

بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه

مجید رضایی بنفشه^۱؛ فاطمه سرافروزه^۲؛ طاهره جلالی^۳

چکیده

به منظور بررسی تغییر عناصر اقلیمی حوضه دریاچه ارومیه، داده‌های درجه حرارت حداکثر و حداقل و بارندگی روزانه ۴ ایستگاه در طی دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از شش شاخص برای تجزیه و تحلیل روند تغییرات درجه حرارت و هشت شاخص جهت بررسی روند تغییرات بارش بهره گرفته شد. روند این نمایه‌ها با استفاده از روش حداقل مربعات تعیین گردید و برای تشخیص معنی‌داری آنها آزمون رتبه‌ای من - کندال به کار رفت. نتایج نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی در طی دوره مورد مطالعه در این منطقه تغییر پیدا کرده است. بطوری که تعداد روزهای تابستانی و شب‌های گرم بطور معنی‌داری افزایش و تعداد روزهای سرد و شب‌های سرد به طور معنی‌داری کاهش یافته است. مجموع بارندگی سالانه، تعداد روزهای بارانی (بیش از ۲ میلی‌متر) و تعداد روزهای بارندگی سنگین (بیشتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر)، نیز کاهش معنی‌داری داشته است. همچنین در طی دوره مورد مطالعه تعداد روزهای متوالی مرطوب بطور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. اما افزایش روزهای متوالی خشک معنی‌دار نبوده است.

واژگان کلیدی: نمایه‌های حدی بارش، نمایه‌های حدی دما، روند، من - کندال، حوضه دریاچه ارومیه.

مقدمه

در دهه‌های اخیر رشد سریع فعالیت‌های صنعتی باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای گردیده است. این امر سبب برهم خوردن تعادل اقلیم کره زمین شده که به آن پدیده تغییر اقلیم گفته می‌شود (IPCC, 2001). امروزه تغییر مقادیر حدی عناصر اقلیمی توجه زیادی را به خود جلب نموده است. از جمله IPCC¹ در سومین گزارش خود احتمال وقوع بیشتر بارش‌های حدی را بویژه در عرض‌های متوسط و بالا در اثر پدیده گرمایش جهانی ذکر کرده است (IPCC, 2001). کارل و همکاران (۱۹۹۹) تغییرات شرایط حدی اقلیم را در طی قرن گذشته در بیشتر نقاط جهان برآورد نموده و اعلام کردند که تعداد روزهای بسیار سرد کاهش و تعداد روزهای داغ افزایش یافته است. بارش‌های حدی نیز در ایالات متحده، چین، استرالیا، کانادا، نروژ، مکزیک، لهستان و روسیه افزایش پیدا کرده است (Karl et al, 1999, PP. 3-7). کلین تانک و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که درجه حرارت و بارش‌های حدی در مرکز و جنوب آسیا افزایش یافته است. آنها به این نتیجه رسیدند که روند دماهای حداکثر کوچک‌تر از روند دماهای حداقل می‌باشد (Klein Tank et al, 2006). یان و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که تعداد روزهای سرد در چین در طی قرن بیستم تدریجاً کاهش و تعداد روزهای گرم از سال ۱۹۶۱ افزایش یافته است (Yan et al, 2002, PP. 355-392). در مطالعی لیو و دیگران (۲۰۰۵) حدود دو سوم سری‌های زمانی ۲۰۰۰-۱۹۶۱ در نمایه‌های حدی در معرض روندهای افزایشی بوده‌اند (Liu et al, 2005). ناندینسیت و همکاران (۲۰۰۷) نیز در تحقیقی که بر روی روندهای بارندگی و دماهای حدی در اطراف دریاچه مونگولیا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که روزهای داغ و شب‌های گرم در حال افزایش و روزها و شب‌های سرد در حال کاهش می‌باشند (Nandintsetseg et al, 2007, PP. 341-347).

نتایج به دست آمده از بررسی مقادیر حدی در ایران حاکی از آن است که رویدادهای گرم نظیر روزها و شب‌های گرم و طول دوره رویش دارای روند مثبت و فراوانی رویدادهای

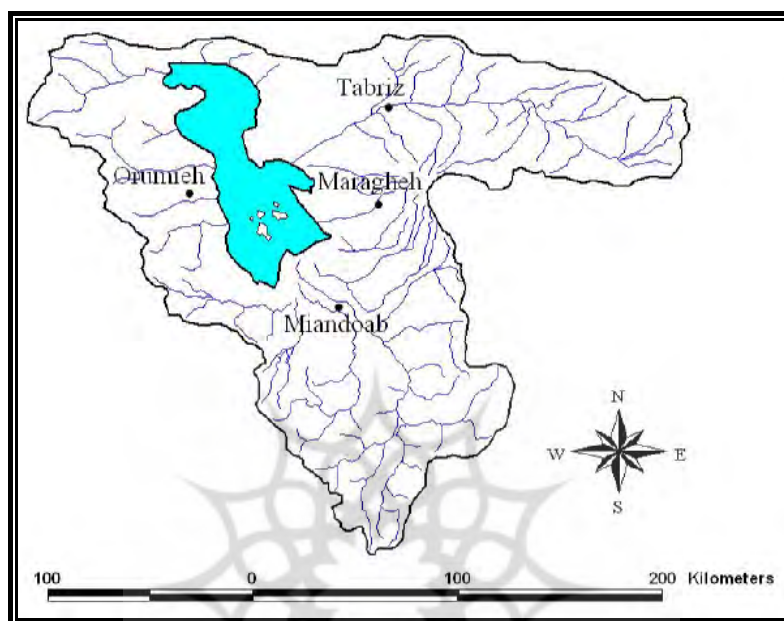
1- Intergovernmental Panel on Climate Change.

سرد نظیر روزهای یخبندان، روزها و شب‌های سرد و دامنه تغییرات شبانه روزی دما دارای روند منفی است (نوریان و همکاران، ۱۳۸۷). روند نمایه‌های حدی بارش کشور نیز هر سه حالت ایستا، روند مثبت و منفی را به دست می‌دهد. روند مثبت نمایه ساده شدت روزانه حکایت از آن دارد که بارش در تعداد روزهای کمتری به وقوع می‌پیوندد (نوریان و همکاران، ۱۳۸۷). عسگری و همکاران در پژوهشی به تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران در دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱ پرداخته‌اند. طبق نتایج ایشان روندهای مثبت، منفی و حالت ایستا در نمایه‌ها مشاهده گردیده است. اما در بعضی مناطق نظیر آذربایجان و فارس اکثر روندها منفی بوده‌اند (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۵-۴۲). مطابق تحقیقات رحیم‌زاده و همکاران نیز بر اساس نتایج طرح آشکا سازی تغییر اقلیم، در اکثر ایستگاه‌های ایران روند افزایش دما مشاهده گردیده است (رحیم‌زاده و عسگری، ۱۳۸۳: ۱۷۱-۱۵۳).

هدف این پژوهش آن است که زمان تغییرات و جهت تغییرات مقادیر حدی عوامل اقلیمی درجه حرارت و بارندگی را در حوضه دریاچه ارومیه مورد بحث و بررسی قرار دهد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. دریاچه ارومیه بین $5^{\circ} 37'$ تا $16^{\circ} 38'$ عرض شمالی و $10^{\circ} 45'$ تا $45^{\circ} 45'$ طول شرقی واقع شده با مساحت حدود ۴۸۶۸ کیلومتر مربع از شمال به جنوب کشیده شده است. مساحت حوضه دریاچه ارومیه ۵۰۸۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد (جعفری، ۱۳۷۶: ۳۷). در این منطقه ۳ ایستگاه سینوپتیک تبریز، ارومیه، مراغه و ۱ ایستگاه کلیماتولوژی میان‌دوآب مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. در جدول ۱ نیز ویژگی‌های ایستگاه‌ها نشان داده شده است.



شکل (۱) نقشه موقعیت منطقه

جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

| ردیف | نام ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع (متر) |
|------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| ۱ | تبریز | ۴۶° ۱۷' | ۳۸° ۵' | ۱۳۶۱ |
| ۲ | ارومیه | ۴۵° ۵' | ۳۷° ۳۲' | ۱۳۱۵/۹ |
| ۳ | مراغه | ۴۶° ۱۶' | ۳۷° ۲۴' | ۱۴۷۷/۷ |
| ۴ | میاندوآب | ۴۶° ۹' | ۳۶° ۵۸' | ۱۳۱۴ |

میانگین دمای سالانه هوا در این منطقه در طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۴، $12/5^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. از نظر بارش، منطقه نیمه‌خشک بوده و میانگین بارش سالانه ۳۰۵ میلی‌متر می‌باشد که دارای تغییرات مکانی و زمانی است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین

بارش متعلق به ارومیه (۳۳۴ میلی‌متر) و کمترین بارش متعلق به تبریز (۲۵۱ میلی‌متر) می‌باشد. از نظر زمانی نیز حدود ۸۸٪ بارش در ماه‌های نوامبر تا مه می‌بارد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی روند دما و بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه از آمار ۲۳ ساله چهار ایستگاه تبریز، ارومیه، مراغه و میاندوآب از ژانویه ۱۹۸۴ تا دسامبر ۲۰۰۶ استفاده شده است. از بین پارامترهای اقلیمی، درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه و بارش روزانه از سازمان هواشناسی اخذ گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. جهت بررسی روند دما و بارش از بین بیش از ۵۰ نمایه تغییر اقلیم سازمان جهانی هواشناسی^۱، ۱۴ نمایه انتخاب گردید (Nicholls et al, 1999, PP. 23-29) و (Peterson et al, 2001, PP. 143). این نمایه‌ها و تعاریف آنها در جداول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول (۲) تعریف نمایه‌های حدی درجه حرارت

| نمایه‌های درجه حرارت‌های حدی سرد | |
|----------------------------------|--|
| شب‌های سرد | فراوانی روزهایی که دمای حداقل زیر میانگین صدک اول دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ است. |
| روزهای سرد | فراوانی روزهایی که دمای حداکثر زیر میانگین صدک اول دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ است. |
| روزهای یخبندان | فراوانی روزهایی که دمای حداقل زیر صفر درجه سانتی‌گراد است. |
| نمایه‌های درجه حرارت‌های حدی گرم | |
| روزهای داغ | فراوانی روزهایی که دمای حداکثر بیش از میانگین صدک ۹۹ام دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ است. |
| شب‌های گرم | فراوانی روزهایی که دمای حداقل بیش از میانگین صدک ۹۹ام دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ است. |
| روزهای تابستانی | فراوانی روزهایی که دمای حداکثر بیش از ۲۵ درجه سانتیگراد است. |

جدول (۳) تعریف نمایه‌های حدی بارندگی

| نمایه‌های بارش‌های حدی | |
|---------------------------------|--|
| روزهای بارانی | فراوانی روزهایی که حداقل ۲ میلی‌متر بارندگی دارند. |
| فراوانی بارش‌های حدی | فراوانی روزهای بارانی که بارش بیش از میانگین صدک ۹۹ ام دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ است. |
| شدت بارش‌های حدی | شدت متوسط بارندگی‌های بیشتر یا مساوی صدک ۹۹ ام هر سال. |
| درصد بارش‌های حدی | درصد مجموع سالانه بارندگی‌های بیشتر یا مساوی با صدک ۹۹ ام هر سال. |
| روزهای بارندگی سنگین | فراوانی روزهایی که بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر بارندگی دارند |
| روزهای مرطوب متوالی | بیشترین تعداد روزهای متوالی که بزرگ‌تر یا مساوی ۱ میلی‌متر بارندگی دارند. |
| روزهای خشک متوالی | بیشترین تعداد روزهای متوالی که کوچک‌تر یا مساوی ۱ میلی‌متر بارندگی دارند. |
| بیشترین مقدار بارش ۵ روز متوالی | مجموع بیشترین بارش برای ۵ روز متوالی. |

از میان ۱۴ شاخص مذکور، ۶ شاخص برای درجه حرارت و ۸ شاخص دیگر برای بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص‌ها بر اساس صدک ۹۹ ام و صدک اول می‌باشند. پس از ترتیب صعودی داده‌های ۳۶۵ روز در هر سال، چهارمین داده از ابتدا برای صدک اول و چهارمین داده از انتها نیز به صدک ۹۹ اختصاص داده شد (Nandintsetseg et al, 2007, P. 342).

روندهای خطی سری زمانی هر شاخص در طی دوره مورد مطالعه با استفاده از روش حداقل مربعات استخراج گردید و آزمون معنی‌داری آنها از طریق روش من - کندال مورد ارزیابی قرار گرفت. این روش یک غیرپارامتریک است که جزو آزمون‌های رتبه‌ای محسوب می‌شود. در روش من - کندال جهت شناسایی نقاط شروع و جهت روند سری‌های زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر $U(t)$ و $U'(t)$ استفاده می‌شود. در این آزمون در

صورتی که سری زمانی مرتب شده y_i جای خود را به رتبه‌های متعلق به خود یعنی i بدهد، آنگاه در مقایسه هر رتبه با سایر رتبه‌های سری مورد نظر در صورتی که به ازای $i > j$ ، $y_i > y_j$ باشد یک واحد به مقدار اولیه t افزوده می‌شود. این کار با مقایسه رتبه داده اول با سایر داده‌ها آغاز و تا مقایسه رتبه‌های دو مقدار انتهایی ادامه می‌یابد (۴). آماره من - کندال $U(t)$ به شرح زیر محاسبه می‌شود (جامعی، ۱۳۸۶: ۴۷):

$$U(t) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{\text{var}(t_i)}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه فوق $E(t_i)$ و $\text{var}(t_i)$ به ترتیب امید ریاضی و واریانس شاخص t می‌باشند که به طرق زیر محاسبه می‌گردند:

$$E(t) = \frac{i(i-1)}{4} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\text{var}(t) = \frac{[i(i-1)(2i+5)]}{72} \quad (\text{رابطه ۳})$$

برای محاسبه شاخص $U'(t)$ در تعیین t_i به جای مقایسه اولین داده با داده‌های مابعد، آخرین داده با داده‌های ماقبل مقایسه می‌شود. شاخص $U'(t)$ به صورت زیر محاسبه می‌گردد (جامعی، ۱۳۸۶: ۴۸):

$$U'(t) = \frac{-(\sum t'_i - E'_{t_i})}{\sqrt{\text{var}(t_i)}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$E'(t_i) = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)}{4} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\text{var}(t_i) = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)[2(N - (n_i - 1)) + 5]}{72} \quad (\text{رابطه ۶})$$

نتایج و بحث

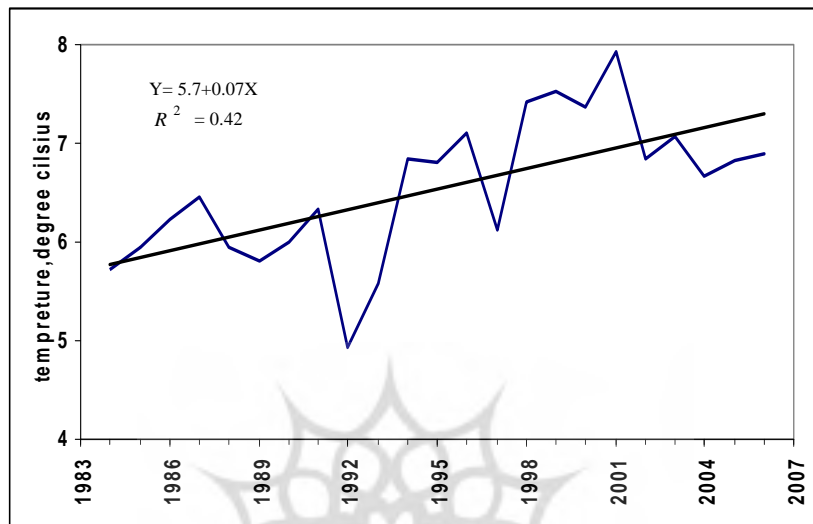
جهت بررسی روند تغییر داده‌های اقلیمی، تلاش‌های زیادی صورت گرفته است. در بیشتر این بررسی‌ها، عمدتاً میانگین ماهانه و یا سالانه داده‌های دما و بارندگی در طی دوره مورد مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. هرچند تحلیل داده‌های ماهانه معمولاً برای نشان دادن شکل کلی الگوی فصلی عناصر اقلیمی کافی است، اما تغییرات فصول طبیعی ضرورتاً منطبق با محدوده زمانی ماه‌ها شد. از سوی دیگر فرین‌های روزانه نسبت به آنومالی‌های ماهانه، تأثیر بزرگ‌تری بر روی فعالیت و سلامتی گیاهان، جانوران و انسان‌ها دارند (Caprio et al, 2008, P. 66). از این رو در این تحقیق روند تغییرات روزانه عناصر اقلیمی درجه حرارت و بارندگی حوضه دریاچه ارومیه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

الف- درجه حرارت

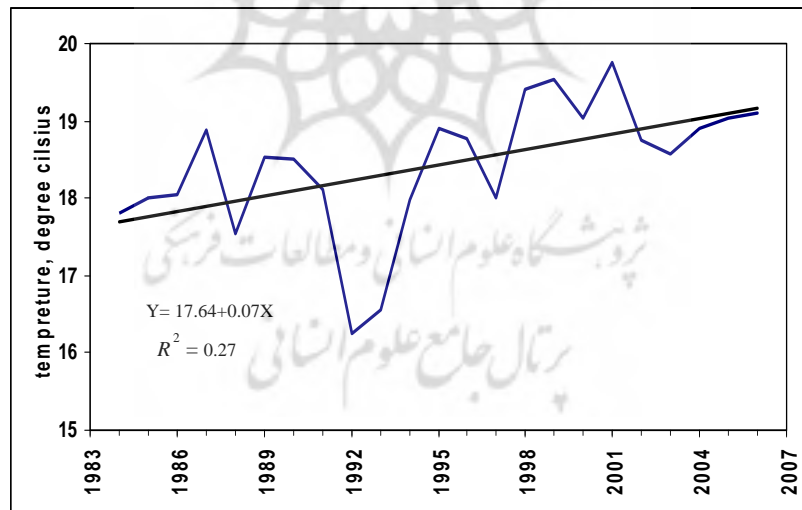
تغییر درجه حرارت‌های حدی منطقه‌ای در ارتباط با حوادث اقلیمی شدید نظیر روزهای داغ یا شب‌های گرم یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تغییر اقلیم می‌باشد؛ زیرا در بیشتر موارد تغییرات حدی اقلیمی ۵ تا ۱۰ برابر تغییرات میانگین اقلیمی است (Yan and Yang, 2000, P. 268).

در اینجا ابتدا روند تغییرات سالانه درجه حرارت حداقل و حداکثر منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس به تحلیل تغییرات نمایه‌های حدی درجه حرارت در منطقه در طی دوره مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

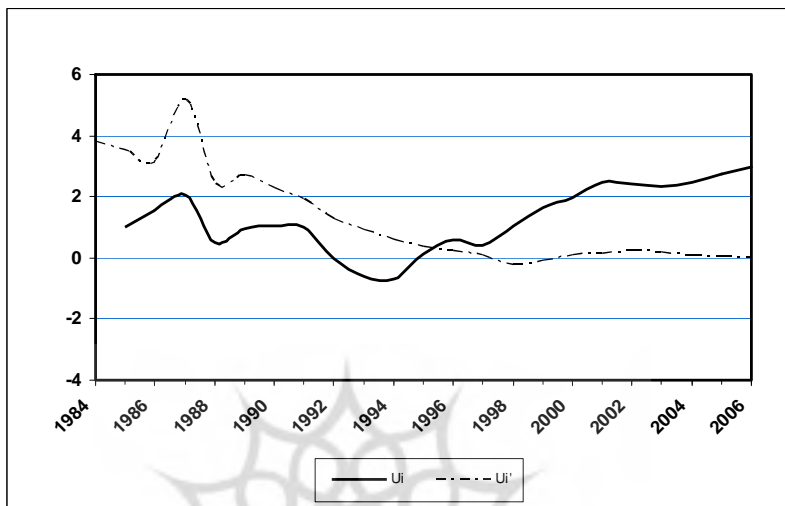
شکل‌های ۲ و ۳، سری زمانی میانگین سالانه درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر سالانه منطقه را نشان می‌دهند. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، هم دمای حداقل و هم دمای حداکثر سالانه در طی دوره آماری در منطقه روند افزایشی داشته‌اند. میانگین دمای حداقل سالانه در طی دوره مورد مطالعه $6/54^{\circ}\text{C}$ و میانگین حداکثر دما سالانه $18/43^{\circ}\text{C}$ می‌باشد.



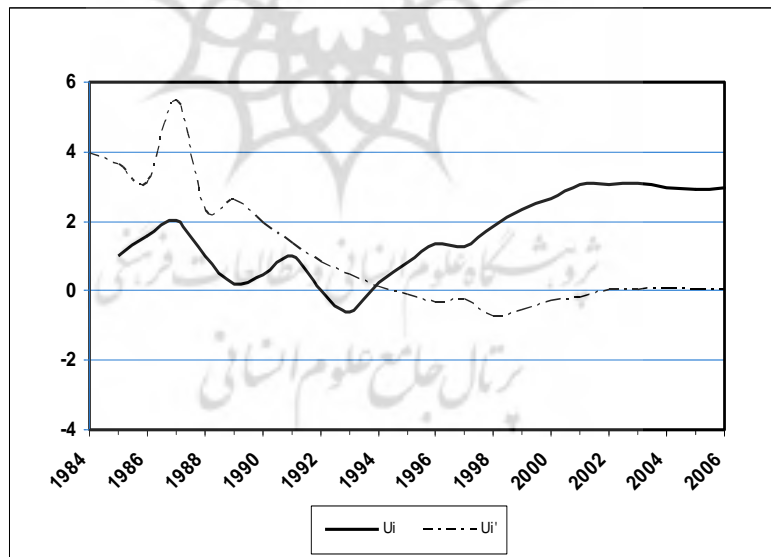
شکل (۲) تغییرات میانگین حداکثر دمای سالانه منطقه



شکل (۳) تغییرات میانگین حداقل دمای سالانه منطقه



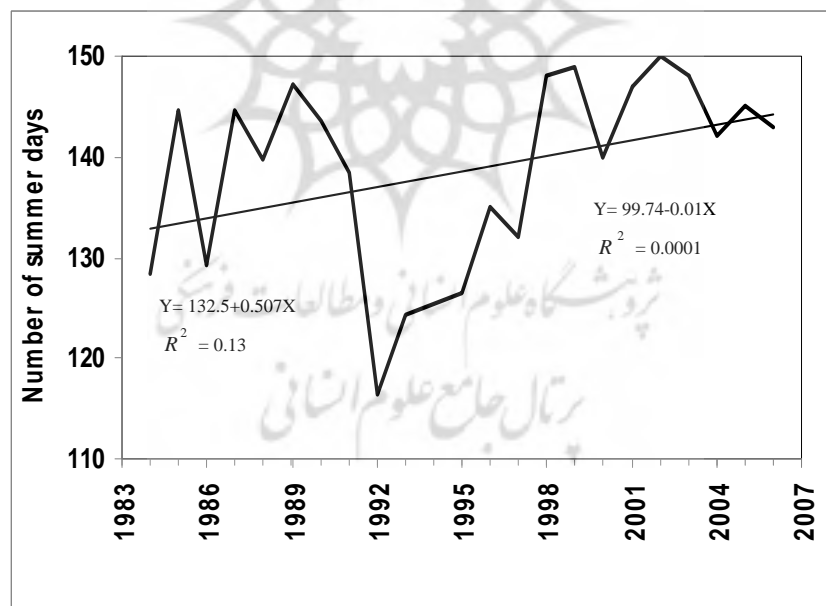
شکل (۴) U و U' دمای حداکثر روزانه



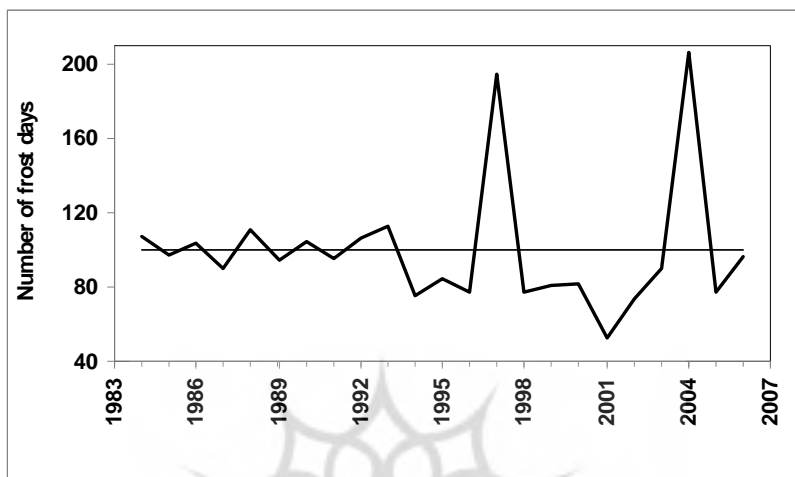
شکل (۵) نمودارهای U و U' دمای حداقل روزانه

مطابق نمودارهای من - کندال (اشکال ۴ و ۵)، افزایش دمای حداکثر سالانه و دمای حداقل سالانه در طی دوره مورد مطالعه به اندازه $1/54^{\circ}\text{C}$ با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. چون منحنی U بعد از تقاطع با U' از محدوده باند اطمینان ($\pm 1/96$) خارج گشته است.

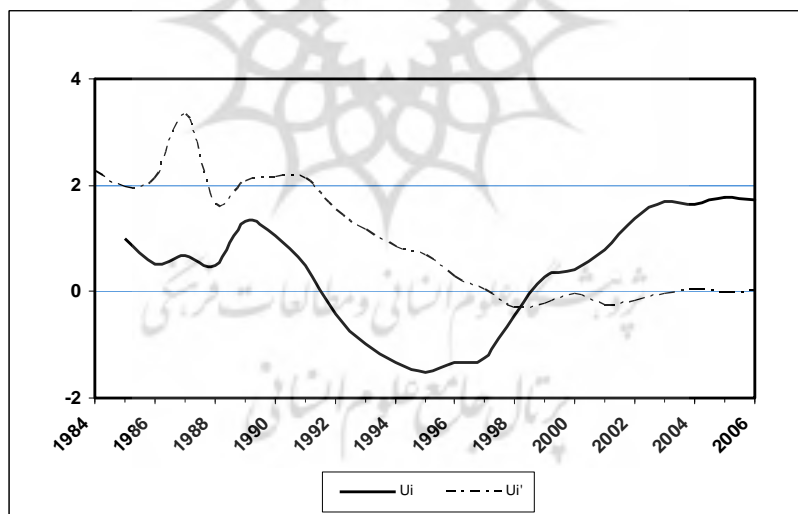
از جمله نمایه‌های حدی دما، روزهای یخبندان و روزهای تابستانی می‌باشند. اشکال ۶ و ۷ سری زمانی روزهای یخبندان و روزهای تابستانی را نشان می‌دهند. همانطور که در نمودارهای من - کندال (اشکال ۸ و ۹) مشاهده می‌شود، فراوانی روزهای یخبندان (روزهایی که دمای حداقل زیر صفر درجه سانتی‌گراد است) تغییرات معنی‌داری را نشان نمی‌دهد، چرا که دو منحنی U و U' چندین بار باهم تقاطع داشته‌اند. اما تعداد روزهای تابستانی (یعنی روزهایی که حداکثر درجه حرارت بالای 25°C است) افزایش یافته است. روند افزایشی روزهای تابستانی ۴/۸۵ روز در دهه می‌باشد که با اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است.



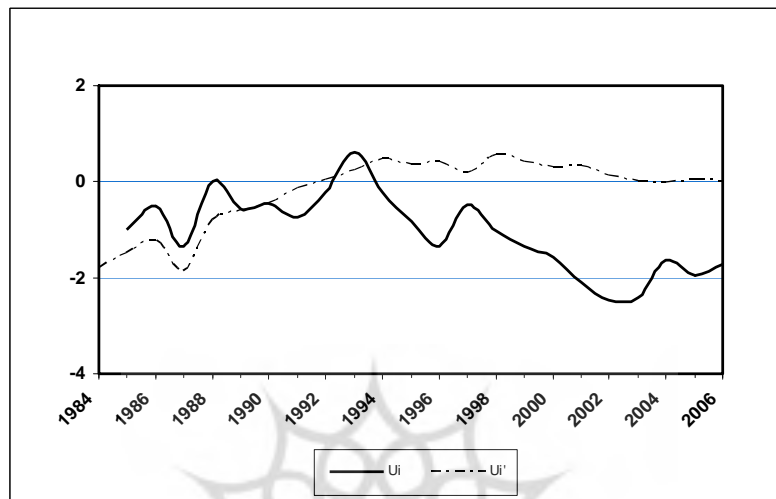
شکل (۶) فراوانی روزهای یخبندان



شکل (۷) فراوانی روزهای تابستانی



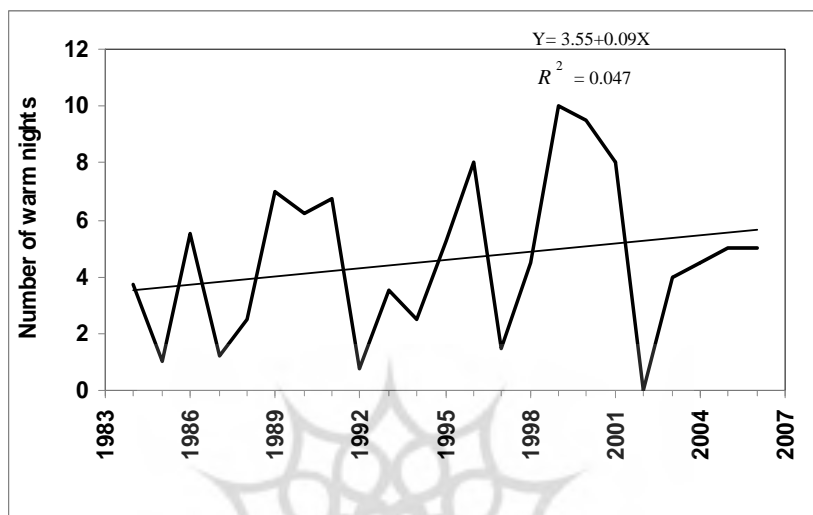
شکل (۸) نمودارهای U و U' روزهای یخبندان



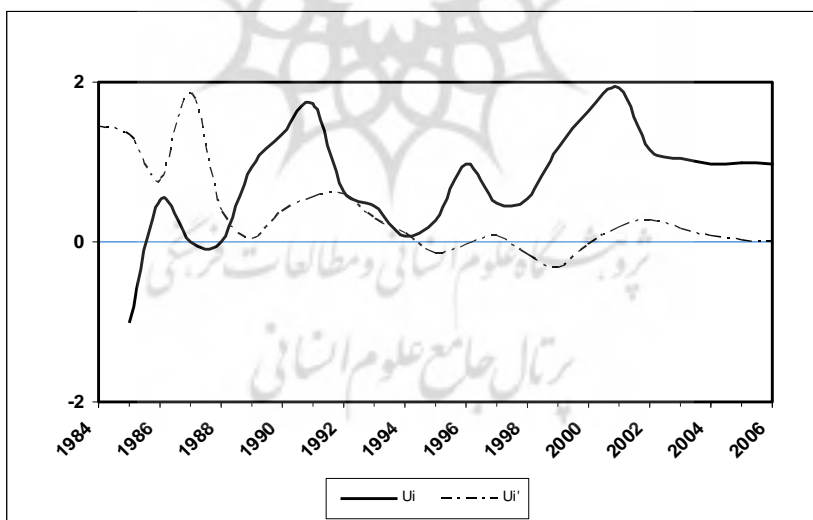
شکل (۹) نمودارهای U و U' روزهای تابستانی

سری زمانی فراوانی روزهایی که در طی دوره آماری در منطقه، حداقل دما کمتر از صدک اول (شب‌های سرد) و بیشتر از صدک ۹۹ ام (شب‌های گرم) و حداکثر دما کمتر از صدک اول (روزهای سرد) و بیشتر از صدک ۹۹ ام (روزهای داغ) است، محاسبه گردید. به طوری که اشکال ۱۰ تا ۱۷ نشان می‌دهند در طی دوره آماری، تعداد روزهای داغ و شب‌های گرم افزایش یافته، در حالی که تعداد روزهای سرد و شب‌های سرد کاهش پیدا کرده است. کاهش روزها و شب‌های سرد به اندازه ۴ روز در دهه با سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار است (اشکال ۱۳ و ۱۷). مطابق شکل ۱۱ افزایش ۰/۸۵ روز در دهه شب‌های گرم نیز با سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. اما به طوری که در شکل ۱۵ ملاحظه می‌گردد، افزایش روزهای داغ روند معنی‌داری ندارد.

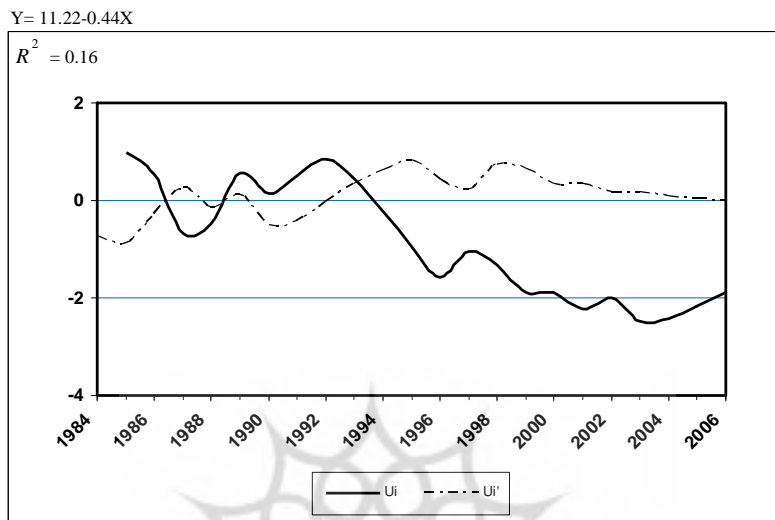
همانطور که اکثر گزارش‌های جهانی حاکی از گرمایش بیشتر در میانگین ماهانه دماهای حداقل نسبت به گرمایش میانگین ماهانه دماهای حداکثر هستند (Easterling et al, 1997, P. 365)، در حوضه دریاچه ارومیه نیز میزان گرمایش در دماهای حداقل بیش از دماهای حداکثر بوده است.



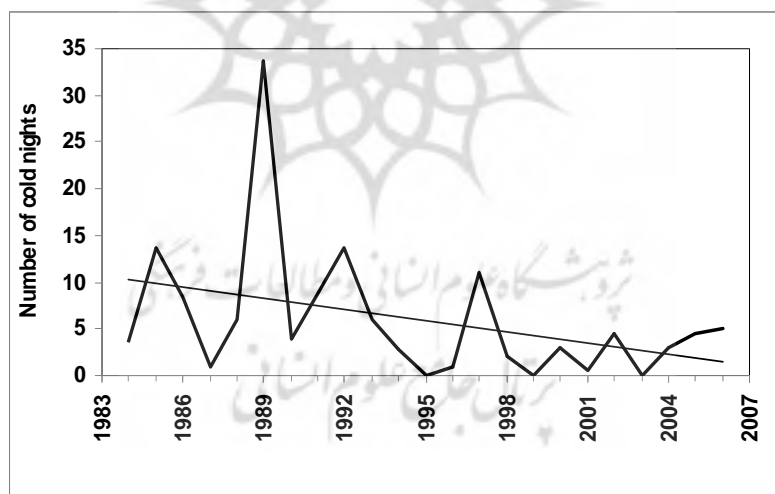
شکل (۱۰) سری زمانی فراوانی شب‌های گرم



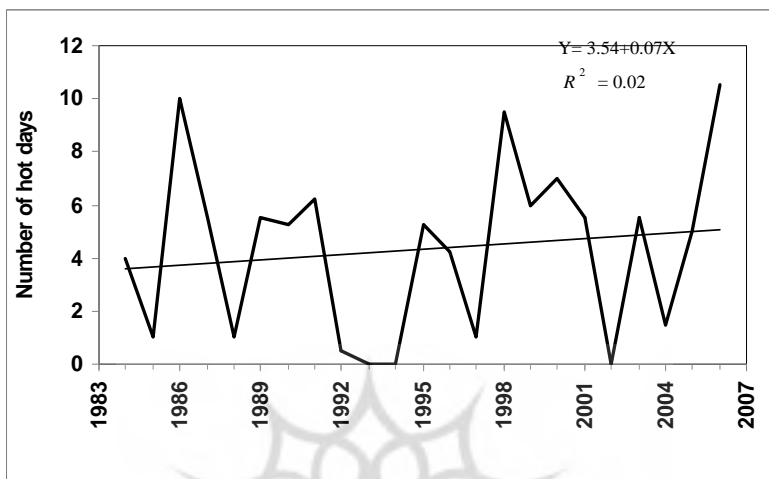
شکل (۱۱) U و U' شب‌های گرم



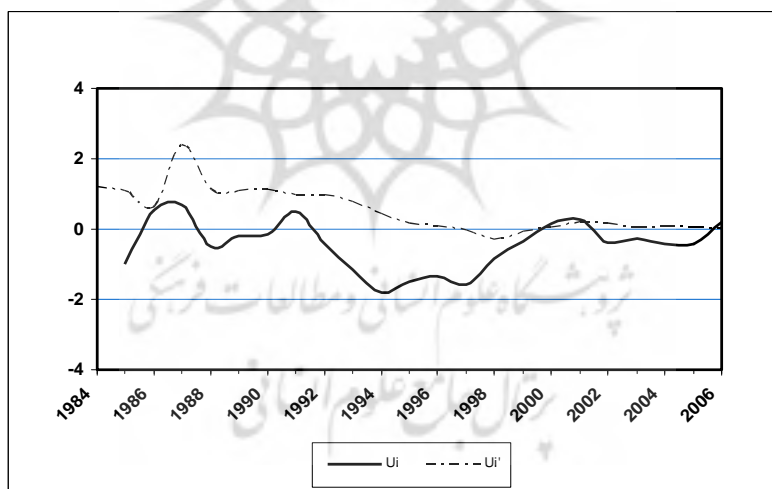
شکل (۱۲) سری زمانی فراوانی شب‌های سرد



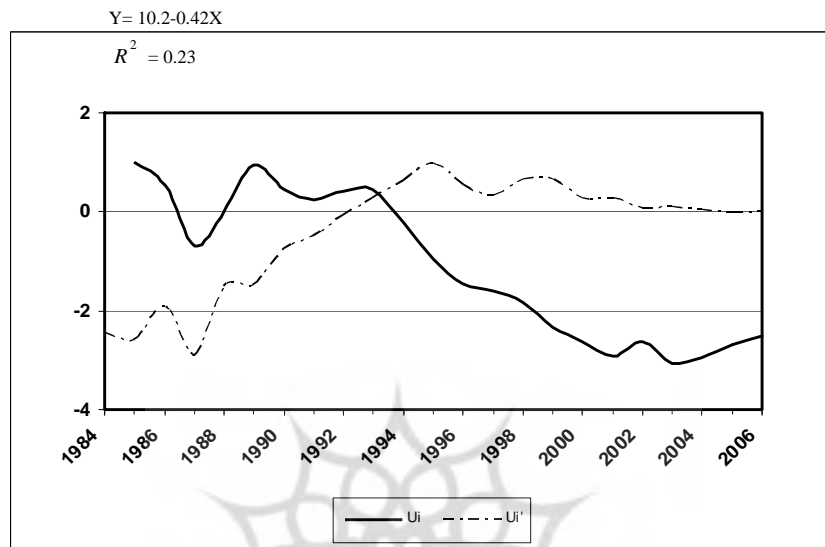
شکل (۱۳) نمودارهای U و U' شب‌های سرد



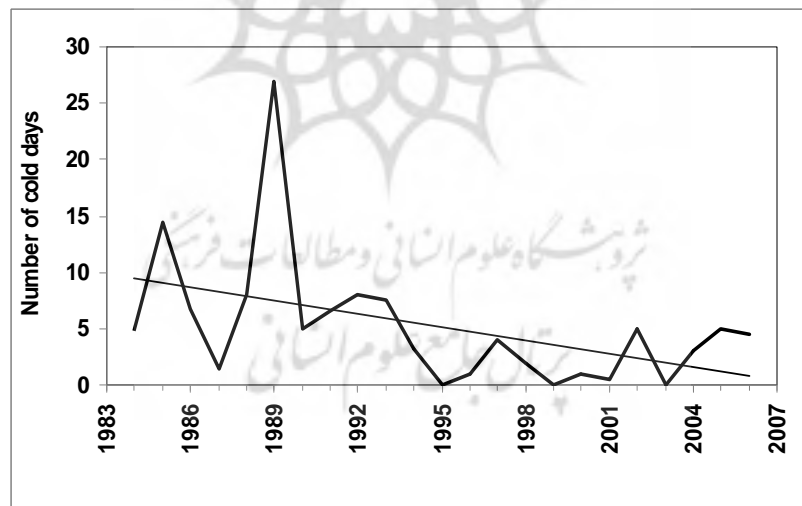
شکل (۱۴) سری زمانی فراوانی روزهای داغ



شکل (۱۵) نمودارهای U و U' روزهای داغ



شکل (۱۶) سری زمانی فراوانی روزهای سرد

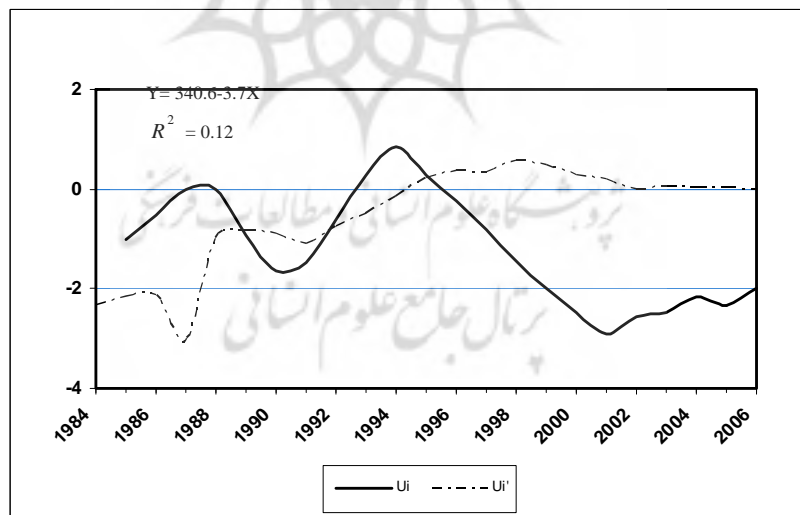


شکل (۱۷) نمودارهای U و U' روزهای سرد

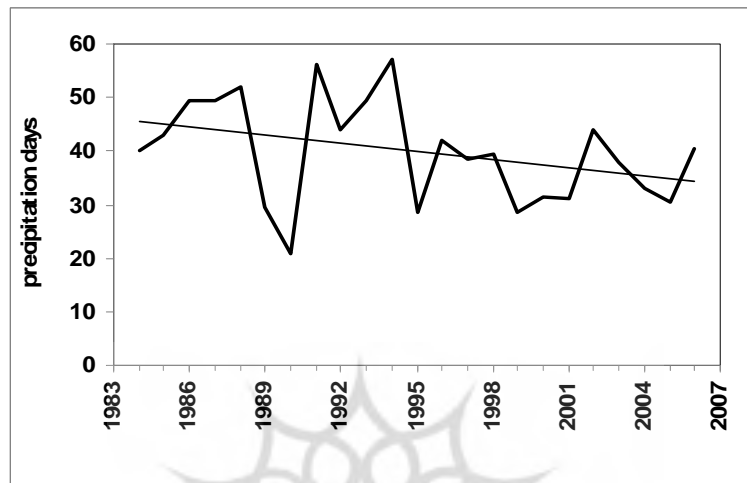
ب - بارندگی

وقوع بارش‌های حدی روندهای مداومی را در اکثر مناطق دنیا نشان می‌دهد (Trenberth et al, 2007)، و سیر این روند تحت تأثیر گرمایش جهانی انسان ساز در حال افزایش است (Meehl et al, 2007). میانگین متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه ۳۰۵ میلی‌متر است که بیشتر آن در ماه‌های سرد سال می‌بارد. روند بارندگی سالانه منطقه حاکی از کاهش معنی‌دار بارندگی در طی دوره ۱۹۸۴-۲۰۰۶ با اطمینان ۹۹٪ دارد (اشکال ۱۸ و ۱۹). تغییرات قابل ملاحظه در مقادیر بارندگی تأثیر زیادی در کشاورزی، منابع آب، فرسایش خاک و بیابان‌زایی دارد. به منظور تجزیه و تحلیل بهتر تغییرات مقادیر بارندگی بایستی تغییر بارش‌های حدی مورد بررسی قرار گیرد.

جهت بررسی روند بارش‌های حدی تاکنون شاخص‌های بی‌شماری توصیف شده و تجزیه و تحلیل گردیده‌اند. گروهی از این شاخص‌ها بر مبنای آستانه‌های مطلق و گروهی دیگر بر مبنای صدک‌ها هستند.

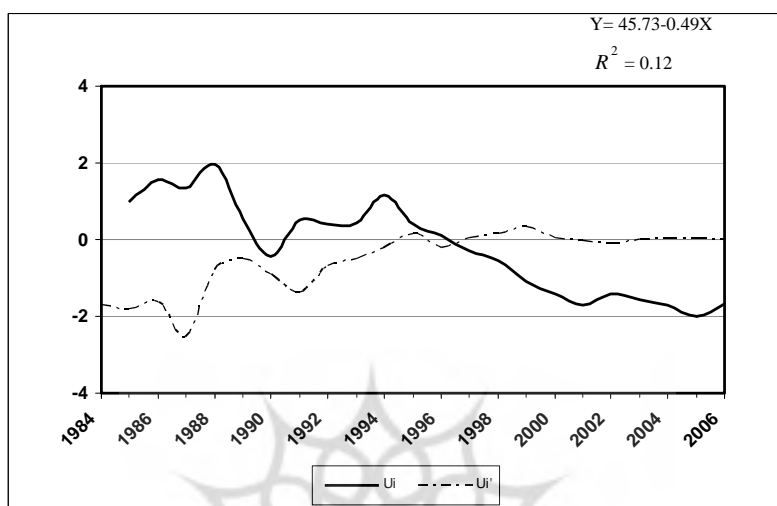


شکل (۱۸) تغییرات بارندگی سالانه منطقه

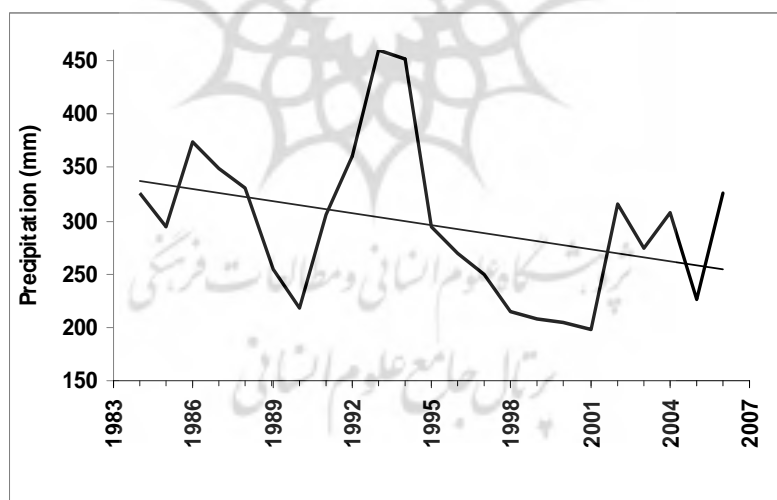


شکل (۱۹) نمودارهای U و U' بارندگی سالانه

تحلیل داده‌های روزانه بارندگی از اهمیت زیادتری برخوردار است؛ چرا که نتایج این تحلیل می‌تواند اطلاعات مفیدی را جهت کاربرد در بخش‌های هیدرولوژی و منابع آب در بر داشته باشد. بررسی روند بارش‌های حدی بر اساس تحلیل آماری معنی‌داری روندهای نمایه‌های منتخب تعریف شده در طی دوره آماری می‌باشد. یکی از این نمایه‌ها، تعداد روزهای بارانی است که به تعداد روزهایی اطلاق می‌شود که میزان بارندگی حداقل ۲ میلی‌متر باشد. شکل ۲۰ تغییرات تعداد روزهای بارندگی منطقه را در طی دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. مطابق این شکل و نیز نمودارهای من - کندال (شکل ۲۱) تعداد روزهای بارانی در منطقه مورد مطالعه کاهش معنی‌داری (به میزان $4/7$ - روز در دهه) در سطح اطمینان ۹۵٪ داشته است.

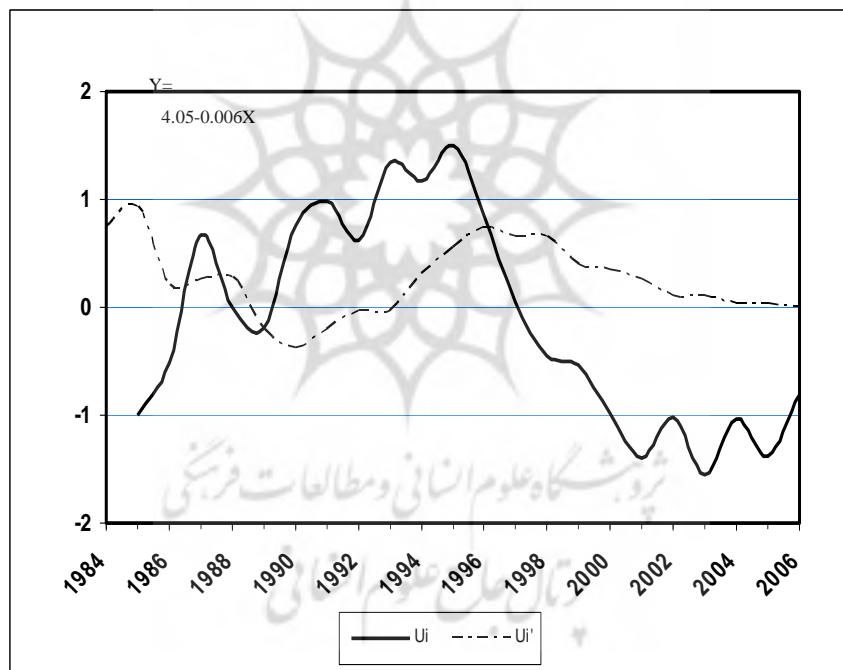


شکل (۲۰) تغییرات تعداد روزهای بارندگی

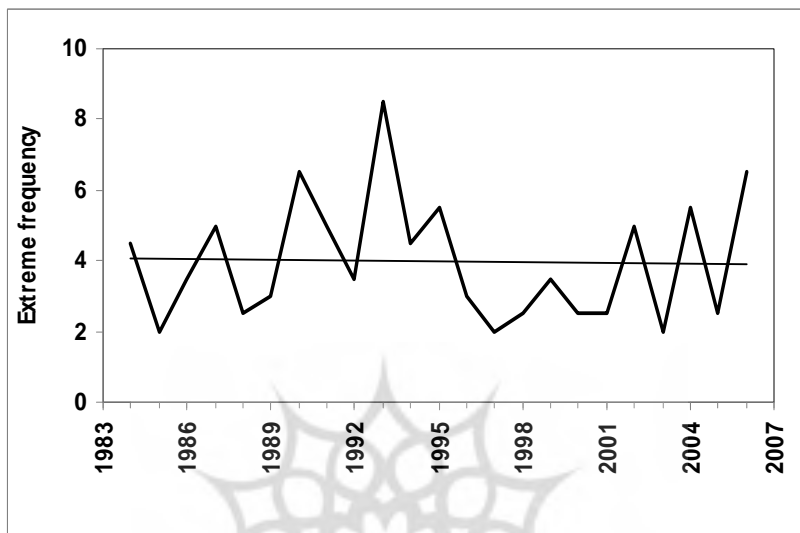


شکل (۲۱) نمودارهای U و U' تعداد روزهای بارندگی

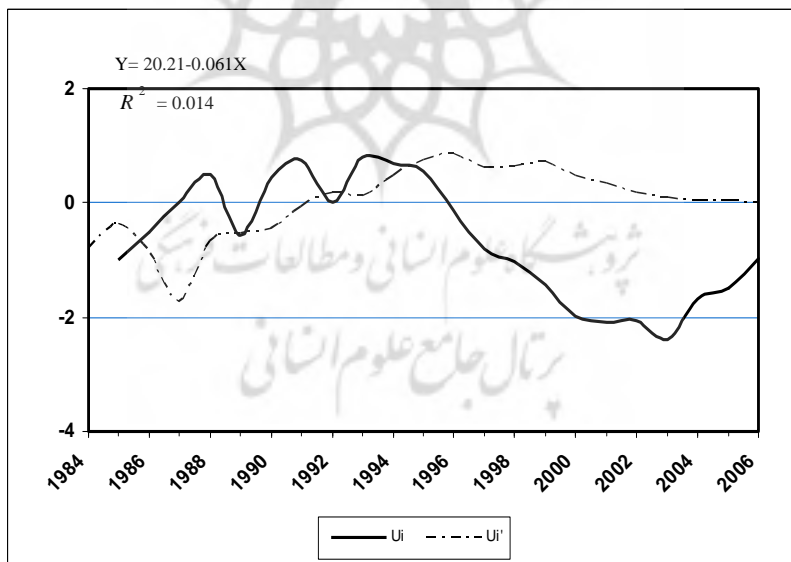
فراوانی، شدت و سهم بارش‌های حدی، برای بارندگی‌های روزانه منطقه محاسبه گردیده و نتایج آن به همراه منحنی‌های U و U' در اشکال ۲۲ تا ۲۷ نشان داده شده است. در شکل ۲۸ و ۲۹ نیز تعداد روزهای با بارش سنگین (بیش از ۱۰ میلی‌متر) نمایش داده شده است. این شاخص‌ها نشان می‌دهند که تعداد و شدت بارش‌های حدی تغییر معنی‌داری نداشته است، اما سهم این بارندگی‌ها از مجموع بارش سالانه افزایش معنی‌داری پیدا کرده است. تعداد روزهایی که بارندگی بیشتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر است، به میزان $1/7$ - میلی‌متر در دهه کاهش یافته که در سطح ۹۹٪ معنی دار است.



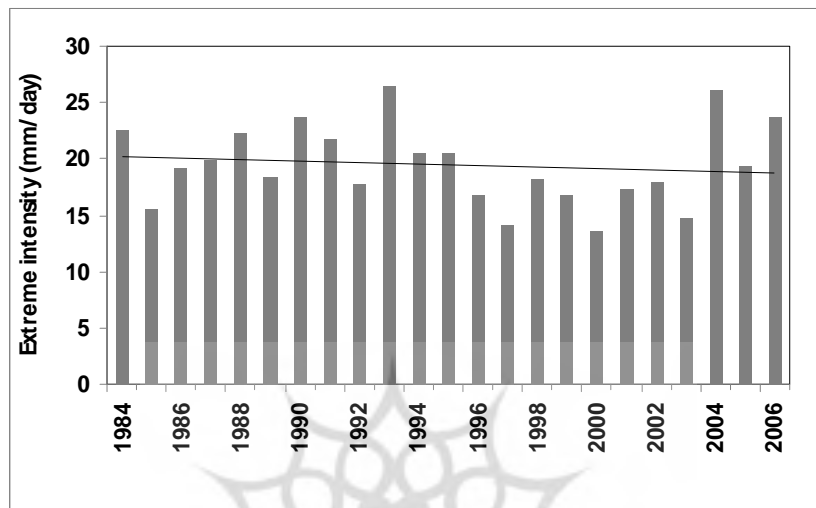
شکل (۲۲) فراوانی بارش‌های حدی



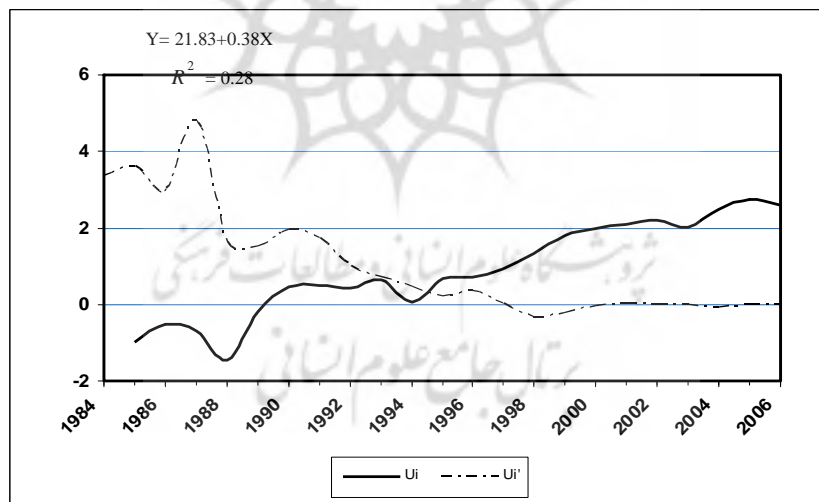
شکل (۲۳) نمودارهای U و U' فراوانی بارش‌های حدی



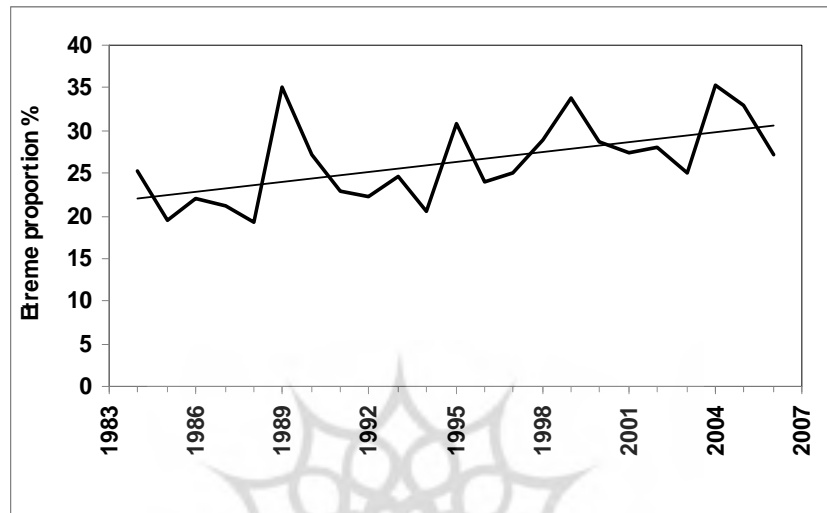
شکل (۲۴) شدت بارش‌های حدی



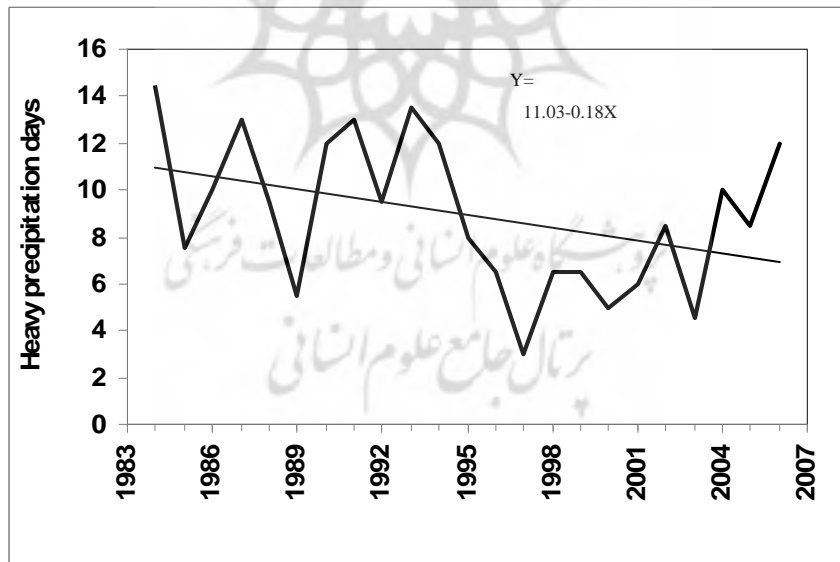
شکل (۲۵) نمودارهای U و U' شدت بارش‌های حدی



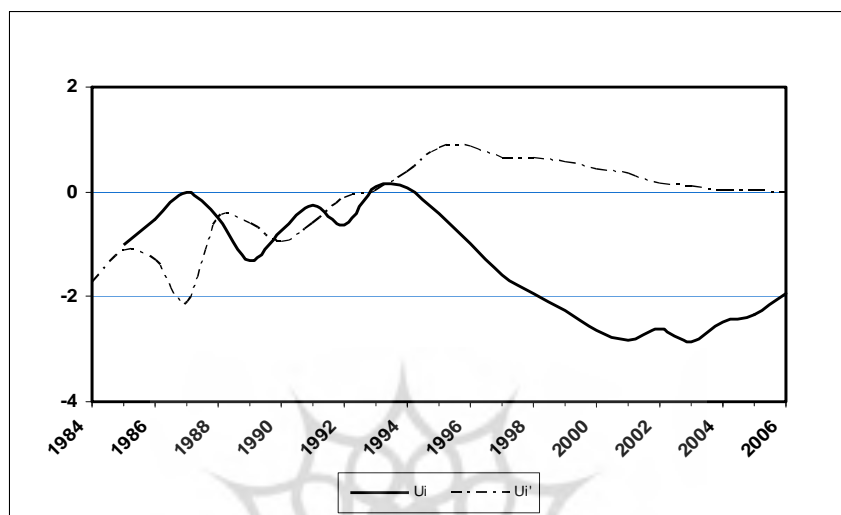
شکل (۲۶) سهم بارش‌های حدی از مجموع بارش سالانه



شکل (۲۷) U و U' سهم بارش‌های حدی

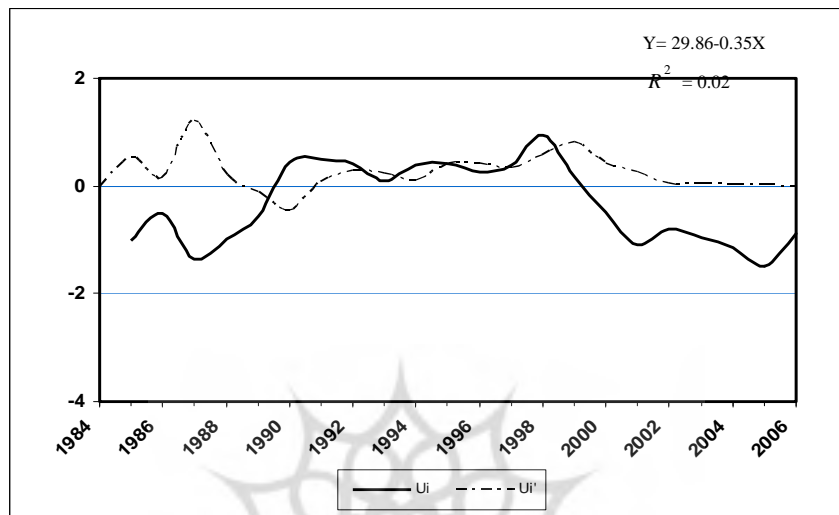


شکل (۲۸) تعداد روزهای با بارش سنگین

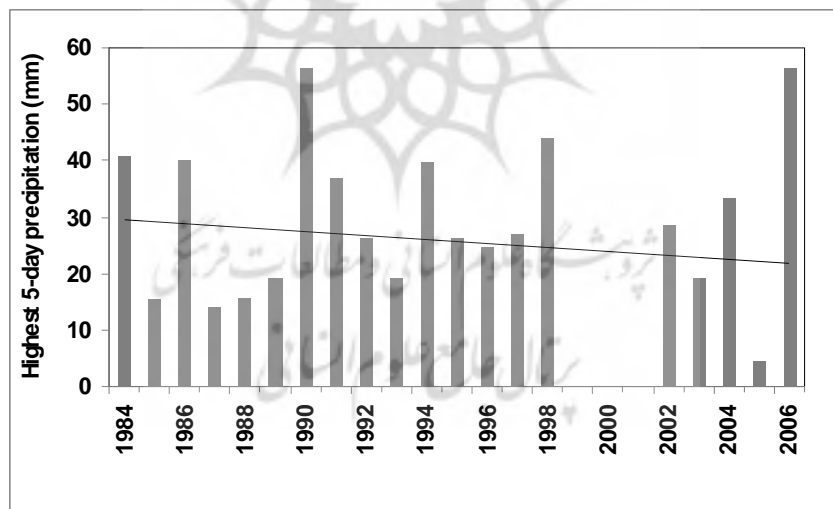


شکل ۲۹- نمودارهای U و U' تعداد روزهای بارندگی سنگین

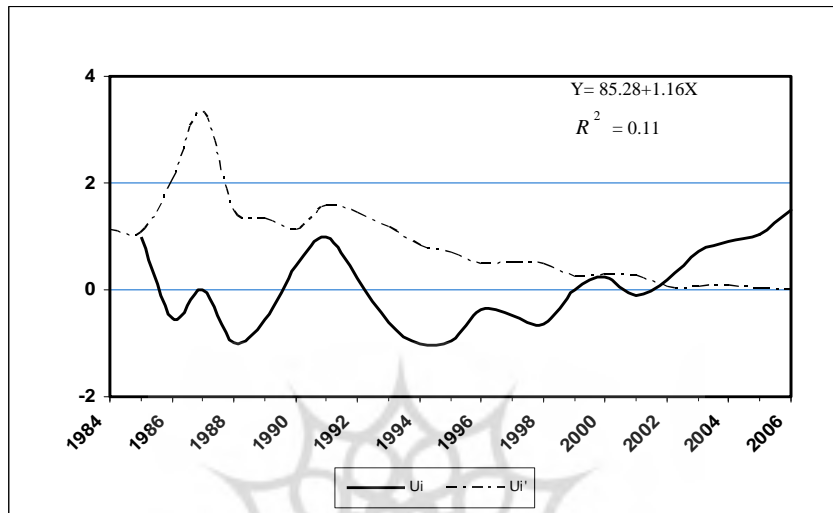
شاخص دیگر برای بررسی بارش‌های حدی، مجموع بیشترین مقدار بارش ۵ روزه متوالی می‌باشد. این شاخص در منطقه مورد مطالعه، کاهش ملایمی را نشان می‌دهد (شکل ۳۰). اما طبق نمودار من - کندال (شکل ۳۱) این کاهش معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین در طی دوره آماری، تعداد روزهای متوالی خشک افزایش داشته است، ولی این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد (اشکال ۳۲ و ۳۳). در صورتی که تعداد روزهای متوالی مرطوب به میزان $0/4-$ روز در دهه با سطح اطمینان ۹۵٪ کاهش یافته است (اشکال ۳۴ و ۳۵).



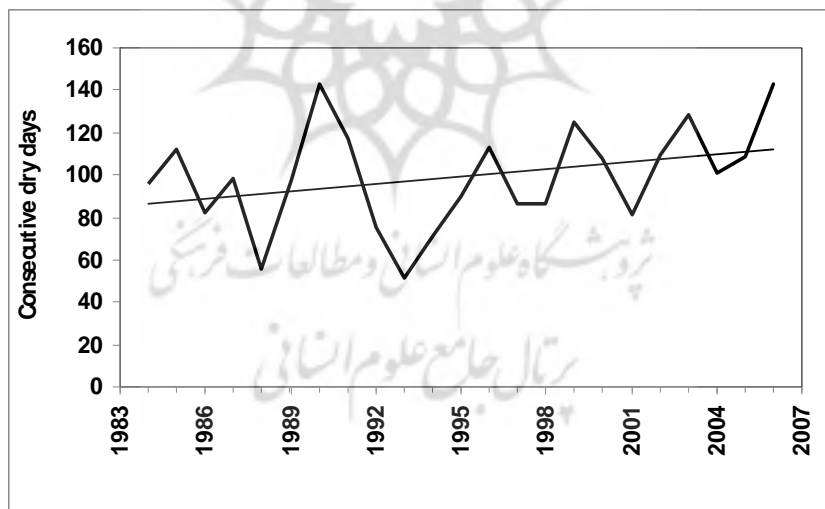
شکل (۳۰) نمودار مجموع بیشترین بارش ۵ روز متوالی



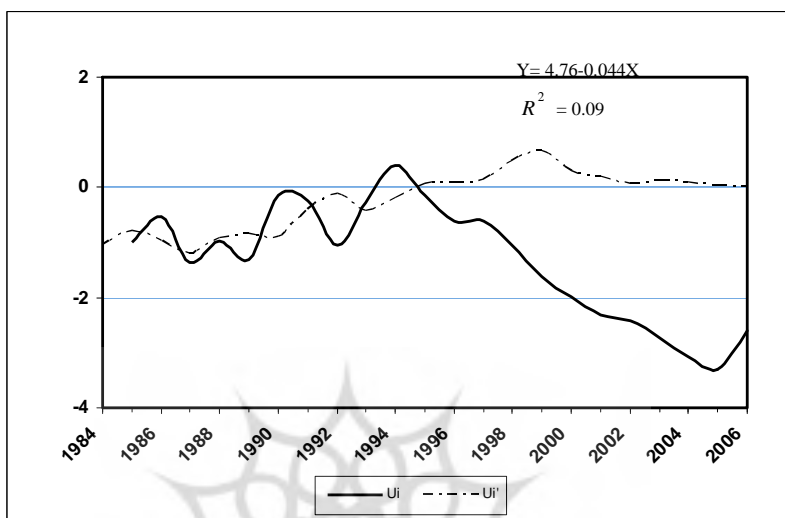
شکل (۳۱) نمودارهای U و U' مقدار بارش ۵ روزه



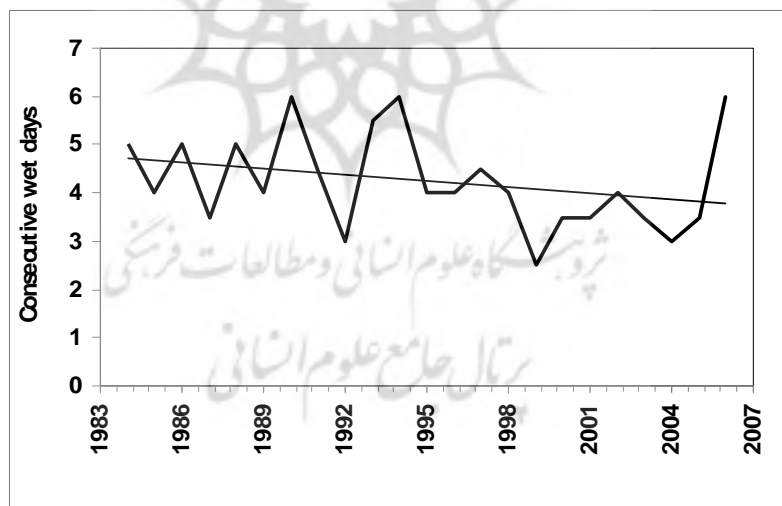
شکل (۳۲) بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی



شکل (۳۳) نمودارهای U و U' تعداد روزهای خشک متوالی



شکل (۳۴) بیشترین تعداد روزهای مرطوب متوالی



شکل (۳۵) نمودارهای U و U' تعداد روزهای مرطوب متوالی

روند تغییر نمایه‌های درجه حرارت و بارندگی حدی مورد بررسی در این تحقیق، با استفاده از روش حداقل مربعات محاسبه گردیده و مقادیر آن به همراه معنی‌داری آنها بر اساس آزمون من - کندال در جدول ۴ درج شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار تغییر معنی‌دار روند، متعلق به روزهای تابستانی می‌باشد.

جدول (۴) روندهای خطی نمایه‌های درجه حرارت و بارندگی حدی منطقه (۲۰۰۶-۱۹۸۴)

| نمایه | روند در دهه | نمایه | روند در دهه |
|-----------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| شب‌های سرد | -۴/۲۱** | روزهای بارانی | -۴/۷* |
| روزهای سرد | -۴** | فراوانی بارش‌های حدی | -۰/۰۶ |
| روزهای یخبندان | ۰/۰۸۶ | شدت بارش‌های حدی | -۰/۵۷ |
| روزهای داغ | ۰/۶۵ | درصد بارش‌های حدی | ۳/۶۱** |
| شب‌های گرم | ۰/۸۵* | روزهای بارندگی سنگین | -۱/۷** |
| روزهای تابستانی | ۴/۸۵* | روزهای مرطوب متوالی | -۰/۴* |
| حداقل دما | ۰/۶۷** | روزهای خشک متوالی | ۱۰/۶ |
| حداکثر دما | ۰/۶۷** | بیشترین مقدار بارش ۵ روز متوالی | -۳/۴ |

** با سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار و * با سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار

نتیجه‌گیری

از آنجا که تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی نیازمند بررسی جزئیات ویژگی‌های این تغییرات می‌باشد و همچنین انسان و محیط زیست اغلب به تغییرات حداکثرها و حداقل‌ها بیش از تغییرات شرایط میانگین واکنش نشان می‌دهند، بنابر این مشخص نمودن تغییرپذیری مقادیر حداکثر و حداقل و روند آنها مهم‌تر از شرایط متوسط اقلیمی است (Nandintsetseg et al, 2007, P. 342). در این پژوهش به تجزیه و تحلیل این روندها در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخته شده است. در طی دوره آماری ۱۹۸۴-۲۰۰۶ تغییرات معنی‌داری در دماهای حداکثر و حداقل روزانه این منطقه مشاهده می‌شود؛ این مطالعه نشان می‌دهد که تعداد روزهای تابستانی و شب‌های گرم در منطقه مورد مطالعه افزایش یافته، در حالی که تعداد روزهای سرد و شب‌های سرد به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. روند

بارندگی سالانه منطقه نیز حاکی از کاهش بارندگی در طی دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۴ دارد. تعداد روزهای بارانی (بیش از ۲ میلی‌متر) و تعداد روزهایی که بارندگی بیشتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر دارند، کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهند. همچنین در طی دوره آماری تعداد روزهای متوالی مرطوب به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده و تعداد روزهای متوالی خشک نیز افزایش یافته ولی روند معنی‌داری ندارد. این نتایج با نتایج به دست آمده از پژوهش عسگری و همکاران (۱۳۸۶) در مورد منطقه آذربایجان همخوانی دارد؛ مطابق تحقیق ایشان در منطقه آذربایجان روند اکثر نمایه‌های بارش منفی بوده است.



منابع

- ۱- جامعی، جاوید (۱۳۸۶)، «تحلیل تغییرات پراکنش فضایی - زمانی بارش و دمای شمالغرب کشور»، رساله دکتری، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز.
- ۲- جعفری، عباس (۱۳۷۶)، «رودها و رودخانه ایران»، جلد دوم، چاپ هامون، سازمان گیتاشناسی ایران، ۵۴۴ ص.
- ۳- رحیم‌زاده، فاطمه و احمد عسگری (۱۳۸۳)، «نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه روزی دما در کشور»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، ص ۱۷۱-۱۵۳.
- ۴- عسگری، احمد، فاطمه رحیم‌زاده، نوشین محمدیان و ابراهیم فتاحی (۱۳۸۶)، «تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران»، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۳.
- ۵- نوریان، علی محمد، فاطمه رحیم‌زاده، و عبدا. صداقت کردار، (۱۳۸۷) «گرمایش در کشور و تبعات آن بر دیگر پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۱»، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- 6- Caprio, Joseph M., Harvey A. Quamme, Kelly T. Redmond (2009), "A Statistical Procedure to Determine Recent Climate Change of Extreme Daily Meteorological Data as Applied at Two Locations in Northwestern North America", *Climatic Change*, 92:65-81, DOI 10.1007/s10584-008-9474-1.
- 7- Easterling Dr., et al. (1997), "Maximum and Minimum Temperature Trends for the Glob", *Science* 277: 364-367.
- 8- IPCC, (2001), "*Climate Change, Synthesis Report, A Contribution of Working Group I, II and III to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Watson and the Core Writing Team (eds)*." Cambridge University Press.
- 9- IPCC, In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., Dokken, D.J. (Eds.), (2001), "*Special Report on the Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability*", Cambridge University Press, UK.
- 10- Karl TR, Nicholls N, Ghazi A. (1999), "CLIVAR/GCOS/WMO: Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes", *Climate Change*, 42: 3-7.

- 11- Klein Tank et al. (2006), "Changes in Daily Temperature and Precipitation Extremes in Central and South Asia", *Journal of Geophysical Research* 111: D16105, DOI: 10.1029/2005JD006316.
- 12- Liu B, Xu M, Henderson M, QI Y. (2005), "Observed Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in China", 1960-2000. *Journal of Geophysical Research* 110: D08103, doi:10.1029/2004JD004864.
- 13- Meehl GA, et al. (2007), "*The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*", Chapter Global Climate Projections, Cambridge University Press: Cambridge, New York.
- 14- Nandintsetseg B, Greene J.S, Goulden C.E. (2007), "Trends in Extreme Daily Precipitation and Temperature Near Lake Hovsgol", Mongolia, *International Journal of Climatology*, 27: 341-347.
- 15- Nicholls N, Murray B. (1999), "Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes: Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997, Breakout Group B: Precipitation, *Climate Change* 42: 23-29.
- 16- Peterson TC, Folland C, Grizu G, Hogg W, Mokssit A, Plummer N. (2001), "Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001", *International CLIVAR Project Office Southampton*: UK: PP.143.
- 17- Trenberth KE, et al. (2007), "*Climate change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*", Cambridge University Press: Cambridge, New York.
- 18- Yan Z, et al. (2002), "Trends of Extreme Temperature in Europe and China Based on Daily Observations", *Climate Change*, 53: 355-392.
- 19- Yan ZW, Yang C. (2000), "Geographic Patterns of Climate Extreme Changes in China During", 1951-1997, *Climatic and Environmental Research* 5: 267-272.