کارگاه فنی
اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب
۲۴ بهمن ماه ۱۳۸۶

بررسی تأثیر روش‌های کوچک مقیاس کردن رگرسیونی بر رژیم سیلاب رودخانه

سیده زهرا صمدی[۱]، علیرضا مساح بوانی[۲]، محمد مهدوی[۳]

چکیده:

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده که به آن پدیده تغییر اقلیم (Climate Change) اطلاق می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات این پدیده بر سیستم‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده اتمسفر- اقیانوس گردش عمومی جو GCM (General circulation Model) می‌باشد. یکی از ضعف‌های این مدل‌ها بزرگ بودن مقیاس زمانی و مکانی خروجی آن‌ها نسبت به مقیاس سیستم مورد مطالعه می‌باشد. از اینرو می‌بایست خروجی این

مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم، کوچک مقیاس (Downscaling) شوند. برای این‌کار از دو روش دینامیکی یا آماری استفاده می‌شود. در کشور ما بدلیل عدم دسترسی به کد برنامه‌نویسی (Source) مدل‌های GCM نمی‌توان از روش‌های دینامیکی استفاده کرده لذا روش‌های آماری بکار گرفته می‌شود. روش‌های آماری شامل روش طبقه‌بندی اقلیمی، مولدهای هواشناسی و مدل‌های رگرسیونی می‌باشد. در این تحقیق اثر روش‌های رگرسیونی کوچک مقیاس کردن شامل رگرسیون خطی،

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم شهر (دانشجوی دوره دکتری مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری- واحد علوم و تحقیقات)، شماره همراه:۰۹۱۲۴۵۹۸۵۸۷ email:zahra.samadi@gmail.com

۲- استادیار دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی ابوریحان، دکتری منابع آب، تلفن محل کار: ۳۰۲۵۳۶۶-۰۲۹۲، email:armassah@yahoo.com

۳- استاد دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دکتری هیدرولوژی، تلفن محل کار: ۲۲۳۰۴۴۶-۰۲۶۱، email:mahdavi@nrf.ut.ac.ir

شبکه عصبی، آنالیز همبستگی (Canonical) و کریگینک بر روی سیلاب مورد بررسی قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت آن‌ها بحث خواهد شد.

کلمات کلیدی: مدل گردش عمومی جو- سیلاب- کوچک مقیاس کردن آماری- مدل‌های رگرسیونی.

۱- مقدمه:

ظرفیت اکوسیستم‌ها برای پذیرش تغییرات در محیط‌زیست محدود است. اگرچه طبیعت، خود دارای توانایی مقابله با تغییرات است ولی امروزه رشد صنایع و کارخانه‌ها از یک طرف و جنگل زدائی و تخریب محیط‌زیست از طرف دیگر باعث افزایش روزافزون تخریب طبیعت و افزایش گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین طی دهه‌های اخیر شده است. تحقیقات مختلف نشان از تاثیر این افزایش بر روی اقلیم کره زمین دارد. مهم‌ترین اثر این افزایش بر روی درجه حرارت اتمسفر کره زمین بوده که در نوشته‌های علمی از آن به عنوان گرم شدن سراسری[1] اطلاق می‌کنند. تاثیر این افزایش تنها بر میزان درجه حرارت اتمسفر نبوده و دیگر متغیرهای اقلیمی را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد که به آن پدیده تغییر اقلیم گفته می‌شود. تاثیرات منفی این پدیده در آینده به سبب نگرش جوامع بر توسعه سریع صنعت و توجه کمتر به محیط‌زیست می‌تواند شدت گرفتن آن را بدنبال داشته باشد. به منظور بررسی دقیق‌تر مساله در سال ۱۹۸۸ موسسه‌ای با نام هیئت بین دول تغییر اقلیم IPCC[2] بوسیله سازمان هواشناسی جهان WMO[3] و برنامه محیط زیست سازمان ملل UNEP[4] تاسیس یافت. هدف اصلی این موسسه شناختن تمام جنبه‌های تغییر اقلیم و بخصوص چگونگی تاثیر فعالیت‌های انسانی بر آن بود. بررسی‌های اولیه IPCC بر روی داده‌های مشاهداتی دما، بارندگی، پوشش برف و سطح آب دریاها نشان از تغییرات در این متغیرها دارد. بررسی-های بعدی نشان داد که میزان افزایش متوسط دما در سطح کره زمین در قرن ۲۰ ، ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. به همین ترتیب پوشش برف که بعنوان منابع آبی بسیاری از حوضه‌ها در سطح کره زمین به شمار می‌رود، از کاهش ۱۰ درصدی در چند دهه اخیر برخوردار شده و این کاهش در یخ‌های دریاهای نیمکره شمالی نیز مشاهده شده که خود عامل بالا آمدن سطح آب دریاها است. اما تاثیر این تغییرات تنها بر ارقام متوسط نبوده، بلکه رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب و خشکسالی‌ها را نیز تحت شعاع قرار می‌دهد. IPCC افزایش تناوب خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها بویژه در افریقا و آسیا را در چند دهه اخیر گزارش کرد[۲]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پدیده تغییر اقلیم می‌تواند برسیستم‌های مختلف اعم از منابع‌آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. اهمیت وخطرات

1- Clobal Warming
2- Intergovernmental Panel of Climate Change
3- World Meteorological Organization
4- United Nation Environmental Program

تغییر اقلیم در مجامع مختلف جهانی از جمله نشست سران گروه G8 (هشت کشورصنعتی دنیا) مورد توجه و تاکید قرار گرفته و راهکارهای مقابله با آن جهت حفاظت از منابع آب،کشاورزی و منابع زیست‌محیطی مدنظر قرارگرفته است. با توجه به آن که آب یکی از منابعی است که درمعرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قراردارد، بررسی تغییرات آن در سال‌های آینده می‌تواند راه‌گشای معضلاتی چون خشکسالی، سیلاب‌های ناگهانی، تبخیرزیاد و غیره باشد. برای انجام مطالعات تغییر اقلیم بر منابع مختلف در دوره‌های آتی، در ابتدا می‌بایست متغیرهای اقلیمی تحت تاثیرتغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جویا GCM[1] می‌باشد.

یکی از ضعف‌های مدل‌های GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها نسبت به مدل مورد استفاده می‌باشد. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابراین می‌بایستی آن‌ها را توسط تکنیک‌های مختلف، کوچک مقیاس نمود. در این مطالعه در نظر است روش‌های مختلف کوچک مقیاس کردن آماری ـ رگرسیونی بر سیلاب حوضه مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد وروش‌ها:

در این قسمت چگونگی تولید سناریوهای اقلیمی و روش‌های مختلف کوچک مقیاس کردن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- تولید سناریوهای اقلیمی:

روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی وجود دارد که در این تحقیق از خروجی مدل‌های GCM استفاده می‌گردد. به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرایندهای اصلی اقلیمی (اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین، یخ پوسته و زیست کره) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی شده، سپس تمام مدل‌های فرعی مربوط به اتمسفر و اقیانوس با یکدیگر جفت شده و مدل‌های گردش عمومی GCM را تشکیل می‌دهند. برای بررسی وضعیت اقلیم گذشته کره زمین، مقادیرمشاهداتی گازهای گلخانه‌ای، نوسانات تابش خورشیدی و ذرات معلق ناشی از فوران‌های آتشفشانی تا سال ۲۰۰۰، بعنوان ورودی به مدل‌های GCM ارائه شده و متغیرهای اقلیمی به صورت سری زمانی شبیه‌سازی شده‌اند. پس از شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های GCM، بمنظور شبیه‌سازی وضعیت این متغیرها در دوره‌های آتی نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی برای این مدل‌ها می‌باشد. بدین منظور ابتدا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در سناریوهای انتشار (که معمولاً تاسال ۲۱۰۰ می-

1- General circulation model

باشند) توسط مدل‌های دیگر به غلظت و نهایتاً به میزان نیروی تابشی تبدیل شده و این مقادیر بعنوان ورودی به مدل‌های GCM ارائه می‌شوند. نتایج ناشی از شبیه‌سازی مدل‌های GCM تحت سناریوهای انتشار، سری زمانی متغیرهای اقلیمی را تا سال ۲۱۰۰ ارائه می‌دهد. در سال ۱۹۹۸، IPCC کمیته‌ای را به منظور جمع‌آوری خروجی مدل‌های GCM به نامDDC[1] تشکیل داد. یکی از اهداف عمده این مرکز جمع-آوری خروجی مدل‌های GCM بمنظور استفاده در تحقیقات مرتبط با تغییر اقلیم بود. خروجی مدل‌ها تحت سناریوهای مختلف در بخش DDC از سایت IPCC قرارگرفته است[۲].

جدول(۱)- مشخصات مدل‌های GCM موجود درDDC طبق گزارش سوم IPCC.

	ECHAM4	HadCM3	CSIRO	CGCM2	GFDL-R30	NCAR	CCSR
دقت مکانی AGCM (درجه)	۲/۸*۲/۸	۳/۵۷*۲/۵	۵/۶*۳/۲	۳/۷*۳/۷	۷/۵*۴/۵	۷/۵*۴/۵	۵/۶*۵/۶
دقت مکانی OGCM (درجه)	۲/۸*۲/۸	۳/۵۷*۲/۵	۵/۶*۳/۲	۱/۸*۱/۸	۳/۵۷*۴/۵	۱*۱	۲/۸*۲/۸
دوره شبیه سازی گازهای گلخانه‌ایی وذرات معلق در گذشته	CO2 ۱۸۶۰-۱۹۸۹ SO4 ۱۸۶۰-۱۹۸۹	CO2 ۱۸۶۰-۱۹۸۹ SO4 ۱۸۶۰-۱۹۸۹	CO2 ۱۸۸۱-۱۹۸۹ SO4 ۱۸۶۰-۱۹۸۹	CO2 ۱۹۰۰-۱۹۸۹ SO4 ۱۸۶۰-۱۹۸۹	CO2 ۱۷۶۶-۱۹۸۹ SO4 ۱۹۰۱-۱۹۸۹	CO2 ۱۹۰۱-۱۹۸۹ SO4 ۱۹۰۱-۱۹۸۹	CO2 ۱۸۹۰-۱۹۸۹ SO4 ۱۸۹۰-۱۹۸۹
طول دوره شبیه‌سازی	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۹۰-۲۰۰۰	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۵۰-۲۰۹۹	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۶۱-۲۱۰۰	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۰۰-۲۰۰۰	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۶۱-۲۱۰۰	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۸۰-۲۰۹۹	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۸۹۰-۲۱۰۰
سناریوهای شبیه‌سازی شده	A2,B2	A2,A2b,A2c,B2	A1,A2,B1,B2	A2,B2	A2,B2	A2,B2,A1B	A1,A1F1,A1T,A2,B1,B2

ازآنجایی که استفاده ازخروجی مدل‌های GCM به عنوان معتبرترین ابزار جهت مطالعات تغییر اقلیم بوده و از طرفی دیگر خروجی این مدل‌ها دارای دقت مکانی و زمانی کافی برای مطالعات تاثیر تغییر اقلیم برسیستم‌های هیدرولوژی نمی‌باشد. لذا استفاده از روش‌های کوچک مقیاس‌کردن مناسب، می‌تواند نتایج حاصل از مطالعات تغییر اقلیم را معتبرتر سازد.

1- Data Distribution Center

۲-۲- ارائه روش‌های مختلف برای کوچک مقیاس کردن:

روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد. این روش‌ها شامل روش‌های دینامیکیRCM[1] و روش‌های آماری است. روش‌های دینامیکی جزء روش‌های هزینه‌بر بوده که درایران دردسترس نیستند. معتبرترین ابزار جهت کوچک مقیاس کردن داده‌های GCM در کشور ما استفاده از روش‌های آماری می‌باشد.

جدول (۲)- نقاط قوت وضعف این دو روش را بیان می‌کند[۲۳].

	کوچک مقیاس کردن آماری	کوچک مقیاس کردن دینامیکی
نقاط قوت	- اطلاعات اقلیمی با مقیاس ایستگاهی از خروجی GCM - ارزان، انعطاف پذیر و قابل گسترش بوسیله نرم افزارهای کامپیوتری - آنالیز عدم قطعیت/ مجوز ریسک مجموع سناریوهای اقلیمی - انعطاف پذیر	- اطلاعات اقلیمی با قدرت تفکیک ۵۰-۱۰ کیلومتر از خروجی GCM - در برابر روش‌های فیزیکی برای وقایع حدی پاسخگو است. - برخی از فرایندهای اتمسفری نظیر بارش اروگرافی را حل می‌کند. - سازگار با GCM
نقاط ضعف	- بستگی به مرزهای واقعی و موثر GCM دارد. - انتخاب اندازه، محدوده و نتایج حاصل از اثرات محلی - احتیاج به داده با کیفیت بالا برای کالیبراسیون مدل دارد. - ارتباطات بین پیش بینی کننده ـ پیش بینی شونده اغلب غیرایستگاهی است. - انتخاب تغییر تجربی طرح برروی نتایج اثرگذار است. - انتخاب نتایج حاصل از اثرات تغییر شکل تجربی	- بستگی به مرزهای واقعی و موثر GCM دارد - انتخاب اندازه، محدوده و نتایج حاصل از اثرات محلی - احتیاج به فرآیندهای کامپیوتری مشخص دارد. - مجموع سناریوهای اقلیمی بندرت تولید می‌شود. - شرایط مرزی اولیه روی نتایج اثرگذار است. - انتخاب اثرات نتایج طرح بر بارش بصورت ابر/ جابجایی - قابل انتقال به مناطق جدید نیست

۲-۲-۱- روش‌های کوچک مقیاس کردن آماری[۲]:

کوچک مقیاس کردن آماری شامل بسط روابط کمی بین متغیرهای اتمسفری بزرگ مقیاس و متغیرهای محلی می‌باشد. شکل‌های مختلف روابط بین پیش بینی کننده‌ها[۳] و پیش بینی شونده‌ها[۴] وجود دارد. بیشتر مطالعات کوچک مقیاس کردن آماری در مقیاس نقطه‌ای (ایستگاهی) انجام شده و از متغیرهای اقلیمی چون بارش و درجه حرارت استفاده می‌شود. متغییرهای پیش بینی کننده شامل متغیرهای مانند فشار متوسط سطح دریا MSLP[5]، ارتفاع ژئوپتانسیل، فاکتورهای بادی، رطوبت مطلق و متغیرهای درجه‌حرارت هستند.

1- Regional Circulation Model
2- Statistical downscaling methods
3- predictors
4- predictants
5- Mean Sea Level Pressure

که با دقت مکانی ۵۰۰-۳۰۰ کیلومتر از GCM استخراج می‌شوند. با برقراری ارتباط آماری مناسب بین متغیرهای پیش‌بینی کننده ومتغیرهای پیش‌بینی شونده می‌توان به روابط مناسب جهت پیش بینی متغیرهای اقلیمی درآینده تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم دست یافت(رابطه ۱).

$$R = f(L) \qquad (۱)$$

در این رابطه R متغیرپیش بینی شونده (متغیر اقلیمی) و L متغیر پیش بینی کننده (یک متغیر اقلیمی بزرگ مقیاس) می‌باشد. f تابعی برای L بوده که براساس آمار داده‌های قبلی محاسبه می‌گردد. تابع f براساس سه روش اصلی کوچک مقیاس کردن آماری برقرار می‌گردد که عبارتند از:

الف -روش طبقه بندی هواشناسی ب -روش مولدهای هواشناسی ج – روش مدل‌های رگرسیونی[۲۳]

۲-۲-۱-۱- روش طبقه‌بندی هواشناسی:

این روش‌ها بصورت محدود در مناطقی که داده‌های سینوپتیکی روزانه مشابهی دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش الگوهای هواشناسی براساس شباهتشان با یک سری از داده‌های اقلیمی دسته‌بندی شده، سپس برای مناطق اقلیمی غالب دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرند و نهایتاً بوسیله روابط رگرسیونی یا نمونه‌برداری مجدد[1] مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند همچنین لازم است تا داده‌ها به دوره‌های خشک (دوره خشکسالی) و تر (دوره ترسالی) تقسیم‌بندی می‌شوند[۲۳].

یکی از مهم‌ترین روش‌ها در این تکنیک، روش آنالوگ یا قیاسی است که توسط Lorenz در سال ۱۹۶۹ جهت پیش بینی متغیرهای اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. از ضعف‌های این روش این است که کاربرد آن محدود بوده و از دقت مکانی لازم جهت پیش‌بینی‌های اقلیمی بویژه در سری‌های بلندمدت شبیه‌سازی برخوردار نمی‌باشد. این روش با مقایسه مکانی، روابط موجود یک نقطه را برای نقاط دیگر با شرایط یکسان هواشناسی، هیدرولوژی و غیره به کار می‌برد[۲۳].

روش دیگر در این تکنیک، استفاده از مدل‌های مارکو[2] است که روابط همبستگی بین داده‌های سینوپتیکی ایجاد می‌کند. این مدل یک فرایند آماری دوگانه است که داده‌های مشاهداتی را در فرایندهای آماری بکار می‌برد. اساساً مدل‌های مارکو غیریکنواخت بوده و احتمالات در آن‌ها کم‌رنگ است. در این مدل خصوصیات شبیه‌سازی شده‌ها مانند متغیرهای بین سالیانه، وقایع مرطوب وخشک در مناطق مختلف و همبستگی بین سری‌های بارش برای مناطق جفتی مجدداً ایجاد می‌شود[۲۳].

1- Resampling
2- Markov

۲-۲-۱-۲- روش مولدهای هواشناسی[1]:

مولدهای هواشناسی یا WGS مدل‌هایی هستند که توزیع‌های آماری را در یک متغیر اقلیمی محلی با استفاده از میانگین و واریانس داده‌ها منعکس می‌کنند. مولدهای هواشناسی در واقع مولدهای تصادفی و پیچیده‌ای بوده که خروجی آن‌ها داده‌های هواشناسی در مقیاس روزانه می‌باشند. این مدل‌ها براساس وقایع بارندگی در دوره‌های روز- مرطوب/روز- خشک یا دوره مرطوب/ دوره خشک پایه‌گذاری شده‌اند. متغیرهای ثانویه چون مقادیر رطوبت ـ روز، درجه حرارت و تابش خورشید اغلب بطور نسبی در وقایع بارندگی مدل می‌شوند. WGS برای کوچک مقیاس کردن نسبی پارامترها توسط متغیرهای شبیه‌سازی شده اتمسفری در مقیاس بزرگ می‌تواند مفید باشد. در این روش تغییرات طول دوره‌های خشک و تر می‌تواند باعث شبیه‌سازی درجه حرارت و تابش خورشید گردد. روش WGS برای کوچک مقیاس کردن زمانی مقادیر بارش ماهانه، روزانه و یا مجموع بارندگی‌ها مفید است. دو نوع مولد هواشناسی روزانه وجود دارد که واقعه بارش روزانه را مدل می‌نماید ۱- رویکرد زنجیره مارکو ۲ - رویکرد طول دوره، رویکرد زنجیره مارکو یک واقعه تصادفی (یک روز خشک ویا بارانی) را مشخص می کند. دراین روش مدل‌ها برای آن‌که بهترین توزیع احتمالاتی را ارائه دهند تکرارهای طول دوره مرطوب و خشک را در نظر می‌گیرند. برای کوچک مقیاس کردن متغیرهای اقلیمی داده‌های GCM با روش رویکرد طول دوره، شبیه‌سازی سری‌های روزانه با طول‌های غیرمشخص انجام می‌شود[۲۳].

۲-۲-۱-۳- مدل‌های رگرسیونی:

مدل‌های رگرسیونی اصولاً یا بصورت خطی و یا غیر خطی ارتباطات بین شبیه‌سازی شونده‌ها و شبیه‌سازی کننده‌ها را نشان می‌دهد. این مدل شامل روش‌های رگرسیون خطی، آنالیز همبستگی CCA^2 ، شبکه عصبی (که یک رگرسیون غیرخطی می‌باشد) و روش کریگینگ است. این مدل‌ها اکثراً با ایجاد روابط رگرسیونی بین متغیرها، تعریف می‌شوند. برای شبیه‌سازی بارش، کوچک مقیاس کردن وقایع حداکثر در آینده توسط مدل‌های رگرسیونی قدری مشکل است، چرا که معمولاً سری داده‌ها نیاز به کالیبره شدن دارد و این یکی از ضعف‌های این مدل است. کوچک مقیاس کردن توسط این روش نسبت به انتخاب پیش بینی کننده‌ها و توابع آماری مناسب (بخصوص در مورد وقایع حدی) بسیار حساس هستند. زیرا تعیین روند داده‌های کالیبره شده مشکل است.

هر یک از سه روش تشریح شده دارای نقاط ضعف وقوتی بوده (جدول ۳) که بسته به شرایط اقلیمی، داده‌های موجود، اهداف پروژه و ... انتخاب و به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در محل استفاده می‌شوند. کلیه روش‌ها بر اطلاعات مقیاس نقطه‌ای (ایستگاهی) یک واقعه اقلیمی (مانند بارش روزانه) بنا شده‌اند. که

1- Weather Generators Method
2- Canonical Correlation Analysis

مهم‌ترین متغیر اقلیمی ورودی، متغیر بارش است که پس از شبیه‌سازی آن در دوره‌های آتی تحت یک مدل مناسب بارش ـ رواناب می‌توان به سیلاب حوضه پی برد[۲۳].

جدول (۳)- نقاط ضعف و قوت روش‌های کوچک مقیاس کردن آماری[۲۳].

روش	نقاط قوت	نقاط ضعف
۱- روش طبقه بندی اقلیمی(مانند روش آنالوگ، رویکردهای هیبریدی، طبقه‌بندی Fuzzy، روش Monte carlo	- زمینه‌های فیزیکی قابل تفسیر مربوط به اقلیم سطحی - چند موضوعه بودن (مانند کاربرد آن در اقلیم سطحی، کیفیت هوا، سیلاب ، فرسایش و غیره) - آنالیز وقایع حدی	- نیازمند به کار گروهی - مدل GCM برای وقایع حدی آینده غیر حساس است. - متغیرهای intra – type را در اقالیم سطحی لحاظ می‌کند.
۲- مولدهای هواشناسی(مانند زنجیره مارکو، مدل‌های آماری، مدل‌های طول دوره‌ای، زمان وقوع بارش، مدل‌های چندگانه	- تولید مجموعه‌های بزرگی برای آنالیز عدم قطعیت یا شبیه‌سازی‌های طولانی برای وقایع حدی - استفاده از پارامترهای مدل درون‌یابی جزئی بصورت Landscape - می‌تواند اطلاعات کوچکتر از مقیاس روزانه را شبیه‌سازی کند	- پذیرش مطلق پارامترها برای تغییر اقلیم در آینده - اثرات متغیرهای ثانویه بر تغییر پارامترهای بارش
۳- مدل‌های رگرسیونی (مانند رگرسیون خطی، شبکه‌های عصبی، آنالیز همبستگی CCA ، کریگینگ یا Kriging) .	- کاربرد روش straight forward - کاربرد رنج کاملی از متغیرهای شبیه‌سازی شونده در دسترس - راه‌حل off-the-shelf برای نرم افزارهای در دسترس	- متغیر مشاهده‌ای بطور ضعیف ارائه شده است. - ممکن است داده‌ها را بصورت نرمال یا خطی فرض کند. - ضعف در ارائه وقایع حدی

در ذیل جزئیات مربوط به روش‌های مختلف آماری_ رگرسیونی تشریح می‌شود.

۲-۲-۱-۳- ۱- روش رگرسیون خطی:

این روش بهترین نتایج را برای مولد هواشناسی استوکاستیکی[1] و روش‌های رگرسیونی ارائه می‌دهد. زیرا در این روش از الگوهای گردش روزانه بزرگ مقیاس مانند متغیرهای رطوبت اتمسفر درمقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود که رابطه آن به صورت ذیل است:

$$\omega_i = \alpha_\circ + \sum_{i=1}^{n} \alpha_j u_i^{(j)} \qquad (۲)$$

دراین رابطه (j=۱،۲...,n) تعداد متغیرهای پیش‌بینی کننده، ω_i احتمال شرطی واقعه بارش دریک روز i میباشد. $u_i^{(j)}$ متغیرهای پیش بینی کننده‌ای هستند که نرمال شده‌اند. دوره خشکسالی و ترسالی با مقایسه بین ω_i و مولد عددی ـ تصادفی خطی r_i انجام می‌شود. اگر بارش ایجاد شده $\omega i \le ri$ باشد از رگرسیون معکوس نرمال تغییر شکل یافته (رابطه ذیل) برای مقادیر بارش استفاده می‌شود.

$$Z_i = \beta_\circ + \sum_{i=1}^{n} B_j u_i^{(j)} + \varepsilon \qquad (۳)$$

دراین رابطه Z_i مقدار Z و B_j ضریب رگرسیون تخمین زده شده برای هرماه است ،ε خطای آزمایش میباشد. پس از محاسبه Z_i از فرمول زیر برای محاسبه Y_i (بارش روزانه) استفاده می‌شود.

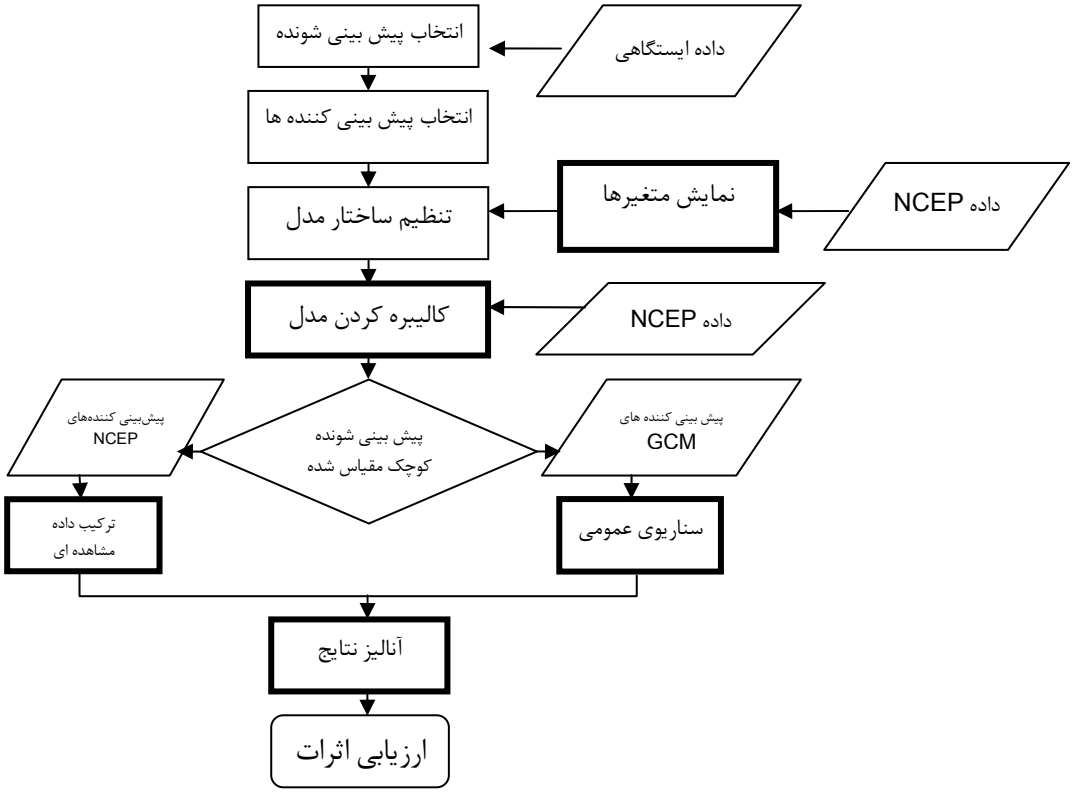
$$Z_i = \phi^{-1}\left[F(Y_i)\right] \qquad (۴)$$

در این رابطه ϕ تابع توزیع تجمعی نرمال شده محاسبه شده از مقادیر روزانه و $F(Y_i)$ تابع توزیع تجربی برای مقادیر Yi'(بارش روزانه) می‌باشد. $\hat{u}_i^{(j)}$ برای کوچک مقیاس کردن مقادیر و احتمال وقوع بارش به کار می‌رود. که می‌بایست براساس $\overline{X}^{(j)}$ (متوسط متغیر هواشناسی) و اشتباه استاندارد $\sigma^{(j)}$ نرمال گردد. فرمول مورد نظر به شرح ذیل است:

$$\hat{u}_i^{(j)} = \frac{X_i^{(j)} - \overline{X}^{(j)}}{\delta^{(j)}} \qquad (۵)$$

امروزه این روش جهت ارزیابی‌های هیدرولوژی، زیست‌محیطی و هواشناسی به وفور استفاده می‌شود. در این روش متغیرهای اقلیمی توسط روش مولدهای هواشناسی استوکاستیکی و روش رگرسیون خطی کوچک مقیاس می‌شود که نمودار جریانی این فرایند در شکل (۱) نشان داده شده است[۲۳].

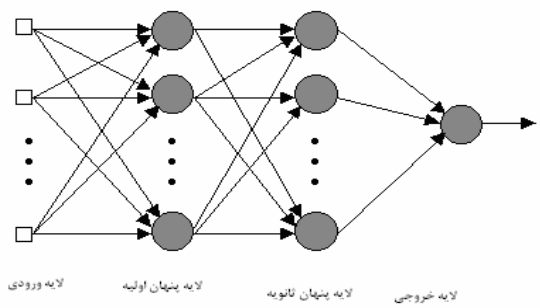
1- Stochastic



شکل (۱)- فرایند روش کوچک مقیاس کردن رگرسیون خطی

۲-۲-۱-۳- ۲- روش شبکه عصبی:

در سال‌های اخیر شاهد رشد روز افزون کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی در حل مسائلی هستیم که اصلا یا راه‌حل ندارند و یا به راحتی قابل حل نیستند. مبنای شبکه عصبی مصنوعی، استفاده از دانش نهفته در داده‌ها، تلاش برای استخراج روابط ذاتی بین آن‌ها و تعمیم آن در موقعیت‌های دیگر است. در استفاده ازشبکه عصبی مصنوعی سعی می‌شود با آموزش شبکه‌ای پردازشگر، بدون یافتن قانون ریاضی حاکم بر پارامترها، ویژگی‌ها و روابط ذاتی میان متغیرها را به شبکه آموخت و پس از تضمین یادگیری، از آن در تعمیم دهی و ایجاد رابطه غیرخطی بین دو فضای ورودی وخروجی بهره برد. در واقع سرعت بسیار بالای انجام عملیات منطقی توسط کامپیوتر و ساختار پردازش موازی شبکه عصبی مصنوعی به عنوان دو عامل مکمل هم باعث شده شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری مناسب برای حل بسیاری از مسائل استفاده شود. شکل (۲)، ساختار یک شبکه عصبی را نشان می‌دهد[۱و۳].



شکل (۲) - ساختار یک شبکه عصبی.

درشبکه عصبی مصنوعی، حافظه شبکه در مقادیراتصال موجود بین نرون‌ها یا وزن‌ها ذخیره می‌شود. دراین شبکه از آموزش به معنای روند تغییر وزن‌ها تا حصول نتیجه مشخص (بدست آوردن خروجی مطلوب از شبکه) و از یادگیری به معنای مرحله نهایی آموزش و تثبیت وزن‌های سیناپسی یاد می‌شود. درشبکه عصبی مصنوعی، تعداد لایه‌های پنهان به نوع مساله بستگی دارد. باید توجه داشت گرچه افزایش تعداد نرون‌های پنهان نتایج مثبت بسیاری به همراه دارد ولی باعث کاهش سرعت یادگیری شبکه و در برخی موارد، کاهش قدرت تعمیم‌دهی آن می‌شود. در این زمینه شبکه‌های مختلف گسترش داده شده است که عبارتند از:

الف- شبکه MLP:

به جرات می‌توان گفت پرسپترون چند لایه، برای ایجاد نگاشت غیرخطی، پرکاربردترین شبکه مصنوعی دردنیای مهندسی است زیرا اولا قدرت شناسایی ویژگی را داراست، ثانیاً می‌تواند الگوها را دسته‌بندی و درحالت کلی‌تر خوشه‌بندی کند، ثالثاً مهم‌تر از همه یک ابزار قدرتمند در ایجاد نگاشت‌های غیرخطی بین دو فضای ورودی وخروجی آن‌هم با ابعاد بزرگ است. قدرت این شبکه به قدری است که از آن به عنوان تقریب‌زن جهانی یاد می‌شود. درواقع این شبکه روابط ذاتی و طبیعی درون داده‌ها راکشف کرده و درون وزن‌های اتصالات به صورت گسترده ذخیره می‌کند.

شبکه MLP دارای قدرت تعمیم دهی بالا و توانایی دسته‌بندی وخوشه‌بندی الگویی بسیار بالایی است. لیکن این شبکه تنها در محدوده داده‌ها می‌تواند پاسخ دهد. از طرف دیگر این شبکه درهنگام آموزش ممکن است دچار وراآموزی یا یادگیری کاذب شود و در برخی موارد نیز آموزش آن زمان‌بر است.

ب- شبکه RBF:

قدرت اصلی این شبکه درشناسایی و تقسیم‌بندی الگوهاست. هرچند که این شبکه دارای قابلیت ایجاد نگاشت غیرخطی نیز می‌باشد در مواردی که الگوهای آموزش به نوعی قابل تقسیم به چند مجموعه باشند می‌تواند مفید واقع شود. ضمنا"یادگیری آن سریعتر از MLP است و در بحث برازش منحنی برداده‌ها

بسیار خوب عمل می‌کند. یکی از نتایج RBF توانایی بالای انتخاب پارامترهای مناسب برای واحدهای پنهان بدون آگاهی از روابط غیرخطی آنهاست. که علت آن تشخیص بین نقش‌های اول ودوم لایه وزن‌دهنده است.

پ- شبکه برگشتی RNN:

این شبکه ضمن برخودار بودن از قابلیت‌های MLP درفرایندهایی که تابعی از زمان هستند خوب عمل کرده و بحث ذخیره درمسائل منابع آب را بخوبی حل می‌کند. ولی به دلیل تعداد اتصالات بیشتر موجود درشبکه به الگوهای آموزشی بیشتری نسبت به MLP نیازمند بوده و آموزش آن کند است.

امروزه به طور گسترده از این مدل برای مطالعات تغییر اقلیم استفاده می‌نمایند که برای استفاده از آن داده‌ها را به دو دسته آموزش وتعمیم‌دهی تقسیم‌بندی نمود و به این مدل معرفی می‌نمایند. هرچه داده‌های مورداستفاده بیشتر باشد اطمینان به نتایج آن بیشتر خواهد بود[۳و۱].

۲-۲-۱-۳-۳- روش همبستگی CCA :

روش همبستگی CCA روابط خطی بین مجموعه‌ایی از پیش بینی کننده‌ها و پیش بینی شونده‌ها را برقرار می‌سازد.واز رابطه ذیل حاصل میشود.

$$Qj^{2} = \left[n - \frac{1}{2}(P + q + 1) \right] \sum_{i=1+j}^{q-1} \ln(1 - \lambda i) \qquad (۶)$$

λ = مقدار ویژه می‌باشد که از روابط ماتریسی بین X و Y بدست می‌آید.

P= تعداد متغیر پیش بینی کننده می‌باشد.

q = تعداد متغیر پیش بینی شوندهاست.

درجه آزادی مدل CCA از روش ذیل محاسبه میگردد[٦].

$$df = (p - j)(q - j) \qquad j = 0.....(q - 1) \qquad (۷)$$

۲-۲-۱-۳-۴- روش کریگینگ[1]:

بطور کلی تخمین زمین آمار فرایندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت درنقطه با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم بدست آورد. یکی از این تخمین‌گرهای زمین آماری روش کریگینک است. در این روش ابتدا می‌بایست ساختار همبستگی مکانی بین نقاط موجود مشخص گردد. این امر با استفاده از تغییرنگار[2] انجام می‌گردد. در واقع تغییرنگار کمیتی است برداری که درجه همبستگی و غیرهمسان بودن تغییرات را نشان می‌دهد. بعبارت دیگر تغییرنگار نشان‌دهنده همبستگی

1- Kriging
2- Variogram

مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده برحسب مربع تفاضل دو نقطه با توجه به جهت وفاصله بین آن‌ها می‌باشد. بطور مثال اگر Z(x) بیانگر یک متغیر مکانی در نقطه x باشد برای محاسبه تغیرنگار از رابطه زیر استفاده میشود:

$$2\gamma(h)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[Z(xi)-Z(xi+h)\right]^2 \qquad (۸)$$

در این رابطه Z بیانگر یک متغیر مکانی در موقعیت x h فاصله بین دو متغیر مکانی در یک جهت خاص n تعداد زوج مشاهداتی مجزایی است که به فاصله بردار h از یکدیگر قراردارند و $2\gamma(h)$ تابع تغییرنگار می‌باشد. برای ترسیم تغییرنگار لازم است مقادیر $2\gamma(h)$ به ازاء مقادیر مختلف h در فضای داده‌ها محاسبه شده و در یک نمودار ترسیم گردد. به نمودار بدست آمده تغییرنگار تجربی اطلاق می‌گردد. مرحله بعدی برازش مدل‌های تئوری تغییرنگار به مدل تجربی می‌باشد. مدل‌های تغییرنگار مختلفی ارائه شده است که می‌توان به مدل خطی ، نمائی، مدل لگاریتمی، مدل کروی و مدل گوسی اشاره نمود. از این روش برای کوچک مقیاس کردن آماری - رگرسیونی متغیرهای اقلیمی استفاده می‌شود هرچند استفاده از این روش نسبت به روش‌های رگرسیون خطی و غیر خطی کمتر بوده ولی این روش برای کوچک مقیاس کردن متغیرهای اقلیمی ماهانه نتایج قابل قبولی ارائه داده است[۲].

۳- بحث و نتیجه‌گیری:

با توجه به آن چه آمد، روش‌های مختلفی جهت کوچک مقیاس کردن خروجی مدل‌های GCM وجود دارد. که هرکدام از منطق خاصی پیروی می‌کند. از اینرو می‌توان انتظار داشت که استفاده از روش‌های مختلف، نتایج متفاوتی را بدنبال داشته است. مطالعات مختلف انجام شده در این زمینه موید همین مطلب بوده که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

در تحقیقی که در سال ۲۰۰۵ توسط M.Booij انجام گرفت، اثر تغییر اقلیم بر سیلاب رودخانه Meuse مورد بررسی قرار گرفت. دراین تحقیق نشان داده شد که لحاظ عدم قطعیت در محاسبات باعث افزایش ۴۰ درصدی مقادیر سیلاب رودخانه تحت تاثیر تغییر اقلیم نسبت به شرایط واقعی می‌گردد [۵].

در یکی از حوضه‌های ایتالیا کوچک مقیاس‌کردن بارش و پیش بینی سیلاب توسط N.Robora و همکاران (۲۰۰۶)بررسی شد. در این تحقیق مدل‌های کوچک مقیاس کردن استوکاستیکی برای ورودی‌های بارش و رواناب استفاده گردید. این بررسی نشان داد که روش استفاده شده فقط برای کوچک مقیاس کردن حوضه‌ها با مساحت کمتر از چند صد کیلومتر کاربرد داشته که می‌توان بارش کوچک مقیاس شده را توسط یک مدل بارش ـ رواناب مناسب جهت مطالعات آینده مورد استفاده قرار داد[۱۹].

در تحقیقی که توسط Wilby و همکاران در سال ۱۹۹۷ انجام گرفت، روابط تجربی بین متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژی روزانه در حوزه Nagano ژاپن مورد مطالعه قرارگرفت. در این تحقیق شاخص‌های پیش‌بینی شونده زاویه جریان هوا، نیرو و چرخش جریان هوا با متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ای چون فشارسطح دریا مورد مقایسه قرارگرفت. نهایتا این نتیجه حاصل شد که میزان تغییرات در مقادیرکوچک مقیاس شده حساسیت کمتری نسبت به متغیرهای پیش‌بینی کننده دارد[۲٤].

در تحقیق دیگر که توسط Kidson & Thompson در سال ۱۹۹۸ انجام شد با استفاده از مدل LAM (Limited Area Model) و تکنیک کوچک مقیاس کردن رگرسیونی، متغیر بارش در۷۸ ایستگاه نیوزلند در دوره ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۴ کوچک مقیاس شد. استفاده ازروابط رگرسیونی موجب شد تا متغیربارش روزانه بخوبی شبیه‌سازی گردد. ضعف تکنیک LAM در این مطالعه عدم توانایی آن در برطرف کردن معضل اوروگرافی بخصوص هنگامی که فاصله شبکه‌ها ۵۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود، می‌باشد. که این معضل بوسیله کاربرد روابط رگرسیونی خطی برطرف گردید[۱٤].

در سال ۱۹۹۹، Zorita & Vonstorch یک روش آنالوگ و یک روش رگرسیون خطی را برای بارش ماهانه و روش شبکه عصبی و روش رگرسیون غیرخطی را برای بارش روزانه مورد مطالعه قراردادند. مطالعه درمنطقهIberian Peninsula در جنوب اروپا صورت پذیرفت. مهم‌ترین نتیجه حاصل شده این بوده است که روش آنالوگ توانایی بالایی در تولید مجدد مقادیر بارش روزانه و تکرار خصوصیات بارش داشته است.

در تحقیق دیگری که توسط Means و همکاران در سال ۱۹۹۹ انجام گرفت از یک رویکرد طبقه‌بندی گردشی[1] و تکنیک LAM برای کوچک مقیاس کردن مقادیر بارش فصلی و ماهانه در۱۲ ایستگاه شرق نبراسکا استفاده گردید. نتایج کوچک مقیاس‌کردن آماری، افزایش بارندگی متوسط را نشان داده است. تحلیل‌های انجام گرفته نشان داد که بخشی از این اختلاف مربوط به استفاده تکنیک‌های آماری از ارتفاع ژئو پتانسیل hpa ۷۰۰ در محاسبات بوده است[۲۵].

کوچک مقیاس کردن بارش با استفاده از دو تکنیک Kriging و آنالوگ درسال ۲۰۰۰، توسط G.BIAU در منطقه Iberian Peninsula موردمطالعه قرار گرفت. از روش کریگینگ برای بازسازی بارش ماهانه فصل زمستان استفاده شد. سپس از دو تکنیک کریگینگ و آنالوگ برای پیش بینی بارش ماهانه استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش کریگینگ نسبت به روش آنالوگ در پیش بینی متغیرهای واقعی موفق‌تر بوده است[٤].

در سال ۲۰۰۱، A.Busuioc و همکاران مدل‌های کوچک مقیاس‌کردن آماری را برای معتبرسازی GCM و تخمین بارش منطقه‌ای سوئد استفاده نمودند. در این تحقیق ازروش آنالیز همبستگی CCA برای کوچک مقیاس کردن مقادیر بارش فصلی در ۳۳ ایستگاه سوئد در دوره زمانی۱۹۹۰-۱۸۹۹ استفاده شد. نتایج

1- Circulation Classification Approach

نشان داد که ارتباط بین بارش فصلی سوئد و مقادیر SLP در همه فصول، بخصوص درفصول پاییز و زمستان بسیار قوی بوده است. این ارتباط قوی در زمستان مربوط به مراکز سیکلون‌ها و آنتی سیکلون‌ها درجنوب اسکاندیناوی بوده است[٦].

در تحقیقی، کوچک مقیاس کردن متغیر بارش فصلی با استفاده از پارامترهای مولد هواشناسی شرطی[1] توسط R.L.Wilby و همکاران (۲۰۰۲) در انگلستان مورد بررسی قرارگرفت. در این تحقیق کاربرد متغیرهای پیش‌بینی‌کننده سینوپتیکی برای کوچک مقیاس کردن متغیرهای حداکثر و حداقل فراوانی بارش روزانه در منطقهBritish Isles مورد مطالعه قرار گرفت. دراین بررسی نشان داده شد که مدل‌های شرطی جهت پیش‌بینی وقایع بارش ماهانه نتایج قابل قبولی ارائه داده‌اند[۲۲].

Stephen P.C Charrles و همکاران درسال ۲۰۰۴ در مقاله‌ای، چگونگی کوچک مقیاس کردن آماری بارش روزانه را توسط مدل‌های اتمسفری مدل شده و مشاهده شده مورد مطالعه قرار دادند. دراین تحقیق تکنیک‌های کوچک مقیاس کردن آماری درشبکه GCM درمحدوده ۵۰۰-۳۰۰ کیلومتر و محدوده هواشناسی با مقیاس نقطه‌ای مطالعه گردید، این بررسی توانائی مدل مارکو را در اولویت‌بندی متغیرهای بارش مشاهده‌ای بخوبی نشان داده است[۷].

Yonus B.Dibike و همکاران درسال ۲۰۰۵، اثرات هیدرولوژی تغییراقلیم درحوضه SAGUENOY در شمال ایالت Quebec کانادا را برای مقایسه مدل‌های کوچک مقیاس کردن و مدل‌های هیدرولوژی موردمطالعه قراردادند. دراین مطالعه از دو تکنیک استوکاستیکی و رگرسیونی برای کوچک مقیاس‌کردن بارش ودرجه حرارت استفاده شد. نتایج نشان ازیک روند افزایشی مقادیر متوسط درجه حرارت بود. استفاده از مقادیر دما و بارش کوچک مقیاس شده در مدل‌های بارش ـ سیلاب نشان از یک روند افزایشی درمقادیر سالانه جریان رودخانه و همچنین جریان ورودی مخزن در دبی‌های حداکثر بهاری زود هنگام بوده است[۱۰].

در تحقیقی اثرات هیدرولوژی تغییر اقلیم بوسیله مدل‌های GCM و یک مدل کوچک مقیاس کردن آنالوگ در جنوب انگلستان توسط M.E.Elshamy و همکاران درسال ۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار گرفت. این مطالعه چگونگی تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه توسط تکنیک مولدهای هواشناسی را بررسی نمود. نتایج نشان داد که روش مولدهای هواشناسی داده‌های روزانه را بهتر از داده‌های فصلی کوچک مقیاس می‌کند[۱۱].

B.C.Hewitson و همکاران در سال ۲۰۰۵ درجنوب آفریقا در مطالعه‌ای رابطه بین پروژه‌های تغییر اقلیم بااستفاده از GCM را با کوچک مقیاس کردن تجربی مورد بررسی قرار دادند. دراین بررسی از تکنیک SOMs[2] برای کوچک مقیاس کردن بارش روزانه در جنوب آفریقا استفاده گردید. نتایج نشان داد که کوچک مقیاس کردن، باعث افزایش بارش تابستانه در بخش شرقی و کاهش بارش زمستانه در غرب منطقه

1- Conditioned weather generator parameters
2- Self Organizing Maps

خواهد شد. داده‌های بارش واقعی از سه مدل نشان داد که هرچه منطقه مورد مطالعه بزرگتر شود، توافق بین مدل‌ها کمتر خواهد شد[۱۳].

T.Crawford و همکاران درسال ۲۰۰۷ کوچک مقیاس کردن آماری بارش روزانه را در شمال ایرلند مورد مطالعه قرار دادند. در این بررسی از روش کوچک مقیاس کردن آماری ـ رگرسیونی استفاده شده است. مطالعات کوچک مقیاس کردن در مناطق اقیانوسی، تاثیر انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده را بهتر نشان می‌دهد[۹].

M.Semenev و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان موردبررسی قراردادند. دراین تحقیق ازمولدهای هواشناسی استوکاستیکی برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه استفاده گردید. همچنین تاثیر تغییراقلیم بر رشد دو گونه گندم cv.Avalon & cv.Mercia تا سال ۲۰۸۰ مورد بررسی قرارگرفت. با بررسی دو پارامتر، ضریب تنش خشکی ودرجه حرارت بالا نشان داده شد که دو گونه مورد نظر نسبت به افزایش درجه‌حرارت و کاهش بارش درتابستان مقاوم بوده و رشد آن‌ها کاهش نخواهد یافت[۲۰].

بر اساس مطالعات انجام شده در حوضه‌های مختلف می‌توان به نتایج ذیل اشاره نمود:

۱- کوچک مقیاس کردن داده‌های بارش روزانه نتایج بهتری را نسبت به داده‌های فصلی ارایه داده است.

۲- در مطالعات تغییر اقلیم عدم قطعیت مربوط به روش‌های کوچک مقیاس کردن می‌بایست مدنظر قرار گیرد.

۳- هرگاه مطالعات در مقیاس نقطه‌ای انجام شود (در سطح ایستگاه) اطمینان به نتایج آن بیشتر است به عبارت دیگر هرچه منطقه مورد مطالعه بزرگتر باشد، توافق بین مدل‌ها کمتر خواهد شد.

۴- انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده برنتایج مطالعات تأثیر گذار است.

۵- دربرخی از حوضه‌ها استفاده از مقادیر دما و بارش کوچک مقیاس شده در مدل‌های بارش ـ سیلاب باعث افزایش مقادیر سالانه جریان رودخانه و همچنین جریان ورودی مخزن در دبی‌های حداکثر خواهد شد.

۶- استفاده از روش‌های آماری – رگرسیونی نتایج بهتری را نسبت به روش‌های دیگر به همراه داشته است.

۷- روش کریگینگ در کوچک مقیاس کردن داده‌های ماهانه نسبت به داده‌های روزانه موفق‌تر بوده است.

۸- استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی نتایج بهتری را نسبت به روش‌های دیگر ارایه داده است.

۹- روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی در کوچک مقیاس کردن متغیرهای اقلیمی روزانه موفق‌تر بوده‌اند.

منابع:

۱- ذاکرمشفق م. و قدسیان م. (۱۳۸۲)، پیش‌بینی جریان رودخانه کرخه به کمک شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک ، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- مساح بوانی ع .ر. و مرید.س.(۱۳۸۵). ارزیابی ریسک تغییر اقلیم وتاثیرآن بر منابع آب، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- نوید مقدم م. و منتظر م.(۱۳۸۳)، برآورد نیروهای ناشی از امواج و جریانهای دریایی برسازه‌های لاغر با استفاده از شبکه‌های عصبی، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس.

4- BIAU, G., (2000). Downscaling of precipitation combining kriging and empirical orthogonal function analysis. Montpellier University Report.

5- Booij, M.J., (2005). Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. journal of hydrology, 303:176-198.

6- Busuioc, A., Chen, D., Helistrom, C., (2000). Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates:application for Swedish precipitation. journal of climatology, 21:557-578.

7- Charrles, S.P., Bates, B.C., Smith, I.N., Hughes, J.P., (2004). Statistical downscaling of daily precipitation from observed and modeled atmosphericfields. journal of hydrological processes, 18:1373-1394.

8- Chong-Yu, Xu., (1999). Climate change models for climatic changes in future. Report of Oslo University.

9- Crowford, .T., Betts, .n., Mortlock, .D.F., (2007). GCM grid-box choice and predictor selection associated with statistical downscaling of daily precipitation over Northern Irland. Climate Research 34:145-160.

10- Dibike, B.Y., Coulibaly, .P., (2004). Hydrological impact of climate change in the Saguenay watershed:comparison of downscaling methods and hydrologic models. journal of hydrology, 307:145-163.

11- Elshamy, M.E., Wheater, .H.S., Gedney, .N., Huntingford, .C., (2005). Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. journal of hydrology, 326:1-24.

12- Graham, P., Hagemann, S., Juan, .S., Beniston, .M., (2007). On interpreting hydrological change from regional climate models. Journal of climatic change, 81: 97-122.

13- Hewitson, B.C., Crane, R.G., (2005). Consensus between GCM climate change projections with empirical downscaling:precipitation downscaling over south Africa. journal of climatology, 26:1315-1337.

14- Kidson, J.W., Thompson, C.S., (1998). A comparison of statistical and model-based downscaling techniques for estimating local climate variations. Journal of Climate, 11:735-753.

15- IPCC., (2001). in: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., Dokken, D.J.(Eds.)., Sepecial Report on The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability. Cambridge University Press, UK.
16- IPCC, (2007). in: Alfsen, K., Barrow, Bass, E.B, Dai, Desanker, X.P., Gaffin, Giorgi, S.R.F., Hulme, M.M., Lal, L.J., Mata, L.O., Mearns, J.F.B., Mitchell, T., Morita, R., Moss, D., Murdiyarso, J.D., Pabon-Caicedo, J., Palutikof, M.L., Parry, C., Rosenzweig, B., Seguin, R.J., Scholes, D., and Whetton, P.H ., General guidlines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Cambridge University Press, UK.
17- Leander, R., Bouishand, T.A., (2006). Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. Journal of hydrology, 332: 487-496.
18- MeansLO, Bogardi, I., Giorgi, F., Matyasovszky, I., Paleecki, M., (1999). Comparison of climate change scenarios generated from regional climate model experiments and statistical downscaling. Journal of Geophysical Research, 104:6603-6621.
19- Robera, N., Hardenberg, J.V., Provenzale, A., (2005). Rainfall downscaling and flood forecasting: a case study in the Mediterranean area. journal of natural hazards and earth system sciences. 6:611-619.
20- Semenov, M.A., (2007). Developing of high-resolution UKCUP02-based climate change scenarios in the UK. Agricultural and forest meteorology, 144:127-138.
21- Jiang, T., Yongqin, D.C., Chong-yu, Xu., Xiaohong, C., Chen, Xi. And Singh**,** v., (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the donjiang Basin South China, Journal of hydrology, 336:316-333.
22- Wilby, R.L., Conway, D., Jones, P.D., (2002). Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters, hydrological processes, 16:1215-1234.
23- Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M., (2001), SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts., Environmental Modeling & Softhware, 17:147-159.
24- Wilby, R.L., Hassan, H., Hanaki., (1997). statistical downscaling of hydrometeorological variables using general circulation model output, journal of hydrology, 205:1-19.
25- Zorita., Storch, v., (1999). The analog method as a simple statistical downscaling technique:comparison with more complicated methods. journal of Climate, 12:2474-2489.