دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده عمران

پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و مدل‌های ریزمقیاس، حوضه آبریز سد زاینده‌رود

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران

قاسم کیان‌پیشه

استاد راهنما
دکتر آزاده احمدی

۱۳۸۹

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

۱- فصل اول ۲

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی ۴

۱-۳ تغییر اقلیم و گرم شدن زمین ۵

۱-۴ اهداف تحقیق ۶

۱-۵ نوآوری‌های تحقیق ۷

۱-۶ سازمان دهی فصول پایان‌نامه ۸

۲- فصل دوم ۹

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ مدل‌های پیش‌بینی بلندمدت ۱۰

۲-۳ مدل‌های بررسی اثرات تغییر اقلیم ۱۵

۲-۴ جمع‌بندی ۱۸

۳- فصل سوم ۱۹

۳-۱ مقدمه ۱۹

۳-۲ روش انجام مطالعات ۲۱

۳-۳ مدل‌های استفاده شده در پیش‌بینی منابع آب ۲۳

۳-۳-۱ روش تحلیل مولفه‌های اصلی ۲۳

۳-۳-۲ مدل تست گاما ۲۴

۳-۳-۳ ماشین‌های بردار پشتیبان ۲۵

۳-۳-۴ شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ۳۲

۳-۳-۵ مدل K-نزدیک‌ترین همسایه ۳۶

۳-۴ بررسی عملکرد مدل و مقایسه نتایج ۴۰

۳-۵ کوچک مقیاس کردن ۴۲

۳-۵-۱ مدل آماری ریزمقیاس کردن SDSM ۴۶

۳-۵-۲ توابع کلیدی در مدل ریز مقیاس آماری ۴۹

۳-۵-۳ سناریوهای تغییر اقلیم ۵۲

۴- فصل چهارم ۵۶

۴-۱ مقدمه ۵۶

۴-۲ منطقه مورد مطالعه ۵۷

۴-۲-۱ تعیین ایستگاه باران‌سنجی شاخص در محدوده مطالعاتی ۵۷

۴-۲-۲ اطلاعات سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی برای محدوده مورد مطالعه ۵۹
۴-۳ نتایج ماه‌های جون تا نوامبر (فصل خشک) ۶۴
۴-۳-۱ انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب ۶۸
۴-۳-۲ انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی ۷۱
۴-۴ نتایج ماه‌های دسامبر تا می (فصل تر) ۷۶
۴-۴-۱ تعداد سیگنال‌های مورد نیاز ۷۶
۴-۴-۲ انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب ۷۹
۴-۴-۳ انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی ۸۱
۴-۵ پیش‌بینی بارندگی با استفاده از مدل آماری SDSM ۸۶
۴-۵-۱ آماده‌سازی، کنترل کیفی و تبدیل داده‌های ورودی مدل SDSM ۸۷
۴-۵-۲ انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مناسب ۸۷
۴-۵-۳ کالیبراسیون و صحت سنجی مدل ۹۰
۴-۵-۴ شبیه سازی مقادیر بارندگی تحت سناریوی اقلیمی HadCM3 ..... ۹۲
۴-۶ مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده برای پیش‌بینی‌کننده‌های HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 ..... ۹۳
۴-۶-۱ ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در حوضه آبریز زایندهرود ۹۶
۵- فصل پنجم ۱۰۰
۵-۱ مقدمه ۱۰۰
۵-۲ نتایج مدل‌های مفهومی ۱۰۱
۵-۳ نتایج مدل کوچک مقیاس کردن ۱۰۲
۵-۴ پیشنهادات ۱۰۳
۶- پیوست ۱۰۵
مراجع ..... **Error! Bookmark not defined.**

چکیده

بسیاری از تکنیک‌ها و روش‌هایی که در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب وجود دارد، ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم با پیش‌بینی بارش و به طور کلی پیش‌بینی هیدروکلیماتولوژیکی دارد. در دهه‌های اخیر، شناسایی سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های پدیده‌های هیدرولوژیکی، تحولی در پیش‌بینی‌ها به وجود آورده است. پیش‌بینی‌های بلندمدت فواید زیادی را عاید سیستم بهره‌برداری از مخازن خواهد نمود که تصمیم‌گیریهای مبتنی بر ذخیره و آزادسازی آب، پویاتر و انعطاف در برخورد با شرایط خاص بیشتر شده و منجر به کسب سود بیشتر در بهره‌برداری از منابع آب می‌گردد.

در این پایان‌نامه دو دسته مدل پیش‌بینی بارش در حوضه آبریز سد زاینده‌رود تدوین شده است. دسته اول مدلها که بر اساس اطلاعات سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی تدوین شده‌اند. مقیاس زمانی برای این دسته مدلها فصلی (دو فصل خشک و تر) می‌باشد. با توجه به طول دوره آماری کم اطلاعات، سعی شده است تا حد امکان از مدلهایی با پیچیدگی کمتر استفاده شود. بدین منظور از روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای بررسی تغییرات اطلاعات انتقالی با تعداد سیگنال‌های درنظر گرفته شده، استفاده شده است. سپس به منظور تعیین ورودی‌های مدل پیش‌بینی بارش حوضه، از روش همبستگی و روش نوین تست گاما استفاده شده است. مقایسه نتایج مدلسازی با استفاده از معیارهای ارزیابی نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل تست گاما در انتخاب ورودی‌های مورد نیاز است. در این تحقیق مدل ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی بارش در منطقه استفاده شده است و عملکرد آن با مدل‌های مبنایی چون K نزدیکترین همسایگی و شبکه عصبی مقایسه شده است. نتایج نشان دهنده عملکرد بهتر مدل ماشین بردار پشتیبان در مرحله تست داده‌ها می‌باشد. بنابراین در ادامه به عنوان مدل با دقت بالاتر در تولید و شبیه‌سازی رخدادهای بارش در دوره‌های آتی بر اساس سناریوی تغییر اقلیم A2 و B2 استفاده شده است.

در دسته دوم مدلها، از مدل‌های ریز مقیاس کردن آماری استفاده شده است. در این مدل با استفاده خروجی‌های مدل GCM، بارش حوضه آبریز سد زاینده‌رود در بلندمدت پیش‌بینی شده‌اند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، از میان ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده، مؤثرترین متغیرها شناسایی شده‌اند. سپس بر اساس داده‌های مشاهداتی، مدل کالیبره و صحت‌سنجی شده، مقادیر روزانه بارش در دوره‌های آتی تحت سناریوهای تغییر اقلیم تولید شده‌اند. با مقایسه دسته اول نتایج از مدل ماشین بردار پشتیبان و دسته دوم نتایج مدل SDSM، مشخص شد که مدل ماشین بردار پشتیبان دارای خطای کمتری در برآور بارش بلندمدت در محدوده مورد مطالعه بوده است. همچنین برای دوره مشاهداتی سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ تغییرات بارش در منطقه بیشتر به سناریوی B2 نزدیک بوده است و بنابراین برای برآورد اثرات تغییر اقلیم در منطقه از این سناریو استفاده شده است. نتایج نشان میدهد که در اثر تغییر اقلیم، کل بارش موردانتظار در دوره‌های تر آتی بیشتر از مقادیر تاریخی و کل میزان بارش در دوره‌های خشک کمتر از مقادیر تاریخی می‌باشد.

کلمات کلیدی: ۱- پیش‌بینی بارش ۲- ماشین بردار پشتیبان ۳- K نزدیکترین همسایگی ٤- شبکه عصبی مصنوعی ٥- تست گاما ٦- تحلیل مولفه‌های اصلی

فصل اول

۱-۱ مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت، بالارفتن سطح آگاهی و به دنبال آن سطح توقع مردم و گسترش صنایع گوناگون باعث افزایش بی رویه مصرف آب در جهان شده است. همچنین گسترش صنایع، پیامدهایی نظیر تولید گازهای گلخانه ای در پی داشته است که این مسأله باعث گرمتر شدن هوای کره زمین شده و در نتیجه سیستم آب و هوایی آن را دچار تغییرات ناخواسته ای کرده است، به طوری که در دهه های اخیر کم‌بارشی ها و پربارشی های شدیدی در سراسر کره زمین اتفاق افتاده است. بنابراین با توجه به افزایش جمعیت و مصرف آب از یک طرف و تغییر الگوهای بارندگی از طرف دیگر، کارشناسان قرن حاضر را قرن بحران آب نام نهاده و بر این باورند که تنش‌ها و اختلافات آینده کشورها بیشتر بر سر مسأله آب خواهد بود.

منبع اصلی تأمین آب مورد استفاده در بخش های مختلف، بارندگی می باشد. بارندگی و در نتیجه آن ایجاد رواناب در تغذیه آبهای زیرزمینی، جریان رودخانه ها، دیمکاری و همچنین حفظ و بقای دریاچه ها، تالاب ها، جنگل ها و موجودات زنده ای که در این مکانها زندگی می کنند، تأثیر قابل توجهی دارد، به طوری که کمبود بارندگی باعث افت سطح ایستابی آبهای زیرزمینی و اثرات مخرب بر محیط زیست و اجزاء تشکیل دهنده آن می باشد به طوری که درکم بارشی های اخیر ایران مشاهده گردیده است که سطح آب بسیاری از دریاچه ها و تالاب

های طبیعی کشور به شدت کاهش یافته و بعضی از آنها بطور کامل خشک شدند که به دنبال آن آبزیان و دیگر جانورانی که به نوعی حیات آنها وابسته به این دریاچه ها و تالاب ها می باشد، از بین رفتند. از طرفی دیگر بارندگی های شدید نیز می تواند باعث ایجاد سیلاب های مخرب گشته که به دنبال آن به شهرها، روستاها و اراضی کشاورزی صدمات جبران ناپذیری وارد می گردد.

میانگین بارندگی در کشور ایران ۲۵۰ میلیمتر در سال تخمین زده می‌شود که در مقایسه با میانگین بارش ۸۶۰ میلیمتر در سال برای کره‌ی زمین، می‌توان ایران را در اقلیم نسبتا" خشک دسته‌بندی کرد. البته با توجه به تنوع عوارض جغرافیایی، توزیع بارندگی در ایران بسیار متفاوت می‌باشد ولی میانگین بارندگی در شهرهای ایران از ۱۹۴۰ میلی‌متر در سال در بندر انزلی تا ٦۲ میلی‌متر در سال در زابل تغییر می‌کند. معیار پرآبی یا کم‌آبی در یک کشور منابع آب تجدید شونده هستند. سرانه‌ی آب تجدید شونده در دنیا برای هر نفر ۷۴۰۰ متر مکعب می‌باشد. متخصصان هیدرولوژی مرز کم‌آبی یک کشور را ۱۰۰۰ متر مکعب برای هر نفر ذکر کرده‌اند. بر اساس محاسبات انجام شده مقدار سرانه آب سالیانه در ایران ۱۹٤٦ متر مکعب بدست آمده است که با توجه به شاخص فالکن مارک (۱۷۰۰ متر مکعب سرانه آب سالانه) ، درحال حاضر، جزء کشورهای کم مشکل یا بی مشکل می باشد ولی در آینده با افزایش جمعیت در زمره کشورهای با بحران آبی قرار خواهد گرفت. **Error! Reference source not found.**

بنابراین ایران جزء آن دسته از کشورهایی محسوب می شود که بیشتر در معرض آسیب پذیری در برابر بحران آب قرار دارد. و با وقوع خشکسالی در بعضی از سالها و ترسالی ها ی قابل توجه به دنبال آن و عدم وجود مدیریت کافی در منابع آب موجود در زمان ترسالی ها با وقوع کم آبی در یک دوره زمانی و بدنبال آن خشکسالی بحران های ناشی از کمبود آب ادامه می یابد در صورتی‌که با پیش بینی میزان بارش در چند ماه بعد، می توان برنامه های مدیریتی مناسبی را اتخاذ نمود.

با توجه به مواردی که ذکر شد به راحتی می توان اهمیت میزان بارندگی را در زندگی انسانها و دیگر موجودات زنده دریافت و به طوری‌که مشاهده می گردد مسائل مختلف اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و ... یک کشور بطور مستقیم تحت تأثیر آن می باشد. بنابراین اگر بتوان با استفاده از روشهایی که به کمک آن از چند ماه قبل میزان بارندگی سال آبی بعد را پیش بینی نمود، آنگاه با مدیریت صحیح و هشدار به بخش های مختلف مصرف کننده می توان از میزان آب موجود استفاده بهینه را به عمل آورد و از پیامدهای ناگوار کم‌بارشی و یا پر بارشی جلوگیری نمود. روش هایی که قبلاً برای پیش بینی بارندگی بکاربرده می شد عمدتاً مبتنی بر پارامترهای موضعی هواشناسی نظیر دما و فشار می‌باشند. این روش ها از دقت کافی برخوردار نبوده چراکه سیستم های اصلی رطوبت زا اکثراً از

مناطق دوردست وارد کشور می شوند. نکته دیگر حائز اهمیت در مورد این روش ها این است که روش های مزبور قادر به پیش بینی رفتار بلند مدت بارندگی نمی باشند و اکثر پیش بینی ها در محدوده زمانی چند روز می باشد. بنابراین در سال‌های اخیر محققین به دنبال راهکاری برای پیش بینی تغییرات بلند مدت رواناب بوده و برای انجام این کار سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی مورد توجه آنها قرار گرفت. تأثیر این سیگنال ها بر بارندگی و رواناب که بیش از یک قرن از شناختن آنها و شاخص های اندازه گیریشان می گذشت در دهه‌های اخیر توسط دانشمندان متعددی بررسی شد. آنها مشاهده کردند که پدیده هایی نظیر ال نینو، بارندگی بسیاری از مناطق کره زمین را تحت تأثیر خود قرار می دهند. این تأثیر بر روی نقاط مختلف متفاوت می باشد. بدین ترتیب سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی به عنوان تخمین زننده های مناسبی برای پیش بینی همراه با تأخیر بارندگی شناخته شدند.

۲-۱ سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی

تحقیقات دانشمندان در دهه‌های اخیر نشان داده است که تغییرات اقلیمی جهان و همچنین چرخه‌ی عمومی جو تحت تأثیر پدیده‌های بزرگ مقیاسی[1] است که در سطح آبهای آزاد جهان اتفاق می‌افتد. بسیاری از این پدیده‌ها که به سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی معروفند از بیش از یک قرن پیش شناخته شده بودند. سیگنال‌های مزبور معمولاً با استفاده از شاخص‌هایی که بر اساس فشار هوا و دمای سطح آب اقیانوس‌ها محاسبه می‌شوند، به صورت کمی بیان می گردند.

در دهه‌های اخیر، تأثیر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی، در اقلیم سطحی[2] ؛ یعنی، دما، بارش و فشار، و نیز در پیش‌بینی جریان، مخصوصاً پیش‌بینی‌های بلندمدت جریان، در نقاط مختلف دنیا مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. تحقیقات در این زمینه، روز به روز رو به گسترش است. این بررسی‌ها عموماً، به صورت بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط میان شاخص‌های سیگنال‌ها با اقلیم منطقه و جریان، و تأخیر یا تقدم و قوت این ارتباط، آغاز می گردد. در این راستا، روش‌های تحلیلی مختلفی نظیر تحلیل همبستگی تأخیری[3]، تحلیل طیفی[4] و انواع روش‌های تحلیل چند متغیره[5]، نظیر تحلیل اجزای اصلی[6] (PCA)، به کار گرفته می‌شود. قوت و شدت این ارتباط به منظور ارزیابی

---

[1] Large-Scale Climate Signals
[2] Surfac Climate
[3] Lag-Correlation
[4] Spectral Analysis
[5] Multi Variable Analysis
[6] Principal Component Analysis (PCA)
[7] Crisp Regression

پتانسیل به کارگیری این شاخص‌ها در مدل‌های پیش‌بینی، مورد توجه می‌باشد. از جملهٔ این مدل‌های پیش‌بینی می‌توان به مدل رگرسیون قطعی[۷]، مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی[۸] (ANN) و مدل نزدیک‌ترین همسایه[۹] (KNN)، اشاره نمود.

سیگنال‌های مزبور معمولاً با استفاده از شاخص‌هایی که بر اساس فشار هوا و دمای سطح آب اقیانوس‌ها محاسبه می‌شوند به صورت کمی بیان می‌گردند. در این تحقیق به بررسی تأثیر این سیگنال‌ها بر تغییرات بارندگی حوضه آبریز سد زاینده‌رود پرداخته شده است.

۱-۳ تغییر اقلیم و گرم شدن زمین

اقلیم عبارت از میانگین درازمدت سالانه پارامترهای جوی از جمله بارش و دما است. بنابراین می‌توان اقلیم‌شناسی را مطالعه پارامترهای جوی نظیر دما، بارش، باد، تبخیر و نیز تغییرات و نوسانات آنها در یک دورهٔ زمان طولانی تعریف کرد. نمود تمام پارامترها، متغیرها و عوامل مؤثر درشکل‌گیری اقلیم یک منطقه می‌توانند در قالب پارامترهای جغرافیایی، هواشناسی، هیدرولوژی و زمین شناسی به طور مستقیم و غیرمستقیم در یکدیگر تأثیر گذارند.

تغییر اقلیم پدیده‌ای است که در اثر تغییر درجه حرارت کره زمین از میلیون‌ها سال پیش اتفاق افتاده است.تغییر درجه حرارت به خاطراثرات گازهای گلخانه‌ای بوجود می‌آید که ناشی از سازوکارهای گیاهی، حیوانی و فعالیتهای بشر درکره زمین است. با افزایش گاز دی‌اکسیدکربن در لایه‌های فوقانی جو و عدم خروج اشعه مادون قرمز از جو زمین و افزایش درجه حرارت، اثر گلخانه‌ای بوجود می‌آید.تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعهٔ بشری است و تهدید و بلایی برای سیارهٔ زمین به‌شمار می‌آید که بررسی و پیش‌بینی عناصر آن هم از جهت برنامه‌ریزی منابع آبی و هم از جهت مدیریت شرایط بحران اهمیت زیادی دارد. در عصر کنونی محدودیت منابع آبی جهت تأمین آب موردنیاز کشاورزی و غیرکشاورزی موجب بروز مشکلات عمده‌ای شده است و باران به عنوان یکی از مهمترین منابع آبی موجود محسوب می‌شود. بنابراین پیش‌بینی و برآورد نزولات جوی برای هر منطقه و حوضه آبخیز به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای اقلیمی در استفاده بهینه (الگوی مناسب جهت بهره برداری) از منابع آبی محسوب می گردد. در این پایان‌نامه، پیش‌بینی‌های طولانی‌مدت بارش با در نظر گرفتن تغییرات اقلیم

---

[8] Artificial Neural Networks
[9] K-Nearest Neighbor (KNN)

برای منطقه مورد مطالعه انجام شده است.

۱-۴ اهداف تحقیق

علم پیش‌بینی هیدرولوژیکی به دلیل وجود عدم قطعیت‌های مختلف درچرخه آب و به علت نیاز به افزایش بازه زمانی پیش‌بینی (پیش‌بینی درازمدت) و سطح اطمینان‌پذیری و دقت پیش‌بینی‌ها، نیازمند به توسعه و پیشرفت بیشتری می‌باشد. در این تحقیق تأثیر سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی بر بارندگی یکی از حوضه‌های آبریز مرکزی ایران، زاینده‌رود مورد توجه قرار گرفته و الگوریتمی جهت پیش بینی رفتار بلندمدت بارندگی ماههای تر و خشک با استفاده از این سیگنال ها ارائه گردیده است. در سال‌هایی که پیش بینی می شود با پربارشی و افزایش رواناب مواجه می شویم، می توان به بخش های مختلف مصرف کننده امکان توسعه و فعالیت بیشتری داد و در صورت افزایش قابل توجه رواناب از سیستم‌های هشدار سیل بصورت موضعی استفاده نماییم و هشدار لازم به افراد ساکن در محدوده بستر و حریم رودخانه جهت کاهش خسارات ناشی از سیل که باعث فرسایش خاک و از بین رفتن محصول و غیره می گردد، داده شود. برعکس در سال هایی که انتظار می رود کم‌بارشی و کاهش رواناب اتفاق بیافتد، هشدارهای لازم از قبل به مصرف کننده های مختلف جهت صرفه جویی و استفاده بهینه از منابع موجود داده می‌شود و همچنین برنامه های مدیریتی خاصی در این دوره زمانی تدوین و مورد استفاد قرار خواهد گرفت.

متأسفانه تعداد اندکی از مدل‌های موجود، قادر به مدل‌سازی فرآیندهای اقلیمی و هیدرولوژیکی پیچیده و غیر خطی هستند. ایجاد و توسعه مدل پیش‌بینی که قادر به مدلسازی همبستگی غیرخطی بین سیگنال‌ها و متغیرهای هواشناسی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما در درازمدت در مقیاس حوضه باشد، می‌تواند در زمینه افزایش دقت پیش‌بینی‌های درازمدت گامی به جلو باشد.

همچنین یکی از اشکالات اساسی در زمینه استفاده از مدل‌های مبتنی بر سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی آن است که خروجی این مدل‌ها به دلیل بزرگ مقیاس بودن نمی‌توانند به طور مستقیم برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در محدوده حوضه‌های کوچک، مورد استفاده قرار گیرند. در این راستا در این مطالعه با استفاده از روش ریزمقیاس کردن آماری[1] (SDSM)، پارامترهای اقلیمی بارش و دما برای محدوده حوضه مطالعاتی با استفاده از سیگنال‌های محلی خروجی مدلهای عمومی جو[2] (GCM) در طولانی مدت پیش‌بینی شده‌اند.

---

[1] Statistical Downscaling Model
[2] General Circulation Model (GCM)

دستیابی به ارائه اهداف ذیل از نتایج این پایان‌نامه است:

الف- تدوین الگوریتم پیش‌بینی بارندگی با تاکید بر انتخاب پیش‌بینی کننده‌های مناسب

ب- تدوین مدل‌های مفهومی پیش‌بینی بارندگی بر اساس مدل‌های هوش محاسباتی برای افزایش دقت محاسبات

ج- پیش‌بینی بلندمدت بارندگی درمقیاس روزانه در حوضه آبریز سد زاینده‌رود، با استفاده از روش ریزمقیاس کردن آماری.

د- استفاده از مدل آماری ریزمقیاس کردن به منظور دست‌یابی به اهداف ذیل:

- امکان در نظر گرفتن پیچیدگی‌های ناشی از تأثیر متغیرهای اقلیمی به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های مدل بر پارامترهای اقلیمی نظیر بارش.
- انجام پیش‌بینی‌ها با دقت مناسب و افق زمانی بلندمدت

ه- افزایش آگاهی و اطلاعات در زمینه پدیده‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی و ارتباط آنها با فرایندهای محلی هیدرولوژیکی

و - بررسی اثرات تغییر اقلیم در بازه‌زمانی طولانی مدت بر بارش در محدوده حوضه آبریز سد زاینده‌رود.

ی- مقایسه نتایج مدلهای مفهومی و مدل‌های ریز مقیاس آماری

۱-۵ نوآوری‌های تحقیق

علاوه بر پیشرفت در شناخت اصول فرآیندهای هیدرولوژیکی، پیشرفت تکنیکها و قابلیتهای مدلسازی عاملی در بهبود مدلهای پیش‌بینی است. پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در دو زمینه نیاز به پیشرفت دارند:

- افزایش بازه زمانی پیش‌بینی (پیش‌بینی درازمدت)
- افزایش اطمینان‌پذیری و دقت پیش‌بینی

علیرغم پیشرفتهای شایان توجه سالیان اخیر در زمینه مدلهای پیش‌بینی به‌خصوص مدلهای پیش‌بینی بلندمدت، به‌نظر می‌رسد هنوز کاستیهای زیادی در این مورد وجود دارد که تعداد اندک مدل‌هایی که قادر به مدلسازی پیچیده و غیرخطی فرایندهای اقلیمی و هیدرولوژیکی می‌باشند موید این موضوع می‌باشد. این ضعف به‌خصوص در مناطق با تعداد مشاهدات اندک تاریخی (که معضل اغلب فرایندهای اقلیمی حوضه‌های آبریز دنیا به‌خصوص کشورهای درحال توسعه است)، تشدید می‌گردد. مطالعات دهه اخیر نشان داده است که استفاده از سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی هم در افزایش دقت پیش‌بینی و هم در افزایش بازه زمانی آن (تا چند ماه) موثر است. مدلهای

کمی وجود دارند که امکان به‌کارگیری تغییرات سیگنال‌های بزرگ مقیاس به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های بلندمدت بارش (یا جریان) را داشته باشند. تاثیر این سیگنالها بر رژیم هیدرولوژیکی منطقه کاملا غیرخطی بوده و اغلب در وضعیت وقوع حالت‌های خاصی از فازهای این سیگنال‌ها رخ می دهد.

ارائه یک مدل پیش‌بینی که دارای خصوصیات مدلسازی همبستگی غیرخطی بین سیگنال‌ها و متغیرهای هیدرولوژیکی باشد، یک قدم به جلو در مطالعات انجام شده تا کنون است. در این راستا مدل‌هایی بر اساس هوش مصنوعی از جمله شبکه عصبی مصنوعی، K نزدیکترین همسایگی و ماشین بردار پشتیبان و همچنین تحلیل‌های همبستگی و مدلسازی آماری در این پایان‌نامه ارائه شده و قابلیت آنها در پیش‌بینی بارش منطقه سنجیده شده است. استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی در انتخاب تعداد مناسب پیش‌بینی‌کننده‌ها و همچنین استفاده از مدل تست گاما در انتخاب بهترین پیش‌بینی کننده‌ها از دیگر نوآوری‌های این مطالعه می‌باشد. دراین پایان‌نامه از مدل ریزمقیاس آماری (SDSM) به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش منطقه استفاده شده است و نتایج آن با مدل‌های مفهومی پیش‌بینی بارش توسعه داده شده در این مطالعه مقایسه شده است.

۱-۶ سازمان دهی فصول پایان‌نامه

مطالب این پایان‌نامه در پنج فصل ارائه شده است. پس از فصل مقدمه، در فصل دوم به سابقه مطالعات انجام شده در زمینه مدلهای پیش‌بینی بارش و مدلهایی که برای بررسی اثرات تغییر اقلیم توسعه داده شده‌اند، پرداخته شده است. در فصل سوم، الگوریتم این مطالعه در قالب تدوین مدل‌های مفهومی و استفاده از مدل آماری ریزمقیاس کردن توضیح داده شده است. در این فصل جزئیات مدل‌های مورد استفاده از جمله مدل‌های تست گاما، تحلیل مولفه‌های اصلی، شبکه عصبی مصنوعی، K نزدیکترین همسایگی و ماشین بردار پشتیبان، مدل SDSM که به منظور ریزمقیاس نمودن خروجی‌های مدل GCM و در نتیجه پیش‌بینی دراز مدت بارش در محدوده مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است، تشریح می‌گردد. در فصل چهارم، اثر سیگنال‌های هواشناسی بر بارش محدوده‌ی مورد مطالعه مورد بررسی قرار شده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری این مدل‌ها در حوضه آبریز سد زاینده‌رود و همچنین تغییرات بارش در بازه‌های زمانی فعلی و آتی در فصل چهارم ارائه شده است. در فصل آخر دستاوردهای پایان‌نامه جمع‌بندی و نتیجه‌گیری شده است.

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱ مقدمه

کشورهایی که در سالیان اخیر سیلابها و خشکسالی های شدیدی را تجربه کرده‌اند، ضرورت انجام مدیریت بهینه منابع آب موجود را بیش از پیش احساس می‌کنند. تحقیقات انجام شده در دهه های اخیر در مدیریت منابع آب، نشان دهنده توجه بیشتر این کشورها به پیش بینی های بلند مدت بارش معطوف شده است. بسیاری از تکنیک‌ها و روش‌های موجود در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، به طور مستقیم و یا غیر مستقیم با پیش‌بینی جریان، بارش، دما و تعیین و اعلام وقوع شرایط آتی نظیر خشکسالی و ترسالی در ارتباط می‌باشند. به این وسیله با اطلاع از شرایط آتی منابع آب در یک منطقه و بکارگیری مدل‌های مناسب بهره‌برداری و به طور کلی مدیریت بهینه منابع آب، می‌توان خسارات ناشی از بروز خشکسالی و سیل را به نحو مناسبی تعدیل نمود.

گرایش محققین در سالیان اخیر به استفاده بیشتر از اطلاعات اقلیمی در مدیریت منابع آب عمدتاً به دلایل زیر صورت گرفته است:

- افزایش آگاهی و اطلاعات در زمینه پدیده‌های بزرگ مقیاس اقلیمی و ارتباط آنها با فرآیندهای محلی هیدرولوژیکی
- وقوع پدیده‌های سیل و خشکسالی با فرکانس کمتر و شدت‌های زیادتر در بسیاری از مناطق دنیا در سالیان اخیر

- عدم توانایی برنامه‌ریزی‌ها و پیش‌بینی‌های مبتنی بر روند تاریخی اقلیم یک منطقه در مدیریت منابع آب
- مسجل شدن وقوع پدیده تغییر اقلیم[1] و تاثیرات آن بر منابع آب

در ادامه سابقه مطالعات در این فصل در دو بخش، مدل‌های پیش‌بینی بلندمدت، اثرات تغییر اقلیم ارائه می‌گردد.

۲-۲ مدل‌های پیش‌بینی بلندمدت

پیش‌بینی در هیدرولوژی به معنی تخمین شرایط هیدرولوژیکی و هواشناسی در یک بازه زمانی خاص در آینده می‌باشد. پیش‌بینی‌های مورد استفاده در هیدرولوژی بر حسب نوع متغیر به پیش‌بینی‌های هواشناسی- اقلیمی و پیش‌بینی هیدرولوژیکی تقسیم می‌شوند. پیش‌بینی هواشناسی به پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی مانند دمای هوا و بارش می‌پردازد. هنگامی که افق زمانی پیش‌بینی هواشناسی، بلندمدت باشد این نوع پیش‌بینی به پیش‌بینی اقلیمی تبدیل می‌شود. در پیش‌بینی اقلیمی با استفاده از اطلاعات مشاهده شده در شرایط فعلی، مقادیر محتمل متغیر اقلیمی در یک بازه زمانی خاص پیش‌بینی می‌گردد. مورد توجه‌ترین متغیرهای هواشناسی مؤثر در میزان بارش، مقادیر دما و فشار هوا می‌باشند. در دهه‌های اخیر، شناسایی سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های پدیده‌های هیدرولوژیکی برپایه روش‌های تجربی و آماری در کنار مدل‌های عددی پیشنهاد شده و به عنوان ابزاری مفید در مدیریت بهینه منابع آب بکار گرفته شده‌اند**.Error! Reference source not found.** مطالعات متعددی در زمینه تأثیر سیگنال‌های مؤثر بر بارش و دما در بخش‌های مختلف ایران صورت گرفته است، که از آن جمله می‌توان به برخی از موارد ذیل اشاره نمود.

ناظم‌السادات (۱۹۹۸) نشان داده است که تغییرات دمای سطح آب در خلیج فارس تأثیر معنی‌داری بر تغییرات بارندگی در مناطق جنوب و جنوب‌غرب ایران دارد. مطالعات وی نشان می‌دهد که بارش زمستانه مناطق مزبور با تغییرات دمای سطح آب[2] در خلیج‌فارس رابطه معکوس دارد، یعنی هنگامی که تغییرات دمای سطح آب در خلیج فارس بیشتر (کمتر) از مقدار نرمال آن باشد انتظار می‌رود که مناطق فوق‌الذکر با خشکسالی(ترسالی) مواجه گردند. وی همچنین نشان داد که تغییرات دمای سطح آب در خلیج‌فارس و دریای خزر تأثیر معنی‌داری با تغییرات بارندگی مناطق جنوبی و شمالی ایران دارد**.Error! Reference source not found.**

---

[1] Climate Change
[2] Sea Surface tempreture (SST)

ماریوتی[1] و همکاران (۲۰۰۲) رابطه تغییرات باران‌های مدیترانه‌ای اروپا و انسو[2] را بررسی نمودند. نتایج به دست آمده توسط آنها، نشانگر تأثیر معنی‌دار انسو بر بارش بخش مدیترانه‌ای اروپا می‌باشد. آنها نشان دادند اگرچه قدر مطلق تغییرات بارندگی نسبت به مقدار نرمال آن در این مناطق در مقایسه با نواحی استوایی کمتر است، اما این تغییرات بخصوص در نواحی اطراف مدیترانه به طور مستقیم با پدیده انسو در ارتباط می‌باشد. در نواحی غرب مدیترانه در فصول بهار و پاییز بلافاصله بعد و قبل از یک رخداد انسو، می‌توان تاثیر آنرا مشاهده نمود هرچند که تأثیر این رخداد بر بارندگی فصول مزبور متفاوت است. در اروپای شرقی و مرکزی در زمستان و بهار پس از رخ دادن یک فاز کامل انسو مقدار بارش بیشتر از حد نرمال آن مشاهده شده است. در بهار و پاییز تغییرات بارش ناحیه غرب مدیترانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تغییرات SST جهانی می‌باشد، هر چند که مکانیزم این تأثیر تقریبا ناشناخته است**.Error! Reference source not found.**

مدرس پور (۱۳۷۳) به بررسی ناهنجاری‌های اقلیمی ایران با توجه به داده‌ها دما و بارش در سال‌های ال‌نینو در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۶۰ تا ۱۹۸۹) پرداخته است. وی الگوهای دما و بارش را در ۱۵ ایستگاه سینوپتیک ایران، طی شش رخداد ال‌نینو در دوره‌ی مزبور مورد مطالعه قرار داد. بررسی انجام شده توسط وی در چهار فصل مونسون (می، ژوئن، ژولای و آگوست) در سال وقوع ال‌نینو، پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) در سال وقوع ال‌نینو و بهار (مارس، آوریل و می) سال بعد از وقوع ال‌نینو نشان داد که در سال وقوع ال‌نینو، در فصل پاییز مناطق جنوب غرب، جنوب شرق و بخشی از مرکز کشور دارای بارندگی زیر میانگین و مناطق شمال غرب، بخشی از غرب، شمال و تهران دارای بارندگی بالای میانگین بوده‌اند. در فصل زمستان سیستم‌های جوی کمتری در مناطق غرب، شمال شرق، جنوب شرق، جنوب و شرق فعالیت داشته در صورتی که در همین زمان سیستم‌های فعال بیشتر از منطقه‌ی جنوب‌غرب وارد شده و مرکز ایران را تحت تأثیر قرار داده‌اند. بنابراین می‌توان گفت یکی از مناطق عبور سیستم‌های جوی مناطق شمال غرب و شمال و دیگری مناطق جنوب غرب و بخش‌هایی از مرکز و شرق کشور می‌باشد. در فصل بهار بعد از وقوع ال‌نینو[3] نیز تقریباً اکثر مناطق ایران دارای بارندگی کمتر از میانگین می‌باشند**.Error! Reference source not found.**

کیانی پور (۱۳۷۹) شرایط سینوپتیکی حاصل از پدیده ال‌نینو در ایران و تغییرات ایجاد شده در نحوه فعالیت و

---

[1] Mariotti
[2] El Nino-Southern Oscillation (ENSO)
[3] El Nino

آرایش سیستم‌ها را بررسی نموده است. ایشان در بررسی‌های خود، سال ۸۳-۱۹۸۲ را به عنوان یک سال نمونه برای حالت ال‌نینو و سال ۷۵-۱۹۷٤ را به عنوان یک سال نمونه برای حالت لانینا در نظر گرفته و مطالعات خود را صرفاً برای ماه های دسامبر، ژانویه و فوریه این دو سال انجام داده است. نتایج وی نشان می‌دهد که آرایش سیستم‌ها در سه ماه مزبور درسال لانینا شرایط مناسب‌تری برای ایجاد بارش نسبت به سال ال‌نینو داشته است. در سال لانینا پرفشار سیبری و زبانه‌ی جنوبی آن به خوبی بر روی ایران گسترش یافته و با افزایش گرادیان در منطقه و ادغام آن با سلول پر فشار عربستان و انتقال هوای گرم و مرطوب شرایط مناسبی برای ایجاد بارش فراهم کرده است. همچنین با قرارگیری مناسب مرکز پرفشار روی شبه جزیره‌ی عربستان شرایط برای عمیق شدن ناوه‌ی شمال آفریقا و تقویت مرکز کم فشار سودان و تبدیل آن به یک سیستم ترمودینامیکی در سال لانینا و شرایط لازم برای ورود سیستم‌های باران‌زا فراهم شده است. در صورتی که در سال ال‌نینو در سه ماه فوق سیستم های مذکور شرایط لازم برای ایجاد ناپایداری را فراهم نکرده و بعضاً مانع تقویت سیستم های ورود آن به منطقه شده‌اند **Error! Reference source not found.**.

کوره‌پزان (۱۳۸۱) اثر سیگنال‌های NAO، SOI، SST خلیج فارس را بر بارندگی فصلی حوضه آبریز کارون و دز بررسی نمود. وی در تحلیل‌های همبستگی، سه فصل مختلف برای بارندگی و سه فصل مختلف برای سیگنال‌ها در نظر گرفت. تحلیل‌های اولیه در این تحقیق نشان داد که در فاز گرم ENSO و فاز گرمNAO و فاز سرد SST، با پربارشی و در فاز سرد ENSO، فاز سرد NAO و فاز گرم SST با کم‌بارشی مواجه می‌شویم. در این تحقیق جهت یافتن بیشترین همبستگی فصلی میان بارندگی و سیگنال‌ها از مدلی بر مبنای منطق فازی استفاده شده است. بر اساس نتایج مدل FIS، SST خلیج فارس به عنوان بهترین تخمین‌زننده بارندگی سالانه و فصلی در این منطقه تشخیصص داده شده است. همچنین سیگنال NAO برای پیش‌بینی بارندگی زمستانه در حالت پربارشی و SOI برای پیش‌بینی بارندگی پاییزه در هر دو حالت پربارشی و کم‌بارشی مناسب تشخیص داده شده است **Error! Reference source not found.**.

یزدان پناه (۱۳۸۵) به بررسی تأثیر مانسون بر منطقه جنوب شرق ایران پرداخته است و تأثیر سیگنال‌های محلی ناشی از اقیانوس هند و منطقه هند و پاکستان را بر روی میزان بارش تابستانه در این منطقه مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه دست یافته است، که SLP ، ΔSLP وSST تأثیر زیادی بر بارش این منطقه دارند. در این مطالعه از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه، شبکه با ورودی تأخیر یافته و شبکه عصبی بازگشتی، به عنوان ابزار شبیه‌سازی استفاده شده است. نتایج حاکی از قابلیت مدل‌های شبکه عصبی پرسپترون چند لایه و شبکه عصبی بازگشتی در پیش‌بینی بلندمدت بارش می‌باشد**Error! Reference source not found.**.

کارآموز و زهرایی (۲۰۰٤)، روشی را برای پیش‌بینی رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه کردند. در این روش پس از تعیین فصل‌های هیدرولوژیکی بر اساس خصوصیات هیدرولوژیکی و شباهت‌های آماری، بهترین مدل آماری ARIMA جهت پیش‌بینی فصلی جریان انتخاب شده و پیش‌بینی با آن صورت گرفته است. جهت بهبود پیش‌بینی‌ها بر اساس جریان‌های تاریخی و پیش‌بینی شده و بودجه برفی تخمین زده شده، قوانین منطق فازی با فرض در نظر گرفتن سیگنال ENSO و هم بدون آن توسعه داده شده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری این مدل برای رودخانه Salt در Arizona در آمریکا حتی تا مواردی در حدود ٤٨ درصد بهبود را نسبت به پیش‌بینی‌های رسمی مرکز هواشناسی آمریکا نشان می‌دهد **Error! Reference source not found.Error! Reference source not found.**

بوانی و مرید (۱۳۸٤) اثرات پدیده تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان تحت داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3 و دو سناریوی A2 و B2 در دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ را مورد بررسی قرار دادند. شبیه‌سازی دبی ورودی به سد زاینده‌رود در این تحقیق با استفاده از تکنیک شبکه عصبی صورت گرفته است. در نتایج به دست آمده مقایسه سناریوهای A2 و B2 نشان از وضعیت بحرانی‌تر سناریوی A2 در این حوضه دارد..**Error! Reference source not found.**

بوانی (۱۳۸۵) از روش‌های زمین آماری کریجینگ و وزن‌دهی براساس معکوس فاصله برای ریزمقیاس کردن پیش‌بینی‌های بارش و دما در حوضه آبریز سد زاینده‌رود استفاده کرده است. نتایج مطالعات وی نشان دهنده قابلیت مطلوب این روش‌ها در پیش‌بینی وضعیت آتی منابع آب حوضه آبریز سد زاینده‌رود به خصوص رودخانه زاینده‌رود می‌باشند..**Error! Reference source not found.**

رحیمی (۱۳۸۵) کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نظیر مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، شبکه با ورودی تأخیر یافته و شبکه عصبی بازگشتی المان و مدل آماری ARMAX در پیش‌بینی رواناب حوضه آبریز کاجو در منطقه جنوب شرق ایران را مورد بررسی قرار داده است. در این مطالعه سیگنال‌های ΔSLP و SLP و رواناب با یکسال تأخیر در ٤ سناریو مختلف و با ۳ تا ٥ پیش‌بینی‌کننده مستقل در مدل‌های شبکه عصبی بکار بسته شده است. نتایج حاکی از آن است که شبکه‌های عصبی استاتیکی به نسبت شبکه‌های عصبی دینامیکی از دقت بیشتری برخوردارند، که این امر به دلیل طبیعت غیر زمانمند و تغییرات ناگهانی رواناب در منطقه توجیه شده است.**Error! Reference source not found.**

عراقی نژاد و همکاران (۲۰۰٦) مدلی احتمالاتی بر اساس روابط زمین آمار تدوین نمودند که قادر به مدل‌سازی ارتباط بین حجم رواناب و متغیرهای هیدروکلیماتولوژیکی و پیش‌بینی رواناب در زمان واقعی می‌باشد **Error!**

.**Reference source not found.**

دبیک[1] و کولیبالی[2] (۲۰۰٦) از شبکه‌های زمانی با تاخیر زمانی جهت ریز مقیاس کردن خروجی مدل GCM استفاده کردند. از این روش برای پیش‌بینی بارش روزانه و مجموعه های دما برای منطقه در شمال کبک ، کانادا استفاده کردند. نتایج ریزمقیاس کردن برای دوره‌ی پایه (۱۹٦۱-۲۰۰۰) نشان می دهد که TNN روشی کارآمد برای شبیه‌سازی بارش روزانه و همچنین حداکثر و حداقل دمای روزانه می‌باشد **Error! Reference source not found.**.

ناظم السادات و همکاران (۲۰۰٦) رابطه تغییرات بارندگی جنوب غربی و بخش‌هایی از شمال ایران و پدیده SOI را در دوره ۴۹ ساله (۱۹۹۹-۱۹۵۱) مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده توسط آنها نشانگر تاثیر معنی دار SOI بر بارش فصلی جنوب غربی و شمال ایران می‌باشد. انها نشان دادند که میزان بارش فصلی از سال ۱۹۷۰ به بعد نسبت به ۲۰ سال قبل از آن در جنوب غربی ایران در طول پاییز و زمستان افزایش و در فصل بهار کاهش یافته و برای مناطق شمالی ایران در طی تابستان و پاییز افزایش و در زمستان و بهار کاهش یافته است **Error! Reference source not found.**.

تریپاتی[1] و همکاران (۲۰۰٦) از ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)، جهت ریزمقیاس کردن بارش ماهانه در کشور هندوستان استفاده کردند . در این روش جهت پیش‌بینی سناریوهای اقلیمی از خروجی‌های مدل GCM، به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده شده است. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان‌دهنده‌عملکرد ماشین‌های بردار پشتیبان به‌عنوان جایگزین مناسبی در مطالعات هیدرولوژیکی می‌باشد**Error! Reference source not found.**.

هن[2] و همکاران (۲۰۰۷) از مدل ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی سیل در یک حوضه آبریز استفاده کردند که در این تحقیق نتایج مدل توسعه داده شده با مدل‌های مبنایی همچون مدل ساده، روند، رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی مقایسه شده است**Error! Reference source not found.**.

هرتیگ[3] و جاکوبیت[4] (۲۰۰۸) با استفاده از سیگنال های بزرگ مقیاس اقلیمی به بررسی تغییرات دما در مناطق تحت شرایط اقلیی مدیترانه‌ای پرداختند. نتایج نشان می دهد ارزیابی افزایش دما در منطقه دریای مدیترانه بسته به منطقه و فصل متفاوت است، اما در مجموع تغییرات دما تا حدودی بیش از ۴ درجه سانتی گراد تا پایان این قرن

---

[1] Dibik
[2] Coulibaly
[1] Tripathi
[2] Han
[3] Herting
[4] Jacobeit

تحت شرایط گلخانه ای افزایش گرم شدن انتظار می‌رود**Error! Reference source not found.**.

احمدی (۱۳۸۸) یک مدل پیش‌بینی بارش بر مبنای سیگنال‌های بزرگ مقیاس با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان برای حوضه آبریز اهرچای توسعه داد و نتایج آن با مدلهای مبنایی از جمله روند، ساده و رگرسیون چند متغیره مقایسه شد. نتایج نشان دهنده کارایی بهتر مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به مدل‌های مبنایی بود **Error! Reference source not found.**.

کیان‌پیشه و همکاران (۱۳۸۹) از مدل ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی بارش در حوضه آبریز زاینده‌رود بر اساس اطلاعات سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی استفاده کردند که در این تحقیق نتایج مدل توسعه داده شده مدل ماشین بردار پشتیبان با مدل‌های K نزدیکترین همسایگی و شبکه عصبی مقایسه شده است **Error! Reference source not found.**.

۲-۳ مدل‌های بررسی اثرات تغییر اقلیم

تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعهٔ بشری است و تهدید و بلایی برای سیارهٔ زمین به شمار می‌آید که بررسی و پیش‌بینی عناصر آن هم از جهت برنامه‌ریزی منابع آبی و هم از جهت مدیریت شرایط بحران اهمیت زیادی دارد و لازم است که مطالعاتی در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آبی حوضه آبریز صورت گیرد تا مدیریت منابع آبی به نحوی صورت گیرد که کشاورزان در امر کشاورزی و برنامه‌ریزان امر منابع و ذخایر آبی متحمل خسارات جبران‌ناپذیری نشوند.

یکی از روش‌های بررسی تغییرات بارش و دما، استفاده از داده‌های خروجی مدل‌های چرخه عمومی است. محدودیت اصلی استفاده از نتایج اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی آن است که دقت تجزیه مکانی آنها مناسب مدل‌های هیدرولوژیکی نمی‌باشد و برای استفاده از آنها در مدل‌های هیدرولوژیکی نیاز به کوچک مقیاس کردن است. در این راستا روش‌های متعددی برای کوچک مقیاس کردن و یا تبدیل خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه رودخانه توسعه یافته‌اند و مطالعات متعددی جهت بررسی و مقایسه روش‌های متعدد کوچک‌مقیاس کردن صورت گرفته است.

ویلبی[1] و همکاران (۱۹۹۹) دو سناریوی اصلی: ۱- خروجی‌های GCM که به صورت آماری ریز مقیاس شده‌اند

---

[1] Wilby

و ۲- خروجی‌های اولیه GCM را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داده است که خروجی های اولیه مدل GCM کاهش بیشتری را در میزان بودجه برفی زمستانه، بهاره و رواناب تابستانه نسبت به نتایج ریز مقیاس شده نشان می‌دهند. سپس در این مطالعه رواناب روزانه و بودجه برفی برای رودخانه San Juan در Colorado در آمریکا شبیه‌سازی شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده آن است که روش‌ریز مقیاس کردن آماری نسبت به خروجی‌های اولیه GCM دارای مزایای بسیاری است، از جمله این که:۱- ویژگی احتمالاتی در این مدل امکان ساخت سناریوهای متعدد از وضعیت آتی را فراهم می‌آورد ۲- این روش قادر است خصوصیات اقلیمی را برای یک ایستگاه خاص مشخص نماید. ۳- این روش به حجم اطلاعات کمتر و محاسبات محدودتری نسبت به روش‌های دیگر ریز مقیاس کردن نیازمند است..**Error! Reference source not found.**

نیکلسون[1] (۲۰۰۰) اثرات متقابل اتمسفر و سطح زمین در غرب آفریقا و تغییرات بارش سالانه را بررسی کرده است. ایشان اثرات بازخور سطح زمین بر دوره‌های ترسالی و خشکسالی در فاصله‌ی زمانی ۱۹۳۰ الی ۱۹۹۷ را بررسی کرده و نشان داده است که شرایط اقلیمی در سطح زمین از اتمسفر اثر می‌پذیرد **Error! Reference source not found.**.

ویلبی و همکاران (۲۰۰۲) اولین نسخه مدل SDSM[2] را به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس کردن به روش آماری ارائه نمود. مبنای این مدل رگرسیون چندمتغیره می‌باشد و برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی چون بارش و دما در درازمدت با توجه به سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی استفاده می‌شود. آنها ، کاربرد این مدل در ساخت سناریوهای بارش و دمای روزانه برای Toronto در کشور کانادا و در بازه زمانی آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ را نشان داده‌اند **Error! Reference source not found.**.

هریس[3] و ویلبی (۲۰۰۵) روشی ارائه کردند که در آن متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی که ایستگاه مورد مطالعه در آن قرار می گیرد استخراج می شود **Error! Reference source not found.**.

هارفام[4] وویلبی (۲۰۰۵) چهار روش مختلف ریز مقیاس کردن چون مدل کوچک مقیاس کردن آماری، شبکه عصبی شعاعی و شبکه عصبی چند لایه و شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی بارش مناطق مختلف انگلستان مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاصل از مطالعات نشان می‌دهد که هر چهار روش از توانایی مطلوبی برای پیش‌بینی

---

[1] Nicholson
[2] Statistical Downscaling Model
[3] Harris
[4] Harpham

بارش برخوردارند ولی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی فقط در ۸۰٪ از مواقع توانسته است وقوع بارش را به درستی شبیه‌سازی نمایند، در حالی‌که مدل کوچک مقیاس کردن آماری قادر به شبیه‌سازی بهتر مقادیر بارش روزانه بوده است**.Error! Reference source not found.**

خان[1] و همکاران (۲۰۰۵) از طریق بررسی عدم قطعیت‌های مشاهده شده در نتایج کوچک مقیاس شده بارش روزانه و دمای حداقل و حداکثر روزانه حاصل از سه مدل کوچک مقیاس کردن به نام‌های : مدل کوچک مقیاس کردن آماری، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی، این سه روش را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها جهت ارزیابی عدم قطعیت، به مقایسه میانگین و واریانس مقادیر کوچک مقیاس شده با داده‌های مشاهداتی پرداختند. البته در مورد اطلاعات بارش علاوه بر بررسی مقادیر میانگین و واریانس به مقایسه مقادیر میانگین ماهانه دوره‌های خشک و تر و توزیع تجمعی میانگین ماهانه اطلاعات بارش روزانه نیز پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی عدم قطعیت نشان‌دهنده آن است که مدل کوچک مقیاس کردن آماری خصوصیات مختلف آماری داده‌های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل‌ها توانسته است در مقادیر ریز مقیاس شده حفظ نماید، مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای ضعیف‌ترین عملکرد و مدل LARS-WG در مرتبه دوم قرار گرفته است**.Error! Reference source not found.**

سید قاسمی و همکاران (۱۳۸۵) اثرات تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای را بر جریان رودخانه زاینده‌رود در دهه‌های آتی مورد ارزیابی قرار دادند. اجزای هیدرولوژیکی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از نتایج به دست آمده از کوچک مقیاس کردن خروجی‌های مدل GCM که به عنوان ورودی‌های نرم‌افزار هیدرولوژیکی SWAT مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از این نرم‌افزار تغییرات رواناب این حوضه برای دو دوره ۳۰ ساله ۲۰۵۰-۲۰۲۱ میلادی (آینده نزدیک) و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ میلادی (آینده دور) برای دو سناریوی A2 وB2 شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی در هر دو دوره کاهش جریان در ماه‌های آوریل و می و انتقال پیک جریان از ماه‌های مارس و آوریل به ماه‌های ژانویه و مارس را نشان می‌دهد..**Error! Reference source not found.**

آذرانفر و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از روش آماری کوچک مقیاس کردن، تغییرات بارش و دما در حوضه آبریز سد زاینده‌رود را مورد بررسی قرار دادند. در این روش خروجی‌های مدل GCM، به عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در نظر گرفته شده‌اند. جهت کوچک مقیاس نمودن مقادیر دما، داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده توسط مدل GCM، سری مورد نظر به صورت نزولی مرتب شده و با استفاده از روابطی مانند رابطه وایبول، احتمال وقوع " برابر و یا کم‌تر از" محاسبه شده است. سپس با استفاده از رابطه رگرسیونی ساده بین متغیرهای هواشناسی و

---

[1] Khan