

مدیریت بحران سیلاب‌های شهری مبتنی بر فناوری‌های مدرن

حامد تقی زاده^۱، عباس نقوی^۲، امین حسنی^{۳*}، افراسیاب میرزایی^۴، محمدرضا حسینی^۵

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، شرکت مهندسی مشاور ترازآب جامع

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، شرکت مهندسی مشاور ترازآب جامع

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیریت منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، aminh85@yahoo.com

۴- مدیر طرح‌های آبیاری و زهکشی، شرکت آب منطقه‌ای گلستان، گرگان، گلستان

۵- مدیر طرح زهکشی استان، شرکت آب منطقه‌ای گلستان، گرگان، گلستان

چکیده

مردم در سراسر جهان همه روزه با وقایعی روبرو می‌شوند که منجر به مرگ، آسیب، تخریب اموال و اختلال در فعالیتهای روزانه می‌شود. سیل نیز به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی از دیرباز جوامع روستایی و شهری را مورد تهدید و هجوم قرار داده است و جوامع شهری فارغ از هرگونه پیشرفت در زمینه‌های مختلف همواره دغدغه‌ی تهدیدات سیلاب را به عنوان چالشی بزرگ پیش رو داشته‌اند. با توجه به مسائل مطرح شده ویژه به مبحث مدیریت بحران سیلاب در تعامل با سایر دانش‌ها و علوم بنیادین و کاربردی امری اجتناب ناپذیر می‌نماید. در این پژوهش به بررسی بازتاب رفتار هیدرولیکی شهر آق قلا در برخورد با سیلاب‌های ۱۰۰ ساله رودخانه‌ی گرگانود پرداخته و با تعریف شاخص مخاطره ورودی لازم برای تدوین برنامه واکنش سریع، مدیریت بحران، بیمه سیلاب و ... استخراج گردیده است. نتایج حاکی از این می‌باشد که با توجه به الگوی جریان شکل گرفته در سیلاب مذکور و نقشه‌های شاخص مخاطره تخلیه کلی شهر امری ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با توجه به مساحت پهنه پرخطر، میزان خسارات وارده سنگین خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت بحران، سیلاب‌های شهری، شبیه‌سازی عددی جریان سیلاب، شاخص مخاطره.

Crisis Management of Municipal Floods Using Modern Technologies

Hamed Taghizadeh¹, Abbas Naghavi², Amin Hassani^{3*}, Afrasiab Mirzaei⁴, Mohammadreza Hosseini⁵

1- Graduate Student of Civil Engineering, Hydraulic Structures, Taraz Ab Jame (TAJ) Engineering Co.

2- Graduate Student of Civil Engineering, Hydraulic Structures, Taraz Ab Jame (TAJ) Engineering Co.

3*- Graduate Student of Civil Engineering, Water Resources Management, Golestan Regional Water Co. Email: aminh85@yahoo.com

4-Manager of Irrigation and Drainage Networks, Golestan Regional Water Co. Golestan, Iran.

5-Manager of Driange Network, Golestan Regional Water Co. Golestan, Iran.

Abstract

Every day peoples confront with different events that lead to death, damage, destruction, and disturbance in their routine activities. Floods as one of the important natural hazards, threatened rural and municipal communities from long times and urban settlements regardless of all progresses in different aspects, always concerns about flood hazards as a major challenge. Considering this contents, special attention to the flood crisis management in cooperation with other applied and fundamental sciences will be unavoidable. In this study, hydraulic behavior feedbacks of the Aq-Qala city in dealing with Gorganroud floods with return period of 100 years have been analyzed and by definition of hazard index, required input for preparation of emergency action plan, crisis management, flood insurance ... have been extracted. The results showed that by considering the form of mentioned flood flow pattern and hazard index maps, total Evacuation of the city population is seems to be essential. On the other hand, according to the large area with high-risk level, the damages will be wide spreading.

Keywords: Crisis Management, Municipal Floods, Numerical Simulation, Hazard Index.

گزارشات سازمانهای بین‌المللی امداد رسانی و مقابله با حوادث غیرمترقبه حاکی از آن است که سیل یکی از جدی‌ترین مخاطرات طبیعی به شمار رفته و در صدر فهرست عوامل تهدید کننده حیات جمعی قرار دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد علیرغم هزینه‌های هنگفتی که برای مقابله با سیلاب صرف می‌شود، خسارات سالانه آن در سطح بین‌المللی روبه افزایش است و به عنوان مثال در کشور ما یک رشد ۲۵۰ درصدی داشته و ۷۰ درصد اعتبارات سالانه ستاد حوادث غیرمترقبه صرف جبران خسارات سیل می‌گردد. ایران طی ۵۰ سال گذشته شاهد ۲۴۰۰ مورد سیل سهمگین بوده که منجر به آبرفتگی بیش از ۴۸۰ هزار دستگاه واحد مسکونی و بی‌خانمانی تعدادی زیاد و خسارتهای جدی مالی و جانی گردیده است. خسارات مالی طی سالهای ۱۳۷۰-۱۳۳۰، ۷۳۱۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است [۱].

مدیریت سیلاب و ارزیابی خسارات مورد انتظار سالیانه برای کاهش آسیبهای ناشی از سیلاب و به حداقل رساندن خسارت و کنترل آن در محیط شهری امری ضروری بوده که به دلیل توسعه شهری از پیچیدگیهای خاص برخوردار است. امروزه روشهای مختلفی برای کنترل سیلاب وجود دارد که بسته به شرایط هیدرولیکی مورد توجه قرار می‌گیرد. استفاده از خاکریزهای طولی ساحلی، انحراف جریان، مدیریت حوضه آبریز و غیره از جمله روشهای مورد توجه طراحان شهری می‌باشد. در این میان تاکنون استفاده از نرم افزارهای مختلف همانند GIS و HEC-RAS توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است. به عنوان مثال مهدی ارشادی فارسانی و همکاران در سال ۱۳۸۹ در تحقیقی مطالعات هیدرولیک مسیل مهرانه رود که از شریانهای مهم زهکشی سطحی شهر تبریز می‌باشد را به کمک مدل ریاضی HEC-RAS مورد توجه قرار داده و پس از پهنه بندی خطر سیلاب در شهر تبریز، مناطق آسیب پذیر آن بر اساس نوع کاربری زمین، سازه‌ها و ساختمانهای کنار رودخانه را تعیین نمودند. در ادامه با استفاده از نرم افزار تحلیلگر HEC-FDA خسارات مورد انتظار سالیانه ناشی از سیلابهای این رودخانه را برآورد و در نهایت راهکارهای مدیریتی جهت مهار و کاهش خطرات سیل با توجه به رژیم رودخانه و شرایط منطقه و کاربری اراضی و غیره را مورد توجه قرار دادند [۲]. فاطمه مدنی و همکاران در سال ۱۳۹۱ با تفکیک بحران طبیعی به سه بخش (قبل، حین، پس از بحران) در هر یک از این مقاطع زمانی عملکردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در کاهش ریسک بحران سیل را مورد بررسی قرار داده و به تعیین مکان های امن و پایدار برای فعالیت های مختلف و تأسیسات حساس و استراتژیک پرداختند [۳]. فرشاد کردپور و همکاران (۱۳۹۲) به مکان یابی عرصه های پخش سیلاب در حوزه آبخیز دشت ذهاب استان کرمانشاه پرداختند. ایشان بدین منظور از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل های همپوشانی شاخص ها Binary Evidence، (IO) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کردند. در این پژوهش ابتدا ۶ لایه اطلاعاتی موثر در فرایند پخش سیلاب شامل ژئومورفولوژی، ارتفاع از سطح دریا، شیب، زمین شناسی، نفوذپذیری و کاربری اراضی شناسایی گردید. سپس لایه های اطلاعاتی عوامل ذکر شده در محیط GIS تهیه و کلاسه بندی شد و به روش وزن دهی مقایس زوجی که بخشی از فرایند AHP است به هر یک از لایه های اطلاعاتی، وزنی اختصاص یافت. در نهایت لایه های اطلاعاتی با استفاده از دو مدل یاد شده تلفیق و مناطق مناسب جهت اجرای عملیات پخش سیلاب مشخص گردید [۴]. رضا جعفری و بهرام بختیاری در سال ۱۳۹۲ به تهیه نقشه پتانسیل سیل خیزی و پهنه بندی سیلاب در منطقه مطالعاتی دشت کهنوج پرداختند. ایشان از بین عوامل گوناگونی که در سیل خیزی یک منطقه دارای اهمیت هستند شش عامل شیب، بارندگی، پوشش گیاهی، نفوذپذیری خاک، تراکم شبکه زهکشی و کاربری اراضی را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و برای طبقه بندی پارامترهای موثر در پتانسیل سیل خیزی از منطق فازی استفاده کردند. همچنین در این تحقیق جهت تحلیل حساسیت مدل بدست آمده دو روش تحلیل حساسیت تک پارامتری و حذف پارامتر به کار برده شده است [۵]. مهدی کمالی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیق خود سیلاب حوزه شهری قزوین را با استفاده از GIS در ترکیب با مدل های بارش رواناب مطالعه نمودند. ایشان پس از تهیه اطلاعات رقومی منطقه با استفاده از نقشه ها و تصاویر ماهواره ای، وضعیت کاربری اراضی و گروه های هیدرولوژیک خاک در حوزه مورد مطالعه را تعیین و سپس با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا نقشه شبیه سازی شده سیلاب در دوره بازگشت های مختلف حوزه را تهیه کردند [۶].

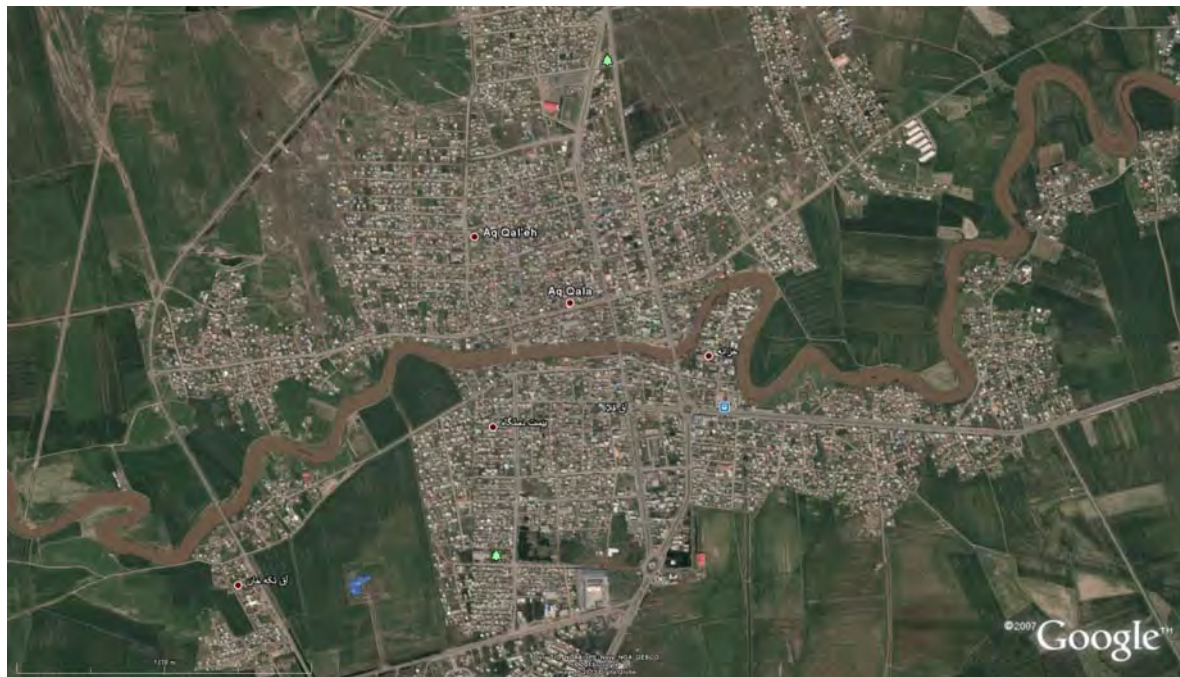
امروزه همه سازمان هایی که در کاهش و یا جلوگیری از بحران ها نقش دارند، اذعان دارند با پیشرفت تکنولوژی و فناوری اطلاعات دیگر قادر نیستند از روش های سنتی در مقابل بحران ها موفق باشند بلکه اجرای مراحل مدیریت بحران (کاهش، آمادگی، پاسخ، بازگشت و بازسازی) نیازمند داشتن دانش متناسب با هر اقدامی می باشد، دانشی که از بکارگیری بهترین نحوه از مجموع اطلاعات موجود نشأت گرفته

باشد. رویکرد مدیریت دانش با تلفیق فناوری مداری و انسان مداری این امکان را می‌دهد که در مواجهه با بحرانها موثرتر و کارآمدتر مدیریت شود.

در موضوع مدیریت بحران سیلاب شهری، یکی از مسایل مهم و کلیدی زمانی نمود پیدا می‌کند که سیلاب رخ داده باشد. این مساله داشتن اطلاعات کافی از رفتار سیلاب رخ داده می‌باشد. حال اگر بتوان رفتار یک سیلاب را با دقتی قابل قبول پیش‌بینی کرد مسائل مدیریتی و واکنش سریع دست آویز قدرتمندی برای ارائه برنامه‌های خود خواهند داشت. در این پژوهش با استفاده از مدل دوبعدی CCHE-2D به بررسی رفتار سیلاب ۱۰۰ ساله رخ داده در رودخانه گرگانود پرداخته و اثرات آن در محدوده شهر آق قلا مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با تعریف شاخص مخاطره و دسته بندی مناطق به مناطق کم خطر، خطر متوسط و پرخطر اطلاعات جامعی از رفتار آسیب‌زای یک سیلاب استخراج شده‌است.

۲- محدوده مورد مطالعه

استان گلستان از مناطق سیل‌خیز ایران است. طی سالهای اخیر چندین مورد سیل مخرب در استان گلستان رخ داده که موجب تلفات انسانی و خسارات اقتصادی فراوانی گردید و نگرانی شدید مردم و مسئولین را سبب شد. رودخانه گرگانود یکی از مهمترین شاخه‌های سیل خیز استان گلستان می‌باشد. این رودخانه با طول حدود ۳۰۰ کیلومتر و با حوضه آبریزی به وسعت ۱۰۲۵۰ کیلومتر مربع از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات استان خراسان شمالی سرچشمه می‌گیرد و از به هم پیوستن رودهای زاو، دوغ، چهل چای، زرین گل، تیل آباد، رامیان، محمدآباد و ... تشکیل می‌شود. جهت جریان آب این رودخانه‌ها، از شرق به غرب می‌باشد و شاخه‌های آن از رشته کوه البرز سرچشمه گرفته و از جنوب به شمال جریان دارند و پس از عبور از شهرهای گنبد کاووس و آق قلا در غرب خواجه نفس با تشکیل دلتای بزرگی به دریای خزر می‌ریزد. متوسط آبدهی سالانه آن حدود ۹۲۰ میلیون متر مکعب می‌باشد که حدود ۴۲۰ میلیون متر مکعب آن به مصرف کشاورزی می‌رسد. شهرستان آق قلا بین ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی در شمال استان گلستان و در دو طرف رودخانه گرگانود واقع شده است و با جمعیتی در حدود ۱۰۹ هزار نفر، یک هزار و ۷۶۳ کیلومترمربع وسعت دارد [۷]. در شکل شماره (۱) محدوده مدلسازی مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل شماره ۱- محدوده مدلسازی مورد مطالعه.

۳- مدل‌سازی عددی ۳-۱- روش المان محدود

در این پژوهش از مدل عددی CCHE-2D برای شبیه سازی میدان جریان استفاده شده است. این نرم افزار از روش اجزا محدود برای گسسته سازی معادلات بهره می برد. روش اجزاء محدود یا روش المان محدود که به اختصار FEM نامیده می‌شود، روشی عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل معادله‌های انتگرالی است. کاربرد عملی اجزای محدود معمولاً با نام تحلیل اجزا محدود (FEA) خوانده می‌شود. اساس کار این روش یا حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده سازی آنها به معادلات دیفرانسیل معمولی، که با روشهای عددی مثل اویلر حل می‌شوند، می‌باشد. در حل معادلات دیفرانسیل جزئی مسئله مهم رسیدن به معادله ساده‌ای که از نظر عددی پایدار است می‌باشد. به این معنا که خطا در داده‌های اولیه و در حین حل آنقدر نباشد که به نتایج نامفهوم منتهی شود. روشهایی با مزایا و معایب مختلف برای این امر وجود دارد، که روش اجزاء محدود یکی از بهترین آنهاست. این روش در حل معادلات دیفرانسیل جزئی روی دامنه‌های پیچیده (مانند جریان‌های رودخانه‌ای)، یا هنگامی که دامنه متغیر است، یا وقتی که دقت بالا در همه جای دامنه الزامی نیست و یا اگر نتایج همبستگی و یکنواختی کافی را ندارند، بسیار مفید می‌باشد [۸-۹].

۳-۲- معادلات حاکم بر جریان

برای حل میدان جریان از معادلات رینولدز متوسط گیری شده در عمق (Depth-Average) استفاده شده است و برای شبیه سازی معادلات انتقال آشفتگی از دو مدل صفر معادله گرانیوی چرخابه سهمی شکل (Eddy Viscosity Parabolic) و مدل طول اختلاط (Mixing Length) و نیز مدل دو معادله‌ای k-ε استفاده شده است. گسسته‌سازی معادلات میدان جریان و انتقال رسوب با استفاده از روش مبتنی بر المان محدود (FEM) صورت می‌گیرد و حل معادلات جبری میدان و انتقال رسوب به ترتیب با استفاده از روش‌های تصحیح سرعت و تکرار گوس-سایدل و حداکثر ضمنی (Strongly Implicit Procedure) انجام می‌شود. در روابط زیر معادلات پیوستگی و حرکت نشان داده شده است [۸-۹].

الف) معادله پیوستگی

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (۱)$$

ب) معادلات حرکت

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor} v \quad (۲)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{cor} u \quad (۳)$$

که در این معادلات، u و v مولفه سرعت در عمق میانگین به ترتیب در جهت x و y می‌باشد. G شدت نیروی ثقل، z تراز سطح آب، ρ چگالی آب، h عمق آب، f_{cor} پارامتر کوریولیس، τ_{xx} ، τ_{xy} ، τ_{yx} و τ_{yy} نیروی رینولدز انتگرال گیری شده در عمق و τ_{bx} و τ_{by} نیروی برشی سطح بستر در راستای x و y می‌باشند [۸-۹].

ج) معادلات آشفتگی

برای شبیه سازی اثر آشفتگی بر الگوی جریان و بستن سیستم معادلات حاکم از مدل استاندارد و توانمند k-ε بهره گرفته شده است. در این مدل k برای انرژی جنبشی آشفتگی و ε برای نرخ پراکندگی انرژی آشفتگی تعریف می‌شود. در ذیل معادلات مربوط به این مدل ترکیبی آمده است [۸-۹].

$$k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i} \quad (۴)$$

$$\varepsilon = \mu_t \frac{\overline{\partial u'_i}}{\partial x_i} \cdot \frac{\overline{\partial u'_j}}{\partial x_j} \quad (5)$$

۳-۳- گسسته‌سازی میدان حل

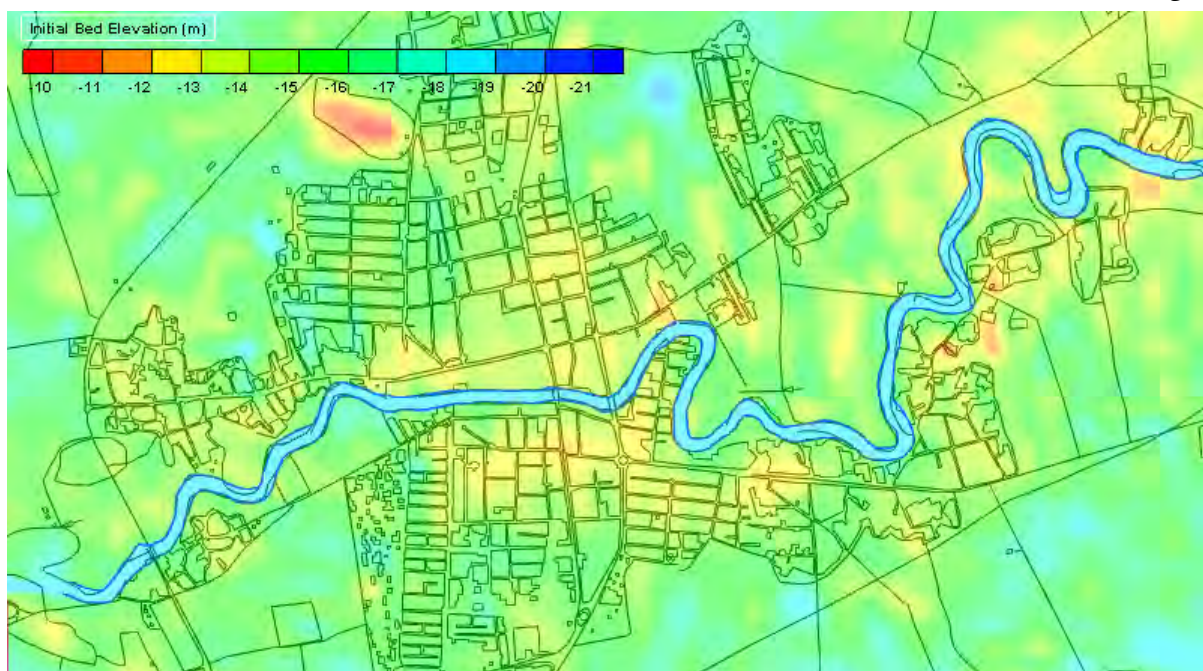
محدوده مورد مطالعه شامل رودخانه عبوری از شهر آق قلا و مناطق مسکونی در جناح‌های چپ و راست رودخانه، دارای وسعت تقریبی ۱۷/۵ کیلومترمربع می‌باشد. با توجه به وجود مناطق مسکونی و حساسیت مطالعات از آلمان‌های بسیار ریز برای گسسته‌سازی میدان حل استفاده شده است. این امر با اینکه باعث افزایش قابل توجه هزینه‌های زمانی و سخت‌افزاری برای حل معادلات حاکم می‌شود، لکن دستیابی به نتایج دقیق‌تر و جزئی در اولویت می‌باشد. در جدول شماره ۱ اطلاعات گسسته سازی میدان حل آورده شده است.

جدول شماره ۱ - مشخصات گسسته سازی میدان حل.

۱۲۵۰۰۰	تعداد آلمان‌های موجود در کل میدان
۱۲ متر	متوسط اندازه آلمان‌های میدان
۱/۱۱	متوسط ضریب نرمی شبکه‌بندی
k-ε	مدل آشفتگی
۶۰۰۰۰۰ ثانیه	زمان واقعی حل
۵ ثانیه	گام‌های زمانی حل معادلات
۵۶ ساعت	زمان لازم برای حل معادلات حاکم

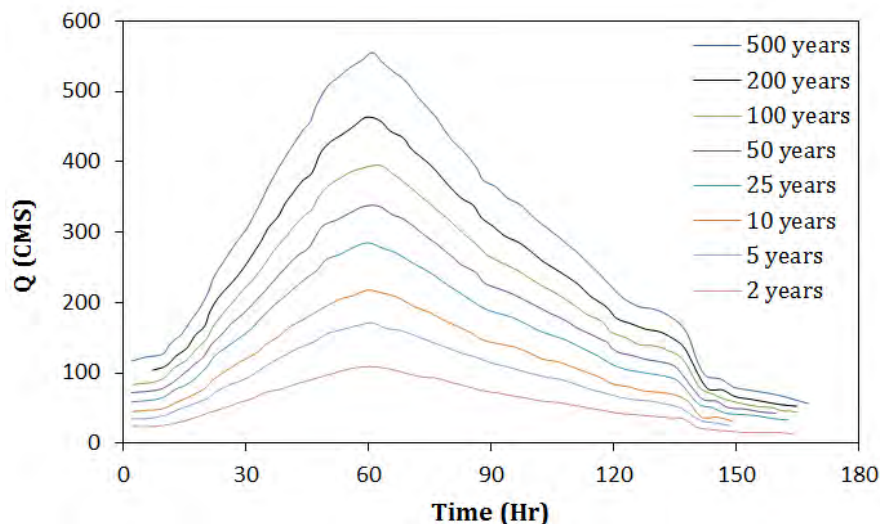
۳-۴- مشخصات فیزیوگرافی و هیدرولیکی

با توجه به اینکه گسسته‌سازی میدان حل در ارتباط مستقیم با مدل‌سازی دقیق‌تر توپوگرافی منطقه می‌باشد، استفاده از آلمان‌های ریز در محدوده مورد مطالعه این نگرانی را رفع کرده است. در شکل شماره ۲ توپوگرافی منطقه مورد مطالعه بعد از اعمال شبکه‌بندی میدان حل نشان داده شده است.



شکل شماره ۲ - توپوگرافی منطقه مورد مطالعه بعد از اعمال شبکه‌بندی میدان حل.

با توجه به گستردگی سیلاب‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه هم از لحاظ شدت هم از لحاظ زمانی، هیدروگراف‌های سیل رودخانه گرگانرود که در محل ایستگاه آبسنجی آق قلا با دوره بازگشت‌های مختلف استخراج شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعیین دوره بازگشت بستگی به سرمایه گذاری دولت برای حفظ جان مردم و حفاظت تاسیسات و همچنین اقتصاد ملی دارد. مهمترین مساله تعیین دوره بازگشت سیل این است که هر چه جمعیت انسانی و سرمایه گذاری بیشتر باشد، سیل با دوره بازگشت بیشتری تعیین و مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای حفاظت اراضی کشاورزی، سیل با دوره ۷-۱۰ سال تعیین می‌گردد. برای حفاظت روستاها سیل با دوره بازگشت ۲۰-۵ سال مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهمترین گزینه از لحاظ اقتصادی شاید مهار کردن سیل با دوره بازگشت ۱۰۰-۶۰ ساله باشد که برای این منظور می‌بایست سیل را با دوره بازگشت مورد نظر برآورده نموده و سازه‌های مهار سیلاب را بر اساس آن طراحی نمود [۷].



شکل شماره ۳- هیدروگراف‌های سیل رودخانه گرگانرود در محل ایستگاه آبسنجی آق قلا [۷].

با توجه به توضیحات ذکر شده در این بخش هیدروگراف سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای شبیه سازی سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است.

۴- نتایج

۴-۱- الگوی جریان

با نزدیک شدن سیلاب به مناطق مسکونی و افزایش عمق و سرعت جریان، سیلاب در مناطقی فرصت خروج از مسیر رودخانه را پیدا کرده و وارد زمینهای کشاورزی و مناطق شهری می‌شود. بعد از گذشت نزدیک به ۵۰ ساعت از زمان سیلاب و رسیدن به نقطه پیک هیدروگراف، جریان سیلاب با شدت بیشتری مناطق مسکونی جناح راست رودخانه را احاطه می‌کند. از طرفی ارتفاع ساختمانهای مسکونی و سایر تاسیسات بخصوص در قسمت متمرکز شهر در مقابل سیلاب مقاومت می‌کنند ولی آنچه اتفاق افتاده نشان می‌دهد که این سیلاب در زمان پیک خود و ساعاتی پس از آن نیز مسیر خود را از خیابان‌های اصلی و فرعی شهر باز کرده و تقریباً بیشتر تاسیسات شهری را در بر می‌گیرد. بحرانی‌ترین وضعیت از حدود ۲/۵ روز بعد از سیلاب شروع شده و به مدت ۳۵ ساعت ادامه پیدا می‌کند. آنچه مشاهدات نشان می‌دهد بحرانی‌ترین شرایط از لحاظ آبگرفتگی و سرعت جریان در روز چهارم سیلاب روی می‌دهد. شکل شماره ۴ نشان دهنده الگوی جریان شکل گرفته ناشی از سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله می‌باشد.



Time: 0(d): 0(h): 0(min)



Time: 1(d): 10(h): 43(min)



Time: 2(d): 7(h): 33(min)



Time: 4(d): 12(h): 20(min)



Time: 5(d): 3(h): 36(min)



Time: 6(d): 19(h): 53(min)

شکل شماره ۴- الگوی سیلاب شکل گرفته در شهر آق قلا با کانتورهای دبی.

۴-۲- شاخص مخاطره

عمق و سرعت جریان از مهمترین فاکتورهای مورد نیاز برای بررسی اثرات یک سیلاب می‌باشد. با توجه به این که شاخص مخاطره تابعی از آنها می‌باشد برای تخمین مقدار کمی آن تعیین عمق و سرعت جریان در هر نقطه ای از محدوده مورد مطالعه ضروری می‌باشد. تعاریف گوناگونی برای شاخص مخاطره وجود دارد که معمولاً به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۰].

$$HR = f(h, V) \quad \text{USA} \quad (6)$$

$$HR = f\left(h, v^2 / 2g\right) \quad \text{Austria} \quad (7)$$

$$HR = f(h, v \times h) \quad \text{Switzerland} \quad (8)$$

به منظور تلفیق دو متغیر سرعت جریان و عمق آب‌گرفتگی در بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، در سال ۱۹۸۸، USBR اقدام به ارائه منحنی‌هایی نمود که میزان مخاطره در آن را مشخص می‌کرد. در استفاده از این منحنی‌ها، منطقه مورد نظر به سه ناحیه خطر به شرح ذیل تقسیم می‌گردد:

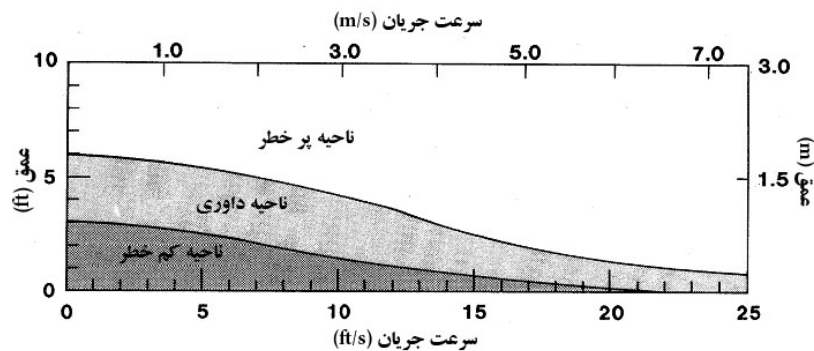
ناحیه کم خطر: اگر ترکیب سرعت جریان و عمق آب‌گرفتگی در این ناحیه قرار گیرد، میزان مخاطره در این منطقه کم می‌باشد.
 ناحیه پرخاطر: اگر ترکیب سرعت جریان و عمق آب‌گرفتگی در این ناحیه واقع گردد، میزان کلیه مناطق مورد نظر در معرض خطر جدی قرار خواهند داشت.

ناحیه داوری: دو ناحیه پر خطر و کم خطر نشان‌دهنده حد بالا و حد پایین میزان خطر را برای نواحی پایین دست مشخص می‌کند. ناحیه ای که در این بین قرار می‌گیرد، از نظر میزان مخاطره نامعلوم است. زیرا هر سیلابی مشخصات خاص خود را دارد و چنانکه ترکیب سرعت و

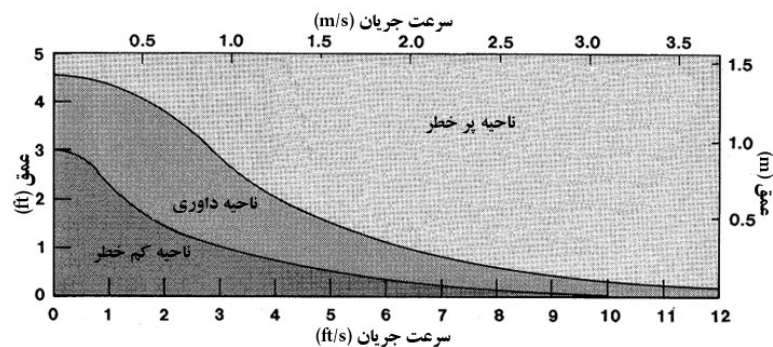
عمق آب‌گرفتگی در این ناحیه قرار گیرد، محاسبه پارامترهایی که سبب ایجاد مخاطره در مناطق پایین دست می‌شود عملاً غیر ممکن می‌شود. لذا در این شرایط میزان مخاطره منطقه مورد نظر کاملاً بستگی به قضاوت مهندسی کاربر دارد [۱۰]. در جدول شماره ۲ دسته‌بندی شاخص مخاطره و در شکل‌های شماره ۵، ۶ و ۷ نمودار شاخص مخاطرات بر اساس مطالعات USBR نشان داده شده است.

جدول شماره ۲- دسته‌بندی شاخص مخاطره [۱۰].

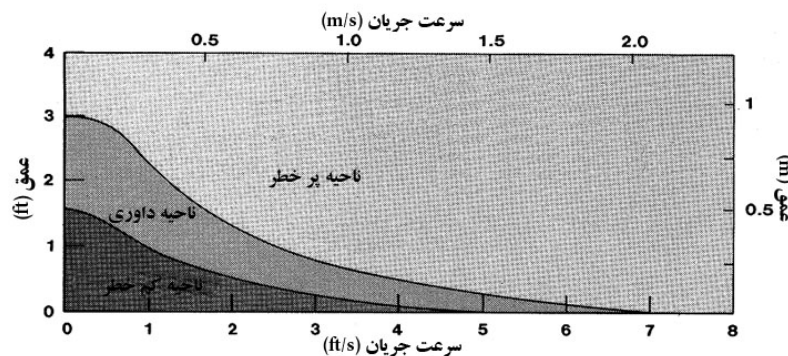
شاخص مخاطره	حداکثر عمق جریان (متر)	شرط	عمق (متر) و سرعت جریان (متربرثانیه)
بالا	$h < 1/5$ متر	یا	$Vh < 1/5$ متر
متوسط (داوری)	$1/5 < h < 0/5$ متر	یا	$1/5 < Vh < 0/5$ متر
کم	$0/5 < h < 0/1$ متر	و	$0/5 < Vh < 0/1$ متر



شکل شماره ۵- رابطه عمق-سرعت جریان و سطح خطر برای ساختمان‌های متصل به پی [۱۰].



شکل شماره ۶- رابطه عمق-سرعت جریان و سطح خطر برای بزرگسالان [۱۰].



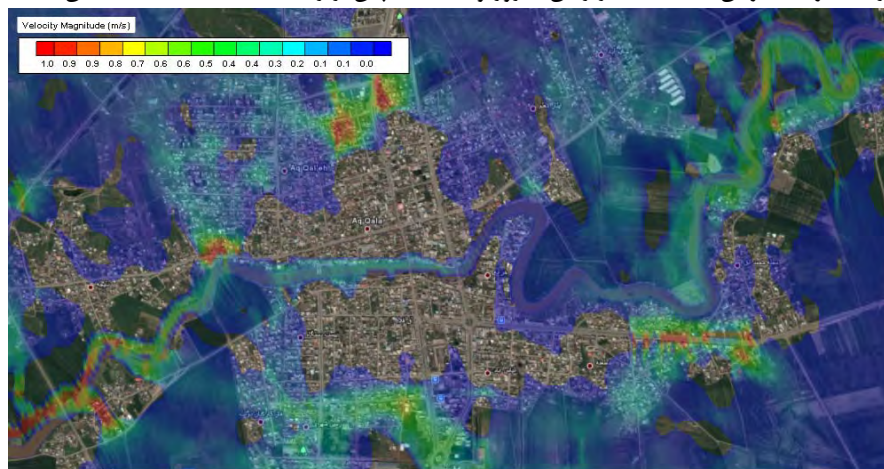
شکل شماره ۷- رابطه عمق-سرعت جریان و سطح خطر برای کودکان [۱۰].

در حالت کلی برای آگاهی از میزان مخاطره USBR تعاریفی از شاخص مخاطره برای دسته بندی مذکور ارائه کرده است که در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول شماره ۳- تعریف شاخص مخاطره بر اساس دسته بندی انجام شده [۱۰].

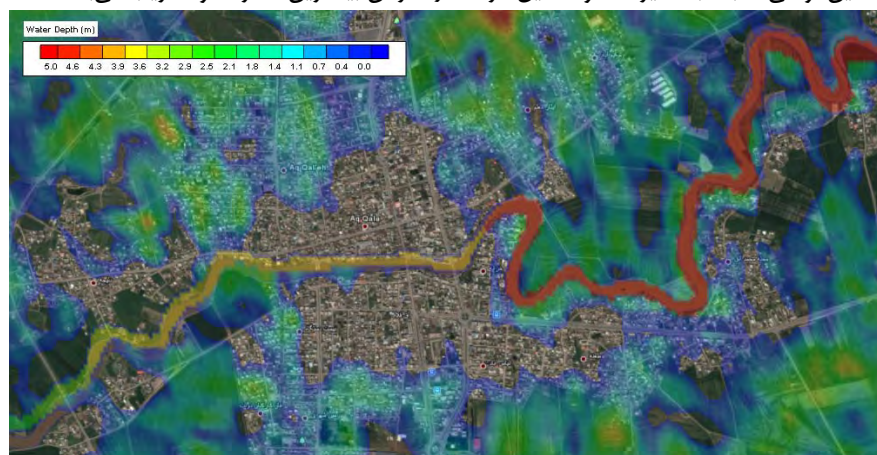
شاخص مخاطره	رنگ اختصاص یافته	تعریف
زیاد	قرمز	افراد چه در داخل و چه در خارج از مناطق مسکونی در خطر می‌باشند. تاسیسات مسکونی در معرض تخریب قرار دارند.
متوسط	نارنجی	افراد در خارج از مناطق مسکونی در خطر می‌باشند. تاسیسات مسکونی بسته به ساختار آنها در معرض آسیب قرار دارند.
کم	زرد	افراد چندان در معرض خطر نمی‌باشند. تاسیسات مسکونی ممکن است به صورت محدودی دچار آسیب شوند.

در شکل شماره ۸ سرعت جریان ایجاد شده در زمان ۴ روز و ۸ ساعت پس از رخداد سیلاب ۱۰۰ ساله نشان داده شده است.



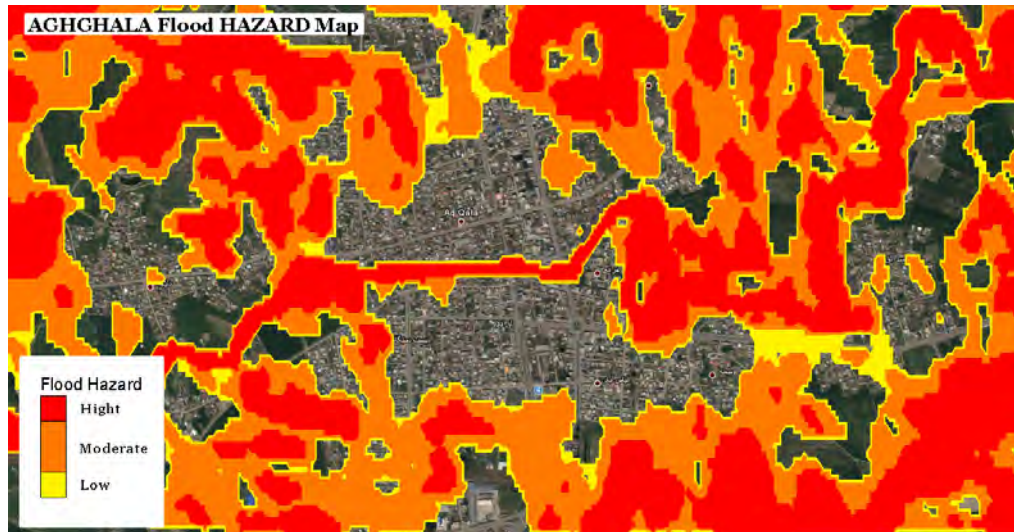
شکل شماره ۸- سرعت جریان ایجاد شده در زمان ۴ روز و ۸ ساعت و ۱۰ دقیقه پس از شروع سیلاب.

همانگونه که از شکل شماره ۹ مشخص می‌باشد، علاوه بر مسیل رودخانه سرعت‌های بالایی از جریان در نواحی خارج از مسیل رودخانه رخ داده است. این نواحی نسبت به سایر محدوده سیل گرفته در معرض بیشترین خطرات و تخریب می‌باشند.



شکل شماره ۹- عمق جریان ایجاد شده در زمان ۴ روز و ۸ ساعت و ۱۰ دقیقه پس از شروع سیلاب.

شاخص مخاطره برای محدوده مورد مطالعه و در زمان ۴ روز و ۸ ساعت و ۱۰ دقیقه پس از شروع سیلاب ۱۰۰ ساله بر اساس دسته بندی جدول شماره ۲ و ۳ به صورت شکل شماره ۱۰ می‌باشد.



شکل شماره ۱۰- شاخص مخاطره در زمان ۴ روز و ۸ ساعت و ۱۰ دقیقه پس از شروع سیلاب.

۵- نتیجه‌گیری

مدیریت بحران سیلاب‌های شهری، توسعه پایدار و دانش درباره سیلاب‌های شهری ارتباط بسیار نزدیکی با هم دارند. زیرا مدیریت سیلاب‌های شهری نه تنها باعث امنیت و رفاه شهرهایی می‌شود که در مسیر سیلاب‌ها قرار دارند بلکه با پیش‌بینی این سیلاب‌ها و جهت پیشروی آنها و همچنین میزان اثرات آنها، می‌توان با استفاده از روش‌های پیشگیری مناسب از خطرات جانی، اقتصادی و... و آسیب رسیدن به تاسیسات مهم شهری جلوگیری نمود و همچنین امنیت نسل‌های آینده را نیز تضمین کرد.

در این تحقیق محدوده شهر آق قلا که در مسیر یکی از سیل خیزترین رودخانه‌های کشور قرار دارد، بر اساس هیدروگراف سیلاب صد ساله بررسی شد و نتایج زیر حاصل گردید:

- با توجه به اهمیت توسعه شهرها در مبحث توسعه پایدار و رابطه آن با سیلاب‌های شهری، در صورت گسترش مناطق شهری، توسعه شهر آق قلا به صورت عرضی و نه در جهت مسیل رودخانه امری ضروری به نظر می‌رسد.
- با توجه به الگوی سیلاب شکل گرفته در محدوده شهر آق قلا، یک سری نواحی در امتداد مسیر رودخانه پس از ورود سیلاب به سرعت تحت تاثیر قرار گرفته و سیلاب از این نواحی به مسیر فرعی وارد می‌شود. احداث سازه‌هایی مانند دایک و دیواره‌های سیل‌بند می‌تواند از خروج جریان در زمان سیل از این نواحی جلوگیری کند.
- با توجه به نقشه‌های شاخص مخاطره در محدوده شهر آق قلا، غالب مناطق متأثر از سیلاب، در وضعیت پرخطر قرار دارند. این مناطق به شدت دچار آسیب شده و برای شهروندان نیز بسیار خطرناک می‌باشند. تخلیه سریع این مناطق می‌تواند از اولویت‌های تدوین برنامه واکنش سریع و مدیریت بحران باشد.
- یکی از مسایل مهم دیگر دسترسی به مناطق سیل زده می‌باشد. با مشاهده نقشه‌های شاخص مخاطره می‌توان مناطق دسترسی را تعیین و اقدامات ضروری را به انجام رساند.
- با توجه به الگوی جریان شکل گرفته در سیلاب مذکور و نقشه‌های شاخص مخاطره تخلیه کلی شهر امری ضروری به نظر می‌رسد.
- در گام‌های بعدی می‌توان با در دست داشتن اطلاعات حاصل از این مطالعه و بررسی‌های سازه‌ای و ژئوتکنیکی تخصصی به بررسی میزان خسارات وارده پرداخت و نظام‌نامه‌ای معقول برای تدوین بیمه‌نامه سیلاب (به عنوان یکی از روش‌های نرم مدیریت بحران) تهیه کرد.

۶- مراجع

- [۱] برنامه راهبردی طرح جامع کاهش خطرپذیری سیلاب شهر تهران، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، شهرداری تهران، ۱۳۹۲.
- [۲] ارشادی فارسانی، مهدی و همکاران، ارزیابی خسارات سیل شهر تبریز و راهکارهای مدیریت آن، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلابهای شهری، ۱۳۸۹.
- [۳] مدنی، فاطمه و همکاران، بررسی مدیریت بحران سیل در مناطق شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دومین همایش مدیریت بحران در صنعت ساختمان، شریانهای حیاتی و سازه های زیر زمینی، ۱۳۹۱.
- [۴] کردپور، فرشاد و همکاران، تلفیق مدل‌های همپوشانی شاخص ها (IO) و Binary Evidence با تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مکان یابی عرصه های پخش سیلاب (مطالعه موردی حوزه آبخیز دشت ذهاب استان کرمانشاه)، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، ۱۳۹۲.
- [۵] جعفری، رضا و بختیاری، بهرام، تهیه نقشه پتانسیل سیل خیزی با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: دشت کهنوج)، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، ۱۳۹۲.
- [۶] کمالی، مهدی و همکاران، شناسایی مناطق مولد سیل در حوضه آبخیز رودخانه باراجین با استفاده از GIS، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، ۱۳۹۲.
- [۷] گزارش مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه گرگانرود از سد وشمگیر تا محل اتصال به دریای خزر، مطالعات هیدرولوژی، شرکت مهندسی مشاور سازه پردازی ایران، ۱۳۸۶.
- [۸] Zhang, Y., Y. Jia and S.Y. Wang, A Conservative Multi-block Algorithm for Two-dimensional Numerical, 2007.
- [۹] Wu, W., Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model For Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed (Version 2.1). Tech Report No. NCCHE- TR- 2001-3. NCCHE, University of Mississippi, 2009.
- [۱۰] The U.S. Bureau of Reclamation, identifies hazard as a combination of depth and velocity and differentiates these for adults, cars, and houses, 1988.