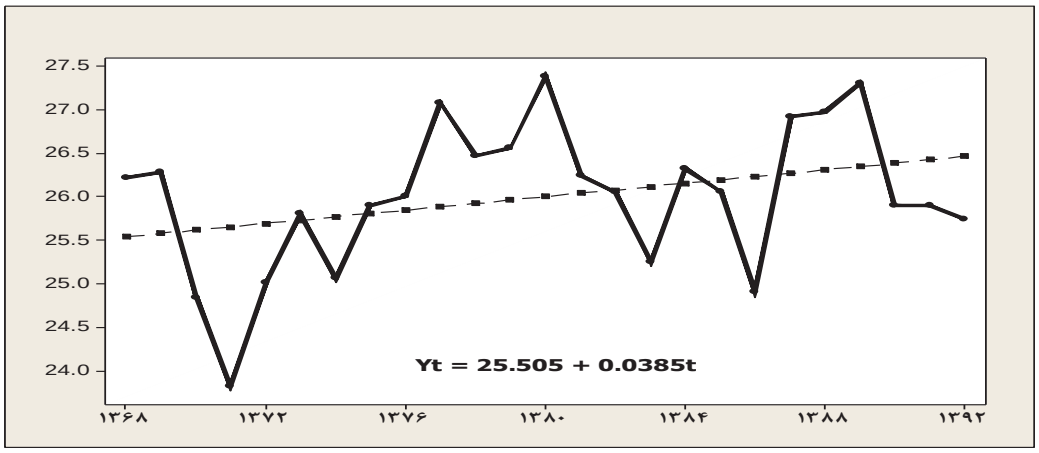
بر این اساس اقدام با برنامه ریزی مبتنی بر تاب آوری و بازگشت پذیری اولا تا حد ممکن شرایط را مدیریت کند و دوم قابلیت تاب آوری برای جامعه فراهم ساخته تا در شرایط بحرانی قابلیت ویارای مقاومت در شرایط سخت را داشته باشد. در غیر این بحرانهای طبیعی به بحرانی اجتماعی اقتصادی منجر شده و شرایط آشوبناکی را می تواند ایجاد نماید.



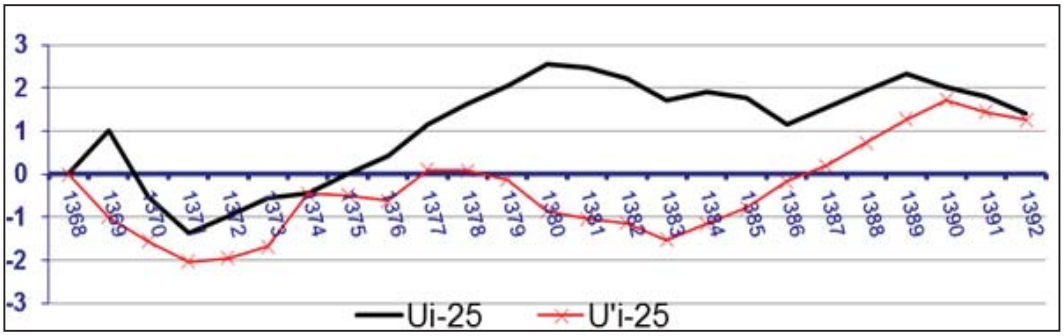
شکل ۲- تغییرات میانگین سالانه دما و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



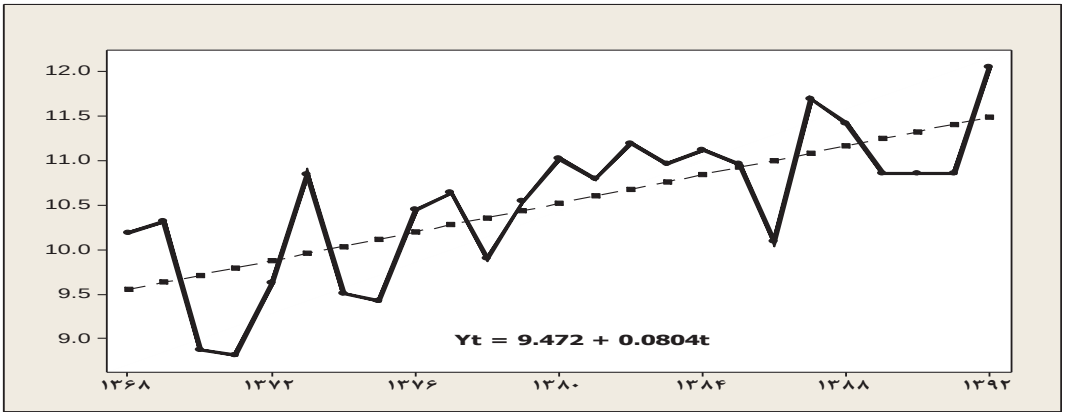
شکل ۳- روند معنی داری تغییرات سالانه متوسط دما با استفاده از شاخصU و $U^{'}$ من-کندال در ایستگاه قم



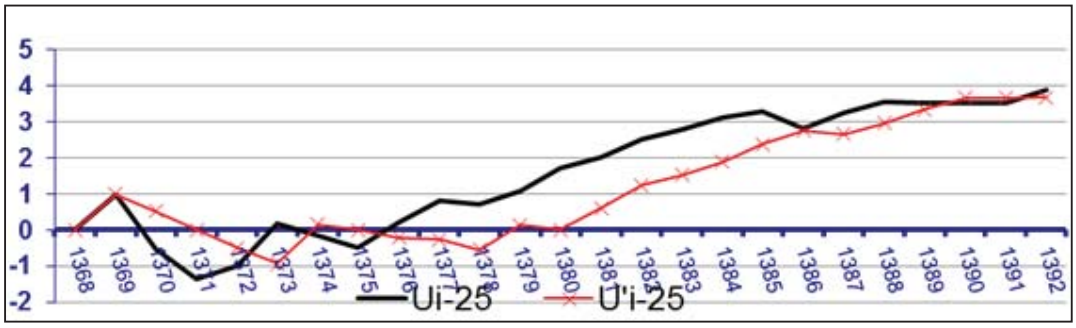
شکل ۴- تغییرات میانگین سالانه حداکثر دما و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



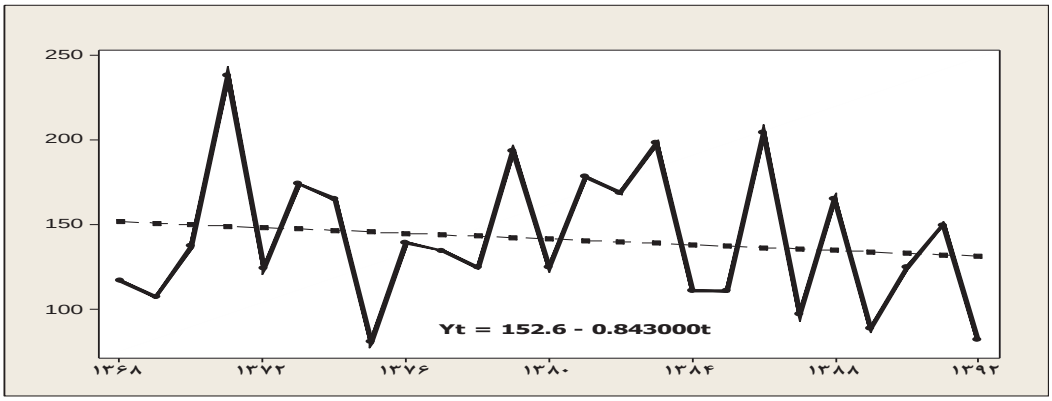
شکل ۵- روند معنی داری تغییرات سالانه میانگین حداکثر دما با استفاده از شاخص U و U' من-کندال در ایستگاه قم



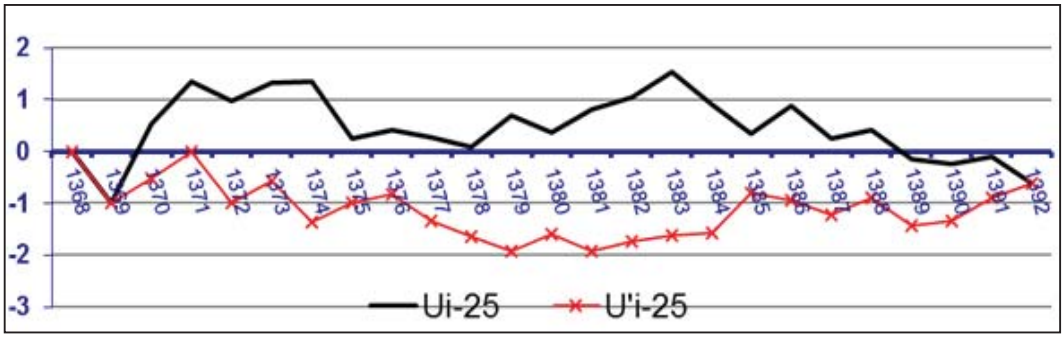
شکل ۶- تغییرات میانگین سالانه حداقل دما و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



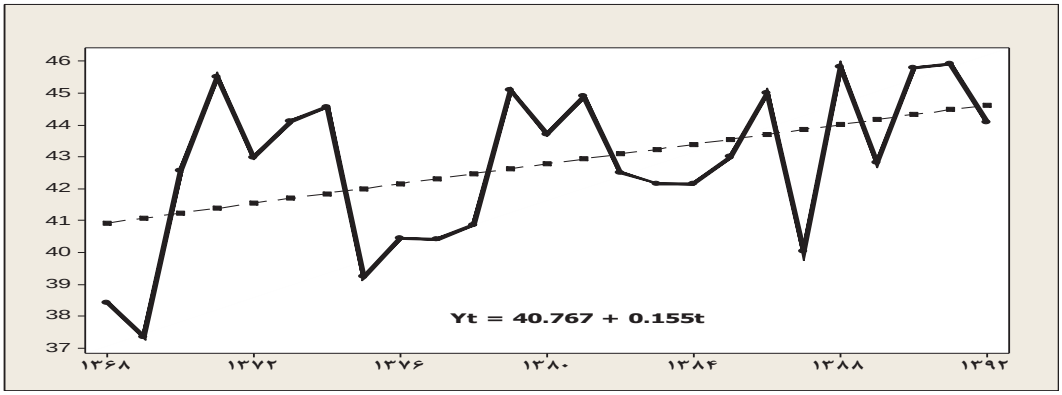
شکل ۷- روند معنی داری تغییرات سالانه میانگین حداقل دما با استفاده از شاخص U و U' من-کندال در ایستگاه قم



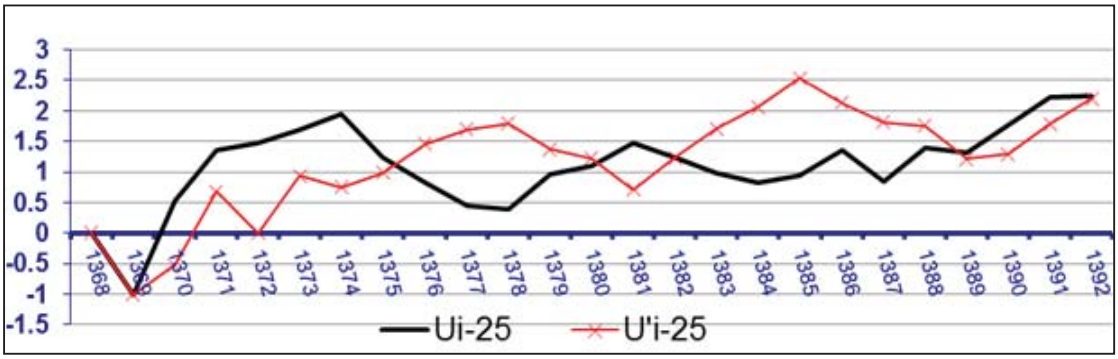
شکل ۸-تغییرات میزان سالانه بارندگی و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



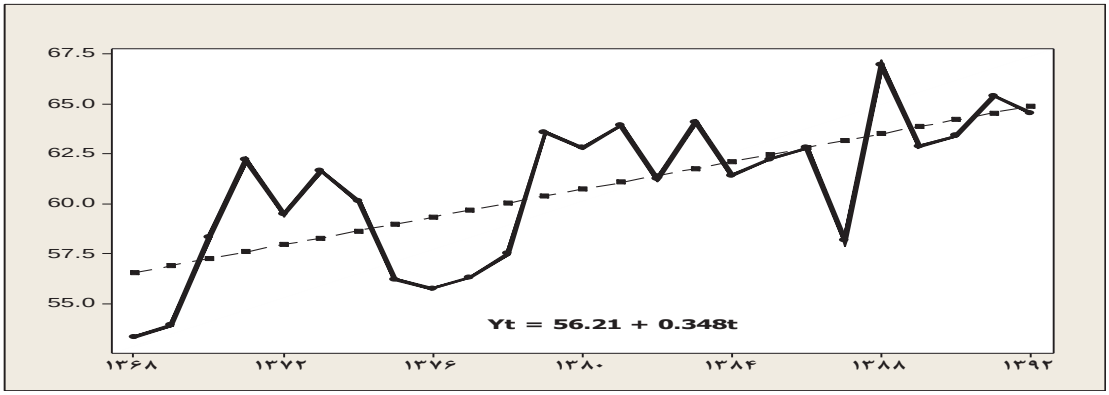
شکل ۹- روند معنی داری تغییرات سالانه میزان بارندگی با استفاده از شاخص U و U' من-کندال در ایستگاه قم



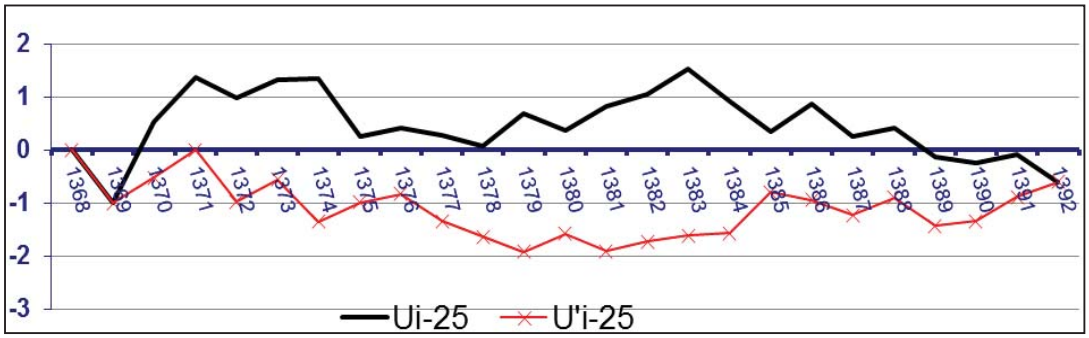
شکل۱۰-تغییرات میانگین سالانه رطوبت نسبی و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



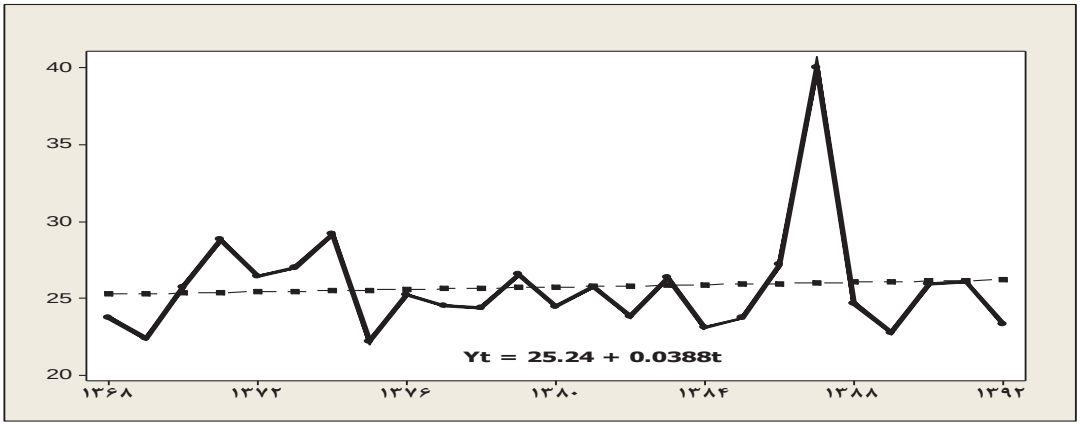
شکل۱۱- روند معنی داری تغییرات سالانه میانگین رطوبت نسبی با استفاده از شاخص U و U' من-کندال در ایستگاه قم



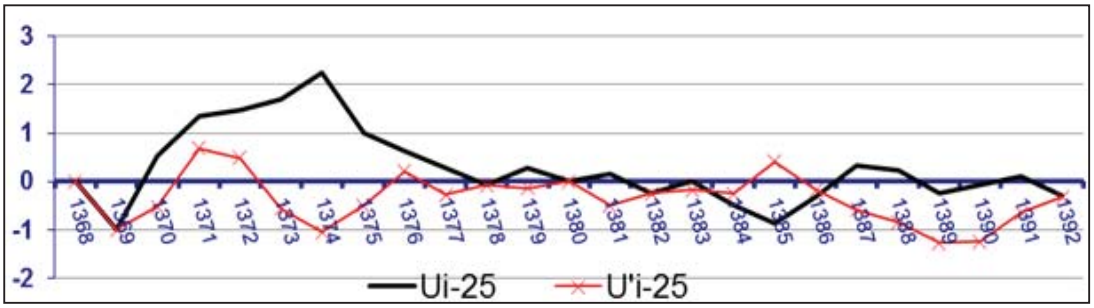
شکل ۱۲- تغییرات میانگین سالانه حداکثر رطوبت نسبی و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



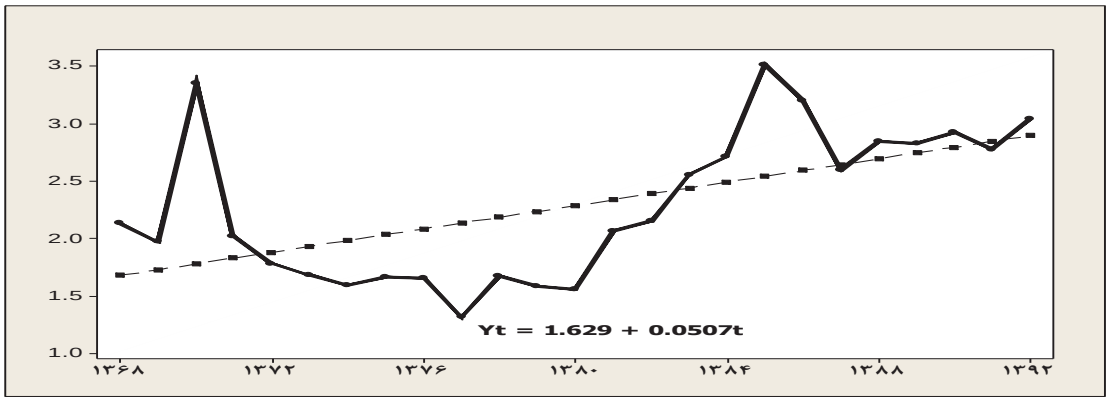
شکل۱۳- روند معنی داری تغییرات سالانه میانگین حداکثر رطوبت نسبی با استفاده از شاخص U و U' من-کندال در ایستگاه قم



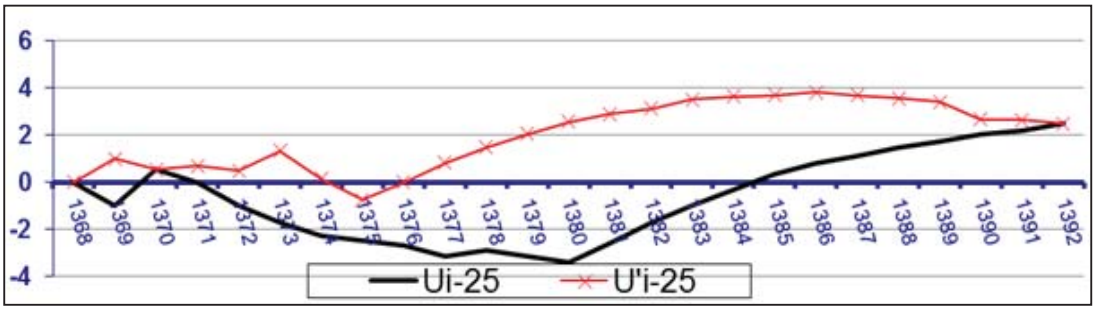
شکل۱۴-تغییرات میانگین سالانه حداقل رطوبت نسبی و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



شکل ۱۵- روند معنی داری تغییرات میانگین سالانه حداقل رطوبت نسبی با استفاده از شاخص U و U' من-کندال در ایستگاه قم



شکل۱۶- تغییرات میانگین سالانه سرعت باد و خط روند آن در دوره آماری۱۳۹۲-۱۳۶۸ ایستگاه قم



شکل۱۷- روند معنی داری تغییرات میانگین سالانه سرعت باد با استفاده از شاخص U و U' من-کندال در ایستگاه قم

۴- نتیجه‌گیری

مسلما کم کردن اثرات نامطلوب تغییرات اقلیمی نیاز به شناخت دقیق چگونگی وقوع آن و تعیین استراتژی های مناسب جهت مقابله با آن در حال و سالهای آتی دارد. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق طی سال های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲ در ایستگاه مورد مطالعه، میانگین حداقل و متوسط دمای سالانه دچار جهش اقلیمی شده است و روند تغییرات آنها در سطح ۹۹ درصد معنی دار و افزایشی است، این در حالی است که میزان بارتدگی سالانه فاقد روندی معنی دار می باشد. میانگین رطوبت نسبی سالانه نوسان زیادی داشته است و در سال ۱۳۸۹یک تغییر ناگهانی در آن رخ داده است که روندی افزایشی و معنی داری را در سطح ۹۵ درصد اطمینان دنبال کرده است. میانگین سرعت باد نیز روندی افزایشی را از سال ۱۳۸۰دنبال کرده است و در سه سال پایانی این تحقیق در سطح ۹۵ درصد معنی دار شده است اما تا سال ۱۳۹۲ جهش اقلیمی در آن رخ نداده است. بررسی پارامتر های هواشناسی مورد مطالعه در اکثر موارد روند معنی دار افزایشی و تغییرات ناگهانی اقلیمی را طی چهار سال پایانی این تحقیق نشان می دهد. وقوع بارش‌های رگباری و سیل آسا، خطر فرسایش آبی و بادی، گسترش بیابانها و کویر، تشدید پدیده خشکسالی و کاهش منابع آبی و افت سطح آبهای زیر زمینی و کاهش کیفیت آن از تبعات منفی تغییرات اقلیمی نتایج این تحقیق است و لزوم برنامه ریزی و مدیریت همگام با تغییرات اقلیمی و توان اکولوژیکی منطقه در جهت کنترل مهاجرت، ساخت و توسعه شهرک های صنعتی و مسکونی و افزایش بهره برداری از منابع آب و حرکت به سوی کشاورزی پایدار را برای این استان نشان می دهد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله برخود لازم می دانند از همکاری صمیمانه مدیریت و کارشناسان محترم اداره کل هواشناسی استان قم به جهت راهنمایی و در اختیار گذاشتن داده های هواشناسی تقدیر و تشکر نمایند.

۵- منابع

- آبدار اصفهانی، س؛ کلانتری، ن.، محمدی احمد آبادی، ر.، ۱۳۹۳. بررسی خشکسالی اخیر بر منابع آب زیر زمینی دشت شریف آباد- مسیله واقع در استان قم، مجموعه مقالات همایش چالش ها و بحران های آب در حوضه دریاچه نمک. خرداد ۱۳۹۳. اتاق بازرگانی صنایع و معادن و کشاورزی استان قم.
- انصاری، ح.، نادریان فر، م.،۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص فازی بارندگی و تبخیر تعرق استاندارد شدهف *مدیریت آب و آبیاری*، شماره ۱ ،ص ۵۴-۴۱.
- تبریزی، م.، جعفر سلطانی، م.، شادفرص.، جاهدی، آ.،۱۳۸۹ . بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش در استان تهران در محیط GIS، ششمین همایش و نمایشگاه سامانه اطلاعات مکانی GIS88، ۱۶ دی ماه.
- جهانبخش اصل، س.، تدینی، م.، نوری اوغورآباد، ح.، ۱۳۹۰. تحلیل روند تغییرات بارش های سالانه حوضه‌ی سفیدرود با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال، *مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای*، شماره ۱۷ ، ص ۲۲۹-۲۴۱.
- حجاری زاده، ز.، نادر، پ.، ۱۳۸۸. بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای*. پیش شماره پاییز و زمستان، ص ۴۳-۵۶ .
- خداقلی، م.، صبوحی ر.، اسکندری إ.، ۱۳۹۳. تحلیل روند گذشته و پیش بینی آینده خشکسالی در استان اصفهان، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*؛ شماره ۶۷؛ص ۳۷۹-۳۶۷.

- خنامانی، ع.، دودانگها، ا.، سلیمانی ف.، کریم زاده، ح، سلطانی، س.، ۱۳۹۳. روند تغییرات برخی از خصوصیات شیمیایی آبهای زیرزمینی دشت سگزی اصفهان طی سال های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۷، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، علوم آب و خاک؛ شماره ۶۷ ،ص ۶۸-۵۹.
- دودانگه، ا.، عابدی کوپایی، ج.، گوهری، ع.، ۱۳۹۱ .کاربرد مدل های سری زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای کدیریت منابع آب. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، علوم آب و خاک، شماره ۵۹، ص ۷۳-۵۹.
- دودانگه، ا.، سلطانی س.، سرحدی ع.، ۱۳۸۹. بررسی روند مقادیر حدی جریان (جریان حداقل و سیل) در حوضه سفید رود. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، علوم آب و خاک / سال پانزدهم / شماره ۵۸، ص۲۲۹-۲۱۵ .
- رحیمی، د.، مرضیه م.،۱۳۹۰. تحلیل نوسانات اقلیمی تأثیر آن بر منابع آب در دامنه ی شمالی کرکس، مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره ۱۷: ۲۱۱-۲۲۸ .
- سبزی پرور، ع.، سیف، ز.، قیامی ف.،۱۳۹۰، تحلیل روند دما در برخی از ایستگاه های مناطق خشک و نیمه خشک کشور. دوره ۱۱، شماره ۳۰،ص ۱۳۸-۱۱۷ .
- صبوحی، ر.، س.، ۱۳۸۷. تحلیل روند عوامل اقلیمی در شهرهای بزرگ ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ، جلد ۱۲، زمستان، شماره ۴۶ ، ص۳۲۱-۳۰۳
- طبری، ح.، سبزی پور، ع.، معروفی، ص.، ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم سرد و گرم ایران. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۸۶،ص ۱۶۱-۱۷۴
- عزیزی، ق.، روشنی، م.،۱۳۸۷. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال. مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۴،ص ۱۳-۲۸.
- عساکره، ح.، ۱۳۸۶. تغییرات زمانی-مکانی بارش ایران زمین طی دهه های اخیر. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰،ص ۱۶۴-۱۴۵.
- علیجانی، ب.، مؤیدفر، س.، صبایی مهر، م.، ۱۳۸۹. بررسی تغییرات اقلیمی شهر یزد در رابطه با توسعه شهری و منطقه ای. *مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری*، سال اول، شماره ۳، ص۴۱-۵۸
- علیجانی، ب.، قویدل رحیمی ی، ۱۳۸۴. مقایسه و پیش بینی تغییرات دمای سالانه ی تبریز با ناهنجاری های دمایی کره ی زمین با استفاده از روش های رگرسیون خطی و شبکه ی عصبی مصنوعی. *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۶، ص ۲۱-۳۴.

- Al-Tmimi, A. I., 2013, The Mann-Kendall Test for Temperature Trends in Some Selected Stations in Iraq; Ibn Al-Haitham Jour. for Pure & Appl. Sci. Vol. 26. pp. 116-122.
- Blain, G. C. 2014. Removing the influence of the serial correlation on the Mann-Kendall test, Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 29, 2, pp. 161-170.
- Chen H., et al., 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin; Journal of Hydrology, Vol. 344, pp.171– 18.
- Clark, T.S., 2003. Regional climate: Trend analysis of temperature and precipitation series at Canadian sites, Canadian journal of agricultural economics, Vol.48, pp.194-210.
- Danneberg J. 2012. Changes in runoff time series in Thuringia, Germany – Mann-Kendall trend test and extreme value analysis; Advances in Geosciences; Vol. 31, pp. 49–56.
- Dettinger, M.D. et al., 2004. Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson and American River basin, Sierra Nevada, California, 1900-2099. Climate change, Vol. 62, pp. 283-317.
- Dracup, J.A. et al. 2005. An overview of hydrology and water resources studies on climate change: the California experience, World Water and Environmental Resources Congress. May 2005.
- Karmeshu N., 2012. Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test – A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States; Master's thesis, University of Pennsylvania; Scholarly Commons.
- King, A. D., et al. 2013. Asymmetry in the response of eastern Australia extreme rainfall to low-frequency Pacific variability. Geophysical Research Letters, Vol. 40,10, pp. 2271-2277.
- Lisa V. Alexander, et al.2013. Global Increasing Trends in Annual Maximum Daily Precipitation Seth Westra; Journal of Climate, Vol. 26, pp. 3904–3918.

- Mondal, et al., 2012. Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: a case study of north-eastern part of Cuttack District, Orissa, International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences Vol. 2.1, pp. 70-78.
- Safari, B., 2012.Trend Analysis of the Mean Annual Temperature in Rwanda during the Last Fifty Two Years, Journal of Environmental Protection, Vol. 3 No. 6, pp. 538-551.
- Wang X., et al., 2014. Climate change trend and its effects on reference evapotranspiration at Linhe Station, Hetao Irrigation District; Water Science and Engineering, Vol. 3 No. 3, pp. 250-266.
- Yang, Z., Liu, Q. 2011. Response of streamflow to climate changes in the Yellow River Basin, China. Journal of Hydrometeorology, Vol. 12, 5, 1113-1126.
- Zarenisanak, M., et al., 2014. Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran. Journal of Earth System Science, Vol. 123,2, pp. 281-295
- Zhan C. S., et al., 2014. Quantitative contribution of climate change and human activities to runoff changes in the Wei River basin, China; Hydrology Earth System Sciences Discussions, Vol. 11, pp. 2149–2175.
- Zhifeng Y. and Qiang L., .2011. Response of Stream flow to Climate Changes in the Yellow River Basin, China; Hydrometeor, Vol. 12, pp. 1113–1126,