

اهمیت مدیریت ریسک سیلاب در برنامه ریزی روستایی

مطالعه‌ی موردی؛ حوضه‌ی آبریز کارده

دکتر سعیدالله ولایتی
استادیار جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر مهدی جهانی
استادیار جغرافیا دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

آزاده رامش*

کارشناس ارشد جغرافیا پژوهشگاه اقلیم شناسی

چکیده

با بروز پدیده‌ی تغییر اقلیم و دخالت روزافزون بشر در اقلیم جهانی دو ساخته‌ی طبیعی خشکسالی و سیل، بخش‌های مختلف کره زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهند. کشور ما نیز در چند سال اخیر به تناوب شاهد وقوع سیلاب‌ها و خشکسالی‌های شدید در برخی نقاط بوده است. بویژه آنکه بروز توأم این دو ساخته‌ی طبیعی یکدیگر را تقویت می‌کنند به گونه‌ای که در اثر وقوع خشکسالی‌های شدید، پوشش گیاهی و رطوبت خاک از بین می‌رود که این خود عامل تسهیل‌کننده‌ی جریان یافتن سیلاب‌های مخرب می‌باشد و از سوی دیگر بروز سیلاب‌های شدید نیز باعث از بین رفتن اراضی زراعی و شسته شدن خاک‌های حاصل خیز می‌شود که این امر اثرات خشکسالی را در این منطقه تشدید می‌کند. در این حوضه‌ی آبریز که از پتانسیل سیل‌خیزی نسبتاً بالایی برخوردار است، با اعمال یک مدیریت صحیح و جامع، علاوه بر آنکه اثرات و صدمات سیلاب را می‌توان کاهش و یا تخفیف داد می‌توان از سوانح طبیعی، برای افزایش پتانسیل آبی موجود در منطقه نظیر افزایش رطوبت خاک منطقه، تغذیه‌ی آبخانه‌های زیرزمینی و افزایش ذخیره‌ی آب دریاچه پشت سد‌ها نیز بهره برد که لازمه‌ی این امر وجود یک مدیریت ریسک سیل جامع و بهینه در این حوضه‌ی آبریز می‌باشد.

در این تحقیق، حوضه‌ی آبریز (کارده) که در نزدیکی شهر مشهد واقع شده است، به عنوان مطالعه‌ی موردی در نظر گرفته شد و ریسک سیلاب‌های جریان یافته در این حوضه با استفاده از سه نوع مدل آماری: ۱- توابع توزیع احتمال ۲- مدل رگرسیونی ۳- مدل سری زمانی ARIMA مدل‌سازی شد. طبق نتایج حاصل از آزمون مدل‌های به‌دست آمده، توابع توزیع احتمال، بخوبی قادر به مدل‌سازی ریسک سیلاب‌های حوضه نبودند. مدل رگرسیونی نیز به علت اینکه از یک روند کلی تبعیت می‌نمود، جواب‌های قابل قبولی ارائه نمی‌کرد. در نهایت مدل‌های سری زمانی ARIMA از مراتب مختلف، مورد آزمون قرار گرفتند که در نهایت

* این مقاله از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی روستایی که توسط خانم آزاده رامش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد ارائه گردیده، استخراج شده است.

مدل $ARIMA(1,2,3)$ بهترین برازش آماری را ارائه کرد. طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق، با استفادهی ترکیبی از این سه مدل آماری، می‌توان یک مدل مناسب برای مدیریت ریسک سیلاب برای حوضه‌ی کارده بدست آورد که به صورت کاربردی و عملیاتی قابل استفاده بوده. همچنین نتایج این تحقیق برای سایر حوضه‌های آبریز مشابه نیز قابل بسط و استفاده است.

کلیدواژه‌ها: مدیریت ریسک، سیلاب، سری زمانی، مدل‌سازی، حوضه‌ی آبریز کارده، خشکسالی، فرسایش خاک.

مقدمه

تاکنون درباره‌ی اثرات مخرب سیلاب، به‌صورت سنتی پرداخته می‌شده و معمولاً بعد از بروز آن، اقداماتی پیرامون جبران خسارات به‌عمل می‌آمده است. این قبیل عملکردها، تحت عنوان «مدیریت بحران» مطرح و قلمداد می‌شود. این نوع مواجه شدن با بلاها، اثر چندانی ندارد، زیرا بر اساس ضرب‌المثل معروف ایرانی به مثابه «نوش دارو بعد مرگ سهراب» است. به همین دلیل، امروزه بیشتر دولت‌ها و سازمان‌های پیشرفته و توسعه‌یافته اعتبار زیادی برای مدیریت بحران قایل نبوده و در صدد اعمال هر چه بهتر مدیریت ریسک، می‌باشند که می‌تواند اثرات مخرب ناشی از سوانح طبیعی را، قبل از وقوع آن، پیش‌بینی نموده و راهکارهای پیشگیری از آن را ارائه دهد.

با توجه به تغییر اقلیم جهانی که در حال وقوع است، سیلاب همه ساله خسارات شدیدی را در نقاط مختلف کره زمین بخصوص در نواحی روستایی کشورهای در حال توسعه برجای می‌گذارد. آمار و ارقام نیز نشان از رشد فزاینده در تعداد خسارات ناشی از بلایای جوی و اقلیمی در کشورهای دنیا دارد. با توجه به حجم خسارات جانی و مالی، مدت زمان مدیدی است که کشورهای جهان به فکر مقابله با سوانح جوی و اقلیمی افتاده‌اند، این امر بویژه در کشورهای پیشرفته، نمود بیشتری دارد که از آن جمله می‌توان به کشورهای نظیر امریکا، کانادا، انگلستان، روسیه، ایتالیا، هندوستان و... اشاره داشت.

در ایران نیز خسارت‌های مالی و جانی سیلاب، بخصوص طی دهه‌های گذشته افزایش یافته و قربانیان این سانحه طبیعی، غالباً روستاییان می‌باشند. زیرا به خاطر کمبود آب در کشور، روستاها غالباً در حاشیه رودخانه‌ها قرار دارند و از آب آن برای مصارف مختلف استفاده می‌کنند. هر بار که رودخانه‌ها طغیان می‌کنند، سیلاب امکانات معیشتی آنها را از میان برده و خسارت‌های جانی و مالی فراوانی به آنها وارد می‌آورد. سازمان‌های سوانح و مخاطرات طبیعی غالباً از طریق دادن وام و یا ایجاد برخی از امکانات، اقدام به التیام کوتاه مدت صدمات می‌کنند، در حالیکه لازم است برای رفع کامل مخاطرات و سوانح طبیعی، مدیریت ریسک را به‌کار برد، تا بطور ریشه‌ای مشکلات را برطرف کرد. یکی از محل‌هایی که لازم است از مدیریت

ریسک برای جلوگیری از خسارت‌های سیلاب استفاده شود، روستاهای حوضه آبریز رودخانه کارده می‌باشد، که به کرات دچار مشکلات مربوط به سیلاب شده‌اند.

ادبیات موضوع

آلسن و همکاران^۱ (۱۵۲:۱۱۹۰-۱۵۰) تحقیقاتی انجام دادند که نشان می‌دهد که شواهدی دال بر وجود یک روند تاریخی در زمینه‌ی افزایش درجه‌ی حرارت و بارش در شرق میانه‌ی حوضه‌ی می‌سی‌سی‌پی تا سال ۱۹۰۰ وجود داشت و آنها اثبات نمودند که بسیاری از قسمت‌های شرق میانه افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی در بارش سالانه را نشان می‌دهند و بدین ترتیب به بررسی سیلاب در منطقه‌ی مورد نظر پرداخته‌اند.

کارل و نایت^۲ (۱۹۹۸: ۲۴۱-۲۳۱) نیز طی بررسی‌هایی که در حوضه می‌سی‌سی‌پی انجام داد به این نتیجه رسید که میانگین سالانه پوشش برف در ناحیه می‌سی‌سی‌پی در ۲۰ سال گذشته به دلیل بالا رفتن درجه حرارت، با کاهش مواجه بوده و این امر ممکن است شدت سیلاب‌های ناشی از ذوب برف تابستانه را کاهش دهد.

در بررسی دیگر، کارل و همکاران^۳ (۱۹۹۶: ۲۴۷۹-۱۹۲) افزایش ۱۰ درصدی در میزان بارش روزانه در ناحیه می‌سی‌سی‌پی قید شده است که شامل افزایش در بهار و تابستان و کاهش در پاییز و زمستان است. آنها به این نتیجه رسیدند که زمان، عامل مهمی است چرا که مثلاً با شدت بارش در تابستان یا پاییز به علت رطوبت اندک در خاک، احتمال وقوع سیلاب کم می‌باشد، آنها به این نتیجه رسیدند که ارتباط بین بارش و رواناب یک موضوع ساده نیست و بایستی به دقت به آن توجه نمود. پاتر^۴ (۱۹۹۱: ۱۴۵) نشان داد که تا سال ۱۹۵۱، پیک‌های سیلاب در ویسکونسین کاهش یافته است. ناکس^۵ (۱۹۸۴) ریسک سیلاب را در اس. تی، پن‌آل از سال ۱۸۶۵ تا ۱۹۸۱ بررسی کرد. او دوره میان ۱۸۶۵ تا ۱۸۹۵ را دوره‌ای با رسیک بالا و دوره‌ی میان ۱۹۴۹ تا ۱۸۹۶ را دوره‌ای با ریسک پایین و دوره‌ی میان ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۱ را دوره‌ای با بیشترین سطح ریسک سیلاب معرفی نمود. تجزیه و تحلیل برخی متغیرهای اقلیمی، توسط انجل و همکاران^۶ (۱۹۹۷: ۲۴۹-۲۴۶) نشان می‌دهد که روند مثبتی در سری‌های هیدرولوژیکی در حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی وجود داشته است. والکر و استدینگر^۷ (۲۰۰۰: ۵۲) نشان دادند که نرخ ورودی رویدادهای سیلاب در آتلانتیک و جنوب

1- Olsen et al

2- Karl and Knight

3 - Karl et al

4 - Potter

5- Knox

6 - Angel et al

7-Walker and Steding

شرق سواحل گلف با استفاده از سنجش‌های آماری کلاسترینگ سیلاب از نظر آماری با اهمیت است. وگل و همکاران^۱ (۲۰۰۱: ۳۱-۲۳) نیز نشان داد که میانگین تعداد رویدادهای سیلاب ثبت شده هنگامی که همبستگی فضایی برای آن سنجیده می‌شود، از نظر آماری برای تمامی نواحی ایالات متحده آمریکا با اهمیت نیست و وقوع سیلاب بیشتر به زمان میان هر یک از رویدادهای سیلاب مربوط می‌شود. در زمینه‌ی بررسی مدل‌های آماری در سیلاب نیز می‌توان به (Haltiner and Salas, 1998: 247-272)، که از یک مدل $ARMA(1,1)$ فصلی در مدل‌سازی دو متغیره‌ی جریان ماهانه در رودخانه‌های یاهیا و وایت در شمال غربی کالیفرنیا استفاده کردند، اشاره داشت. آنها پارامترهای مدل را تجزیه و تحلیل و با یکدیگر مقایسه نمودند. ناکس و همکاران^۲ (۱۹۹۸: ۱۱۵-۱۰۳)، نیز قدرت پیش‌بینی‌های یک ساله در مدل‌های $ARMA$ را در سری سالانه‌ی جریان رودخانه مقایسه کردند. بارلاند و همکاران^۳ (۱۹۹۶: ۲۱۶)، نیز از مدل‌های $ARMA$ جهت پیش‌بینی بارندگی‌های ساعتی در زمانی وقوع آن استفاده نمودند. ناکس و همکاران^۴ (۱۹۹۸: ۱۱۵-۱۰۳)، قدرت پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت در مدل‌های $ARIMA$ فصلی، $ARIMA$ غیرفصلی و مدل‌های اتورگرسیون دوره‌ای (PAR) را بر روی سری ۳۰ ماهه جریان مقایسه کردند و نشان دادند که مدل‌های اتورگرسیون دوره‌ای دقیق‌ترین پیش‌بینی را دارند. فرارسی و همکاران^۵ (۱۹۹۰: ۳۰۷) از یک مدل $ARMA(2,1)$ به همراه یک مدل بارندگی رواناب فرضی با هدف پیش‌بینی دبی سیلاب رودخانه نیودی آرنو در ایتالیا استفاده کردند.

کندال و دارکوپ^۶ (۱۹۹۱: ۳۵۲-۳۳۵)، از یک مدل $AR(1)$ در ساخت داده‌های مصنوعی سالانه در رودخانه‌ی کلرادو استفاده کردند. همچنین احتمال ذخیره‌ی آب در دریاچه‌های پاول و میدرا با استفاده از یک دوره‌ی شبیه‌سازی ۳۲ ساله به‌دست آوردند و نشان دادند که داده‌های تولید شده توسط مدل $AR(1)$ ، توانایی ذخیره بیش از ۵۰٪ ظرفیت دریاچه را دارد. تات و همکاران^۷ (۱۹۹۹: ۷۸۵-۷۶۸)، کاربرد مدل‌های تصادفی و مدل‌های فرضی را در به روز کردن پیش‌بینی دبی سیلاب در هنگام وقوع آن مورد بررسی قرار دادند. آنها شش مدل تصادفی مختلف در رودخانه‌ی سیو^۸ در ایتالیا را مورد آزمون قرار داده و پیش‌بینی‌های آنها را با هم مقایسه کردند. مقایسه مدل‌های مختلف نشان داد که مدل $ARMA(1,1)$ مناسب‌ترین مقدار پیش‌بینی را در بین سایر مدل‌ها داراست.

1- Vogel et al

2- Noakes et al

3- Borlando et al

4- Noakes et al

5- Ferraresi et al

6- Kendal and Dracup

7- Thoth et al

8- Sieve

مواد و روش‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به سیلاب رودخانه کارده، اقدام به اصلاح و تدقیق آمار، با روش‌های آماری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای Spss, Minitab, Excell, مدل‌های مختلف مد نظر قرار گرفت که عبارتند از LN ARMA, LN Trend, LN i.i.d, مدل‌ها مورد بحث قرار گرفتند و از میان آنها مدل مورد نظر انتخاب و سیلاب رودخانه بر اساس آن محاسبه شده است.

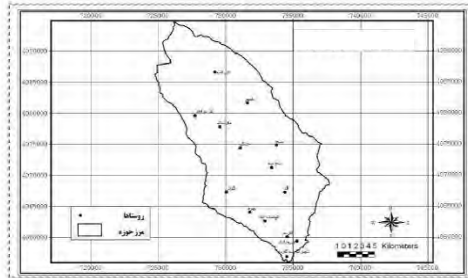
موقعیت جغرافیایی ریاضی دهستان کارده در حوضه آبریز کارده

دهستان کارده، بین رشته کوه‌های هزارمسجد و کپه داغ و بین 40° - 59° طول شرقی و 39° - 36° عرض شمالی واقع است (جهاد کشاورزی، ۱۳۸۳). ارتفاع متوسط حوضه آبریز از سطح دریای آزاد ۱۲۸۰ متر می‌باشد. دهستان کارده در شمال غرب شهرستان مشهد قرار گرفته است، از طرف شمال به دهستان گنبدکبود و هزار مسجد، از شرق به دهستان زاوین، از جنوب به دهستان تبادکان و از غرب و جنوب‌غربی به دهستان درزآب محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت زیر حوضه‌ی کارده در حوضه‌ی آبریز کشف رود

مساحت تقریبی دهستان برابر با ۵۴۰ کیلومترمربع بوده و روستای کارده در مرکز آن واقع است. این دهستان دارای ۱۶ روستا و مرزعه بوده که موقعیت آنها در شکل ۲ آمده است (فرمانداری شهرستان مشهد، ۱۳۷۵).



شکل ۲: موقعیت روستاها در سطح حوضه آبریز کارده

همه‌ی روستاهای دهستان از آب رودخانه‌ی کارده، برای مصارف مختلف استفاده می‌کنند. این رودخانه، از خط‌الرأس ارتفاعات کپه‌داغ- هزار مسجد سرچشمه گرفته و پس از عبور از روستاهای کارده و اندرخ به کشف رود می‌ریزد. طغیان‌های بزرگ این رودخانه خساراتی را برای روستاییان ببار می‌آورد. به همین دلیل لازم است که درباره‌ی مدیریت ریسک سیلاب این رودخانه اقداماتی انجام پذیرد که هدف این مقاله می‌باشد. در جدول (۱) سیلاب حوضه‌ی کارده در حد فاصل سال‌های آبی ۶۴-۶۳ لغایت ۸۰-۷۹ ارایه شده است.

جدول ۱: دبی سیلاب‌های جریان یافته در حوضه‌ی کارده

دبی حداکثر لحظه‌ای (m^3/s)	سال آبی	تاریخ وقوع
۳۳/۰۰	۱۳۶۳-۶۴	۶۴.۰۲.۰۷
۳۸/۴۰	۱۳۶۴-۶۵	۶۵.۰۳.۰۸
۴.۳۸	۱۳۶۵-۶۶	۶۶.۰۳.۱۰
۶۶.۵۵	۱۳۶۶-۶۷	۶۷.۰۲.۰۸
۴.۹۵	۱۳۶۷-۶۸	۶۸.۰۲.۲۴
۳.۸۷	۱۳۶۸-۶۹	۶۸.۰۹.۱۵
۱۴.۶۰	۱۳۶۹-۷۰	۷۰.۰۲.۲۱
۲۶۸.۶۰	۱۳۷۰-۷۱	۷۱.۰۳.۱۱
۴۶.۷۶	۱۳۷۱-۷۲	۷۲.۰۳.۱۸
۷.۴۶	۱۳۷۲-۷۳	۷۳.۰۲.۱۷
۵.۷۵	۱۳۷۳-۷۴	۷۴.۰۲.۱۱
۴۲.۲۶	۱۳۷۴-۷۵	۷۵.۰۳.۰۶
۳۰.۴۶	۱۳۷۵-۷۶	۷۶.۰۳.۲۹
۱۴۲.۶۶	۱۳۷۶-۷۷	۷۷.۰۴.۳۱
۱۵.۴۵	۱۳۷۷-۷۸	۷۷.۱۲.۰۲
۶۱.۰۰	۱۳۷۸-۷۹	۷۹.۰۵.۱۸
۶۹.۷۰	۱۳۷۹-۸۰	۷۹.۰۷.۰۴

مدل‌های آماری تغییرپذیری اقلیمی

برای بررسی و شناسایی بهترین مدل ارزیابی ریسک سیلاب و تغییرپذیری اقلیمی در این بخش سه مدل به همراه آزمون‌های مربوطه برای پیش‌بینی ریسک سیلاب در حوضه کارده ارائه می‌شود (شریفی، ۱۳۸۱: ۱۵-۱۲):

- مدل i.i.d لوگ نرمال (LN i.i.d.)

در این مدل فرض بر این است که مقادیر ماکزیمم سیلاب‌های سالانه Q_t در حوضه‌ی کارده، مقادیر و متغیرهایی تصادفی، مستقل و ایستا هستند. توزیع مقادیر ماکزیمم سیلاب‌های سالانه در حوضه‌ی کارده از توزیع لوگ نرمال تبعیت می‌کند. میانگین آن (μ) و واریانس آن (δ) است.

$$\log(Q_t) \sim N(\mu, \delta^2)$$

بنابراین:

این یک رابطه‌ی معمولی است که در مطالعات مدیریت ریسک سیلاب کاربرد فراوان دارد. بر اساس دیگر مطالعات انجام شده بر روی سایر حوضه‌ها معمولاً توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ برای مقادیر ماکزیمم سیلاب‌های سالانه نیز توصیه می‌شود.

- مدل روند لوگ نرمال (LN Trend) :

در این بخش به منظور برازش یک خط روند براساس روش مینیمم مجموع مربعات خطا (SSE)^۱ برای مقادیر ماکزیمم سیلاب سالانه در حوضه‌ی کارده، مشخص گردید که اگر ابتدا از این مقادیر لگاریتم گرفته شود، معادله‌ی خط روند به شکل زیر خواهد بود:

$$\log(Q_t) = \mu + \lambda \cdot (t - \bar{t}) + \varepsilon_t$$

که در این فرمول:

Q_t : مقادیر ماکزیمم سیلاب سالانه

ε : مقدار خطا و یا به عبارت دیگر نوفه را نشان می‌دهد که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس (δ^2) می‌باشد یعنی $\varepsilon_t \sim N(0, \delta^2)$

μ : میانگین لگاریتم مقادیر ماکزیمم جریان سالانه می‌باشد.

λ : شیب خط لگاریتمی است که از مدل روند لوگ نرمال استخراج شده است.

t : $\bar{t} = (T+1)/z$ که T طول دوره آماری است.

بر اساس نتایج به دست آمده، معادله روند لوگ نرمال به شکل زیر خواهد بود:

$$\log(Q)_t = 1/458165 + 0/0173 \cdot (t - 9) + \varepsilon_t$$

بر اساس محاسبات و تحلیل های آماری می توان نتیجه گرفت که توزیع لوگ نرمال (i.i.d) (LN) برای مقادیر ماکزیمم سیلاب سالانه در حوضه ی کارده مناسب نیست اما مدل روند لوگ نرمال پیشنهادی قابل قبول می باشد. تنها مشکلی که وجود دارد این است که این یک مدل رگرسیونی بوده و برون یابی مقادیر در خارج از طول دوره ی آماری امری غیرممکن می باشد. مثلاً برای ۵۰ سال آینده عدد به دست آمده بسیار غیرواقعی خواهد بود.

- مدل لوگ نرمال (LN ARMA) ARMA:

در این مدل فرض بر این است که لگاریتم مقادیر ماکزیمم سیلاب های سالانه در حوضه ی کارده از یک توزیع اتورگرسیون میانگین متحرک از مرتبه پایین (q,p) تبعیت می کند، به عبارت دیگر داریم:

$$\log(Q)_t = \mu \sim ARMA(p, q)$$

در فرمول فوق:

Q_t : مقادیر ماکزیمم سیلاب سالانه

μ : میانگین لگاریتم مقادیر ماکزیمم سیلاب سالانه

p : مرتبه ی اتورگرسیون مدل

q : مرتبه ی میانگین متحرک مدل

در این مدل فرض شده است که مقادیر سری زمانی ایستا می باشند.

پیش بینی های ریسک سیلاب در حوضه کارده

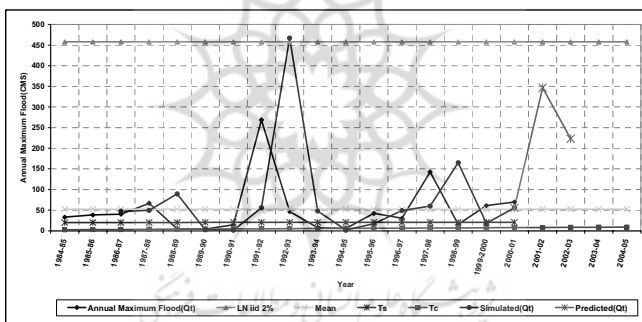
سه مدل برای ریسک سیلاب قبلاً معرفی شدند. در مدل Log-Normal i.i.d فرض بر این است که ریسک ثابت می باشد، در دو مدل دیگر یعنی Log Normal و Log Normal Trend ARMA تغییرات ریسک با گذشت زمان متغیر است. حال به منظور تجزیه و تحلیل برآوردهای قبل و مقایسه مدلها در این بخش، نمودار هر یک از مدلها در طول یک دوره برنامه ریزی رسم خواهد شد.

تحلیل ریسک سیلاب در دوره آماری ۱۳۶۳-۸۰ تا ۱۳۷۹-۸۰

نتایج محاسبات و تحلیل‌های انجام شده برای دوره‌ی آماری ۱۳۶۳-۶۴ تا ۱۳۷۹-۸۰ سیلاب حوضه کارده در شکل (۳) آمده است. و مقادیر محاسباتی با استفاده از سری زمانی نشان داده شده است

همان‌گونه که در شکل (۳) نمایان است، برای هر مدل یک حد آستانه‌ی سیلاب با احتمال افزایش ۲٪ برای هر سال وجود دارد. در مدل LN i.i.d این آستانه یک خط ثابت افقی است و تا آخر دوره حتی بعد از آن نیز ادامه دارد و مقدار آن با مقدار حداکثر جریان شبیه‌سازی شده یعنی سال ۱۳۷۱-۷۲ تقریباً منطبق است.

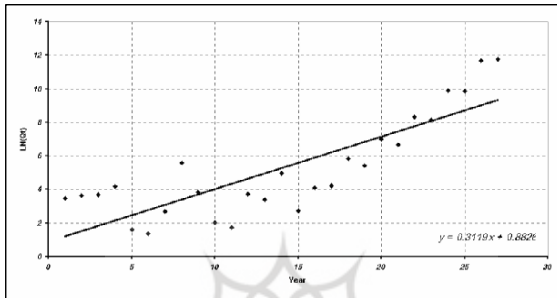
در مدل Log Normal Trend در حالت Tc یک خط با شیب مثبت رسم شده است. شایان ذکر است که در رسم این خط مقادیر پیش‌بینی شده نیز لحاظ شده‌اند ولی در حالت Ts فقط مقادیر مشاهداتی در نظر گرفته شده‌اند، در این حالت نیز شیب مثبت است. در مدل ARIMA (1,2,3) مقادیر حداکثر جریان برای دو سال بعد از انتهای دوره پیش‌بینی شد.



شکل ۳: نمودار ریسک سیلاب در دوره‌ی آماری ۱۳۸۰-۱۳۷۹ تا ۱۳۶۴-۱۳۶۳

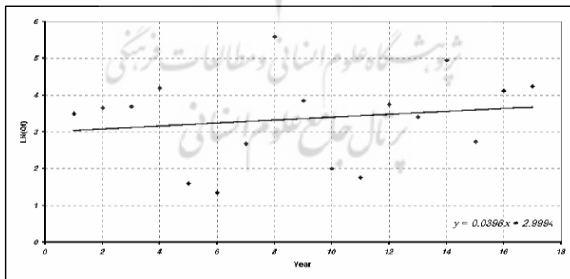
از میان مدل‌های ریسک سیلاب که در شکل (۳) نمایش شده است مقادیر حداکثر جریانی که توسط مدل LN i.i.d ارایه شده است، غیرمنطقی به نظر می‌رسد چرا که مقادیر ارایه شده توسط این مدل ثابت بوده، و نسبت به سایر مدل‌ها دارای بیشترین مقدار جریان یعنی ۴۵۷/۷ مترمکعب در ثانیه می‌باشد که در تمام طول دوره این عدد ثابت بوده است و یکی از دلایل غیرمنطقی بودن آن نیز همین امر می‌باشد. همانطور که در مقادیر مدل‌سازی شده توسط سری زمانی ARIMA (1,2,3) ملاحظه می‌گردد، سه موج در سری دیده می‌شود. موج اول از

سال آبی ۱۳۶۳-۶۴ تا ۱۳۶۸-۶۹ دارای موجی ضعیف و موج دوم از سال ۱۳۶۹-۷۰ تا ۱۳۶۸-۷۲ دارای موجی قوی و موج سوم از سال ۱۳۷۲-۷۳ تا ۱۳۷۹-۸۰ مجدداً دارای موج ضعیف بوده و به همین جهت مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل LNARIMA(1,2,3) نیز نسبت به سال‌های انتهایی دوره‌ی مشاهداتی از افزایش چشم‌گیری برخوردار بوده است.



شکل ۴: نمودار LN Trend (TC) در دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۷۹ تا ۱۳۶۴-۱۳۶۳

مدل Log Normal Trend (TC) یا فرض این‌که روند ادامه دارد LN Trend/Tc، روند مثبتی را از نظر آماری دربر می‌گیرد. برای رسم LN Trend/Tc روش خط رگرسیون یا (کمترین مجموع مربعات خطا) استفاده شد که این معادله $y = 0.3119x + 0.8828$ و $R^2 = 37\%$ می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۵: نمودار LN Trend (TS) در دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۷۹ تا ۱۳۶۴-۱۳۶۳

در مدل LN Trend در حالت Ts که روند در سال ۸۰-۱۳۷۹ متوقف شده است نیز روش رگرسیون استفاده شد که در این معادله $y=0.0398x+2.99$ و $R^2=57\%$ می‌باشد. این مدل کمترین میزان ریسک را نشان می‌دهد که شیب آن مثبت است (شکل ۵).

در یک نتیجه‌گیری کلی از شکل (۳) می‌توان این‌گونه استنباط نمود که به ترتیب مقادیر ریسک سیلاب در حوضه کارده در مدل LN i.i.d از بیشترین مقدار برخوردار بوده و LN Trend در دو حالت Tc و Ts دارای کمترین مقدار ریسک سیلاب می‌باشد که مقادیر ارائه شده توسط مدل $LNTrend/Ts$ نسبت به $LNTrend/Tc$ اندکی افزایش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که Ts به دلیل آنکه روشی وابسته به مدل ARIMA است و از نتایج حاصل از مدل $ARIMA(1,2,3)$ می‌توان Ts را رسم نمود. اما در مدل $LNTrend/Tc$ همانطور که قبلاً گفته شد بدلیل آنکه در این مدل نمی‌توان برای پیش‌بینی از روش برون‌یابی استفاده نمود و در صورت استفاده از این مدل نتایج غیرواقعی حاصل خواهد شد، این مدل رد می‌شود.

در میان این سه مدل مقادیر حداکثر جریانی که توسط مدل $ARIMA(1,2,3)$ به‌دست آمد دارای بهترین نتیجه و منطقی‌ترین مقادیر می‌باشد چرا که موج روند در داده‌های مشاهداتی به صورت سه موج ضعیف، قوی و ضعیف بود که پس از انجام محاسبات و رسم نمودار توسط مدل $ARIMA(1,2,3)$ روند پیش‌بینی گردید که همان‌گونه که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود شاهد روندی قوی در دوره پیش‌بینی می‌باشیم.

بحث و نتیجه‌گیری

سیلاب یکی از پدیده‌های طبیعی است که برخی از نقاط کشورمان از جمله مراکز روستایی، زمین‌های کشاورزی و بعضی شهرها را تهدید می‌کند. نکته‌ی قابل توجه این است که سیلاب یک پدیده‌ی طبیعی است و هر رودخانه‌ای مستعد رویداد آن است. آنچه که این پدیده را از حالت طبیعی خارج و به صورت سانحه در می‌آورد، دست‌اندازی انسان به طبیعت است. در کشور ما سیستم مناسب و کارآمد پیشگیری و اعلام خطر برای سیلاب وجود ندارد. در برخی از نقاط کشورمان متعاقب یک بارندگی چند روزه سیلاب‌های مهیبی جریان می‌یابد و خسارات فراوانی برجای می‌گذارد. به همین دلیل در این مقاله سعی شد با استفاده از مدل‌های آماری راهکاری مناسب و عملی برای پیش‌بینی مدیریت ریسک در یک حوضه‌ی آبریز ارائه گردد.

یکی از ملزومات اصلی مدیریت ریسک سیلاب در اختیار داشتن مقادیر پیش‌بینی و یا به عبارت دیگر پیش‌یابی ریسک سیلاب در حوضه‌ی آبریز مورد نظر می‌باشد، بنابراین در گام

اول باید راهکاری جهت پیش‌بینی ریسک سیلاب پیدا نمود که در این مقاله برای نیل به این هدف تعدادی مدل آماری مد نظر قرار گرفته‌اند، که به شرح زیر معرفی می‌شوند:

۱- مدل LN i.i.d

۲- مدل LN Trend Ts

۳- مدل LN Trend Tc

۴- مدل LN ARIMA

پس از مقایسه نتایج و محاسبات انجام شده برای مقادیر حداکثر جریان رودخانه‌ی اصلی حوضه‌ی آبریز کارده، موارد زیر قابل استنباط می‌باشند:

۱- مدل LN i.i.d دارای نتایج بسیار بزرگی بوده و مقادیر ریسک ارایه شده توسط این مدل توجیه اقتصادی ندارد.

۲- مدل LN Trend Ts و LN Trend Tc به علت در نظر نگرفتن تغییرپذیری اقلیم نتایج غیر واقعی ارایه نموده و کاربرد این نتایج در شرایط واقعی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۳- مدل LN ARIMA دارای این مزیت می‌باشد که نقایص مدل‌های قبلی را ندارد و به همین دلیل در پیش‌بینی و شبیه‌سازی ریسک سیلاب در حوضه کارده نتایج بسیار منطقی و معقولی ارایه می‌کند، اما هنگام استفاده از این مدل سری زمانی باید این نکته را در نظر گرفت که از این مدل فقط برای یک یا دو گام زمانی پیش‌بینی استفاده نمود و نتایج این گونه مدل‌ها نیز بعد از دو تا سه گام زمانی از واقعیت دور شده و باید برای هر مرحله از این مدل داده‌های قبلی را به روز نموده مقادیر مشاهداتی را جایگزین مقادیر شبیه‌سازی شده نمود، بنابراین با در نظر گرفتن مزایا و معایب، این مدل برای پیش‌بینی ریسک سیلاب در حوضه‌ی آبریز کارده توصیه می‌گردد و در این مقاله از آن استفاده شده است.

از آنجا که مدیریت ریسک سیلاب در حوضه‌ی آبریز بستگی به شرایط خاص همان حوضه دارد بنابراین به طور مختصر پس از بازدید محلی از روستاها، باغات، مزارع و تأسیسات و ابنیه‌ی آبی موارد زیر مشاهده شد که پس از توضیح مختصری چند راهکار عملی برای مدیریت بهینه و صحیح ریسک سیلاب در این حوضه ارایه می‌گردد:

۱- در این حوضه‌ی آبریز ملاحظه شد که اراضی کشاورزی و باغات اهالی منطقه و حتی در مورد روستای کارده، بخشی از منازل روستاییان در محدوده‌ی دریاچه پشت سد کارده قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۶ و ۷) و در فصول پرباران و یا ترسالی‌ها این مناطق به زیر آب رفته و به روستاییان منطقه خسارات زیاد و جبران ناپذیری وارد می‌گردد. هر چند که بنا به گفته‌ی اهالی منطقه، تمامی اراضی مستقر در دریاچه پشت سد کارده در سال‌های قبل از انقلاب اسلامی توسط سازمان آب منطقه‌ای خراسان با قیمت بسیار نازلی خریداری و تصاحب شده است، اما در سال‌های اخیر به علت افت سطح آب ناشی از خشکسالی و همچنین فقر ساکنان

منطقه، این اراضی مجدداً به زیر کشت رفته است. اما بنا به نتایج و محاسبات به عمل آمده در اوایل سال آینده به علت بالا آمدن سطح آب، این اراضی دوباره دچار آبگرفتگی خواهد شد و لازم است مسؤولین ذی‌ربط با توجه به شرایط اقتصادی ضعیف اهالی منطقه و وابسته بودن اقتصاد آنها به کشاورزی و باغداری بیش از سایر مشاغل، تدابیر لازم را اتخاذ نمایند.



شکل ۶: اراضی کشاورزی و باغات واقع در محدوده دریاچه پشت سد کارده



شکل ۷: منازل روستایی واقع در محدوده دریاچه پشت سد کارده

۲- در برخی از روستاها نظیر روستای گوش و مارشک به لحاظ مکان احداث خانه‌های روستایی، بر روی شیب‌های بسیار تند و مسیرهای آبراهه‌های منتهی به رودخانه حوضه‌ی کارده واقعند (شکل ۸). باید دانست که در مواقع بارش رگبارهای حتی خفیف، معابر روستایی دچار آبگرفتگی شدید می‌شود و بنا به گفته‌ی اهالی منطقه، به علت آبگرفتگی و رسوبات به جامانده از آن معابر، منازل روستاییان نیز با خساراتی مواجه می‌شوند.



شکل ۸: خانه‌های روستایی احداث شده، بر روی شیب‌های بسیار تند و مسیرهای آبراهه‌های منتهی به رودخانه حوضه کارده

۳- در بعضی موارد ملاحظه گردید که روستاییان و اهالی منطقه، حریم رودخانه‌ی اصلی کارده را در نظر نگرفته و به علت حاصل خیزی خاک بستر رودخانه، اقدام به شخم زدن و حتی احداث باغات در درون حریم رودخانه و حتی درون بستر رودخانه نموده‌اند (شکل ۹) که این امر به علت برهم زدن رژیم رودخانه بسیار خطرناک بوده به گونه‌ای که ممکن است این بی‌احتیاطی منجر به از بین رفتن باغات و اراضی کشاورزی گردد، و علاوه بر آن به منازل و یا مکان‌های نگهداری احشام نیز خسارات جبران‌ناپذیری وارد آورد.



شکل ۹: باغات احداث شده در درون حریم و بستر رودخانه

ارایه‌ی راهکارها و پیشنهادات

با توجه به موارد و مشکلات ذکر شده پیشنهادات زیر ارایه می‌گردد:

- ۱- از آنجا که اکثر مناطق کشور در سال‌های اخیر با مشکل کم‌آبی و خشکسالی مواجه شده‌اند لذا پیشنهاد می‌شود که با استفاده از مدل‌های آماری ارایه شده در این تحقیق در فصول بارندگی و همچنین فصول پر مصرف آب، یک برنامه‌ریزی صحیح و بهینه برای منابع آبی موجود تهیه شود همچنین به طور مستقل و مجزا برای هر حوضه آبریز یک مدل آماری مناسب برازش داده شود. همچنین توصیه می‌گردد به منظور بالا بردن صحت و دقت برنامه‌ریزی‌ها در هر گام زمانی مقادیر مشاهداتی جایگزین مقادیر شبیه‌سازی شده گردد و یا به عبارت دیگر مدل به روز شود.
- ۲- یکی از مشکلات عمده‌ای که در اکثر حوضه‌های آبریز وجود دارد و در حوضه‌ی آبریز کارده نیز وجود داشته است، نبود داده‌های ثبت شده هیدرومتری برای مدت طولانی بود که این امر ممکن است مراحل بعدی شناسایی مدل را تحت تأثیر قرار دهد لذا توصیه می‌شود با ایجاد ایستگاه‌های هیدرومتری بر روی تمامی حوضه‌های آبریز مهم کشور بانک اطلاعاتی کامل و جامعی برای استفاده محققین، مدیران منابع آب و مسؤولین ذیربط ایجاد گردد.
- ۳- پیشنهاد می‌شود برای روستاهایی که بر روی مسیرهای آبراهه‌های منتهی به رودخانه‌های اصلی احداث گردیده‌اند و شیب منطقه دارای پتانسیل سیل‌خیزی است، مسیل‌هایی حفر گردد که علاوه بر جلوگیری از بروز خسارت در مواقع وقوع جریان سیل، راندمان استحصال آب‌های سطحی نیز افزایش یابد.
- ۴- از آنجایی که به علت بروز خشکسالی و چرای بیش از حد دام مراتع مستقر در درون حوضه‌ی آبریز، پوشش گیاهی کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است لذا توصیه می‌شود با اعمال مدیریت آبخوان داری مناسب و فرق این مراتع، پتانسیل سیل‌خیزی منطقه را کاهش داد.
- ۵- از آنجایی که رعایت نکردن رژیم رودخانه و تجاوز به حریم رودخانه و دخالت روستاییان در بستر رودخانه بسیار خطرناک بوده و احتمالاً منجر به تغییر مسیر رودخانه به سمت اراضی کشاورزی و باغات و حتی بناهای روستایی گردد، لذا توصیه می‌شود با آموزش اهالی منطقه و برخورد قانونی مسؤولین ذی‌ربط با متخلفان، حتی‌الامکان خطر جریان سیل و آبگرفتگی منازل و اراضی روستاهای مستقر در اطراف رودخانه کاهش یابد.
- ۶- توصیه می‌شود با ساماندهی رودخانه‌های مجاور روستاهای منطقه نظیر دیوارسازی و... این روستاها را از خطر آبگرفتگی و معضلات آن رهانید.

منابع و مأخذ

- ۱- جهاد کشاورزی استان خراسان (۱۳۸۳) نقشه توپوگرافی شهرستان مشهد با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰.
- ۲- شریفی، محمدباقر (۱۳۸۱) جزوه درس هیدرولوژی مهندسی پیشرفته. گروه عمران. دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- فرمانداری شهرستان مشهد (۱۳۷۵) تقسیمات سیاسی شهرستان مشهد.
- 4- Angel, J.R. And Huft, F.A. (1997) Changes In Heavy Rainfall In Midwestern United States. *J. Water Resource Mang. And Mgmt.*, 123(4).
- 5- Borlando, P., A. Montana And R. Reza (1996) "Forecasting Of Storm Rainfall By Combined Use Of Radar, Rain Gages And Linear Models", *Models*", *Atmospheric Research*, Vol, 42.
- 6- Ferraresi, M., M. Pacciani And E. Todini (1990) On The Application Of Some Real Time Flood Forecasting Schemes (In Italian), XXII Italian National Conference Of Hydraulics, Cosenza, Italy, Ed. Bios.
- 7- Haltiner, J. P. And J.D. Salas (1998) "Development And Testing Of A Multivariate, Seasonal ARIMA(1,1)", *J. Hydro.*, Vol. 104.
- 8- Karl, T. R., Knight, R. W., Easter Ling, D. R., and Quayle, R. G. (1996) *Indices of society*, 77(2).
- 9- Karl, T. R., And Knight, R.W (1998) Secular Trends Of Precipitation Amount, Frequency And Intensity In The United States, *Bull. Am., Meteorol, Soc.*, 79(2).
- 10- Kendal, D. R., And J.A. Dracup (1991) A Comparison Of Index – Sequential And AR(1) Generated Hydrologic Sequences, *J. Hydro.*, Vol. 122.
- 11- Knox, J.C (1984) Fluvial Responses To Small-Scale Climate Changes Developments And Applications Of Geomorphology, J. E. Costa And P.J. Fleisher (Eds), Springer Verlage, Berlin.
- 12- Noakes, D. J. K. W. Hipel, A. L. Mcleod, C. Jimenez And S. Yakowitz (1998) "Forecasting Annual Geophysical Time Series", *International Journal Of Forecasting*, Vol, 4.
- 13- Olsen, J. R., Stedinger, J. R., Matalas, N.C., And Stakhir, E. Z (1999) Climate Variability And Flood Frequency Estimation For The Upper Mississippi And Lower Missouri Rivers, *J. Of The Amer. Water Resources Association*, 35(6).
- 14- Potter, K (1991) Hydrologic Impacts Of Changing And Management Practices In Moderate Sized Agricultural Catchments. *Water Resource, Res.*, 27 (5).
- 15- Thoth, E. A. Montanari And A. Broth (1999) "Real-Time Flood Forecasting Via Combined Use Of Conceptual And Stochastic Models, *Physchem Earth (B)*, Vol. 24, No. 7.
- 16- Vogel, R. M., Zafirakou- Koulounis, A., And Matalas, N.C (2001) The Frequency Of Record Breaking Floods In The United States, *Water Resource. Res.*, 37 (6).
- 17- Walker, F.R., And Stedinger, J. R (2000) Long-Term Variability In The Arrival Rate Of Flood Events As Evidenced By Flood Clustering, *Eos, Trans., American Geophysical Union*, 81(19).