

بررسی اثر تغییر اقلیم بر مدیریت بحران سیلاب

مجید شهیدائیان*: کارشناس ارشد علوم و مهندسی آب، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران، majid.sheidaeyan@yahoo.com

حسین فخرایی: مربی مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

محمد علی نکوئی: استادیار مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۷

چکیده

در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر مدیریت بحران سیلاب در منطقه‌ی دشت تجن مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری صورت گرفت و متغیرهای بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو با مدل اقلیمی HadCM3 تحت سناریوی A2 در چهار دوره‌ی زمانی ۲۰۰۱-۱۹۷۱، ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ دریافت شدند. برای کوچک مقیاس سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو در سطح منطقه از روش‌های کوچک مقیاس سازی آماری SDSM5.5.1، شبکه‌ی عصبی مصنوعی و روش تناسبی استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمون‌های آماری روند، مشاهده شد که روند معنی‌داری در تغییرات داده‌های هواشناسی منطقه وجود دارد و پدیده‌ی تغییر اقلیم در منطقه رخ داده است. نتایج کلی مدل SDSM و روش تناسبی، نشان‌دهنده‌ی کاهش در مقدار بارندگی و افزایش در مقدار دما در دوره‌های آتی است. نتایج مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی به علت درصد خطای بالا برای شبیه‌سازی دما در دوره‌ی مشاهده‌ای رضایت‌بخش نبود. همچنین داده‌های پیش‌بینی شده‌ی دما و بارش با داده‌های تاریخی همبستگی بالا و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد داشتند. در آخر می‌توان نتیجه گرفت که به علت افزایش دما و بارش در برخی فصول سال در دوره‌های زمانی آتی به دلیل ذوب برف در اثر افزایش دما در انتهای فصل تابستان و ابتدای پاییز و افزایش بارش در زمستان و پاییز میزان احتمال وقوع سیلاب در این فصول از سال رو به افزایش است.

واژه‌های کلیدی: آزمون ناپارامتری، دشت تجن، کوچک مقیاس سازی، مدل اقلیمی HadCM3

Investigating the Effect of Climate Change on Flood Emergency Management Zahra

Majid sheidaeyan^{1*}, Hosein Fakhraei², Mohammad Ali Nekooie³

Abstract

In this paper, the effect of climate change on emergency management due to flood was investigated in Tajan plain area. First of all, probability of occurrence of the climate-change events was assessed by using Non-parametric tests. The large-scale variations of atmospheric general circulation models with HadCM3 climate model under the A2 scenario were investigated in four periods ۲۰۴۱-۲۰۷۰, ۲۰۱۱-۲۰۴۰, ۱۹۷۱-۲۰۰۱ and ۲۰۷۱-۲۱۰۰. For downscaling of the atmospheric general circulation models data at the regional level, the statistical downscaling models SDSM5.5.1, artificial neural network and proportional methods were employed. Based on the results of the statistical trend tests, it was observed there is significant trend in the meteorological data changes of area and occurrence phenomenon of climate change in the case-study area. The overall results of SDSM model and proportional method indicate that the decrease in rainfall and increase in the temperature will be happened in future periods. The results of the artificial neural network model were not satisfactory, because of the unacceptable error to simulate the temperature at an observation period. Furthermore, the predicted temperature and precipitation data had high and significant correlation respectively with historical data at ۹۵ percent confidence level. Finally, the increase of temperature and precipitation at some seasons of the year in future time periods causes snow melting at the end of summer and beginning of autumn and precipitation increase in winter, and autumn seasons increase the probability of flooding at these seasons of the year.

Keywords: Non-parametric tests, Tajan Plain, Downscaling, HadCM3 Climate Model.

1 M.Sc graduate Student, Water engineering, Mazandaran University, Mazandaran, Iran; Email: majid.sheidaeyan@yahoo.com

2 Instructor, Civil engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

3 Assist. Prof., Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

۵

شماره دوازدهم

پاییز و زمستان

۱۳۹۶

دوفصلنامه

علمی و پژوهشی



نشان داد که: ۱. تغییر در مقادیر عددی از متغیرهای اقلیمی با ضریب تبیین بالا بین دمای متوسط شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، تبخیر و شروع بارندگی به صورت مناسب به ترتیب ۹۹٪، ۹۳٪ و ۷۳٪ شبیه‌سازی می‌شوند. ۲. با وجود خطاهای موجود در رویدادهای نهایی شبیه‌سازی شده نتایج برای راهکارهای کاربردی قابل قبول بود. ۳. متوسط دمای هوا در طول سال‌های ۲۰۴۰ - ۲۰۱۱ در حدود ۰/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد تحت سناریوی A2 و در حدود ۰/۴ درجه تحت سناریوی B2 افزایش می‌یابد. همچنین تغییرات تبخیر از تشتک معنی‌دار نبود. در ۳۰ روز آینده اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر می‌شود و رویدادهای حداکثر شدت بیشتری پیدا می‌کنند. به خصوص در فصل پاییز تغییرات مشاهده شده در دما نسبت به بقیه‌ی فصول آشکارتر بود [۳]. مطالعه‌ی حاضر دید بهتری را نسبت به آینده ایجاد می‌کند و می‌تواند منجر به بازنگری در اهداف و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته در بخش تأثیرات سیلاب بر مناطق استراتژیک و خسارات ناشی از آن گردد. بنابراین توجه به تأثیرات تغییر اقلیم در تشدید مسئله‌ی کمبود آب، بررسی و امکان بازنگری در فراوانی و شدت وقوع پدیده‌ی سیلاب، به طوری که بتوان حداکثر توان در مهار سیلاب و کاهش خسارات را داشت ضروری به نظر می‌رسد. هدف از انجام این پژوهش بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی مؤثر در وقوع سیلاب در سال‌های گذشته و مدل‌سازی این پارامترها در دوره‌های آینده و تأثیر متقابل سیلاب بر مدیریت بحران و خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی و نحوه‌ی کاهش خسارات در دوره‌های آتی است.

روش تحقیق و ابزارها

منطقه‌ی مورد مطالعه

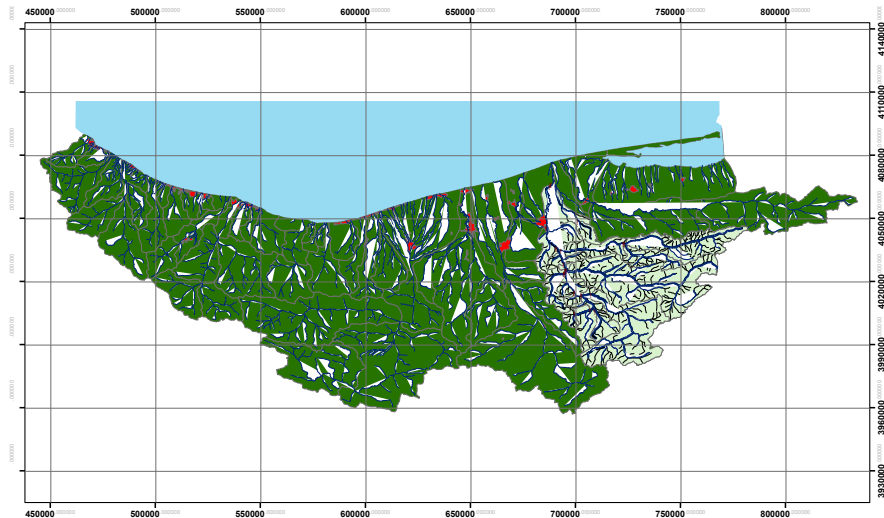
ایستگاه مورد مطالعه در این تحقیق ایستگاه هیدرومتری-باران‌سنجی کردخیل است. در این تحقیق از داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی ایستگاه هیدرومتری-باران‌سنجی طی سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۸۰ (۲۰۰۱-۱۹۷۱) استفاده گردید. متوسط بارندگی سالیانه‌ی اندازه‌گیری شده در ایستگاه کردخیل ۶۰۹/۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه‌ی منطقه ۱۵/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد است و بر اساس شاخص اقلیم‌بندی دومارتن اقلیم ایستگاه مطالعاتی از نوع مدیترانه‌ای است.

تئوری و محاسبات

آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری روند پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌نمایند که باید نحوه‌ی تغییرات را بر اساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین نمود. بدین منظور روند تغییرات دما و بارش در چند دهه‌ی گذشته مورد بررسی قرار می‌گیرد. مراحل کار به شرح زیر است:

۱. استفاده از روش Pre-whitening به منظور حذف تأثیر خودهمبستگی^۹ بر سری‌های زمانی دما و بارش (خودهمبستگی معنی‌دار سبب ایجاد خطا در نتایج آزمون‌های ناپارامتری می‌گردد).

مهم‌ترین تأثیر مستقیم افزایش گازهای گلخانه‌ای را می‌توان وقوع ناهنجاری‌های هیدرولوژیکی و خشکسالی‌های توأم با افزایش درجه‌ی حرارت دانست که اثر آن بسیار زیان‌آور است. تغییر شکل نزولات جوی، تغییر زمان وقوع و شدت بارش‌ها و وقوع سیلاب‌های ناگهانی نیز از عوارض دیگر آن به شمار می‌رود. متأسفانه افزایش دما در سطح کره‌ی زمین به صورت یکنواخت نخواهد بود، بلکه پیش‌بینی می‌شود افزایش دما در عرض‌های جغرافیایی میانی و بالایی کره‌ی زمین در مقایسه با نواحی حاره‌ای دو برابر شده است. لذا آنچه برای ما به منزله‌ی کشوری خشک و نیمه‌خشک که در منطقه‌ی اقلیمی و جغرافیایی خاصی از کره‌ی زمین واقع است و مسئله‌ی آب در آن در رأس مشکلات توسعه قرار دارد حائز اهمیت است، پیامدهای ناشی از گرم شدن هوا و توأم شدن آن با وقوع سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها و نقش آن‌ها بر مصارف آب است. مثلاً برخی مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم (مانند مدل هادلی) نشان می‌دهند که اگر وضعیت گرم شدن اتمسفر به همین روند ادامه پیدا کند، در ۲۵ سال آینده ایران با افزایش دمای ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و کاهش بارندگی به میزان ۲۰ درصد مواجه خواهد شد و این موضوع علاوه بر تغییر شکل و زمان ریزش‌های جوی است [۱]. میانگین دما و بارش هوا در سطح زمین و تغییرات آن پارامترهایی از تغییرات اقلیمی هستند که تقریباً در تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم، به منزله‌ی عوامل اصلی مطرح شده‌اند. با بررسی روند تغییرات میانگین دما و بارش می‌توان تغییرات اقلیمی را مورد بررسی قرار داد. در این رابطه تحقیقات متعددی انجام شده است: کارآموز و همکاران، داده‌های مدل گردش عمومی جو^۲ (GCM) را با استفاده از مدل کوچک مقیاس‌سازی آماری^۳ (SDSM) و شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۴ (ANN) برای شبیه‌سازی بارندگی استفاده کردند. این مدل‌ها برای شبیه‌سازی بارندگی برای ۵ ماه (از دسامبر تا آوریل) در منطقه‌ی مطالعاتی در جنوب شرق ایران استفاده شدند. نتایج نشان داد که مدل SDSM سناریوهای تغییر اقلیم را با استفاده از پارامترهای اقلیمی انتخاب شده برای شبیه‌سازی بارندگی اجرا می‌کند، ولی مدل ANN به وسیله‌ی داده‌های مشاهداتی شبیه‌سازی می‌کند و روابط فیزیکی بین متغیرها را در نظر نمی‌گیرد. نتایج نشان داد که مدل SDSM کارایی بهتری نسبت به مدل ANN در شبیه‌سازی داده‌های بارندگی در منطقه‌ی مطالعاتی دارد [۲]. چو^۵ و همکاران، مدل SDSM را برای کوچک مقیاس‌سازی هم‌زمان دمای هوا، تبخیر و بارندگی در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی Haihe (هایه‌ی) در چین به کار بردند. داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی، داده‌های بزرگ مقیاس اتمسفری روزانه NCEP/NCAR^۶ و نتایج حاصل از داده‌های روزانه‌ی مدل اقلیمی HadCM3^۸ برای سناریوی A2 و B2 بودند. متغیرهای اقلیمی برای کوچک مقیاس‌سازی به صورت متوسط دمای هوای روزانه، تشتک تبخیر و داده‌های بارش از سال ۲۰۰۰ - ۱۹۶۱ از ۱۱ ایستگاه هواشناسی در حوضه‌ی رودخانه Haihe استخراج شدند. نتایج حاصل از مدل SDSM



تصویر ۱: نقشه‌ی موقعیت حوضه‌های استان مازندران و منطقه‌ی مطالعاتی حوضه‌ی آبریز تجن (ایستگاه کردخیل) مقیاس ۱/۵۰۰۰

آزمون تخمین‌گر شیب سن^{۱۱}

برای محاسبه‌ی مقدار روند سری‌های زمانی دما و بارش در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه در ایستگاه انتخابی با استفاده از رابطه‌ی شیب تیل سن عمل روند را به دست می‌آوریم:
رابطه‌ی ۴:

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad \text{هر } j > i$$

در این رابطه، X_i و X_j به ترتیب آمین و زامین داده‌ی مشاهده‌ای و β مقدار شیب است که مقدار β به منزله‌ی میانه دنباله‌ی مقادیر داخل کرشه، معرفی شده است. اگر داده‌های مشاهده شده را به وسیله‌ی لگاریتم طبیعی (\ln) تبدیل نماییم، سپس آزمون سن را بر آن‌ها اجرا کنیم، با استفاده از رابطه‌ی ناپارامتری ۵ می‌توان مقدار شیب یا درصد تغییر در طول دوره را محاسبه نمود. ΔT درصد تغییر در طول دوره، s همان شیب آزمون سن یا Q_{med} محاسبه شده از روابط بالا و طول دوره‌ی روند است.

$$\Delta T = (e^s - 1) \cdot 100 \cdot t \quad \text{رابطه‌ی ۵:}$$

جمع‌آوری نتایج مدل‌های گردش عمومی جو^{۱۲} (AGCM)
مدل‌های گردش عمومی جو مدلی هستند که به منظور شبیه‌سازی اقلیم حال حاضر کره‌ی زمین توسعه داده شده‌اند و قادر هستند تا تغییرات اقلیم آینده‌ی کره‌ی زمین را پیش‌بینی کنند [۸]. مدل‌های گردش عمومی جو معادلات پیوستگی دینامیک سیال جو را در مقیاس‌های گسسته‌ی مکانی و زمانی حل می‌کنند. ساختار این مدل‌ها و مدل‌های پیش‌بینی عددی آب و هوایی یکسان است. مدل‌های گردش عمومی، خود شامل دو دسته‌ی کلی می‌شوند: مدل‌های AGCMs که برهم‌کنش اتمسفر را در نظر می‌گیرند و مدل‌های گردش عمومی اقیانوسی OGCMs^{۱۳} که تأثیر متقابل اقیانوس‌ها را در نظر می‌گیرند و معمولاً مدل‌های گردش عمومی ترکیبی از دو دسته AGCM و OGCM را شامل می‌شوند. از آنجایی که ویژگی‌های سناریوی انتشار A2 بر صنعتی شدن و

۲. به‌کارگیری آزمون‌های آماری به منظور کنترل کمی و کیفی داده‌های دما و بارش.

آزمون Pre-Whitening

استفاده از روش مذکور (Pre-Whitening) برای حذف اثرات خود همبستگی بر آزمون من‌کنندال^{۱۴} پیشنهاد شده است [۴، ۵]. مراحل مربوط به این روش برای سری زمانی $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ به صورت زیر است:
الف. محاسبه‌ی ضریب خودهمبستگی مرتبه‌ی اول r_1 برای سری زمانی به صورت زیر [۶]:

$$r_1 = \frac{(1(n-1) \sum_{t=1}^{n-1} [X_t - E(X_t)][X_{t+1} - E(X_{t+1})])}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X_t - E(X_t)]^2} \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

$$E(X_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

ب. در صورت معنی دار نبودن r_1 در سطح معنی داری ۹۵ درصد، آزمون ناپارامتری بر روی سری زمانی اعمال می‌شود.
ج. اگر r_1 در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بود، سری زمانی به صورت: $(x_1 - r_1 x_0, x_2 - r_1 x_1, \dots, x_n - r_1 x_{n-1})$ اصلاح شده و آزمون در سری زمانی اصلاح شده اعمال می‌شود [۷].

آزمون من‌کنندال

آزمون من‌کنندال یکی از رایج‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل سری‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی به شمار می‌رود. این آزمون با در نظر گرفتن دو فرض H_0 و H_1 ، به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

H_0 : داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).

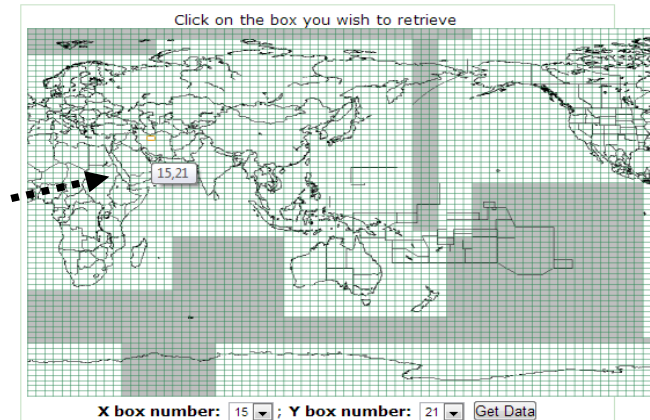
H_1 : داده‌ها دارای روند هستند.

Z : مقدار آماره‌ی من‌کنندال است که از رابطه‌ی ۳ به دست

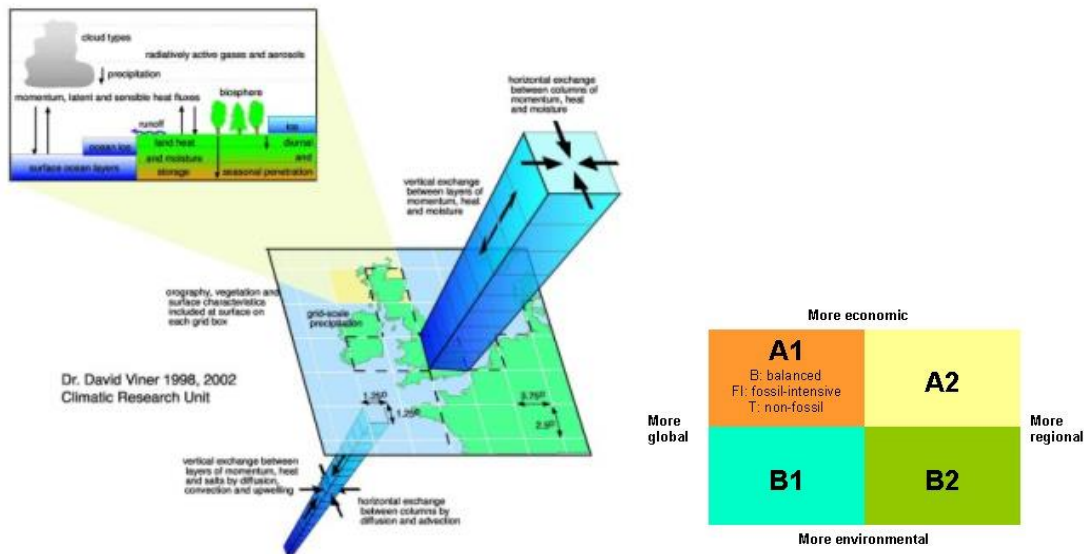
$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & : \text{if } S > . \\ . & : \text{if } S = . \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & : \text{if } S < . \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۳:}$$

HadCM3 Predictors: A2(a) and B2(a) Experiments

Click here to obtain the grid definition. The latitude and longitude coordinates correspond approximately to the centres of the grid boxes.



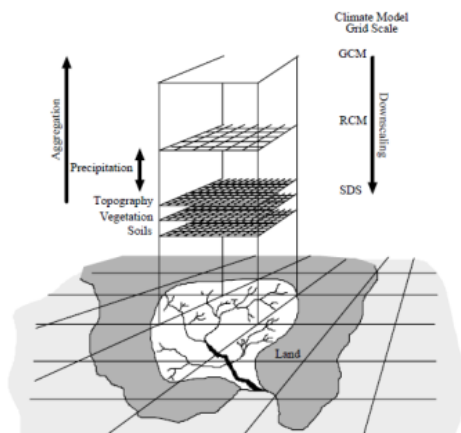
تصویر ۲: نحوه‌ی دریافت Grid Box داده‌های بزرگ مقیاس NCEP در مدل اقلیم کانادایی HadCM3



تصویر ۳: طرح چگونگی مدل اتمسفری جهانی و شماتیک مشخصات سناریوهای انتشار SRES1۴

مدل برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای کوچک مقیاس محلی و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب و هوا و

رشد سریع کشورها بدون توجه به محیط‌زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر تأکید می‌کند و از طرفی در سطح دنیا برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، منابع آب، سیلاب، هیدرولوژی و محیط‌زیست از این سناریو استفاده می‌کنند، این سناریو از میان سناریوهای موجود انتخاب شد [۸].

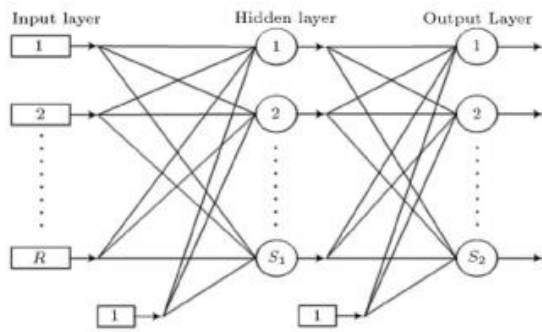


تصویر ۴: طرح کلی نحوه‌ی کوچک مقیاس سازی داده‌های GCM و تبدیل به مقیاس منطقه‌ای RCM در مدل [۹]

کوچک مقیاس سازی^{۱۵} خروجی مدل‌های گردش عمومی جو داده‌های GCM معمولاً در شبکه‌هایی به اضلاع ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتر اندازه‌گیری می‌شوند. برای تبدیل این اطلاعات به مقیاس‌های کاربردی در سطح حوزه یا منطقه، از روش‌هایی موسوم به روش‌های کوچک مقیاس سازی استفاده می‌شود که در این روش‌ها داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی به داده‌های منطقه‌ای و محلی و یا ایستگاهی تبدیل می‌شوند [۸].

مدل رگرسیون خطی SDSM

در این پژوهش در روش کوچک مقیاس سازی آماری از نرم‌افزار SDSM5.1.1 [۹] برای بررسی تغییرات دما و از روش تناسبی برای شبیه‌سازی بارش در منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شد. این



تصویر ۵: ساختار مدل MLP چند لایه [۲]

نرمالیزه نمودن داده‌ها^{۲۲}

برای استاندارد کردن داده‌ها از رابطه‌ی ۸ استفاده شده و ورودی‌ها را بین ۰/۱ تا ۰/۹ استاندارد می‌نماید [۱۱، ۱۲]. در نهایت می‌توان خروجی‌های شبکه را با معکوس نمودن الگوریتم استانداردسازی، به حالت اولیه برگرداند.

$$T_i = 2 \times \left[\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right] - 1 \quad \text{رابطه‌ی ۸:}$$

در رابطه‌ی ۸، T_i مقدار استاندارد شده، x_i مقادیر واقعی و x_{\min} و x_{\max} مقادیر حداکثر و حداقل واقعی هستند.

بحث و نتایج

آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری روند (۱۹۷۱-۲۰۰۱)

ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS^{۲۳} نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از آزمون کلوگروف - اسمیرنوف و تبدیل لگاریتمی صورت گرفت. سپس با استفاده از آزمون Pre-Whitening خود همبستگی‌های معنی‌دار از سری‌های زمانی دما و بارش سالانه، فصلی و ماهانه حذف شد و یک سری زمانی جدید برای داده‌های مورد لزوم ایجاد شد. همچنین نتایج حاصل از دو آزمون روند

مدل رگرسیون^{۲۷} است [۹]. نرم‌افزار SDSM اعمال سری‌های آب و هوای روزانه‌ی ریزمقیاس آماری را در شش مرحله مجزا می‌کند:

۳. کنترل و پایش کیفیت و تبدیل داده‌ها؛

۴. انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی غالب؛

۵. واسنجی^{۲۸} مدل؛

۶. تولید داده‌های تاریخی و صحت‌سنجی مدل^{۲۹}؛

۷. تحلیل داده‌ها؛

۸. تولید سناریوی اقلیمی آینده.

گفتنی است که کوچک‌مقیاس‌سازی بازندگی به روش SDSM یا به عبارتی آماری نتایج قابل‌قبولی نداشت، لذا داده‌های بارش به روش تناسبی^{۳۰} و دما به روش آماری^{۳۱} در چهار دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰-۱۹۷۱، ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ کوچک‌مقیاس و در مراحل بعد مورد استفاده قرار گرفت.

روش کوچک‌مقیاس‌سازی تناسبی

برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، این مقادیر به مقادیر مشاهداتی (۱۹۶۰-۱۹۶۱ یا ۲۰۰۰-۱۹۷۱) افزوده می‌شود.

$$T = T_{\text{obs}} + (T_{\text{GCM, fut}} - T_{\text{GCM, bas}}) \quad \text{رابطه‌ی ۶:}$$

$$P = P_{\text{obs}} \times \left(\frac{P_{\text{GCM, fut}}}{P_{\text{GCM, bas}}} \right) \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

در روابط فوق T_{obs} بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی در دوره‌ی پایه و $T_{\text{GCM, fut}}$ میانگین ۳۰ ساله‌ی دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل GCM در دوره‌های آتی و $T_{\text{GCM, bas}}$ میانگین ۳۰ ساله‌ی دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل GCM در دوره‌ی پایه و T سری زمانی سناریوی اقلیم دمای حاصل است [۱۰].

کوچک‌مقیاس‌سازی با مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی

داده‌های ورودی و خروجی شبکه

لایه‌ی ورودی شبکه را ۶ نرون شامل دمای بیشینه و کمینه و ۵ متغیر بزرگ‌مقیاس بهینه NCEP تشکیل می‌دهد که از مدل SDSM بهترین ضریب همبستگی را با متغیر روزانه‌ی دما داشتند. ۳۰ درصد داده‌ها برای آزمون و ۷۰ درصد برای آموزش استفاده شده است.

جدول ۱: پارامترهای شبکه‌ی بهینه‌ی آموزش داده شده پس از سعی و خطا

پارامترهای مدل شبکه‌ی عصبی	دمای بیشینه	دمای کمینه
مدل و یا نوع شبکه	پرسپترون چند لایه‌ای ^{۲۳}	پرسپترون چند لایه‌ای
تعداد لایه‌های مخفی	۴	۳
تابع تحریک یا فشردگی	در لایه‌های پنهان تانزانت سیگموئید در لایه‌ی خروجی تابع خطی	در لایه‌های پنهان تانزانت سیگموئید در لایه‌ی خروجی تابع خطی
تعداد نرون‌ها در لایه‌های مخفی	۵-۵-۶-۶	۵-۳-۱
تعداد اپاک ^{۲۴}	۳۰۰	۳۰۰
نوع مدل	ANN43	ANN18
الگوریتم آموزش مدل	مارکووارت-لونبرگ ^{۲۵}	مارکووارت-لونبرگ
ضریب همبستگی	۰/۲۷	۰/۳
ضریب تبیین	۰/۵۷	۰/۵۵
جذر میانگین مربعات خطا	۶/۶۲	۵/۶۳
تابع آموزش شبکه‌ی پیش‌خور ^{۲۶}	newff	newff

جدول ۲: نتایج آزمون‌های روند من‌کندال و تخمین گرسن

دوره	سری زمانی	دمای میانگین (درجه‌ی سانتی‌گراد)		بارش (میلی‌متر)	
		$Q_{med} = \beta$	Z	$Q_{med} = \beta$	Z
ماهانه	ژانویه	۰/۲۶	-۱/۰۷	۰/۰۰۷	-۱/۰۷
	فوریه	-۰/۱۰	-۱/۴۵	۰/۰	-۱/۴۵
	مارس	-۱/۲۷	-۱/۵۳	-۰/۰۳	-۱/۵۳
	آوریل	-۰/۶۳	-۰/۸۱	-۰/۰۲	-۰/۸۱
	مه (می)	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۰۲	۰/۲۸
	ژوئن	۲/۷۳**	-۱/۵۳	۰/۰۷**	-۱/۵۳
	ژوئیه (جولای)	۱/۴۴	-۱/۴۳	۰/۰۳	-۱/۴۳
	اوت (آگوست)	۱/۳۷	-۰/۷۱	-۰/۰۴	-۰/۷۱
	سپتامبر	۱/۸۲+	۰/۴۷	۰/۰۶+	۰/۴۷
	اکتبر	۱/۷۰+	-۰/۹۷	۰/۰۷+	-۰/۹۷
	نوامبر	۱/۲۴	۱/۸۴+	۰/۰۴	۱/۸۴+
	دسامبر	۱/۵۰	-۰/۵۸	-۰/۰۵	-۰/۵۸
فصلی	زمستان	-۰/۱۵	-۲/۳۵*	-۰/۰۰۲	-۲/۳۵*
	بهار	۰/۲۲	-۱/۳۰	۰/۰۰۳	-۱/۳۰
	تابستان	۱/۴۴	-۰/۹۳	۰/۰۳۴	-۰/۹۳
سالانه	پاییز	۲/۱۳*	۰/۱۸	-۰/۰۶	۰/۲۱
		۱/۱۱	-۰/۸۴	۰/۰۱۵	-۱/۰۷

(**،*،+، به ترتیب در سطح احتمال ۹۹٪، ۹۵٪ و ۹۰٪ معنی دار است.)

جدول ۳: مقادیر درصد تغییر دما و بارش برای دوره‌ی گذشته

ایستگاه	پارامتر	دوره‌ی آماری	درصد تغییر
کردخیل	بارش	۲۰۰۱-۱۹۷۱	۲/۸ کاهش
	دما		۸/۹ افزایش

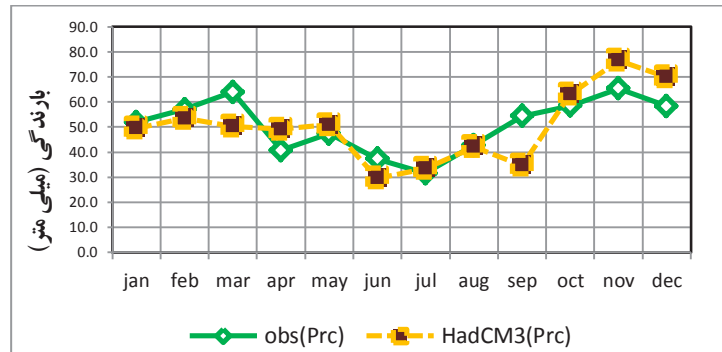
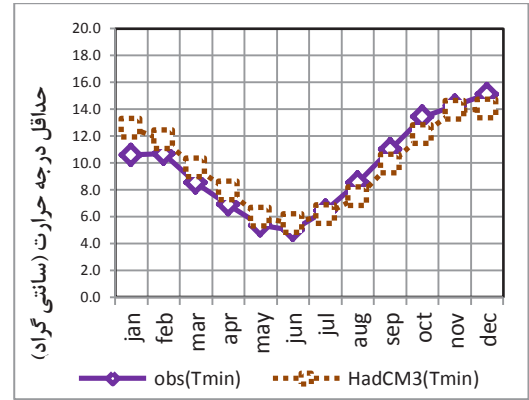
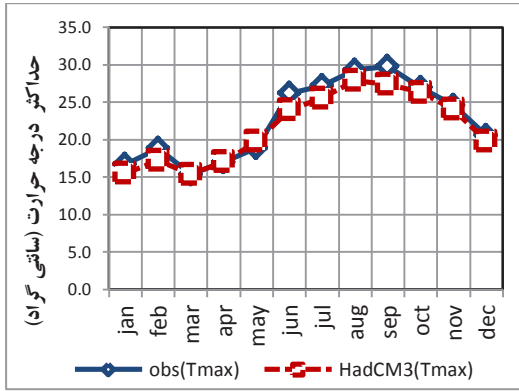
نتایج مدل SDSM برای کوچک مقیاس‌سازی دمای بیشینه و کمینه

نتایج تغییرات بارندگی و دما در دوره‌های آتی

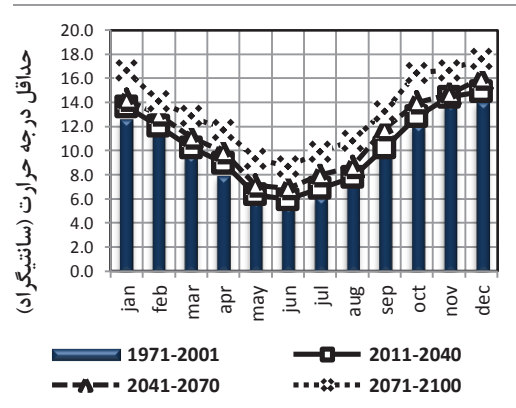
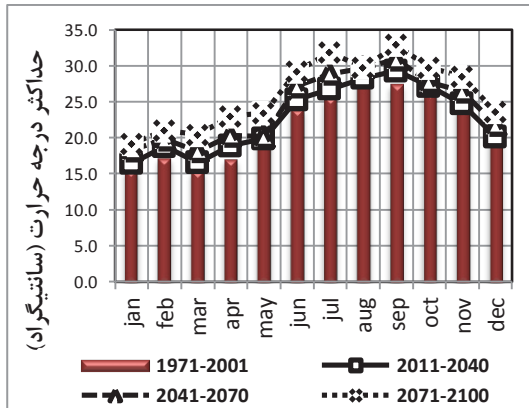
درجه‌ی حرارت و بارندگی شبیه‌سازی شده در دوره‌ی پایه‌ی ۲۰۰۰ - ۱۹۷۱، با استفاده از کوچک مقیاس‌سازی خروجی مدل HadCM3 و مقایسه‌ی آن با مقادیر مشاهداتی، در تصویر ۶ نمایش داده شده است. در مورد دما عملکرد شبیه‌سازی مدل مناسب است اما در مورد بارندگی، عملکرد مدل پایین است، چون مقدار خطای آن ۹/۲۱ است، و بهتر است از طریق روش کوچک مقیاس‌سازی تناسبی داده‌های بارندگی، مدل GCM را در مقیاس منطقه‌ای کوچک مقیاس کنیم. مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل در دوره‌ی پایه‌ی ۲۰۰۱ - ۱۹۷۱ نشان می‌دهد که مدل در شبیه‌سازی درجه‌ی حرارت از قابلیت نسبتاً خوبی برخوردار است. همچنین مدل در شبیه‌سازی درجه‌ی حرارت حداقل به دلیل خطای کمتر، نسبت به دمای حداکثر عملکرد بهتری دارد. در تصاویر ۷ و ۸ روند و میزان تغییرات حداکثر و حداقل درجه‌ی حرارت و بارندگی در دوره‌های آتی به صورت ماهانه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل در پیش‌بینی حداکثر و حداقل درجه‌ی حرارت روند افزایش دما در آینده را نشان می‌دهند. به‌طور کلی

Estimator Sen, s و Mann-Kendall با استفاده از بسته‌ی افزودنی XLSTAT2013 در جدول ۲ ارائه شده است.

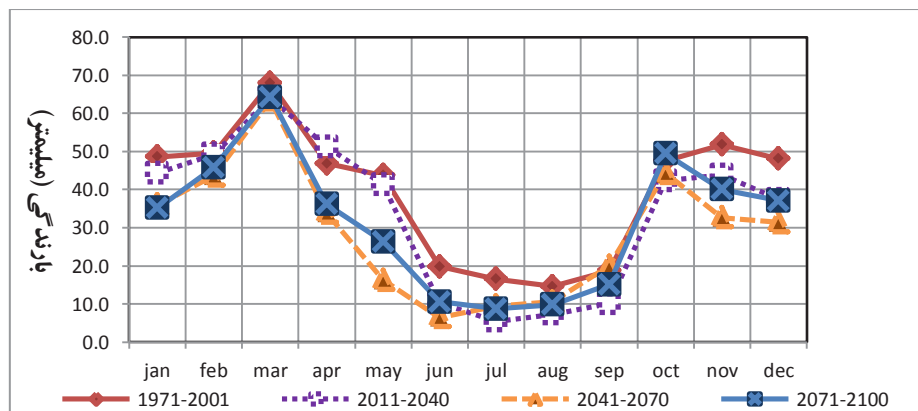
نتایج محاسبات نشان داد تغییرات بارش در ماه نوامبر در سطح ۹۰٪ افزایش و پارامتر دما در ماه ژوئن و سپتامبر و اکتبر به ترتیب در سطح احتمال ۹۹٪، ۹۰٪ و ۹۰٪ روند افزایشی معنی‌دار دارد. بارش در بیشتر ماه‌ها روند کاهشی داشته است، اما این روند در اکثر ماه‌ها معنی‌دار نیست. همچنین تغییرات بارندگی در هیچ یک از فصول سال به جز زمستان در سطح ۹۵ درصد که دارای روند کاهشی است، روند معنی‌داری ندارد و درجه‌ی حرارت هم در فصل پاییز در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند افزایشی است. بنابراین می‌توان ادعا کرد که دمای منطقه در دوره‌های گذشته تحت تأثیر عواملی قرار گرفته که باعث افزایش آن شده است و همچنین این تغییرات در کاهش بارندگی هم مشهود است. همچنین، درصد تغییر دما و بارش متوسط در ۳۰ سال اخیر (۲۰۰۱ - ۱۹۷۱) که مطابق رابطه‌ی ۵ محاسبه شد، در جدول ۳ نشان داده شده است.



تصویر ۶: مقادیر حداقل و حداکثر درجه‌ی حرارت و بارندگی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 (۲۰۰۱-۱۹۷۱)



تصویر ۷: روند تغییرات درجه حرارت در دوره‌های آتی با مدل HadCM3



تصویر ۸: روند تغییرات بارندگی در دوره‌های آتی با روش کوچک مقیاس‌سازی تناسبی

جدول ۴: مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل HadCM3 در شبیه‌سازی بارندگی و دما در دوره‌ی پایه

مدل	حداکثر درجه‌ی حرارت		حداقل درجه‌ی حرارت		بارندگی	
	R ²	RMSE (%)	R ²	RMSE (%)	R ²	RMSE (%)
HadCM3	۹۹/۹۳	۱/۳۴	۹۹/۴۶	۱/۰۶	۹۸/۴۳	۹/۲۱

ماه اکتبر نسبت به دوره‌ی پایه افزایش و در بقیه‌ی ماه‌ها کاهش می‌یابد، که افزایش آن در حدود (۱/۹ میلی‌متر) و بیشترین کاهش مربوط به می، (۱۷/۴ میلی‌متر) است که نتایج کلی نشان‌دهنده‌ی کاهش در مقدار بارندگی و افزایش در مقدار دما در دوره‌های آتی است.

نتایج مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی

نوع مدل به کار رفته برای آموزش شبکه، مدل پرسپترون چند لایه، نوع شبکه‌ی به کار رفته در شبیه‌سازی، شبکه‌ی پس انتشار خطا^{۲۸} از نوع شبکه‌های پیش‌خور است. متغیرهای NCEP به کار رفته برای شبیه‌سازی شامل ncepmslpa، ncepp5thaf، ncepp850af و ncepp5uaf، ncepp8uaf است. برای شبیه‌سازی متغیر دمای بیشینه در دوره‌ی ۲۰۰۱ - ۱۹۷۱، ۴۹ بار با تعداد حداقل یک لایه‌ی پنهان با یک نورون و حداکثر ۵ لایه‌ی پنهان به صورت ۱-۲-۳-۴-۵ این برنامه با تکرار، اجرا^{۲۹} شد. بهینه‌ترین میزان خطا و ضریب همبستگی برای ۴ لایه‌ی پنهان با ساختار نورون ۶-۵-۵ به دست آمد. همچنین برای شبیه‌سازی دمای کمینه ۲۴ بار با حداقل یک لایه‌ی پنهان با ۳ نورون و حداکثر ۴ لایه‌ی پنهان با ساختار ۱-۲-۳-۵ برنامه با تکرار epoch=300، RUN شد. بهینه‌ترین میزان خطا و ضریب تبیین و همبستگی برای ساختار ۱-۳-۵ یعنی سه لایه پنهان بود. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید و با توجه به جدول‌ها و تصاویر، مقادیر خطا و ضریب همبستگی R2 به دست آمده از شبیه‌سازی مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی مقدار مناسبی برای درجه‌ی حرارت حداکثر و حداقل نشان نمی‌دهد. حداکثر مقدار مناسب جذر میانگین مربعات خطا RMSE^{۳۰} برای مدل شبکه‌ی عصبی ۵ است که مقدار RMSE به دست آمده از مدل بیشتر از این مقدار و بیشتر از مدل شبیه‌ساز SDSM است. همچنین ضریب همبستگی به دست آمده از این مدل کمتر از مدل SDSM و با عدد یک اختلاف زیادی دارد. در نهایت با توجه به نتایج تحقیق و ارزیابی مدل می‌توان اظهار داشت که استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه به منزله‌ی روشی غیرخطی در شبیه‌سازی دمای بیشینه و کمینه در این پژوهش با توجه به خطای مدل نمی‌تواند گزینه‌ای سودمند باشد و مورد توجه و بررسی قرار گیرد. در جدول ۶ نتایج دو مدل را مشاهده می‌کنیم.

بارش‌های پاییزه و زمستانه افزایش و تقریباً در بقیه‌ی فصل‌ها کاهش می‌یابد. در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱ - ۲۰۴۰، حداکثر درجه‌ی حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش یافته که بیشترین و کمترین مقدار افزایش به ترتیب ۱/۹ و ۰/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد در ماه‌های سپتامبر و می خواهد بود. حداقل درجه‌ی حرارت هم در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار افزایش ۱/۱ درجه مربوط به ژانویه و کمترین آن حدود ۰/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد در ماه آگوست است. به‌طور کلی میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در دوره‌ی ۲۰۱۱ - ۲۰۴۰، به ترتیب ۱ و ۰/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد است که میانگین افزایش کلی آن ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد است. در این دوره بارندگی در ماه آوریل افزایش و در بقیه‌ی ماه‌ها کاهش می‌یابد که این افزایش حدود ۴/۳ میلی‌متر است و بیشترین کاهش مربوط به جولای که ۱۱ میلی‌متر است.

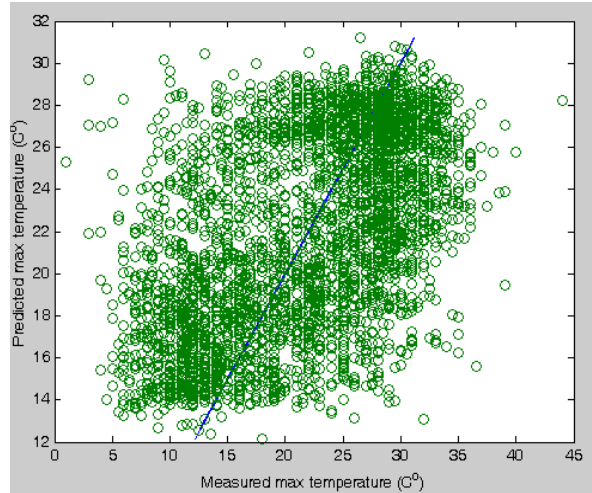
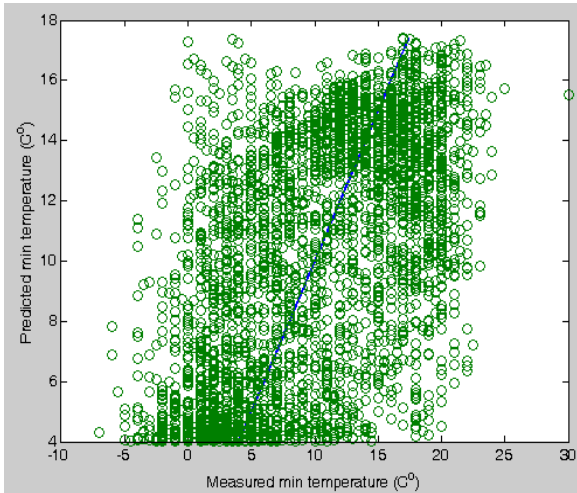
در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۱ - ۲۰۷۰، حداکثر درجه‌ی حرارت، در تمام ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین و کمترین مقدار افزایش به ترتیب ۳/۵ و ۰/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد در ماه‌های سپتامبر و می خواهد بود. حداقل درجه‌ی حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار افزایش ۲ درجه مربوط به دسامبر و کمترین آن حدود ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد در ماه نوامبر است. به‌طور کلی میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در این دوره نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب ۲/۴ و ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است که میانگین کلی افزایش آن ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد است. همچنین در این دوره بارندگی در ماه سپتامبر نسبت به دوره‌ی پایه افزایش و در بقیه‌ی ماه‌ها کاهش می‌یابد که مقدار افزایش آن حدود ۱/۳ میلی‌متر و بیشترین کاهش مربوط به می (۲۷/۴ میلی‌متر) است. در دوره‌ی زمانی ۲۰۷۱ - ۲۱۰۰، حداکثر درجه‌ی حرارت، در تمام ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین و کمترین مقدار افزایش به ترتیب ۶/۳ و ۱/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد در ماه‌های جولای و آگوست خواهد بود. حداقل درجه‌ی حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار افزایش ۴/۳ درجه مربوط به اکتبر و کمترین آن حدود ۲/۴ درجه سانتی‌گراد در ماه فوریه است. به‌طور کلی میانگین افزایش دمای حداکثر و حداقل در این دوره نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب ۴/۴ و ۳/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است، که میانگین کلی افزایش آن ۳/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد است. همچنین در این دوره بارندگی در

جدول ۵: مقادیر ارزیابی شبکه‌ی پرسپترون چند لایه بر اساس ضریب همبستگی در شبیه‌سازی متغیر درجه‌ی حرارت

متغیر شبیه‌سازی شده	معماری شبکه	R Validation	R Training	R Test	R All
دمای بیشینه	۵-۵-۶-۶	۰/۵۹۹۸۱	۰/۵۷۴۱۱	۰/۵۵۷۰۶	۰/۵۷۵۳۷
دمای کمینه	۵-۳-۱	۰/۵۴۷۳۳	۰/۵۵۵۵۱	۰/۵۷۱۵۱	۰/۵۵۶۶۴

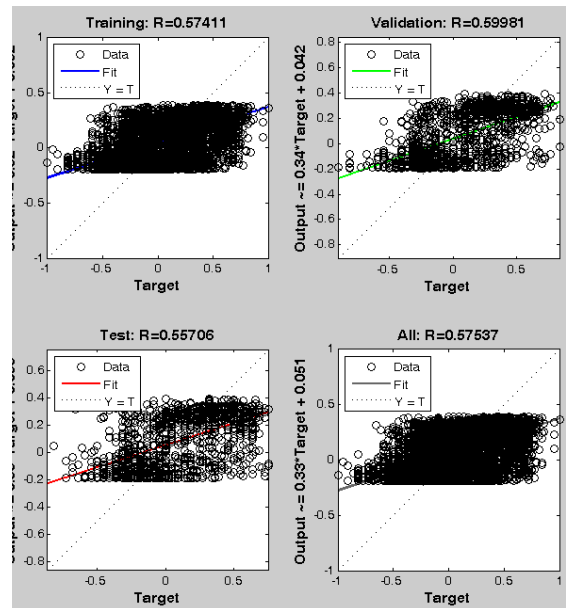
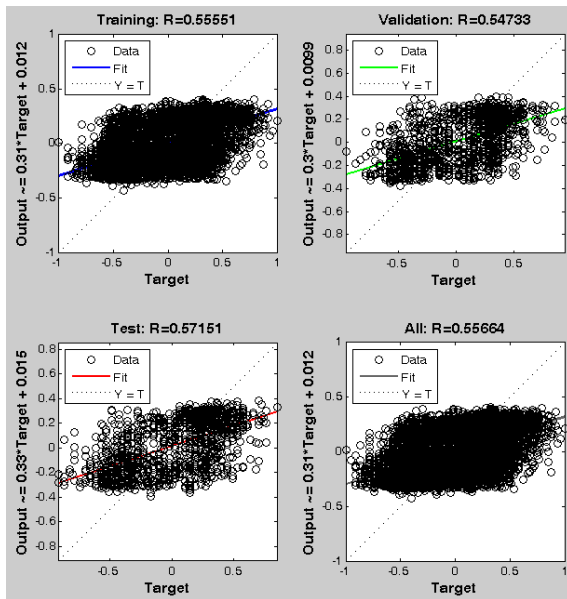
جدول ۶: مقایسه‌ی نتایج آماری دو مدل شبیه‌سازی شبکه‌ی عصبی مصنوعی و SDSM

مدل	حداکثر درجه حرارت		حداقل درجه حرارت	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
SDSM	۰/۹۹۹۳	۱/۳۴	۰/۹۹۴۶	۱/۰۶
ANN	۰/۲۷	۶/۶۲	۰/۳	۵/۶۳



تصویر ۱۰: نمودار پراکنش دمای کمینه‌ی مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل با ساختار بهینه

تصویر ۹: نمودار پراکنش دمای بیشینه‌ی مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل با ساختار بهینه



تصویر ۱۲: نمودار همبستگی آموزش، آزمون، صحت‌سنجی و کل عملکرد مدل در مقابل تابع هدف مدل Target و خروجی مورد نظر شبکه برای دمای کمینه

تصویر ۱۱: نمودار همبستگی آموزش، آزمون، صحت‌سنجی و کل عملکرد مدل در مقابل تابع هدف مدل Target و خروجی مورد نظر شبکه برای دمای بیشینه

درجه‌ی آزادی $n-2$ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بودن این همبستگی بررسی شد. همان‌طور که از جدول زیر مشاهده می‌کنیم داده‌های پیش‌بینی‌شده‌ی دما، بارش با داده‌های تاریخی همبستگی بالا و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارند. از جدول ۷ می‌توان نتیجه گرفت که کمترین همبستگی

نتایج نمودار پراکنش^{۳۱} و همبستگی دمای بیشینه و کمینه بررسی میزان همبستگی^{۳۲} داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده برای بررسی میزان همبستگی داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده‌ی آینده با استفاده از معادله‌ی رگرسیون و ضریب همبستگی R^2 و مقایسه‌ی آن با مقادیر جدول همبستگی با

جدول ۷: میزان ضریب همبستگی میان داده‌های پیش‌بینی شده و تاریخی

دوره‌ی زمانی	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارش
۲۰۱۱-۲۰۴۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
۲۰۴۱-۲۰۷۰	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۸۸
۲۰۷۱-۲۱۰۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۵

میان داده‌های تاریخی و مشاهداتی برای پارامتر بارش در دوره‌ی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ است.

بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش بر وقوع سیلاب در دوره‌های آینده

با توجه به نتایج به دست آمده از مدل اقلیمی SDSM بارش زمستانه و پاییزه افزایش و دما دارای یک روند صعودی است، بنابراین احتمال وقوع سیلاب در سال‌های آتی به دلیل افزایش دما و افزایش ذوب برف و افزایش بارندگی رو به افزایش است. همچنین در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و در ماه‌هایی مانند سپتامبر یعنی در اواخر فصل تابستان که درجه‌ی حرارت افزایش چشم‌گیری دارد، ذوب برف افزایش می‌یابد و احتمال وقوع سیلاب در منطقه رو به افزایش است. همچنین بارندگی در ماه آوریل افزایش یافته که در این ماه در دوره‌ی زمانی فوق در اثر افزایش بارش احتمال وقوع سیلاب افزایش می‌یابد. همچنین در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ حداکثر درجه‌ی حرارت در تمامی ماه‌های سال به‌ویژه ماه سپتامبر و دسامبر افزایش می‌یابد، بنابراین در این ماه‌ها به علت ذوب برف احتمال وقوع سیلاب رو به افزایش است و همچنین میزان بارش در ماه سپتامبر نسبت به دوره‌ی پایه در این دوره‌ی زمانی رو به افزایش است، بنابراین میزان سیلاب با افزایش بارش در این ماه رو به افزایش است. در دوره‌ی زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ حداکثر درجه‌ی حرارت به‌ویژه در ماه جولای و اکتبر رو به افزایش است، بنابراین با افزایش ذوب برف در این ماه‌ها بیشترین احتمال وقوع سیلاب وجود دارد. همچنین با افزایش میزان بارندگی در ماه اکتبر در دوره‌ی زمانی فوق میزان احتمال وقوع سیلاب افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مؤثر در احتمال وقوع سیلاب در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ باید تمهیدات آموزشی، سازهای و غیرسازهای برای مقابله با وقوع بحران سیلاب و مدیریت آن تدارک دیده شود. همچنین اماکن استراتژیک و حساس نظامی، کارخانجات و تأسیسات حساس در مناطق مرتفع و ایمن و با ضریب مقاومت بالا در برابر وقوع حوادث غیر مترقبه احداث شود. همچنین آموزش‌های لازم برای برخورد پرسنل با این حوادث طی سال‌های آتی داده شود.

مدیریت بحران سیلاب^{۳۳} و کاهش خسارات ناشی از آن

اقدامات مربوط به جلوگیری از زیان‌های سیلاب و مدیریت آن سعی بر آن دارد که اثرات سیلابی شدن را بر شرایط اجتماعی و اقتصادی که در اثر تغییر کاربری حوضه‌ی آبریز و به‌ویژه استفاده از سیلاب‌دشت به وجود آمده، کاهش دهد. اقدامات جامع مدیریت و جلوگیری از زیان‌های سیل شامل دو دسته اقدامات سازهای و غیرسازهای (مدیریتی) است. اقدامات سازهای، همانند بهسازی

آبراه، ذخیره‌ی سیلاب و احداث گوره عموماً برای کاهش وقوع سیل یا جلوگیری از توسعه‌ی سیل‌زدگی انجام می‌گیرند. در حالی‌که، اقدامات غیرسازهای، همانند بیمه‌ی سیل، طرح‌های هشدار سیل، پهنه‌بندی سیلاب‌دشت و یا ترکیبی از آن‌ها در اصل برای کاهش خسارات سیلاب است. روش‌های غیرسازهای، حساسیت به سیلاب و اثر آن را کاهش می‌دهد. برنامه‌ریزی برای کاربری اراضی، حفاظت ساختمان‌ها، پیش‌بینی و هشدار سیل و ساماندهی اسکان، از اقدامات اصلی است که حساسیت به سیل‌زدگی را بهبود می‌بخشد. بیمه‌ی سیلاب، جبران خسارت سیلاب، اطلاع‌رسانی و آموزش، اقدامات اصلی مربوط به بهبود اثرات سیل‌زدگی را تشکیل می‌دهند. چنان‌که کاهش زیان‌های آینده به دارایی‌ها (مستحداث، املاک) و زندگی انسان مورد نظر باشد، در این صورت باید به شیوه‌هایی تأکید کرد که دارای ظرفیت بالا برای رسیدن به این هدف‌ها باشد. فرمول‌بندی یک برنامه‌ی کاهش خسارت سیلاب که دارای چارچوب تعریف شده باشد، شامل ترکیب بهینه‌ای از روش‌های مختلف خواهد بود. بدیهی است که این اقدامات به طور معمول ترکیبی از اقدامات مربوط به هر دو گروه سازهای و غیرسازهای است.

اقدامات سازهای شامل روش‌های زیر است:

۱. گوره‌ها و دیوارهای سیل‌بند؛
۲. بهسازی آبراه؛
۳. انحراف سیلاب؛
۴. حوضچه‌های تأخیری و اراضی ویژه‌ی ذخیره‌ی سیلاب؛
۵. مخازن تسکین سیلاب.

اقدامات غیرسازهای

شامل مدیریت کاربری اراضی، ساماندهی اسکان و پاک‌سازی سیلاب‌دشت، بهسازی شرایط حوضه‌ی آبریز و ذخیره‌ی آب در محل، پیش‌بینی و هشدار سیل، اطلاع‌رسانی و آموزش مردم، ایمن‌سازی انفرادی ساختمان‌ها، تخلیه‌ی مناطق در خطر، سیل‌ستیزی، امداد رسانی بعد از سیلاب (امداد سیلاب)، بیمه‌ی سیل، سازگاری با سیلاب، محدودسازی سیلاب، انحراف سیلاب. یک طرح سازهای کنترل سیلاب باید بتواند معیارهای زیر را پوشش دهد:

۱. بهترین روش اجرایی برای پایش سیل باشد؛
۲. بهترین محل اجرای تأسیسات پایش سیل باشد؛
۳. مناسب‌ترین اندازه و بزرگی این تأسیسات را داشته باشد؛
۴. بهترین روش نگهداری و بهره‌برداری از تأسیسات را داشته باشد.

برای تعیین گزینه‌ی برتر برای اجرای طرح، در قدم اول ابتدا گزینه‌های متعدد برای پایش سیلاب با موقعیت، اندازه‌ی سازه و وضعیت بهره‌برداری مختلف ارائه و معرفی می‌گردند. سپس هر یک از گزینه‌ها با یک معیار اقتصادی حاصل از میزان کاهش خسارت‌های سیل و هزینه‌های سرمایه‌گذاری سنجیده می‌شود. طرح‌های پایش سیلاب در مرحله‌ی مطالعات به صورت گزینه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. هدف از این مطالعات، عمدتاً شناسایی

یک طرح پایش سیلاب است که با سه معیار کلیدی زیر هم‌خوانی داشته باشد:

۱. سود خالص مثبت داشته باشد؛
۲. استانداردهای حفاظت از محیط‌زیست را رعایت نماید؛
۳. منافع محلی منطقه را برآورده سازد.

این هدف ابتدا از طریق انجام مطالعات مهندسی رودخانه و سپس تحلیل اثرات سیلاب برای وضعیت موجود و یا به عبارتی «بدون در نظر گرفتن پروژه» تحقق می‌یابد. در این بررسی میزان کاهش خسارت‌ها با اجرای طرح نسبت به وضعیت موجود، منافع اجرای طرح را تشکیل می‌دهد و با در نظر گرفتن هزینه‌های اجرای طرح، شاخص‌های اقتصادی تعیین می‌گردد که می‌تواند اجرای یک طرح را توجیه یا رد نماید. عمده‌ی فعالیت‌های این‌گونه مطالعات را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. تحلیل داده‌های سیلاب برای تعیین بزرگی سیلاب با دوره‌های بازگشت؛ ۲. جمع‌آوری خسارت سیلاب‌های تاریخی و پایش مستحدمات موجود در سیلاب‌دشت؛ ۳. ارائه‌ی گزینه‌های سازه‌ای پایش سیلاب؛ ۴. بازبازرسی‌ها و بررسی‌های میدانی؛ ۵. مدل‌سازی هیدرولیکی برای برآورد ترازهای سیلاب و تعیین استانداردهای حفاظتی مورد نیاز؛ ۶. تحلیل سود/هزینه به همراه ریسک وقوع و محاسبه‌ی شاخص‌های اقتصادی.

طرح جامع آموزش پیش‌گیری از وقوع سیل و کاهش خسارت ناشی از آن، اولین گام برای هم‌زیستی با سیل برای اقشار مختلف

هدف از این قسمت بالا بردن سطح آگاهی و ایمنی افراد جامعه در برابر خطر سیل است و با شناخت مخاطبان، شیوه‌ی آموزش و مواد آموزشی مناسب هر گروه تعیین می‌گردد تا آموزش‌ها و اطلاعاتی که به جامعه منتقل می‌شود ضایعات و خسارات ناشی از بروز سیل را به حداقل برساند. در نهایت راهکارهای آموزشی برای پیش‌گیری و کاهش خسارات سیل را می‌توان به اختصار به شرح ذیل ارائه داد:

- بررسی علل سیل‌خیزی، ایجاد سیل و ارائه‌ی احکام برای آموزش مسئولان مرتبط از طریق بررسی پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده؛
- آموزش مدیریت بحران (قبل، حین و پس از وقوع) با توجه به مسائل سیل؛
- بررسی پهنه‌های خطر سیل و تعیین اولویت‌ها برای اجرای دوره‌های آموزشی؛
- شناسایی مسائل آموزشی قابل عرضه در رسانه‌ها به شکل ملی؛
- تدوین احکام آموزشی برای آشنایی گروه‌های مخاطب با هدف کاهش خسارات سیل؛
- آموزش روش‌های عملی اعلام خطر سیل (هشدار).

فعالیت‌های پیش از وقوع سیل عبارتند از:

- مدیریت ریسک سیلاب برای عواملی که باعث ایجاد سیل می‌شود؛
- ایجاد راه‌هایی برای فرار از سیل؛
- ساخت سازه‌های مقابله با سیل در هر دو حالت فیزیکی و

سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیل؛

- نگهداری سازه‌های مقابله با سیل؛
- برنامه‌ها و مدیریت کاربری اراضی در کل حوزه؛
- جلوگیری از توسعه‌ی ناموزون سیلاب‌دشت؛
- ارتباطات و آموزش‌های عمومی در هنگام وقوع سیل.

فعالیت‌های لازم در هنگام وقوع سیل را می‌توان در چهار گروه زیر خلاصه کرد:

- پایش شکل‌گیری سیل (هواشناسی و هیدرومتری)؛
- پیش‌بینی شرایط آینده‌ی جریان رودخانه از مشاهدات هواشناسی؛
- هشدار سیل به مسئولان اجرایی و عموم مردم؛
- نحوه‌ی برخورد مسئولان و مردم در مقابله با سیل.

فعالیت‌های پس از وقوع سیل عبارتند از:

- تسکین افرادی که از این حادثه تأثیر پذیرفته‌اند؛
- بازسازی اماکن، ساختمان‌ها و سازه‌های مقابله با سیل که دچار آسیب شده‌اند؛
- بازیافت و بازسازی محیط‌زیست و فعالیت‌های اقتصادی در منطقه‌ی سیل‌زده؛
- مرور فعالیت‌های مدیریت سیل به منظور بهبود روش‌ها و روند کارها برای حوادث مشابه بعدی.

اجزای تحت اثر ریسک

۱. آسیب‌های انسانی مهم‌ترین بخش تحت اثر سیل هستند. در تعیین آسیب‌پذیری این بخش‌ها باید دقت شود که آسیب‌پذیری این دسته عموماً قابل قیمت‌گذاری نیست؛
۲. ساختمان‌ها و دارایی‌ها و محصولات دومین بخشی هستند که تحت تأثیر ریسک سیلاب هستند. خسارت‌های وارد شده بر این بخش عموماً مشخص و قابل محاسبه است؛
۳. آلودگی اکولوژیک و تخریب محیط‌زیست نیز از جمله صدماتی است که اغلب در درازمدت اثر آن‌ها ظاهر می‌شود. برخی از صدمات این دسته قابل قیمت‌گذاری و برخی غیرقابل محاسبه است.

استراتژی‌های مدیریت سیلاب

مدیریت کلان کشور معمولاً برای کاهش خسارات در زمان وقوع بلایای طبیعی با اعمال مدیریت بحران در صدد نشان دادن واکنش و متعاقب آن جبران خسارات و بازسازی آن‌ها است. این نوع مدیریت دو اشکال عمده دارد، یکی تلفات و خسارات زیاد و دیگری صرف منابع مالی زیاد برای جبران خسارات، به طوری که در اغلب سال‌های گذشته در حدود ۷۰ درصد اعتبارات سالانه‌ی طرح کاهش اثرات بلایای طبیعی و ستاد حوادث غیرمترقبه‌ی کشور صرف جبران خسارات ناشی از سیلاب شده است. ریسک سیلاب که حاصل ضرب احتمال سیلاب در خسارات آن است، با توسعه‌ی اقتصادی افزایش می‌یابد، چرا که با توسعه‌ی اقتصادی خسارات بالقوه افزایش خواهند یافت. ریسک سیلاب از طرفی تابع خطرات سیلاب و از طرف دیگر تابع پیامدهای پس از وقوع آن است. کمینه

کردن پیامدهای پس از وقوع سیلاب یا به عبارت دیگر فراگیری زندگی با سیلاب‌ها به جای کاهش خطرات سیلاب، روش دیگری برای کاهش ریسک سیلاب است. در این روش اجازه داده می‌شود که سیلاب نواحی مشخصی را فراگیرد و در عین حال اثرات سیلاب با تنظیم کاربری مناسب اراضی کمینه می‌گردد. چنین تدابیری، استراتژی انعطاف‌پذیر نامیده می‌شود. این روش‌ها به جای کنترل خطرات سیلاب بر مدیریت ریسک تکیه دارند. مدیریت ریسک سیلاب دربرگیرنده‌ی عدم قطعیت‌های بسیاری است و نمی‌توان زمان و محل وقوع سیلاب‌ها را پیش‌بینی نمود. همچنین عدم قطعیت‌هایی در رابطه با مقاومت سازه‌ها، رفتار فیزیکی سیستم رودخانه‌ای، واکنش مردم و پیامدهای سیلاب وجود دارد. اما با وجود تمام این عدم قطعیت‌ها، مدیران باید برای بهبود مدیریت ریسک سیلاب تلاش کنند. مدیریت ریسک سعی دارد با یک تلاش جامع، رویدادهای ریسک، قبل از وقوع آن‌ها شناسایی و پایش گردند یا برنامه‌ای تهیه شود که در زمان وقوع این رویدادها با آن‌ها مقابله شود. مدیریت ریسک سیلاب یکی از اصول توسعه‌ی پایدار است. بدین معنی که در مدیریت ریسک سیلاب، فرایندهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی باید مد نظر قرار گیرند. توسعه‌ی پایدار نیازمند استفاده‌ی بهینه از محیط، رعایت عدالت برای تمام گروه‌های اجتماعی در حال حاضر و در آینده و حفظ منابع طبیعی است. علاوه بر این یک سیستم برای پایدار بودن باید توان تحمل اغتشاشات نامشخص مانند سیلاب‌های شدید و نوسانات جریان را داشته باشد. چگونگی تحمل سیلاب‌های شدید مبحث اصلی در مدیریت ریسک سیلاب است. برای بهبود مدیریت ریسک سیلاب و برای تلفیق کردن بهتر آن با مبحث توسعه‌ی پایدار، باید کل حوزه‌ی رودخانه را به‌منزله‌ی یک سیستم در نظر گرفت. جوامعی که در مناطق سیل‌گیر زندگی می‌کنند، جزئی از این سیستم هستند، زیرا اثرات سیلاب و بازیابی پس از سیلاب بستگی به این جوامع دارد. علاوه بر این، نگرش به ریسک، عدم قطعیت‌ها، مسئولیت‌ها، طبیعت و بنابراین انتخاب یک استراتژی مشخص در مدیریت ریسک سیلاب برای جوامع مختلف متفاوت است. سیستم اجتماعی- اقتصادی مناطقی که تحت اثر سیلاب قرار می‌گیرند، جزئی از یک سیستم اجتماعی- اقتصادی بزرگ‌تر هستند. بنابراین در صورت لزوم روابط آن‌ها در مقیاس‌های بزرگ‌تر باید مدنظر قرار گیرد. دانش مهندسان برای به کمین در آوردن خطرات و عدم قطعیت‌ها و طراحی تمهیدات سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما برای تعیین پیامدهای سیلاب، برای دانستن اینکه سیستم در مقابل چه سیلاب‌هایی توان بازیابی دارد و سرعت بازیابی آن به چه میزان است به دانش جامعه‌شناسان نیاز است.

انعطاف‌پذیری و مقاومت در مدیریت سیلاب

به‌طور کلی روش‌های مختلف مدیریت سیلاب را می‌توان در چهار دسته طبقه‌بندی نمود:

۱. تلاش برای کاهش سیلاب؛
۲. تلاش برای کاهش آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب؛

۳. تلاش برای کاهش خسارات؛

۴. ایجاد آمادگی برای تحمل خسارات.

- استراتژی‌های مختلف پیشنهاد شده در زمینه‌ی استراتژی‌های انعطاف‌پذیر عبارتند از:
- الف. بازگرداندن اراضی رودخانه؛
 - ب. برنامه‌ریزی کاربری اراضی؛
 - ج. قطعات سیل‌گیر؛
 - د. پیش‌بینی و هشدار سیلاب؛
- در این حالت از تکنولوژی‌های جدید مخابراتی، مدل‌های ریاضی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای برآورد هیدروگراف سیلاب روندیابی آن و تخمین محدوده‌ی سیل استفاده می‌شود.
- ه. برنامه‌ریزی تخلیه‌ی ساکنان؛
 - و. بیمه‌ی سیلاب.

نقش آموزش و ارتباطات در ارتقای آگاهی‌های عمومی با هدف مدیریت ریسک سیلاب

مدیریت ریسک در واقع پروسه‌ی سنجش و ارزیابی ریسک و پس از آن توسعه‌ی راهکارهایی برای مدیریت آن است. معمولاً راهکارهایی که به این منظور به کار گرفته می‌شوند شامل انتقال ریسک به گروه‌های دیگر، اجتناب از ریسک، کاهش اثرات منفی ریسک و یا پذیرفتن مقداری از پیامدهای ریسک یا کل آن است. مراحل مختلف مدیریت ریسک عبارتند از شناسایی، ارزیابی، برخورد با ریسک، طرح‌ریزی، اجرا و بازبینی و ارزیابی طرح. با آموزش و اطلاع‌رسانی عمومی از طریق وسایل ارتباط جمعی مانند مطبوعات، رادیو، تلویزیون و امروزه اینترنت، می‌توان آگاهی عمومی جامعه در مورد فراگیری زندگی با رودخانه و سیلاب و استراتژی‌های انعطاف‌پذیر مدیریت ریسک سیلاب را افزایش داده و افکار عمومی جامعه را برای انعطاف در مقابل سیلاب و خسارات ناشی از آن و در نتیجه کاهش خسارات سیلاب آماده کرد و عدم قطعیت‌های سیستم اجتماعی- اقتصادی را کاهش داد.

راهکارهای کاهش خسارات سیلاب

آنچه که چالش اصلی در مدیریت مخاطرات طبیعی چون سیلاب شناخته شده است، مدیریت بخشی مخاطرات است. نبود سیستم مدیریت جامع‌نگر که اساس آن را شناخت و ارزیابی دقیق تأثیر وقایع و بلایای طبیعی خصوصاً سیلاب در چهارچوب توسعه‌ی پایدار تشکیل می‌دهد، صورت دیگری از این بیان است. دیدگاه مدیریت جامع را می‌توان سیاست «پیش‌گیری قبل از درمان» دانست که متأسفانه کمتر در کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته و تا حدی در کشورهای توسعه یافته به آن توجه می‌شود. در مدیریت جامع پدیده‌ای چون سیلاب باید فرایند به صورت پایان به پایان^{۳۴} و زنجیره‌ای مورد توجه باشد. این اقدامات شامل همه‌ی مراحل قبل از وقوع سیلاب، در طی وقوع سیلاب و پس از وقوع آن می‌شود. تأکید این دیدگاه مدیریت رسیدن به راه حل‌های عملی- اجرایی مناسب و با نگاه به توسعه‌ی پایدار است. مدیریت جامع منابع آب راهکار اساسی در کاهش خسارات سیلاب است و وجوه زیر را شامل می‌شود: ۱. ذخیره‌ی آب و سلامت؛ ۲. آب و کشاورزی؛

۳. آب و تنوع زیستی؛ ۴. آب و انرژی؛ ۵. کاهش مخاطرات ناشی از آب مانند سیلاب و خشکسالی.

از مسائل اصلی دیگر بی‌توجهی سیاست‌مداران و دولت‌مردان کشورها به تأثیر مثبت سرمایه‌گذاری در بخش مدیریت جامع سیلاب و اجرای اقدامات پیش‌گیرانه است. امروزه جذب اعتبارات برای انجام کمک‌های اورژانس (فوری) و احیا و بازسازی مناطق خسارت‌دیده به مراتب راحت‌تر از جذب اعتبارات برای انجام عملیات پیش‌گیرانه‌ی سیلاب، به‌طور مثال مدیریت کاربری اراضی و سیستم‌های هشدار سیل است. تغییر دیدگاه مدیریتی از مدیریت بخشی به مدیریت جامع‌نگر نیاز اصلی و اساسی کاهش خسارات ناشی از سیلاب است که رسیدن به این نقطه نیازمند شناخت عناصر و فاکتورهای اصلی در مدیریت جامع‌نگر سیلاب است.

عوامل اصلی مؤثر در مدیریت سیلاب

شامل مدیریت ریسک، استفاده از تکنولوژی‌های تخصصی، مدیریت دشت سیلابی، مدیریت حوضه‌های آبخیز، تغییرات اقلیمی، توسعه‌ی سیاست‌گذاری‌ها و استراتژی‌های کاربردی، آمادگی و واکنش سریع است.

شناخت عوامل مؤثر در مدیریت سیلاب می‌تواند در نهایت منجر به ارائه‌ی راهکارهای کاهش خسارت سیلاب شود که به صورت فهرست‌وار در ذیل آمده است:

- تبیین مفهوم مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز؛
- تدوین سند توسعه‌ی حوضه‌های آبخیز بر اساس دیدگاه‌های مدیریت جامع‌نگر؛
- مدیریت کاربری اراضی و استفاده از آن بر اساس قابلیت‌های موجود و مطابق با استانداردهای آمایش سرزمین؛
- توسعه‌ی استراتژی‌های ملی در زمینه‌ی استفاده‌ی مناسب از اراضی؛
- ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز و اولویت‌بندی آن‌ها برای تسهیل و بهبود مدیریت سیلاب؛
- تهیه و تدوین سند توسعه‌ی پهنه‌های سیلاب‌دشت بر اساس ارزیابی ریسک وقوع سیلاب؛
- توسعه‌ی کاربرد تکنولوژی‌های تخصصی و تربیت متخصصان؛
- تأسیس یک نهاد مستقل برای مدیریت واحد سیلاب و پرهیز از موازی‌کاری سازمانی؛
- تأکید و توسعه‌ی روش‌های غیرسازه‌ای مبارزه با سیلاب؛
- تهیه و تدوین نظام مهندسی سیلاب با هدف پایش و نظارت بر اقدامات کنترل سیل و افزایش اثر بخشی آن‌ها؛
- توسعه‌ی پایگاه‌های جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی و مرکز پیش‌بینی سیلاب؛
- توسعه‌ی سیستم‌های هشدار سیل؛
- توسعه‌ی همکاری‌های بین‌المللی با سازمان‌ها و گروه‌های کاری فعال در زمینه‌ی سیلاب.

نحوه‌ی ارزیابی ریسک در حوادث سیل

ریسک همان خطر است، با دارا بودن درجه‌ی احتمال وقوع آن. خطر ارزیابی ریسک یعنی معین نمودن پتانسیل خسارت برای مقادیر بیمه‌شده که با ارزیابی و فراوانی‌ها و احتمالات همراه خواهد بود و اساس کار برای شرکت‌های بیمه خواهد بود. روش محاسبه‌ی خسارت مورد انتظار سالیانه‌ی ریسک سیلاب تا حدی در خود وارد می‌شود ولی ارزیابی دقیق به لحاظ نمودن خصوصیات موارد بیمه‌شده و شروط آن نیاز دارد.

سیاست‌گذاری کاهش خطرات سیل

تنظیم و فرموله کردن سیاست‌گذاری کاهش خطرات سیل، شامل مقادیر بهینه‌ی تمهیدات مختلف کاهش خطرات سیل است که عبارتند از:

- ظرفیت‌های بهینه‌ی مخازن و آبراهه‌ها؛
- اندازه‌های بهینه‌ی سیستم‌های سیل‌بندها؛
- تمهیدات بهینه‌ی کاربری اراضی؛
- مقادیر بهینه‌ی حق بیمه‌ی دریافتی سیل؛
- سرمایه‌گذاری‌های بهینه در شبکه‌ی هشدار سیل و مقاوم‌سازی در برابر سیل.

مقاوم‌سازی در برابر سیل

تغییرات در ساختمان‌ها، سازه‌ها و اطراف آن‌ها را، به نحوی که خسارات ناشی از سیل در آن بنا کاهش یابد، مقاوم‌سازی گویند. این تعریف به وضوح مشخص می‌کند که در عمل مقاوم‌سازی در برابر سیل، هر گونه اقدامی در ابعاد فیزیکی ساختمان اعمال می‌شود تا آسیب‌پذیری در مقابل سیل را به حداقل برساند. در بدو احداث بنا بالا بردن تراز همکف بنا و استفاده از مصالح مقاوم به سیل و هر گونه اقدام از این دست، مقاوم‌سازی در برابر سیل به شمار می‌آید. در بسیاری از شرایط، تمام این راهبردها به صورت جامع یا انفرادی اعمال می‌گردد. این بدان معناست که تمهیدات سازه‌ای موجب کاهش خطرات سیل از نظر زمانی می‌شود. باید در نظر داشت که مقاوم‌سازی در برابر سیل به مقدار بسیار زیادی به مشارکت عمومی و سرمایه‌گذاری عمومی و یا شخصی یا هر دو نیازمند است. محافظت از سیل نیز به مشارکت عمومی نیاز دارد اما سرمایه‌گذاری زیادی را از بخش عمومی می‌طلبد. در مورد تمهیدات لازم برای پیشبرد اقدامات مقاوم‌سازی در برابر سیل، موارد زیر قابل ذکر است:

- تمهیدات فردی و جامعه؛
- تمهیدات (دولت) محلی؛
- تمهیدات منطقه‌ای و ملی.

ساختمان‌های عمومی و صنعتی

اولاً باید مطمئن شد که پی ساختمان توان تحمل شرایط سیلابی با سطح ایستابی بالای آب‌های زیرزمینی را دارد. ثانیاً ساختمان‌های بلند باید در مقابل تراز بالای سیلاب‌ها فشار امواج و نیروهای حاصل از جریان مقاومت داشته باشد. در بسیاری از کشورها اسکلت ساختمان‌ها بتونی یا فولادی است و به راحتی تنش‌های ناشی از سیل را تحمل می‌کنند. طبقه‌ی همکف را می‌توان برای پارکینگ وسایل نقلیه، اتاق‌های انتظار و غیره

استفاده کرد که در مواقع سیلابی خسارت چندانی وارد نشود. واضح است که تأسیسات صنعتی با ارزش، در صورت امکان هرگز نباید در طبقه‌ی همکف قرار گیرند. نکته‌ی مهم دیگر این است که دسترسی به ساختمان در مواقع سیلابی باید به راحتی امکان‌پذیر باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

طبق نتایج آزمون‌های ناپارامتری روند معنی‌داری در تغییرات داده‌های هواشناسی منطقه وجود دارد و پدیده‌ی تغییر اقلیم در منطقه رخ داده است. مدل SDSM در دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۷۱-۲۰۰۱ در شبیه‌سازی درجه‌ی حرارت از قابلیت نسبتاً خوبی برخوردار است. همچنین مدل در شبیه‌سازی درجه‌ی حرارت حداقل به دلیل خطای کمتر، نسبت به دمای حداکثر عملکرد بهتری دارد. اما در مورد بارندگی، عملکرد مدل پایین است، چون مقدار خطای آن بالا است و بهتر است از طریق روش کوچک مقیاس‌سازی تناسبی داده‌های بارش مدل GCM را در مقیاس منطقه‌ای کوچک مقیاس کنیم. بنابراین در مدل SDSM و روش کوچک مقیاس‌سازی تناسبی داده‌های پیش‌بینی شده‌ی بارندگی و دمای آینده، همبستگی بالایی با داده‌های تاریخی دارد. نتایج کلی نشان‌دهنده‌ی کاهش در مقدار بارندگی و افزایش در مقدار دما در دوره‌های آتی است. در این پژوهش استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه به دلیل مقدار خطای RMSE بالا و ضریب همبستگی پایین به عنوان روشی غیر خطی در شبیه‌سازی دمای بیشینه و کمینه نمی‌تواند به منزله‌ی گزینه‌ای سودمند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و در این مدل داده‌های پیش‌بینی با داده‌های تاریخی همبستگی بالایی نداشتند. بنابراین به نتایج شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای بیشینه و کمینه توسط مدل SDSM بسنده می‌کنیم. همچنین به علت افزایش دما و بارش در برخی فصول سال در دوره‌های زمانی آتی به دلیل ذوب برف در اثر افزایش دما در انتهای فصل تابستان و ابتدای پاییز و افزایش بارش در فصل زمستان و پاییز میزان احتمال وقوع سیلاب در این فصول از سال رو به افزایش است. می‌توان به این نکته اشاره کرد که پیش‌بینی سازمان هواشناسی کشور با صدور به موقع اطلاعیه‌ها و پیش‌آگاهی‌ها تأثیر قابل توجهی در کاهش خسارات ناشی از سیل دارد. مسئولان و مقامات درگیر باید از این اطلاعیه‌ها و پیش‌آگاهی‌ها استفاده کرده و اقدامات بایسته را برای مقابله با سیل و آمادگی برای بازیافت شرایط عادی انجام دهند. همچنین برای آگاهی سریع مردم از احتمال وقوع سیل اعلام از طریق رسانه‌های گروهی باید صورت گیرد و تمام افراد اجتماع با توجه به رسالت آموزش همگانی آموزش‌های عمومی آمادگی در برابر سیل را فرا گیرند، لذا از طریق تعمیم آموزش به گروه‌های مختلف مذکور باید برای انجام این رسالت حرکت کرد. تعدادی از گروه‌های مخاطب علاوه بر آموزش‌های عمومی، در برخی موارد نیازمند آموزش‌های تخصصی هستند، لذا ارگان‌های ذی‌ربط موظف به برنامه‌ریزی این آموزش‌ها خواهند بود. با توجه به اینکه درصد زیادی از عموم مردم را کارکنان شاغل دولتی و نیمه‌دولتی و

نظامی تشکیل می‌دهند، با طراحی و اجرای این آموزش‌ها خواه به صورت مستقل و خواه در قالب نظام آموزشی ضمن خدمت موجود در مراکز می‌توان کمک مؤثری در تعمیم آموزش آمادگی در برابر خطر سیلاب کرد. همچنین نقش آموزش در امر پیش‌گیری به‌ویژه کاهش خسارات به هنگام بروز سوانح طبیعی، بر لزوم اقدام جدی در امر اطلاع‌رسانی و آموزش تأکید می‌کند، زیرا تأثیرات آموزش در زمینه‌ی پیش‌گیری از سیل مؤثرتر از حوادث دیگری نظیر زلزله است. همان‌گونه که در وقوع سیل عملکرد انسانی یکی از عوامل اصلی است، کاهش خسارات ناشی از وقوع سیل و چگونگی اقدام در برابر آن، از علل وقوع آن جدی‌تر و نقش آموزش در این آگاه‌رسانی مهم‌تر است. در نتیجه حتی امکان باید سعی شود مواد آموزشی تدوین شده با خصوصیات مناطق مختلف کشور از حیث سیل‌خیزی مطابقت داشته باشد. اجرای دوره‌های آموزشی خواه در قالب دوره‌های مستمر خواه به صورت یک واحد می‌تواند بستر مناسبی برای آموزش باشد. برای این منظور بسط و مشارکت بیمه‌اتکایی به منظور افزایش توان مالی بیمه‌ی خسارت حوادث غیرمترقبه با شرکت‌های بیمه‌ی معتبر جهانی و اتحادیه‌ها و سازمان‌های ملی و بین‌المللی و توسعه‌ی اقدامات پیش‌گیرانه و ایجاد سیستم‌های هوشمند و هشدار از طریق ممکن به منظور کاهش خسارات و بهره‌گیری از نظام خدمات بیمه‌ی مشترک برای سرشکن نمودن خسارات بزرگ توسط شرکت‌های بیمه توصیه می‌شود. همچنین احداث سازه‌های مکانیکی کنترلی و مانع و کاهنده‌ی قدرت تخریبی عامل خطر خصوصاً سیل در مناطق سیل‌خیز و پخش آن در سفره‌های زیرزمینی و استفاده‌ی بهینه در زمینه‌های تولیدی مختلف پیشنهاد می‌گردد. به هنگام دریافت پیش‌آگاهی توسط مسئولان ذی‌ربط، این پیش‌آگاهی می‌تواند به آمادگی سریع و امکانات مطلوب منجر شود و چنانچه ستاد حوادث غیرمترقبه باید دستورالعمل‌هایی در این رابطه به مناطق مورد نظر بدهد، بهتر است ابتدا پیش‌آگاهی صادره از سازمان هواشناسی را به مناطق ارسال کند و سپس با عنوان دیگری دستورالعمل‌های لازم را صادر کند تا در مطلع شدن مناطق محتمل متأثر از سیل تأخیری ایجاد نشود. رسانه‌های گروهی در اکثر کشورهای پیشرفته‌ی جهان، کانال ویژه‌ای از تلویزیون و رادیو و همچنین ستونی از روزنامه‌ها را به اخبار هواشناسی اختصاص می‌دهند که می‌توان از همین رسانه‌ها علاوه بر ارائه‌ی اخبار هواشناسی و یا اطلاعیه‌های وضع هوا، نحوه‌ی مقابله با حوادثی که از وضع هوا ناشی می‌شود از جمله سیل به مردم آموزش داد. آگاه کردن مردم، چنانچه با آموزش قبلی صورت گرفته باشد وحشت و اضطراب در آن‌ها ایجاد نمی‌کند، به همین دلیل می‌توان از مردم برای مهار کردن سیل و یا تخلیه‌ی سریع در محل وقوع کمک گرفت. چون سیل‌های تابستانی در مناطق خاص (جنوب شرقی ایران و نوار شمالی کشور) و سیل‌های زمستانی نیز بیشتر در شمال غرب، غرب و جنوب کشور واقع می‌شوند، می‌توان امکانات امدادی را در فصل‌های مناسب با سیل در آن مناطق مستقر ساخت تا در هنگام وقوع سیل هر چه سریع‌تر اقدامات امدادی انجام شود. همچنین در مدیریت بحران سیلاب می‌توان به اقدامات زیر اشاره کرد: بررسی علل سیل‌خیزی،

28. back propagation
 29. Run
 30. Root Mean Square Error
 31. Scatter Plot
 32. Correlation
 33. Flood Emergency Management
 34. End-to-End
۳۵. کدنویسی شبکه‌ی عصبی مصنوعی ANN با MATLAB2010

```
%%
%standardize between 0-1
I
a =min (I);
b =max (I);
s = [I(1:11316,1)-a(1),I(1:11316,2)-
a(2),I(1:11316,3)-a(3),I(1:11316,4)-
a(4),I(1:11316,5)-a(5),I(1:11316,6)-a(6)];
g = b-a;
h = [s(1:11316,1)./g(1),s(1:11316,2)./
g(2),s(1:11316,3)./g(3),s(1:11316,4)./
g(4),s(1:11316,5)./
g(5),s(1:11316,6)./g(6)];
I = (2*h)-1;
T
c =min (T);
d =max (T);
k = [T(1:11316,1)-c(1)];
l = d-c;
w = [k(1:11316,1)./l(1)];
T = (2*w)-1;
I=I';
T=T';
trn_datain = I(1:6,1:7921);
trn_dataout = T(:,1:7921);
chk_datain = I(1:6,7922:11316);
chk_dataout=T(:,7922:11316);net=
newff(trn_datain,trn_dataout,[9],{'tansig'
'purelin'},'trainlm')
```

ایجاد سیل و ارائه‌ی احکام برای آموزش مسئولان مرتبط از طریق بررسی پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده، آموزش مدیریت بحران (قبل، حین و پس از وقوع) با توجه با مسائل سیل، بررسی پهنه‌های خطر سیل و تعیین اولویت‌ها برای اجرای دوره‌های آموزشی، شناسایی مسائل آموزشی قابل عرضه در رسانه‌ها به شکل ملی، تدوین احکام آموزشی برای آشنایی گروه‌های مخاطب برای کاهش خسارات سیل و آموزش روش‌های عملی اعلام خطر سیل (هشدار). با توجه به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مؤثر در احتمال وقوع سیلاب در سه دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ باید تمهیدات آموزشی، سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای مقابله با وقوع سیلاب تدارک دیده شود. همچنین امکان استراتژیک، کارخانجات و تأسیسات حساس در مناطق مرتفع و ایمن و با ضریب مقاومت بالا در برابر وقوع حوادث غیرمترقبه احداث شود. همچنین آموزش‌های لازم برای برخورد پرسنل با این حوادث طی سال‌های آتی داده شود.^{۳۵}

پی‌نوشت

1. Karamouz
2. General Circulation Model
3. Statistical Downscaling Model
4. Artificial Neural Network
5. Chu
6. National Center for Atmospheric Research
7. National Center on Environmental Prediction
8. Hadley Centre Coupled Model, version3
9. Autocorrelation
10. Mann-Kendall
11. Sen,s estimator
12. Atmosphere General Circulation Models
13. Ocean General Circulation Models
14. Special Report on Emission Scenario
15. Downscaling
16. Regional Circulation Model
17. Regression Model
18. Calibration Model
19. Validation Model
20. Proportional Method
21. Statistical Method
22. Normalization Data
23. Multi Layer Perceptron
24. Epoch
25. Marquardt-Levenberg
26. Feedforward
27. Statistical Package For Social Science

منابع

۱. علیزاده، ا. (۱۳۸۷). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ بیست و پنجم، فصل ۷، ۲۸۵-۲۸۶.
2. Karamouz.M., Fallahi.M., Nazif.S., and Rahimi Farahani. M., (April, 2009). Long Lead Rainfall Prediction Using Statistical Downscaling and Artificial Neural Network Modeling, *Transaction A: Civil Engineering, Sharif University of Technology*, Vol. 16, No. 2, 165-172.
3. Chu.j.T., Xia.J., Xu.C.Y., and Singh.V.P., (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theor Appl Climatol, Springer-Verlag*, 99, 149-161.
4. Von Storch. H., (1995). Misuses of statistical analysis in climate research. In: Storch HV, Navarra A, editors. *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques. Berlin: Springer*, 11-26.
5. Yu. P. S., Yang. T. C., and Chou. C. C., (2002). Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in southern Taiwan. *Climatic Change*, 54, 165-179.

6. Yue, S., Hashino. M., (2003). Temperature trends in Japan: 1900-1996. *Theoretical and applied Climatology*, 75, 15-27
7. Partal. T., Kahya. E., (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydro Process* 20:2011-2026
PDA (Provincial Directorate of Agriculture) Official web sites. <http://www.aydintarim.gov.tr/aydinili.htm>. Accessed 9 April 2008.
8. Xu. C. y., (1999). From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Progress in physical Geography*, 23, 2, 229-249.
9. Wilby. R. L., and Dawson. C. w., (2007). *SDSM4.2-User Manual*.
۱۰. سلیمانی ننادگانی. م.، (۱۳۸۹). بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری گندم. پایان نامه‌ی مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی فناوری و کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران.
11. Sajikumar. N., Thandaveswara. B.S., (1999). Non Liner rainfall runoff Model using artificial neural network. *Journal of Haydrology*, 216, 32-35.
۱۲. اسفندیاری درآباد. ف؛ حسینی. ا؛ آزادی مبارکی. م.؛ حجازی زاده. ز. (۱۳۸۹). پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه. فصلنامه‌ی علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، دوره‌ی جدید، سال هشتم، شماره‌ی ۲۷، ۴۵-۶۵.

۲۰

شماره دوازدهم

پاییز و زمستان

۱۳۹۶

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



بررسی اثر تغییر اقلیم بر مدیریت بحران سیلاب