

اثر تغییر اقلیم بر جریان حوضه آبریز رودخانه قره‌سو کرمانشاه

لعیا افضلی^۱، محمد حسین نیک‌سخن^{۲*}، مجتبی اردستانی^۳ و محسن آقاشاهی^۴

چکیده

در این پژوهش اثر تغییرات اقلیمی بر جریان خروجی حوضه آبریز قره‌سو در استان کرمانشاه بررسی و پیش‌بینی شد. بدین منظور، داده‌های دما و بارش آینده (سال‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵) در مدل پیش‌بینی اقلیمی LARS-WG، بر اساس داده‌های مشاهداتی گذشته و با کمک دو مدل گردش عمومی جو HADCM3 و MPEH5، تحت سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B، A2 و B1 تولید و ریز مقیاس آماری شدند. داده‌های دما و بارش تولید شده به عنوان ورودی مدل بارش-رواناب MapShed به کار رفتند تا رواناب آینده حاصل از داده‌های اقلیمی پیش‌بینی شده به دست آیند. نتایج پیش‌بینی جریان متأثر از تغییر اقلیم آینده نشان می‌دهد که چهار مدل-سناریوی MPEH5-A1B، HADCM3-B1، HADCM3-A1B و MPEH5-B1 در دوره ۲۰ ساله آتی، متوسط جریان سالانه کمتری را نسبت به متوسط بلندمدت جریان خروجی حوضه آبریز و دو سناریوی MPEH5-A2 و HADCM3-A2 جریان ۲۰ ساله آینده بیشتری را نسبت به متوسط بلندمدت پیش‌بینی می‌کنند. وقوع پیک جریان در بیشتر مدل-سناریوها نسبت به دوره مشاهداتی تغییر نمی‌کند و فقط در بعضی موارد، جابجایی در زمان وقوع مشاهده می‌شود. نتایج این پژوهش افزایش جریان در اواخر بهار و تابستان و کاهش جریان در اواخر زمستان و اوایل بهار را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، حوضه قره‌سو، مدل MapShed، مدل‌های گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3.

ارجاع: افضلی ل. نیک‌سخن م. ح. اردستانی م. و آقاشاهی م. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر جریان حوضه آبریز رودخانه قره‌سو کرمانشاه. مجله پژوهش آب ایران. ۲۰: ۲۱-۲۶.

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست- منابع آب، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
۲- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
۳- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.
۴- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست- منابع آب، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: niksokhan@ut.ac.ir

مقدمه

تغییر اقلیم عبارتست از تغییرات اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت منطقه از اطلاعات ثبت و مشاهده شده مورد انتظار است. در مقیاس عمومی، به افزایش تدریجی دمای زمین و اقیانوس‌ها در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، در اصطلاح تغییر اقلیم می‌گویند (مدرسی، ۱۳۸۹). افزایش آینده غلظت گازهای گلخانه‌ای سبب افزایش دمای متوسط جهانی و در پی آن، سبب تغییر در الگوی بارش منطقه‌ای، تبخیر، رطوبت خاک و دبی رودخانه‌ها خواهد شد (آرنل، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ویلی و همکاران، ۱۹۹۴). های‌هو (۲۰۰۴) برای پیش‌بینی جریان رودخانه‌های ایالت کالیفرنیا از دو مدل گردش عمومی جو PCM و HadCM3 تحت دو سناریوی B1 و A1FI استفاده و خروجی‌های این مدل‌ها را با یک روش آماری تجربی کوچک مقیاس کرد. سپس با کمک مدل هیدرولوژیکی VIC و به کار بردن داده‌های کوچک مقیاس شده، به تولید جریان رودخانه‌ها پرداخت. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که تا پایان قرن جاری، ذخایر برفی این ایالت بین ۷۳ تا ۹۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین، رواناب و جریان

رودخانه‌ها دچار تغییرات زمانی زیادی خواهد شد و دبی اوج رودخانه‌ها نیز از فصل بهار به فصل زمستان منتقل می‌شود.

در ایران، قاسمی و فتاحی (۱۳۹۰) به کمک مدل گردش عمومی جو HadCM3 و مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG افزایش میانگین بارش سالانه و افزایش میانگین دمای سالانه را در حوضه آبریز شهرچای و دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پیش‌بینی کردند. اهداف این پژوهش را بدین صورت می‌توان خلاصه کرد: (۱) شبیه‌سازی وضعیت موجود و تغییرپذیری جریان حوضه آبریز در زمان گذشته؛ (۲) بررسی و پیش‌بینی واکنش جریان رودخانه‌ای به اثرات تغییر اقلیم.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در این پژوهش، زیرحوضه قره‌سو از حوضه بزرگ کرخه در غرب ایران و دارای مساحت تقریبی ۵۳۵۴ کیلومترمربع است. این حوضه، دارای سه رودخانه اصلی مرک، قره‌سو و رازآور در این حوضه جاری هستند. شکل ۱ حوضه آبریز قره‌سو را نشان می‌دهد.



شکل ۱- حوضه آبریز قره‌سو

سناریوهای تغییر اقلیم

در این پژوهش، از خروجی‌های دو مدل HADCM3 و MPEH5 تحت سه سناریوی انتشار برای شبیه‌سازی اقلیم آینده استفاده شده است. مدل HADCM3 توسط مرکز هادلی انگلستان و مدل MPEH5 توسط مؤسسه

هواشناسی ماکس-پلانک آلمان ایجاد شده است. سه سناریوی انتشار عبارتند از SRESA2، SRESA1B، و SRESB1 که بیانگر چگونگی رشد جمعیت جهان و

مشاهداتی ماهانه و سالانه سال‌های ۱۹۹۰ الی ۱۹۹۵ استفاده شد. این عمل، با تدقیق دو ضریب بازگشت^۳ و نشت^۴ آب زیرزمینی انجام شد (تیو، ۲۰۰۹ و لی و همکاران، ۲۰۰۰) و با کمک داده‌های سال‌های ۱۹۹۶ الی ۱۹۹۸ اقدام به صحت‌سنجی مدل شد. معیارهای آماری کمینه خطای تجمعی (CE)، کمینه میانگین مربعات خطا (RMSE) و بیشینه ضریب تعیین (R^2) برای سنجش نیکویی برازش^۵ استفاده شده است.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی و صحت‌سنجی

مدل MapShed با استفاده از اطلاعات لازم اجرا شده است. جدول‌های ۱ و ۲ عملکرد مدل را در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهند که بر اساس این دو جدول، معیارهای سنجش نیکویی برازش مدل MapShed در دامنه معناداری مناسبی قرار دارند.

جدول ۱- معیارهای برازش مدل با داده‌های مشاهداتی برای جریان در دوره واسنجی (۱۹۹۵-۱۹۹۰)

ردیف	معیار	مقدار مطلق (cm)	مقدار نسبی
۱	CE	۱/۰۱۰	۰/۰۱۲
۲	RMSE	۰/۶۰۰	۰/۰۰۷
۳	R^2		۰/۶۳۵

جدول ۲- معیارهای برازش مدل با داده‌های مشاهداتی برای جریان در دوره صحت‌سنجی (۱۹۹۸-۱۹۹۶)

ردیف	معیار	مقدار مطلق (cm)	مقدار نسبی
۱	CE	۱/۰۰۰	۰/۰۰۹
۲	RMSE	۰/۵۵	۰/۰۶۴
۳	R^2		۰/۵۸۹

همان‌گونه که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است، هماهنگی مناسبی میان داده‌های دبی مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده رودخانه توسط مدل MapShed در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی وجود دارد.

شرایط اقتصادی-اجتماعی آینده هستند و بر این اساس، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو را پیش‌بینی می‌کنند (IPCC, 2007).

مدل‌های مورد نیاز

مدل LARS-WG، یک مدل رگرسیونی چندمتغیره برای تولید داده‌های آب و هوایی با روش‌های ریز مقیاس‌سازی آماری است (ویلکس و ویلیبی، ۱۹۹۹؛ سمنوویچ و استرانوویچ، ۲۰۱۰ و کیلزی و همکاران، ۲۰۰۷). ورودی این مدل، داده‌های روزانه درازمدت (حداقل ۳۰ ساله) مربوط به یک ایستگاه سینوپتیکی (دما، بارش، تابش خورشید یا ساعت‌های آفتابی) و خروجی آن، سری‌های زمانی آینده متغیرهای مذکور به صورت روزانه است. همچنین، مدل شبیه‌سازی MapShed مدل هیدرولوژیکی بر مبنای حوضه آبریز است که در آن مدل‌سازی حوضه آبریز بر مبنای GIS انجام می‌شود (ایوانز و همکاران، ۲۰۰۲). برای استفاده از این رابط، لازم است نقشه‌های GIS کاربری اراضی، آب‌های سطحی، توپوگرافی، جنس خاک و توزیع ایستگاه‌های هواشناسی منطقه تهیه و به همراه داده‌های بارش و دمای حداکثر و حداقل روزانه (حاصل از خروجی مدل اقلیمی LARS-WG) وارد مدل شبیه‌ساز دبی شوند. پس از اجرای مدل، خروجی رواناب به صورت سری‌های زمانی ارائه می‌شوند (ایوانز و کورادینی، ۲۰۱۲).

داده‌های مورد نیاز

در این پژوهش از داده‌های دما و بارش روزانه دو ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و روانسر و داده‌های دبی مشاهداتی ایستگاه قره‌باغستان، شامل داده‌های دبی روزانه سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۰، در خروجی حوضه آبریز استفاده شد. همچنین نقشه‌های GIS ورودی مذکور نیز تهیه و به مدل معرفی شدند.

واسنجی^۱ و صحت‌سنجی^۲ مدل

بر اساس روش استفاده شده در واسنجی و صحت‌سنجی مدل AVGWL (مؤسسه محیط‌زیست ایالت پنسیلوانیا، ۲۰۰۷؛ و تیو، ۲۰۰۹) برای واسنجی مدل از دبی‌های

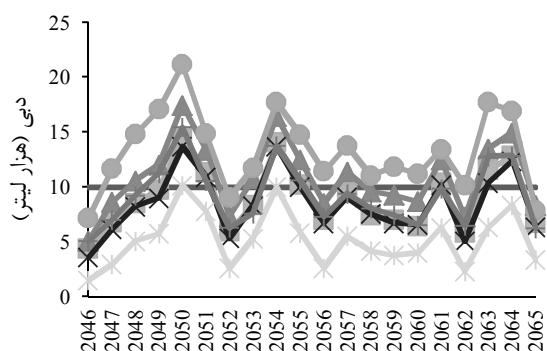
3- Groundwater Recession Coefficient
4- Groundwater Seepage Coefficient
5- Goodness-of-fit

1- Calibration
2- Validation

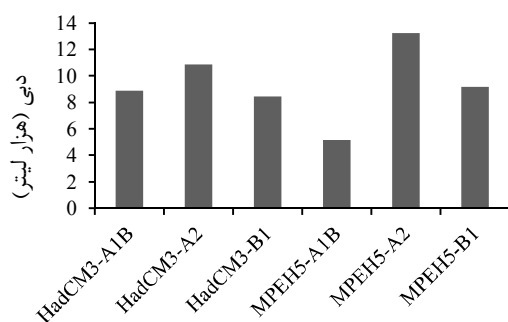
مترمکعب بر ثانیه) مقادیر کمتری هستند. همچنین دو سناریوی MPEH5-A2 و HADCM3-A2 به ترتیب با مقدار جریان ۱۳/۲۵ و ۱۰/۸۹ سانتی‌متر (۲۳/۴۶ و ۱۹/۲۸ مترمکعب بر ثانیه)، جریان بیشتری را نسبت به متوسط درازمدت پیش‌بینی کردند.

با توجه به شکل ۶ مشخص است که در پنج مدل-سناریو از شش مدل-سناریو، مانند دوره بلندمدت مشاهداتی، پیک جریان در ماه مارس اما با مقداری کمتر رخ می‌دهد و فقط در مدل-سناریوی MPEH5-A2 پیک جریان از ماه مارس به ماه آوریل منتقل شده است.

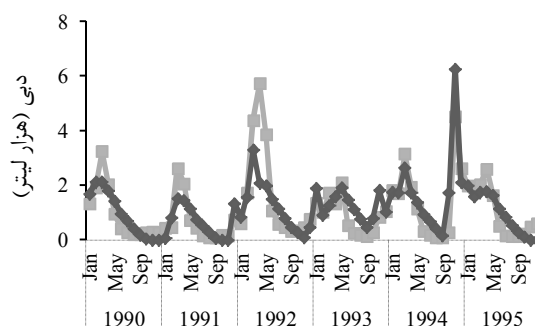
شکل ۷ بیانگر این است که مدل MPEH5 تحت سناریوی A1B به طور تقریبی در همه ماه‌های سال جریان کمتری را نسبت به دوره پایه و همین مدل تحت سناریوی A2 به طور تقریبی در همه ماه‌های سال افزایش جریان نسبت به دوره پایه را پیش‌بینی می‌کند. همچنین بیشتر مدل-سناریوها کاهش جریان در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، سپتامبر و اکتبر و افزایش جریان در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اگوست و ژانویه را نشان می‌دهند.



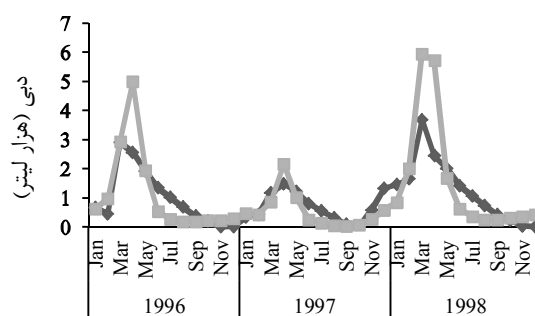
شکل ۴- متوسط سالانه جریان رودخانه، پیش‌بینی شده در مدل-سناریوهای مختلف برای دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در مقایسه با متوسط درازمدت جریان خروجی حوضه آبریز قره‌سو



شکل ۵- متوسط ۲۰ ساله (۲۰۴۶-۲۰۶۵) جریان سالانه در مدل-سناریوهای مختلف در مقایسه با متوسط بلندمدت جریان سالانه (۱۹۸۷-۲۰۱۰)



شکل ۲- داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل برای جریان رودخانه در دوره واسنجی (۱۹۹۰-۱۹۹۵)



شکل ۳- داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای جریان رودخانه در دوره صحت‌سنجی (۱۹۹۶-۱۹۹۸)

اثر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه

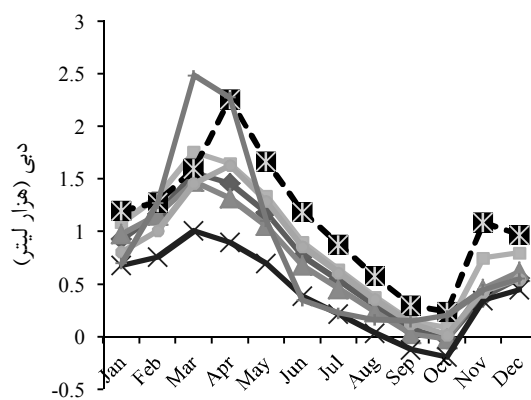
برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه، ابتدا با نرم‌افزار Lars-WG خروجی‌های بزرگ مقیاس دو مدل از مدل‌های AOGCM (مدل‌های HADCM3 و MPEH5)، تحت سه سناریوی انتشار (A1B، A2 و B1) و در مجموع شش مدل-سناریو برای دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ ریز مقیاس‌سازی شدند. نتایج نرم‌افزار Lars-WG را که به صورت داده‌های دما و بارش روزانه دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ است، به سری زمانی ماهانه و سالانه تبدیل و همراه با نقشه‌های GIS وارد مدل بارش-رواناب MapShed شد. پس از اجرا، نتایج مدل MapShed در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده است.

با مشاهده و بررسی شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان نتیجه گرفت که چهار مدل-سناریوی HADCM3-B1، MPEH5-A1B، HADCM3-A1B، B1، به ترتیب جریان متوسط ۵/۱۸، ۸/۴۸، ۸/۹ و ۹/۱۷ سانتی‌متر (معادل با ۹/۱۸، ۱۵/۰۲، ۱۵/۷۶ و ۱۶/۲۴ مترمکعب بر ثانیه) را پیش‌بینی کردند که نسبت به متوسط دراز مدت گذشته (۹/۹۳ سانتی‌متر یا ۱۷/۵۹

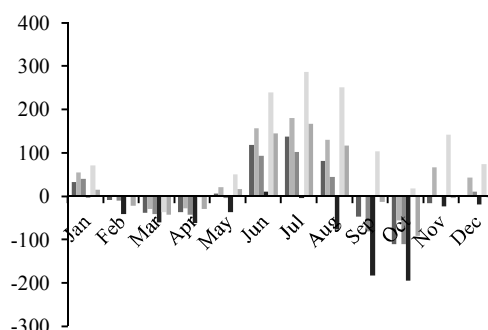
نتایج نشان می‌دهند که چهار مدل - سناریوی MPEH5- A1B, HADCM3-B1, HADCM3-A1B و MPEH5-B1 در دو مدل - سناریوی MPEH5-A2 و HADCM3-A2 در دوره ۲۰ ساله آتی، به ترتیب جریان‌های کمتر و بیشتری نسبت به متوسط بلندمدت گذشته پیش‌بینی می‌کنند. همانند دوره مشاهداتی، جریان‌های خروجی از حوضه در بیشتر مدل - سناریوها، دبی اوج را در ماه مارس تخمین می‌زنند و فقط در مدل MPEH5 تحت سناریوی A2، جریان اوج به ماه آوریل منتقل می‌شود. همچنین بیشتر مدل - سناریوها افزایش جریان نسبت به دوره پایه را، در اواخر فصل بهار و کل فصل تابستان و کاهش جریان را در اواخر زمستان و اوایل فصل بهار پیش‌بینی می‌کنند.

منابع

۱. قاسمی ا. و فتاحی ا. ۱۳۹۰. بررسی تغییر اقلیم حوضه آبریز شهرچای ارومیه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریز مقیاس‌سازی نمایی مدل گردش عمومی جو HadCM3، همایش ملی حوضه تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، ارومیه. ۵۳۴-۵۴۵.
۲. مدرسی ف. عراقی‌نژاد ش. ابراهیمی ک. و خلقی م. ۱۳۸۹. بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری، مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود - قره‌سو. نشریه آب و خاک. ۲۴(۳): ۴۷۶-۴۸۹.
3. Arnell N. W. 2003. Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future streamflows in Britain. *Journal of Hydrology*. 270: 195-213.
4. Arnell N. W. 2004. Climate-change impacts on river flows in Britain: the UKCIP02 scenarios. *J Chart Inst Water Environ Manag*. 18: 12-117.
5. Evans B. M. Lehning D. W. Corradini K. J. Petersen G. W. Nizeyimana E. Hamlett J. M. Robillard P. D. and Day R. L. 2002. A comprehensive GIS-based modeling approach for predicting nutrient loads in watersheds, *Journal of Spatial Hydrology*. 18: 153-168.
6. Evans B. M. and Corradini K. J. 2012. MapShed (version 1.0) Users Guide. Penn State Institute of Energy and the Environment. The Pennsylvania State University. 18-31.
7. Hayhoe K. 2004. Emissions pathways, climate change, and impacts on California. *Processing National Academy*. 327(101): 12422-12427.



شکل ۶- متوسط ۲۰ ساله (۲۰۴۶-۲۰۶۵) ماهانه جریان در مدل - سناریوهای مختلف در مقایسه با متوسط درازمدت ماهانه جریان



شکل ۷- تغییرات جریان ماهانه پیش‌بینی شده در آینده نسبت به متوسط ماهانه دوره پایه بر حسب درصد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، برای تعیین اثر تغییر اقلیم احتمالی آینده بر جریان رودخانه قره‌سو در حوضه قره‌سو، ابتدا با بهره‌گیری از مدل اقلیمی LARS-WG، خروجی‌های دو مدل بزرگ مقیاس HADCM3 و MPEH5 تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B، SA2، و B1 ریز مقیاس‌سازی شدند. خروجی این بخش که شامل داده‌های دما و بارش آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) است، به همراه نقشه‌های GIS حوضه به عنوان ورودی در مدل MapShed، برای پیش‌بینی جریان خروجی آینده حوضه تعریف شد. شبیه‌سازی جریان خروجی حوضه با استفاده از داده‌های ماهانه جریان رودخانه در بازه زمانی ۱۹۹۸-۱۹۹۰ عملکرد مناسب مدل MapShed را نشان می‌دهد. سپس، با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده آینده، حاصل از بخش پیش‌بینی اقلیمی، جریان خروجی از حوضه قره‌سو و تغییرات آن در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ پیش‌بینی شد.

8. Kilsby C. G. Jones P. D. Burton A. Ford A. C. Fowler H. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies, *Environmental Model Software*. 22: 1705-1719.
9. Lee K. Y. Weller D. E. Fisher T. R. Jordan T.E., and Correll D. L. 2000. Modeling the hydrochemistry of the Choptank River Basin using GWLF and Arc/Info: 1. Model Calibration and validation. *Biogeochemistry*. 49(2): 143-73.
10. Penn State Institutes of the Environment. 2007. Summary work undertaken related to adaptation of AVGWLF for use in New England and New York. 69-151
11. Semonov M. A. Stratonovitch P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *Journal of Climate Research*. 41. 1-14.
12. Solomon S. Qin D. Manning M. Chen Z. Marquis M. Averyt K. B. Tignor M. and Miller H. L. Summary for policymakers, in: *Climate Change, 2007. IPCC, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Group*.
13. Tu J. 2009. Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts. USA. *Journal of Hydrology*. 379: 268-283.
14. Wilby R. L. Greenfield B. and Glenny C. 1994. A coupled synoptic-hydrological model for climate change impact assessment. *Journal of Hydrology*. 153: 265-290.
15. Wilks D. S. and Wilby R. L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*. 23: 329-357.