

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰

صفحات: ۱۹۴ - ۱۷۵

## مدل سازی و روندیابی شاخص‌های حدی دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه

علی محمد خورشیددوست<sup>۱</sup>، علی اکبر رسولی<sup>۲</sup>، سعید زنگنه<sup>۳\*</sup>

### چکیده

دما و بارش از عناصر اساسی اقلیم است لذا تغییرات ناگهانی یا کوتاه-مدت و درازمدت آن می‌تواند ساختار آب و هوای هر محل را دگرگون سازد. هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی روند شاخص‌های حدی اقلیمی با استفاده از روش‌های آماری ریز مقیاس‌نمایی و تولید داده‌های مصنوعی می‌باشد. در این تحقیق به منظور دست‌یابی به این اهداف، ابتدا داده‌های اقلیمی دما، بارش، ساعات آفتابی و ... طی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی اخذ گردید. سپس با استفاده از مدل آماری CLIMGEN و داده‌های مشاهداتی دما، بارش و ... سه ایستگاه منتخب حوضه، داده‌های دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ تولید شد. با استفاده از نرم افزار RCLimDex شاخص‌های حدی دما و بارش شامل روزهای یخبندان، روزهای تابستانی، روزهای خیلی مرطوب و روزهای خشک متوالی استخراج گردید. در نهایت با استفاده از MINITAB و مدل سری‌های زمانی روند شاخص‌های اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب حوضه دریاچه ارومیه ترسیم شد. برای صحت‌سنجی و ارزیابی مدل، توسط داده‌های مشاهداتی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ به پیش‌بینی داده‌های دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۱ بوسیله مدل پرداخته شد. سپس همبستگی و میزان خطای<sup>۱</sup> MAE و<sup>۲</sup> RMSE بین داده‌های تولید شده با داده‌های مشاهداتی توسط SPSS و EXCEL بدست آمد. بیش‌ترین میانگین خطای مطلق بارش در ایستگاه ارومیه با ۴/۶۹ میلیمتر و کم‌ترین آن در ایستگاه تبریز با ۳/۰۷ میلیمتر اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین میزان مجذور میانگین مربعات خطای بارش در ایستگاه تکاب با ۶/۴ میلیمتر و کم‌ترین آن در ایستگاه تبریز ۴/۰۱ میلیمتر بدست آمد. نتایج نشان دهنده افزایش رویدادهای حدی دما و بارش از جمله افزایش روند روزهای تابستان (روزهای گرم)، افزایش روزهای خیلی مرطوب (بارش سنگین) و روزهای خشک متوالی در ایستگاه‌های منتخب واقع در غرب و شرق حوضه می‌باشد؛ و افزایش روند روزهای یخبندان و کاهش روند روزهای تابستان، کاهش روزهای خیلی مرطوب و روزهای خشک متوالی در ایستگاه منتخب جنوب حوضه مشاهده می‌گردد.

واژگان کلیدی: شاخص‌های حدی، مدل CLIMGENT، نرم افزار RCLimDex، حوضه دریاچه ارومیه.

1- Mean Absolute Error  
2- Root Mean Square Error

khoshiddoust@tabrizu.ac.ir

rasouli@tabrizu.ac.ir

zangenehsaeed64@gmail.com

<sup>۱</sup>- استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup>- استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup>- دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

## مقدمه

از آنجا که دما و بارش از عناصر اساسی اقلیم است لذا تغییرات ناگهانی یا کوتاه مدت و درازمدت آن می‌تواند ساختار آب و هوای هر محل را دگرگون سازد. پیش‌بینی دما و بارش‌های حدی به عنوان مهمترین پارامترهای اقلیمی با توجه به تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی و خشکسالی‌ها قطعاً فرصت بیشتری را جهت برنامه‌ریزی و ارائه تمهیدات لازم در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌دهد. برای پیش‌بینی اطلاعات هواشناسی مدل‌های مختلفی توسط پژوهشگران معرفی شده است. مدل‌های WGEN (ریچاردسون و رایت<sup>۱</sup>، ۱۹۸۴)، WXGEN (شارپلی و ویلیامز<sup>۲</sup>، ۱۹۹۰)، USCLIMATE (جانسون و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶)، CLIGEN (آمولد و الیوت<sup>۴</sup>، ۱۹۹۶)، CLIMAX (دانوسو<sup>۵</sup>، ۱۹۹۷) و CLIMGEN (استوکل و همکاران<sup>۶</sup>، ۱۹۹۸) را می‌توان نام برد. اکثر این مدل‌ها برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی، از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌کنند (سیمینو و جمیسون<sup>۷</sup>، ۱۹۹۹). سیمینو و همکاران<sup>۸</sup> (۱۹۹۸) به بررسی و مقایسه دو مدل WGEN و LARS-WG بر روی ۱۸ ایستگاه در آمریکا، آسیا و اروپا پرداختند که نتایج این مقایسات بیانگر توانایی بالای مدل لارس در تولید داده برای اقلیم‌های متفاوت بود.

در مطالعه‌ای ارزیابی مدل CLIMGEN و پیش‌بینی اطلاعات هواشناسی برای منطقه تبریز مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که مدل CLIMGEN مقادیر دمای هوا، درصد رطوبت نسبی و بارش را با دقت مناسبی مورد پیش‌بینی قرار داده است (رشید نیقی و همکاران، ۱۳۸۹). این مدل توسط محققان زیادی در نقاط مختلف دنیا آزمون شده و مورد تایید قرار گرفته است (استوکل و همکاران، ۲۰۰۱).

مک‌کاگو و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۳) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های انتاریوی جنوبی در کانادا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که مدل مذکور از توانایی خوبی برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی برخوردار است. در مطالعه‌ای دیگر سه مدل LARS-WG<sup>۱۰</sup>، SDSM<sup>۱۱</sup> و شبکه عصبی مصنوعی مورد آزمون قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن بوده که مدل SDSM در سطح اطمینان ۹۵ درصد داده‌های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل‌ها ریزمقیاس می‌نماید (خان و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۶).

در تحقیقی دیگر موریبا و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۶) اطلاعات مورد استفاده از ۱۴ ایستگاه باران سنجی در جنوب پرتغال را اخذ کرده و در یک مدل لگاریتمی خطی قرار دادند. در تحقیق مذکور نتایج ارزیابی تقاطعی در محل ایستگاه‌ها بسیار

1- Richardson and Wright

2- Sharpley and Williams

3- Johnson et al

4- Amoled and Elliott

5- Donoso

6- Stockle et al

7- Semenov &amp; Jamieson

8- Semenov et al

9- Mc kaguo

10- Statistical Down Scaling Model

11- Khan et al

12- Moria et al

خوب ارزیابی شده‌اند. اویامکین و همکاران (۲۰۱۰) به تجزیه و تحلیل سری زمانی بارش و دما در جنوب غرب نیجریه پرداختند که بحث در مورد گرم شدن جهانی و اثرات این گرم شدن بر جنبه‌های مختلف حائز اهمیت است، آن‌ها به دو پارامتر مهم اقلیمی یعنی دما و بارش پرداختند و با استفاده از مدل ARIMA در یک سری زمانی به پیش‌بینی آینده این سری پرداختند و به نتایج قابل قبولی در راستای اهدافشان رسیدند.

جهانبخش اصل و قویدل رحیمی (۱۳۸۳) مدل‌سازی روند بارش و پیش‌بینی خشکسالی‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به‌طور کلی از نظر شدت وقوع خشکسالی، ایستگاه‌های مورد مطالعه خشکسالی‌های ضعیف تا متوسطی را نشان می‌دهند ولی خشکسالی بسیار شدید در طول دوره آماری مشاهده نگردید. از بررسی روند بارش و محاسبات مربوط به پیش‌بینی بارش سال‌های آتی که با استفاده از سری‌های زمانی انجام گرفته است، در اکثر ایستگاه‌ها وقوع خشکسالی قابل پیش‌بینی است.

علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران را مورد بررسی قرار دادند، نتایج تحقیق حاکی از تقریباً دو برابر بودن تغییرات در میانگین دماهای حداقل در مقایسه با میانگین دماهای حداکثر است. فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی تغییرات اقلیم ایستگاه تبریز در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل LARS-WG پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌طور کلی عملکرد مدل لارس در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی تحت بررسی مناسب است و می‌توان از آن جهت بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته و یا تطویل این داده‌ها به دوره آینده بهره جست. همچنین نتایج نشان از افزایش شدت و مدت دماها در مقابل میانگین دمای دوره ۲۰۰۷-۱۹۸۷ را دارند.

در تحقیق دیگری بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه بوسیله رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی در طی دوره مورد بررسی در این منطقه تغییر پیدا کرده است. به‌طوری که تعداد روزهای تابستانی و شب‌های گرم بطور معنی‌داری افزایش و تعداد روزهای سرد و شب‌های سرد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است.

ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان توسط رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج کلی حاصل از این بررسی نشان دهنده تشدید گرمایش و کاهش بارش در این استان بوده است. مطالعه روند تغییرات گرما و بارش در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری توسط امیدوار و سالاری (۱۳۹۲) مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که سری‌های سالانه هر چهار روش فوق (روش‌های پارامتری و ناپارامتری) داده‌های بارندگی و دما در برخی ایستگاه‌های منطقه کاهش و در برخی دیگر افزایش داشته است.

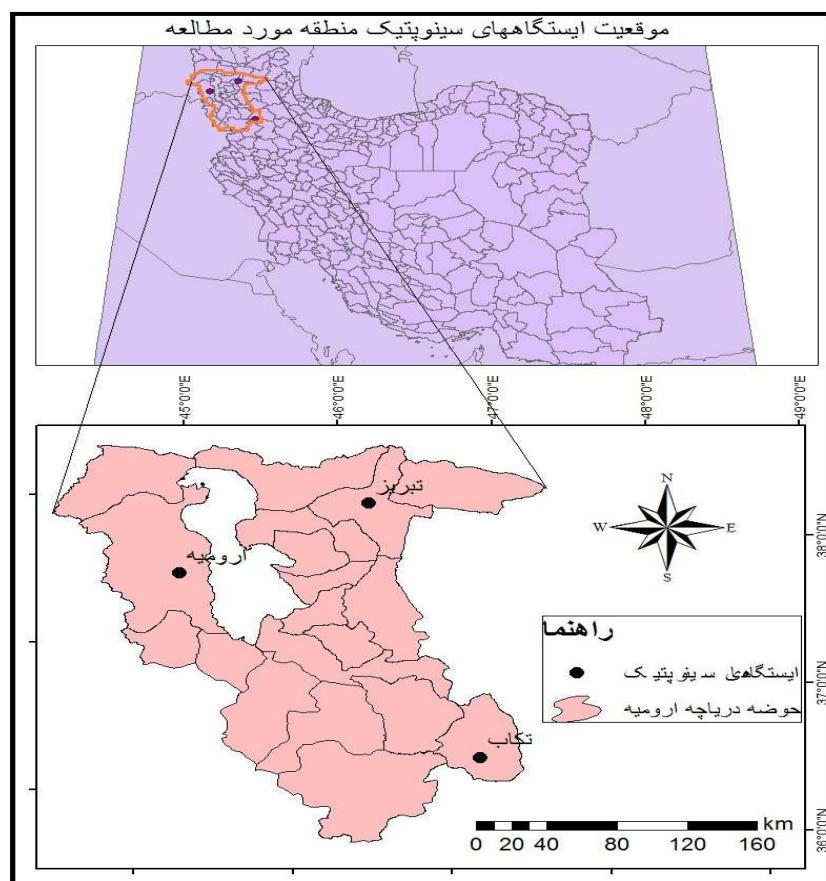
خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۲) روند تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص‌های حدی سرد روند کاهشی و شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی محسوسی دارند، شاخص‌های حدی بارش شدید و بلند مدت نیز روند کاهشی با شیب بسیار کمی را نشان می‌دهند. توزیع

دنباله‌های سری زمانی دمای حداقل و دمای متوسط با هم هماهنگی داشته و هردو گرمایش متقارنی را نشان می‌دهند که هماهنگ با روند افزایش گرمایش جهانی می‌باشد.

در پژوهشی دیگر رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) به واکاوی رفتار بارش‌های حدی در ارتباط با عوامل موثر بر بارش در غرب و شمال‌غرب پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تنها در ایستگاه سنندج روند نمایه‌های حدی بارش افزایشی بوده است. گرچه برخی از نمایه‌ها در ایستگاه‌هایی محدود دارای روندی افزایشی بوده‌اند، اما بطور کلی نتایج نشان می‌دهد که بارش‌های حدی این منطقه در طی ۵۰ سال گذشته دارای روندی کاهشی است که این روند کاهشی در ارتباط با رفتار نمایه‌های دورپیوندی ENSO، AO و NAO و همچنین مراکز فشار تاثیرگذار بر بارش منطقه اعم از پرفشار سیبری، کم‌فشار سودانی و کم‌فشار مدیترانه است و سبب کاهش در بارش‌ها در غرب و شمال‌غرب کشور می‌شوند. در این پژوهش با توجه به هدف مطالعه که بررسی روند رویدادهای حدی دما و بارش در شمال‌غرب ایران می‌باشد، بنابراین شاخص‌های حدی اقلیمی منتخب شامل روند روزهای یخبندان، روزهای گرمسیری، روزهای بارش سنگین و روزهای خشک متوالی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

#### داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد بررسی، حوضه دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران قرار دارد و شامل بخشی از استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی و کردستان می‌باشد. با توجه به قرارگیری دریاچه ارومیه در منطقه شمال‌غرب ایران و افت آب این دریاچه در سال‌های اخیر، مطالعات پیش‌بینی روند دما و بارش در این منطقه حائز اهمیت می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های سینوپتیک منتخب

در این پژوهش، داده های اقلیمی دما، بارش، ساعات آفتابی و ... ایستگاه های همدید منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۰ از مرکز آمار سازمان هواشناسی اخذ گردید. جهت پیش بینی و تولید داده های آماری دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ از مدل آماری CLIMGEN استفاده شد. برای سنجش کارایی مدل، داده های هواشناسی روزانه از دوره پایه تا ۲۰۰۱ جهت پیش بینی داده های هواشناسی برای سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ استفاده گردید. همبستگی بین داده های تولید شده و داده های مشاهداتی توسط SPSS صورت گرفت. الکساندر و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) ۲۷ شاخص را برای تغییرات اقلیمی معرفی کرده اند که استفاده از هر یک از این شاخص ها متناسب با شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق مختلف جهان متفاوت است و هر محقق با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و هدف مورد تحقیق، یک دسته از این شاخص ها را مورد مطالعه قرار می دهد. شانزده شاخص از بیست و هفت شاخص، مربوط به دما و یازده شاخص دیگر مربوط به بارش می باشد تمام شاخص های مورد نظر از طرف مرکز ETCCDMI معرفی شده اند.

1- Alexander et al.

در ادامه با داده‌های شبیه‌سازی شده (۲۰۲۰-۲۰۵۰)، شاخص‌های حدی دما و بارش با استفاده از نرم افزار RClimDex بدست آمده و با توجه به هدف مورد مطالعه که بررسی روزهای سرد، گرم، مرطوب و خشک و آزمون وجود روند در آینده می‌باشد، ۴ شاخص از ۲۷ شاخص حدی که شامل روزهای یخبندان، روزهای گرمسیری، روزهای خیلی مرطوب و فراوانی روزهای خشک متوالی است، مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). یک سری دارای روند در واقع یک سری نایستا است؛ زیرا میانگین این سری ثابت نیست و دستخوش تغییرات دراز مدت می‌باشد. برای پیش‌بینی‌های دراز مدت، اغلب برازش یک منحنی روند به مشاهدات و برون‌یابی آن مفید است. شاخص‌های آستانه‌ای دما و بارش توانایی زیادی در نمایش تغییرات اقلیمی در طول یک دوره بلند مدت زمانی دارند در اغلب موارد تغییرات اندک در آستانه‌ها سبب واکنش سریع محیط‌های انسانی و طبیعی می‌شود به همین دلیل محققان در بررسی‌های روند تغییرات اقلیمی بررسی آستانه‌ها را مهمتر از میانگین‌های داده‌های اقلیمی می‌دانند. این شاخص‌های حدی دما و بارش بر اساس داده‌های روزانه بدست می‌آیند (پترسون و همکاران، ۲۰۰۱). لذا در این تحقیق سعی شده است که تحلیل روند تغییرات شاخص‌های حدی حوضه دریاچه ارومیه بر اساس آستانه‌های دما و بارش محاسبه شود. یک سری دارای روند در واقع یک سری نایستا است؛ زیرا میانگین این سری ثابت نیست و دستخوش تغییرات دراز مدت می‌باشد. برای پیش‌بینی‌های دراز مدت، اغلب برازش یک منحنی روند به مشاهدات و برون‌یابی آن مفید است. برای بررسی وجود روند در داده‌ها در این مطالعه از یک مدل روند خطی به شکل  $y_t = \beta_0 + \beta_1 t + e_t$  به داده‌ها برازش می‌دهد؛ که در این تحقیق، آزمون وجود روند با استفاده از نرم افزار MINITAB و مدل سری زمانی انجام گرفت و میزان شیب تغییرات با استفاده از آزمون ناپارامتری تخمینگر شیب سن بدست آمد.

جدول ۱: تعریف نمایه‌های حدی اقلیمی انتخابی

ردیف	نام نمایه	معرفی نمایه
۱	(Forst day) FDO	فراوانی روزهایی که دمای کمینه آنها کمتر از $0^\circ\text{C}$ باشد. (روزهای یخبندان)
۲	(Summer days) SU25	فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آنها بیشتر از $25^\circ\text{C}$ باشد. روزهای گرمسیری (تابستانی)
۳	(Very wet days) R95P	مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۵ام بیشتر باشد. (روزهای خیلی مرطوب)
۴	(Consecutive dry days) CDD	روزهایی که بارندگی آنها مساوی و یا کمتر از ۱ میلی‌متر است. (فراوانی روزهای خشک متوالی)

### مدل آماری CLIMGEN

CLIMGEN به عنوان یک مولد داده‌های هواشناسی تصادفی، قابلیت برآورد پارامترهای بارندگی، دما، تابش خورشیدی، نقطه شبنم، رطوبت نسبی و سرعت باد برای یک مکان جغرافیایی مشخص را دارد (ژانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳). مدل CLIMGEN در مکان‌های زیادی از جهان برای مثال شمال آمریکا، آفریقا و استرالیا آزمون شد (کو و همکاران<sup>۲</sup>،

1- Zhang et al.

2- Kou et al.

۲۰۰۷). مدل CLIMGEN رخدادهای بارندگی روزانه را با استفاده از روش زنجیره مارکف شبیه سازی می کند که اساس کار آن دوره های خشک و مرطوب است (مک کاگو و همکاران، ۲۰۰۳).

CLIMGEN نسخه ارتقاء یافته مدل WGEN می باشد که در سال ۱۹۹۰ در دانشگاه ایالتی واشنگتن توسط کمپل توسعه یافت. این مدل توانایی تولید متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه، سرعت باد، ساعات آفتابی و بارش را دارد، برای تولید عوامل هواشناسی نیاز به گرفتن حداقل ۲۵ سال داده ی بارش، ۱۰ سال دما، ۵ سال تابش خورشیدی، ۷۳۰ روز سرعت باد و درصد رطوبت نسبی دارد (رشید نیقی و همکاران، ۱۳۸۹) که بارش در مقیاس روزانه و ماهانه به روش زیر تولید می شود:

در فرآیند تولید بارش توسط CLIMGEN هم احتمال وقوع و هم مقدار بارش محاسبه می شود. برای برخی کاربردها ممکن است شدت و مدت بارش نیز مورد نیاز باشد. وقوع بارش روزانه با استفاده از زنجیره مارکف دو حالتی برای تولید تعداد و توزیع بارش انجام می گیرد. احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز خشک با  $\alpha$  و احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز تر با  $\beta$  نشان داده می شود. روزی که بارش آن  $0.25$  میلیمتر یا بیشتر باشد، روز تر در نظر گرفته می شود. در این صورت زنجیره مارکف دو حالتی برای ترکیب احتمالات شرطی به این صورت خواهد بود:

$$P(W/D) = \alpha \quad (1)$$

$$P(D/D) = 1 - \alpha$$

$$P(D/W) = \beta$$

$$P(W/W) = 1 - \beta$$

که در آن:

$P(W/D)$  احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز خشک می باشد،

$P(D/D)$  احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز خشک می باشد،

$P(D/W)$  احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز تر می باشد،

$P(W/W)$  احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز تر می باشد.

مقادیر احتمالات بالا برای هر ماه از طریق تجزیه و تحلیل بارش های بلند مدت ایستگاه مورد مطالعه محاسبه می شود. در روزی که مشخص شد بارش رخ می دهد، مقدار بارش بر اساس احتمال تجمعی توزیع ویبول محاسبه می شود. سلکر و هایت<sup>(۱۹۹۰)</sup> نشان دادند که توزیع ویبول بهترین توزیع برای ۳۳ ایستگاه هواشناسی آمریکا در شرق کوه های راکی می باشد.

فرض دیگر مدل CLIMGEN این است که توزیع ویبول برازش مناسبی بر مقادیر بارش روزانه دارد که احتمال تجمعی آن به صورت رابطه ذیل تعریف می شود.

$$F_R(r) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{r}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2)$$

که در آن  $F_R(r)$  احتمال تجمعی مقدار بارش کوچکتر یا مساوی  $r$  و  $a$  پارامترهای توزیع می‌باشند. با استفاده از روش معکوس و تبدیل توزیع متغیر یکنواخت استاندارد به توزیع ویبول، مقدار بارش در روزهای بارانی از رابطه ذیل تعیین می‌شود.

$$r = \beta(-\ln u_t)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3)$$

مدل CLIMGEN در تولید دمای کمینه ( $T_n$ ) و دمای بیشینه ( $T_x$ ) از روش ریچاردسون<sup>۱</sup> استفاده می‌کند؛ که در این روش دماهای حداکثر و حداقل را به عنوان فرآیندهای تصادفی چندگانه در نظر می‌گیرد که میانگین و انحراف معیار آنها توسط وضعیت بارش تر و خشک مشخص می‌گردد. سری‌های زمانی باقیمانده‌های دماهای حداکثر و حداقل به وسیله انتقال میانگین‌های دوره‌ای و تاثیر انحراف معیار به دست می‌آیند. بر طبق این روش، با فرض ایستایی ضعیف (ایستایی مرتبه دوم) داده‌ها، رابطه بین متغیرهای  $T_n$  و  $T_x$  به شکل مدل اتورگرسیون چند متغیره مرتبه اول به صورت ذیل بیان می‌شود.

$$z_t(j) = Az_{t-1}(j) + B\varepsilon_t(j) \quad (4)$$

که در آن  $Z_t(j)$  ماتریس  $2 \times 1$  برای روز  $T$  است که درایه‌های آن، باقیمانده‌های استاندارد شده  $T_x$  (به ازای  $j=1$ ) و  $T_n$  (به ازای  $j=2$ )،  $\varepsilon_t$  ماتریس  $2 \times 1$  شامل مولفه‌های تصادفی مستقل است و فرض می‌شود که از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس تبعیت می‌کند.  $A$  و  $B$  ماتریس‌های  $2 \times 2$  هستند که عناصر آنها به گونه‌ای تعریف می‌شوند که توالی‌های جدید دارای ضرایب دوره‌ای و همبستگی مطلوب باشند. پس از محاسبه  $Z_t$  مقادیر روزانه  $T_x$  و  $T_n$  از رابطه ذیل برآورد می‌شوند.

$$X_t(j) = z_t(j)S_t(j) + \bar{X}(j) \quad (5)$$

که در این فرمول  $X_t(j)$  مقادیر روزانه  $T_x$  (به ازای  $j=1$ )،  $S_t(j)$  و  $\bar{X}(j)$  به ترتیب، انحراف معیار و میانگین متغیر  $Z$  برای روز  $t$  است. مقادیر  $\bar{X}(j)$  و  $S_t(j)$  بسته به وضعیت تری یا خشکی یک روز معین فرق می‌کند (استوکل و همکاران، ۱۹۹۹).

### صحت سنجی مدل

جهت صحت سنجی مدل خصوصیات داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده جهت تعیین تفاوت‌های آماری بین دو گروه از داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بنابراین به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از روش‌ها و

1- Richardson



مدل های به کار برده شده در این تحقیق، از شاخص های آماری مانند جذر میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا<sup>۲</sup> (MAE) و ضریب همبستگی<sup>۳</sup> (R<sup>2</sup>) استفاده شده است. فرمول این معیارها به شکل زیر می باشد:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(obs - pre)^2}{n}} \quad (۶)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (obs - \overline{obs})(pre - \overline{pre})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (obs - \overline{obs})^2 \sum_{i=1}^n (pre - \overline{pre})^2}} \quad (۷)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |obs - pre|}{N} \quad (۸)$$

در معادلات فوق، obs<sup>۴</sup> مقادیر مشاهداتی،  $\overline{obs}$  میانگین مقادیر مشاهداتی و pre<sup>۵</sup> مقادیر پیش بینی شده،  $\overline{pre}$  میانگین مقادیر پیش بینی) بوسیله شبکه مدل و N تعداد کل داده ها در هر مرحله از آزمون است. هرچه مقدار RMSE و MAE به صفر و مقدار R به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده نزدیکتر بودن مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده به یکدیگر و دقیق تر بودن آنها در هر مرحله است. ضریب همبستگی توسط نرم افزار SPSS، مجذور مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا نیز در EXCEL مورد بررسی قرار گرفته است.

#### تخمینگر شیب سن

سن<sup>۶</sup> (۱۹۶۸) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که تاویل<sup>۷</sup> (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود. یک روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری های زمانی ارائه نمود. این روش نیز همانند روش من کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می گیرد. همچنین این آزمون در هنگام وجود داده های گمشده، به راحتی قابل استفاده می باشد. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف می باشد. مراحل کلی آزمون به شرح زیر می باشد:

محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده ای با استفاده از رابطه زیر:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (۹)$$

- 
- 1- Root Mean Square Error
  - 2- Mean Absolute Error
  - 3- Random Error
  - 4- Observed
  - 5- Predicted
  - 6- Sen
  - 7- Theil

در این رابطه  $X_t$  و  $X_s$  به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های  $t$  و  $s$  بوده است و  $t$  یک واحد زمانی بعد از زمان  $s$  می‌باشد. با اعمال این رابطه برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده بدست می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند ( $Q_{med}$ ) حاصل می‌شود. مقدار مثبت  $Q_{med}$  حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نشان‌دهنده نزولی بودن روند می‌باشد.

محاسبه پارامتر  $Ca$  در سطوح اطمینان مورد آزمون به کمک رابطه زیر:

$$Ca = Z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{var(s)} \quad (10)$$

که در آن  $Z$  آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اطمینان در نظر گرفته شده می‌تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با  $Z=2/58$  و  $Z=1/96$  می‌باشد (Salmi et al, 2002).

محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین ( $M_1$  و  $M_2$ ) به کمک رابطه زیر:

$$M_1 = \frac{N' + Ca}{2} \quad (11)$$

$$M_2 = \frac{N' - Ca}{2}$$

که  $N'$  تعداد شیب‌های محاسبه شده در رابطه ۹ می‌باشد.

مرحله نهایی آزمون سن، بررسی حدود اطمینان محاسبه شده می‌باشد. بدین صورت که از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه ۱۱،  $M_1$  امین و  $(M_2+1)$  امین شیب‌های استخراج می‌گردند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد، فرض صفر پذیرفته شده و به سری زمانی مورد آزمون، نمی‌توان هیچ روندی در سطح اطمینان مورد نظر نسبت داد. در غیر این صورت، فرض صفر رد شده و حاکی از وجود یک روند معنی‌دار در سری زمانی مورد بررسی می‌باشد.

## نتایج و بحث

برای راستی‌آزمایی مدل CLIMGEN نخست با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش دوره پایه، داده‌های دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۰ تولید شد. سپس همبستگی بین داده‌های ساخته شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی با استفاده از SPSS برای هر کدام از ایستگاه‌ها صورت گرفت. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد ضریب همبستگی بین داده‌های بارش ماهانه تولید شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی ایستگاه تبریز در سطح ۰/۰۱ با اطمینان بیش از ۰/۹۹ وجود دارد. جدول ۲ و ۳ نیز ضریب همبستگی بین داده‌های بارش ماهانه تولید شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی ایستگاه ارومیه و تکاب را نشان می‌دهد که در سطح ۰/۰۱ با اطمینان بیش از ۰/۹۵ بین این داده‌ها همبستگی وجود دارد. بیش‌ترین میانگین خطای مطلق بارش در ایستگاه ارومیه با ۴/۶۹ میلیمتر و کم‌ترین آن در ایستگاه تبریز با ۳/۰۷ میلیمتر اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطای بارش در ایستگاه تکاب با ۶/۴ میلیمتر و کم‌ترین آن در ایستگاه تبریز ۴/۰۱ میلیمتر بدست آمد. شکل ۲ و ۳ و ۴ نشان دهنده مقادیر

بارش مشاهداتی و بارش برآورد شده توسط مدل CLIMGEN در سال های ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ایستگاه تبریز، ارومیه و تکاب می باشد. همانطور که در شکل مشاهده می گردد روند افت و خیزها در بارش برآورد شده توسط مدل تقریباً هماهنگ با روند افت و خیز در بارش مشاهداتی می باشد. ضریب همبستگی بین حداقل و حداکثر دمای روزانه تولید شده توسط مدل و داده های مشاهداتی ایستگاه ارومیه در جداول ۵ و ۶ مشاهده می گردد که در سطح ۰/۰۱ با اطمینان بیش از ۰/۸۴ بین این داده ها همبستگی وجود دارد. بررسی ضرایب همبستگی و معنی داری بین داده های حداقل و حداکثر دمای روزانه تولید شده توسط مدل و مشاهداتی در ایستگاه های دیگر نشان دهنده همبستگی بالای بین داده های تولید شده و مشاهداتی می باشد.

جدول ۲: ضریب همبستگی بین میانگین داده های بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه تبریز (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

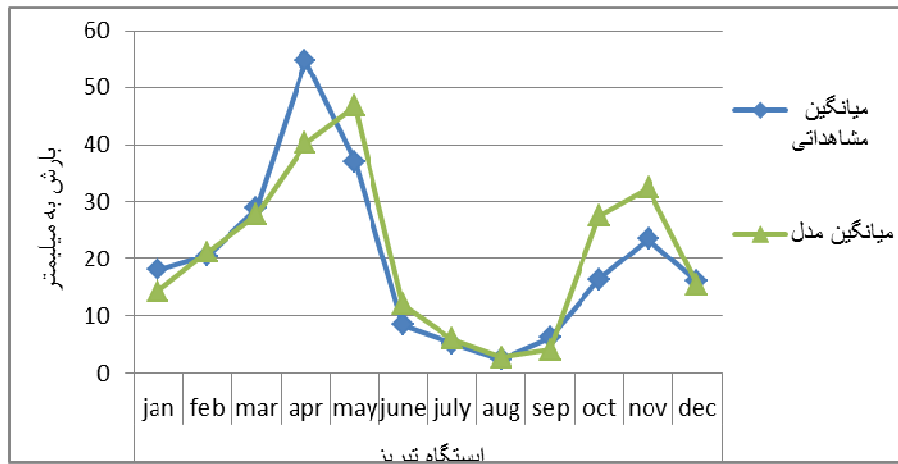
ضرایب همبستگی بین میانگین داده های بارش ماهانه ساخته شده و واقعی		
داده های مدل	داده های مشاهداتی	
۰/۹۹۰**	۱	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مشاهداتی)
	۰	معنی داری
۱۲	۱۲	تعداد
۱	۰/۹۹۰**	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مدل)
	۰	معنی داری
۱۲	۱۲	تعداد

جدول ۳: ضریب همبستگی بین میانگین داده های بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه ارومیه (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

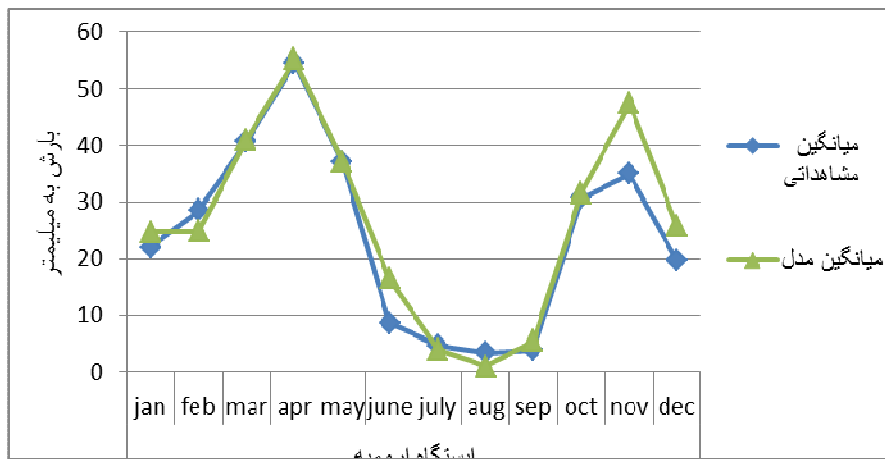
ضرایب همبستگی بین میانگین داده های بارش ماهانه ساخته شده و واقعی		
داده های مدل	داده های مشاهداتی	
۰/۹۶۴**	۱	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مشاهداتی)
	۰	معنی داری
۱۲	۱۲	تعداد
۱	۰/۹۶۴**	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مدل)
	۰	معنی داری
۱۲	۱۲	تعداد

جدول ۴: ضریب همبستگی بین میانگین داده های بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه تکاب (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

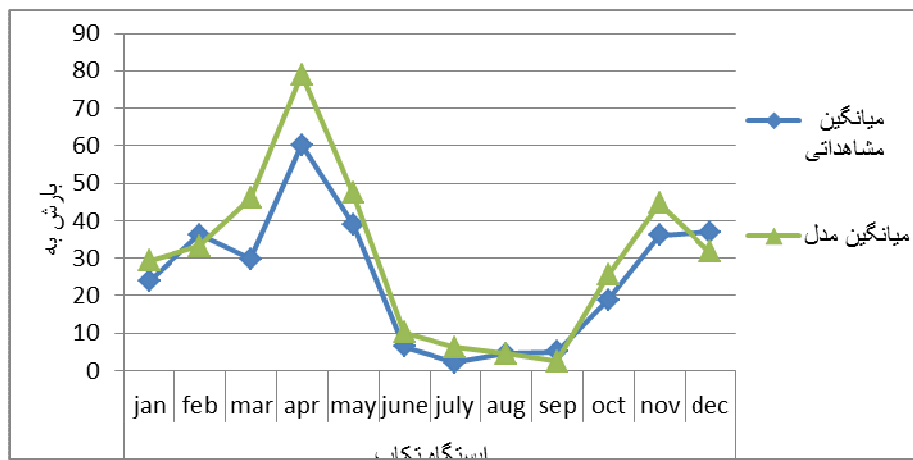
ضرایب همبستگی بین میانگین داده های بارش ماهانه ساخته شده و واقعی		
داده های مدل	داده های مشاهداتی	
۰/۹۵۸**	۱	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مشاهداتی)
	۰	معنی داری
۱۲	۱۲	تعداد
۱	۰/۹۵۸**	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مدل)
	۰	معنی داری
۱۲	۱۲	تعداد



شکل ۲: نمودار میانگین بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه تبریز (۲۰۱۰-۲۰۱۱)



شکل ۳: نمودار میانگین بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه ارومیه (۲۰۱۰-۲۰۱۱)



شکل ۴: نمودار میانگین بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه تکاب (۲۰۱۰-۲۰۱۱)

جدول ۵: ضریب همبستگی بین حداقل دمای روزانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه ارومیه

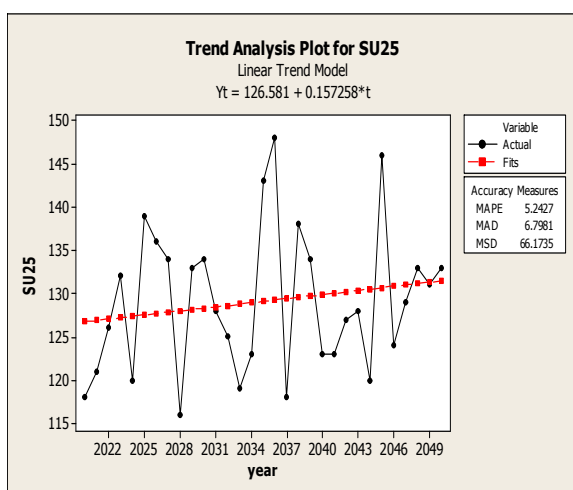
ضرایب همبستگی بین حداقل دمای روزانه ساخته شده و واقعی		
داده های مدل	داده های مشاهداتی	
۰/۸۴۹ **	۱	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مشاهداتی)
	۰	معنی داری
۳۶۵	۳۶۵	تعداد
۱	۰/۸۴۹ **	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مدل)
	۰	معنی داری
۳۶۵	۳۶۵	تعداد

جدول ۶: ضریب همبستگی بین حداکثر دمای روزانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه تکاب

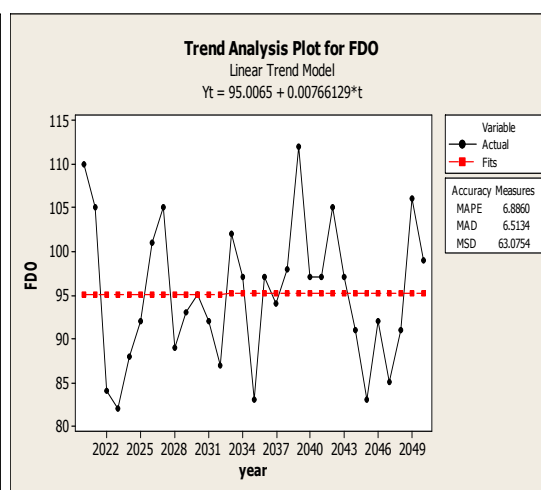
ضرایب همبستگی بین حداکثر دمای روزانه ساخته شده و واقعی		
داده های مدل	داده های مشاهداتی	
۰/۸۴۷ **	۱	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مشاهداتی)
	۰	معنی داری
۳۶۵	۳۶۵	تعداد
۱	۰/۸۴۷ **	ضریب همبستگی پیرسون (داده های مدل)
	۰	معنی داری
۳۶۵	۳۶۵	تعداد

در بین روش ها و مدل های آماری که برای بررسی مطالعات اقلیمی بکار می رود مدل های سری های زمانی برای بررسی روند تغییرات شاخص های حدی دما و بارش و پیش بینی آنها استفاده شده است؛ زیرا سری های زمانی توانایی زیادی در نمایش روند تغییرات در طول زمان و ارائه مدل های مناسب برای پیش بینی مقادیر آینده را دارد. شکل ۵ نمودار شاخص FDO یا فراوانی روزهایی که دمای کمینه آنها کمتر از صفر درجه سانتیگراد باشد را نشان می دهد، همانطور که در این نمودار مشاهده می گردد فراوانی روزهای یخبندان روند یکنواخت و بدون تغییر با شیب تغییرات صفر روز در سال دارد. شکل ۶ نمودار شاخص SU25 یا فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آنها بیشتر از ۲۵ درجه سانتیگراد باشد را نشان می دهد که روزهای گرمسیری (تابستانی) در ایستگاه تبریز روند رو به افزایشی با شیب تغییرات ۰/۱۷+ روز در سال نشان می دهد. شکل ۷ نمودار شاخص R95p ایستگاه تبریز یا مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۵ بیشتر باشد را نشان می دهد، روند روزهای خیلی مرطوب یا روزهای با بارش سنگین در ایستگاه تبریز افزایشی با شیب تغییرات ۰/۴۶+ روز در سال می باشد. شکل ۸ نمودار روند روزهایی که بارندگی آنها مساوی یا کمتر از ۱ میلیمتر است را نشان می دهد همانطور که در این نمودار مشاهده می گردد روند روزهای خشک متوالی افزایشی با شیب تغییرات ۰/۶۶+ روز در سال می باشد. با توجه به موارد مذکور می توان گفت که در ایستگاه تبریز که در شرق

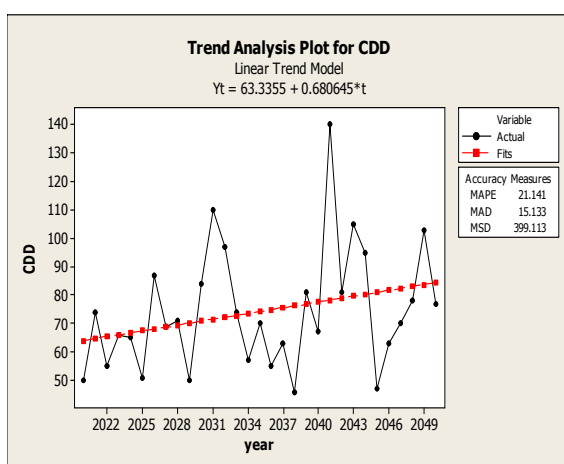
حوضه دریاچه ارومیه قرار دارد وضعیت افزایش دما و روزهای خشک متوالی و همچنین روزهای با بارش سنگین در چند دهه آینده افزایش می‌یابد.



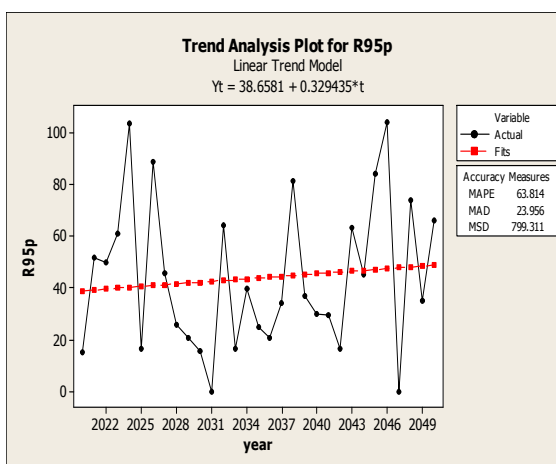
شکل ۶: نمودار تحلیل روند SU25 تبریز (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۵: نمودار تحلیل روند FDO تبریز (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

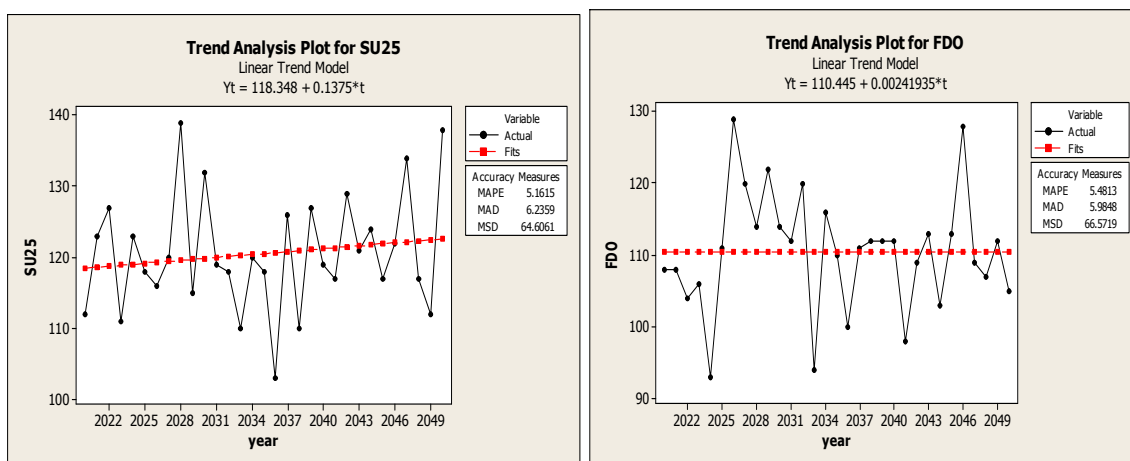


شکل ۷: نمودار تحلیل روند R95p تبریز (۲۰۲۰-۲۰۵۰) شکل ۸: نمودار تحلیل روند CDD تبریز (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

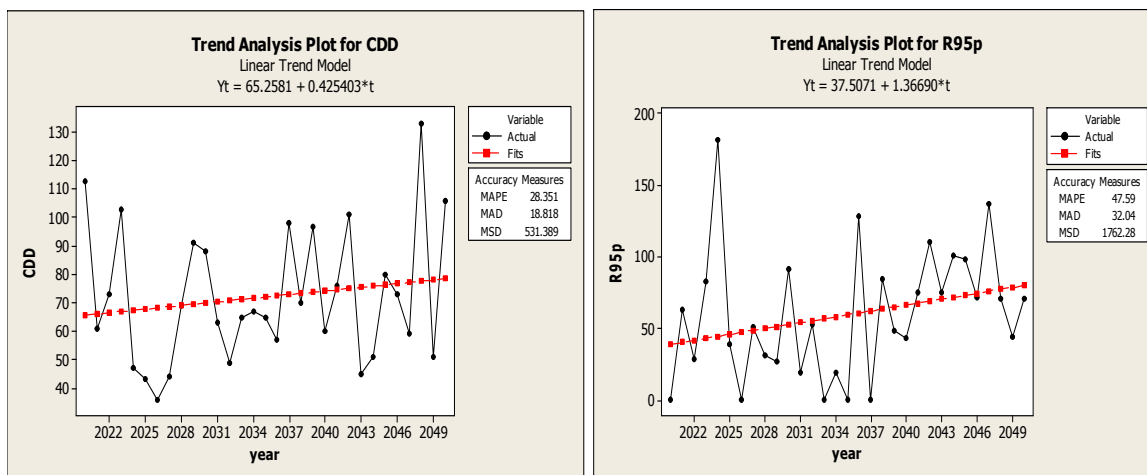


شکل ۹ نمودار فراوانی روزهایی که دمای کمینه آنها کمتر از صفر درجه سانتیگراد باشد و یا روزهای یخبندان در ایستگاه ارومیه را نشان می‌دهد که روند آن یکنواخت و بدون تغییر با شیب تغییرات صفر می‌باشد. شکل ۱۰ نمودار فراوانی روزهایی که حداکثر دمای آنها بیشتر از ۲۵ درجه سانتیگراد باشد یا فراوانی روزهای تابستان در ایستگاه ارومیه را نشان می‌دهد که روند آن روبه افزایش با شیب تغییرات  $+0/12$  روز در سال می‌باشد. شکل ۱۱ نمودار فراوانی مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۵ بیشتر باشد یا فراوانی روزهای بارش سنگین در ارومیه را نشان می‌دهد، همانطور که در نمودار مشاهده می‌گردد روزهای با بارش سنگین روند افزایشی با شیب تغییرات  $+1/57$  روز در سال دارد. شکل ۱۲ نمودار فراوانی روزهایی که بارندگی آنها مساوی یا کمتر از ۱ میلیمتر باشد و یا روزهای خشک متوالی را نشان می‌دهد همانطور که در این نمودار ملاحظه می‌گردد روند روزهای خشک متوالی روبه افزایش

با شیب تغییرات  $+0/50$  روز در سال می باشد. با توجه به موارد فوق می توان گفت که در ایستگاه ارومیه که در غرب دریاچه ارومیه قرار دارد فراوانی روزهای تابستان و روزهای خشک متوالی در این ایستگاه روبه افزایش و همچنین روزهای با بارش سنگین در سه دهه آینده روند افزایشی نشان می دهد.



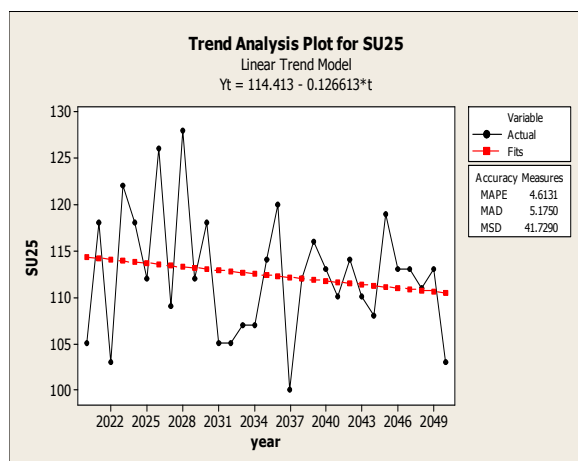
شکل ۹: نمودار تحلیل روند FDO ارومیه (۲۰۲۰-۲۰۵۰) شکل ۱۰: نمودار تحلیل روند SU25 ارومیه (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



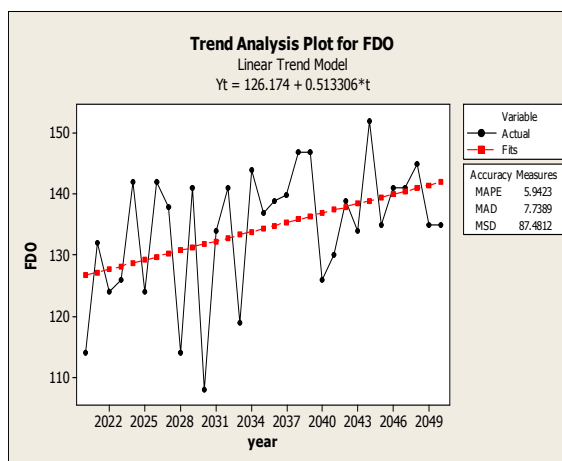
شکل ۱۱: نمودار تحلیل روند R95p ارومیه (۲۰۲۰-۲۰۵۰) شکل ۱۲: نمودار تحلیل روند CDD ارومیه (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

شکل ۱۳ نمودار فراوانی روزهایی که دمای کمینه آنها کمتر از صفر درجه سانتیگراد باشد یا روزهای یخبندان در ایستگاه تکاب را نشان می دهد، روند روزهای یخی در این ایستگاه در سه دهه آینده افزایشی با شیب تغییرات  $+0/44$  روز در سال می باشد. شکل ۱۴ نمودار فراوانی روزهای که دمای آنها بیشتر از  $25$  درجه باشد یا روزهای تابستان را با روند روبه کاهش با شیب تغییرات  $-0/09$  روز در سال را نشان می دهد. شکل ۱۵ نمودار مجموع میانگین بارشی که از صدک ۹۵ بیشتر باشد یا فراوانی روزهای با بارش سنگین را در سه دهه آینده نشان می دهد که روند آن روبه کاهش با شیب تغییرات  $-0/72$  روز در سال می باشد. شکل ۱۶ نمودار فراوانی روزهایی که بارندگی آنها مساوی یا کمتر از ۱ میلیمتر باشد و یا روزهای خشک متوالی را نشان می دهد همانطور که در این نمودار ملاحظه می گردد روند فراوانی

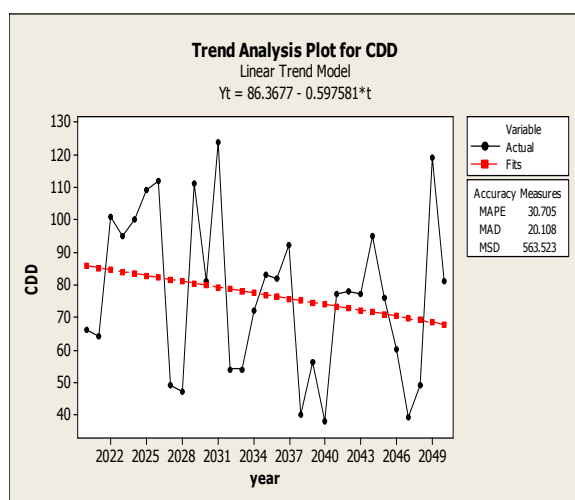
روزهای خشک متوالی روبه کاهش با شیب تغییرات ۰/۶۶- روز در سال می‌باشد. با توجه به موارد فوق الذکر می‌توان گفت که در ایستگاه تکاب در دهه‌های آتی روند فراوانی روزهای یخبندان افزایشی بوده و از طرف دیگر فراوانی روزهای تابستان، روزهای بارش سنگین و روزهای خشک متوالی روبه کاهش می‌گذارد.



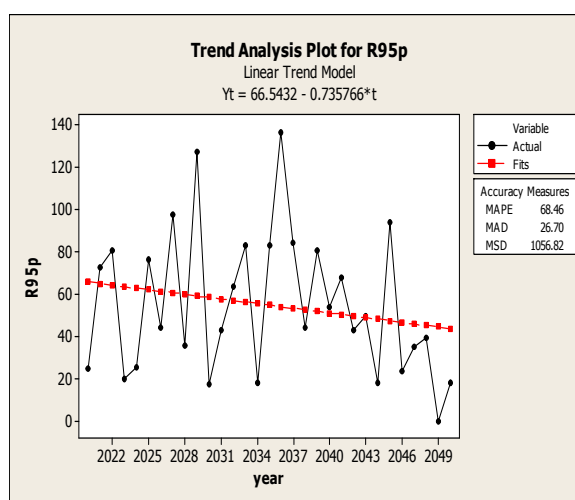
شکل ۱۴: نمودار تحلیل روند SU25 تکاب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۱۳: نمودار تحلیل روند FDO تکاب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۱۵: نمودار تحلیل روند R95p تکاب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۱۶: نمودار تحلیل روند CDD تکاب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

### نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی و پیش‌بینی روند متغیرهای اقلیمی با استفاده از روش‌های آماری ریز مقیاس‌نمایی و تولید داده مصنوعی می‌باشد. در این تحقیق به منظور دستیابی به این اهداف، ابتدا داده‌های اقلیمی دما، بارش، ساعات آفتابی و ... طی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی اخذ گردید. سپس با استفاده از مدل آماری CLIMGEN و داده‌های مشاهداتی دما، بارش و ... سه ایستگاه منتخب حوضه، داده‌های دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ تولید شد. در ادامه با داده‌های شبیه‌سازی شده (۲۰۲۰-۲۰۵۰)، شاخص‌های حدی دما و بارش با استفاده از نرم افزار RClimDex بدست آمده و با توجه به هدف مورد مطالعه که بررسی روزهای سرد، گرم، مرطوب و خشک و آزمون



وجود روند در آینده می باشد، ۴ شاخص از ۲۷ شاخص حدی که شامل روزهای یخبندان، روزهای گرمسیری، روزهای خیلی مرطوب و فراوانی روزهای خشک متوالی است، مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت با استفاده از MINITAB و مدل سری های زمانی روند شاخص های اقلیمی در ایستگاه های منتخب حوضه دریاچه ارومیه ترسیم شد و میزان شیب تغییرات با استفاده از آزمون ناپارامتری تخمینگر شیب سن بدست آمد. برای صحت سنجی و ارزیابی مدل، توسط داده های مشاهداتی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ به پیش بینی داده های دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۰ بوسیله مدل پرداخته شد. سپس همبستگی و میزان خطای MAE و RMSE بین داده های تولید شده با داده های مشاهداتی توسط SPSS و EXCEL بدست آمد. بیشترین میانگین خطای مطلق بارش در ایستگاه ارومیه با ۴/۶۹ میلیمتر و کمترین آن در ایستگاه تبریز با ۳/۰۷ میلیمتر اندازه گیری شد. بیشترین میزان مجذور میانگین مربعات خطای بارش در ایستگاه تکاب با ۶/۴ میلیمتر و کمترین آن در ایستگاه تبریز ۴/۰۱ میلیمتر بدست آمد. نتایج مطالعات پیشین در این منطقه از جمله تحقیق خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۲) رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) به طور کلی نشان دهنده افزایش روند روزهای گرمسیری و کاهش روند روزهای بارش سنگین می باشد. در این تحقیق مدل سازی و پیش بینی روند تعداد روزهای رویدادهای حدی دما و بارش آینده بررسی شده است. نتایج این تحقیق حاکی از افزایش و کاهش روند رویدادهای حدی دما و بارش در ایستگاه های منتخب طی سه دهه آینده از جمله افزایش روند روزهای تابستان (با شیب تغییرات بین ۰/۱۲+ تا ۰/۱۷+ روز در سال)، افزایش روزهای خیلی مرطوب (بین ۰/۴۶+ تا ۱/۵۷+ روز در سال) و روزهای خشک متوالی (بین ۰/۶۶+ تا ۰/۵۰+ روز در سال) در ایستگاه های منتخب واقع در غرب و شرق حوضه می باشد. همچنین افزایش روند روزهای یخبندان (با شیب تغییرات ۰/۴۴+ روز در سال) و کاهش روند روزهای تابستان (با ۰/۰۹- روز در سال)، کاهش روزهای خیلی مرطوب (با ۰/۷۲- روز در سال) و روزهای خشک متوالی (با ۰/۶۶- روز در سال) در ایستگاه منتخب جنوب حوضه پیش بینی گردید.

## منابع

- امیدوار، کمال، سالاری، حسین، (۱۳۹۲). مطالعه روند تغییرات گرما و بارش در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از روش های پارامتری و ناپارامتری، مجله جغرافیا. شماره ۲۷، صص ۲۸۸-۲۷۱.
- جهانبخش اصل، سعید و یوسف قویدل رحیمی، (۱۳۸۳). مدل سازی روند بارش و پیش بینی خشکسالی های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، جغرافیا و برنامه ریزی، شماره ۱۷، صص ۵۲-۳۳.
- خورشیددوست، علی محمد، زنگنه، سعید، زارعی، یوسف، (۱۳۹۲). تحلیل و بررسی روند تغییرات شاخص های حدی دما و بارش در کرمانشاه (۱۹۶۱-۲۰۰۹)، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رحیم زاده، فاطمه، هدایت دزفولی، اکرم، پور اصغریان، آرزو، (۱۳۹۰). ارزیابی روند و جهش نمایه های حدی دما و بارش در استان هرمزگان، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۱، صص ۹۷-۱۱۶.
- رشید نیقی، علی، مجنون هریس، ابولفضل، ناظمی، امیر حسین و دلیر حسن نیا، رضا، (۱۳۸۹). ارزیابی مدل CLIMGEN و پیش بینی اطلاعات هواشناسی برای منطقه تبریز، اولین کنفرانس بین المللی مدل سازی گیاه؛ آب؛ خاک و هوا، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

- رضایی بنفشه، مجید، سرافروزه، فاطمه، جلالی، طاهره، (۱۳۹۰). بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۱۶، شماره ۳۸، صص ۷۴-۴۳.
- رضایی بنفشه، مجید، نجفی، محمد سعید، نقی زاده، حبیبه، آب خرابات، شعیب، (۱۳۹۴). واکاوی رفتار بارش‌های حدی در ارتباط با عوامل موثر بر بارش در غرب و شمال غرب، جغرافیا و مخاطرات محیطی. ش ۱۳، صص ۱۵۳-۱۳۳.
- علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، سلیقه، محمد، ریگی چاهی، الله بخش، (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۳، صص ۱۲۲-۱۰۲.
- فرج زاده، منوچهر، فیضی، وحید، (۱۳۹۱). ارزیابی تغییرات اقلیم ایستگاه تبریز در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل LARS-WG، فصلنامه جغرافیایی سرزمین. شماره ۳۳، صص ۷۶-۶۳.
- Arnold, CD., Elliot, WJ., (1996), CLIMGEN Weather Generator Predictions of Seasonal Wet and Dry Spells in Uganda. Trans of ASAE 39(3): 969-972.
- Alexander, LX., Zhang, TC., Peterson, J., Caesar, B., Gleason, A., Klein Tank, M., Haylock, D., Collins, B., Trewin, F., Rahimzadeh, A., Taghipour, K., Rupa Kumar, J., Revadekar, G., Griffiths, L., Vincent, D., Stephenson, J., Burn, E., Aguilar, M. Brunet, M., Taylor, M., New, P., Zhai, M., Rusticucci, J. L., Vazquez- Aguirre. (2006), Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, J. Geophys. Res. D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
- Danuso, F., (1997), CLIMAK reference manual. DPVTA, University of Udine, Italy, 36 p.
- Johnson, GL., Hanson, CL., Hardegree SP., and Ballard, EB., (1996), Stochastic Weather Simulation: Overview and analysis of two commonly used models. Journal of Applied Meteorology 35: pp: 1878-1896.
- Khan, MS, Coulibaly, P., & Dibike, Y., (2006), Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. Journal of Hydrology, 319(1), pp: 357-382.
- Kou, X.Ge, J., Wang, Y., & Zhang, C., (2007), Validation of the weather generator CLIGEN with daily precipitation data from the Loess Plateau, China. Journal of Hydrology, 347(3), pp: 347-357.
- Oyamakin, O., Ayoola, F., Tolulope dare, O., (2010), time series analysis of rainfall and temperature in south-west Nigeria. the Pacific journal of science and technology. volume 11, number 2, pp: 552-564.
- McKague, K, Rudra, R., & Ogilvie, J., (2003, July). CLIMGEN-A Convenient Weather Generation tool for Canadian Climate Stations. In Meeting with the CSAE/SCGR Canadian society for engineering in agricultural food and biological systems, Montreal, Quebec, July (pp. 6-9).
- Moreira, EE., Paulo, AA., Pereira, LS., & Mexia, JT. (2006), Analysis of SPI drought class transitions using log-linear models. Journal of Hydrology, 331(1), pp: 349-359.
- Richardson, CW., Wright, DA., (1984), WGEN: A model for generating daily weather variables. USDA, Agricultural Research Service ARS-9.
- Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., and Amnell, T., (2002), Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates. Publications on Air Quality, Helsinki, Finland. 31p.
- Selker, JS., and DA., Haith. (1990), Development and testing of single-parameter precipitation distributions. Water Resources Research. 26(11): pp: 2733-2740.
- Semenov, MA., Brooks, RJ., Barrow, EM., & Richardson, CW., (1998), Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. Climate Research, 10(2), pp: 95-107.
- Sen, PK., (1968), Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of American Statistical Association. 63: 1379-1389.
- Semenov, MA., Jamieson, PD., (1999), Using weather generators in crop modeling. In: CLIMAG Geneva Workshop, Geneva, Switzerland, September 28-29.
- Sharpley, AN., Williams, JR., (1990), EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. US Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768, 1835 p.
- Stockle, CO., Steduto, P., Allen, RG., (1998), Estimating daily and daytime mean VPD from daily maximum VPD. 2th Congress of the European Society of Agronomy, Nitra, The Slovak Republic.
- Stöckle, CO. GS., Campbell, R., Nelson., (1999), ClimGen manual. Biological Systems Engineering Department, Washington State University, Pullman, WA, 28 p.
- Stockle, CO., Nelson, R., Donatelli, M., Castellvi, F, (2001), ClimGen: a flexible weather generation program. In: Proceedings of the Second International Symposium on Modelling Cropping Systems, July 12-19, 2001, Florence, Italy, pp.229-230.

Theil H., (1950), A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, part 3. Netherland Akademie van Wetenschappen, Proceedings. 53. pp. 1397–1412.

Zhang, XC., Garbrecht, JD., (2003), Evaluation of CLIGEN precipitation parameters and their implication on WEPP runoff and erosion prediction. Transactions of the ASAE, 46(2), 311.

## Modeling of Trends of Temperature and Precipitation Extreme Indices in Urmia Lake Basin

Alimohammad Khorshiddoust<sup>1</sup>, Ali akbar Rasouli<sup>2</sup>, Saeed Zanganeh<sup>3\*</sup>

Received: 28-01-2017

Accepted: 31-12-2017

### Abstract

Temperature and precipitation are the basic elements of climate. Therefore, sudden or short-term and long-term changes may change the climate of any location. The aim of this study was to predict trend indices of climate extremes using statistical downscaling methods and artificial technical data generation. In this study, in order to achieve these goals, The climate data of temperature, precipitation and sunshine hours during the period 1981 to 2010 was received from Meteorological Organization. Then, using CLIMGEN statistical models and observational data of selected stations of the basin, data produced over the period of 2020-2050. Then, using RClimDex software, extreme temperature and precipitation indices were extracted. Finally, the by use of MINITAB software the climate trend indices were drawn at selected stations of Urmia Lake basin. For validation, the prediction was accomplished by observational data base period of 2001-2010 through the model. The relationship between generated data with the observational data were analyzed by SPSS, which showed high accuracy in most stations. The maximum absolute error of precipitation in the station of Orumieh was 4.69 mm and the lowest in Tabriz station with 3.7 mm. The highest mean squared error of precipitation in the Takab station was obtained with 6.4 mm and the lowest in the Tabriz station was 4.14 mm. Results indicated an increase in temperature and precipitation extreme events including increases in summer days, and very humid days of consecutive dry days at selected stations proved to be located on West and East basins. The increase of icy days and the reduction of summer days were shown while very wet and dry consecutive days were observed in the southern selected station.

**Keywords:** Indicators extent, CLIMGEN model, RClimdex software, Urmia Lake basin.

---

<sup>1</sup>- Professor of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Email: khorshiddoust@tabrizu.ac.ir

<sup>2</sup>- Professor of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Email: rasouli@tabrizu.ac.ir

<sup>3\*</sup>- PhD Student of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Email: Zangenehsaeed64@gmail.com