

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

ضابطه شماره ۸۲۱

آخرین ویرایش: ۹۹-۰۴-۰۷

وزارت نیرو
دفتر استانداردها و طرح‌های آب و آبفا
seso.moe.gov.ir

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی
امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
nezamfanni.ir



شماره: ۹۹/۱۶۸۲۹۸	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱	
موضوع: راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب	
در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۸۲۱ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران با عنوان «راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۹/۱۰/۰۱ الزامی است. امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.  محمد باقر نوبخت	



اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۵- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Email: nezamfanni@mporg.ir

web: nezamfanni.ir



باسمه تعالی

پیشگفتار

با توجه به نقش مهم مدیریت سیلابدشت در کاهش اثرات مخرب سیلاب‌ها، تهیه پهنه‌های خطرپذیری سیل، مهم‌ترین ابزار مدیریت سیلابدشت می‌باشد. علاوه بر آن، وجود نقشه‌های خطرپذیری برای هرگونه اقدامات کنترل سیل، سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیل، بیمه سیل و به طور کلی جهت اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای مهار سیل، لازم و ضروری است. این نقشه‌ها، اطلاعات سیلاب در یک منطقه را به صورت نقشه‌هایی گویا و کاربردی در اختیار برنامه‌ریزان و ذینفعان قرار می‌دهد. در حقیقت مدیریت سیلاب و شرایط بحرانی ناشی از وقوع آن بدون در اختیار داشتن نقشه‌های خطرپذیری سیلاب امکان‌پذیر نمی‌باشد.

با توجه به اهمیت مبحث فوق‌الذکر، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب» را با هماهنگی امور نظام فنی، اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرارداد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این معاونت ارسال نمود که پس از بررسی، بر اساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی، اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از این رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

حمیدرضا عدل

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

تابستان ۱۳۹۹



تهیه و کنترل «راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب» [ضابطه شماره ۸۲۱]

مشاور پروژه: محمود افسوس شرکت مهندسين مشاور سازه‌پردازی فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک

اعضای گروه تهیه کننده:

محمود افسوس	شرکت مهندسين مشاور سازه‌پردازی	فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک
ساناز بمبئی‌چی	شرکت مهندسين مشاور سازه‌پردازی	دکترای عمران - آب
الهه کاکاوند	شرکت آب منطقه‌ای قزوین	فوق‌لیسانس مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی

اعضای گروه نظارت:

غزال جعفری	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس مهندسی عمران - آب
محمدحسین یزدانی	سازمان مدیریت بحران کشور	فوق‌لیسانس مدیریت بحران

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

محمدابراهیم بنی‌حبیب	دانشگاه تهران	دکترای عمران - مهندسی آب
غزال جعفری	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس مهندسی عمران - آب
نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	لیسانس مهندسی آبیاری
محمد رستمی	پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری	دکترای عمران - مهندسی آب
حسام فولادفر	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	دکترای مهندسی رودخانه
جبار وطن‌فدا	وزارت نیرو	فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های هیدرولیکی
مهدی یاسی	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی رودخانه
محمدحسین یزدانی	سازمان مدیریت بحران کشور	فوق‌لیسانس مدیریت بحران

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
سید وحیدالدین رضوانی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران



فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۳	فصل اول - کلیات
۵	۱-۱- تعاریف و مفاهیم
۶	۲-۱- انواع نقشه‌های سیلاب
۷	۱-۲-۱- نقشه‌های خطر سیلاب
۱۲	۲-۲-۱- نقشه‌های خطرپذیری (ریسک) سیلاب
۱۸	۳-۱- کاربرد نقشه‌های سیلاب
۱۹	۱-۳-۱- مدیریت سیلاب
۲۰	۲-۳-۱- برنامه‌ریزی کاربری اراضی
۲۱	۳-۳-۱- برنامه‌ریزی شرایط اضطراری و مدیریت بحران
۲۲	۴-۳-۱- اطلاع‌رسانی عمومی
۲۳	۵-۳-۱- بیمه سیل
۲۳	۶-۳-۱- ارزیابی طرح‌های مهار سیلاب
۲۳	۷-۳-۱- تحلیل و ارزیابی خسارت سیل
۲۴	۸-۳-۱- پیاده‌سازی سیستم‌های هشدار سیل
۲۴	۴-۱- کاربرد GIS و RS در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب
۲۶	۵-۱- عوامل کاهش و تشدید خطرپذیری
۲۷	۶-۱- کاربران نقشه‌های خطرپذیری سیلاب
۲۹	فصل دوم - نقشه‌های خطر سیل
۳۱	۱-۲- مقدمه
۳۱	۲-۲- روش‌ها و متدولوژی تهیه نقشه‌های خطر سیلاب
۳۲	۱-۲-۲- روش سیلاب‌های تاریخی
۳۴	۲-۲-۲- روش زمین ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) در تعیین پهنه سیلاب رودخانه‌ها
۳۶	۳-۲-۲- روش مدل‌سازی هیدرولیکی
۴۵	۳-۲- انتخاب سیلاب مبنای تهیه نقشه‌های سیلاب
۴۷	۴-۲- ناحیه‌بندی خطر سیل



فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۷	۲-۴-۱- روش‌های ناحیه‌بندی خطر سیل
۵۶	۲-۴-۲- انتخاب روش ناحیه‌بندی خطر سیل برای کشور ایران
۵۷	۲-۵- تهیه نقشه‌های خطر سیل
۵۷	۲-۵-۱- نقشه‌های پهنه‌بندی سیل
۵۸	۲-۵-۲- نقشه‌های تغییرات عمق سیلاب
۵۹	۲-۵-۳- نقشه تغییرات سرعت جریان
۵۹	۲-۵-۴- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل
۶۱	فصل سوم - نقشه‌های خطرپذیری سیل
۶۳	۳-۱- مقدمه
۶۳	۳-۲- مطالعات کاربری اراضی
۶۷	۳-۳- مطالعات اقتصادی- اجتماعی منطقه مورد مطالعه
۶۹	۳-۴- مطالعات آسیب‌پذیری
۷۰	۳-۴-۱- انواع آسیب‌پذیری
۷۳	۳-۴-۲- انواع خسارت سیلاب
۷۵	۳-۴-۳- ارزیابی آسیب‌پذیری
۸۱	۳-۵- ارزیابی خطرپذیری (ریسک) سیلاب
۸۲	۳-۵-۱- ارزیابی کیفی خطرپذیری (ریسک) سیل
۸۴	۳-۵-۲- ارزیابی کمی خطرپذیری (ریسک) سیل
۹۰	۳-۶- مطالعات ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب
۹۱	۳-۷- مطالعات زیست‌محیطی
۹۲	۳-۸- تعیین دوره بازگشت سیل برای نقشه‌های خطرپذیری سیل
۹۳	۳-۹- تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب
۹۳	۳-۹-۱- نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل
۹۹	۳-۹-۲- نقشه‌های خطرپذیری سیل
۱۰۱	فصل چهارم - مراحل تهیه نقشه‌های سیلاب
۱۰۳	۴-۱- مقدمه



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۰۳	۲-۴- مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل
۱۰۴	۳-۴- مراحل تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل
۱۰۹	پیوست ۱- تجربیات جهانی در تهیه نقشه‌های سیلاب
۱۲۱	پیوست ۲- نمونه نقشه‌های خطرپذیری تهیه شده در ایران
۱۳۳	پیوست ۳- شرح کلی خدمات مطالعات تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل
۱۴۱	پیوست ۴- شرح کلی خدمات مطالعات تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل
۱۵۳	منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها و نمودارها

صفحه	عنوان
۷	شکل ۱-۱- خصوصیات نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیلاب
۸	شکل ۲-۱- نمونه‌ای از یک نقشه پهنه سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف
۹	شکل ۳-۱- نمونه‌ای از نقشه عمق سیلاب
۱۰	شکل ۴-۱- نمونه‌ای از یک نقشه سرعت پخش سیلاب
۱۱	شکل ۵-۱- نمونه‌ای از یک نقشه ناحیه‌بندی خطر سیلاب: در این نقشه خطر سیلاب به شش ناحیه خطر تقسیم شده است.
۱۲	شکل ۶-۱- نقشه استخراجی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سیلاب ۲۶ آگوست سال ۲۰۱۰ رودخانه سند در پاکستان
۱۲	شکل ۷-۱- مفهوم خطرپذیری به عنوان ترکیبی از خطر، در معرض بودن و آسیب‌پذیری
۱۳	شکل ۸-۱- مفهوم خطرپذیری سیلاب ترکیبی از میزان خطر، در معرض بودن و آسیب‌پذیری
۱۴	شکل ۹-۱- خطرپذیری ترکیبی از سه عامل خطر، آسیب‌پذیری و در معرض بودن
۱۷	شکل ۱۰-۱- نقشه خطرپذیری کمی یک رودخانه بر اساس میزان خسارت‌های مالی کاربری‌های مجاور رودخانه
۱۸	شکل ۱۱-۱- نمونه نقشه فرار سیلاب ایالت فلوریدا آمریکا
۲۰	شکل ۱۲-۱- تعریف کاربری اراضی برای یک منطقه در معرض خطر سیل با توجه به نقشه خطرپذیری سیلاب
۲۱	شکل ۱۳-۱- ارائه طرح‌های توسعه شهری با توجه به نقشه‌های خطرپذیری سیلاب
۲۱	شکل ۱۴-۱- طراحی خیابان‌ها و کوچه‌های شهر بر اساس نقشه‌های خطرپذیری سیلاب



فهرست شکل‌ها و نمودارها

صفحه	عنوان
۲۵	شکل ۱-۱۵- نمونه‌ای از پایش محدوده سیلاب - ماهواره Landsat، سنجنده TM سال ۱۹۸۴
۲۸	شکل ۱-۱۶- کاربران نقشه‌های سیلاب
۳۲	شکل ۱-۲- روش‌های تهیه نقشه‌های سیلاب
۳۳	شکل ۲-۲- ثبت داغاب سیل سال ۱۹۰۵ رودخانه خیزر- پاکستان
۳۴	شکل ۲-۳- تصویر ماهواره چینی Gae Fen از سیلاب رودخانه دز در فروردین ماه ۱۳۹۵
۳۴	شکل ۲-۴- نمونه‌ای از یک سند تاریخی در خصوص یکی از رودخانه‌های شهر قزوین
۳۵	شکل ۲-۵- فعال شدن دوباره بستر تاریخی رودخانه سند (ایندوس) هند (تصویر دریافت شده از GOOGLE EARTH در سال ۲۰۱۳)
۴۸	شکل ۲-۶- بیش‌ترین میزان خطر سیل، پیش از رسیدن سیلاب به حداکثر مقدار آن
۴۹	شکل ۲-۷- منحنی سطوح مختلف خطر سیل
۵۰	شکل ۲-۸- نمونه‌ای از نقشه پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس استاندارد کشور استرالیا
۵۰	شکل ۲-۹- ترسیم نقشه‌های خطر سیل با در نظر گرفتن تعداد کم‌تر سطوح خطر با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه
۵۲	شکل ۲-۱۰- نمودارهای سطوح مختلف خطر برای انسان‌ها، وسایل نقلیه و ساختمان‌ها
۵۴	شکل ۲-۱۱- رابطه سرعت و عمق جریان سیلاب در روش NSW
۵۶	شکل ۲-۱۲- نمودار ناحیه‌بندی خطر سیل در کشور هلند و آلمان
۵۷	شکل ۲-۱۳- اجزا و مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل
۶۷	شکل ۳-۱- نمونه‌ای از نقشه کاربری اراضی یک منطقه که مسیر عبور سیلاب رودخانه نیز بر روی آن نشان داده شده است.
۷۰	شکل ۳-۲- انواع آسیب‌پذیری در برابر سیلاب
۷۴	شکل ۳-۳- انواع خسارت ناشی از سیل
۷۶	شکل ۳-۴- توابع عمق - خسارت برای انواع ساختمان
۷۷	شکل ۳-۵- منحنی خسارت - عمق - زمان ماند برای برنج در چهار مرحله رشد گیاه
۷۹	شکل ۳-۶- روی هم قراردادن نقشه‌ها به منظور ارزیابی و تخمین میزان آسیب‌پذیری
۸۳	شکل ۳-۷- ماتریس احتمال - اثر برای ارزیابی کیفی ریسک سیل
۸۴	شکل ۳-۸- الگوریتم استخراج شاخص خطرپذیری (ریسک) سیل در روش وزن‌دهی به معیارها
۸۶	شکل ۳-۹- استخراج تابع احتمال وقوع - خسارت



فهرست شکل‌ها و نمودارها

صفحه	عنوان
۸۶	شکل ۳-۱۰- مساحت زیر نمودار احتمال وقوع - خسارت بیانگر میانگین خسارت محتمل سالیانه می‌باشد.
۸۷	شکل ۳-۱۱- نمودار انجام مراحل تحلیل خطرپذیری در نرم‌افزار HAZUS - MH
۹۶	شکل ۳-۱۲- نمونه‌ای از نقشه‌های آسیب‌پذیری اجتماعی
۹۷	شکل ۳-۱۳- نمونه‌ای از نقشه آسیب‌پذیری اقتصادی بر مبنای جمعیت شاغل
۹۹	شکل ۳-۱۴- نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل در یک منطقه
۱۰۶	نمودار ۴-۱- مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل
۱۰۷	نمودار ۴-۲- مراحل تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل
۱۲۴	شکل پ.۲-۱- نقشه خطر سیل حوضه هنديجان-جراحی به تفکیک حوضه‌های رتبه چهار
۱۲۵	شکل پ.۲-۲- اطلس پهنه‌های سیل‌خیزی و خطر سیل کشور
۱۲۶	شکل پ.۲-۳- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل حوضه آبریز گرگان‌رود
۱۲۶	شکل پ.۲-۴- نقشه پهنه‌بندی خطر سیل استان گلستان
۱۲۷	شکل پ.۲-۵- نمونه نقشه فرار و تخلیه یکی از روستاهای حاشیه رودخانه دوغ در حوضه آبریز گرگان‌رود
۱۲۷	شکل پ.۲-۶- نقشه خسارت مورد انتظار رودخانه کن در محدوده روستای سولقان
۱۲۸	شکل پ.۲-۷- نقشه‌های خطرپذیری سیلاب شهر تبریز
۱۳۰	شکل پ.۲-۸- نقشه‌های خطرپذیری سیلاب شهر نهاوند
۱۳۰	شکل پ.۲-۹- نقشه توزیع خسارت سیل ۱۰ ساله وارد بر اراضی کشاورزی و ساختمان‌های شهری
	شکل پ.۲-۱۰- نقشه مناطق خسارت‌زا در اعماق مختلف برای کاربری‌های کشاورزی و مسکونی در اعماق مختلف
۱۳۲	سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای رودخانه‌های کارون و دز در استان خوزستان
۱۳۶	نمودار پ.۳-۱- بخش‌ها و مراحل مطالعات تهیه نقشه‌های خطر سیل
۱۴۴	نمودار پ.۴-۱- ارتباط بخش‌های مختلف مطالعات خطرپذیری سیلاب



فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱	جدول ۱- مدیریت جامع سیلاب
۶	جدول ۱-۱- مشخصات نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیلاب
۳۳	جدول ۱-۲- منابع اخذ اطلاعات در مورد سیلاب‌های رخ داده
۳۷	جدول ۲-۲- جمع‌آوری آمار و اطلاعات هواشناسی
۴۱	جدول ۳-۲- اطلاعات ورودی لازم برای انجام مطالعات هیدرولیک در تهیه نقشه‌های سیلاب
۴۲	جدول ۴-۲- انواع مدل‌سازی جریان به لحاظ ابعاد شبیه‌سازی جریان
۴۲	جدول ۵-۲- نرم‌افزارهای مرسوم مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب
۴۳	جدول ۶-۲- خروجی‌های مورد نیاز در مطالعات هیدرولیک برای تهیه نقشه‌های سیلاب
۴۵	جدول ۷-۲- تهیه مدل جریان رودخانه در حالت بستر متحرک
۴۵	جدول ۸-۲- مشخصات مدل‌های عددی برای مدل‌سازی جریان با بستر متحرک
۴۵	جدول ۹-۲- دوره بازگشت غالب در سایر کشورها برای تحلیل خطر سیل
۴۶	جدول ۱۰-۲- دوره بازگشت سیل پیشنهادی برای تهیه نقشه‌های خطر سیل
۴۹	جدول ۱۱-۲- تعریف سطوح مختلف خطر سیل
۴۹	جدول ۱۲-۲- مقادیر حدی خطر سیل
۵۵	جدول ۱۳-۲- ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس روش مرکز مدیریت بحران آمریکا (FEMA)
۵۶	جدول ۱۴-۲- خطر سیل بر اساس احتمال وقوع سیلاب
۵۸	جدول ۱۵-۲- نحوه تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل
۵۸	جدول ۱۶-۲- نحوه تهیه نقشه تغییرات عمق سیل
۵۹	جدول ۱۷-۲- نقشه تغییرات سرعت جریان سیلاب
۵۹	جدول ۱۸-۲- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس پهنه‌بندی سیلاب
۶۰	جدول ۱۹-۲- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس روش کشور استرالیا
۶۴	جدول ۱-۳- منابع اخذ تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی
۶۶	جدول ۲-۳- دسته‌بندی انواع کاربری‌ها بر اساس میزان حساسیت آن‌ها به آسیب‌پذیری در برابر سیل
۶۸	جدول ۳-۳- مراجع دسترسی به اطلاعات اقتصادی و اجتماعی
۶۹	جدول ۴-۳- فاکتورهای تاثیرگذار بر میزان آسیب‌پذیری
۸۰	جدول ۶-۳- معیارهای تاثیرگذار بر میزان آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب



فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۸۹	جدول ۳-۷- عوامل تاثیرگذار در برآورد تلفات جانی و تعداد مجروحین در روش Defra
۹۲	جدول ۳-۸- دوره بازگشت سیل پیشنهادی برای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل
۹۵	جدول ۳-۹- شدت تاثیرپذیری از خطر برای گروه‌های سنی مختلف
۹۷	جدول ۳-۱۰- طبقه‌بندی سطوح آسیب‌پذیری برای جمعیت در معرض خطر سیل
۱۰۰	جدول ۳-۱۱- نحوه تهیه نقشه خطرپذیری کمی (مالی)
۱۱۷	جدول پ.۱-۱- مشخصات نقشه‌های خطر سیل در کشورهای دیگر



مقدمه

رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی در دهه‌های اخیر موجب شده تا سیلاب به عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در جهان شناخته شود. از این‌رو شناخت پدیده سیلاب و روش‌های مقابله با آن و همچنین اثرات ناشی از آن، از مهم‌ترین مسایلی است که برنامه‌ریزان مدیریت بحران و سیاست‌گذاران مناطق شهری و روستایی باید به آن توجه کنند. در گذشته از روش‌های مقابله با سیلاب با رویکرد سازه‌ای مانند ساخت سیل‌بندها، آبشکن‌ها و دیواره‌سازی کناره‌های رودخانه به عنوان روش‌های کنترل سیل استفاده می‌شد. اما در سال‌های اخیر رویکرد غیرسازه‌ای کنترل و مدیریت سیلاب به عنوان روش بهینه مطرح شده است [۹۱].

تهیه نقشه‌های سیلاب یکی از گام‌های مدیریت جامع سیل در هر سیلاب‌دشت می‌باشد. مدیریت جامع سیلاب به مجموعه فعالیت‌هایی گفته می‌شود که در راستای پیشگیری و کاهش خسارات سیلاب به کار برده شده و شامل گستره وسیعی از فعالیت‌های مربوط به حفاظت از حوضه آبریز، حفاظت از بستر و حریم رودخانه‌ها، اجرای راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای مهار و کنترل سیلاب، آموزش همگانی، بیمه سیلاب و هر فعالیتی که به نوعی منجر به کاهش خسارات سیل گردد، می‌باشد (جدول ۱). نقشه‌های خطر^۱ و خطرپذیری سیل^۲ از انواع نقشه‌های سیل هستند که اطلاعات سیلاب در یک منطقه را به صورت نقشه‌هایی گویا و کاربردی در اختیار برنامه‌ریزان و ذینفعان قرار می‌دهد. در حقیقت مدیریت سیل و شرایط بحرانی ناشی از وقوع آن بدون در اختیار داشتن نقشه‌های سیلاب امکان‌پذیر نمی‌باشد.

جدول ۱- مدیریت جامع سیلاب [۶۰]

ردیف	فعالیت‌ها	توضیحات و نکات مهم
۱	برنامه‌ریزی کاربری اراضی	- منطقه‌بندی و طراحی شهری - تعیین استراتژی‌های مختلف کاربری اراضی - برنامه‌ریزی برای بازآفرینی شهری
۲	اعمال محدودیت‌های ساخت و ساز در سیلاب‌دشت‌ها	- تعیین حداقل ارتفاع طبقه اول برای ساخت سازه در سیلاب‌دشت‌ها - به کار بردن مصالح متناسب با سیلاب - طراحی ساختمان‌ها بر مبنای نیروهای ناشی از وقوع سیلاب
۳	ارائه روش‌های سازه‌ای	- طراحی سازه‌های کنترل و مهار سیلاب مانند سیل‌بندها (گوره‌ها و سایر موارد)
۴	تاسیسات زیربنایی	- طراحی تاسیسات زیربنایی مانند سدها، جاده‌ها و راه آهن بر اساس وقوع سیلاب
۵	مدیریت حوضه آبخیز	- کنترل رسوب و فرسایش - مدیریت پوشش گیاهی در حوضه آبریز
۶	آموزش و اطلاع‌رسانی	- اطلاع‌رسانی در خصوص میزان خطر سیلاب - آموزش و انتقال تجربیات

1- Flood Hazard Map

2- Flood Risk Map



ادامه جدول ۱- مدیریت جامع سیلاب [۶۰]

ردیف	فعالیت‌ها	توضیحات و نکات مهم
۷	سیستم هشدار سیل	- پیاده‌سازی سیستم‌های هشدار سیل با توجه به مشخصات حوزه آبریز
۸	مدیریت بحران	- صدور اخطارهای سیلاب - ارائه نقشه‌های فرار و تخلیه - ارائه برنامه‌های لازم برای پس از بحران
۹	بیمه سیل	- محاسبه ارزش اقتصادی سرمایه‌های در معرض خطر - سطح تحت پوشش بیمه

هدف -

هدف از تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل، مشخص کردن محدوده‌های در معرض خطر سیل است. ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین نقشه‌های خطرپذیری سیل، نقشه‌های پهنه یا گستره سیل می‌باشد که می‌تواند برای دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شود. اما پهنه سیل به تنهایی بیانگر میزان خطر سیل و یا آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیلاب نمی‌باشد. عواملی مانند سرعت جریان، عمق جریان، تمرکز جمعیت در حاشیه رودخانه‌ها، کاربری اراضی واقع در سیلاب‌دشت‌ها، استقرار صنایع در مسیر عبور سیلاب و سازه‌های زیربنایی مهم در معرض خطر سیل بیانگر میزان خطر و بروز خسارت سیل است که باید در مدیریت سیلاب و ارائه راهکارهای کاهش خسارات سیل مد نظر قرار گیرد. چنانچه عواملی که در بالا به آن اشاره شد در نقشه‌های سیلاب منعکس گردد، نقشه‌های تهیه شده به نام نقشه‌های خطرپذیری سیل شناخته می‌شوند. این نوع نقشه‌ها، ابزاری ضروری برای نشان دادن میزان خطرات و آسیب‌پذیری در یک منطقه هستند و درک صحیح از میزان خطرپذیری، بهترین راهکار جهت رویارویی با سیل و کاهش میزان آسیب ناشی از سیل در اختیار ما قرار می‌دهد.

ضابطه حاضر با عنوان «راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب» شامل روش و دستورالعمل تهیه نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیل می‌باشد. همچنین به منظور بهره‌برداری بهتر از این ضابطه در قالب طرح‌های مطالعاتی، شرح خدمات مطالعات تهیه نقشه‌های سیل در دو بخش «شرح خدمات مطالعات تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل» و «شرح خدمات مطالعات تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل» در پیوست‌های ۳ و ۴ ارائه گردیده است.

دامنه کاربرد -

این ضابطه که با توجه به کاربرد گسترده نقشه‌های خطرپذیری سیل و به منظور شناخت این نوع نقشه‌ها و روش‌های تهیه آن ارائه شده است، در زمینه‌های مختلف مانند مدیریت و مهار سیل، مدیریت کاربری اراضی، مدیریت بحران و بیمه سیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین کاربرهای مختلفی در وزارت نیرو و شرکت‌های آب منطقه‌ای، وزارت کشور و سازمان مدیریت بحران، وزارت جهاد کشاورزی، شهرداری‌ها و صنعت بیمه می‌توانند از این راهنما بهره‌برداری نمایند. همچنین کاربرد این ضابطه برای مهندسين مشاور در مطالعات طرح‌های مهار و کاهش خسارات سیل و تهیه نقشه‌های خطر سیل و سایر موضوعات مرتبط، حایز اهمیت خواهد بود.



فصل ۱

کلیات



۱-۱- تعاریف و مفاهیم

سیلاب: غرقاب شدن موقت اراضی که در حالت عادی زیر آب نمی‌روند و علت آن می‌تواند سیلاب رودخانه‌ها، بالا آمدن سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها در نوار ساحلی، شکسته شدن ناگهانی سازه‌های حفاظتی و کنترل سیلاب، شکسته شدن سدها و سایر موارد باشد [۶۰].

خسارت: مقدار خرابی یا آسیب وارده به سلامتی، اقتصاد، محیط زیست و سایر مواردی که تحت تاثیر خطر قرار می‌گیرند [۶۹].

خطر: یک پدیده، فعالیت انسانی یا شرایط خطرناک که می‌تواند موجب مرگ و آسیب به سلامتی موجودات زنده، خسارت به سرمایه‌ها و تلفات شود.

آسیب‌پذیری: ویژگی‌ها و شرایط یک جامعه یا منطقه که موجب می‌شود در برابر خسارات ناشی از یک خطر آسیب‌پذیر باشد [۶۹]. آسیب‌پذیری مجموعه‌ای از شرایط و فرآیندهای تحت تاثیر فاکتورهای فیزیکی، اجتماعی، محیطی و اقتصادی است که قابلیت تاثیرگذاری خطرات طبیعی را افزایش می‌دهد و توسط پتانسیل یک خطر طبیعی و توانایی عکس‌العمل و مقابله با آن خطر تعیین می‌شود [۶۹].

در معرض خطر بودن: میزان سرمایه‌های مالی و انسانی و کلیه دارایی‌های موجود در منطقه خطر سیل که در معرض بروز خسارت قرار دارند. اندازه‌گیری میزان در معرض خطر بودن شامل تعداد افراد یا سرمایه‌های تحت تاثیر خطر است [۶۹].

خطرپذیری: ترکیب احتمال یک خطر و تاثیرات منفی ناشی از آن می‌باشد.

خطرپذیری سیلاب: ترکیبی از احتمال وقوع سیلاب و تاثیر بالقوه آن بر زندگی انسان‌ها، محیط زیست و فعالیت‌های اقتصادی است [۶۰].

نقشه‌های پهنه سیلاب: نقشه‌هایی که بیانگر سطح پوشیده شده از سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف (احتمال وقوع متفاوت) هستند. این نقشه‌ها عموماً برای سه حالت سیلاب با احتمال خیلی کم یا سیلاب با مقادیر بسیار بالا، سیلاب با احتمال وقوع متوسط (دوره بازگشت‌های بالاتر از ۱۰۰ سال) و سیلاب با احتمال وقوع بالا تهیه می‌شوند [۶۰].

نقشه‌های خطر سیلاب: نقشه‌هایی که از ترکیب نقشه‌های پهنه سیلاب با عمق جریان، سرعت و جهت جریان سیل و یا ترکیبی از پارامترهای جریان تهیه می‌شود [۶۰].

نقشه‌های خطرپذیری (ریسک) سیلاب: نقشه‌هایی که نشان‌دهنده اثرات منفی بالقوه سیل در دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشند و با استفاده از عواملی مانند تعداد شاخص ساکنین منطقه درگیر با سیل، نوع فعالیت‌های اقتصادی منطقه متاثر از سیلاب، تاسیسات موجود در منطقه (که در صورت آسیب ناشی از سیل موجب انتشار آلودگی می‌شوند)، میزان خسارت محتمل و سایر شاخص‌های مشابه نشان داده می‌شود [۶۰].



۲-۱- انواع نقشه‌های سیلاب

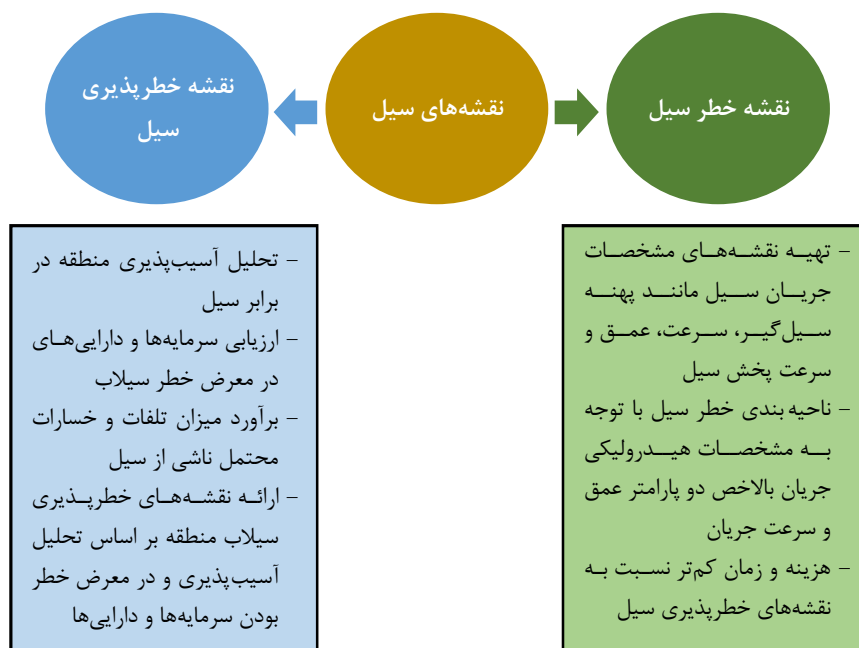
به طور کلی نقشه‌های سیلاب به دو دسته نقشه‌های خطر سیلاب و نقشه‌های خطرپذیری سیلاب طبقه‌بندی می‌شوند. نقشه‌های خطر سیلاب نقشه‌هایی است که در آن‌ها مشخصات مربوط به سیل که معرف میزان خطر سیل هستند، ارائه می‌شوند و ناحیه‌بندی میزان خطر در سیلاب‌دشت صرفاً بر اساس مشخصات هیدرولیکی سیل تعیین می‌شود و نقش عواملی مانند کاربری اراضی و شرایط اقتصادی و اجتماعی در آن‌ها لحاظ نمی‌گردد. اما در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب تاثیر عوامل کاربری اراضی در سیلاب‌دشت، شرایط اقتصادی و اجتماعی و میزان آسیب‌پذیر بودن منطقه در برابر وقوع سیل نیز در نظر گرفته می‌شود.

هر دسته از نقشه‌ها حاصل جمع‌آوری اطلاعات و تهیه نقشه‌های اولیه‌ای است که شرح کلی آن‌ها در جدول (۱-۱) ارائه شده است [۶۰]. همچنین در شکل (۱-۱) ویژگی‌های کلی این نقشه‌ها بیان شده است.

جدول ۱-۱- مشخصات نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیلاب [۶۰]

نقشه‌های خطرپذیری سیلاب	نقشه‌های خطر سیلاب	
- سرمايه‌های در معرض خطر - آسيب‌پذيري در برابر سيلاب - خسارات محتمل - تلفات محتمل (در واحد زمان)	- مقدار حداکثر سيل با توجه به احتمال وقوع آن - تجربه وقوع سيل در منطقه - عمق سيل - سرعت جريان - سرعت و چگونگی پخش سيل - میزان خطر	مشخصات ارائه شده در نقشه‌ها
- مبنای سیاست‌های اتخاذی منطقه در خصوص مدیریت کاربری اراضی، مدیریت منابع آب و سایر موارد - تعیین استراتژی مدیریت خطر سیلاب - جلوگیری و کاهش خسارت سیلاب - مدیریت بحران (مانند نقشه‌های فرار و تخلیه و سایر موارد) - افزایش سطح آگاهی عمومی - ایجاد پیش نیازهای لازم در راستای انجام روش‌های - سازه‌ای کنترل سیلاب - بیمه سیلاب	- مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی - مدیریت حوضه آبریز - برنامه‌ریزی مدیریت آب - ارزیابی میزان خطر در مقیاس محلی - مدیریت و برنامه‌ریزی بحران - برنامه‌ریزی انجام روش‌های فنی و سازه‌ای - افزایش سطح آگاهی عمومی	اهداف و کاربردها
- دقت بالا: دقت در سطح نقشه‌های کاداستر - دقت پایین: در سطح کل حوضه آبریز	- دقت بالا: دقت در سطح نقشه‌های کاداستر - دقت پایین: در سطح کل حوضه آبریز	دقت نقشه‌ها





شکل ۱-۱- خصوصیات نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیلاب

۱-۲-۱- نقشه‌های خطر سیلاب

۱-۱-۲-۱- نقشه پهنه سیل

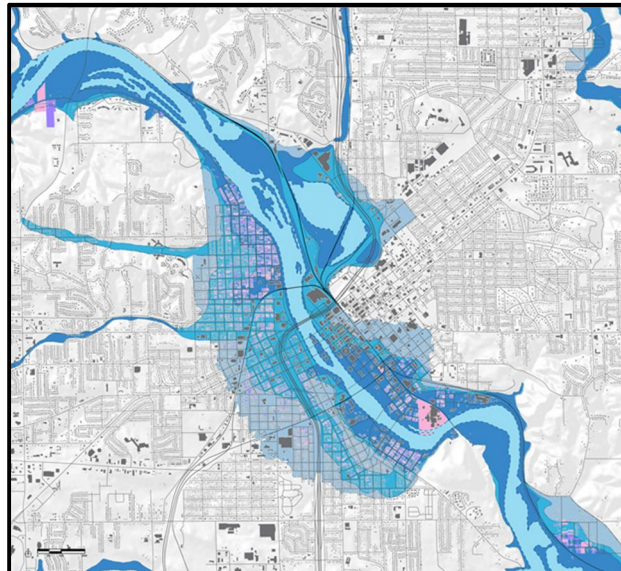
نقشه‌های پهنه سیل اولین، ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین نقشه‌هایی می‌باشند که به منظور تعیین میزان خطرات سیل تهیه می‌شوند. نقشه‌های پهنه سیل برای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف در یک منطقه ارائه می‌شوند (به عنوان نمونه شکل ۱-۲). این نقشه‌ها باید گویای این مطلب باشند که چه جاهایی در منطقه از جمله راه‌ها، راه‌آهن، واحدهای مسکونی، صنعتی، اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌ها در هنگام وقوع سیل غرقاب خواهند شد. پهنه سیل‌گیر سیلاب‌دشت‌ها عموماً با در نظر گرفتن اثر سازه‌های کنترل سیلاب مانند خاکریزها، آبشکن‌ها (اپی‌ها) و سایر موارد ارائه می‌شوند ولی می‌توانند در صورت فرض شکست سازه‌های سیل‌بند در نقاط بحرانی نیز تهیه شوند. این نقشه‌ها یکی از اطلاعات پایه به منظور تهیه نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیلاب محسوب می‌شوند [۶۰].

مهم‌ترین کاربردهای این نوع از نقشه‌ها به شرح زیر است:

- برنامه‌ریزی کاربری اراضی
- مدیریت سیلاب
- برنامه‌ریزی شهری و برون شهری
- اطلاع‌رسانی عمومی



مقیاس نقشه‌های پهنه سیلاب تابعی از مقیاس توپوگرافی منطقه و مدل‌سازی هیدرولیک جریان می‌باشد و از مقیاس‌های کلی (۱:۱۰۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰۰) در برنامه‌ریزی منطقه‌ای تا مقیاس‌های بزرگ‌تر (۱:۵۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰) در برنامه‌ریزی‌های شهری و مدیریت سیلاب را شامل می‌شوند.

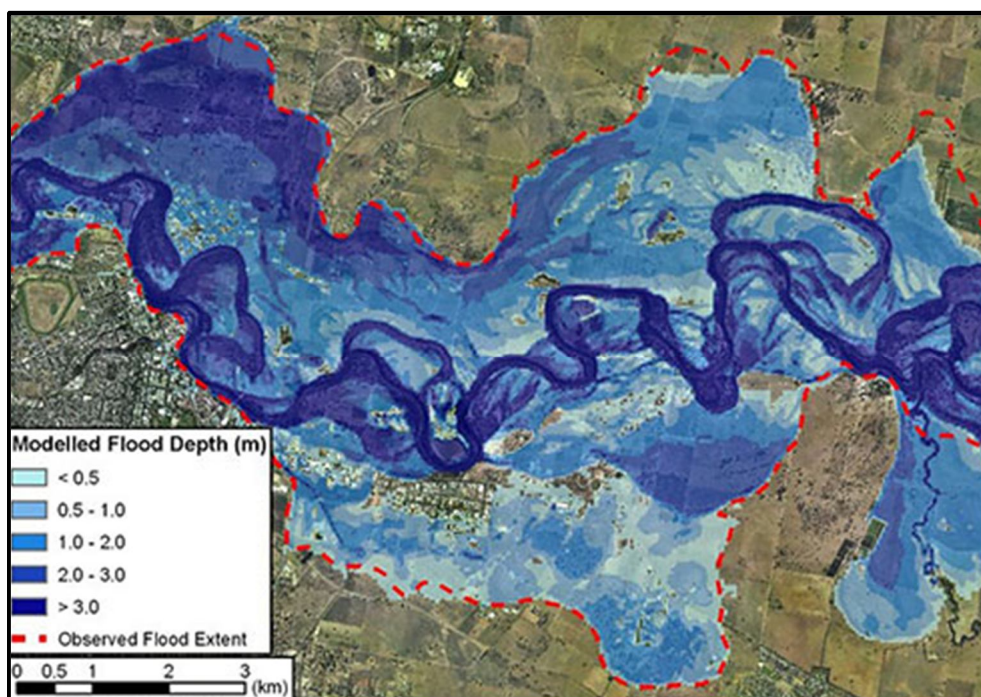


شکل ۲-۱- نمونه‌ای از یک نقشه پهنه سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف

۲-۱-۲-۱- نقشه تغییرات عمق سیلاب

نقشه‌های عمق سیلاب (سطح تراز آب) یکی از ابزارهای پرکاربرد در تعیین میزان خطرات سیلاب و بیانگر میزان عمق جریان سیلاب در هر موقعیت از منطقه تحت تاثیر سیلاب است. عمق جریان سیلاب می‌تواند بر اساس مدل‌سازی (یک بعدی یا دو بعدی) رودخانه، تحلیل‌های آماری و یا داده‌های مشاهداتی پس از وقوع سیلاب در منطقه تعیین گردد. این نقشه‌ها یکی از اطلاعات پایه به منظور تهیه نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیلاب محسوب می‌شوند و در مدیریت سیلاب و برنامه‌ریزی‌های شهری و برون‌شهری به کار می‌روند. (شکل ۳-۱)





شکل ۱-۳- نمونه‌ای از نقشه عمق سیلاب

۱-۲-۳- نقشه‌های سرعت جریان

نقشه‌های سرعت جریان، بیانگر مقدار سرعت جریان در هر نقطه از یک منطقه و در محدوده پخش سیلاب می‌باشند. ترسیم این نقشه‌ها زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که اطلاعات سرعت جریان در هر نقطه در اختیار باشد. این مساله باید با انجام مدل‌سازی‌های دو بعدی از جریان سیلاب به دست آید. لیکن در برخی موارد سرعت جریان حاصل از مدل‌های یک بعدی نیز می‌تواند در تهیه نقشه‌های خطر سیل به کار رود. با توجه به این که تهیه نقشه سرعت جریان در پهنه سیلابی مستلزم صرف هزینه و زمان می‌باشد، تهیه این نوع از نقشه‌ها صرفاً برای رودخانه‌های با اهمیت زیاد توجیه اقتصادی خواهد داشت. یکی از کاربردهای مهم این نوع از نقشه‌ها، فراهم نمودن اطلاعات لازم جهت طراحی سازه‌های کنترل سیلاب است. نقشه‌های سرعت پخش سیلاب نیز عموماً در ارائه طرح‌های اضطراری و موقتی کنترل سیل و برنامه‌ریزی تخلیه منطقه در شرایط بحرانی کاربرد دارند [۶۰].

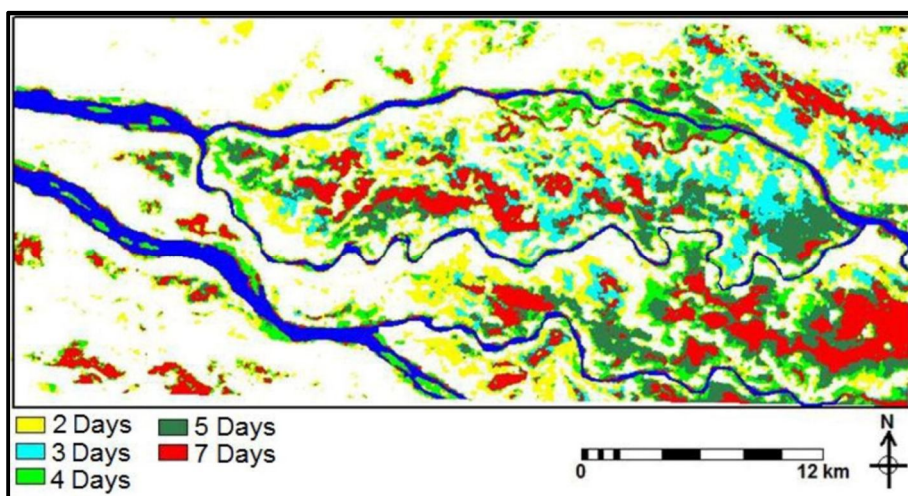
نقشه‌های سرعت جریان سیلاب عموماً بزرگ مقیاس (با دقت بالا) می‌باشند تا مقادیر سرعت جریان در هر نقطه به خوبی مشخص گردد. اما نقشه‌های پخش سیلاب با توجه به رودخانه و منطقه مورد مطالعه تعیین شده و عموماً کوچک مقیاس (با دقت پایین) می‌باشند.

۱-۲-۴- نقشه‌های سرعت پخش سیلاب

به منظور اطلاع از سرعت پخش سیلاب در یک منطقه می‌توان با انجام مدل‌سازی هیدرولیکی، روند پخش سیلاب در رودخانه و سیلاب‌دشت آن را دنبال نمود و نقشه‌هایی را تهیه کرد که در بازه‌های زمانی مختلف میزان گسترش منطقه



سیلابگیر را نمایش دهند. به عنوان مثال می‌توان در حوضه‌هایی با زمان تمرکز کم، نقشه‌هایی با تواتر دو ساعته و در حوضه‌هایی با زمان تمرکز بالا و رودخانه‌های بزرگ، نقشه‌هایی با دوره زمانی ۲۴ ساعته ترسیم نمود. این نوع از نقشه‌ها ابزار مناسبی برای ارائه برنامه اضطراری مقابله با سیلاب می‌باشند. همچنین بر اساس این نقشه‌ها می‌توان طرح‌های کنترل سیلاب اضطراری نیز تهیه کرد و پیش از وقوع حادثه و ایجاد خسارت اقدامات لازم را انجام داد. دقت نقشه‌های سرعت پخش سیل با توجه به دقت نقشه‌های موجود و مدل‌سازی‌های انجام شده تعیین می‌شود. شکل (۴-۱) نمونه‌ای از این نوع نقشه را نشان می‌دهد [۶۰].

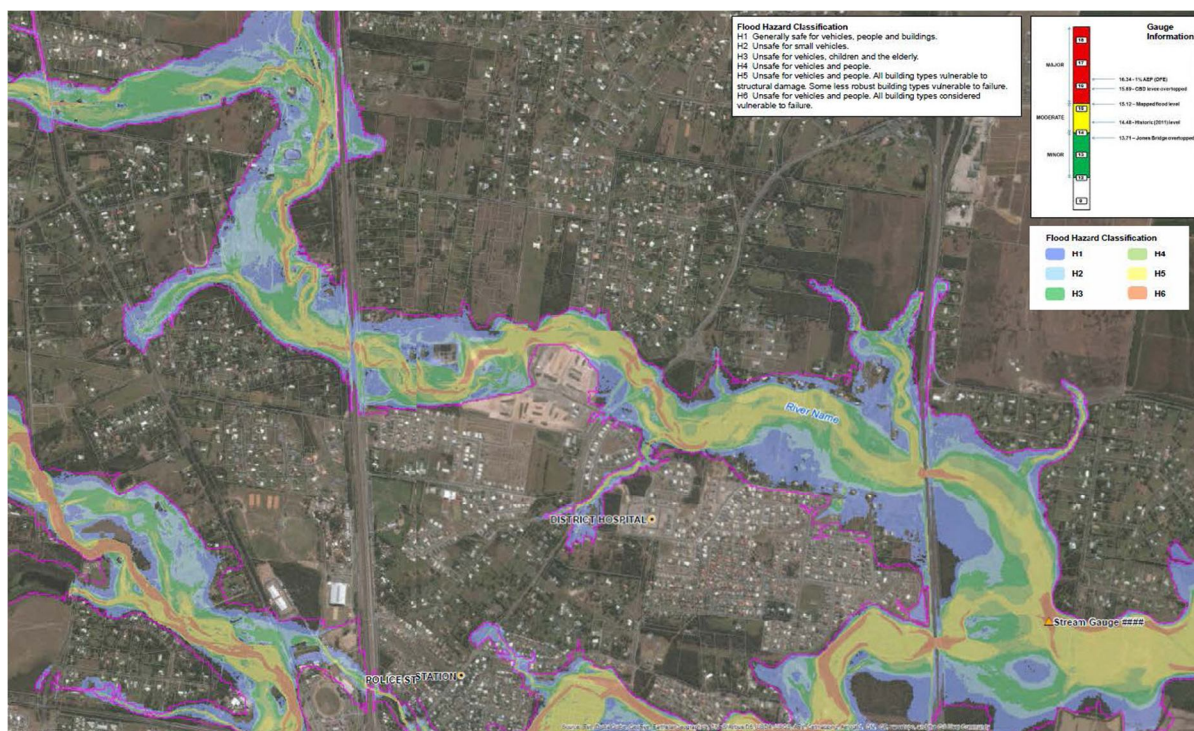


شکل ۴-۱- نمونه‌ای از یک نقشه سرعت پخش سیلاب

۵-۱-۲-۱- نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیلاب

مولفه‌های جریان مانند پهنه پخش سیلاب، عمق و سرعت جریان به تنهایی تعیین‌کننده میزان خطرات تهدیدکننده سیلاب در سیلاب‌دشت نمی‌باشد، بلکه ترکیبی از پارامترهای جریان، عامل اصلی بروز خسارت ناشی از سیل است. لذا به منظور تعیین میزان تهدید سیل باید حدی از عوامل جریان مانند پهنه سیل‌گیر، عمق و سرعت جریان، سرعت پخش سیل و یا ترکیبی از آن‌ها را که می‌تواند آسیب ایجاد کند، به عنوان معیاری برای میزان خطرات سیل در نظر گرفت و بر آن اساس ناحیه‌بندی خطر را انجام داد [۲۸ و ۵۱]. ناحیه‌بندی خطر عموماً در نقشه‌های خطر سیلاب با رنگ‌بندی‌های متفاوت نشان داده می‌شود. کاربرد اصلی این نوع نقشه‌ها در مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سیلاب‌دشت‌ها، بالا بردن سطح آگاهی مردم، توسعه طرح‌های کاهش خطرات سیلاب، تهیه برنامه‌های جامع مدیریت خطرپذیری سیلاب و تهیه دستورالعمل رویارویی با شرایط بحرانی می‌باشد. نقشه‌های خطر سیلاب مبنای تولید نقشه‌های خطرپذیری، بحران و سایر نقشه‌های مرتبط با مدیریت سیلاب است. شکل (۵-۱) نمونه‌ای از نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل را نشان می‌دهد که سطوح خطر بر اساس حاصلضرب دو پارامتر سرعت و عمق جریان به ۶ دسته مختلف تقسیم شده است [۵۱].





شکل ۱-۵- نمونه‌ای از یک نقشه ناحیه‌بندی خطر سیلاب: در این نقشه خطر سیلاب به شش ناحیه خطر تقسیم شده است.

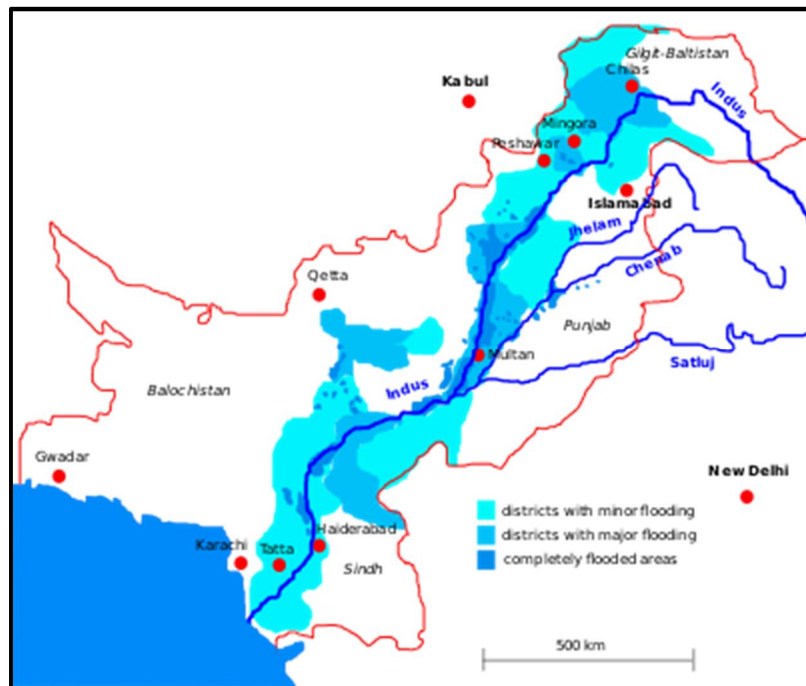
۱-۲-۶- نقشه سیلاب‌های گذشته

در صورتی که اطلاعاتی از سیلاب‌های گذشته در منطقه وجود داشته باشد، می‌توان نقشه‌هایی را تهیه نمود که بر روی آن‌ها پهنه سیلاب و یا سطح تراز آب در سیلاب‌های گذشته مشخص شده باشد. همچنین می‌توان مقاطع رودخانه و نحوه پخش سیلاب در مقطع را نیز ترسیم نمود. این نوع از نقشه‌ها ارزیابی کلی از میزان خطرات موجود در منطقه ارائه می‌کنند و در صورتی که با دقت مناسبی تهیه شده باشند، می‌توانند مرجع اولیه برای بررسی و تحلیل سیلاب در منطقه باشند.

اطلاعات سیلاب‌های گذشته از منابع گوناگونی مانند اسناد تاریخی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی تهیه شده در هنگام وقوع سیلاب، مشاهدات صحرایی و داغاب‌های سیل، دستگاه‌های اندازه‌گیری سرعت جریان، روزنامه‌های تاریخی، کارتوگرافی دستی و پرس و جو از ساکنین حاشیه رودخانه استخراج می‌شود.

این نوع از نقشه‌ها با وجود ساده بودن، کاربردهای گسترده‌ای دارند. اعتبارسنجی^۱ مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی که مقادیر سیلاب و نحوه پخش آن را در یک منطقه محاسبه می‌کنند، بالابردن سطح آگاهی مردم در خصوص خطرات سیلاب در منطقه و انجام برنامه‌ریزی برای رویارویی با شرایط بحرانی از موارد کاربرد این نوع نقشه‌ها می‌باشند. شکل (۱-۶) نمونه نقشه تهیه شده بر اساس تصاویر ماهواره‌ای از سیلاب سال ۲۰۱۰ رودخانه سند پاکستان را نشان می‌دهد.

1- Validation

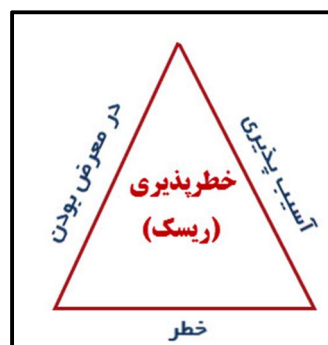


شکل ۱-۶- نقشه استخراجی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سیلاب ۲۶ آگوست سال ۲۰۱۰ رودخانه سند در پاکستان

۲-۲-۱- نقشه‌های خطرپذیری (ریسک) سیلاب

۱-۲-۲-۱- مفهوم خطرپذیری^۱

خطرپذیری ترکیبی از احتمال وقوع سیلاب و پتانسیل بروز خسارت می‌باشد. احتمال وقوع سیل در مفهومی به نام «خطر» و پتانسیل بروز خسارت در مفاهیم «در معرض بودن» و «آسیب‌پذیری» تعریف می‌شود. در حقیقت خطرپذیری ترکیب سه مفهوم خطر، آسیب‌پذیری و در معرض خطر بودن می‌باشد [۴۱]. این سه مفهوم در مثلث خطرپذیری شکل (۷-۱) نشان داده شده است.



آسیب‌پذیری*در معرض بودن* خطر = خطرپذیری

شکل ۷-۱- مفهوم خطرپذیری به عنوان ترکیبی از خطر، در معرض بودن و آسیب‌پذیری [۴۱]

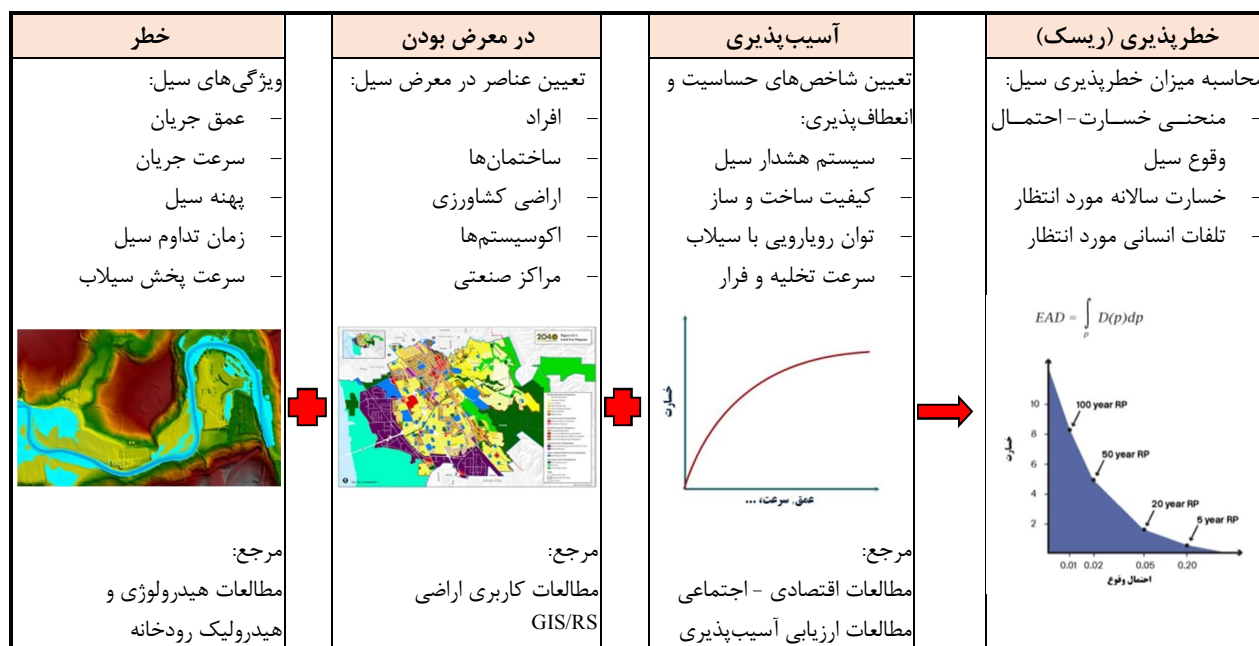
1- Risk



خطر: خطر سیلاب بیانگر میزان شدت سیلاب است که باعث بروز خسارت و تلفات خواهد شد. شدت سیلاب ناشی از تاثیر دو عامل می باشد. عامل اول، منبع تولیدکننده سیلاب، به عنوان مثال میزان شدت بارش در یک منطقه که عامل تشکیل سیلاب می باشد. عامل دوم، مسیر حرکت و جریان سیلاب، مانند ویژگی های هندسه مقطع رودخانه و سیلاب دشت آن. مولفه های جریان سیلاب مانند پهنه سیلابی، عمق و سرعت جریان در دوره بازگشت های مختلف و سایر عوامل مرتبط با ماهیت سیل از جمله عواملی است که بیانگر میزان خطر سیل می باشند. در حقیقت میزان خطر سیل را شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه آبریز و رودخانه تعیین می کنند و مستقل از شرایط سیلاب دشت و دخالت های انسانی، کاربری اراضی و شرایط اقتصادی - اجتماعی منطقه می باشد.

در معرض بودن: یکی از دلایلی که منجر به بروز خسارت ناشی از سیل می شود، قرار گرفتن سرمایه های اجتماعی و اقتصادی در مسیر عبور سیل است. جمعیت، دارایی ها و اراضی با کاربری های مختلف که در مسیر عبور سیل هستند، شاخص هایی می باشند که تعیین کننده میزان در معرض خطر بودن است.

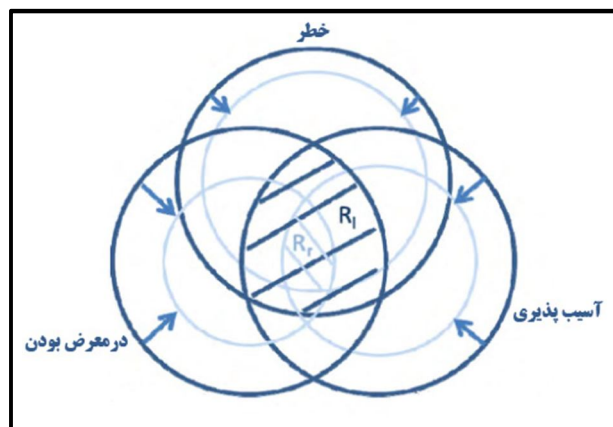
آسیب پذیری: میزان ظرفیت یک جامعه برای رویارویی با سیلاب است. شرایط اجتماعی حاکم بر یک جامعه و محیط اطراف آن مانند نوع مشاغل افراد جامعه، سطح سواد، میزان آموزش پیش از وقوع سیل، نوع ساخت و ساز، کشاورزی و باغداری در سیلاب دشت، شرایط زیست محیطی، استفاده از روش های کنترل سیلاب، برنامه مدیریت بحران قبل و حین وقوع سیل، سیستم هشدار سیل و سایر عواملی که بر میزان آسیب پذیر بودن منطقه و جامعه در برابر سیل موثر است. در حقیقت آسیب پذیری، بیانگر میزان حساسیت عناصر موجود در سیلاب دشت است که در معرض خطر سیل قرار گرفته اند. در شکل (۸-۱) مفاهیم خطر، آسیب پذیری و خطرپذیری سیلاب نشان داده شده است.



شکل ۸-۱- مفهوم خطرپذیری سیلاب ترکیبی از میزان خطر، در معرض بودن و آسیب پذیری [۵۰]



افزایش یا کاهش هر یک از عوامل تعیین‌کننده میزان خطرپذیری سیلاب، موجب افزایش یا کاهش مقدار خطرپذیری می‌شود. شکل زیر نشان می‌دهد که کاهش مقدار هر یک از عوامل، مقدار خطرپذیری را کاهش می‌دهد. در شکل (۹-۱)، R_i مقدار خطرپذیری اولیه و R_r مقدار خطرپذیری کاهش یافته است.



شکل ۹-۱- خطرپذیری ترکیبی از سه عامل خطر، آسیب‌پذیری و در معرض بودن [۶۹]

در حقیقت آنچه که تاکنون در ایران و بسیاری از کشورهای دنیا در خصوص تهیه نقشه‌های سیلاب به آن پرداخته شده است، نقشه‌های خطر سیلاب می‌باشد، لیکن نقشه‌های خطرپذیری سیل، نقشه‌های جامعی هستند که از ترکیب میزان آسیب‌پذیری عناصر موجود در منطقه (جمعیت، صنایع، تاسیسات زیربنایی و سایر موارد) با میزان خطرات بالقوه سیل حاصل می‌شوند و مفهومی فراتر از مفهوم خطر را شامل می‌شود. خطرپذیری عموماً به صورت متوسط خسارت محتمل در منطقه بیان می‌شود و عموماً به صورت واحد مالی ارزیابی می‌شود.

نقشه خطرپذیری سیلاب را می‌توان با و بدون در نظر گرفتن سازه‌های کنترل سیلاب تهیه نمود. مقایسه این دو نقشه با یکدیگر میزان کارایی سازه‌های کنترل سیل را ارزیابی می‌کند و در تدابیر کنترل سیل در آینده از آن‌ها استفاده می‌شود. دقت نقشه‌های خطرپذیری باید به گونه‌ای باشد که همه جزئیات یک منطقه و میزان خطرپذیری آن‌ها مشخص شود. مهم‌ترین کاربرد نقشه‌های خطرپذیری سیل عبارت است از مدیریت سیل، مدیریت استقرار کاربری اراضی در سیلاب‌دشت و بیمه سیل.

۲-۲-۲-۱- محدودیت‌های موجود برای ترسیم نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

داده‌ها و اطلاعات صحیح از یک منطقه یکی از عوامل تعیین‌کننده در صحت مدل‌سازی‌ها و تهیه نقشه‌های سیلاب است. از این رو، کمبود اطلاعات لازم که عموماً به صورت کمبود اطلاعات پارامترهای مطرح در تعیین خطرپذیری، دقت پایین مدل‌سازی‌ها و نقشه‌های موجود، عدم وجود اطلاعات از مناطق ویژه (مناطق نظامی، مرزهای بین‌المللی و سایر موارد) و دیجیتالی نبودن اطلاعات می‌باشد، از جمله عواملی است که می‌تواند تهیه نقشه‌های خطر سیلاب را با مشکل مواجه کند.



نکته قابل توجه این که خطرپذیری متغیری است که در طول زمان ثابت نیست. لذا باید برای تخمین دقیق میزان خطر در آینده، تغییرات عوامل تاثیرگذار در خطرپذیری را پیش‌بینی کرد تا بتوان برای مقابله و رویارویی با سیلاب بهترین تصمیم‌ها را اتخاذ نمود. مهم‌ترین دلایل تغییر خطرپذیری در طول زمان در عوامل زیر خلاصه می‌شود:

- پارامترهای تعیین‌کننده آسیب‌پذیری در طول زمان تغییر می‌کنند. میزان آسیب‌پذیری با توجه به توسعه منطقه، تغییر نوع صنایع، تاسیسات و سرمایه‌های منطقه، تغییر در کاربری اراضی، تغییر رفتار و نگرش مردم نسبت به سیلاب و خطرات احتمالی آن و تغییر در ظرفیت مقابله با خطر سیلاب در طول زمان ثابت نیست. عواملی همچون جابجایی موقعیت صنایع، تاسیسات و سرمایه‌های مهم، کاهش حساسیت صنایع به سیل، اطلاع‌رسانی به مردم، تغییر کاربری اراضی، بهبود عملکرد مردم در هنگام وقوع سیل و افزایش ظرفیت مقابله با خطرات سیلاب می‌تواند باعث کاهش میزان آسیب‌پذیری شود.

- اجرای سازه‌های کنترل سیلاب موقتی یا دائمی

- تغییر عوامل تعیین‌کننده خطر سیلاب مانند: شرایط آب و هوایی و تغییر اقلیم، تغییرات زیست‌محیطی (تخریب جنگل‌ها و مراتع و سایر موارد)، تغییر نرخ فرسایش خاک و دخالت عوامل انسانی

از این رو به روز کردن نقشه‌های خطرپذیری سیل یکی از موارد مهمی است که باید هر چند سال یک بار (به عنوان مثال هر ۱۰ سال یک بار) با توجه به شرایط توسعه منطقه و همچنین شرایط محیطی آب و هوایی و یا شرایط فیزیکی رودخانه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

۱-۲-۳- نقشه‌های آسیب‌پذیری

نقشه‌های آسیب‌پذیری سیلاب نشان‌دهنده میزان حساسیت عناصر سیلاب‌دشت در برابر خطر سیل و انعطاف‌پذیری منطقه یا جامعه در رویارویی با آن است. عناصر مرتبط با سیلاب‌دشت شامل افراد، دارایی‌ها، تاسیسات زیربنایی و فعالیت‌های اقتصادی یک منطقه است که به طور مستقیم یا غیر مستقیم مورد تهدید قرار می‌گیرند. این نوع از نقشه‌ها، نقشه‌های پایه و اولیه برای تهیه نقشه‌های نهایی خطرپذیری سیلاب محسوب می‌شوند و اطلاعات ضروری برای انجام برنامه‌ریزی‌های لازم در شرایط بحرانی در هنگام وقوع سیل را در اختیار متولیان مربوطه قرار می‌دهند. با در دست داشتن این نقشه‌ها و اطلاعات آن‌ها می‌توان تاثیر سیلاب بر زندگی افراد را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین به منظور تهیه نقشه‌های بیمه سیلاب، تعیین میزان آسیب‌پذیری منطقه درگیر سیل در قالب برآوردهای مالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نقشه‌های آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر سیلاب عموماً شامل موارد زیر می‌باشد:

- جمعیت‌شناسی جامعه
- نوع ساخت و ساز در سیلاب‌دشت
- حساسیت کاربری اراضی به سیلاب



- جانمایی و توزیع گروه‌های آسیب‌پذیر و حساس (خانه سالمندان، مدارس، بیمارستان‌ها، مکان‌های توریستی و سایر مکان‌های عمومی که محل تجمع باشد).
- توزیع و جانمایی ساختمان‌های خاص (ساختمان‌هایی که در گذشته بر اثر سیلاب خسارت دیده‌اند).
- آسیب‌پذیری اجتماعی که به عنوان شاخص آسیب‌پذیری اجتماعی سیلاب تعریف می‌شود و شامل میزان حساسیت افراد جامعه در برابر وقوع یک حادثه مانند سیل است.
- فعالیت‌های اقتصادی و دارایی‌ها

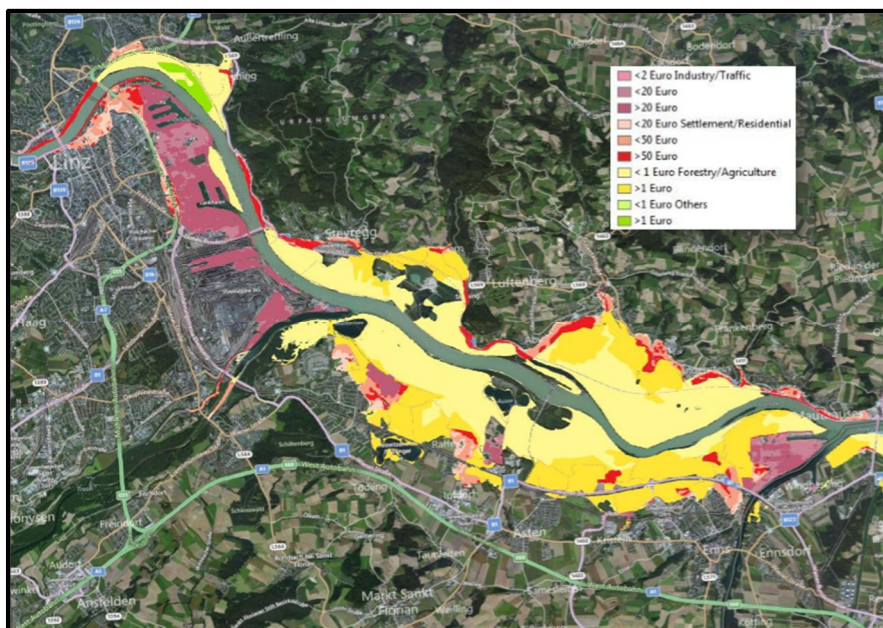
واحدهای تولیدی و صنعتی، تاسیسات زیر بنایی و فعالیت‌های اقتصادی از جمله عناصر مهمی هستند که باید در هنگام وقوع سیل از آسیب مصون باشند. از این رو در دست داشتن نقشه‌ای که بر روی آن کلیه اطلاعات سرمایه‌های در معرض خطر منطقه ارائه شده، از اهمیت بالایی برخوردار است. میزان آسیب‌پذیری سرمایه‌ها، صنایع و فعالیت‌های اقتصادی و اثر آن‌ها بر اقتصاد منطقه نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. این نوع از نقشه‌ها در تهیه طرح‌های اضطراری کنترل سیل و مدیریت شرایط بحرانی بسیار کاربرد دارند. در این راستا تعیین کاربری اراضی به لحاظ مسکونی، تاسیسات زیربنایی مانند راه‌ها، خطوط انتقال برق، تلفن، گاز و سایر موارد، واحدهای خدماتی مانند بیمارستان‌ها، منابع آب، مدارس، آتش‌نشانی‌ها و سایر واحدها، شهرک‌های صنعتی و مناطق ویژه اقتصادی و اراضی کشاورزی و باغات ضروری است.

تاسیسات و صنایعی که در هنگام وقوع سیل و بروز خسارت موجب ایجاد و انتشار آلودگی می‌شوند، باید در نقشه‌ها مشخص باشند مانند صنایع شیمیایی و انبار آن‌ها، صنایع نفت و تاسیسات وابسته، نیروگاه‌های حرارتی، منابع انرژی مانند نفت و گاز و بنزین، انبارهای سموم، آفت‌کش‌ها و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب.

۱-۲-۲-۴- نقشه خطرپذیری سیلاب

خسارتی که ممکن است در صورت وقوع سیلاب در یک منطقه به وجود آید در قالب خسارات مالی در هر واحد سطح (مترمربع، هکتار یا کیلومترمربع) یا تلفات جانی بر روی نقشه‌های منطقه مشخص می‌شود. این نوع از نقشه‌ها با عنوان نقشه‌های خطرپذیری سیلاب شناخته می‌شوند و به منظور برنامه‌ریزی مدیریت خطرپذیری منطقه و اتخاذ تصمیم‌های لازم در شرایط بحرانی کاربرد دارند. اطلاع از میزان خسارت احتمالی در هر محدوده از سیلاب‌دشت، بیانگر این نکته است که کدام مناطق باید در برنامه‌ریزی رویارویی با سیلاب، بیش‌تر از سایر مناطق مورد توجه قرار گیرد. شکل (۱-۱۰) نمونه‌ای از نقشه خطرپذیری سیل را برای کاربری‌های مختلف واقع در سیلاب‌دشت یک رودخانه نشان می‌دهد.





شکل ۱-۱۰- نقشه خطرپذیری کمی یک رودخانه بر اساس میزان خسارت‌های مالی کاربری‌های مجاور رودخانه

۱-۲-۲-۵- نقشه موقعیت سازه‌های مهار سیلاب و حفاظت از کناره‌های رودخانه

موقعیت سازه‌های مهار سیل در تهیه برنامه‌های کنترل سیلاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. موقعیت این سازه‌ها بر روی نقشه‌های خطرپذیری منطقه جانمایی شده و باید میزان سیلاب ایمن عبوری از مقطع رودخانه با در نظر گرفتن اثر آن‌ها بر روی نقشه‌ها مشخص گردد.

در مناطقی که با این نوع از سازه‌ها از خطر سیلاب محافظت می‌شوند، باید این نکته را در نظر داشت که سازه‌های کنترل سیلاب ممکن است در صورت وقوع سیلاب‌های با مقادیر بیش‌تر از مقادیر طراحی آسیب ببینند و عملکرد صحیح خود را از دست دهند. در این صورت با توجه به این‌که با در نظر گرفتن وجود این سازه‌ها، آمادگی مردم و مسوولین در برابر سیلاب کاهش یافته است، احتمال بروز خسارت و تلفات در هنگام شکست ناگهانی سازه‌های حفاظتی نسبت به شرایط طبیعی افزایش می‌یابد.

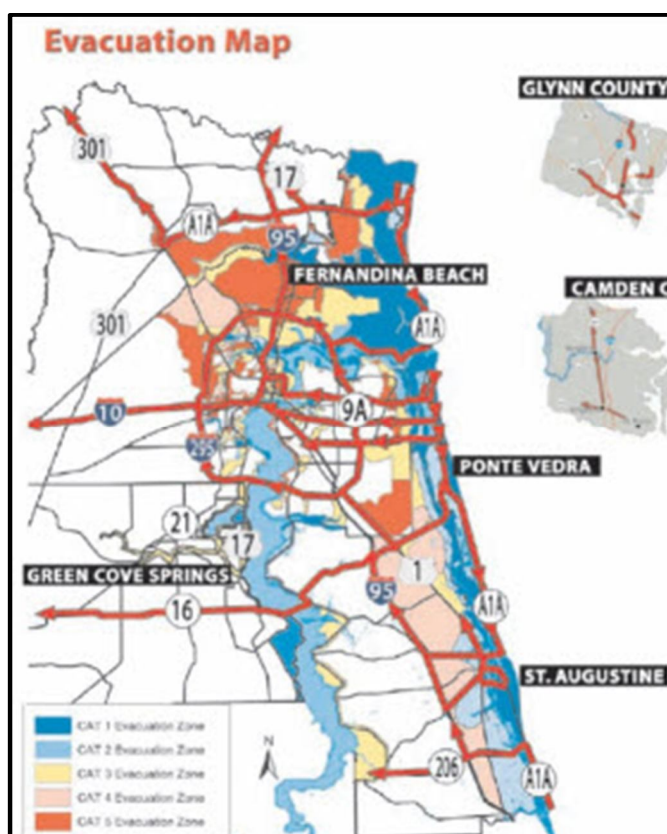
مدل‌سازی جریان و پخش سیل در سیلاب‌دشت‌ها با و بدون در نظر گرفتن اثر سازه‌های کنترل سیلاب در رودخانه صورت می‌پذیرد تا محدوده‌هایی که صرفاً به دلیل وجود سازه‌ها محافظت شده‌اند، مشخص گردد. سپس نحوه پخش سیلاب با لحاظ نمودن شکست سازه کنترلی نیز مدل‌سازی و بررسی می‌گردد. مدل‌سازی شکست سازه باید با در نظر گرفتن بحرانی‌ترین حالت شکست انجام شود. انتخاب موقعیت شکست سازه بر اساس شواهد تجربی، مدل‌سازی کامل سازه و خاک پی و قضاوت‌های مهندسی تعیین می‌گردد.

مدل‌سازی پخش سیلاب می‌تواند به روش‌های دو بعدی و یا شبه دو بعدی صورت پذیرد. در اکثر مواقع ترکیب شبهه‌سازی یک بعدی در کانال اصلی جریان و شبهه‌سازی دو بعدی در سیلاب‌دشت برای تحلیل جریان سیلاب‌دشت‌ها با و بدون در نظر گرفتن سازه‌های کنترل سیل مناسب می‌باشد [۶۰].



۱-۲-۲-۶- نقشه اضطراری یا نقشه‌های فرار و تخلیه

نقشه‌های اضطراری یا فرار و تخلیه، نقشه‌هایی هستند که اطلاعات لازم برای رویارویی در هنگام وقوع سیلاب را در اختیار شهروندان قرار می‌دهند. در این نقشه‌ها، علاوه بر این که راه‌های فرار و پناهگاه‌های امن در هنگام سیلاب باید به طور مناسبی نمایش داده شود، جزییات لازم مانند راه‌های دسترسی، خیابان‌ها، کوچه‌ها، تقاطعات و سایر اطلاعات ترافیکی لازم نیز باید مشخص و گویا باشد. این نوع نقشه‌ها باید از دقت مناسبی برخوردار باشند زیرا در شرایط بحرانی، زمان یکی از عوامل تعیین‌کننده در رویارویی با خطر است. از این رو دسترسی به اطلاعات دقیق و مناسب امکان تهیه نقشه‌های دقیق‌تر اضطراری سیلاب را فراهم می‌کند. همچنین در این نقشه‌ها ارائه اطلاعاتی از قبیل وسایل مورد نیاز هنگام فرار مانند غذا، آب، باتری، تلفن همراه و سایر موارد نیز برای مدیریت بهینه بحران توصیه می‌شود [۶۰]. ارائه این نوع نقشه‌ها باید پیش از وقوع سیلاب و با آموزش‌های همگانی و افزایش سطح آگاهی مردم در مواجهه با سیلاب همراه باشد. شکل (۱-۱۱) نمونه‌ای از نقشه فرار را که برای ایالت فلوریدا در آمریکا تهیه شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۱- نمونه نقشه فرار سیلاب ایالت فلوریدا آمریکا

۱-۳- کاربرد نقشه‌های سیلاب

کاربرد نقشه‌های سیلاب با توجه به نوع عوامل مشخص شده در نقشه‌ها، به سه دسته کلی تقسیم می‌شود [۶۰]:

- کاهش خطرپذیری موجود



- جلوگیری از ایجاد خطرپذیری جدید
 - تطابق با تغییرات به وجود آمده در عوامل تعیین کننده خطرپذیری
 - کاربرد اصلی نقشه‌های سیلاب با توجه به الزامات منطقه تحت تاثیر سیل تعیین می‌شود و به شرح زیر می‌باشد [۸۰ و ۶۰].
 - ۱- مدیریت جامع سیلاب (جلوگیری از وقوع خسارت و کاهش میزان آن)
 - ۲- برنامه‌ریزی و مدیریت کاربری اراضی در سیلاب‌دشت‌ها
 - ۳- برنامه‌ریزی شرایط بحرانی و اضطراری
 - ۴- افزایش سطح آگاهی اجتماعی
 - ۵- بیمه سیلاب
 - ۶- ارزیابی طرح‌های مهار سیلاب
 - ۷- تحلیل و ارزیابی خسارت سیل
 - ۸- تعیین نقاط آسیب‌پذیر تاسیسات زیربنایی و ارائه راهکارهای مناسب حفاظت از آن‌ها
 - ۹- پیاده‌سازی سیستم‌های هشدار سیل
- علاوه بر کاربردهای ذکر شده، نقشه‌های سیلاب به طور غیرمستقیم در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با حوزه محیط‌زیست و آلودگی‌های آب و خاک پس از وقوع سیلاب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۳-۱- مدیریت سیلاب

مدیریت سیلاب دربرگیرنده راهکارها و برنامه‌ریزی‌هایی در راستای اجرای موثر و بهینه روش‌های کاهش خطرپذیری سیل یا به عبارتی مدیریت خطرپذیری سیل می‌باشد. در این راستا در اختیار داشتن نقشه‌های سیلاب که پارامترهای اصلی خطرپذیری بر روی آن‌ها منعکس شده است، یکی از ارکان مدیریت خطرپذیری سیل می‌باشد. لذا ضروریست اطلاعات مربوط به هر سه عامل تاثیرگذار در خطرپذیری شامل خطر یا بزرگی سیل، کاربری اراضی و آسیب‌پذیری بر روی نقشه‌ها مشخص شود تا با انجام برنامه‌ریزی‌های لازم در راستای کاهش سطح خطرپذیری اقدام شود. پارامترهایی که باید در نقشه‌های سیلاب در راستای مدیریت سیل ارائه شود عبارتند از:

- پهنه سیلابی
- عمق یا سرعت جریان سیلاب
- آسیب‌پذیری عناصر واقع در سیلاب‌دشت به لحاظ آسیب‌پذیری محیطی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی
- خطر آلودگی
- میزان خطرپذیری سرمایه‌های موجود

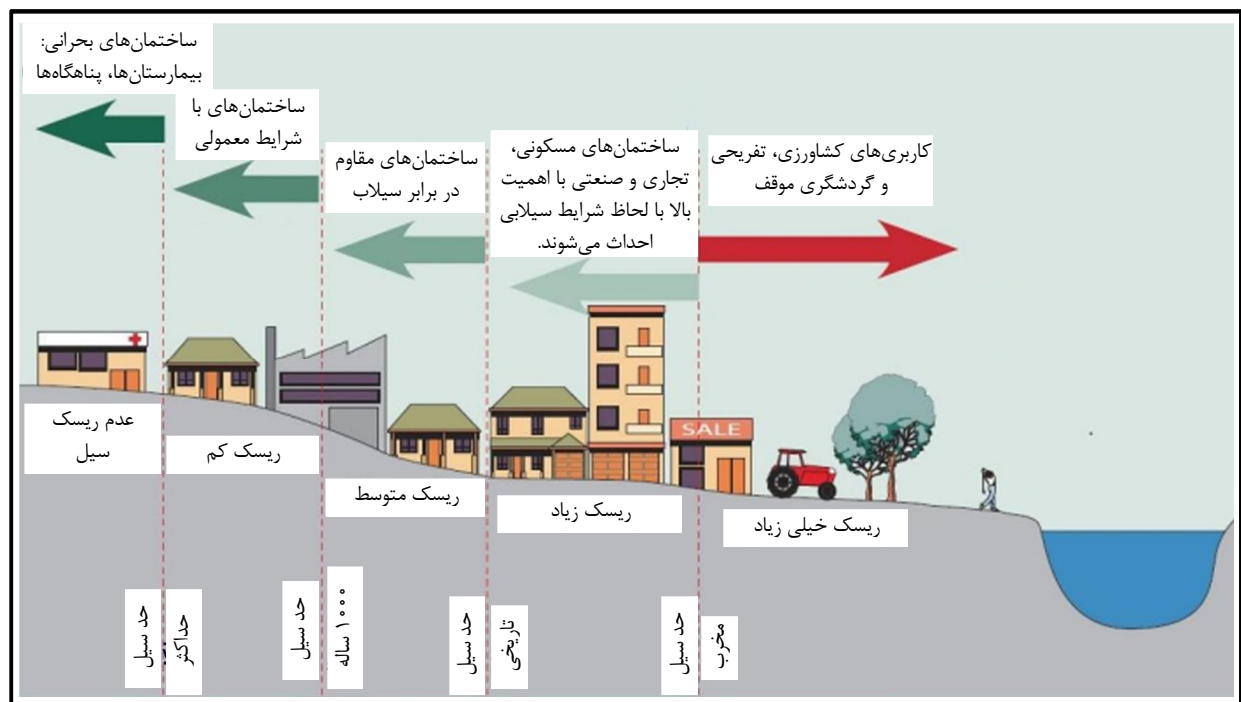


۱-۳-۲- برنامه‌ریزی کاربری اراضی

برنامه‌ریزی برای استقرار کاربری اراضی در یک سیلاب‌دشت با در نظر گرفتن میزان خطرپذیری موجود، یکی از ارکان توسعه پایدار می‌باشد. نقشه‌های خطرپذیری سیلاب به منظور برنامه‌ریزی استقرار کاربری‌ها و تخصیص اراضی برای توسعه آینده، مناسب‌سازی اراضی برای کاربری‌های مختلف، برنامه‌ریزی احداث تاسیسات زیربنایی، تهیه برنامه‌های هادی روستایی و تفضیلی شهرها و مدیریت سیلاب‌دشت مورد استفاده قرار می‌گیرند. برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سیلاب‌دشت امکان استفاده بهینه از اراضی را همراه با کاهش میزان خطرپذیری سیلاب فراهم می‌کند. در این راستا باید عوامل ذکر شده در ذیل در نقشه‌های سیلاب ارائه شوند تا امکان برنامه‌ریزی بهینه برای استقرار کاربری اراضی وجود داشته باشد.

- پهنه سیلابی برای دوره بازگشت‌های مختلف با و بدون در نظر گرفتن سازه‌های کنترل سیلاب
- طبقه‌بندی میزان خطر برای محدوده‌های مختلف
- تحلیل خطرپذیری سیلاب برای کاربری‌های مختلف
- آسیب‌پذیری محیطی و به طور ویژه تاسیسات شاخص آسیب‌پذیر
- تعیین میزان خطر آلودگی
- تعیین میزان خطرپذیری سرمایه‌های موجود

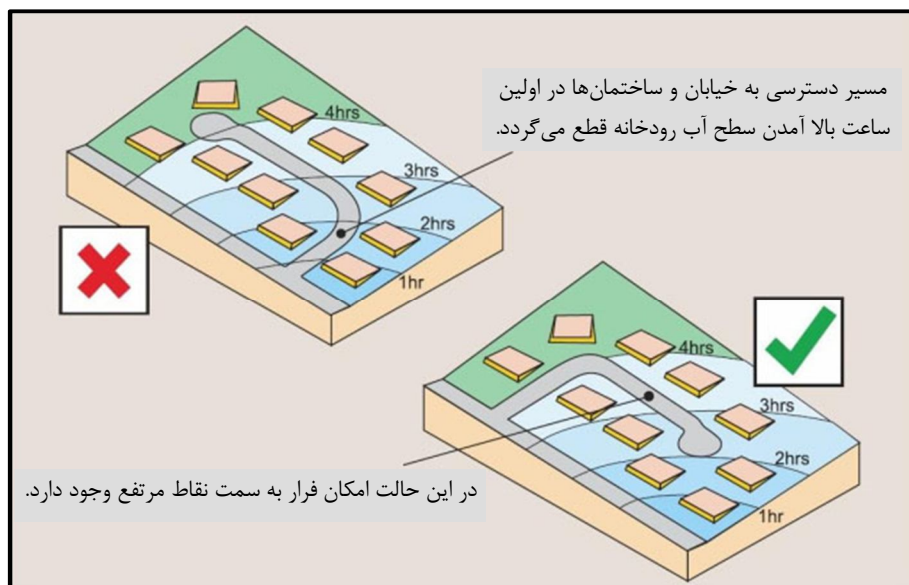
شکل (۱-۱۲) نمونه‌ای از تعریف کاربری‌های مختلف در سیلاب‌دشت را نشان می‌دهد:



شکل ۱-۱۲- تعریف کاربری اراضی برای یک منطقه در معرض خطر سیل با توجه به نقشه خطرپذیری سیلاب

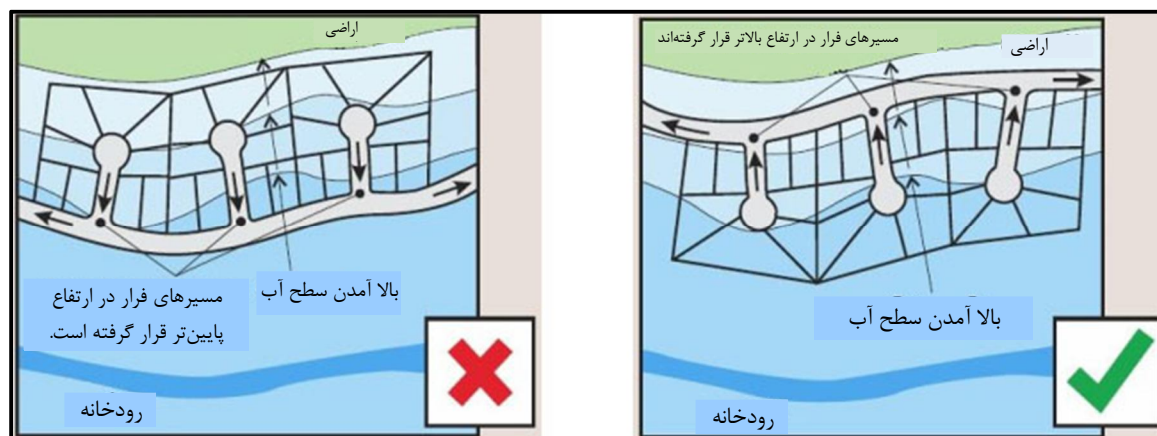


علاوه بر این، در برنامه‌ریزی توسعه شهری و طراحی فضاهای شهری باید دو عامل سرعت بالا آمدن سطح آب و جهت حرکت جریان در سیلاب‌دشت را مد نظر قرار داد. به عنوان مثال شکل (۱-۱۳) دو نوع طراحی شهری را نشان می‌دهد. در شکل سمت چپ راه خروج از محدوده تحت تاثیر سیل به گونه‌ای است که سیل در یک ساعت اول جاری شدن راه فرار افراد ساکن در منطقه را می‌بندد، اما این مساله با تغییر در طراحی شهری که در شکل سمت راست نشان داده شده، اصلاح شده است.



شکل ۱-۱۳- ارائه طرح‌های توسعه شهری با توجه به نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

نمونه دیگری از این مثال در شکل (۱-۱۴) دیده می‌شود.



شکل ۱-۱۴- طراحی خیابان‌ها و کوچه‌های شهر بر اساس نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

۱-۳-۳- برنامه‌ریزی شرایط اضطراری و مدیریت بحران

طراحی یک برنامه قابل اجرا و موثر به منظور مدیریت بحران در شرایط سیلابی بر اساس اطلاعات مربوط به سیلاب و حوضه آبریز، ویژگی‌های سیلاب‌دشت، ناحیه‌بندی خطر سیل، سیستم‌های هشدار سیل و سایر اطلاعات مورد نیاز انجام



می‌پذیرد. یکی از ابزارهای مهم در برنامه‌ریزی شرایط بحران در یک منطقه، دسترسی به نقشه‌های جامع و کامل در خصوص خطرپذیری سیلاب می‌باشد. هر چقدر اطلاعات و دقت نقشه‌های موجود در این زمینه بیش‌تر باشد، امکان ارائه برنامه مدیریت بحران با دقت بالاتری وجود خواهد داشت.

نقشه‌های سیلاب در ارائه برنامه‌های کلان مدیریتی (ملی و بین‌المللی) در شرایط بحران وقوع سیلاب مانند ارائه سناریوهای مقابله با خطر سیلاب، ارائه نقشه‌های فرار، موقعیت اماکن امن در برابر سیلاب و ارائه برنامه‌های عملیاتی^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این‌رو، باید عوامل ذکر شده در ذیل در نقشه‌های سیلاب ارائه شوند تا امکان دستیابی به این هدف وجود داشته باشد.

- عمق و پهنه سیلابی در دوره بازگشت‌های مختلف
- شاخص‌های تعیین میزان خطرپذیری مانند جمعیت درگیر سیلاب و سایر موارد
- تاسیسات زیربنایی مهم و اساسی مورد تهدید در هنگام وقوع سیلاب
- نقشه راه‌های ارتباطی
- میزان آسیب‌پذیری واحدها و تاسیسات مستقر در منطقه مانند نیروگاه‌ها، منابع ذخایر آب و سایر موارد
- میزان خطرپذیری کلیه واحدها و سرمایه‌های مهم مانند تاسیسات زیربنایی حساس با امکان انتشار آلودگی در منطقه در صورت وقوع سیلاب

تهیه مدل زمانی تخلیه و فرار در شرایط بحرانی سیلاب یکی از مواردی است که با استفاده از نقشه‌های خطر سیل انجام می‌پذیرد [۸۰]. در این نوع مدل‌ها زمان دریافت هشدار سیل و زمان لازم برای انجام عکس‌العمل لازم از سوی افراد گرفتار در سیل ارزیابی می‌شود. مقایسه بین زمان لازم برای فرار از موقعیت خطر و زمان موجود این امکان را فراهم می‌کند تا برنامه مناسبی برای شرایط بحران تدوین شود. پناه گرفتن در زمان سیلاب می‌تواند به صورت حرکت به سمت نقاط با ارتفاع بیش‌تر و یا پناه گرفتن در ساختمان‌های ایمن باشد.

۱-۳-۴- اطلاع‌رسانی عمومی

یکی از کاربردهای نقشه‌های خطرپذیری سیلاب افزایش آگاهی مردم به ویژه ساکنین سیلاب‌دشت‌ها در خصوص میزان خطرات احتمالی است که ممکن است منطقه سکونت آن‌ها را در مواقع سیلابی تهدید کند. نحوه ارائه نقشه‌های سیلاب که برای اطلاع‌رسانی به مردم تهیه می‌شود با نحوه ارائه نقشه‌های سیلاب که در اختیار مسوولین و متخصصین قرار می‌گیرد، متفاوت است. ویژگی اصلی این نوع نقشه‌ها، ساده بودن نحوه استفاده و کاربرد آن‌ها می‌باشد. مهم‌ترین عواملی که باید در این نوع نقشه‌ها ارائه گردد عبارتند از:

1- Action Plan



- پهنه سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف، با و بدون در نظر گرفتن سازه‌های کنترل سیلاب
- اطلاعات سیلاب‌های گذشته در صورت وجود شامل پهنه سیلابی، عمق سیلاب و تصاویر موجود
- اطلاعات تکمیلی در خصوص سیلاب مانند عمق و سرعت جریان، سرعت شروع سیلاب و سایر موارد

۱-۳-۵- بیمه سیل

به منظور تهیه برنامه جامع بیمه سیلاب باید اطلاعات دقیقی از میزان تلفات جانی و مالی احتمالی در صورت وقوع سیلاب و میزان در معرض خطر بودن کلیه مستحقات واقع در سیلاب‌دشت مانند کاربری‌های مسکونی، صنعتی و تاسیسات زیربنایی و حساس در دست باشد. اطلاعات مندرج بر روی این نوع نقشه‌ها مانند سایر نقشه‌های سیلاب باید شامل پهنه سیلابی و خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند عمق و سرعت جریان باشد. اطلاعات مورد نیاز از هر واحد و تاسیسات توسط شرکت‌های بیمه جمع‌آوری شده و توسط تحلیل‌گران بیمه تحلیل می‌شود، لیکن کلیه اطلاعات موجود در اختیار مالکان قرار نمی‌گیرد.

۱-۳-۶- ارزیابی طرح‌های مهار سیلاب

یکی از کاربردهای نقشه‌های خطرپذیری سیلاب ارزیابی طرح‌های مهندسی رودخانه‌ای است که به منظور کاهش خسارات سیلاب در مسیر رودخانه‌ها احداث شده است. سازه‌های کنترل سیلاب به یکی از روش‌های زیر موجب کاهش اثرات سیل و بروز خسارت در سیلاب‌دشت‌ها می‌شوند:

- کاهش عمق جریان
- کاهش سرعت جریان
- کاهش مدت زمان جاری شدن سیل
- کاهش سرعت بالا آمدن سطح جریان در سیلاب
- کاهش مدت زمان قطع راه‌های ارتباطی

تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب، قبل و بعد از اجرای طرح‌های مهار سیل و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌تواند ارزیابی مناسبی از نحوه عملکرد طرح اجرایی در اختیار برنامه‌ریزان محلی قرار دهد. همچنین با توجه به این‌که اجرای طرح‌های مهار سیل در یک بازه از رودخانه ممکن است منجر به بروز خسارت و افزایش خطر سیل در بازه دیگری از رودخانه شود، وجود نقشه‌های سیل این امکان را فراهم می‌کند که این تغییرات در طول رودخانه شناسایی و ارزیابی شوند.

۱-۳-۷- تحلیل و ارزیابی خسارت سیل

محاسبات خسارت احتمالی سیل در هر دوره بازگشت یکی از کاربردهای مهم نقشه‌های خطر سیل می‌باشد. با در اختیار داشتن نقشه‌های پهنه و عمق سیل میزان خسارت محتمل به هر یک کاربری‌های موجود در پهنه سیل تخمین زده می‌شود و با انجام برنامه‌ریزی و ارائه برنامه‌های جامع مدیریت سیل میزان بروز خسارت در هنگام وقوع سیل کاهش می‌یابد.

۱-۳-۸- پیاده‌سازی سیستم‌های هشدار سیل

سیستم‌های هشدار سیل که امروزه به عنوان یکی از بهترین و موثرترین روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب مطرح می‌شود، نیز از نقشه‌های سیلاب به عنوان معیاری برای ارائه برنامه واکنش فوری در منطقه استفاده می‌کند. در این سیستم‌ها با دریافت اطلاعات مربوط به بارش در یک حوضه و اعمال آن در مدل‌های نرم‌افزاری توسعه یافته مقادیر سیلاب محتمل در رودخانه‌ها تخمین زده می‌شود و بر اساس آن نقشه‌های پهنه و عمق سیل ترسیم می‌گردد. این نقشه‌ها پیش از وقوع سیل در اختیار مسوولین و برنامه‌ریزان محلی قرار می‌گیرد تا بر اساس آن عملیات واکنش فوری (EPA)^۱ انجام پذیرد [۱۵].

۱-۴- کاربرد GIS و RS^۲ در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

استفاده از GIS و تکنیک‌های آن در مهندسی رودخانه، سرعت پیشرفت این علم را دوچندان کرده و امروزه بسیاری از فعالیت‌های مرتبط با مهندسی رودخانه مانند تحلیل حوضه آبریز، استخراج فیزیوگرافی حوضه آبریز، مطالعات هیدرولوژی و برآورد سیلاب، تهیه مدل هندسی رودخانه به منظور مدل‌سازی جریان، تعیین پهنه سیل، منطقه‌بندی سیلاب‌دشت به لحاظ میزان خطر سیل و ناحیه‌بندی خطر سیل با دقت مناسبی قابل انجام می‌باشد. در حقیقت با به کارگیری نرم‌افزارهای مرتبط با این حوزه می‌توان از اولین گام در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب که شامل آماده سازی داده‌های مکانی و هندسی رودخانه و سیلاب‌دشت آن تا آخرین مرحله که شامل تعیین منطقه‌های خطر و ارائه نقشه‌های کاربردی در این زمینه می‌باشد، از تکنیک‌های GIS بهره گرفت. مهم‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در این زمینه را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- استخراج پارامترهای فیزیوگرافی حوضه آبریز رودخانه
- تهیه مدل هندسی حوضه آبریز به منظور مدل‌سازی واحدهای هیدرولوژیکی و برآورد میزان سیلاب
- پردازش اطلاعات مکانی به منظور تهیه مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM) از حوضه آبریز و سیلاب‌دشت‌ها
- پردازش اطلاعات مکانی و توپوگرافی مسیر رودخانه و تهیه مدل هندسی رودخانه جهت مدل‌سازی جریان
- تحلیل نتایج مدل‌های هیدرولیکی و استخراج نقشه‌های پهنه سیلاب، عمق و سرعت جریان
- تحلیل و ترکیب لایه‌های مختلف (لایه‌های عوامل تعیین کننده میزان خطر سیلاب) و ایجاد لایه جدید منطقه‌بندی خطر و خطرپذیری سیلاب و در نهایت ارائه نقشه منطقه‌بندی خطر سیل در GIS
- تهیه نقشه‌های با مقیاس مناسب از وضعیت خطرپذیری سیلاب به منظور اطلاع‌رسانی به مردم

1- Emergency Action Plan

2- Remote Sensing



- تهیه پایگاه‌های اطلاعاتی در GIS از داده‌های اجتماعی، اقتصادی، کاربری اراضی و وضعیت اراضی واقع در سیلاب‌دشت‌ها به منظور تحلیل خطرپذیری سیلاب
- سنجش از دور (RS) دانش کسب اطلاعات از پدیده‌ها و اجسام، بدون تماس فیزیکی و از راه دور می‌باشد. در علوم مهندسی پردازش و تحلیل مکانی سطح زمین و اجزای آن از راه دور راهگشای حل بسیاری از مسایل می‌باشد [۵۵].
- تهیه نقشه‌های سیلاب در مهندسی رودخانه نیز می‌تواند در زمینه‌های ذیل از این تکنیک بهره گیرد:
 - پردازش عکس‌های هوایی و تصاویر ماهورای به منظور تهیه نقشه‌های توپوگرافی رودخانه‌ها
 - پردازش عکس‌های هوایی و تصاویر ماهورای به منظور تعیین کاربری اراضی مناطق در معرض خطر سیلاب
 - پایش محدوده سیلاب و مناطق تحت تاثیر آن با بررسی وضعیت پوشش سطح زمین در زمان قبل و بعد از وقوع سیلاب (شکل ۱-۱۵)
 - تخمین و برآورد میزان خسارت‌های سیلاب
 - استفاده از داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی مستخرج از تصاویر ماهورای به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی مدل‌های هیدرولوژی
 - پیش‌بینی سیلاب با پایش وضعیت بارندگی با استفاده از تصاویر ماهورای
 - امکان مطالعه پیوسته و به هنگام سیلاب
 - امکان پایش سیلاب در دوره‌های زمانی مختلف
 - تهیه آرشیو غنی و مطالعه سیلاب‌های گذشته
 - قابلیت برآورد مولفه‌های مورد نیاز مدیریت سیلاب در کوتاه‌ترین زمان ممکن
 - کاهش هزینه‌های تهیه نقشه‌های سیلاب نسبت به سایر روش‌ها و تکنیک‌ها



شکل ۱-۱۵- نمونه‌ای از پایش محدوده سیلاب - ماهواره Landsat. سنجنده TM سال ۱۹۸۴



۱-۵- عوامل کاهش و تشدید خطرپذیری

- همان‌طور که به آن اشاره شد خطرپذیری ترکیبی از سه عامل خطر، در معرض بودن و آسیب‌پذیری است. تغییر در هر یک از عوامل ذکر شده منجر به افزایش یا کاهش میزان خطرپذیری منطقه در هنگام وقوع سیل خواهد شد. اگرچه میزان خطر سیل یک مفهوم طبیعی برای همه رودخانه‌ها است و در شرایط تداوم بارش‌های جوی در سطح حوضه به همراه شیب طبیعی رودخانه، وقوع جریان‌های سیلابی را به دنبال خواهد داشت، ولی دخالت‌های انسانی به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر عوامل تعیین‌کننده خطرپذیری تاثیرگذار بوده و موجب کاهش و یا افزایش آن می‌شود. مهم‌ترین عامل طبیعی تاثیرگذار بر روند طبیعی رودخانه، تغییر اقلیم و ویژگی‌های اکوسیستم یک منطقه است و عوامل دیگری همچون چگونگی مدیریت منابع و سیاست‌های توسعه به عنوان عوامل غیرطبیعی، تاثیرات دوگانه‌ای بر خطرپذیری خواهد داشت.
- تغییر اقلیم، در سال‌های اخیر باعث تغییر الگوهای بارش و عموماً به صورت کاهش تداوم و افزایش شدت شده است. افزایش شدت بارش، جریان‌های شدیدتری را به وجود آورده و عوامل هیدرولیکی، دبی، سرعت، ارتفاع و پهنه جریان را وسیع‌تر می‌کند.
 - نظام مدیریت حوضه و رودخانه، نقش موثری بر تشدید وقوع سیل و یا مدیریت سیل دارد. ارائه مجوزهای بهره‌برداری از منابع رودخانه مانند برداشت آب، شن و ماسه و عبور تاسیسات شهری و کیفیت نظارت بر فعالیت بهره‌برداران و خصوصاً رویکردهای مدیریت رودخانه‌ای که می‌تواند موجب حفظ طبیعت رودخانه و یا تخریب و تغییر آن شود، شکل تشدید یا کاهش خطرپذیری را ترسیم می‌کند.
 - مدیریت کاربری اراضی، فرایند توسعه شهری و فعالیت‌های اطراف رودخانه‌ها را مشخص می‌سازد. گسترش شهرها و سطوح نفوذناپذیر و ساخت و ساز در حریم و سیلاب‌دشت رودخانه، ناشی از مدیریت کاربری اراضی و ضعف آن است در نتیجه شدت خطرپذیری سیل با ایجاد موانع در مسیر جریان و عوض نمودن ساختار طبیعی آن، افزایش می‌یابد.
 - مدیریت خطرپذیری سیل، از اقدامات اساسی در محیط‌های سیل‌خیز است. در مدیریت خطرپذیری، پهنه‌های مختلف با شدت‌های متفاوت کم تا بسیار زیاد در سطح یک منطقه مشخص می‌شود و در معرض عموم و تصمیم‌سازان قرار می‌گیرد. وجود مدیریت خطرپذیری سیل زمینه‌های رخداد سیل‌های مخرب را کاهش می‌دهد.
 - سطح آگاهی و آموزش عمومی، میزان هوشیاری و آمادگی عمومی در برابر سیل، آسیب‌پذیری را تقویت نموده و دانش مردم در مورد خطرات بالقوه سیل را افزایش می‌دهد. یکی از نتایج آگاهی عمومی از خطرات سیل این است که اقدامات مربوط به بهره‌برداری از منابع رودخانه‌ای و ساخت و سازهایی که میزان تهدید سیلاب را افزایش می‌دهند، به درستی مدیریت شده و مشکلات موجود را به میزان زیادی برطرف می‌کند.



۱-۶- کاربران نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

نقشه‌های خطرپذیری سیلاب نقشه‌هایی است که در آن اطلاعاتی در خصوص میزان خطرات احتمالی سیلاب در یک منطقه درج شده است. از این رو می‌تواند برای مسوولین، برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران منطقه و ساکنین حاشیه رودخانه که به نوعی با سیلاب و اثرات آن سر و کار دارند، مورد استفاده قرار گیرد. کاربران این نقشه‌ها را می‌توان در گروه‌های زیر خلاصه نمود [۵۳]: (شکل ۱-۱۶)

- وزارت نیرو و شرکت‌های تابعه آن با توجه به وظایف ذاتی خود مبنی بر حفاظت و صیانت از بستر و حریم رودخانه‌ها و به منظور ارائه طرح‌های مهار و کاهش خطرات سیلاب و آموزش و اطلاع‌رسانی به مردم
- وزارت راه و شهرسازی: استقرار کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی، تفریحی و سایر کاربری‌ها و همچنین ارائه طرح‌های تفضیلی و جامع شهرها با توجه به پهنه‌های خطر سیل
- شهرداری‌ها: ارائه طرح‌های مهار سیلاب و سامان‌دهی رودخانه‌ها در محدوده شهرها و آموزش و اطلاع‌رسانی به مردم
- ادارات بنیاد مسکن انقلاب اسلامی: ارائه طرح‌های هادی روستایی با توجه به حدود بستر و حریم رودخانه‌ها و پهنه‌های خطر سیل
- وزارت جهاد کشاورزی و امور اراضی: استقرار کاربری‌های کشاورزی، شیلات، تولیدات دامی و سایر موارد متناسب با ناحیه‌بندی خطر سیل
- سازمان جمعیت هلال احمر کشور
- سازمان حفاظت محیط‌زیست
- دهیاری‌ها و شورای اسلامی روستاها: صدور مجوزهای ساخت و ساز با توجه به پهنه‌بندی‌های خطر سیل و اطلاع‌رسانی به مردم
- شرکت‌های بیمه‌گذار
- ساکنین حاشیه رودخانه: اطلاع از وضعیت خطرپذیری ساختمان‌های محل سکونت، اطلاع از محدوده مستعد خطر سیلاب در اطراف محل سکونت، انجام راهکارهای لازم در راستای پادسیل‌سازی ساختمان‌های مسکونی و تجاری، اطلاع از پناهگاه‌ها و راه‌های فرار ایمن در هنگام بروز سیلاب





شکل ۱-۱۶- کاربران نقشه‌های سیلاب



فصل ۲

نقشه‌های خطر سیل



۲-۱- مقدمه

همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، نقشه‌های خطر سیل شامل اطلاعاتی در زمینه مشخصات سیل مانند بزرگی، عمق و سرعت جریان است که منجر به بروز خطر در مسیر جریان یک رودخانه می‌شود. روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه‌های خطر سیل و استخراج عوامل هیدرولیکی جریان وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش‌های هیدرولوژیکی و مدل‌سازی هیدرولیک جریان می‌باشد. در این فصل، به شرح روش‌های مختلف استخراج عوامل خطر سیل پرداخته شده است. انتخاب روش استخراج مشخصات جریان به عواملی مانند هدف از تهیه نقشه‌ها، داده‌ها و اطلاعات موجود، سطح تخصص و هزینه تهیه نقشه‌ها بستگی دارد.

علاوه بر آن به منظور تقسیم‌بندی سیلاب‌دشت به مناطق با درجات مختلف خطر سیل روش‌های مختلفی وجود دارد که مبتنی بر ترکیب عوامل جریان مانند سرعت و عمق می‌باشد. در این بخش روش‌های مختلف ناحیه‌بندی خطر سیل نیز شرح داده شده و مناسب‌ترین روش به عنوان گزینه منتخب برای تهیه نقشه‌های خطر سیل در کشور انتخاب شده است.

۲-۲- روش‌ها و متدولوژی تهیه نقشه‌های خطر سیلاب

روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه‌های خطر سیل وجود دارد که با توجه به نیاز طرح، کاربرد نقشه‌ها، محدودیت زمانی و مالی، می‌توان یکی از روش‌ها را انتخاب و نقشه‌های سیلاب را بر مبنای آن تهیه نمود. روش‌های تهیه نقشه به چهار دسته روش‌های اسناد تاریخی، ژئومورفولوژی، مدل‌سازی هیدرولیکی جریان و وزن‌دهی به معیارها تقسیم می‌شود [۵۷ و ۶۹] که در ادامه هر یک از این روش‌ها تشریح شده است: شکل (۱-۲)

روش سیلاب‌های تاریخی: در این روش نقشه سیلاب‌های پیشین یک رودخانه (نقشه پهنه سیل‌گیر یا عمق جریان) بر اساس اسناد و مدارک قدیمی مانند نقشه‌ها، تصاویر و گزارشات قدیمی، روزنامه‌ها و هر مرجعی که بتواند اطلاعاتی را در مورد سیلاب‌های رخ داده در یک رودخانه در اختیار متخصصین قرار دهد، تهیه می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی تهیه شده در هنگام وقوع سیلاب بهترین منبع اطلاعاتی برای ترسیم نقشه‌های سیلاب‌های گذشته می‌باشد. این نوع نقشه‌ها شامل اطلاعات اولیه از وضعیت سیل‌گیری اراضی سیلاب‌دشت می‌باشند که می‌توانند به منظور تدقیق و کالیبره نمودن نقشه‌های سیلاب که با استفاده از روش‌های مدل‌سازی تهیه شده‌اند، نیز به کار روند. در بند ۲-۲-۱ این روش به طور کامل شرح داده شده است.

روش زمین ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی): علائم بر جای مانده از سیلاب‌های یک رودخانه در سیلاب‌دشت آن که موجب تغییر جنس رسوبات و ویژگی‌های زمین ریخت‌شناسی آن می‌شود، پس از تفسیر و بررسی منجر به تهیه نقشه‌های سیلاب خواهد شد. این نقشه‌ها نیز مانند نقشه‌های سیلاب‌های تاریخی، اطلاعات اولیه در خصوص وضعیت سیل‌گیری اراضی سیلاب‌دشت بالاخص سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا را در اختیار متخصصان قرار می‌دهد. همچنین از این اطلاعات برای کالیبره نمودن مدل‌سازی سیلاب رودخانه استفاده می‌شود. این روش در بند ۲-۲-۲ شرح داده شده است.



روش مدل‌سازی هیدرولیکی: مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به منظور شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌ها و کانال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً در این روش‌ها به جزییات مدل‌سازی سیلاب نیز پرداخته می‌شود و محدوده گسترده‌ای از مدل‌سازی رواناب و تخمین میزان سیلاب در یک حوضه آبریز تا مدل‌سازی یک یا دو بعدی جریان سیلاب در یک رودخانه را شامل می‌شود. این روش در بند ۲-۲-۳ به صورت مبسوط شرح داده شده است.

روش وزن‌دهی به معیارها: علاوه بر روش‌های تاریخی و ژئومورفولوژی و هیدرولیکی روش‌های وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره در سال‌های اخیر مورد استفاده محققین قرار گرفته است [۷۲ و ۶۴ و ۵۹ و ۴۰ و ۲۵ و ۱۱ و ۱۰]. با توجه به این‌که ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری و خطرپذیری با این روش بسیار کاربرد دارد، توضیحات تکمیلی در مورد این روش در فصل سوم ارائه شده است.

انتخاب روش تهیه نقشه‌های خطر سیلاب به اهداف تهیه نقشه، قابلیت دسترسی به اطلاعات مورد نیاز و سطح علمی متخصصان مربوطه بستگی دارد. روش‌های تاریخی و زمین‌ریخت‌شناسی عموماً در مراحل اولیه و برای شناسایی کلی منطقه مورد مطالعه کاربرد دارند. ولی روش‌های مدل‌سازی برای بررسی دقیق‌تر و تهیه نقشه‌های با جزییات بیش‌تر به کار می‌روند. در حالت کلی سطح مورد انتظار نقشه‌های سیلاب تعیین‌کننده مقیاس نقشه‌ها می‌باشد. در صورت در دسترس بودن اطلاعات بیش‌تر، نقشه‌هایی با مقیاس بزرگ‌تر تهیه می‌شود که در آن‌ها ارزیابی دقیقی از میزان خطر در منطقه متأثر از سیلاب صورت پذیرفته است.



شکل ۲-۱- روش‌های تهیه نقشه‌های سیلاب

۲-۲-۱- روش سیلاب‌های تاریخی

در دست داشتن اطلاعاتی از سیلاب‌های گذشته مانند میزان دبی جریان، عمق سیلاب، خسارات ناشی از وقوع سیلاب علاوه بر این‌که در اعتبارسنجی مدل‌های تهیه شده برای برآورد سیلاب و هیدرولیک جریان کاربرد دارند، منبع



بسیار مناسبی برای ارزیابی و تحلیل میزان خطر، آسیب‌پذیری و خطرپذیری منطقه می‌باشد. این دسته از اطلاعات عموماً از طریق گزارش‌های موجود در دستگاه‌های اجرایی مرتبط با امور سیلاب مانند ادارات مدیریت بحران، شرکت‌های آب منطقه‌ای و سایر موارد و یا اطلاعات جانبی موجود مانند عکس‌های هوایی یا تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده در زمان سیلاب، آرشیو روزنامه‌های محلی، داغاب برجای مانده از سیلاب‌های گذشته و یا گفت و گو با ساکنین منطقه و افراد سالخورده حاصل می‌شوند.

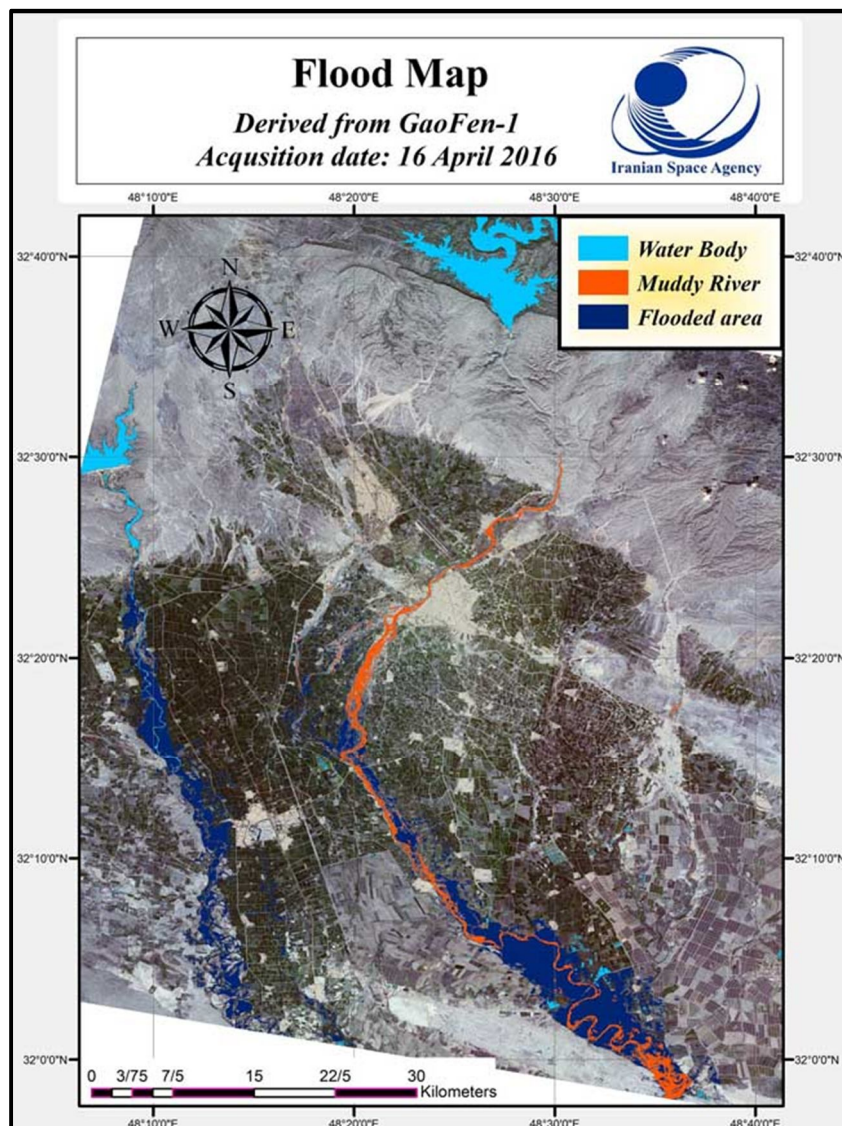
در جدول (۱-۲) لیست منابعی که اطلاعات مربوط به سیلاب‌های گذشته را در اختیار کارشناسان و متخصصان تهیه نقشه‌های سیلاب قرار می‌دهد، ارائه شده است. ارزیابی اطلاعات تاریخی سیلاب‌ها زمان‌بر و تفسیر اطلاعات حاصله باید با دقت بالایی انجام پذیرد [۶۹]. شکل‌های (۲-۲) و (۳-۲) نمونه‌هایی از ثبت سیلاب‌های گذشته و شکل (۴-۲) نیز نمونه‌ای از سند تاریخی یکی از سیلاب‌های قدیمی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- منابع اخذ اطلاعات در مورد سیلاب‌های رخ داده

منبع اطلاعات	مرجع اخذ اطلاعات	نوع اطلاعات
اطلاعات رسمی	شرکت آب منطقه‌ای	گزارش سیلاب‌های گذشته، عکس سیل، داغاب‌های ثبت شده، میزان خسارات سیلاب
	استانداری	گزارش سیلاب‌های گذشته، ارزیابی خسارات وارده ناشی از وقوع سیلاب
	اداره مدیریت بحران استان	گزارش سیلاب‌های گذشته، ارزیابی خسارات وارده ناشی از وقوع سیلاب
	شهرداری	ارزیابی خسارات وارده به ساختمان‌ها یا تأسیسات زیربنایی شهری ناشی از وقوع سیلاب‌های رودخانه‌ای، پهنه سیلابی و یا عمق سیلاب‌های گذشته در محدوده‌های شهری
	دهیاری	تهیه نقشه پهنه سیلاب به وقوع پیوسته بر اساس اطلاعات ساکنین روستاها
	منابع علمی و دانشگاهی	پژوهش‌های موجود در خصوص سیلاب یک رودخانه
اطلاعات محلی	آرشیو روزنامه‌های محلی	گزارشات و عکس‌های تهیه شده از سیلاب‌ها حوادث ناشی از وقوع سیل مانند تخریب پل‌ها، راه‌های ارتباطی و سایر موارد
	عکس‌های تهیه شده در هنگام سیلاب	جمع‌آوری عکس‌های تهیه شده از سیلاب‌های رخ داده به منظور در اختیار قرار دادن اطلاعاتی مانند پهنه سیل و عمق سیل
	عکس‌های هوایی یا تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده از منطقه در هنگام وقوع سیلاب	پهنه سیل این دسته از اطلاعات عموماً برای رودخانه‌های بزرگ با سیلاب‌های بالا کاربرد دارند.
	گفتگو با ساکنین حاشیه رودخانه‌ها	پهنه سیلاب، عمق سیلاب، خسارات ناشی از سیلاب



شکل ۲-۲- ثبت داغاب سیل سال ۱۹۰۵ رودخانه خیزر- پاکستان [۶۹]



شکل ۲-۳- تصویر ماهواره چینی Gae Fen از سیلاب رودخانه دز در فروردین ماه ۱۳۹۵

در تاریخ از سیلاب‌های رودخانه‌های شهر قزوین چنین عنوان شده است: «در فروردین ماه سال ۹۶۵ هجری قمری، زمان سلطنت شاه طهماسب صفوی، باران بی در پی سبب سرازیر شدن سیلی بزرگ از کوه‌های قزوین شد. صدای سیل و خروش آب چنان مهیب بود که مردم با شنیدن آن صدا از خانه‌ها فرار کردند بدون آن‌که فرصت کنند چیزی با خود ببرند. سیل وارد شهر شد در و دیوار و سقف خانه‌ها را می‌کند و می‌برد تا نیمی از شهر را ویران و نابود کرد. شاه طهماسب دستور داد دوباره شهر را بسازند. (اما هیچ اقدامی برای جلوگیری از سیلی دیگر به عمل نیامد)»

شکل ۲-۴- نمونه‌ای از یک سند تاریخی در خصوص یکی از رودخانه‌های شهر قزوین [۹]

۲-۲-۲- روش زمین ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) در تعیین پهنه سیلاب رودخانه‌ها

روش زمین ریخت‌شناسی، برای تشخیص پهنه سیلاب‌های تاریخی از یک سو اطلاعاتی را با توجه به وضعیت ریخت و جنس مصالح تشکیل دهنده سیلاب‌دشت‌ها در اختیار متخصصان قرار می‌دهد و از سوی دیگر می‌تواند به بررسی



ویژگی‌های سیلاب‌هایی بپردازد که از حد معمول رودخانه بسیار بیش‌تر می‌باشند. این روش بر مبنای تفسیر وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه در محدوده کانال اصلی، سیلاب‌دشت‌ها، مخروط‌افکنه و علائم بر جای مانده از رودخانه در طول دوره‌های گذشته استوار است. در حقیقت این روش جزییات تاریخی رژیم رودخانه را بررسی کرده و مقطع طبیعی تاریخی^۱ رودخانه را تخمین می‌زند [۶۹].

ترکیب اطلاعات حاصل از روش‌های سنجش از دور، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر موجود از رودخانه در مواقع سیلابی، اطلاعات زمین ریخت‌شناسی، اخبار و گزارشات موجود می‌تواند منجر به تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه و در نهایت استخراج هندسه اولیه رودخانه شود. انجام مراحل مختلف اشاره شده مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد است و به همین دلیل به بازه‌های کوتاهی از رودخانه‌های مهم محدود می‌شود.

روش‌های موجود در زمینه تشخیص سن^۲ لایه‌های زمین شناسی مانند رادیو کربن و غیره، آنالیز لایه‌ها، آنالیز گیاهان منطقه نیز می‌توانند برای تخمین زمان دقیق وقوع سیل یک رودخانه به کار آیند. روش‌های فوق عموماً در پروژه‌های تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶۹].

مهم‌ترین کاربرد روش زمین ریخت‌شناسی در تهیه نقشه‌های خطر سیلاب مشخص کردن پهنه یا عمق سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا می‌باشد. با توجه به این‌که رودخانه ممکن است در بستر تاریخی خود طغیان کند، تشخیص مقطع تاریخی رودخانه و اختصاص درجه خطر متناسب با آن اهمیت دارد. وقوع سیلاب در رودخانه ایندوس هند بیانگر این واقعیت است که بستر تاریخی رودخانه‌ها ممکن است تحت شرایط سیلابی خاص دوباره فعال شده و غرقاب شوند. شکل (۲-۵)



شکل ۲-۵- فعال شدن دوباره بستر تاریخی رودخانه سند (ایندوس) هند
(تصویر دریافت شده از GOOGLE EARTH در سال ۲۰۱۳) [۶۹]

1- Paleo-channel
2- Dating Methods

۲-۲-۳- روش مدل‌سازی هیدرولیکی

در روش مدل‌سازی، از مدل‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز و مدل‌های هیدرولیکی جریان رودخانه به منظور محاسبه پارامترهای سیلاب مانند بزرگی سیل و پارامترهای جریان مانند پهنه، عمق و سرعت سیل استفاده می‌شود [۶۹]. در این روش مطالعات هواشناسی به منظور تحلیل بارندگی و رخداد‌های رگبار، مطالعات هیدرولوژی به منظور استخراج دبی‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف و مطالعات هیدرولیک جریان به منظور استخراج پارامترهای جریان انجام می‌شود. در ادامه بحث روند انجام مطالعات مربوط به مدل‌سازی جریان رودخانه شرح داده شده است. بدیهی است اطلاعات دقیق‌تر منجر به استخراج نتایج بهتر خواهد شد و می‌تواند مبنای مناسب‌تری برای تصمیم‌گیری‌های منطقه‌ای در شرایط پیش از وقوع، حین و پس از وقوع سیل باشد.

۲-۳-۱- مطالعات فیزیوگرافی

علم فیزیوگرافی مطالعه خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی یک حوضه آبریز است. خصوصیات فیزیکی حوضه آبریز مانند شکل حوضه، زمان تمرکز، پوشش گیاهی و جنس خاک آن به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر میزان پارامترهای جریان مانند حجم جریان عبوری از یک رودخانه و مقادیر و خصوصیات سیلاب تاثیرگذار بوده و انجام مطالعات هیدرولوژی و برآورد میزان سیلاب‌های یک رودخانه بدون در دست داشتن اطلاعات لازم از یک حوضه آبریز امکان‌پذیر نمی‌باشد.

در مطالعه فیزیوگرافی، ابتدا می‌بایست با توجه به نیاز طرح، موقعیت‌هایی که میزان سیلاب باید برآورد گردد و از اهمیت بیش‌تری برخوردار است تعیین شود. سپس حدود حوضه آبریز و شبکه‌های آبراهه‌ها بر اساس نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ یا ۱:۲۵۰۰۰ مشخص می‌گردد. در برخی از حوضه‌ها ممکن است برای تدقیق حدود حوضه آبریز از بازدیدهای میدانی نیز کمک گرفته شود مهم‌ترین خصوصیات حوضه آبریز که باید اندازه‌گیری شوند عبارتند از:

- مساحت و محیط حوضه و زیرحوضه‌های مرتبط
- شکل حوضه
- طول رودخانه‌های اصلی و فرعی
- شیب حوضه
- تراکم شبکه آبراهه‌ها
- خصوصیات ارتفاعی حوضه
- زمان تمرکز

در این مرحله استفاده از ابزار GIS در محاسبه خصوصیات حوضه آبریز می‌تواند سرعت، سهولت و دقت محاسبات را به طور چشمگیری افزایش دهد. به منظور مطالعه بیش‌تر در این زمینه به ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان «راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها» مراجعه گردد [۱۴].



۲-۳-۲-۲- مطالعات هواشناسی

مطالعات هواشناسی پیش نیاز انجام مطالعات هیدرولوژی و برآورد سیلاب رودخانه‌ها محسوب می‌شود. از این‌رو بخش‌هایی از مطالعات هواشناسی باید مد نظر قرار گیرد که بتواند اطلاعات مورد نیاز مطالعات هیدرولوژی را در اختیار هیدرولوژیست طرح قرار دهد. تحلیل آمار بارش در منطقه مورد مطالعه به منظور استخراج بارش‌های ماهیانه و سالانه، گرادیان بارندگی، منحنی‌های هم‌باران، منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی و تحلیل فراوانی رگبارها در مطالعات هواشناسی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مراحل انجام مطالعات هواشناسی به شرح زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز
- بررسی کیفیت، صحت و کفایت آمار و اطلاعات موجود
- انتخاب دوره آماری، تکمیل و تطویل آمار ایستگاه‌های با دوره آماری کوتاه‌تر از دوره شاخص
- تحلیل و پردازش داده‌های هواشناسی به منظور استخراج اطلاعات مورد نیاز جهت تهیه مدل هیدرولوژی حوضه آبریز و زیرحوضه‌های آن مانند رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف و مورد نیاز در تهیه نقشه‌های سیلاب
- بررسی اقلیم منطقه و احتمال تغییر در الگوی بارش که ممکن است موجب تغییر در پارامترهای سیل و الگوی منطقه‌بندی خطر در منطقه گردد.

جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز از ایستگاه‌های هواشناسی به شرح جدول (۲-۲) صورت می‌پذیرد.

جدول ۲-۲- جمع‌آوری آمار و اطلاعات هواشناسی

نوع ایستگاه هواشناسی	پارامترهای مورد اندازه‌گیری در ایستگاه	مرجع دریافت اطلاعات
سینوپتیک	بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت و سمت باد، ساعات آفتابی، تبخیر از تشت، روزهای یخبندان، نقطه شبنم و سایر پارامترهای اقلیمی	سازمان هواشناسی کشور
اقلیم‌شناسی (کلیما‌تولوژی)	بارش، دما، رطوبت نسبی، روزهای یخبندان و نقطه شبنم	سازمان هواشناسی کشور
باران‌سنجی	بارندگی	سازمان هواشناسی کشور
تبخیرسنجی	بارش، دما، تبخیر، رطوبت نسبی و مجموع سرعت باد	شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران، شرکت‌های آب منطقه‌ای
باران‌سنجی	بارش	شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران، شرکت‌های آب منطقه‌ای
برف‌سنجی	بارش، دما و تبخیر	شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران، شرکت‌های آب منطقه‌ای

تحلیل و پردازش آمار و اطلاعات هواشناسی می‌تواند با استفاده از نرم‌افزارهای آماری انجام پذیرد تا پردازش اطلاعات را ساده‌تر نموده و دقت نتایج حاصله افزایش یابد. نرم‌افزارهای SPSS، Smada، Hyfa و Minitab و سایر نرم‌افزارهای آماری که امکان پردازش آمار را دارند در تحلیل داده‌های هواشناسی و برازش توزیع‌های احتمالی به کار می‌روند.



۲-۳-۳-۲- مطالعات هیدرولوژی

یکی از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای تهیه نقشه‌های سیلاب، مقادیر دبی سیلابی رودخانه‌ها و هیدروگراف آن‌ها با احتمال وقوع مختلف (دوره بازگشت‌های مختلف) می‌باشد. انتخاب دوره بازگشت مناسب، بر اساس نیاز طرح تعیین می‌شود و از دوره بازگشت‌های کم با احتمال وقوع بالا (سیلاب ۵ و ۱۰ ساله) تا دوره بازگشت‌های زیاد با احتمال وقوع کم (۱۵۰، ۳۰۰ و ۱۰۰۰ ساله و سیل PMF) متغیر است. انتخاب دوره بازگشت سیلاب بر اساس وضعیت رودخانه، کاربری اراضی و وضعیت اقتصادی و اجتماعی ساکنین منطقه صورت می‌گیرد که در بخش ۳-۲ شرح داده شده است [۶۹].

به منظور انجام مطالعات هیدرولوژی و برآورد سیلاب یک رودخانه آمار و اطلاعات زیر مورد نیاز می‌باشد:

- نتایج حاصله از مطالعات فیزیوگرافی حوضه آبریز مانند خصوصیات فیزیکی، زمان تمرکز و سایر اطلاعات مربوط به زیرحوضه‌ها

- نتایج حاصله از مطالعات هواشناسی مانند رخدادهای بارش و رگبار
- آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در رودخانه مورد مطالعه و سایر رودخانه‌های حوضه‌های مشابه
- اطلاعات مورد نیاز از شرایط فیزیکی حوضه آبریز مانند جنس خاک تشکیل‌دهنده حوضه، پوشش گیاهی و سایر موارد

محاسبات برآورد سیلاب بر اساس دو روش کلی زیر انجام می‌شود: [۶۴]

- روش‌های آماری
- مدل‌سازی بارش - رواناب

روش‌های آماری، سیلاب حداکثر رودخانه را در هر دوره بازگشت برآورد می‌کنند اما در مدل‌های بارش - رواناب، هیدروگراف سیلاب که بیانگر حداکثر مقدار سیل و حجم سیل است، محاسبه و برآورد می‌شود.

روش‌های آماری: نخستین گام در برآورد سیلاب به این روش جمع‌آوری آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود بر روی رودخانه مورد مطالعه یا رودخانه‌های حوضه‌های مجاور و مشابه می‌باشد. این اطلاعات شامل دبی‌های روزانه، دبی‌های سیلابی و هیدروگراف‌های ثبت شده می‌باشد و در برخی از ایستگاه‌های هیدرومتری کشور دوره‌های آماری طولانی ۵۰ ساله نیز به ثبت رسیده است. بر اساس این روش‌ها می‌توان سیلاب را در نقاطی از حوضه آبریز که فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌باشد، نیز محاسبه کرد. این محاسبات عموماً به روش تحلیل منطقه‌ای انجام می‌شود.

مهم‌ترین نکاتی که در این روش باید مد نظر قرار گیرد عبارت است از:

- دقت و کیفیت داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری
- طول دوره آماری مناسب
- گام‌های زمانی آماربرداری که باید متناسب با حوضه آبریز و نوع جریان‌های رودخانه در نظر گرفته شود. به عنوان مثال آماربرداری روزانه برای رودخانه بزرگ مناسب است اما برای رودخانه‌هایی با حوضه‌های کوهستانی



و حوضه‌های آبریز کوچک که ممکن است فقط در برخی روزهای سال جریان‌های سیلابی در آن‌ها جاری شود باید با گام‌های زمانی کوتاه‌تری انجام پذیرد.

مدل‌های بارش - رواناب: مدل‌های بارش - رواناب، هیدروگراف سیلاب در یک حوضه آبریز را با در نظر گرفتن اثرات ذخیره سیل در سیلاب‌دشت‌ها استخراج می‌کند. این مدل‌ها ابزارهای متداولی برای برون‌یابی سری‌های زمانی جریان رودخانه در زمان و مکان در اختیار قرار می‌دهند. با استفاده از این مدل‌ها، داده‌های جریان ثبت شده موجود گسترش داده می‌شود تا با استفاده از آن بتوان رفتار حوضه را تحت سناریوهای آب و هوایی مختلف بررسی نمود. سه نوع مدل بارش - رواناب اصلی وجود دارد:

- مدل‌های هیدروگراف واحد: هیدروگراف واحد، پایه بسیاری از روش‌های استخراج هیدروگراف است. مفهوم هیدروگراف واحد، ابتدا توسط Sherman (1932) ارائه گردید [۸۶]. هیدروگراف واحد یک حوضه آبریز، هیدروگراف خروجی از حوضه در ازای یک واحد (یک سانتی‌متر) رواناب مستقیم است با فرض آن‌که بارش مازاد به طور یکنواخت در کل حوضه برای زمان تداوم مشخصی باریده باشد.
- مدل‌های مفهومی: در این مدل‌ها ابتدا ساختار مدل برای مدل‌سازی تعیین می‌شود. این مدل‌ها بر پایه آرایش ساده‌ای از تعداد نسبتاً کمی از المان‌ها فرمول‌بندی می‌شوند که هر یک از آن‌ها نمایش ساده‌ای از یک رابطه فیزیکی‌اند. در این مدل‌ها پارامترهایی به منظور مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند که نیاز به کالیبراسیون دارند. این مدل‌ها، فرآیندهای فیزیکی را به شکل ساده شده‌ای مورد استفاده قرار می‌دهند و هر یک از فرآیندهای هیدرولوژیکی با استفاده از روابط ریاضی ساده شده‌ای ارائه می‌گردند. این مدل‌ها از دسته مدل‌های یکپارچه هستند که در آن‌ها تغییرپذیری مکانی در مدل‌سازی مورد توجه قرار نمی‌گیرد.
- مدل‌های فیزیک پایه: در این مدل‌ها، جزئیات فرآیندهای فیزیکی به شیوه‌ای معین بر اساس قوانین علمی شناخته شده از قانون بقای جرم و انرژی توسعه می‌یابند. این مدل‌ها از دسته مدل‌های توزیعی هستند که در آن‌ها تغییرپذیری مکانی در مدل‌سازی لحاظ می‌گردد. توسعه این مدل‌ها به منظور غلبه بر کمبودهای روش‌های مفهومی و یا کاهش آن‌ها بوده است.

در صورتی که در تحلیل جریان رودخانه روش ماندگار مد نظر قرار گیرد، دبی پیک سیلاب و در صورتی که روش غیرماندگار برای مدل‌سازی جریان استفاده شود، هیدروگراف سیلاب در محاسبات اعمال می‌گردد.

در این مرحله می‌توان از مدل‌های مفهومی هیدرولوژیکی شبیه‌سازی حوضه آبریز مانند HEC-HMS برای تعیین رواناب بهره گرفت. این نرم‌افزار مدل‌سازی هیدرولوژیکی توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا^۱ ارائه شده است.

1- The Hydrologic Engineering Center



در صورت به کارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز اعتبارسنجی مدل‌ها بر مبنای آمار و اطلاعات موجود منطقه نقش مهمی در دقت نتایج خروجی از مدل ایفا می‌کند.

به طور کلی، HEC-HMS مجموعه‌ای از زیر مدل‌های ریاضی تلفات بارش، تبدیل بارش - رواناب در زیرحوضه‌ها و روندیابی جریان در سطح حوضه آبریز می‌باشد. این مدل از چهار بخش اصلی زیر تشکیل شده است [۹۰ و ۸۹]:

- ۱- شبیه‌سازی اجزای حوضه: در برگیرنده ویژگی‌های فیزیوگرافی زیر حوضه‌ها، بازه‌های روندیابی، محل اتصال آبراهه‌ها، مخازن و سایر عناصر تشکیل دهنده حوضه آبریز می‌باشد.
 - ۲- تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی: مدل‌سازی بارش حوضه در این بخش انجام می‌شود و نتیجه آن محاسبه بارش و رگبارهای طراحی برای محاسبه سیلاب رودخانه می‌باشد.
 - ۳- شاخص‌های کنترلی: مدل کنترلی، دربرگیرنده همه اطلاعات زمانی مربوط به مدل‌سازی است مانند تاریخ و زمان شروع و خاتمه بارش، گام‌های زمانی شبیه‌سازی و سایر موارد
 - ۴- تخمین عوامل مورد استفاده در مدل‌سازی و کالیبراسیون آن‌ها
- برای مطالعه جزئیات بیشتر در مورد ساختار مدل HEC-HMS و فرآیندهای مختلف مورد استفاده در آن، به مراجع USACE-HEC, 2000 و USACE-HEC, 2008 مراجعه شود [۹۰ و ۸۹].

۲-۳-۴- مطالعات هیدرولیک

به منظور مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب در یک رودخانه، لازم است ابتدا اطلاعات هندسی، هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه جمع‌آوری گردد و پس از انتخاب مدل هیدرولیکی مناسب، اقدام به مدل‌سازی محدوده مورد نظر نمود [۱۸]. در نهایت پس از واسنجی^۱ و اعتبارسنجی مدل^۲، نقشه‌های سیلاب بر اساس مشخصات خروجی مدل تهیه می‌شود. لازم به ذکر است دقت نقشه‌های سیلاب (پهنه سیلاب، عمق و سرعت جریان و سایر موارد) به مقدار زیادی تابع دقت مدل‌سازی جریان رودخانه می‌باشد. از این رو افزایش دقت مدل‌سازی مستلزم تهیه اطلاعات با دقت بالاتر و صرف زمان و هزینه بیشتر می‌باشد. مراحل انجام مطالعات هیدرولیک جریان به طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد. برای مطالعه بیشتر به ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان برنامه و بودجه کشور مراجعه شود [۱۴].

- جمع‌آوری اطلاعات هندسی رودخانه

- تهیه نقشه‌های توپوگرافی سه بعدی از مسیر رودخانه و سیلاب‌دشت آن
- موقعیت سازه‌های تقاطعی رودخانه

1- Calibration

2- Validation



- ابعاد و مشخصات هندسی سازه‌های تقاطعی رودخانه مانند پل، بند، دیواره‌های ساحلی، کالورت، دریچه، سرریز، خاکریز

- جمع‌آوری اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه

- بررسی نتایج خروجی مطالعات هیدرولوژی طرح به منظور دستیابی به دبی پیک یا هیدروگراف سیلاب رودخانه با دوره بازگشت‌های مختلف
 - تخمین ضرایب زبری رودخانه در محدوده مقطع اصلی رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها از طریق انجام بازدیدهای میدانی، روش‌های سنجش از دور بر روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی تهیه شده از سیلاب‌دشت‌های رودخانه
 - اطلاعات سیلاب‌های گذشته رودخانه مانند پهنه، عمق و سرعت سیلاب به منظور اعتبارسنجی مدل هیدرولیکی
 - منحنی‌های دبی-اشل رودخانه
 - جمع‌آوری اطلاعات مربوط به شرایط مرزی رودخانه
- جدول (۲-۳) خلاصه‌ای از اطلاعات ورودی لازم برای انجام مطالعات هیدرولیک را ارائه نموده است.

جدول ۲-۳ - اطلاعات ورودی لازم برای انجام مطالعات هیدرولیک در تهیه نقشه‌های سیلاب

ردیف	اطلاعات ورودی لازم	نوع اطلاعات مورد نیاز
۱	مشخصات هندسی رودخانه	نقشه‌های توپوگرافی - مقاطع عرضی
۲	مشخصات جریان	دبی سیلاب - هیدروگراف سیل
۳	سازه‌های تقاطعی یا عرضی	مقطع عرضی و ضرایب مربوط به سازه
۴	ضرایب زبری	ضریب زبری در مقطع اصلی رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها
۵	منحنی‌های دبی-اشل	نمودارهای استخراج شده از ایستگاه‌های هیدرومتری
۶	اطلاعات سیلاب‌های گذشته	پهنه و عمق سیلاب‌های گذشته رودخانه
۷	مشخصات جریان خروجی از سدها	برنامه رهاسازی جریان آب سدها در هنگام وقوع سیلاب در رودخانه
۸	مشخصات سازه‌های احداث شده در مسیر جریان رودخانه	نقشه مشخصات هندسی سازه‌های کنترل سیلاب مانند خاکریزهای طولی، آبشکن‌ها و غیره

- انتخاب مدل هیدرولیکی و پارامترهای مدل‌سازی جریان سیلاب رودخانه

- انتخاب مدل در این مرحله، بستگی به دقت مورد نیاز و اطلاعات موجود دارد. مدل‌های هیدرولیکی متنوعی با درجات متفاوت دقت از یک بعدی تا دوبعدی، مدل‌سازی یکپارچه حوضه آبریز و رودخانه و مدل‌سازی جداگانه این دو وجود دارد. در مدل‌سازی یک بعدی پارامترهای جریان به صورت میانگین در مقطع جریان ارائه می‌شود، اما در مدل‌سازی دوبعدی پارامترهای جریان به صورت توزیع مکانی در عمق یا به صورت میانگین‌گیری شده در عمق بیان می‌شود. مراحل مدل‌سازی هیدرولیکی جریان به شرح زیر می‌باشد:
- انتخاب روش مدل‌سازی جریان به صورت یک بعدی یا دو بعدی



- انتخاب روش مدل‌سازی جریان به صورت ماندگار یا غیر ماندگار
 - انتخاب مدل هیدرولیکی بر اساس روش مدل‌سازی، سهولت، در دسترس بودن و هزینه انجام مطالعات
 - انجام مدل‌سازی جریان سیلاب رودخانه برای دوره بازگشت‌های مختلف با توجه به نیاز مطالعات
- در جدول (۴-۲) مروری کوتاه بر انواع مدل‌های هیدرولیکی رودخانه‌ها و شبیه‌سازی جریان ارائه شده است. عموماً در مدل‌سازی جریان سیلاب رودخانه‌ها از شبیه‌سازی یک بعدی برای سهولت و سرعت کار استفاده می‌شود. لیکن یکی از بهترین مدل‌های جریان به خصوص در رودخانه‌های با پهنه سیلاب گسترده در سیلابدشت، ترکیب مدل یک بعدی در مقطع اصلی جریان با مدل‌سازی دوبعدی در سیلابدشت می‌باشد.

جدول ۴-۲- انواع مدل‌سازی جریان به لحاظ ابعاد شبیه‌سازی جریان

نوع مدل به لحاظ ابعاد شبیه‌سازی جریان	توضیحات
یک بعدی	این روش برای شبیه‌سازی جریان‌هایی که عموماً در مقطع اصلی رودخانه جریان دارند و یا در سیلابدشت در جهت جریان اصلی رودخانه عبور می‌کنند، کاربرد دارد. در شبیه‌سازی یک بعدی، پارامترهای جریان به صورت میانگین در مقطع جریان ارائه می‌شود.
دو بعدی	این روش برای شبیه‌سازی جریان‌هایی که به صورت پخش در دو بعد و در سطح جریان می‌یابند، استفاده می‌شود، مانند مخروط افکنه‌ها و رودخانه‌های جاری در دشت‌های مسطح. در مدل‌سازی دو بعدی، پارامترهای جریان به صورت توزیع مکانی در عمق یا میانگین‌گیری شده در عمق بیان می‌شود.
روش یک بعدی، دو بعدی	در این روش، مدل‌سازی مسیر جریان رودخانه یک بعدی و پهنه سیل در سیلابدشت به صورت دو بعدی مدل می‌شود. این روش برای رودخانه‌هایی که سیلاب آن‌ها در سیلابدشت گسترده می‌شود، توصیه می‌شود.
شبه دو بعدی	در این نوع مدل‌ها جریان رودخانه به صورت سه بعدی مدل می‌شود لیکن بعد سوم که عمق جریان می‌باشد، به صورت میانگین‌گیری شده در عمق در معادلات لحاظ می‌گردد.
سه بعدی	این نوع مدل‌ها با توجه به صرف زمان و هزینه زیاد فقط در مدل‌سازی نقاط خاص یک رودخانه و اطراف سازه‌های آبی کاربرد دارند.

نرم‌افزارهای هیدرولیکی موجود که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد در جدول (۵-۲) به طور خلاصه ارائه شده است:

جدول ۵-۲- نرم‌افزارهای مرسوم مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب

مدل‌های یک بعدی	مدل‌های دوبعدی	مدل‌های سه بعدی
HEC-RAS	HEC-RAS	Flow3D
MIKE 11	Mike21	CCHE3D
FLDWY	MIKE-FLOOD (مدل یک بعدی، دو بعدی)	CORMIX
SWMM	FLO-2D	
	CCHE2D	

- واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولیکی:

پس از تهیه و اجرای مدل هیدرولیکی، لازم است تا نتایج آن با استفاده از روش‌های آماری، مشاهدات میدانی و یا سیلاب‌های تاریخی، صحت سنجی شود. از این رو پارامترهای متغیر مدل، واسنجی (کالیبراسیون) می‌شوند. این پارامترها



شامل ضرایب زبری جریان، ضرایب انبساط و انقباض، ضرایب سازه‌های تقاطعی رودخانه، ضرایب اصلاح معادله انرژی و سایر پارامترهای تاثیرگذار می‌باشد که با استفاده از یکی از روش‌های زیر واسنجی می‌شود.

- آمار و داده‌های موجود از سیلاب‌های رخ داده مانند پهنه و داغاب سیل
- منحنی‌های دبی - اشل ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه در صورت وجود

آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، مقدار تفاوت مجاز بین داده‌های مشاهداتی و نتایج مدل‌سازی را ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته است. لیکن برخی مراجع این میزان را تا ۵٪ پارامتر مورد بررسی مجاز دانسته‌اند. در صورت وجود خطای بیش از حد مجاز اصلاح پارامترهای متغیر مدل و به کار بردن روش سعی و خطا انجام می‌شود [۱۴].

- استخراج خروجی‌های مدل و نقشه‌های سیلاب

پس از انجام تمام این مراحل و در صورت نیاز اصلاح مدل و پارامترهای ورودی آن، اطمینان نسبت به نتایج مدل حاصل می‌شود و می‌توان خروجی‌های مورد نظر از مدل هیدرولیکی را دریافت نمود. خروجی‌های مانند عمق و سرعت به طور مستقیم از مدل‌های هیدرولیکی قابل استخراج می‌باشند و به منظور پهنه‌بندی سیلاب لازم است تا اگر مدل هیدرولیکی مورد استفاده به صورت یک بعدی است و خود قادر به تعیین نقشه پهنه‌بندی سیلاب نمی‌باشد دوباره از مدل هندسی استفاده نمود و با انتقال نتایج حاصله از مدل هیدرولیکی به مدل هندسی شامل نقشه رقومی منطقه، نقشه‌های پهنه‌بندی را تولید نمود. در جدول (۲-۶) فهرستی از خروجی‌های مدل هیدرولیکی ارائه شده است.

جدول ۲-۶- خروجی‌های مورد نیاز در مطالعات هیدرولیک برای تهیه نقشه‌های سیلاب

ردیف	خروجی‌های مدل هیدرولیکی	نوع نقشه تهیه شده
۱	عمق جریان سیلاب	نقشه عمق آبگرفتگی
۲	سرعت جریان سیلاب	نقشه سرعت جریان
۳	پهنه سیل	نقشه پهنه‌بندی سیلاب
۴	تغییرات عمق، سرعت و پهنه سیل با زمان*	سرعت و چگونگی پخش سیلاب

* در جریان غیردائمی قابل استخراج می باشد.

۲-۲-۳-۴-۱- مدل سازی جریان رودخانه با در نظر گرفتن شرایط بستر متحرک

رودخانه دارای ماهیتی پویا است و در گذر زمان تغییرات بسیاری را در مسیر جریان، شیب طولی، عرض بستر، پوشش گیاهی و سایر پارامترهای متغیر آن تجربه می‌کند. این مساله موجب شده تا خطرپذیری یک منطقه در مواجهه با سیلاب نیز در طول زمان ثابت نبوده و با توجه به شرایط حاکم بر رودخانه تغییر کند. در مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه که تاکنون به آن پرداخته شد، تغییر بستر و کناره‌های رودخانه در هنگام وقوع سیلاب در مدل در نظر گرفته نشده است. در حقیقت در این مدل‌ها فرض می‌شود که مورفولوژی رودخانه تغییر نخواهد کرد، اگر چه واضح است که تراز بستر رودخانه می‌تواند به سرعت و به طرز چشمگیری در طول رخدادهای سیلاب تغییر کند. بنابراین لازم است دینامیک بستر رودخانه را در فرآیند ارزیابی خطر سیلاب مدنظر قرار داد. در این راستا باید سناریوهای متفاوت انتقال رسوب در



رودخانه را در نظر گرفت و تغییرات مورفولوژیکی بستر رودخانه را در زمان اوج سیلاب محاسبه نمود تا مبنای برآورد تغییرات محتمل ترازهای سطح آب و پهنه‌های آب گرفتگی در تحلیل خطر سیلاب قرار گیرد. از این رو در صورتی که در تهیه نقشه‌های سیل، لحاظ نمودن تغییرات دینامیک بستر رودخانه در مدل هیدرولیکی مد نظر باشد، باید مدل هیدرولیکی با بستر متحرک تهیه شده و جریان غیردائمی مدل‌سازی شود. مدل‌های هیدرولیکی که عموماً برای مدل‌سازی بستر متحرک و انجام محاسبات مربوط به انتقال رسوب در رودخانه‌ها به کار برده می‌شوند عبارتند از: نرم‌افزارهای Hec-Ras، GSTAR-1-D^۱ و FLUVIAL-12. با بهره‌گیری از مدل‌های موجود در زمینه مدل‌سازی بستر متحرک، می‌توان سناریوهای متفاوت محتمل انتقال رسوب را در رودخانه‌ها مدل نمود و تاثیر این سناریوها را بر روی تراز سطح آب در رودخانه و نیز پهنه‌بندی سیلاب که مولفه‌های اساسی در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب می‌باشند، مورد بررسی قرار داد.

معادلات رسوب که در تحلیل جریان به کار برده می‌شود عبارتند از:

- Ackers and White
- England and Hanson
- Copeland
- Meyer, Peter and Muller
- Toffaleti
- Yang
- Wilccok

نتایج انتقال رسوب تا حد زیادی به معادله انتخاب شده بستگی دارد. لذا لازم است تا به دقت فرضیات این معادلات، شرایط هیدرولیکی آن‌ها و اندازه دانه‌بندی رسوبات از راهنمای نرم‌افزار مطالعه شود و معادله رسوب متناسب با شرایط محدوده مورد مطالعه انتخاب گردد. مطالعات صورت گرفته نشان داده است با در نظر گرفتن مقدار تغییرات تراز بستر، تاثیر تغییر در ورودی‌های رسوب بسیار بالاتر از تاثیر تغییر در ورودی‌های دبی است. بنابراین استخراج معادلات ورودی رسوب مهم‌ترین امر در محاسبات انتقال رسوب می‌باشد.

تهیه مدل هیدرولیک رسوب رودخانه و تحلیل جریان در شرایط بستر متحرک مستلزم هزینه و صرف زمان می‌باشد و فقط در شرایطی که برای طرح توجیه اقتصادی وجود داشته باشد و از سوی دیگر آمار و اطلاعات کافی نیز در دسترس باشد، به کار برده می‌شود. جدول (۷-۲) خلاصه‌ای از روند تهیه مدل جریان رودخانه در حالت بستر متحرک را نشان می‌دهد. در جدول (۸-۲) نیز خلاصه‌ای از مشخصات مدل‌های کامپیوتری برای مدل‌سازی جریان با بستر متحرک ارائه شده است.

1- Generalized Sediment Transport for Alluvial Rivers- One Dimension



جدول ۲-۷- تهیه مدل جریان رودخانه در حالت بستر متحرک

اطلاعات مورد نیاز	مدل‌های مرسوم هیدرولیک رسوب	خروجی‌های مدل هیدرولیکی
- مدل هیدرولیک جریان رودخانه	HEC-RAS	مشخصات جریان شامل پهنه سیل، عمق و سرعت
- منحنی‌های دبی جریان - دبی رسوب	GSTARS	جریان و سایر پارامترهای مورد نیاز در حالت
- هیدروگراف جریان سیلاب با دوره بازگشت‌های	MIKE11-MIKE12	شبیه‌سازی بستر متحرک و جریان غیرمادگار
مورد نیاز	SIIMM	
	FLOW3D - FLOW2D	

جدول ۲-۸- مشخصات مدل‌های عددی برای مدل‌سازی جریان با بستر متحرک

شاخص‌های عددی	Hec Ras	GSTARS	FLUVIAL 12	CCHE1D-2D-3D	MIKE11-21	FLOW3D
نوع مدل	یک و دو بعدی	شبه دو بعدی	شبه دو بعدی	یک، دو و سه بعدی	یک بعدی، دو بعدی	سه بعدی
نوع جریان	ماندگار - شبه ماندگار	ماندگار - شبه ماندگار	ماندگار - شبه ماندگار	غیرمادگار	غیرمادگار	غیرمادگار
نوع رسوب	چسبنده و غیر چسبنده	چسبنده و غیر چسبنده	غیر چسبنده	چسبنده و غیر چسبنده	چسبنده و غیر چسبنده	غیر چسبنده
شبیه‌سازی اثرات سازه‌های هیدرولیکی	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
شبیه‌سازی تغییرات عرضی مقطع	ندارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد
شبیه‌سازی تغییرات طولی	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد	دارد

۲-۳- انتخاب سیلاب مبنای تهیه نقشه‌های سیلاب

میزان خطر تهدیدکننده مستحدثات واقع در سیلاب‌دشت یک رودخانه به مقادیر سیلاب رویداده در آن رودخانه بستگی دارد. در صورتی که سیلاب تا حدی باشد که از مقطع اصلی و ایمن رودخانه بیرون نزنند، خطری متوجه سیلاب‌دشت رودخانه نخواهد بود. لیکن با افزایش مقادیر سیلاب و ورود آن به سیلاب‌دشت کلیه عناصر واقع در محدوده پخش سیلاب در معرض خطر قرار می‌گیرند. از این رو تحلیل میزان خطر و خطرپذیری سیلاب بر اساس احتمال وقوع یا به عبارتی دوره بازگشت سیل انجام می‌شود. در آیین‌نامه‌های سایر کشورها برای دوره بازگشت مبنای نقشه‌های سیلاب مقادیر متفاوتی در نظر گرفته شده است. جدول (۲-۹) دوره بازگشت مبنا برای ارائه نقشه‌های خطر سیل در برخی کشورها را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۹- دوره بازگشت غالب در سایر کشورها برای تحلیل خطر سیل

کشور	دوره بازگشت غالب برای تحلیل خطر سیل
استرالیا [۵۱]	۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ ساله و حداکثر سیلاب محتمل
کانادا [۷۷]	۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ ساله
آمریکا [۹۴]	۱۰۰ و ۵۰۰ ساله
کوئینزلند [۴۷]	دوره بازگشت بر اساس نیاز کاربران، خصوصیات حوضه آبریز و رودخانه و سایر فاکتورهای تعیین‌کننده سیلاب مبنا مشخص می‌گردد.
انگلستان [۷۷]	۳۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله به عنوان سه سطح خطر زیاد، متوسط و کم
آلمان [۷۷]	۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و حداکثر سیلاب محتمل
هلند [۷۷]	۳۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و حداکثر سیلاب محتمل
اسکاتلند [۶۸]	۱۰، ۲۰۰ و ۱۰۰۰ ساله
فرانسه [۷۷]	۱۰۰ ساله برای خطر متوسط سیلاب



انتخاب دوره بازگشت برای تحلیل خطر به شرایط محیطی رودخانه و منطقه مورد مطالعه بستگی دارد و بر مبنای موارد زیر تعیین می‌شود:

- در مناطقی که در گذشته بیش از سایر مناطق در معرض خطر سیل قرار داشته‌اند، انتخاب دوره بازگشت بالاتر توصیه می‌شود.
 - در سیلاب‌دشت‌های با تغییرات ارتفاعی کم که سیلاب در سطح وسیعی پخش می‌شود، انتخاب یک دوره بازگشت متوسط برای تحلیل خطر سیل کفایت می‌کند ولی در رودخانه‌های با کناره‌های پرشیب بهتر است دوره بازگشت‌های مختلف برای سیل در نظر گرفته شود.
 - انتخاب دوره بازگشت سیل در موقعیت سازه‌های زیربنایی حساس مانند پل‌ها، راه‌های ارتباطی و سایر تاسیسات مهم بر اساس میزان حساسیت سازه‌های مذکور صورت می‌پذیرد.
 - نحوه مدیریت کاربری اراضی سیلاب‌دشت، مدیریت بحران، مدیریت خطر سیل و به کارگیری روش‌های کاهش اثرات سیل نیز در انتخاب دوره بازگشت‌های سیل تعیین‌کننده می‌باشد.
- سطح متوسط دوره بازگشت در بسیاری از کشورها ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده است که به منظور تحلیل ناحیه‌بندی خطر سیل نیز پیشنهاد می‌شود. لیکن همانطور که به آن اشاره شد، انتخاب دوره بازگشت مناسب برای تحلیل خطر سیل بر اساس معیارهای مرتبط با رودخانه مورد مطالعه انجام می‌پذیرد. دوره بازگشت مورد نظر برای تهیه نقشه‌های خطر سیل می‌تواند در سه سطح ارائه شده در جدول (۲-۱۰) در نظر گرفته شود.

جدول ۲-۱۰- دوره بازگشت سیل پیشنهادی برای تهیه نقشه‌های خطر سیل

سطح خطر	دوره بازگشت سیل
کم	۲، ۵، ۱۰ ساله
متوسط	۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله
زیاد	۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ ساله و حداکثر سیل محتمل (PMF)

در تحلیل خطرپذیری سیل در نظر گرفتن شرایط حداکثر سیلاب محتمل (PMF^1) به منظور شناخت بحرانی‌ترین شرایط محتمل در یک منطقه توصیه شده است. در این حالت مدیریت کاربری اراضی سیلاب‌دشت و مدیریت خطر سیل با در نظر گرفتن بحرانی‌ترین حالت وقوع سیل در یک رودخانه انجام می‌شود. به منظور محاسبه حداکثر سیل محتمل به ضابطه شماره ۶۴۷ با عنوان «دستورالعمل روش‌های محاسبه حداکثر سیل محتمل (PMF)» سازمان برنامه و بودجه کشور مراجعه شود [۱۶].

1- Probable Maximum Flood



۴-۲- ناحیه‌بندی خطر سیل

خطر سیلاب به صورت پتانسیل بروز خسارت، تلفات مالی و جانی تعریف می‌شود که ممکن است در یک سیلاب اتفاق بیفتد و شدت آن به پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند پهنه سیلابی، عمق و سرعت جریان، مدت زمان وقوع سیل و سرعت پیشروی سیل ارتباط دارد.

از میان پارامترهای خطر سیل، دو پارامتر سرعت و عمق جریان به عنوان پارامترهای تعیین‌کننده در میزان خطرات احتمالی یک سیلاب مطرح می‌باشند و در مراجع مختلف ترکیبی از این دو پارامتر به عنوان معیاری برای ناحیه‌بندی خطر سیل استفاده می‌شود. در ادامه کاربردی‌ترین روش‌هایی که در سایر کشورها به کار برده می‌شود، شرح داده شده و در نهایت دو روش به عنوان روش‌های مناسب برای کشور ایران توصیه می‌شود.

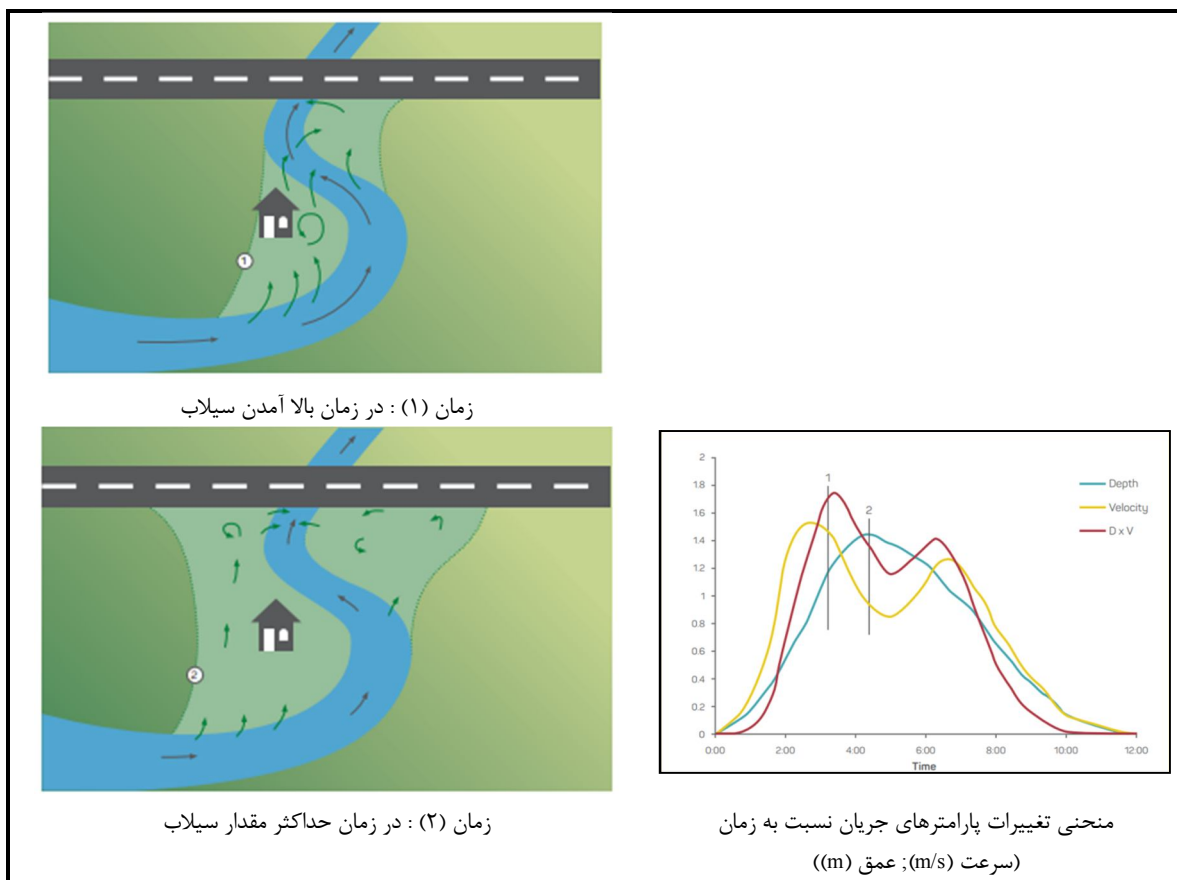
۴-۲-۱- روش‌های ناحیه‌بندی خطر سیل

۴-۲-۱-۱- روش مورد استفاده در کشور استرالیا [۵۱]

در این روش ترکیبی از دو پارامتر اصلی جریان (عمق و سرعت) به عنوان معیاری برای ارزیابی خطر سیل در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که محدوده مورد مطالعه و ابعاد سیلاب کوچک باشد، حاصلضرب دو پارامتر سرعت و عمق جریان ($D*V$) به عنوان معیار خطر سیل مطرح می‌شود. اما در رودخانه‌هایی که محدوده پخش سیلاب وسیع بوده و پارامترهای جریان در عرض سیلاب‌دشت به مقدار قابل توجهی تغییر می‌کنند باید معیار دقیق‌تری برای میزان خطر سیل در نظر گرفت. در بازه‌ای از رودخانه‌ها که سرعت بالا آمدن و پایین رفتن جریان سیل بسیار کم می‌باشد و زمان وقوع سیل هفته‌ها و گاهی ماه‌ها به طول می‌انجامد، بالاترین میزان خطر سیل زمانی اتفاق می‌افتد که سیلاب به اوج (پیک) خود رسیده باشد.

در حوضه آبریزهای کوچک (زمان تمرکز کم) سطح سیلاب به سرعت افزایش و کاهش می‌یابد. در این نوع از حوضه‌های آبریز مقدار خطر حداکثر در زمان حداکثر سیلاب (پیک هیدروگراف سیل) اتفاق نمی‌افتد بلکه ممکن است در ترکیبی از دو پارامتر عمق و سرعت جریان ($D*V$) در طول وقوع سیل روی دهد. مقادیر ($D*V$) که بالاتر از حد خطر می‌باشد ممکن است در حالتی اتفاق بیفتد که مقدار سیلاب هنوز به مقدار حداکثر نرسیده باشد. شکل (۲-۶) نشان می‌دهد که مقدار حداکثر ($D*V$) در زمان (۱) اتفاق افتاده است در حالی که حداکثر مقدار سیلاب در زمان (۲) روی می‌دهد.

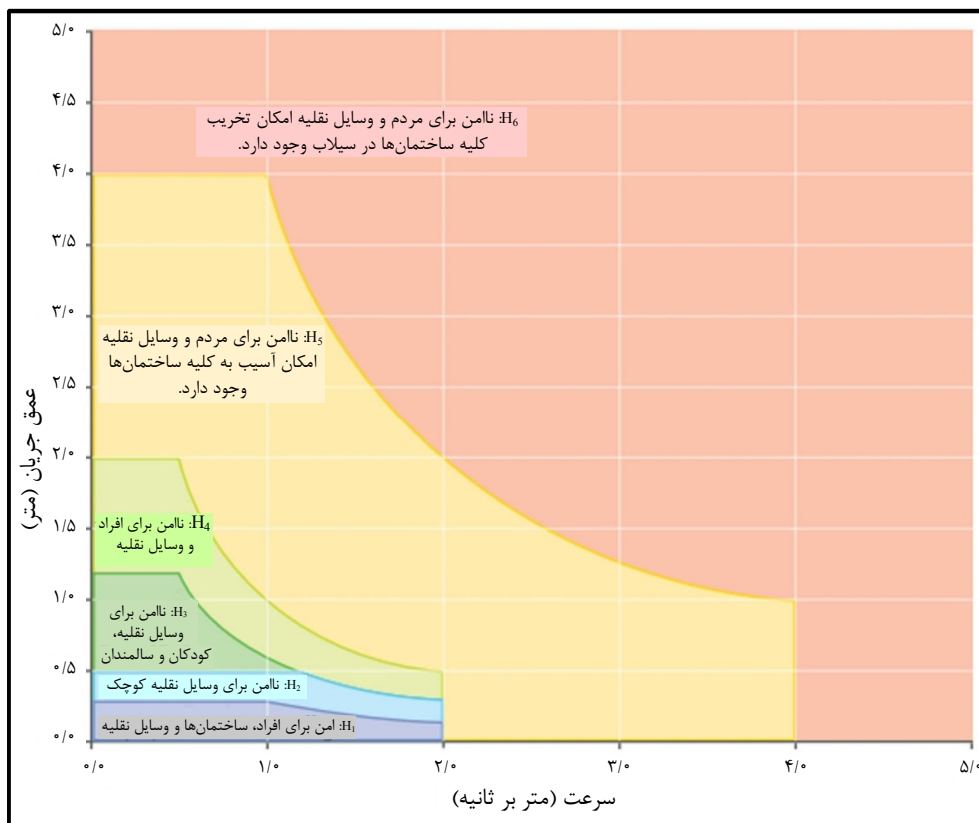




شکل ۲-۶- بیش‌ترین میزان خطر سیل، پیش از رسیدن سیلاب به حداکثر مقدار آن

بر این اساس، ۶ سطح خطر سیل برای سیلاب‌دشت‌ها تعریف شده که در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. سطوح تعریف شده برای خطر سیل در حقیقت ترکیبی از دو پارامتر سرعت و عمق جریان می‌باشند که تشکیل منحنی‌های خطر سیلاب را می‌دهند. جدول (۱۱-۲) سطوح مختلف خطر را شرح داده است.





شکل ۲-۷- منحنی سطوح مختلف خطر سیل

جدول ۲-۱۱- تعریف سطوح مختلف خطر سیل

توضیحات	سطوح خطر سیل
عموما برای وسایل نقلیه، مردم و ساختمان‌ها امن می‌باشد.	H1
ناامن برای وسایل نقلیه کوچک	H2
ناامن برای وسایل نقلیه، کودکان و سالمندان	H3
ناامن برای وسایل نقلیه و همه مردم	H4
ناامن برای وسایل نقلیه و همه مردم، امکان ایجاد خسارت سازه‌ای برای همه انواع ساختمان‌ها وجود دارد.	H5
ناامن برای وسایل نقلیه و مردم. خطرناک برای همه نوع ساختمان	H6

حد نهایی خطر برای عناصر موجود در سیلاب‌دشت (مردم، ساختمان‌ها و وسایل نقلیه) در جدول (۲-۱۲) ارائه شده است.

جدول ۲-۱۲- مقادیر حدی خطر سیل

سرعت جریان (متر بر ثانیه)	عمق جریان (متر)	پارامتر ($D*V$)	سطوح خطر سیل
۲	۰/۳	$D*V \leq 0.3$	H1
۲	۰/۵	$D*V \leq 0.6$	H2
۲	۱/۲	$D*V \leq 0.6$	H3
۲	۲	$D*V \leq 1$	H4
۴	۴	$D*V \leq 4$	H5
-	-	$D*V > 4$	H6

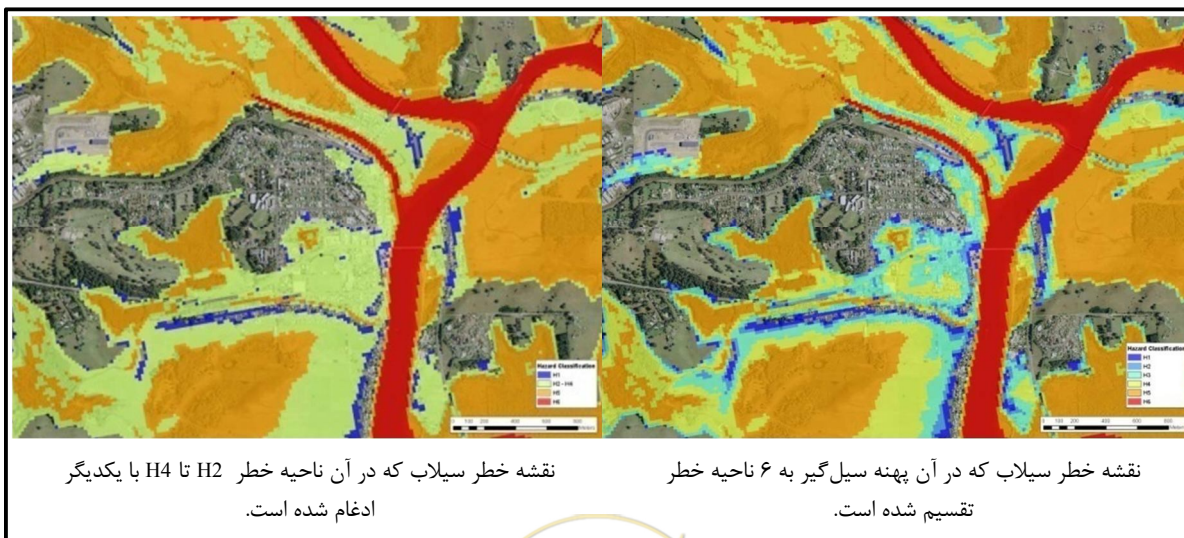


نمونه‌ای از نقشه پهنه‌بندی خطر سیل در شکل (۲-۸) ارائه شده است.



شکل ۲-۸- نمونه‌ای از نقشه پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس استاندارد کشور استرالیا [۵۱]

در تهیه نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیلاب ممکن است با توجه به شرایط حاکم بر رودخانه و سیلاب‌دشت آن، برخی از محدوده‌های خطر سیل با یکدیگر ادغام شوند. دو نقشه ارائه شده در شکل (۲-۹) نقشه‌های خطر سیلاب را نشان می‌دهد.



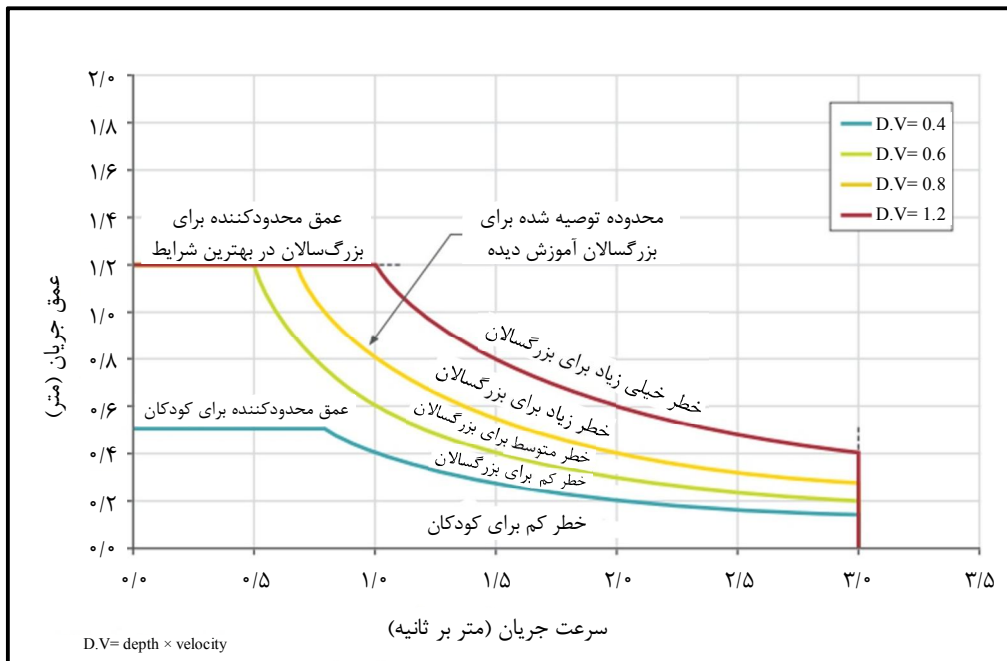
نقشه خطر سیلاب که در آن ناحیه خطر H2 تا H4 با یکدیگر ادغام شده است.

نقشه خطر سیلاب که در آن پهنه سیل‌گیر به ۶ ناحیه خطر تقسیم شده است.

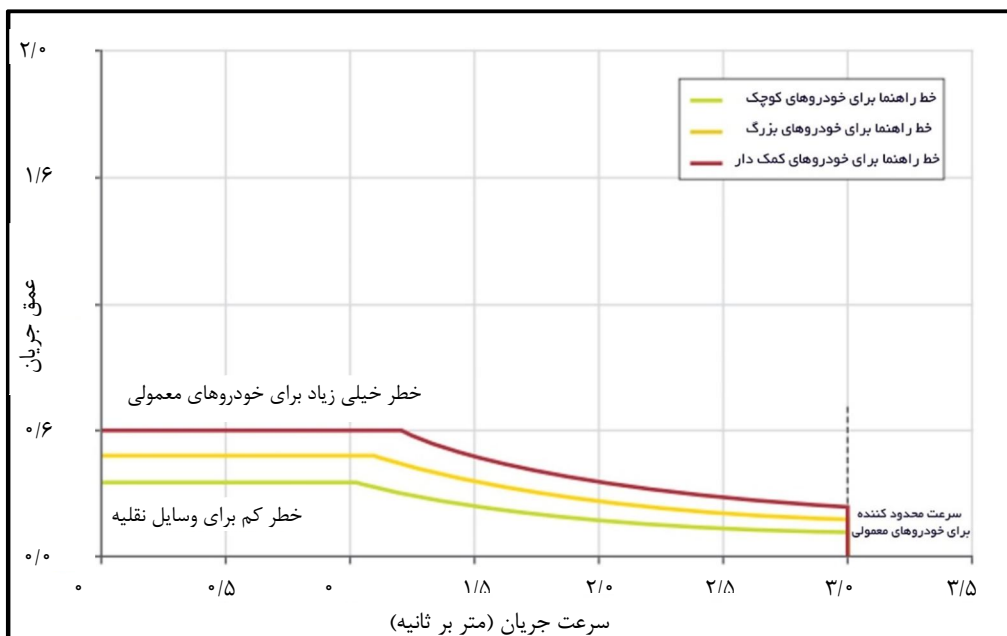
شکل ۲-۹- ترسیم نقشه‌های خطر سیل با در نظر گرفتن تعداد کم‌تر سطوح خطر با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه



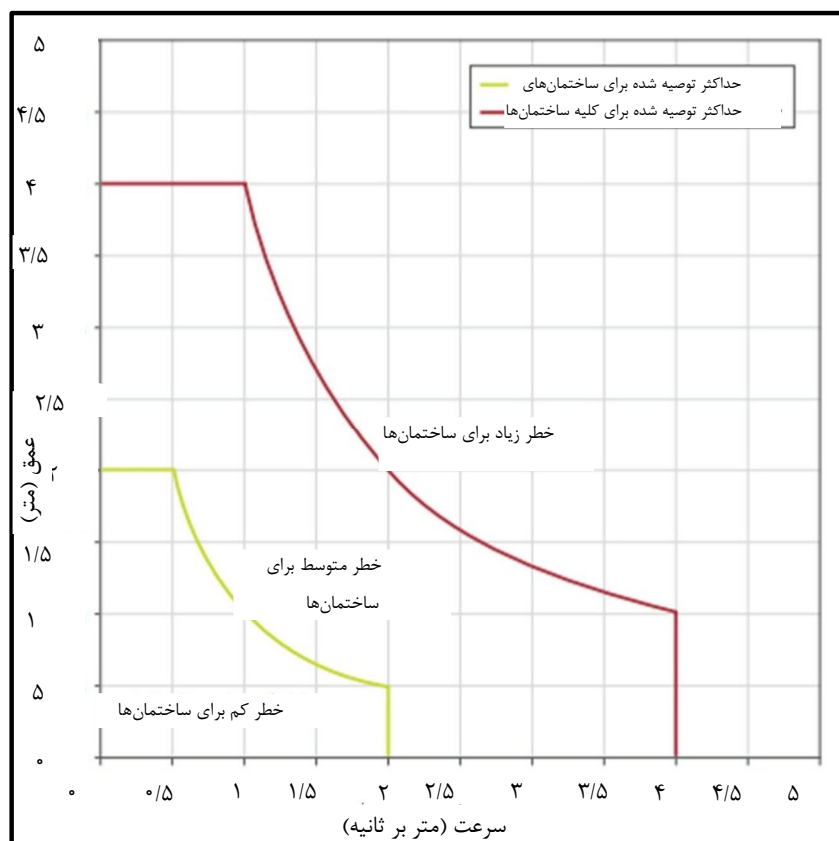
در صورتی که تهیه نقشه فرار و تخلیه برای منطقه سیل گیر مد نظر باشد، ممکن است ترسیم منحنی‌های جداگانه خطر برای وسایل نقلیه و انسان‌ها لازم باشد. شکل (۲-۱۰) نمودارهای حد خطر برای انسان‌ها و وسایل نقلیه را نشان می‌دهد:



الف- نمودار حدود خطر برای انسان‌ها در زمان سیلاب



ب- نمودار حدود خطر برای وسایل نقلیه در زمان سیلاب



پ- حدود خطر برای ساختمان‌های در معرض سیلاب

شکل ۲-۱۰- نمودارهای سطوح مختلف خطر برای انسان‌ها، وسایل نقلیه و ساختمان‌ها

۲-۴-۱-۲- روش NSW^۱

در این روش، طبقه‌بندی خطر سیلاب به چهار دسته خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم تقسیم می‌شود. محدوده‌های خطر زیاد و کم به صورت زیر تعریف می‌شود [۵۴ و ۳۸].

- محدوده خطر زیاد و خیلی زیاد، سیلاب برای ساکنین حاشیه رودخانه تهدید جدی محسوب می‌شود، حرکت ماشین‌های سنگین به دشواری صورت می‌گیرد، در آب راه رفتن حتی برای افراد سالم و جوان به سختی انجام می‌شود. پتانسیل تخریب و ایجاد خسارت برای ساختمان‌ها بسیار زیاد است.
- محدوده خطر کم، ماشین‌های سنگین و کامیون‌ها می‌توانند در آب حرکت کنند و مردم و وسایل زندگی آن‌ها را از خطر سیل دور کنند. حرکت افراد سالم و جوان در آب امکان‌پذیر است و با دشواری کمی همراه است.

1- North South Wales



تعیین میزان خطر محتمل برای منطقه درگیر سیل نه تنها با توجه به پارامترهای مربوط به هیدرولیک جریان صورت می‌پذیرد، بلکه تاثیر عواملی مانند وجود یا عدم وجود سیستم‌های هشدار سیل، اطلاع‌رسانی سیل، آماده بودن در برابر وقوع سیل، وجود راه‌های ایمن فرار و سایر موارد را نیز باید در نظر گرفت. لیکن در مرحله اول، نقشه خطر سیل بر اساس اطلاعات هیدرولیکی تهیه می‌شود و سپس در صورت وجود اطلاعات لازم از منطقه مورد مطالعه، نقشه مورد نظر بازنگری خواهد شد. شکل (۱۱-۲) نحوه تعیین محدوده‌های خطر را بر اساس پارامترهای هیدرولیکی بیان می‌کند. نمودار ۱ رابطه تقریبی بین عمق و سرعت جریان و خطر ناشی از آن را بیان می‌کند. این اطلاعات به منظور تعیین وضعیت نهایی خطر در نمودار ۲ استفاده شده است. در این نمودار:

رابطه حد مابین محدوده خطر کم و متوسط عبارت است از:

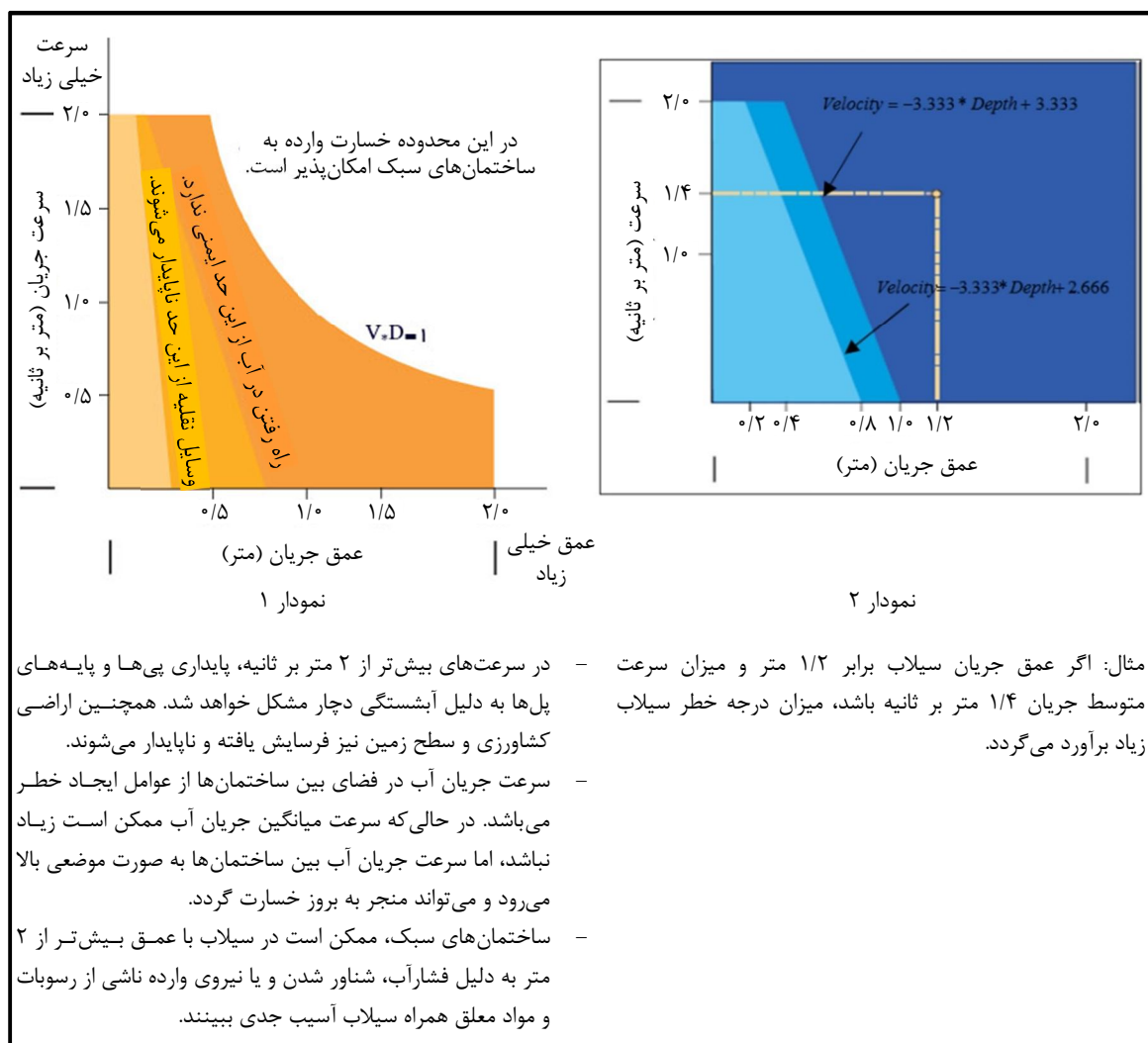
$$\text{Velocity} = -3.333 \times \text{Depth} + 2.666$$

رابطه حد مابین محدوده خطر متوسط و زیاد عبارت است از:

$$\text{Velocity} = -3.333 \times \text{Depth} + 3.333$$

هنگامی که مقدار سرعت جریان سیل از ۲ متر بر ثانیه یا عمق جریان از ۲ متر بیش‌تر باشد، میزان خطر سیلاب خیلی زیاد ارزیابی می‌شود.





شکل ۲-۱۱- رابطه سرعت و عمق جریان سیلاب در روش NSW

۲-۴-۱-۳- روش مرکز مدیریت بحران آمریکا (FEMA)

مرکز مدیریت بحران آمریکا برای ناحیه‌بندی خطر سیل در سیلاب‌دشت‌ها روشی را پیشنهاد داده است که بیش‌تر بر اساس پهنه سیلاب رودخانه با دوره بازگشت‌های مختلف و یا عمق جریان تعیین شده است. در این روش سیلاب‌دشت یک رودخانه به چندین ناحیه تقسیم می‌شود که با حروف انگلیسی مشخص می‌شوند [۹۴]. یکی از تعاریف پرکاربرد در روش FEMA تراز مبنای سیل (BFE^2) است که بیانگر تراز سطح آب در سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله است. تعریف ناحیه‌های خطر در جدول (۲-۱۳) ارائه شده است:

1- Federal Emergency Management Agency
2- Base Flood Elevation



جدول ۲-۱۳- ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس روش مرکز مدیریت بحران آمریکا (FEMA)

ناحیه‌های با خطر کم تا متوسط (در این نواحی خرید بیمه سیل ضروری نیست)	
نام ناحیه خطر	مشخصات ناحیه خطر
ناحیه B و X (هاشور خورده)	- پهنه سیلابی با دوره بازگشت بالاتر از ۱۰۰ سال و کم‌تر از ۵۰۰ سال - مناطق در پهنه سیلابی با دوره بازگشت بالاتر از ۱۰۰ سال در جریان‌های دو بعدی و پخشاب که عمق سیل کم‌تر از ۱ فوت باشد و یا سطح حوضه آن کمتر از یک مایل مربع باشد. - مناطق محافظت شده توسط سیل‌بندها
ناحیه C و X (هاشور نخورده)	- پهنه سیلابی با دوره بازگشت بالاتر از ۵۰۰ سال - ناحیه X عموماً برای نشان دادن ناحیه خارج از پهنه سیلاب ۵۰۰ سال به کار می‌رود که توسط سیل‌بند سیلاب ۱۰۰ ساله محافظت می‌شود.
ناحیه D	نواحی که احتمال آبرگرفتنی در مواقع سیلابی در آن‌ها وجود دارد، لیکن مدل‌سازی سیلاب در مورد آن‌ها انجام نشده است. خرید بیمه سیلاب در این نواحی نیز اختیاری است.
ناحیه‌های با خطر زیاد (در این نواحی خرید بیمه سیل اجباری است)	
نام ناحیه خطر	مشخصات ناحیه خطر
ناحیه A	پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (بدون ارائه تراز مبنای سیل)
ناحیه AE	پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (با ارائه تراز مبنای سیل)
ناحیه AH	ناحیه‌ای در محدوده پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله که عمق جریان سیلاب در آن بین ۱ تا ۳ فوت می‌باشد. تراز مبنای سیل مشخص می‌شود.
ناحیه AO	تعریف آن مشابه شرایط ناحیه AH می‌باشد با این تفاوت که این ناحیه برای جریان‌های دو بعدی و پخشاب مانند رودخانه‌های واقع در مخروط افکنه‌ها تعریف می‌شود. عمق متوسط جریان و سرعت جریان نیز در نقشه‌ها مشخص می‌شود.
ناحیه AR	نواحی که صرفاً به دلیل احداث یک سازه کنترل سیلاب مانند سد یا سیل‌بند در معرض خطر سیلاب قرار گرفته‌اند.
ناحیه A99	پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله که پس از سازه‌های کنترل سیلاب مانند سیل‌بندها و سدها که در دست ساخت هستند، قرار می‌گیرند.

۲-۴-۱-۴- روش استفاده شده در کشور هلند

ناحیه‌بندی خطر سیل در کشور هلند و بخش‌هایی از کشور آلمان به صورت نمودار شکل (۲-۱۲) می‌باشد. در این نمودار ترکیبی از شدت خطر سیل (در این جا عمق جریان) و دوره بازگشت سیلاب معیاری برای ناحیه‌بندی خطر سیل در نظر گرفته شده است. در این روش سیلاب‌دشت به سه ناحیه خطر زیاد، متوسط و کم با رنگ‌های قرمز، آبی و زرد تقسیم‌بندی شده است [۵۳].

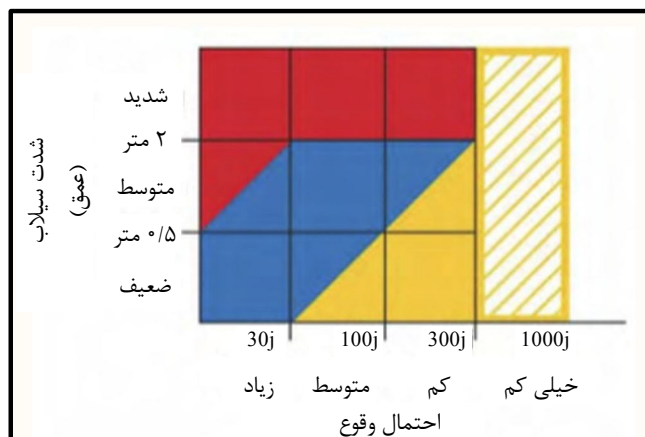
ناحیه قرمز رنگ: خطر زیاد - ساخت و ساز در این مناطق ممنوع می‌باشد.

ناحیه آبی رنگ: خطر متوسط - ساخت و ساز در این مناطق با اعمال محدودیت‌هایی مجاز می‌باشد.

ناحیه زرد رنگ: خطر کم - ساخت و ساز مجاز می‌باشد و فقط برای کاربری‌های حساس و مهم محدودیت‌هایی اعمال می‌شود.

ناحیه هاشور خورده: خطر خیلی کم - فقط در سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا امکان گسترش پهنه سیلابی تا این نواحی وجود دارد و محدودیت ساخت و ساز و استقرار کاربری اعمال نمی‌شود.





شکل ۲-۱۲- نمودار ناحیه‌بندی خطر سیل در کشور هلند و آلمان [۵۳]

۲-۴-۱-۵- طبقه‌بندی ناحیه‌های خطر بر اساس احتمال وقوع سیل

یکی از روش‌های ناحیه‌بندی خطر سیل در سیلاب‌دشت‌ها بر اساس احتمال وقوع سیل یا دوره بازگشت سیل می‌باشد. برخی مراجع مانند شرکت بیمه در کشور آلمان از این نوع طبقه‌بندی برای اطلاع از وضعیت سرمایه‌های واقع در معرض خطر سیل استفاده می‌کند [۵۳]. جدول (۲-۱۴) طبقه‌بندی شرکت بیمه کشور آلمان را که صرفاً بر اساس احتمال وقوع سیل می‌باشد، بیان می‌کند:

جدول ۲-۱۴- خطر سیل بر اساس احتمال وقوع سیلاب

ناحیه خطر سیل	توضیحات
ناحیه ۴	محدوده پهنه سیل ۱۰ ساله
ناحیه ۳	محدود مابین پهنه سیل ۱۰ و ۵۰ ساله
ناحیه ۲	محدوده مابین پهنه سیل ۵۰ ساله و ۲۰۰ ساله
ناحیه ۱	محدوده خارج از پهنه سیل با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله

۲-۴-۲- انتخاب روش ناحیه‌بندی خطر سیل برای کشور ایران

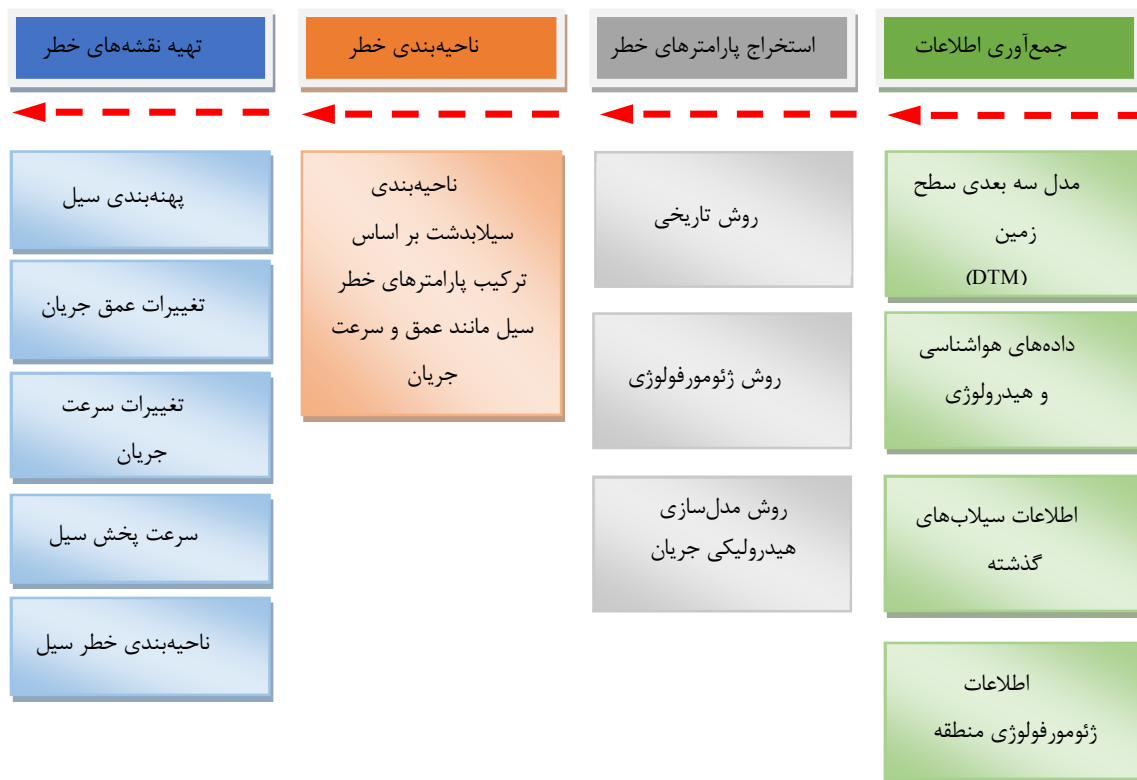
به منظور یکسان سازی نقشه‌های تهیه شده برای ناحیه‌بندی خطر سیل دو روش زیر پیشنهاد می‌شود:

- روش ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس احتمال وقوع سیلاب (بند ۲-۴-۱-۵)

- روش ناحیه‌بندی خطر سیل در کشور استرالیا (بند ۲-۴-۱-۱)

روش اول به دلیل ساده‌تر بودن و هزینه کم‌تر ممکن است در گام اول و با توجه به ضرورت به عنوان نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل تهیه و ارائه شود. لیکن تهیه نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل به روش دوم جزییات بیش‌تری از وضعیت تهدید سیل در منطقه مورد مطالعه در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد و در مناطقی که سیل در گذشته خسارات زیادی بر جای گذاشته است، توصیه می‌شود. شکل (۲-۱۳) اجزا و مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل را نشان می‌دهد.





شکل ۲-۱۳- اجزا و مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل

۲-۵- تهیه نقشه‌های خطر سیل

همان‌طور که قبلاً به آن اشاره گردید نقشه‌های خطر سیل بیانگر مشخصات سیل در یک رودخانه و سیلاب‌دشت آن می‌باشند که به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، تغییرات عمق جریان، تغییرات سرعت جریان، سرعت پخش سیل و ناحیه‌بندی خطر سیل که بر روی نقشه‌های یک منطقه جانمایی می‌شوند، قابل ارائه هستند. در این بخش نحوه ترسیم نقشه‌های خطر سیل برای هر رودخانه شرح داده شده و مناسب‌ترین روش ارائه نقشه‌ها پیشنهاد شده است.

۲-۵-۱- نقشه‌های پهنه‌بندی سیل

نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، نقشه‌های گسترده‌ی پخش سیل می‌باشد که در ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان برنامه و بودجه کشور [۱۴] تهیه آن‌ها برای سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف توصیه شده است. در جدول (۲-۱۵) مشخصات نقشه‌های پهنه‌بندی سیل ارائه شده است. در صورتی‌که برای رودخانه مورد مطالعه پهنه سیلاب تاریخی استخراج شده است، جانمایی خط پهنه سیلاب تاریخی بر روی نقشه‌های پهنه‌بندی سیل توصیه می‌شود.



جدول ۲-۱۵- نحوه تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل

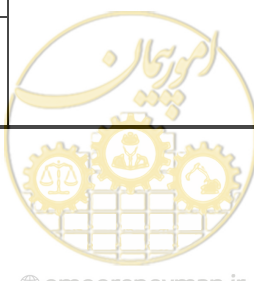
نوع نقشه سیلاب	عوارض پیشنهادی در نقشه	شیوه ارائه نقشه	نحوه ارائه در نقشه‌ها
پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله	راه‌های دسترسی، تاسیسات زیربنایی، مناطق مسکونی	رنگ: ۸۴ و ۲۰۷ و ۸۱	
پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله		رنگ: ۱۶۰ و ۴۸ و ۱۱۲	
پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله		رنگ: ۵۱ و ۲۰۸ و ۲۵۱	
پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله		رنگ: ۰ و ۰ و ۱۹۲	
پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله		رنگ: ۰ و ۱۷۶ و ۲۴۰	
حد بستر رودخانه	-	رنگ: ۱۹۲ و ۱۱۲ و ۰	
حد حریم رودخانه	-	رنگ: ۰ و ۰ و ۲۵۵	
پهنه سیلاب تاریخی	-	خط سیاه رنگ	

۲-۵-۲- نقشه‌های تغییرات عمق سیلاب

نقشه‌های تغییرات عمق سیلاب، تغییرات عمق جریان سیلاب را در رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت آن‌ها نشان می‌دهند. این نوع نقشه‌ها برای رودخانه‌های با دره‌های عمیق کاربرد چندانی ندارد و عموماً در رودخانه‌هایی استفاده می‌شود که سیلاب از مقطع اصلی رودخانه خارج شده و در سیلاب‌دشت پخش می‌شود. جدول (۲-۱۶) نحوه ارائه نقشه‌های عمق سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف را ارائه می‌دهد.

جدول ۲-۱۶- نحوه تهیه نقشه تغییرات عمق سیل

نوع نقشه سیلاب	دوره بازگشت سیلاب	عوارض پیشنهادی در نقشه	شیوه ارائه نقشه	نحوه ارائه در نقشه‌ها
عمق سیلاب	سیلاب با دوره بازگشت‌های مورد نیاز منطقه سیلابی که منجر به عمق حداکثر در مدل هیدرولیکی جریان می‌شود.	تاسیسات زیربنایی مهم و حساس مانند بیمارستان‌ها، مدارس، فرودگاه‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط راه آهن	۰ - ۰/۵ متر منحنی بسته رنگ: ۲۵۵ و ۲۴۳ و ۲۳۹	
			۰/۵ - ۱ متر منحنی بسته رنگ: ۲۳۱ و ۲۱۵ و ۱۸۹	
			۱ - ۱/۵ متر منحنی بسته رنگ: ۲۱۴ و ۱۷۴ و ۱۰۷	
			۱/۵ - ۲ متر منحنی بسته رنگ: ۱۸۹ و ۱۳۰ و ۴۹	
			بیش‌تر از ۲ متر منحنی بسته رنگ: ۱۵۶ و ۸۱ و ۸	



۲-۵-۳- نقشه تغییرات سرعت جریان

نقشه‌های تغییرات سرعت جریان میزان سرعت جریان سیل در پهنه سیل را نشان می‌دهند. در این نوع نقشه‌ها، پهنه سیل در هر دوره بازگشت با توجه به میزان تغییرات سرعت به چندین ناحیه تقسیم می‌شود. معیار تغییرات سرعت با در نظر گرفتن شدت خطر برای عناصر واقع در سیلاب‌دشت تعیین می‌شود. نحوه ارائه نقشه تغییرات سرعت در جدول (۲-۱۷) ارائه شده است. لیکن معیار ناحیه‌بندی پهنه سیل بر اساس تغییرات سرعت را می‌توان با توجه به کاربرد آن تغییر داد. با توجه به این که معیار سرعت برای حفاظت از جان مردم، وسایل نقلیه و ساختمان‌ها متفاوت است، نقشه تغییرات سرعت جریان نیز می‌تواند متناسب با آن تهیه شود.

جدول ۲-۱۷- نقشه تغییرات سرعت جریان سیلاب

نوع نقشه سیلاب	دوره بازگشت سیلاب	عوارض پیشنهادی در نقشه	شیوه ارائه نقشه	نحوه ارائه در نقشه‌ها
سرعت جریان	سیلاب طراحی	تاسیسات زیربنایی مهم و حساس مانند بیمارستان‌ها، مدارس، فرودگاه‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط راه آهن	سرعت کم: سرعت کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه منحنی‌های بسته رنگ: ۲۱۰ و ۲۴۴ و ۲۵۴	
			سرعت زیاد: سرعت بیش از ۱/۵ متر بر ثانیه منحنی‌های بسته رنگ: ۳۸ و ۴۵ و ۲۲۴	

۲-۵-۴- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل

در بخش ۲-۴-۲ دو روش برای تهیه نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل پیشنهاد شده است.

- روش اول ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس پهنه‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف صورت می‌پذیرد. در این روش سیلاب‌دشت رودخانه بر اساس جدول (۲-۱۴) به ۴ ناحیه خطر تقسیم شده است که با رنگ‌بندی مختلف بر روی نقشه‌های منطقه نشان داده می‌شود. در جدول (۲-۱۸) نحوه ارائه نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل ارائه شده است. همچنین پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت موقعیت حدود قانونی بستر و حریم قانونی رودخانه‌ها، حدود مذکور بر روی نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل نیز ارائه گردند.

جدول ۲-۱۸- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس پهنه‌بندی سیلاب

نوع نقشه سیلاب	ناحیه خطر سیل	تعریف	عوارض پیشنهادی در نقشه	شیوه ارائه نقشه	نحوه ارائه در نقشه‌ها
ناحیه‌بندی خطر سیل	ناحیه ۴	محدوده پهنه سیل ۱۰ ساله	تاسیسات زیربنایی مهم و حساس مانند بیمارستان‌ها، مدارس، فرودگاه‌ها، خطوط راه آهن و نیروگاه‌ها	منحنی‌های بسته رنگ: ۰ و ۰ و ۲۵۵	
	ناحیه ۳	محدوده مابین پهنه سیل ۱۰ و ۵۰ ساله		منحنی‌های بسته رنگ: ۰ و ۱۹۲ و ۲۵۵	
	ناحیه ۲	محدوده مابین پهنه سیل ۵۰ و ۲۰۰ ساله		منحنی‌های بسته رنگ: ۰ و ۲۵۵ و ۲۵۵	

ادامه جدول ۲-۱۸- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس پهنه‌بندی سیلاب

نوع نقشه سیلاب	ناحیه خطر سیل	تعریف	عوارض پیشنهادی در نقشه	شیوه ارائه نقشه	نحوه ارائه در نقشه‌ها
	ناحیه ۱	محدوده خارج از پهنه سیل با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله		منحنی‌های بسته رنگ: ۸۰ و ۲۰۸ و ۱۴۶	
	حد بستر قانونی رودخانه		-	رنگ: ۱۹۲ و ۱۱۲ و ۰	
	حد حریم قانونی رودخانه		-	رنگ: ۰ و ۰ و ۲۵۵	

- روش دوم ناحیه‌بندی خطر سیل روش ارائه شده در بند ۲-۴-۱-۱ می‌باشد. در این روش پهنه سیلاب به ۶ ناحیه خطر تقسیم می‌شود (جدول ۲-۱۲). تعداد ناحیه‌های خطر با توجه به شرایط منطقه می‌تواند کمتر از ۶ ناحیه نیز در نظر گرفته شود. در جدول (۲-۱۹) نحوه تهیه نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل با استفاده از روش کشور استرالیا پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۲-۱۹- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس روش کشور استرالیا

نوع نقشه سیلاب	ناحیه خطر سیل	تعریف	حد عمق جریان (m)	حد سرعت جریان (m/s)	عوارض پیشنهادی در نقشه	شیوه ارائه نقشه	نحوه ارائه در نقشه‌ها
ناحیه‌بندی خطر سیل	H1	$D*V \leq 0.3$	۰/۳	۲	تاسیسات زیربنایی مهم و حساس مانند بیمارستان‌ها، مدارس، فرودگاه‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط راه آهن	منحنی‌های بسته رنگ: ۸۰ و ۲۰۸ و ۱۴۶	
	H2	$D*V \leq 0.6$	۰/۵	۲		منحنی‌های بسته رنگ: ۲۲۰ و ۲۰۵ و ۱۴۶	
	H3	$D*V \leq 0.6$	۱/۲	۲		منحنی‌های بسته رنگ: ۰ و ۲۵۵ و ۲۵۵	
	H4	$D*V \leq 1$	۲	۲		منحنی‌های بسته رنگ: ۸ و ۱۹۲ و ۲۵۵	
	H5	$D*V \leq 4$	۴	۴		منحنی‌های بسته رنگ: ۱۶۲ و ۱۳۶ و ۲۲۶	
	H6	$D*V > 4$	-	-		منحنی‌های بسته رنگ: ۰ و ۰ و ۲۵۵	
	حد بستر قانونی رودخانه				-	رنگ: ۱۹۲ و ۱۱۲ و ۰	
	حد حریم قانونی رودخانه				-	رنگ: ۰ و ۰ و ۲۵۵	



فصل ۳

نقشه‌های خطرپذیری سیل



۳-۱- مقدمه

خطرپذیری مفهومی است که با شرایط یک منطقه در پذیرش میزان خطر ارتباط دارد. قرار گرفتن عناصر واقع در سیلاب‌دشت در معرض خطر سیل و حساسیت آن‌ها نسبت به آسیب‌پذیری در برابر سیل، میزان خطرپذیری آن‌ها را در هنگام وقوع سیل تعیین می‌کند. نقشه‌های خطرپذیری سیل نقشه‌هایی است که مفاهیم مربوط به در معرض خطر بودن و آسیب‌پذیری را در برمی‌گیرد. واضح است که تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب دشوارتر از تهیه نقشه‌های خطر سیل است و در این راستا لازم است تا مطالعات گسترده‌تری انجام پذیرد. این امر مستلزم صرف هزینه بیش‌تر می‌باشد. از سوی دیگر کاربردهای موثر نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در اقدامات مدیریتی و سازه‌ای تسکین سیلاب ایجاب می‌کند نقشه‌های خطرپذیری سیلاب برای رودخانه‌ها تهیه شود. در این فصل ابتدا مطالعاتی که باید پیش از تهیه نقشه‌های خطرپذیری انجام شود، شرح داده شده و سپس به موضوع تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطرپذیری سیل پرداخته شده است.

همان‌طور که پیش‌تر به آن اشاره شد، خطرپذیری از سه مفهوم خطر، در معرض بودن و آسیب‌پذیری تشکیل شده است. در خصوص تعیین میزان خطر سیل در فصل دوم به تفصیل بحث شده است، لیکن در مورد دو مفهوم در معرض بودن و آسیب‌پذیری، انجام مطالعات تخصصی به شرح زیر مورد نیاز می‌باشد:

- مطالعات کاربری اراضی: در این مطالعات موقعیت استقرار کاربری‌های مختلف در سیلاب‌دشت مشخص می‌شود.

- مطالعات اقتصادی و اجتماعی: در این بخش وضعیت اجتماعی و اقتصادی منطقه شامل جمعیت و پراکنش آن، سطح سواد افراد جامعه، سطح اشتغال و وضعیت اقتصادی بررسی می‌شوند.

- مطالعات آسیب‌پذیری: در این بخش به تعریف آسیب‌پذیری، انواع و نحوه تعیین آن پرداخته شده است.

- مطالعات ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب

- مطالعات زیست‌محیطی

پس از انجام مطالعات که پیش نیاز تهیه نقشه‌های خطرپذیری می‌باشد، نقشه‌ها با توجه به کاربرد و سطح نیاز منطقه تهیه می‌شوند.

۳-۲- مطالعات کاربری اراضی

نوع کاربری، موقعیت قرارگیری و سطح تحت پوشش هر کاربری برای اراضی واقع در سیلاب‌دشت یک رودخانه یکی از مهم‌ترین اطلاعاتی است که باید به منظور تحلیل خطرپذیری، ناحیه‌بندی پهنه خطر سیلاب، ارزیابی میزان



خطرپذیری و در نهایت تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب تهیه گردد. از این‌رو انجام مطالعات کاربری اراضی حاشیه رودخانه مورد مطالعه به عنوان مطالعات پایه تهیه نقشه‌های سیلاب امری ضروری است. در مطالعات کاربری اراضی تهیه دو نوع نقشه پوشش اراضی^۱ و کاربری اراضی^۲ مد نظر می‌باشد. نقشه‌های پوشش اراضی نقشه‌هایی هستند که بیانگر نوع پوشش اراضی و میزان سطح اراضی برای هر نوع پوشش می‌باشند. اما نقشه‌های کاربری اراضی اطلاعات مربوط به نحوه استفاده از اراضی توسط مردم را منعکس می‌کنند. البته گاهی اوقات عنوان این دو نوع نقشه به اشتباه به جای یکدیگر استفاده می‌شود.

در نقشه‌های پوشش اراضی، انواع پوشش اراضی شامل ساختمان، کشاورزی، جنگل، پهنه‌های آبی، اراضی بدون پوشش گیاهی، برف و سایر موارد ارائه می‌شوند که عموماً با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی از یک منطقه قابل تشخیص بوده و تهیه می‌شوند. تصاویر ماهواره‌ای توسط ماهواره‌های مختلف برداشت شده و از طریق پایگاه‌های اینترنتی قابل دسترسی هستند. در کشور ما سازمان فضایی کشور تصاویر ماهواره‌ای را تهیه نموده و در اختیار کاربران قرار می‌دهد. جدول (۳-۱) فهرستی از تصاویر ماهواره‌ای که توسط این سازمان ارائه می‌شود، را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- منابع اخذ تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی

محل اخذ اطلاعات	نوع تصاویر دریافتی	توضیحات
سازمان فضایی کشور	تصاویر ماهواره‌ای TERRA با سنجنده MODIS از مرکز فضایی ماهدشت	این تصاویر به طور روزانه از مرکز فضایی ماهدشت برداشت می‌شوند.
سازمان فضایی کشور	تصاویر ماهواره‌ای NOAA با سنجنده AVHRR از مرکز فضایی ماهدشت	این تصاویر به طور روزانه از مرکز فضایی ماهدشت برداشت می‌شوند.
سازمان فضایی کشور	تصاویر ماهواره LANDSAT	این تصاویر به طور منظم توسط سازمان فضایی کشور داندلود و در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.
سازمان فضایی کشور	تصاویر ماهواره SENTINEL	این تصاویر به طور منظم توسط سازمان فضایی کشور داندلود و در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.
سازمان نقشه‌برداری کشور	-	عکس‌های هوایی در هر منطقه با مقیاس‌های مختلف تهیه شده و عرضه می‌شوند.
سازمان نقشه‌برداری کشور	-	در صورت نیاز طرح، امکان سفارش پروازهای موردی با مقیاس درخواستی از منطقه مورد مطالعه وجود دارد.
سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (ارتش)	-	عکس‌های هوایی در هر منطقه با مقیاس‌های مختلف تهیه شده و عرضه می‌شوند.

نقشه‌های پوشش اراضی به ویژه در تهیه نقشه‌های خطر سیل به روش‌های غیرهیدرولیکی کاربرد دارند. همچنین در صورتی که نقشه‌های خطرپذیری در مقیاس بزرگ و با دقت پایین تهیه می‌شوند، نقشه‌های پوشش اراضی به جای

1- Land Cover

2- Land Use



نقشه‌های کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه با ورود ابزار GIS به مطالعات مهندسی رودخانه تهیه نقشه‌های کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه با دقت مناسبی قابل انجام است [۲۹].

به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی حاشیه رودخانه انواع کاربری‌های موجود شناسایی می‌شوند. این کاربری‌ها به شش گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند [۱۷]:

- ۱- کاربری‌های مسکونی، تجاری، آموزشی و مذهبی
- ۲- کاربری‌های کشاورزی
- ۳- کاربری‌های زیربنایی و خدماتی
- ۴- کاربری‌های تفریحی و تفرجگاهی
- ۵- کاربری‌های صنعتی و معدنی
- ۶- کاربری‌های پرخطر و ویژه

دقت مورد نیاز برای نقشه‌های خطرپذیری سیلاب تعیین کننده دقت نقشه‌های کاربری اراضی می‌باشد. در این خصوص نقشه‌های کاربری اراضی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

- نقشه کاربری اراضی با مقیاس کوچک: این نقشه‌ها بیانگر کاربری اراضی در محدوده یک استان یا شهرستان بوده و با دقت پایین تهیه می‌شوند. در این نقشه کاربری‌های مربوط به هر گروه مانند کاربری‌های ساختمانی، کشاورزی و باغات، منابع طبیعی، تفریحی و سایر موارد به صورت کلی در نقشه‌ها مشخص می‌گردد. در صورتی که دقت مورد نیاز در حد استان یا کشور باشد، ذکر جزئیات کاربری اراضی ضروری نیست.

- نقشه کاربری اراضی با مقیاس بزرگ: این نقشه‌ها با مقیاس بزرگ‌تر و با دقت بالاتری تهیه می‌شوند. کاربری اراضی حاشیه رودخانه در مقیاس ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ در این دسته قرار می‌گیرند. مشخص نمودن کاربری اراضی به تفکیک نوع محصولات کشاورزی باغی و زراعی، نوع ساختمان از نظر مسکونی روستایی و شهری، تجاری، نوع صنایع موجود در سیلاب‌دشت و سایر کاربری‌ها در نقشه‌ها مشخص می‌شوند.

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مستلزم در اختیار داشتن اطلاعاتی از نوع کاربری‌های موجود و محدوده هر یک از کاربری‌ها می‌باشد. منابعی که از آن‌ها برای استخراج نقشه‌های کاربری اراضی استفاده می‌شود به شرح زیر است:

- نقشه‌های توپوگرافی از محدوده طرح با مقیاس مناسب که عوارض زمین بر روی نقشه‌ها پیاده‌سازی شده باشد.
- نقشه‌های کاداستر

- انجام بازدیدهای میدانی به منظور شناسایی انواع کاربری‌های اراضی شامل کشاورزی و محدوده تقریبی آن‌ها

شکل (۱-۳) نمونه‌ای از نقشه کاربری اراضی یک منطقه را نشان می‌دهد. تحلیل دقیق‌تر میزان خطرپذیری با ارائه جزئیات بیش‌تر بر روی نقشه‌ها مانند نوع ساختمان، تعداد طبقات و طبقات زیرزمین در بخش ساختمان‌ها و مناطق مسکونی و تجاری امکان‌پذیر است. با توجه به تعاریف ارائه شده در میحث ششم مقررات ملی ساختمان با عنوان «بارهای



وارده بر ساختمان» گروه‌های مختلف آسیب‌پذیر در شرایط بحرانی مانند وقوع سیل و اعمال نیروهای وارده از جریان سیلاب به شرح زیر می‌باشد:

- **گروه آسیب‌پذیری خیلی زیاد:** ساختمان‌ها یا سایر سازه‌هایی که به عنوان تاسیسات ضروری محسوب می‌شوند و وقفه در بهره‌برداری از آن‌ها به طور غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می‌شود مانند کلیه ساختمان‌هایی که استفاده از آنها در امداد و نجات موثر باشد.
- **گروه آسیب‌پذیری زیاد:** ساختمان‌ها و سایر سازه‌هایی که خرابی آن‌ها منجر به تلفات جانی قابل توجه شود مانند مدارس، سالن‌های اجتماعات و سایر موارد
- **گروه آسیب‌پذیری کم:** کلیه ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها منجر به تلفات جانی و خسارات مالی نسبتاً کم خواهد شد.

در جدول (۲-۳) کاربری‌های مختلف و میزان سطح حساسیت آن‌ها به آسیب‌پذیری ارائه شده است. در این جدول کاربری‌های مختلف به سه رده کاربری‌های با حساسیت خیلی زیاد، زیاد و کم تقسیم شده است [۴۹].

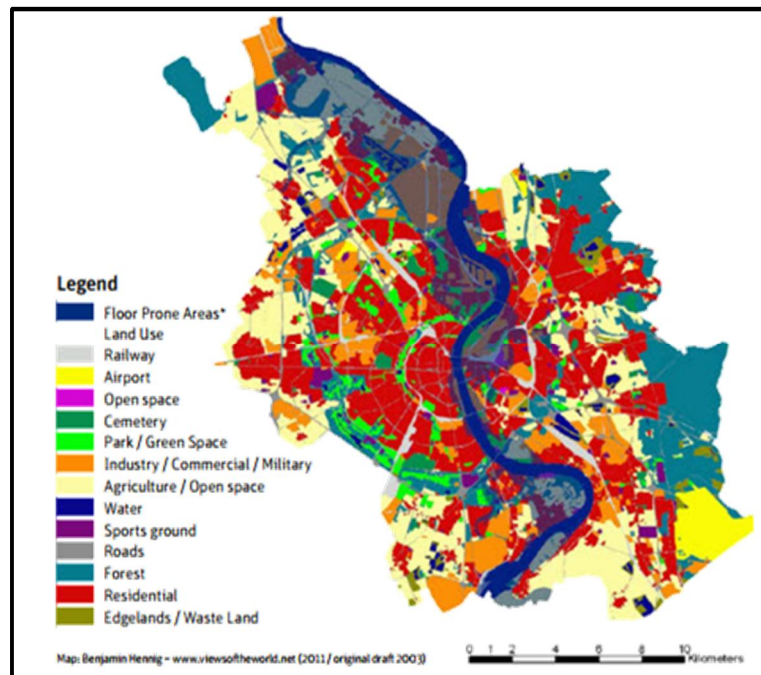
جدول ۲-۳- دسته‌بندی انواع کاربری‌ها بر اساس میزان حساسیت آن‌ها به آسیب‌پذیری در برابر سیل

حساسیت کم	حساسیت زیاد	حساسیت خیلی زیاد
- فروشگاه‌ها و مراکز خرید - مراکز ارائه خدمات مالی - رستوران‌ها و کافه‌ها - ادارات - مراکز صنعتی عمومی - مراکز تفریحی - معادن - ساختمان‌ها و سایر سازه‌های موقتی	- کاربری مسکونی - مراکز ارائه خدمات - هتل‌ها - پارکینگ‌های طبقاتی - انبارها	- بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها - پایگاه‌های اورژانس - مدارس - ایستگاه‌های پلیس - ایستگاه‌های آتش‌نشانی - مراکز مخابراتی و ارتباطات به خصوص مراکزی که باید در هنگام سیل خدمت‌رسانی کنند. - مراکز جمعیتی مانند مهدکودک‌ها، زندان‌ها، مساجد، سالن‌های اجتماعات - ساختمان‌های مسکونی با طبقات زیرزمین - سایت‌های تفریحی، آلاچیق‌ها و کلیه فضاهایی که به صورت موقت در بستر رودخانه‌ها قرار دارند. - تاسیسات حمل و نقل به ویژه راه‌های ارتباطی که در هنگام سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. - تاسیسات زیربنایی مهم مانند نیروگاه‌های تولید برق، ایستگاه‌های تصفیه فاضلاب، مخازن آبرسانی و سایر موارد - تاسیسات صنعتی شامل مواد شیمیایی خطرناک

- پیش‌بینی کاربری اراضی در سال‌های آتی

یکی از مواردی که باید در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب مورد توجه قرار گیرد، تغییر در خطر سیلاب در آینده با توجه به تغییراتی است که در دو شاخص آسیب‌پذیری و در معرض بودن اتفاق می‌افتد. با توجه به این‌که تغییرات در کاربری اراضی واقع در سیلاب‌دشت رودخانه، میزان در معرض بودن و آسیب‌پذیری منطقه را تغییر داده و ممکن است افزایش و یا کاهش دهد، باید نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی در آینده با توجه به نیاز طرح به عنوان اطلاعات ضروری تهیه نقشه‌های خطرپذیری آینده یک منطقه، تهیه و ترسیم شوند.





شکل ۳-۱- نمونه‌ای از نقشه کاربری اراضی یک منطقه که مسیر عبور سیلاب رودخانه نیز بر روی آن نشان داده شده است. [93]

۳-۳- مطالعات اقتصادی - اجتماعی منطقه مورد مطالعه

انجام مطالعات اقتصادی - اجتماعی یک منطقه مستعد سیلاب یکی از ضروریات تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل می‌باشد و اطلاعاتی را به منظور تحلیل میزان آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در اختیار می‌گذارد. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری افراد، جامعه و سرمایه‌های یک منطقه که نتیجه آن ارزیابی میزان خطرپذیری می‌باشد، با استفاده از اطلاعات اقتصادی و اجتماعی جوامع درگیر سیلاب به دست می‌آید. در این بخش شرح مواردی که در مطالعات اقتصادی و اجتماعی به آن پرداخته می‌شود، ارائه شده است.

مطالعات اجتماعی یک منطقه شامل موارد زیر می‌باشد:

- آمار و اطلاعات مراکز جمعیتی حاشیه رودخانه‌ها به منظور تحلیل توزیع سنی جمعیت، جنسیت، اشتغال و سطح تحصیلات که هر یک در میزان خطرپذیری یک منطقه نقش خواهند داشت. هر یک از پارامترهای مطروحه، نوع عکس‌العمل ساکنین حاشیه رودخانه را در مواجهه با سیلاب تعیین می‌کند. به عنوان مثال، مناطق با توزیع جمعیتی کودکان و سالمندان نسبت به مناطق با توزیع جمعیت جوان و میانسال آسیب‌پذیرتر می‌باشند. سطح آموزش پذیری افراد یک جامعه با سطح تحصیلات آن‌ها مرتبط بوده و ارائه آموزش‌های مختلف از جمله رعایت قوانین رودخانه‌ها، توجه به سیستم‌های هشدار سیل، استفاده از بیمه سیل و میزان پایبندی به قوانین در یک جامعه با سوادتر با کیفیت بیش‌تری انجام می‌پذیرد. این مساله بر آسیب‌پذیری اجتماعی ناشی از وقوع یک بحران در جامعه تاثیرگذار بوده و سطح آسیب‌پذیری را کاهش می‌دهد.

- بررسی آمادگی ساکنین منطقه در رویارویی با سیلاب



- آشنایی ساکنین منطقه با مفاهیم نقشه‌های خطرپذیری سیلاب
- بررسی نحوه بهره‌برداری از آب رودخانه در مواقع سیلابی. در صورتی که سیستم آبیاری اراضی کشاورزی و باغات به گونه‌ای باشد که در هنگام وقوع سیل از سیلاب برای آبیاری استفاده شود، پیک سیلاب با عبور از محدوده اراضی کشاورزی کاهش یافته و آسیب‌پذیری منطقه علی‌رغم وقوع سیلاب شدید کاهش می‌یابد.
- بررسی روش‌های سنتی هشدار سیل در منطقه که از دیرباز توسط مردم منطقه مورد استفاده قرار می‌گرفته است. وجود سیستم‌های هشدار سیل، آسیب‌پذیری حاشیه رودخانه را در برابر سیلاب کاهش می‌دهد.
- بررسی آثار خسارات سیلاب و تاثیرات منفی اجتماعی آن بر زندگی مردم منطقه (از دست دادن شغل، تخریب واحدهای مسکونی و تجاری، ورود سیلاب به داخل منازل و خسارت به اثاثیه، بروز تنش‌های اجتماعی ناشی از افزایش فقر، بروز بیماری در اثر وقوع سیلاب در رودخانه‌های با آلودگی زیست‌محیطی بالا و سایر مواردی که به عنوان خسارات اجتماعی وارده ناشی از سیلاب مطرح می‌باشند).
- بررسی میزان رعایت قوانین و احترام به آن‌ها در بین مردم منطقه
- به منظور انجام مطالعات اقتصادی بررسی موارد زیر حایز اهمیت می‌باشد:
- جمع‌آوری و تحلیل آمار، اطلاعات و گزارش‌های موجود از خسارات سیلاب‌های گذشته رودخانه
- ارزش عرفی اراضی حاشیه رودخانه‌ها به تفکیک کاربری اراضی
- ارزش دارایی‌ها و سرمایه‌های موجود در حاشیه رودخانه، مانند مراکز صنعتی، خدماتی، کشاورزی و سایر موارد
- بررسی مشاغل و فعالیت‌های اقتصادی حاشیه رودخانه که به طور مستقیم یا غیر مستقیم در نتیجه وقوع سیلاب مختل می‌شوند و اقتصاد مردم منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند.
- دستیابی به اطلاعات فوق از طریق مراجع ارائه شده در جدول (۳-۳) امکان‌پذیر است:

جدول ۳-۳- مراجع دسترسی به اطلاعات اقتصادی و اجتماعی

نوع آمار و اطلاعات	نحوه دستیابی به اطلاعات
آمار جمعیتی منطقه	- مرکز آمار ایران
اطلاعات مربوط به آشنایی مردم با نقشه‌ها، نحوه رویارویی آن‌ها با سیلاب، سیستم‌های هشدار سیلاب، سیستم‌های سنتی هشدار سیل، سوابق مربوط به آثار منفی اقتصادی و اجتماعی سیلاب در منطقه	- تکمیل پرسشنامه‌ها و پرس و جو از مردم منطقه - بررسی اطلاعات موجود در ارگان‌ها و دستگاه‌های دولتی - مصاحبه با مدیران دولتی و برنامه‌ریزان محلی
آمار مربوط به خسارات سیلاب	- استانداری‌ها - شرکت‌های آب منطقه‌ای - سازمان‌های جهاد کشاورزی - شهرداری‌ها - ادارات مدیریت بحران - شرکت‌های بیمه‌گذار
ارزش دارایی‌ها و سرمایه‌ها	- آمار سالانه منتشر شده از سوی سازمان امور مالیاتی کشور - آمار منتشر شده از سوی شهرداری‌ها (در صورت وجود) - شرکت‌های بیمه (این مورد هنوز در ایران تحت پوشش قرار نگرفته است). - پرس و جو از ساکنین منطقه

۳-۴- مطالعات آسیب‌پذیری

همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد، آسیب‌پذیری ویژگی‌های یک جامعه یا یک منطقه است که توانایی پیش‌بینی حوادث، مقابله با آن‌ها و ظرفیت بهبود شرایط پس از وقوع یک حادثه را تعیین می‌کند [۷۸ و ۷۹]. در حقیقت ویژگی‌های افراد، دارایی‌ها و سرمایه‌های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، تاریخی و زیست‌محیطی یک جامعه تعیین‌کننده میزان حساسیت و آسیب‌پذیر بودن آن‌ها در برابر وقوع یک بحران و توان بهبود جامعه پس از عبور از آن می‌باشد. برخی از محققین در معرض خطر بودن را نیز جزئی از مفهوم آسیب‌پذیری در نظر گرفته‌اند و بعضی این دو مفهوم را جدا از یکدیگر بررسی نموده‌اند. آسیب‌پذیری تحت تاثیر دو عامل تعیین‌کننده قابلیت خطرپذیری و انعطاف‌پذیری می‌باشد که شرح آن‌ها در جدول (۳-۴) ارائه شده است.

جدول ۳-۴- فاکتورهای تاثیرگذار بر میزان آسیب‌پذیری [۶۵]

عامل تعیین‌کننده	تعریف	توضیحات
قابلیت خطرپذیری ^۱	ویژگی‌های عناصر موجود در معرض خطر سیل (مانند افراد، ساختمان‌ها، تاسیسات زیربنایی و غیره) که بر احتمال بروز خسارت و آسیب تاثیرگذار می‌باشند.	قابلیت خطرپذیری استعداد بروز خسارت در یک منطقه است و مواردی از قبیل کیفیت پیش‌بینی، اطلاع‌رسانی و آمادگی پیش از وقوع سیل، اقدامات انجام شده در راستای کاهش اثرات سیل، شرایط مسیرهای ترافیکی برای فرار، سطح آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و کاربری موجود در معرض سیل را شامل می‌شود.
انعطاف‌پذیری ^۲	ظرفیت یک سیستم برای مقابله با یک حادثه مانند سیل و سطح سازماندهی مناسب در عوامل اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و پیرامونی محیط اطراف.	انعطاف‌پذیری عموماً در مناطقی وجود دارد که پیش از این سابقه سیلاب داشته‌اند و شرایط و امکانات منطقه متناسب با سیلاب برنامه‌ریزی شده است.

هدف از ارزیابی آسیب‌پذیری، آگاهی از وضعیت تاثیرپذیری یک سیستم در هنگام وقوع سیل می‌باشد. به عنوان مثال ساختمان‌ها و پل‌ها چگونه خسارت می‌بینند و یا تخریب می‌شوند، تلفات و مرگ و میر، از دست رفتن سرمایه‌ها و اثرات منفی بر روی سلامت افراد در زمان سیلاب تا چه حدی اتفاق می‌افتد.

به طور کلی، آسیب‌پذیری شامل چهار گروه آسیب‌پذیری محیطی یا فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد. علیرغم اهمیت آن، ارزیابی آسیب‌پذیری برای سیلاب‌ها نسبت به ارزیابی خطر سیل تاکنون کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. هر چقدر ارزیابی آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر سیلاب دقیق‌تر صورت پذیرد، ارائه راهکارهای مقابله با سیل و کاهش خسارت با کیفیت بیش‌تری انجام می‌پذیرد.

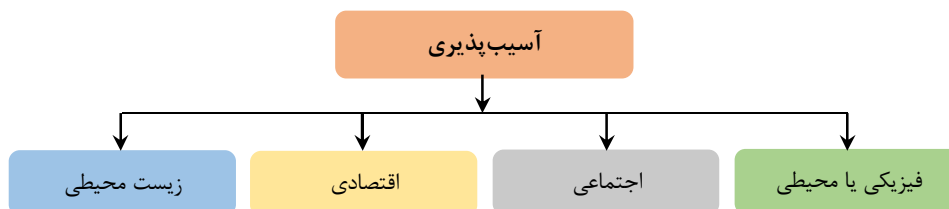
1- Susceptibility

2- Resilience



۳-۴-۱- انواع آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در چهار گروه آسیب‌پذیری محیطی یا فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طبقه‌بندی می‌شود [۹۳] (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- انواع آسیب‌پذیری در برابر سیلاب

۳-۴-۱-۱- آسیب‌پذیری محیطی یا فیزیکی^۱

یکی از مهم‌ترین اثرات منفی ناشی از سیلاب، خسارت وارده به ساختمان‌ها، تاسیسات زیربنایی، صنایع، راه‌های ارتباطی، پل‌ها، مزارع کشاورزی، تاسیسات آبیاری و به طور کلی هرگونه مستحدثات موجود در سیلاب‌دشت است که به طور فیزیکی قابل مشاهده و ملموس باشد. خسارت به صورت مقدار هزینه‌ای که لازم است تا منطقه به شرایط اولیه پیش از سیل برگردد، تعریف می‌شود. در خصوص ساختمان‌ها و واحدهای صنعتی علاوه بر خسارت به اجزای ساختمان باید خسارت به لوازم موجود در ساختمان نیز لحاظ گردد. در ارزیابی خسارت وارده به اراضی و محصولات کشاورزی، نوع محصول، زمان وقوع سیل و طول مدت غرقاب شدن نیز در نظر گرفته می‌شود.

به منظور ارزیابی میزان این نوع آسیب‌پذیری باید از توابع عمق- خسارت استفاده نمود. این توابع که اولین بار در دهه ۱۹۶۰ در آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است، رابطه بین عمق جریان سیلاب و میزان خسارت محتمل در سیلاب‌دشت را بیان می‌کند. این توابع برای انواع کاربری‌های مختلف مانند ساختمان‌های مسکونی، تجاری و اسباب داخل آن‌ها، اراضی و محصولات کشاورزی مختلف در زمان‌های متناوب کاشت و برداشت، تاسیسات زیربنایی، صنایع و سایر کاربری‌های موجود ترسیم می‌شوند. با در اختیار داشتن نقشه تغییرات عمق جریان سیل در یک رودخانه و ترکیب آن با توابع عمق- خسارت، می‌توان میزان خسارت محتمل وارده به منطقه مورد مطالعه را برآورد نمود [۸۴]. نحوه تخمین میزان آسیب‌پذیری با استفاده از این روش در بند ۳-۴-۳-۱ تشریح شده است.

علاوه بر معیار عمق جریان، زمان ماند سیلاب یا زمان غرقاب بودن نیز از جمله معیارهایی است که بر میزان خسارت وارده بالاخص برای محصولات کشاورزی تاثیرگذار است. در صورتی که در منطقه مورد مطالعه این نوع نمودارها در اختیار باشد، برای تخمین خسارت مورد انتظار از آن‌ها استفاده می‌شود.

1- Physical Vulnerability



۳-۴-۱-۲- آسیب‌پذیری اقتصادی

آسیب‌پذیری اقتصادی عموماً به شرایط یک منطقه یا جامعه اطلاق می‌شود که می‌تواند منجر به بروز خسارت اقتصادی به صورت غیرفیزیکی و ناملموس گردد. در حقیقت سیل موجب اختلال در منطقه می‌شود و این مساله اثراتی را در مراودات اقتصادی، مشاغل و وضعیت کسب و کار بر جای می‌گذارد. تخمین این اثرات اقتصادی غیر مستقیم اغلب بیش‌تر از اثرات مستقیم بر روی سازه‌ها و ساختمان‌ها چالش برانگیز است. برخی از این اثرات به شرح زیر می‌باشد:

- ایجاد وقفه در فعالیت تجاری به علت اختلال در مراودات اقتصادی بالاخص در سیل‌های بزرگ
- ایجاد وقفه در فعالیت تجاری به علت اختلال در تامین منابع از قبیل آب و برق
- تخریب محصولات کشاورزی به علت خسارت به شبکه حمل و نقل
- از دست دادن روحیه کارمندان به علت از بین رفتن امکانات، وسایل زندگی، کمبود امکانات بهداشتی و سایر موارد

۳-۴-۱-۳- آسیب‌پذیری اجتماعی

علاوه بر بعد اقتصادی خسارت‌های یک سیلاب، آسیب‌پذیری اجتماعی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. این نوع از آسیب‌ها عموماً به صورت غیرمستقیم و نامحسوس به وجود می‌آیند. از دست رفتن جان انسان‌ها، خانه، زندگی و شغل، آسیب و جراحت جسمی، اثرات منفی بر روی سلامتی و نگرانی‌های ناشی از آن‌ها، روان افراد را تهدید می‌کند و منجر به بروز خسارات اجتماعی می‌شود. فاکتورهای متعددی در یک جامعه منجر به افزایش یا کاهش سطح آسیب‌پذیری اجتماعی سیل می‌شود که عبارتند از: تمرکز جمعیت، سطح سواد، جنسیت افراد، فقر، اعتقادات مذهبی و کلیه عواملی که بر میزان سطح پذیرش یک جامعه در مواجهه با سیلاب تاثیرگذار می‌باشد [۴۶].

۳-۴-۱-۴- آسیب‌پذیری زیست‌محیطی

سیلاب‌ها اثرات قابل توجهی بر روی محیط پیرامونی طبیعی (محیط زیست) دارند. این اثرات زیست‌محیطی گاهی اوقات می‌توانند سودمند باشند، زیرا محیط‌زیست طبیعی طی هزاران سال با وقوع سیلاب‌ها هماهنگ شده است. به عنوان مثال، رودخانه‌ها می‌توانند حجم زیادی از رسوبات را در زمان سیل حمل کنند که این امر می‌تواند به ساخته شدن مجدد دلتاها، محیط رشد ماهی‌ها و خاک‌های کشاورزی کمک کند. سیلاب‌ها به تغذیه ذخایر آب زیرزمینی نیز کمک می‌کنند. در مناطقی که سیلاب در اثر فعالیت‌های انسانی ایجاد شده است، اثرات زیست‌محیطی سیلاب می‌تواند بسیار منفی باشد. این امر به این علت است که تأثیرات انسانی نظیر توسعه شهری و کشاورزی می‌تواند خصوصیات سیلاب را تغییر داده و آن‌ها را شدیدتر یا مخرب‌تر نماید. وقوع سیلاب‌های شدیدتر از حد انتظار در یک رودخانه تعادل طبیعی انتقال رسوبات از بالادست به پایین دست را تغییر داده و می‌تواند منجر به فرسایش شدیدتر کناره‌های رودخانه، انباشته شدن غیرطبیعی رسوبات و افزایش اثرات آب شستگی بر روی سازه‌ها شود. در حقیقت دخالت‌های انسان موجب می‌شود آسیب‌پذیری زیست‌محیطی یک منطقه در برابر سیلاب افزایش یابد [۴۸].



عوامل تعیین‌کننده در میزان آسیب‌پذیری از نوع مستقیم یا غیرمستقیم، در جدول (۳-۵) به صورت خلاصه دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۳-۵- عوامل و شاخص‌های موثر در تعیین آسیب‌پذیری سیلاب

عوامل موثر در میزان آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر سیلاب		توضیحات
محیطی یا فیزیکی	ساختمان‌سازی	- تراکم ساختمان‌ها (تعداد ساختمان‌ها در هر کیلومتر مربع) - طبقه‌بندی سن ساختمان‌ها که در میزان آسیب‌پذیر بودن آن‌ها نسبت به سیلاب بسیار تعیین‌کننده است. - طبقه‌بندی ساختمان‌ها بر اساس مساحت، تعداد اتاق‌ها، کیفیت ساخت و ساز، وجود زیرزمین، وجود پارکینگ - مصالح به کارگرفته شده در ساخت و ساز - وجود ساختمان‌های صنعتی حساس در معرض خطر سیل
	تاسیسات زیربنایی	- طراحی تاسیسات زیربنایی مانند راه‌ها، پل‌ها و سایر موارد بر اساس سیلاب طراحی طرح‌ها
	برنامه‌ریزی شهری و حمل و نقل	- میزان تمرکز فضاهای اداری، تجاری، آموزشی و مراکز تفریحی در فواصل نزدیک به محدوده‌های خطر سیل مانند مدارس، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، مخازن، مراکز مخابراتی، پست‌های توزیع برق و گاز - نوع طراحی شهری و مسیرهای ترافیکی بر کیفیت فرار در مواقع بحرانی تاثیرگذار است (بخش ۱-۵-۲). اگر خروجی مسیرهای ترافیکی به سمت مناطق پرخطر باشد، میزان آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیل بیش‌تر خواهد بود.
	ترافیک و حمل و نقل	- تراکم شبکه ارتباطی - زمان مورد نیاز برای فرار در خیابان‌ها و شبکه ارتباطی
اجتماعی	جمعیت‌شناسی	- میزان جمعیت و پراکنش آن - تعداد افراد بالاتر از ۶۵ سال - تعداد افراد کم‌تر از ۵ سال - جمعیت با شرایط خاص مانند بیماران، معلولان، سالمندان ناتوان و غیره - تعداد و ترکیب اعضا یک خانواده بر کیفیت رویارویی با سیلاب، فرار از محدوده خطر، هشدار و اطلاع‌رسانی به هنگام موثر است.
	سطح فقر	- فقر یکی از مهم‌ترین عواملی است که بازسازی امکانات آسیب دیده ناشی از سیلاب را با مشکلات جدی روبرو می‌کند.
	سطح سواد و آموزش	- سطح سواد و آموزش در نحوه رویارویی مردم منطقه با سیلاب بسیار تاثیر گذار است. افراد با سواد هشدارهای سیل را که از طریق شبکه‌های اینترنتی منتشر می‌شود، در فاصله زمانی کوتاه‌تری دریافت می‌کنند.
	سطح آسیب‌پذیری روحی و عاطفی افراد جامعه	- برخی جوامع با توجه به شرایط روحی و روانی حاکم بر رفتارهای آن‌ها توانایی بازپایی و بهبود بالاتری در هنگام بروز مشکلات دارند. این جوامع در مقایسه با جوامعی که روحیه افسردگی بر آن‌ها حاکم است از آسیب‌پذیری کم‌تری در شرایط بحرانی برخوردارند.
	تاریخی و فرهنگی	- وجود بناهای مهم و تاریخی و اماکن مهم فرهنگی در سیلاب‌دشت رودخانه، آسیب‌پذیری منطقه را در برابر سیل افزایش می‌دهد.
اقتصادی	وجود منابع مالی و تولیدی در سیلاب‌دشت	- وجود مراکز مهم اقتصادی، صنعتی و درآمدزا در سیلاب‌دشت مانند کشاورزی، باغداری، دامپروری، شیلات و غیره، منطقه را در برابر سیلاب آسیب‌پذیرتر می‌کند.
	مشاغل وابسته به رودخانه	- جوامعی که منابع درآمد آن‌ها بیش از سایر جوامع حاشیه رودخانه‌ها به رودخانه وابسته است مانند گردشگری، شیلات و غیره بیش از سایر جوامعی که مشاغل مرتبط با رودخانه ندارند، آسیب‌پذیرترند.
	مراودات اقتصادی بین مناطق در خطر سیل و سایر مناطق حاشیه آن	- تخریب راه‌های مواصلاتی و پل‌ها موجب ایجاد وقفه در حمل و نقل کالا و مراودات اقتصادی منطقه شوند.
زیست‌محیطی		- جنس خاک تشکیل دهنده حوضه آبریز و سیلاب‌دشت رودخانه - وجود صنایع آلوده کننده آب و خاک در مسیر عبور سیلاب مانند کارخانجات مواد شیمیایی



در بررسی میزان آسیب‌پذیری یک منطقه نسبت به سیلاب باید تاثیر عواملی از قبیل زمان در اختیار برای مواجهه با خطر سیل، سرعت بالا آمدن آب، زمان رخ دادن سیلاب در طول سال یا در طول شبانه روز و نحوه قطع راه‌های ارتباطی بین افراد گرفتار سیل و مناطق امن را در تحلیل آسیب‌پذیری سیل و ارائه طرح‌های جامع مدیریت سیلاب مد نظر قرار داد.

- قطع راه‌های ارتباطی فرار

سیلاب ممکن است موجب قطع راه ارتباطی میان افراد گرفتار در سیلاب با وسایل نقلیه، افراد خانواده و سایر امکاناتی شود که برای در امان ماندن از سیل به آن‌ها نیاز دارند. هر عاملی که باعث قطع راه‌های ارتباطی فرار شود موجب افزایش خطر سیل نیز خواهد شد.

- زمان هشدار موثر

زمان موثر برای هشدر سیل زمانی است که فرصت انجام عکس‌العمل لازم برای انتقال وسایل زندگی و فرار افراد وجود دارد. عدم وجود زمان کافی برای رویارویی با سیلاب میزان خطرات ناشی از سیل را افزایش می‌دهد. در حقیقت می‌توان با زمان هشدار مناسب برای هر حوضه آبریز میزان در معرض قرار گرفتن افراد و سرمایه‌هایشان را در برابر سیل کاهش داد.

- سرعت بالا آمدن آب

اگر خصوصیات فیزیکی یک حوضه آبریز به نحوی باشد که افزایش سطح آب در رودخانه‌ها به طور ناگهانی اتفاق بیفتد، زمان لازم برای رویارویی با سیل کاهش یافته و میزان پتانسیل ایجاد خطرات ناشی از سیل افزایش می‌یابد.

- زمان رویدادن سیلاب

زمانی که سیلاب در طول یک شبانه روز یا در طول یک هفته اتفاق می‌افتد در تعیین میزان آسیب‌پذیری موثر است. اگر افراد در شرایطی باشند که امکان دریافت سریع هشدارهای سیل را نداشته باشند (نیمه شب، تعطیلات و غیره) میزان پتانسیل خطر سیل افزایش می‌یابد.

در ادامه، به منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری یک منطقه در سیلاب، انواع خسارت‌های سیل به شرح زیر تعریف می‌شود:

۳-۴-۲- انواع خسارت سیلاب

انواع خسارت سیل به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود [۱۷] (شکل ۳-۳):

الف- خسارت محسوس

به خساراتی که به طور مشخص قابل لمس است، خسارت محسوس گویند. این نوع خسارت بر اساس نوع تاثیر آن به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود.

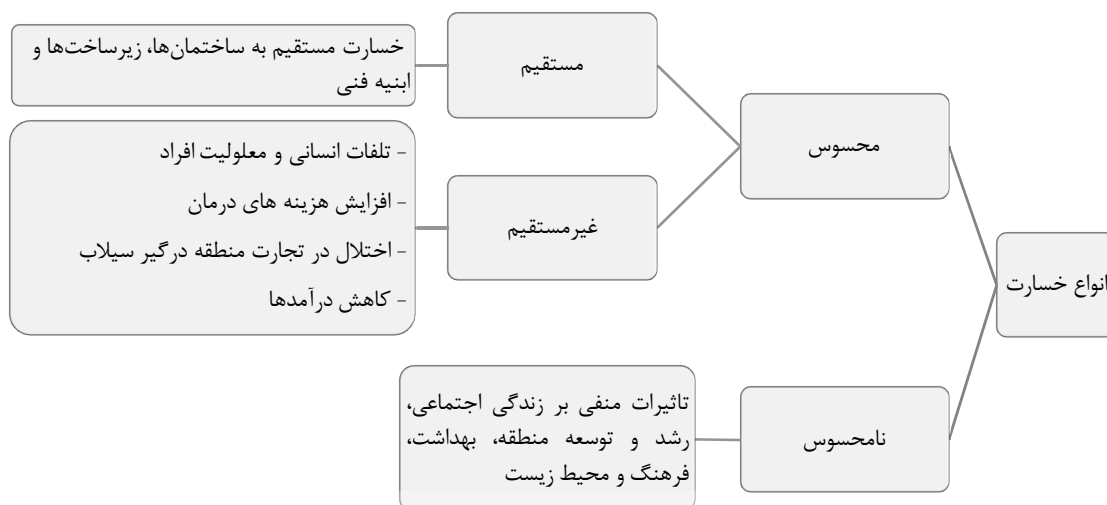


خسارت مستقیم: خسارت‌های محسوس که بر زندگی مردم آثار مستقیم اقتصادی دارند، خسارت محسوس مستقیم گفته می‌شود و شامل موارد زیر است:

- سیل‌گیری اراضی، تاسیسات و ساختمان‌ها و تخریب یا آسیب دیدن آن‌ها
 - ایجاد فرسایش کناری و تخریب اراضی کشاورزی در حاشیه رودخانه
 - تخریب تاسیسات واقع در سیلاب‌دشت‌ها
 - کاهش ارزش و یا از بین رفتن ااثیه منازل و دفاتر کار، محصولات کشاورزی و صنعتی در اثر آب‌گرفتگی
 - تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست حاشیه رودخانه
- خسارت غیرمستقیم:** خسارت‌هایی که به جز اثرات مستقیم اقتصادی اثرات منفی دیگری دارند مانند:
- تلفات انسانی و معلولیت افراد
 - افزایش هزینه‌های درمانی جهت رفع آسیب دیدگی سیل‌زدگان
 - ایجاد مشکل در تجارت روزمره و کاهش درآمدها
 - از دست دادن موقعیت شغلی و افزایش بیکاری
 - قطع موقت ارتباط و افزایش هزینه‌های سفر از راه‌های دیگر

ب - خسارت نامحسوس

به تأثیرات منفی سیل بر زندگی اجتماعی، رشد و توسعه منطقه، بهداشت، فرهنگ و محیط زیست، خسارت نامحسوس سیل گفته می‌شود. آسیب‌های روحی ناشی از فقدان نزدیکان و اموال، مهاجرت، گسترش یاس و ناامیدی بارزترین نمادهای خسارت نامحسوس پس از وقوع سیلاب در یک منطقه می‌باشد. تعیین خسارت و آسیب‌پذیری نامحسوس با عدم قطعیت بالایی همراه است.



شکل ۳-۳- انواع خسارت ناشی از سیل



۳-۴-۳- ارزیابی آسیب‌پذیری

تعیین میزان آسیب‌پذیری یک منطقه در مواجهه با سیلاب می‌تواند در سه مقیاس مختلف بیان شود. مقیاس نقشه‌ها با توجه به اطلاعات موجود و در دسترس از منطقه مطالعاتی و سطح مورد نیاز ارائه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب انتخاب می‌شود [۶۹].

- **روش بزرگ مقیاس:** این روش برای حوضه آبریزهای کوچک و یا مناطقی که نیاز به ارائه نقشه‌های خطرپذیری با جزییات زیاد دارند، به کار برده می‌شود و بر مبنای عناصر مختلف در معرض سیل یک رودخانه ارائه می‌شود. تلفیقی از اطلاعات حاصله از پرس و جوهای محلی و یا آمار موجود از خسارات سیلاب‌های گذشته در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب با دقت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان خسارت بالقوه و محتمل برای هر عنصر آسیب‌پذیر مانند جمعیت، صنایع، تاسیسات زیربنایی و سایر موارد برآورد می‌گردد. این روش برای ارائه راهکارهای کاهش اثرات سیل مناسب می‌باشد.
 - **روش مقیاس متوسط:** این روش که بر مبنای سطح مورد مطالعه استوار است برای حوضه‌های آبریز با مساحت متوسط بیش‌تر کاربرد دارد. در این روش از نقشه کاربری اراضی (کاربری‌های مسکونی، صنعتی، کشاورزی و سایر موارد) و ارزش اراضی متناظر با هر کاربری برای برآورد میزان خسارت محتمل در منطقه بر حسب ارزش پول در هر مترمربع استفاده می‌شود.
 - **روش کوچک مقیاس:** این روش مانند روش مقیاس متوسط است لیکن در این روش دقت نقشه‌های کاربری اراضی کم‌تر و با مقیاس کوچک‌تر می‌باشد. این شیوه برای حوضه‌های آبریز بسیار بزرگ (مانند حوضه‌های آبریز بین‌المللی) کاربرد دارد.
- عموماً آسیب‌پذیری با استفاده از روش‌های زیر تعیین می‌شود:
- روش داده‌های خسارت سیلاب‌های گذشته^۱ [۴۳]
 - روش توابع آسیب‌پذیری [۳۹]
 - روش وزن‌دهی به معیارها (شاخص‌های آسیب‌پذیری FVI)^۲
- در روش داده‌های خسارت سیلاب‌های گذشته، نرخ خسارت به ازای سیلاب‌های مختلف محاسبه می‌شود و بر مبنای آن میزان آسیب‌پذیری در برابر سیلاب به طور کلی تخمین زده می‌شود. اگر چه این روش ساده است و دید کلی نسبت به وضعیت آسیب‌پذیری یک منطقه در اختیار مسؤولین و تصمیم‌گیران قرار می‌دهد، اما دقت آن تا حد زیادی به دقت و

1- Historical Loss Date

2- Flood Vulnerability Index (FVI)



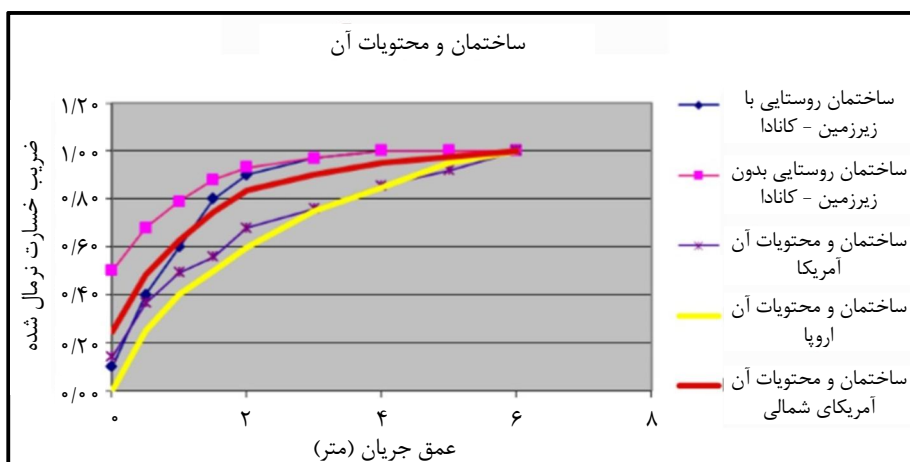
کیفیت اطلاعات خسارت سیلاب‌های گذشته بستگی دارد و با توجه به کمبود منابع اطلاعاتی به عنوان روش مناسب برای تعیین آسیب‌پذیری توصیه نمی‌شود [۷۹].

روش توابع یا منحنی‌های آسیب‌پذیری یک روش مبتنی بر مدل‌سازی هیدرولیکی جریان در رودخانه می‌باشد، با در اختیار داشتن نقشه کاربری اراضی و نقشه تغییرات عمق جریان و ترکیب آن با توابع عمق - خسارت میزان خسارت محتمل در منطقه برآورد می‌گردد.

در روش وزن‌دهی برای هر یک از معیارهای آسیب‌پذیری شاخص‌هایی تعریف می‌شود که با وزن‌دهی به هر یک از شاخص‌ها و جمع وزنی آن‌ها میزان آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب تخمین زده می‌شود. در این روش می‌توان آسیب‌پذیری هر معیار را به طور جداگانه یا ترکیب آسیب‌پذیری چندین معیار را با یکدیگر اندازه‌گیری نمود.

۳-۴-۱- روش توابع (منحنی‌های) آسیب‌پذیری^۱

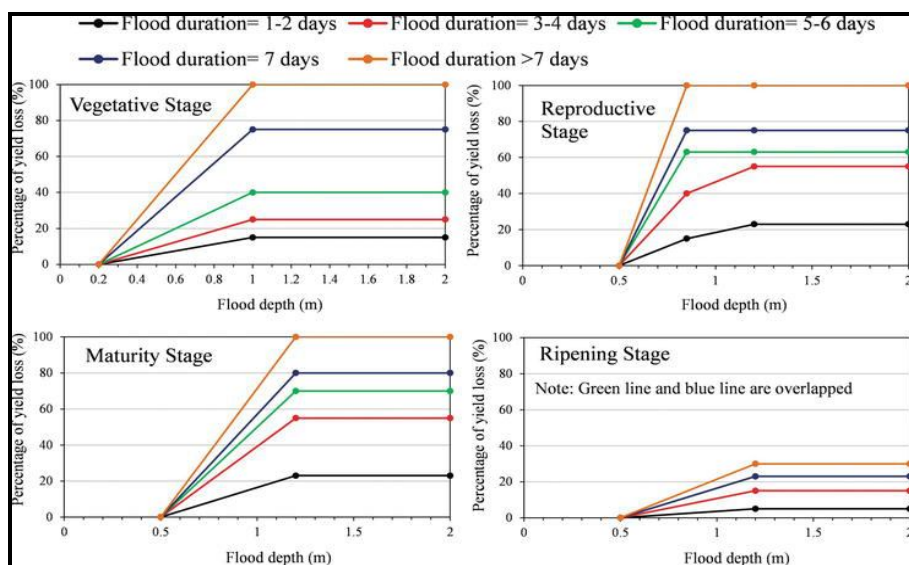
روش توابع یا منحنی‌های آسیب‌پذیری، میزان خسارت مالی ناشی از وقوع یک سیل با دوره بازگشت معین را برآورد می‌کند. همان‌طور که در بند ۳-۴-۱-۱ به آن اشاره شد توابع آسیب‌پذیری، رابطه بین عمق و خسارت هستند که میزان خسارت وارده به هر یک از کاربری‌های واقع در سیلاب‌دشت را به ازای عمق جریان سیل برآورد می‌کنند. در حقیقت در هنگام وقوع سیل همه سرمایه در معرض سیل مانند کل ساختمان، کلیه بخش‌های تاسیسات زیربنایی و سایر موارد آسیب نمی‌بینند، بلکه فقط بخشی از آن‌ها در معرض سیلاب و خسارت قرار دارند که به پارامترهای جریان مانند عمق جریان بستگی مستقیم دارند، استخراج توابع خسارت - عمق که بیانگر میزان خسارت محتمل در اعماق مختلف سیل می‌باشد، ضروری است. نمونه‌ای از این نوع توابع در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل ۳-۴- توابع عمق - خسارت برای انواع ساختمان [۶۳]
(خانه‌های روستایی با زیرزمین، بدون زیرزمین، ساختمان با محتویات آن و سایر موارد)

توابع عمق - خسارت باید برای همه کاربری‌ها از جمله انواع ساختمان‌ها، انواع لوازم منزل، اراضی کشاورزی، محصولات کشاورزی مختلف، راه‌ها و سایر تاسیسات زیربنایی در مسیر سیل مشخص شوند. کمبود اطلاعات موجود یکی از چالش‌های اصلی تعیین توابع عمق - خسارت می‌باشد. با توجه به این که نوع سازه‌های به کار رفته در هر منطقه یا کشور منحصر به همان منطقه می‌باشد، توابع عمق - خسارت نیز باید برای هر منطقه به طور جداگانه تهیه شود. در ایران تحقیقات جامعی برای تهیه توابع عمق - خسارت انجام نشده است. نشریه شماره ۱۶۴ - ن طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور با موضوع «بررسی خسارت سیل» به موضوع توابع آسیب‌پذیری پرداخته است [۵]. لیکن در این نشریه نیز توابع مخصوص کشور ایران ارائه نشده و توابع عمق - خسارت ارائه شده برای کشور آمریکا پیشنهاد شده است.

محاسبه خسارت کشاورزی به علت وابستگی به نوع گیاه، میزان مقاومت گیاه در هنگام بروز سیل و تطابق زمان رخداد سیل با یکی از دوره‌های رشد بسیار پیچیده‌تر است [۳۰]. با توجه به این که زمان ماند سیلاب بر میزان خسارت وارده به محصولات کشاورزی بسیار موثر است، در صورت نیاز باید از منحنی‌های خسارت - عمق - زمان ماند استفاده نمود. نمونه‌ای از این نوع نمودارها در شکل (۳-۵) نشان داده شده است [۸۷].



شکل ۳-۵ - منحنی خسارت - عمق - زمان ماند برای برنج در چهار مرحله رشد گیاه

در خصوص محاسبه خسارت وارده به ساختمان‌ها و محتویات داخل آن‌ها نیز روش‌های متعددی برای استخراج توابع عمق - خسارت وجود دارد. در ایران، ملک محمدی و همکاران [۳۶] در سال ۱۳۸۴ به منظور محاسبه نرخ بیمه سیل، روابط عمق - خسارت برای ساختمان‌های با و بدون زیرزمین و برای سیلاب‌های با عمق کمتر از ۲ متر را ارائه کردند. روابط استخراج شده عبارتند از:

$$d = 1.58x^3 - 16.87x^2 + 44.74x + 0.95$$

$$d = 3.2x^3 - 22.99x^2 + 51.2x + 2$$

ساختمان‌های یک طبقه بدون زیرزمین

ساختمان‌های یک طبقه با زیرزمین



در این روابط، x : تراز سیل از کف ساختمان به متر و d : میزان خسارت سیل به درصد است. در این روابط $x \leq 2$ متر می‌باشد.

مدل‌های مختلفی برای برآورد خسارت سیل به لحاظ اقتصادی یا تلفات جانی ارائه شده است. برخی منابع منحنی‌های عمق - خسارت را برای انواع کاربری شامل ساختمان‌ها و محتویات آن‌ها، انواع محصولات کشاورزی و تاسیسات زیربنایی ارائه نموده‌اند که در صورت تطابق با شرایط منطقه مورد مطالعه می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.^۱

با توجه به این‌که محاسبه خسارت ناشی از سیل عموماً به صورت درصدی از ارزش املاک، ساختمان‌ها، اراضی و محصولات کشاورزی ارائه می‌شود، باید ارزش اقتصادی هر یک از کاربری‌های واقع در سیلاب‌دشت به تفکیک تعیین شود. ارزش اقتصادی شامل هزینه ساخت تاسیسات و ساختمان‌ها و لیست اموال و دارایی‌های موجود می‌باشد که کارشناس اقتصادی طرح گزارش آن را تهیه می‌کند. بخشی از اطلاعات مورد نیاز از واحدهای زیربط مانند شهرداری‌ها، سازمان‌های امور مالیاتی، ادارات بیمه و سایر نهادهای مرتبط با ارزش اقتصادی دارایی‌ها و سرمایه‌ها تهیه می‌شود و در صورت در دسترس و کافی نبودن اطلاعات جمع‌آوری شده، کارشناس اقتصادی طرح ارزش اقتصادی دارایی‌ها و سرمایه‌های محدوده طرح را برآورد می‌کند. در این مرحله ممکن است به منظور جمع‌آوری اطلاعات اقتصادی دارایی‌ها و سرمایه‌ها نیاز به تکمیل پرسشنامه‌هایی از افراد محلی باشد.

تعیین آسیب‌پذیری با استفاده از این روش در چهار مرحله زیر تشریح شده است [۶۹]. شکل (۳-۶) مراحل ارزیابی آسیب‌پذیری در این روش را نشان می‌دهد.

مرحله اول: اولین مرحله برای تعیین میزان خسارات محتمل در یک منطقه تهیه نقشه‌های کاربری اراضی می‌باشد. این نقشه‌ها با استفاده از نقشه‌برداری زمینی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی تهیه می‌شود. طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف بر اساس مقیاس مورد نیاز طرح (بزرگ، متوسط و کوچک) تعیین می‌شود. در حالت کلی در نظر گرفتن کاربری‌های مهم و اصلی مانند کاربری کشاورزی و تولیدات دامی، باغداری، زراعت، شیلات، جنگل، کاربری تاسیسات زیربنایی و کاربری مسکونی کفایت می‌کند، لیکن برای تهیه نقشه‌های با دقت بالا باید کلیه کاربری‌های مختلف با جزییات آن لحاظ گردد.

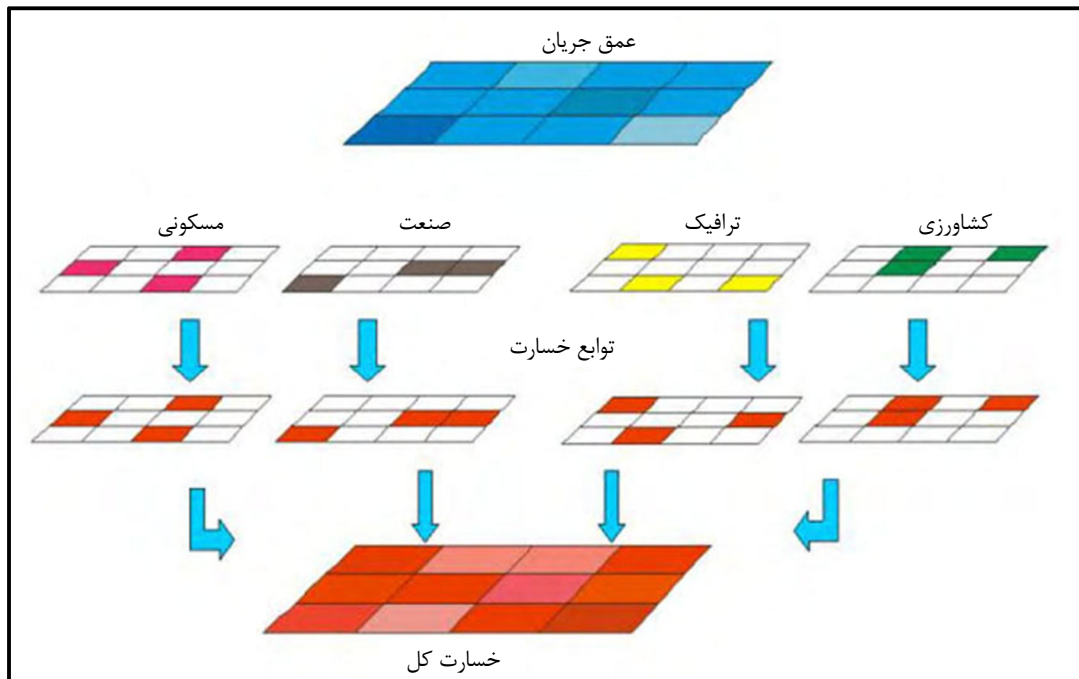
مرحله دوم: در این مرحله، توابع خسارت - عمق برای کلیه کاربری‌های واقع در سیلاب‌دشت باید تهیه شوند.

مرحله سوم: نقشه‌های عمق و پهنه سیل بر نقشه‌های کاربری اراضی منطبق می‌شوند تا میزان خسارت به هر یک از گروه‌های کاربری اراضی برآورد شود. این مرحله با استفاده از نرم‌افزار GIS به سهولت قابل انجام می‌باشد. میزان وقوع خسارت تا حد زیادی به پارامتر عمق جریان بستگی دارد. بنابراین مساحت متناظر با هر کاربری باید به بخش‌های کوچک‌تر با عمق‌های مساوی تقسیم شود. به این منظور کل محدوده مورد مطالعه به سلول‌های مجزا تقسیم می‌شود. سپس مساحت مربوط به هر کاربری با عمق یکسان برای هر دوره بازگشت سیل به تفکیک محاسبه می‌شود.

۱- به عنوان نمونه مدل‌های Life Sim, Debo, Dutta و همکاران، Luino و همکاران و Arighi و همکاران برای خسارت به ساختمان‌ها و محتویات آن‌ها [۴]



مرحله چهارم: در این مرحله میزان خسارت به کلیه مستحذات و کاربری‌ها در سیلاب‌دشت رودخانه محاسبه و برآورد می‌شود.



شکل ۳-۶- روی هم قراردادن نقشه‌ها به منظور ارزیابی و تخمین میزان آسیب‌پذیری [۶۹]

۳-۴-۲- روش وزن‌دهی به معیارها

این روش در محاسبه آسیب‌پذیری بسیار کاربرد دارد. در این روش نقش عوامل مختلف تاثیرگذار در آسیب‌پذیری یک منطقه یا جامعه لحاظ می‌گردد و می‌توان علاوه بر آسیب‌پذیری محیطی یا فیزیکی، آسیب‌پذیری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را نیز تعیین نمود. روش وزن‌دهی به معیارها نگرش کلی نسبت به وضعیت منطقه یا کل جامعه مورد مطالعه در اختیار تصمیم‌گیران منطقه قرار می‌دهد و عموماً در طراحی برنامه عملیاتی مقابله با سیل و کاهش اثرات منفی آن کاربرد دارد.

در این روش پس از انتخاب معیارها و زیرمعیارها، به هر یک از معیارها با توجه به شدت تاثیر آن در میزان آسیب‌پذیری، وزنی اختصاص داده می‌شود. در نهایت با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری میزان آسیب‌پذیری محاسبه می‌گردد. مدل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۱ شامل روش‌های مختلفی برای ارزیابی معیارها می‌باشد که

عبارتند از روش رتبه‌ای، روش سلسله مراتبی (AHP) [۲۴]، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و سایر روش‌ها. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها روش AHP است که در سال ۱۹۸۰ ارائه شده است [۲۳].

از مشکلات رایج تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، اهمیت متفاوت معیارها و شاخص‌های آن‌ها است از این رو اطلاعاتی در مورد اهمیت نسبی هر یک از این شاخص‌ها نسبت به هم مورد نیاز است. تعیین شاخص و وزن‌دهی به آن، گامی مهم در استخراج معیارهای تصمیم‌گیری است. وزن داده شده به صورت یک عدد در ارزیابی دخالت داده می‌شود که این عدد بیانگر اهمیت نسبی آن معیار نسبت به سایر معیارها است. معمولاً وزن‌ها به صورتی که مجموع آن‌ها برابر یک شود، نرمالیزه می‌شوند [۲۳].

در جدول (۳-۶) معیارهای مربوط به هر نوع آسیب‌پذیری مشخص شده است [۴۰، ۴۶، ۶۵، ۷۳، ۸۱، ۸۲]. زیر معیارهای ذکر شده در جدول بیانگر عواملی هستند که در میزان آسیب‌پذیری تاثیرگذار می‌باشند. با اختصاص وزن به هر شاخص و به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره میزان آسیب‌پذیری یک منطقه یا جامعه برآورد می‌گردد.

جدول ۳-۶- معیارهای تاثیرگذار بر میزان آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب

نوع آسیب‌پذیری	معیارهای آسیب‌پذیری
اقتصادی	- ارزش اراضی - شبکه ارتباطی راه‌ها - مشاغل وابسته به کشاورزی - مشاغل وابسته به رودخانه (پرورش ماهی و غیره) - سطح درآمد افراد
اجتماعی	- تراکم جمعیت - ترکیب هرم سنی (نسبت جمعیت پیر، جوان و کودکان) - میزان جمعیت در پهنه سیلابی - ترکیب جنسیت جمعیت - سطح فقر - سطح سواد - درصد جمعیت شهری - درصد جمعیت روستایی - سابقه فرهنگی منطقه - موقعیت مراکز مهم جمعیتی (مدارس، مهدکودک‌ها، خانه سالمندان، بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی و سایر مراکز)
زیست‌محیطی	- کاربری اراضی - قابلیت فرسایش اراضی - اراضی تخریب شده - نوع پوشش گیاهی (میزان حساسیت به آب‌گرفتگی) - درصد سکونت شهری - نرخ ایجاد یا از بین رفتن جنگل‌ها - پتانسیل تولید آلودگی در سیلاب‌دشت
فیزیکی یا محیطی	- نوع مصالح ساختمان‌ها - تعداد طبقات ساختمان‌ها - تعداد طبقات زیرزمین - تعداد ساختمان‌های برخوردار از سیستم مناسب دفع فاضلاب - احداث اصولی و فنی سازه‌های تقاطعی - احداث اصولی تاسیسات زیربنایی



انتخاب معیارهای تاثیرگذار در هر منطقه با توجه شرایط آن منطقه تعیین می‌شود. یکی از روش‌هایی که به انتخاب معیارهای مناسب‌تر و وزن‌دهی کمک می‌کند، استفاده از چندین گروه کارشناسی و خبره است که به طور مستقل و جداگانه معیارهای تاثیرگذار را شناسایی و وزن‌دهی نمایند. در نهایت با ترکیب نتایج گروه‌های مختلف کارشناسی معیارها انتخاب و وزن‌دهی می‌شوند.

یک روش ساده به منظور ارزیابی نهایی شاخص آسیب‌پذیری عبارت است از محاسبه نسبت مجموع وزنی یک معیار در یک محدوده بر میانگین وزنی معیار در کل منطقه [۹۲]. در این روش، هر منطقه از تعدادی محدوده تشکیل شده است که به لحاظ آسیب‌پذیری و معیارهای آن عملکرد یکسانی دارند (محدوده‌های همگن). این روش در بند ۳-۹-۱ و برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری اجتماعی بر اساس ترکیب سنی جمعیت تشریح شده است. در حقیقت نتایج حاصل از مجموع وزنی معیارها یا میانگین وزنی معیارها باید به نحوی نرمالیزه شوند تا شاخص‌های استاندارد برای ارزیابی آسیب‌پذیری به دست آید. استاندارد کردن شاخص آسیب‌پذیری عموماً به این صورت انجام می‌شود که شاخص آسیب‌پذیری عددی بین ۰ و ۱ باشد. عدد صفر بیانگر عدم آسیب‌پذیری و عدد ۱ به معنای آسیب‌پذیری کامل است. اعداد حاصله از میانگین‌گیری وزنی به صورت خطی استاندارد می‌شوند. استاندارد کردن شاخص آسیب‌پذیری معمولاً برای انجام محاسبات ریسک انجام می‌شود [۶۵].

۳-۵- ارزیابی خطرپذیری (ریسک) سیلاب

خطرپذیری (ریسک) سیلاب ترکیبی از احتمال وقوع یک رخداد سیل و عواقب آن رخداد است. در واقع این عکس‌العمل انسان در برابر سیلاب (ارتباط متقابل انسان با سیلاب) است که منجر به بروز خسارت در یک جامعه می‌شود. در بند ۱-۲-۲-۱ مفهوم خطرپذیری و اجزای تشکیل‌دهنده آن شرح داده شد.

به طور کلی، سه نوع خطرپذیری وجود دارد که در سیلاب باید مدیریت شود. این موارد عبارتند از:

- خطرپذیری (ریسک) سیلاب موجود: در این حالت ارزیابی خطرپذیری سیلاب برای شرایط فعلی سیلاب‌دشت شامل کاربری اراضی در وضعیت موجود انجام می‌شود.
- خطرپذیری (ریسک) سیلاب آینده: خطرپذیری در شرایط توسعه سیلاب‌دشت در آینده ارزیابی می‌شود. با اطلاع از وضعیت خطرپذیری سیلاب‌دشت در آینده، برنامه‌ریزی استراتژیک کاربری اراضی برای توسعه سیلاب‌دشت امکان‌پذیر خواهد بود.
- خطرپذیری (ریسک) سیلاب باقی‌مانده: میزان خطری است که در هر دو منطقه توسعه یافته فعلی و آینده، پس از اقدامات مدیریتی نظیر برنامه‌ریزی کاربری اراضی و انجام اقدامات تسکین سیل در منطقه باقی می‌ماند. اگر چه برای کنترل سیلاب با ارائه برنامه‌های جامع مدیریت سیل، میزان خطرپذیری منطقه در مواجهه با



سیل کاهش می‌یابد، اما همچنان بخشی از سیلاب‌دشت توسط سیل تهدید می‌شود. ارائه برنامه‌های مدیریتی در راستای کاهش خطرپذیری سیلاب، نقش بسزایی در کاهش خطرپذیری باقی‌مانده ایفا می‌کند. ارزیابی خطرپذیری سیل به دو روش کیفی و کمی انجام می‌شود. در روش کیفی با ترکیب معیارهای مختلف، میزان خطرپذیری به سطوح مختلف تقسیم شده و نقشه خطرپذیری کیفی تهیه می‌شود. در روش کمی میزان خطرپذیری به صورت واحد پول و تحت عنوان خسارت محتمل یا خسارت مورد انتظار برآورد می‌شود [۸۸]. در ادامه هر دو نوع خطرپذیری شرح داده شده است.

۳-۵-۱- ارزیابی کیفی خطرپذیری (ریسک) سیل

ارزیابی خطرپذیری اغلب اوقات امری بسیار پیچیده بوده و مقداره‌ی به آن با عدم قطعیت^۱ زیادی همراه است. این عدم قطعیت از وجود خطا در تهیه نقشه پایه، روش‌های محاسبه دبی، مدل‌سازی هیدرولیکی و ارزیابی معیارهای آسیب‌پذیری ناشی می‌شود. ارزیابی خطرپذیری سیل به دو روش ماتریس کیفی خطرپذیری و وزن‌دهی به معیارها انجام می‌شود. با توجه به دقت مورد نیاز و اطلاعات موجود از منطقه می‌توان یکی از دو روش یادشده را برای ارزیابی کیفی خطرپذیری سیل به کار گرفت.

۳-۵-۱-۱- روش ماتریس کیفی خطرپذیری

ارزیابی کیفی خطرپذیری با استفاده از ماتریس احتمال - اثر (CFM)^۲ به عنوان راهکاری برای ارزیابی کیفی خطرپذیری مطرح شده است [۸۳]. در این ماتریس که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است یک محور به طبقه‌بندی خطر سیل و محور دیگر به طبقه‌بندی اثر ناشی از سیل به درجات خیلی زیاد تا کم اختصاص دارد. این روش در ارزیابی روش‌های به کار رفته برای کنترل سیلاب نیز به کار می‌رود. در ارزیابی خطرپذیری به این روش، استفاده از نظرات افراد خبره و متخصص موجب دستیابی به ارزیابی دقیق‌تر و مناسب‌تر می‌شود.

1- Uncertainty

2- Consequences-Frequency Matrices



احتمال وقوع	میزان اثر ناشی از سیل				
	قابل اغماض	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
اغلب اوقات	M	H	H	E	E
احتمال زیاد	M	M	H	H	E
محتمل	L	M	M	H	E
احتمال کم	L	M	M	M	H
به ندرت	L	L	M	M	H

E: ریسک خیلی زیاد H: ریسک زیاد M: ریسک متوسط L: ریسک کم N: عدم وجود ریسک

شکل ۳-۷- ماتریس احتمال - اثر برای ارزیابی کیفی ریسک سیل

در این روش به منظور ارزیابی خطرپذیری هر معیار، مقدارهای محتمل برای آن معیار طبقه‌بندی شده و بر اساس احتمال وقوع خطر سیل، سطح خطرپذیری تعیین می‌شود.

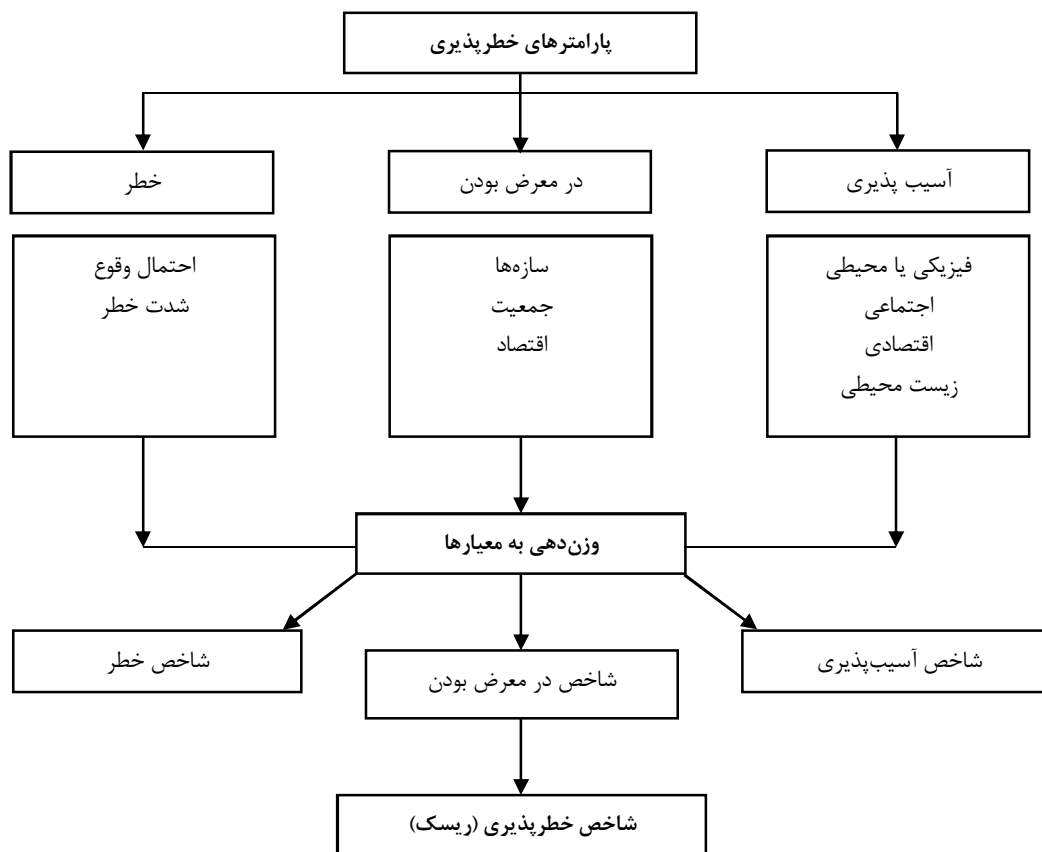
۳-۵-۱-۲- روش وزن‌دهی به معیارها

شرح چگونگی استفاده از روش وزن‌دهی به معیارها به همراه یک نمونه ارزیابی آسیب‌پذیری در بند ۳-۴-۲ به تفصیل ارائه شده است. به منظور ارزیابی کیفی خطرپذیری سیل نیز می‌توان از این روش استفاده نمود. معیارهای تاثیر گذار در میزان خطرپذیری عبارتند از خطر، آسیب‌پذیری و در معرض خطر بودن. در برخی مراجع فنی [۶۶] ظرفیت مقابله با سیل نیز به عنوان یک معیار مجزا ارائه است. البته می‌توان پارامترهای مربوط به ظرفیت مقابله با سیل را در مبحث آسیب‌پذیری لحاظ نمود. رابطه خطرپذیری در این حالت به صورت زیر بیان می‌شود.

ظرفیت مقابله با سیل / آسیب‌پذیری * خطر = خطرپذیری (ریسک)

شکل (۳-۸) نمودار استفاده از روش وزن‌دهی به معیارها به منظور ارزیابی خطرپذیری (ریسک) را نشان می‌دهد.





شکل ۳-۸- الگوریتم استخراج شاخص خطرپذیری (ریسک) سیل در روش وزن‌دهی به معیارها

۳-۵-۲- ارزیابی کمی خطرپذیری (ریسک) سیل

میزان خطرپذیری (ریسک) کمی سیل به دو صورت خسارت مالی و تلفات جانی بیان می‌شود. خطرپذیری مالی به صورت متوسط خسارت محتمل سالانه در واحد سطح (یا واحد هر نوع کاربری) و خطرپذیری جانی به صورت تلفات جانی محتمل تعریف می‌شود. اگر چه می‌توان تلفات جانی را نیز در قالب خسارات مالی بیان نمود، لیکن تلفات جانی همیشه باید به صورت جداگانه بر روی نقشه‌ها ارائه گردد.

خطرپذیری سیل به صورت کلی به شرح زیر تعریف می‌شود [۶۰]:

$$\text{Risk} = C \times P_h$$

که در آن C^1 : شامل دو عامل در معرض بودن و آسیب‌پذیری و P_h : احتمال وقوع خطر سیلاب می‌باشد.

1- Consequence

۳-۵-۲-۱- تخمین خطرپذیری کمی سیل

خطرپذیری کمی سیل متوسط خسارت محتمل سالانه در واحد سطح است که می‌تواند در واحد هر نوع کاربری مختلف بیان شود. ارزیابی میانگین خسارتی که سیلاب ایجاد می‌کند بر اساس خسارت ناشی از وقوع یک سیلاب بزرگ (به عنوان مثال سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله) معیار مناسبی نمی‌باشد، بلکه خسارات ناشی از سیلاب‌های متداولی که در یک رودخانه اتفاق می‌افتد، تخمین دقیق‌تری از میزان خسارت محتمل سیلاب ارائه می‌کند، اگرچه مقدار خسارت به وجود آمده در یک سیلاب با دوره بازگشت کم از مقدار خسارت سیلاب با دوره بازگشت بیش‌تر در همان منطقه کم‌تر است. با توجه به این‌که برآورد مقادیر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف یک پدیده احتمالاتی است، باید مفهوم احتمال وقوع (دوره بازگشت سیل) نیز در ارزیابی خطرپذیری وارد شود. بر این اساس مقدار میانگین خسارت سالانه مورد انتظار (EAD)^۱ ناشی از سیلاب منطقه برابر است با [۶۶]:

$$EAD = \sum_{i=1}^{\max} \frac{D(P_i - 1) + D(P_i)}{2} \times \Delta P_i$$

که در آن:

D: خسارت ناشی از سیل در یک دوره بازگشت معین

ΔP_i : اختلاف احتمال بین دو رویداد سیل با دوره بازگشت‌های i و $i-1$

max: تعداد حداکثر رویدادهای سیل که در ارزیابی خطر سیل در نظر گرفته می‌شوند.

رابطه ارائه شده در حقیقت مساحت زیر نمودار خسارت - احتمال وقوع است که با استفاده از ترکیب چهار نمودار نشان داده شده در شکل (۳-۹) استخراج می‌شود. شکل (۳-۱۰) نیز نمونه‌ای از نمودار خسارت - احتمال وقوع را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار میانگین سالانه خسارت محتمل یا میزان خطرپذیری (ریسک) مورد انتظار به صورت زیر نیز بیان می‌شود^۲:

$$EAD = \int D(p) dp$$

1- Expected Annual Damage

۲- مساحت زیر نمودار احتمال وقوع - خسارت در حقیقت امید ریاضی از تابع احتمال - خسارت است. در احتمالات، امید ریاضی (Expected Value)، مقدار مورد انتظار یا میانگین مورد انتظار یک متغیر تصادفی و برابر با مجموع حاصل ضرب احتمال وقوع هر یک از حالات ممکن در مقدار آن حالت است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x f_x(x) dx$$

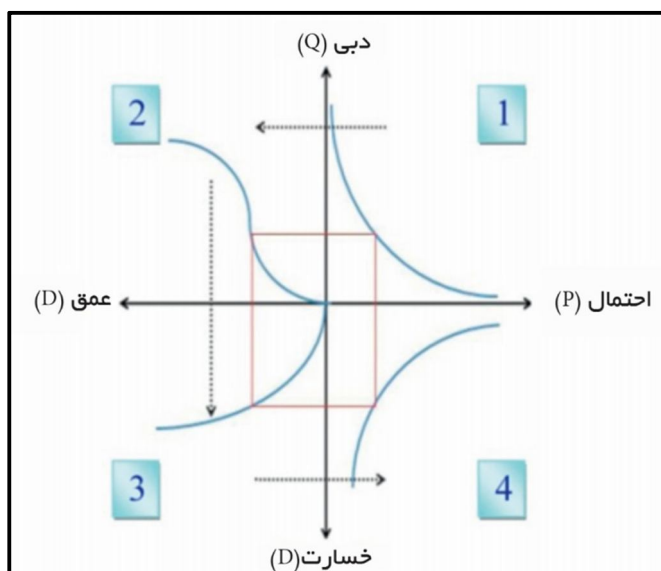
در این‌جا:

$E(X)$: مقدار مورد انتظار خسارت سالانه

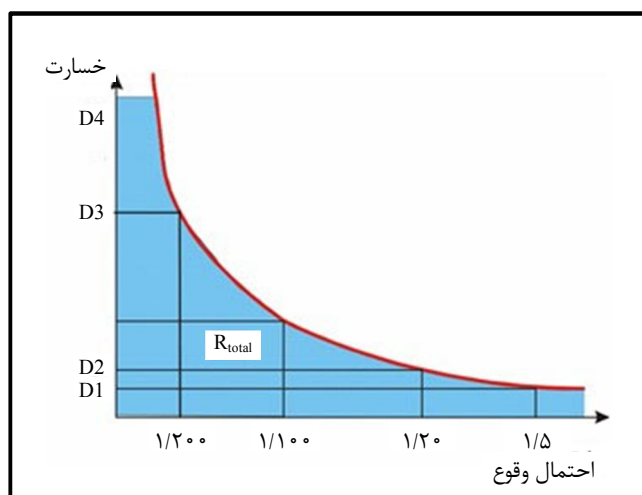
x : مقدار خسارتی است که با احتمال $f_x(x) dx$ رخ می‌دهد.



که در آن $D(p)$: خسارت ناشی از سیل با احتمال وقوع p است. با به کارگیری این روش خسارت بالقوه سیل به صورت سالیانه برآورد می‌گردد و در نهایت بر اساس آن طبقه‌بندی میزان خسارت نقشه‌های خطرپذیری سیل تهیه می‌شود. در حقیقت میانگین سالانه خسارت محتمل یا خسارت مورد انتظار شاخص کمی ارزیابی خطرپذیری (ریسک) سیل می‌باشد.



شکل ۳-۹- استخراج تابع احتمال وقوع - خسارت



شکل ۳-۱۰- مساحت زیر نمودار احتمال وقوع - خسارت بیانگر میانگین خسارت محتمل سالیانه می‌باشد.

محاسبه میزان خسارت مورد انتظار با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزاری نیز امکان‌پذیر است که پرکاربردترین آن‌ها عبارتند از نرم‌افزارهای HEC-FIA، HEC-FDA، HAZUS-MH، HEC-Life Sim. این نرم‌افزارها ابزارهایی هستند که به منظور برآورد میزان خسارات حوادث در اختیار متخصصان قرار دارند. در ادامه، شرح مختصری از نرم‌افزارهای مربوطه ارائه شده است.



۳-۵-۲-۱-۱- نرم‌افزار HAZUS-MH

نرم‌افزار HAZUS-MH شامل مدل‌هایی برای تخمین تلفات جانی و خسارات بالقوه ناشی از حوادثی مانند سیلاب، زلزله، طوفان و سونامی می‌باشد. این نرم‌افزار توسط مرکز مدیریت بحران آمریکا (FEMA) توسعه داده شده و از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تخمین اثرات فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی حوادث استفاده می‌کند. در حقیقت با استفاده از این نرم‌افزار، حداکثر مقدار خسارت محتمل که ممکن است به منطقه آسیب دیده وارد شود، برآورد می‌گردد و در نهایت راهکارهایی برای کاهش خسارت ارائه می‌شود. تخمین صحیح از میزان خسارت محتمل در هر حادثه می‌تواند منجر به ارائه بهینه‌ترین طرح‌های کاهش اثرات حادثه و بروز خسارت شود [61].

برآورد خسارت محتمل و ارائه راهکارهای کاهش خسارت در نرم‌افزار HAZUS-MH طی ۵ مرحله انجام می‌شود. شکل (۳-۱۱) مراحل اجرای این نرم‌افزار را ارائه می‌دهد.



شکل ۳-۱۱- نمودار انجام مراحل تحلیل خطرپذیری در نرم‌افزار HAZUS - MH

۳-۵-۲-۱-۲- نرم‌افزار HEC-FIA^۱

نرم‌افزار HEC-FIA از سری نرم‌افزارهای مرکز هیدرولوژی مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا که در سال ۲۰۱۲ ارائه شده و به منظور برآورد اثرات و خسارات سیلاب به کار می‌رود. این نرم‌افزار می‌تواند اطلاعات هیدرولیکی جریان را از مدل HEC-RAS به صورت داده‌های EC-DSS دریافت کند و در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) خسارت محتمل یک سیلاب را برآورد کند. این نرم‌افزار داده‌های مکانی از کلیه مستحذات واقع در سیلاب‌دشت را ایجاد می‌کند و برای کاربر این امکان را فراهم می‌کند که ارزش دارایی‌ها و جمعیت را با مستحذات مربوطه متناظر کند. سپس نقشه تغییرات

1- Flood Impact Analysis

عمق آبگرفتگی که خروجی مدل هیدرولیکی است، به نرم‌افزار معرفی می‌شود. HEC-FIA با استفاده از اطلاعات ورودی خسارت اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم، خسارت محتمل به بخش کشاورزی و تلفات انسانی را تخمین می‌زند [۱۳].

طول مدتی که سیلاب در ساختمان وجود دارد، زمان مورد نیاز برای به کارگیری کارگر، زمان مورد نیاز برای پاکسازی ساختمان، زمان لازم برای تعمیر یا ساخت دوباره ساختمان و جمعیت ساکن در ساختمان مواردی است که نرم‌افزار به منظور تخمین خسارت در انواع سازه‌ها مد نظر قرار می‌دهد.

۳-۵-۲-۱-۳- نرم‌افزار HEC-FDA

نرم‌افزار HEC-FDA از سری نرم‌افزارهای مرکز هیدرولوژی مهندسی ارتش آمریکا است. نرم‌افزار HEC-FDA براساس عمق آب گرفتگی کاربری‌های مختلف، با در نظر گرفتن دو حالت با و بدون اجرای طرح کنترل سیلاب، میزان خسارت سالانه مورد انتظار (EAD) را برآورد می‌کند. این نرم‌افزار عدم قطعیت پارامترهای مختلف را جهت برآورد خسارت سالانه مورد انتظار در نظر می‌گیرد. برای لحاظ نمودن اثر عدم قطعیت‌ها نیاز است از نظریه انتگرال گیری عددی استفاده شود. نرم‌افزار HEC-FDA عموماً برای محاسبه خسارت سیلاب در مناطق شهری کاربرد دارد ولی با کمی تغییرات در داده‌های ورودی آن قابل استفاده برای خسارت کشاورزی نیز می‌باشد [۷۵ و ۶۲].

۳-۵-۲-۲- تخمین تلفات جانی

اکثر مطالعات خطرپذیری سیلاب به تخمین خسارات مالی و آسیب‌پذیری اقتصادی اختصاص دارد. لیکن یکی از مهم‌ترین خسارات وارده در سیلاب بالاخص در سیل‌های ناگهانی که در محدوده شهرها و مناطق مسکونی به وقوع می‌پیوندد، تلفات جانی و یا جراحت و معلولیت‌های جسمی افراد است. لذا تخمین پتانسیل تلفات جانی در یک منطقه و نمایش آن بر روی نقشه‌ها به منظور ارائه برنامه‌های مدیریت جامع سیل در منطقه می‌تواند راهگشا باشد. تخمین تلفات جانی در سیل نسبت به ارزیابی میزان خسارت مالی از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است. محققین بسیاری نسبت به ارائه روابط کلی برای تخمین تلفات جانی اقدام کرده‌اند و به این منظور، پارامترهای متعددی مانند عمق و سرعت جریان، ضریب حمل مواد جامد روی آب، سرعت بالا آمدن آب، کیفیت آب، آمادگی دستگاه‌های اجرایی برای رویارویی با سیل، سیستم هشدار سیل، زمان وقوع سیل در طول شبانه‌روز، شرایط فرار، وزن و قد افراد، سن افراد، سکونت در طبقات اول ساختمان یا بالاتر و عواملی از این قبیل را در روابط اعمال نموده‌اند. متأسفانه تاکنون در ایران روابط منطقه‌ای مناسبی برای حوضه‌های آبریز مختلف ارائه نشده است. لذا برای برآورد تلفات جانی محتمل باید از روابط کلی استفاده نمود. لیکن



به منظور استفاده از روابط کلی موجود که به مهم‌ترین آن‌ها در ذیل اشاره شده است، باید برخی پارامترهای موثر نیز با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه استخراج و در روابط مذکور اعمال گردد.

جامع‌ترین روشی که تاکنون به منظور تخمین تلفات جانی ارائه شده است توسط Jonkmann در سال ۲۰۰۷ بوده است [۷۱]. وی علت مرگ و میر در سیلاب را در سه گروه اصلی مرگ و میر ناشی از غرق شدگی (۶۷/۶٪ کل تلفات)، مرگ و میر ناشی از آسیب‌های فیزیکی (۱۱/۷٪ کل تلفات)، مرگ و میر ناشی از سایر عوامل (۲۰/۷٪ کل تلفات) تقسیم‌بندی کرد [۷۰]. همچنین سازمان محیط زیست، غذا و فعالیت‌های روستایی انگلستان (Defra^۱) در سال ۲۰۰۶ راهنمایی به منظور تعیین میزان خطرپذیری افراد در سیلاب منتشر نموده که به عنوان مرجعی برای تعیین تلفات جانی محتمل استفاده می‌شود [۴۲]. به منظور آشنایی با نحوه برآورد تعداد مرگ و میر یا تعداد مجروحین در هنگام وقوع سیل روش Defra به طور مختصر شرح داده شده است. در روش Defra سه عامل خطر سیل، آسیب‌پذیری افراد و آسیب‌پذیری منطقه به عنوان عوامل تعیین‌کننده میزان تلفات جانی یا تعداد مجروحین در نظر گرفته شده است. جدول (۷-۳) عوامل موثر در روش Defra را شرح داده است.

جدول ۷-۳- عوامل تاثیرگذار در برآورد تلفات جانی و تعداد مجروحین در روش Defra

$HR^2 = h(v+0.5)+df$ HR: فاکتور خطر h: عمق جریان سیل v: سرعت جریان df: فاکتور مواد زائد روی آب (از ۰-۲ متغیر است و به احتمال این‌که اجسام جامد روی سطح آب موجب آسیب بیش‌تر شوند بستگی دارد).	- عمق جریان - سرعت جریان - ضریب مواد جامد معلق	خطر سیل برای افراد
شاخص آسیب‌پذیری محیطی عبارت است از مجموع سه شاخص معیار هشدار سیل، شاخص معیار سرعت شروع سیل و شاخص معیار وضعیت ساختمان‌ها	- سیستم هشدار سیل - سرعت شروع سیل - وضعیت ساختمان‌ها به لحاظ آسیب‌پذیری افراد (یک طبقه، دو طبقه و غیره)	آسیب‌پذیری محیطی
شاخص آسیب‌پذیری افراد عبارت است از مجموع درصد افراد ناتوان جسمی و درصد افراد با سن ۷۵ سال یا بیش‌تر	- درصد افراد ناتوان جسمی یا با بیماری طولانی - درصد افراد با سن ۷۵ سال یا بیش‌تر	آسیب‌پذیری افراد
تعداد مجروحین در یک سیل		
$N_{inj} = 2 \times N_z \times HR \times AV / 100 \times PV$		
تعداد تلفات (مرگ و میر)		
$N_f = 2 \times N_{inj} \times HR / 100$		
که در آن: N_z : کل جمعیت منطقه HR: خطر سیل AV: شاخص آسیب‌پذیری محیطی PV: شاخص آسیب‌پذیری افراد N_{inj} : تعداد مجروحین N_f : تعداد مرگ و میر		

1- Department for Environment Food & Rural Affairs

2- Hazard Rating



به طور کلی، ضروری است به منظور تخمین میزان تلفات جانی ناشی از سیلاب، روابط منطقه‌ای بر اساس آمار و اطلاعات سیلاب‌های گذشته در کشور توسعه داده شود تا با استفاده از روابط توسعه یافته بتوان میزان تلفات در یک حوضه آبریز یا یک رودخانه را تخمین زد و بر آن اساس نقشه‌های مربوطه را تهیه نمود. در این خصوص می‌توان به روابط توسعه داده شده برای حوضه آبریز رودخانه کن اشاره نمود که به صورت زیر ارائه شده است [۲۷].

$$N_f = 5.786(0.578h)(0.5924V)(e^{3.755A})$$

که در آن:

N_f : تعداد تلفات در سیلاب در هر منطقه

h : عمق متوسط جریان سیلابی (متر)

V : سرعت متوسط جریان سیلاب (متر بر ثانیه)

A : مساحت محدوده مسکونی در معرض خطر سیلاب (کیلومترمربع)

۳-۶- مطالعات ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب

یکی از مواردی که بر میزان آسیب‌پذیری محیطی رودخانه‌ها در شرایط سیلابی تاثیرگذار است، شرایط ریخت‌شناسی رودخانه می‌باشد که می‌تواند موجب افزایش و یا کاهش میزان خطرپذیری شود. ویژگی‌هایی مانند دیواره‌های ریزشی کناره‌های رودخانه، تغییرات ریخت رودخانه در هنگام وقوع سیل بالاخص در سیلاب‌های بزرگ و یا جابجایی مسیر رودخانه در سیلاب میزان خطر تهدید کننده یک منطقه را در هنگام وقوع سیل افزایش می‌دهد. رودخانه‌های پیچانرودی با قوس‌های تند و متوالی نیز احتمال سیلابی شدن رودخانه و سرریز شدن جریان از کناره‌ها را بیش‌تر می‌کند. از این رو، انجام مطالعات ریخت‌شناسی و بررسی احتمال ایجاد تغییرات ریخت‌شناسی در رودخانه ضروری است.

مطالعه ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب به منظور تهیه نقشه‌های خطرپذیری با بررسی موارد زیر صورت می‌پذیرد:

- شناسایی بازه‌های فرسایشی و ناپایدار کناره‌های رودخانه: کناره‌های فرسایش‌پذیر و مستعد آبشستگی پای دیواره‌ها موجب ایجاد بازه‌های ناپایدار در طول رودخانه می‌شود. این بازه‌های ناپایدار میزان خطرپذیری محدوده مورد بررسی را تشدید می‌کنند. به نحوی که ممکن است در یک رودخانه جریان سیلاب از مقطع اصلی رودخانه بیرون نزند اما وجود دیواره‌های کناری فرسایش‌پذیر موجب قرار گرفتن بازه مورد نظر در محدوده با خطر زیاد شود.
- بررسی تغییرات احتمالی مسیر رودخانه در شرایط سیلابی: در این مورد نیز باید هر نوع تغییر در مسیر رودخانه بررسی شود و تغییر مسیر جریان در شرایط سیلابی در نقشه‌های خطرپذیری لحاظ گردد.
- بررسی احتمال تغییر مشخصات ریخت‌شناسی رودخانه در هنگام وقوع سیلاب: تغییر در مشخصات هندسی رودخانه که ممکن است در هنگام وقوع سیل اتفاق بیفتد منجر به تغییر در میزان خطرپذیری خواهد شد.



- بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه در بالادست و پایین دست سازه‌های تقاطعی که در شرایط سیلابی ممکن است منجر به افزایش خطر سیل شود.
- بررسی قوس‌های رودخانه و پیش‌بینی جابجایی و یا حتی بریده شدن آن‌ها در آینده: در صورتی که تهیه نقشه خطرپذیری برای زمان آینده در یک رودخانه مد نظر باشد، باید احتمال هر گونه تغییر در مسیر رودخانه، تغییرات عرض، جابجایی قوس و بریده شدن آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد و در صورت پیش‌بینی تغییرات در رودخانه نقشه خطرپذیری بر آن اساس تهیه گردد.
- شناسایی بازه‌های رسوبگذار که ممکن است منجر به کاهش میزان آب‌گذری و احتمال افزایش آبگرفتگی سیلاب‌دشت‌ها شود. این مساله می‌تواند در تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل لحاظ گردد.

۷-۳- مطالعات زیست‌محیطی

ارزیابی آسیب‌پذیری زیست‌محیطی یکی از موارد مهم ارزیابی آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر وقوع سیل می‌باشد. سیلاب بر اکوسیستم منطقه، حیات جانوری و گیاهی، کیفیت آب زیرزمینی، کیفیت آب‌های سطحی بالاخص در پایین دست صنایع آلاینده، خصوصیات خاک و پارامترهای سلامتی به طور مستقیم و غیرمستقیم تاثیر می‌گذارد و محیط زیست منطقه را تغییر می‌دهد. پخش سیلاب در منطقه وسیعی در سیلاب‌دشت امکان حیات بسیاری از جانوران را که در حاشیه رودها زندگی می‌کنند و غذای حیوانات وحشی محسوب می‌شوند، به خطر می‌اندازد. کاهش تعداد جانوران وحشی در یک منطقه پس از وقوع سیلاب از اثرات منفی زیست‌محیطی وقوع سیل می‌باشد. در صورتی که رودخانه از مناطق حفاظت شده عبور کند میزان حساسیت و آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیل به شدت افزایش می‌یابد. انجام مطالعات محیط‌زیست یک منطقه پیش از تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل به منظور شناسایی وضعیت اکوسیستم رودخانه و سیلاب‌دشت آن و بررسی شرایط زیست‌محیطی و آلودگی‌های منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. مواردی که در مطالعات زیست‌محیطی یک رودخانه به منظور تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل باید مد نظر قرار گیرد به شرح زیر می‌باشد [۶۴]:

- جمع‌آوری و بررسی اطلاعات در خصوص گونه‌های جانوری و گیاهی موجود در منطقه و ارزیابی تاثیر وقوع سیل بر آن‌ها
- جمع‌آوری و بررسی این‌که منطقه مورد مطالعه دارای مناطق حفاظت شده می‌باشد یا خیر، در صورت وجود مناطق حفاظت شده و گونه‌های نادر و در حال انقراض جانوری و گیاهی میزان آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیلاب افزایش می‌یابد.
- جمع‌آوری و بررسی اطلاعات در خصوص منابع آلاینده رودخانه و بررسی افزایش یا کاهش سطح آلودگی در صورت بروز سیلاب. در این زمینه مطالعه و بررسی معادن موجود در حوضه آبریز رودخانه بالاخص در بخش‌های بالادستی آن باید صورت پذیرد. به طور کلی، وجود معادن به دلیل این‌که موجب دپوی خاک و از



بین رفتن پوشش گیاهی به طور موضعی می‌شوند، موجب ایجاد جریان‌های با غلظت رسوبی بالا و گلی خواهند شد و این مساله قدرت فرسایشی و آسیب سیل در پایین‌دست را به شدت افزایش خواهد داد. وجود معادن فلزات سنگین در محدوده حوضه آبریز نیز می‌تواند موجب انتقال فلزات سنگین از معادن واقع در بالادست حوضه آبریز به مناطق پایین دستی حوضه توسط سیل شود. این مساله موجب پخش آلودگی در جریان آب و بروز سرطان بین ساکنین مناطق پایین دست حوضه می‌شود.

- بررسی وضعیت صنایع آلاینده در سیلاب‌دشت و این‌که آیا در صورت بروز سیلاب احتمال وقوع سیلاب با آلودگی بالا وجود دارد یا نه؟ در صورتی‌که شکل‌گیری سیلاب آلوده در رودخانه و سیلاب‌دشت محتمل باشد، میزان آسیب‌پذیری زیست‌محیطی منطقه به شدت افزایش می‌یابد.
- بررسی شرایط و جنس خاک تشکیل دهنده بستر رودخانه، سیلاب‌دشت و حوضه آبریز به منظور بررسی میزان آسیب‌پذیری منطقه در برابر وقوع سیلاب. تغییر در جنس خاک تشکیل‌دهنده سیلاب‌دشت در پایین دست نیز که پس از تبخیر آب صورت می‌گیرد، از اثرات منفی یا مثبت سیل می‌باشد. بررسی افزایش یا کاهش کیفیت خاک در پایین دست حوضه در صورت وقوع سیل باید در مطالعات زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد.
- بررسی وضعیت جنگل‌ها و مراتع در حوضه آبریز رودخانه. تخریب جنگل‌ها و مراتع موجب افزایش احتمال بروز سیل در پایین دست رودخانه و بروز سیلاب‌های با بار رسوبی زیاد خواهد شد. این مساله آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیل و خسارات وارده به عوارض موجود در سیلاب‌دشت را افزایش خواهد داد.
- ارائه پیشنهادات لازم در خصوص کاهش آسیب‌پذیری زیست‌محیطی منطقه در برابر وقوع سیل
- تعیین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری زیست‌محیطی مانند مساحت تحت پوشش جنگلی، مساحت مراتع، جنگل‌ها و اراضی تخریب شده و فرسایش یافته، مساحت اراضی کشاورزی که بیش از حد مورد کشت قرار گرفته‌اند.

۳-۸- تعیین دوره بازگشت سیل برای نقشه‌های خطرپذیری سیل

همان‌طور که در بخش ۲-۳ در فصل دوم ضابطه‌ی حاضر به آن اشاره شد، دوره بازگشت سیل برای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل مطابق با دوره بازگشت سیل برای تهیه نقشه‌های خطر سیل توصیه می‌گردد. بر این اساس دوره بازگشت سیل برای تحلیل آسیب‌پذیری و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطرپذیری با سطوح مختلف خطرپذیری به شرح جدول (۳-۸) پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۳-۸- دوره بازگشت سیل پیشنهادی برای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل

دوره بازگشت سیل	درجه خطر
۲ و ۱۰ ساله	کم
۵۰ و ۱۰۰ ساله	متوسط
۲۰۰ و ۵۰۰ ساله و در صورت لزوم حداکثر سیل محتمل (PMF)	زیاد

علی‌رغم دوره بازگشت‌های پیشنهادی در جدول بالا تعیین دوره بازگشت مناسب برای تحلیل آسیب‌پذیری و خطرپذیری سیلاب به شرایط اقتصادی، محیطی، اجتماعی و زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. البته همانطور که به آن اشاره گردید، برای محاسبه ریسک کمی مانند خسارت سالانه مورد انتظار نیاز به برآورد خسارت محتمل برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد.

۳-۹- تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

این بخش به مبحث نحوه ارائه نقشه‌های مربوط به خطرپذیری سیلاب که شامل انواع نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطرپذیری می‌شود اختصاص دارد. نکته قابل توجه این است که برای محاسبه شاخص‌های ارزیابی خطرپذیری، هر منطقه به تعدادی محدوده با شرایط یکسان و مشابه تقسیم می‌شود. در حقیقت هر منطقه از تعدادی محدوده همگن به لحاظ شاخص ارزیابی تشکیل شده است که ارزیابی میزان آسیب‌پذیری و خطرپذیری بر اساس آنها انجام می‌شود. در ادامه نحوه ارائه نقشه‌های مذکور ارائه شده است.

۳-۹-۱- نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل

نقشه آسیب‌پذیری در برابر سیلاب نقشه‌ای است که بتوان بر روی آن عوامل موثر در آسیب‌پذیری منطقه را نمایش داد. همان‌طور که آسیب‌پذیری در چهار گروه محیطی (فیزیکی)، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طبقه‌بندی شده است، نقشه‌های آسیب‌پذیری نیز به چهار گروه مختلف تقسیم می‌شوند.

- نقشه‌های آسیب‌پذیری محیطی (فیزیکی)
- نقشه‌های آسیب‌پذیری اقتصادی
- نقشه‌های آسیب‌پذیری اجتماعی
- نقشه‌های آسیب‌پذیری زیست‌محیطی

هر یک از عوامل یاد شده در جدول (۳-۵) را می‌توان پس از رده‌بندی و تعیین میزان تاثیر آن بر آسیب‌پذیری به صورت یک نقشه ارائه نمود و یا کلیه عوامل را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری ترکیب و نقشه آسیب‌پذیری برای هر گروه آسیب‌پذیری ترسیم نمود. این نقشه‌ها در سیاست‌گذاری رویارویی با سیلاب، مدیریت بحران و ارائه راهکارهای کاهش خسارت سیل نقش بسزایی دارند. آنچه در ذیل به آن اشاره شده است، صرفاً نمونه‌هایی از نقشه‌های آسیب‌پذیری هستند که برای مناطق درگیر سیل ترسیم می‌شود. لیکن در هر منطقه باید با توجه به شرایط و تقاضای جامعه و همچنین تجربیات حاصله از سیلاب‌های گذشته نقشه‌های مورد نیاز را تهیه نمود.



۳-۹-۱-۱- نقشه‌های آسیب‌پذیری محیطی

۳-۹-۱-۱-۱- بر اساس کیفیت ساخت و ساز

یکی از عواملی که میزان آسیب‌پذیری محیطی یک منطقه را تعیین می‌کند، سطح آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و کیفیت آن‌ها در مواجهه با سیل می‌باشد. بر این اساس ساختمان‌های یک منطقه را با توجه به کیفیت مصالح ساخت و ساز، تعداد طبقات زیرزمین، کیفیت خاک زیر پی و پی ساختمان در حالت اشباع شدن در زمان سیل طبقه‌بندی نموده و نقشه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر سیل را ترسیم می‌کنند. به عنوان نمونه تعداد ساختمان‌های با مصالح آسیب‌پذیر در برابر سیلاب مانند ساختمان‌های خشت و گلی، آلاچیق‌ها و سازه‌های موقتی را می‌توان به عنوان معیاری برای تعیین میزان آسیب‌پذیری محیطی انتخاب نمود.

۳-۹-۱-۲- نقشه سازه‌های تقاطعی با ظرفیت نامناسب عبور سیلاب

یکی از ساده‌ترین نقشه‌هایی که به عنوان ابزاری برای اتخاذ تصمیم در مدیریت ریسک و مدیریت بحران سیل به کار می‌آید، نقشه موقعیت سازه‌های تقاطعی با آبگذری نامناسب و یا طراحی غیراصولی در مسیر راه‌های ارتباطی است. این سازه‌ها یکی از مهم‌ترین نقاط حادثه ساز در سیل می‌باشند. با در دست داشتن این نقشه، پیش از وقوع سیل نقاط حادثه ساز شناسایی و نسبت به اصلاح سازه‌های مربوطه اقدام می‌شود. همچنین در هنگام وقوع سیل نیز این نقشه به مسئولین کمک می‌کند تا مناسب‌ترین راهکار در هنگام وقوع بحران را ارائه نمایند.

۳-۹-۱-۳- نقشه آسیب‌پذیری کاربری اراضی

در این نوع نقشه‌ها، معیار دسته‌بندی اراضی منطقه سیل گیر، نوع کاربری اراضی می‌باشد. کاربری‌های اراضی مختلف با توجه به حساسیت آن‌ها در سه سطح حساسیت کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی می‌شوند. جدول (۳-۲) کاربری‌های اراضی مختلف در سه سطح آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. با استفاده از سه رنگ قرمز، نارنجی و زرد می‌توان سه سطح مختلف آسیب‌پذیری کاربری اراضی را در نقشه‌های منطقه سیلابدشت یک رودخانه نشان داد.

در این نقشه‌ها پیشنهاد می‌شود صنایع آلاینده و خطرناک که در هنگام وقوع سیل ممکن است منجر به پخش آلودگی در یک منطقه شود، به طور جداگانه و با علامت ویژه‌ای مشخص شود.

۳-۹-۱-۲- نقشه‌های آسیب‌پذیری اجتماعی

۳-۹-۱-۲-۱- بر اساس تفکیک سنی افراد

سن افراد بر میزان سطح آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر سیلاب تاثیر می‌گذارد. توانایی فرار و رویارویی با سیلاب برای کودکان، نوجوانان، میانسالان و سالمندان یکسان نیست. جدول (۳-۹) چگونگی رویارویی با سیلاب در گروه‌های سنی



مختلف را نشان می‌دهد. این جدول معیاری برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری اجتماعی در برابر سیلاب است و صرفاً بر اساس ترکیب سنی افراد تهیه شده است [۹۲].

جدول ۳-۹- شدت تاثیرپذیری از خطر برای گروه‌های سنی مختلف

گروه سنی	ضریب شدت تاثیرپذیری از خطر	توضیحات
کودکان زیر ۹ سال	۲	به لحاظ جسمی و روحی قادر به رویارویی با خطر نیستند، اما عموماً توسط والدین خود از خطر دور می‌شوند.
۱۰-۱۹ ساله	۴	به لحاظ جسمی قادرند از خطر دور شوند اما توانایی تصمیم‌گیری صحیح در لحظه خطر را ندارند. به دلیل کنجکاوی ممکن است به استقبال خطر نیز بروند.
۲۰-۲۹ ساله	۱	به لحاظ جسمی و توانایی تصمیم‌گیری آمادگی کامل برای رویارویی با خطر را دارند.
۳۰-۴۹ ساله	۳	به لحاظ جسمی و توانایی تصمیم‌گیری آمادگی کامل برای رویارویی با خطر را دارند، اما مسوولیت حفاظت از جان کودکان و سایر افراد خانواده بر عهده آنان است.
۵۰-۶۴ ساله	۴	توانایی تصمیم‌گیری مناسب در لحظه خطر را دارند، اما به لحاظ جسمی ضعیف هستند.
بالا تر از ۶۵ ساله	۵	به لحاظ جسمی و تصمیم‌گیری در شرایط مناسبی برای رویارویی با خطر را ندارند. این گروه آسیب‌پذیرترین گروه در هنگام بروز خطر هستند.

به منظور تهیه نقشه خطرپذیری، باید شاخص آسیب‌پذیری اجتماعی را بر اساس ترکیب سنی برآورد کرد و سپس شاخص را بر اساس میزان آسیب‌پذیری ناحیه‌بندی نمود.

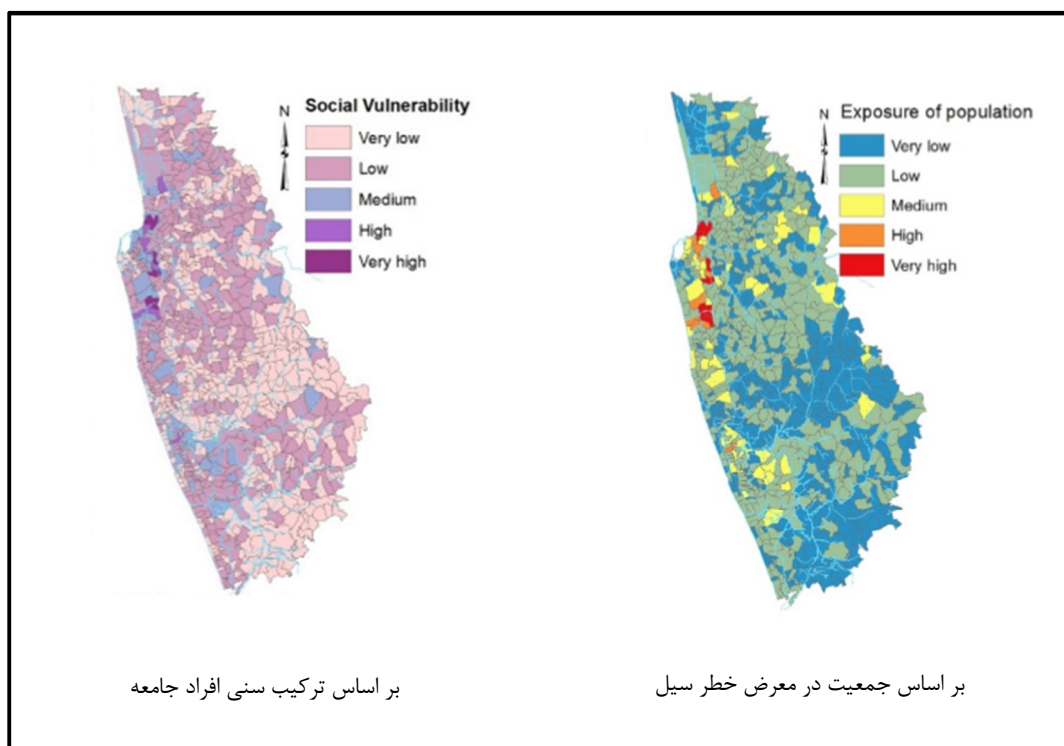
در ابتدا کل منطقه مورد مطالعه به واحدهای کوچک‌تر تقسیم می‌شود. هر واحد می‌تواند شامل محدوده‌های جمعیتی مثل روستا یا بخش‌هایی از یک شهر باشد. سپس جمعیت هر گروه سنی در شدت تاثیرپذیری ضرب می‌شود و مقادیر مذکور با یکدیگر جمع می‌شود تا کل جمعیت وزن دهی شده (W_i) یک محدوده به دست آید. سپس در هر محدوده جمعیت وزن دهی شده (W_i) بر میانگین جمعیت‌های وزن دهی شده کل منطقه ($Avg W_i$) تقسیم می‌شود تا شاخص آسیب‌پذیری جمعیت به دست آید. شاخص آسیب‌پذیری جمعیت به ۵ سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم می‌شود.

جمعیت وزن دهی شده یک محدوده (W_i)

شاخص آسیب‌پذیری جمعیت = $\frac{\text{جمعیت وزن دهی شده یک محدوده } (W_i)}{\text{میانگین جمعیت‌های وزن دهی شده کل محدوده‌ها } (Avg W_i)}$

نمونه‌ای از نقشه آسیب‌پذیری اجتماعی که بر اساس ترکیب سنی جمعیت ارائه شده، در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است.





شکل ۳-۱۲- نمونه‌ای از نقشه‌های آسیب‌پذیری اجتماعی

۳-۹-۲-۱-۲- بر اساس توانایی افراد جامعه

یکی از نقشه‌هایی که در زمینه آسیب‌پذیری اجتماعی در مراجع به آن اشاره شده است، نقشه‌ای است که معیاری از درصد افراد ناتوان و بیمار جامعه را نشان می‌دهد. به این منظور تعداد افراد دارای بیماری مزمن که توانایی فرار به موقع و رویارویی با خطر را ندارند با تعداد افراد با سن بسیار بالا (بالتر از ۷۵ سال) را جمع نموده و بر جمعیت کل محدوده درگیر سیلاب تقسیم می‌شود. نسبت مذکور به عنوان معیار آسیب‌پذیری افراد جامعه بر روی نقشه منطقه مورد مطالعه پیاده‌سازی می‌شود.

۳-۹-۲-۱-۳- بر اساس تراکم جمعیت

به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری اجتماعی بر اساس جمعیتی که در معرض سیل قرار می‌گیرند، پس از تقسیم نمودن کل منطقه به محدوده‌های مجزا، جمعیت هر محدوده بر میانگین کل جمعیت منطقه تقسیم می‌شود. شاخص حاصله بیانگر تراکم جمعیت در هر محدوده و میزان آسیب‌پذیری جمعیت در برابر سیل می‌باشد. شاخص در معرض خطر بودن جمعیت ساکن در سیلاب‌دشت به پنج سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم‌بندی می‌شود. در جدول (۳-۱۰) طبقه‌بندی سطوح آسیب‌پذیری برای جمعیت در معرض خطر ارائه شده است. شکل (۳-۱۲) نمونه یک نقشه آسیب‌پذیری بر اساس معیار تراکم جمعیت را نشان می‌دهد.



جدول ۳-۱۰ طبقه‌بندی سطوح آسیب‌پذیری برای جمعیت در معرض خطر سیل

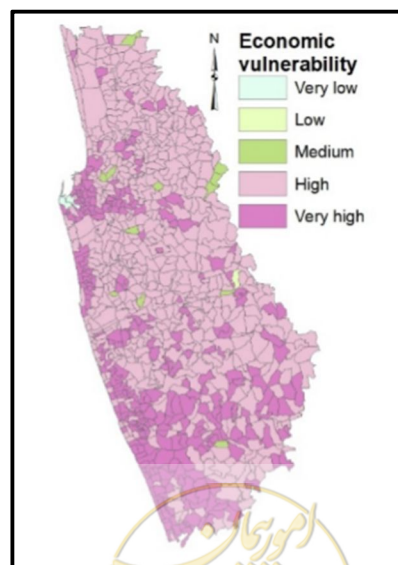
نسبت جمعیت هر محدوده به میانگین جمعیت کل محدوده‌ها	سطوح در معرض بودن	شاخص جمعیت در معرض خطر
۰-۱	خیلی کم	۱
۱-۲	کم	۲
۲-۳	متوسط	۳
۳-۴	زیاد	۴
بزرگ‌تر از ۴	خیلی زیاد	۵

۳-۱-۹-۳- نقشه آسیب‌پذیری اقتصادی

یکی از انواع نقشه‌های آسیب‌پذیری که خسارت غیرمستقیم و نامحسوس سیل در دوره زمانی پس از وقوع سیل را منعکس می‌کند، نقشه آسیب‌پذیری اقتصادی است. به عنوان نمونه نقشه آسیب‌پذیری که بر مبنای جمعیت شاغل و بیکار ترسیم می‌شود، می‌تواند گویای این مطلب باشد. به این منظور میزان جمعیت شاغل، بیکار و جمعیت غیر فعال در هر محدوده تعیین می‌شود. جمعیت غیر فعال جمعیتی است که بیکار بوده و در انتظار یافتن شغل نیز نمی‌باشند مانند کودکان، سالمندان و افرادی که قصد اشتغال ندارند. اما جمعیت بیکار به آن دسته اطلاق می‌شود که در حال حاضر بیکار ولی درصدد یافتن شغل می‌باشند.

سپس به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری اقتصادی، با توجه به این که جمعیت بیکار و غیرفعال به لحاظ درآمد به جمعیت شاغل وابسته هستند، نسبت جمع جمعیت بیکار و غیرفعال به کل جمعیت محدوده مورد مطالعه به عنوان شاخص آسیب‌پذیری اقتصادی در نظر گرفته می‌شود [۹۲]. در شکل (۳-۱۳) نمونه‌ای از نقشه آسیب‌پذیری اقتصادی که با این روش تهیه شده، نشان داده شده است.

$$\text{شاخص آسیب‌پذیری اقتصادی} = \frac{\text{جمعیت بیکار} + \text{جمعیت غیرفعال}}{\text{کل جمعیت منطقه}}$$



شکل ۳-۱۳- نمونه‌ای از نقشه آسیب‌پذیری اقتصادی بر مبنای جمعیت شاغل

۳-۹-۱-۴- نقشه آسیب‌پذیری زیست‌محیطی

همان‌طور که در بخش تعیین آسیب‌پذیری به آن اشاره شد، به منظور تعیین آسیب‌پذیری زیست‌محیطی، معیارهای تاثیرگذار در شدت آسیب‌پذیری توسط کارشناسان خبره وزن‌دهی می‌شوند. سپس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری میزان آسیب‌پذیری زیست‌محیطی تخمین زده می‌شود. معیارهای زیست‌محیطی می‌تواند جنس خاک تشکیل‌دهنده حوضه آبریز، فرسایش پذیر بودن آن، نرخ تخریب یا احیای جنگل‌ها، تعداد صنایع آلاینده در پهنه سیلابی و مواردی از این قبیل باشد. در صورت نیاز به ارائه نقشه‌های مجزا مانند نقشه آسیب‌پذیری خاک، نقشه آسیب‌پذیری نسبت به آلاینده‌ها و سایر موارد نقشه‌های جداگانه تهیه می‌شود.

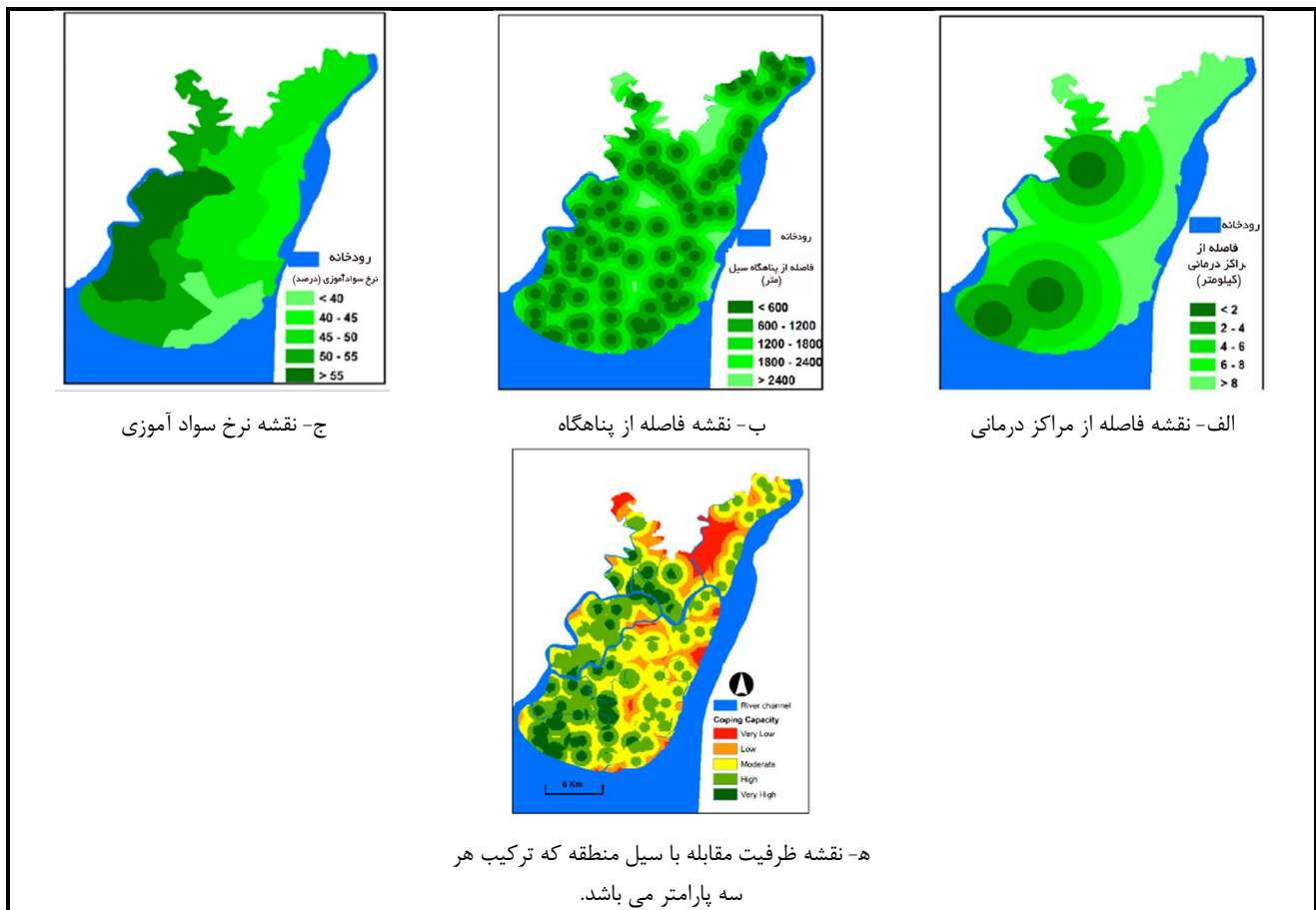
۳-۹-۱-۵- نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل

ظرفیت مقابله با سیل به توانایی افراد، سازمان‌ها و جامعه برای رویارویی با پدیده سیل و مدیریت اثرات بحران با استفاده از توانایی‌ها و ظرفیت‌های منطقه و جامعه اشاره دارد [۶۶] و در سه مرحله پیش از وقوع سیل، حین وقوع و پس از آن تعریف می‌شود. در صورتی که از بین کلیه پارامترهای موثر در میزان آسیب‌پذیری فقط پارامترهای تاثیرگذار در توانایی مقابله و رویارویی با سیل در یک منطقه یا جامعه در نظر گرفته شده و بر روی نقشه منعکس شوند، نقشه‌های تولید شده نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل می‌باشند. مهم‌ترین معیارهای توان مقابله با سیل عبارتند از سطح آگاهی افراد و آموزش‌های پیش از وقوع سیل، کارایی سیستم‌های هشدار سیل، فاصله تا پناهگاه، فاصله تا مراکز درمانی و کمک‌رسانی (هلال احمر، آتش‌نشانی)، نرخ سواد آموزی، میزان ذخیره مواد غذایی و دارویی، فراهم بودن شرایط فرار و توانایی بازسازی منطقه پس از سیل [۷۶].

تعداد جمعیت باسواد در جامعه علاوه بر این که بر نحوه دریافت آموزش پیش از وقوع سیل و استفاده از نقشه‌های راهنمای سیل تاثیرگذار است، یک معیار برای اتخاذ مناسب‌ترین تصمیم در موقعیت بحرانی نیز می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که خانواده‌های با افراد تحصیل کرده ظرفیت مقابله بهتری با اثرات بحران در مقایسه با خانواده‌های بدون افراد تحصیل کرده نشان می‌دهند [۶۶].

نمونه‌ای از نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل که بر اساس سه معیار فاصله از پناهگاه، فاصله از مراکز درمانی و کمک‌رسانی و نرخ سوادآموزی تهیه شده است، در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است. در پیوست ۲ نیز نمونه‌هایی از این نوع نقشه‌ها که برای شهر نهاوند تهیه شده، ارائه شده است [۲۲]. وجود این نقشه‌ها پیش از بروز بحران در هر شهر یکی از نیازهای اولیه اتخاذ تصمیمات مهم در شرایط بحرانی می‌باشد.





شکل ۳-۱۴- نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل در یک منطقه [۶۶]

۳-۹-۲- نقشه‌های خطرپذیری سیل

نقشه‌های خطرپذیری سیل به دو دسته کلی خطرپذیری کیفی و کمی تقسیم‌بندی می‌شود. خطرپذیری کمی نیز به دو صورت خسارت مالی و تلفات جانی بیان می‌شود. در حالت خطرپذیری کیفی خسارت مالی در واحد پول برآورد نمی‌شود و فقط میزان خطرپذیری بر اساس شدت آن به درجات مختلف خطرپذیری کم، متوسط و یا زیاد و یا در صورت لزوم با درجات خطر بیش‌تر تعریف می‌شود. در این بخش نحوه ارائه نقشه‌های خطرپذیری کمی مالی ارائه شده است. در خصوص نقشه‌های خطرپذیری کیفی یا تلفات جانی با توجه به سطوح خطرپذیری و یا تعداد تلفات محتمل نقشه‌ها سطح‌بندی خواهند شد.

نقشه خطرپذیری کمی در پنج سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۳-۱۱).

- سطح خطرپذیری خیلی کم: مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۰ تا ۱۵ درصد دارایی‌های منطقه باشد.
- سطح خطرپذیری کم (زرد): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۱۵ تا ۳۰ درصد دارایی‌های منطقه باشد.



- سطح خطرپذیری متوسط (نارنجی): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد.
- سطح خطرپذیری زیاد (سبز): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۵۰ تا ۷۵ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد.
- سطح خطرپذیری خیلی زیاد (قرمز): مناطقی که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد (تخریب کامل).

جدول ۳-۱۱- نحوه تهیه نقشه خطرپذیری کمی (مالی)

سطح خطر	توضیحات	عوارض پیشنهادی در نقشه	شیوه ارائه نقشه	نحوه ارائه در نقشه‌ها
خیلی کم	مناطق که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۰ تا ۱۵ درصد دارایی‌های منطقه باشد.	تاسیسات زیربنایی مهم و حساس مانند بیمارستان‌ها، مدارس، فرودگاه‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط راه آهن	منحنی بسته رنگ: ۸۰ و ۲۰۸ و ۱۴۶	
کم	مناطق که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۱۵ تا ۳۰ درصد دارایی‌های منطقه باشد.		منحنی بسته رنگ: ۰ و ۲۵۵ و ۲۵۵	
متوسط	مناطق که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۳۰ تا ۵۰ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد.		منحنی بسته رنگ: ۱۹۲ و ۱۱۲ و ۰	
زیاد	مناطق که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۵۰ تا ۷۵ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد.		منحنی بسته رنگ: ۰ و ۱۹۲ و ۲۵۵	
خیلی زیاد	مناطق که در آن‌ها خسارت سالانه پیش‌بینی شده بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد کل دارایی‌های منطقه باشد (تخریب کامل).		منحنی بسته رنگ: ۰ و ۰ و ۲۵۵	



فصل ۴

مراحل تهیه نقشه‌های سیلاب



۴-۱- مقدمه

بر اساس توضیحاتی که در فصول قبل در رابطه با نقشه‌های سیل ارائه گردید، در این فصل مراحل و گام‌های اصلی برای تهیه نقشه‌های خطر و خطرپذیری ارائه می‌شود تا کاربرانی که درصدد تهیه این نقشه‌ها هستند مطابق با این ضابطه مراحل کار را شناسایی و دنبال نمایند. برای تهیه نقشه سیلاب یک منطقه، ابتدا باید نوع نقشه مورد نظر مشخص شود. در فصل اول انواع نقشه‌های سیل و کاربردهای آن‌ها تشریح گردید. هدف از تهیه نقشه‌ها و نیاز منطقه مورد مطالعه، میزان هزینه قابل اختصاص و اطلاعات و داده‌های موجود و قابل دسترس، مواردی هستند که در انتخاب نوع نقشه تعیین کننده‌اند. از این جهت ممکن است با توجه به برنامه‌ریزی‌های انجام شده، تهیه هر یک از نقشه‌های پارامترهای جریان، ناحیه‌بندی خطر سیل، آسیب‌پذیری، خطرپذیری و یا نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل در منطقه ضروری باشد. لذا در اولین مرحله باید نوع نقشه یا نقشه‌های مورد نیاز تعیین شود. در ادامه‌ی فصل مراحل تهیه نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیل به تفکیک شرح داده شده است.

۴-۲- مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل

مرحله اول: جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و انجام بازدیدهای میدانی

اولین گام برای تهیه نقشه‌های خطر سیل، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و انجام بازدیدهای میدانی می‌باشد. با توجه به این‌که برای تهیه نقشه خطر سیل باید اطلاعاتی در اختیار باشد که بتواند در تعیین پارامترهای جریان به ما کمک کند لذا جمع‌آوری آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری، تهیه نقشه‌های توپوگرافی رودخانه، اطلاعات حوضه آبریز، آثار و شواهد سیلاب‌های رخ داده و جستجو در اسناد و مدارک گذشته رودخانه مورد مطالعه ضروری است.

مرحله دوم: استخراج پارامترهای هیدرولیکی جریان

به منظور تهیه نقشه‌های خطر سیل باید پارامترهای جریان از جمله پهنه‌بندی، سرعت و عمق جریان و یا سرعت پخش سیل مشخص شود. بدین منظور با توجه به دقت مورد نیاز مطالعات از هر یک از روش‌های تعیین خطر سیل مانند روش تاریخی، روش ژئومورفولوژیکی و روش مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی که در بخش ۲-۲ ارائه شده است، استفاده می‌شود. با انجام مدل‌سازی جریان و استخراج پارامترهای هیدرولیکی این امکان وجود خواهد داشت که نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، سرعت و عمق جریان و سرعت پخش سیل به دست آید.

مرحله سوم: تهیه نقشه‌های خطر سیل

در این مرحله پس از مدل‌سازی و استخراج پارامترهای جریان نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، تغییرات سرعت و عمق جریان و نقشه سرعت پخش سیل تهیه می‌شود. همچنین به منظور تهیه نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل، منطقه مورد



بررسی بر اساس روش ناحیه‌بندی خطر به ناحیه‌های مختلف تقسیم شده و نقشه مورد نظر برای سطوح مختلف خطر سیل تهیه می‌شود. (بخش‌های ۲-۴ و ۲-۵)

۴-۳- مراحل تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل

مرحله اول: تعیین نوع نقشه سیلاب مورد نیاز

با توجه به این که نقشه‌های خطرپذیری سیلاب به سه دسته کلی نقشه‌های آسیب‌پذیری، خطرپذیری (ریسک) و ظرفیت مقابله با سیل تقسیم‌بندی می‌شوند، در نخستین گام باید نوع نقشه مورد نیاز تعیین شود.

مرحله دوم: انجام بازدیدهای میدانی و جمع‌آوری اطلاعات اولیه مورد نیاز

در این مرحله با توجه به این که چه نوع نقشه خطرپذیری باید ارائه گردد، اطلاعات مورد نیاز از جمله اسناد و مدارک موجود، نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات اقتصادی و اجتماعی منطقه و بازدیدهای میدانی جمع‌آوری می‌شود.

مرحله سوم: انجام مطالعات مورد نیاز نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل

در این مرحله مطالعات کاربری اراضی، اقتصادی و اجتماعی، زیست‌محیطی و آسیب‌پذیری انجام می‌شود. این مطالعات در حقیقت اطلاعاتی را در اختیار قرار می‌دهد که بر اساس آن نقشه‌های آسیب‌پذیری فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ترسیم می‌شوند. لذا ضروری است ضمن تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به محدوده‌های کوچک‌تر با مشخصات مشابه به لحاظ پارامترهای آسیب‌پذیری، معیارهای تاثیرگذار در میزان آسیب‌پذیری شناسایی شده و سطح آسیب‌پذیری بر اساس شاخص‌های تعیین شده مشخص گردد. (بخش‌های ۳-۱ تا ۳-۷)

مرحله چهارم: تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل

در این مرحله بر اساس شاخص‌های حاصله از مرحله قبل، نقشه‌های آسیب‌پذیری با توجه به نیاز منطقه و شرایط موجود ترسیم می‌شوند. نقشه‌های آسیب‌پذیری با توجه به انواع آسیب‌پذیری به ۴ دسته فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی تقسیم می‌شود و در هر نوع آسیب‌پذیری معیارهای متفاوتی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نقشه‌های آسیب‌پذیری برای هر معیار به طور جداگانه و یا برای هر نوع آسیب‌پذیری و یا به صورت ترکیب آسیب‌پذیری‌ها می‌تواند تهیه شده و مورد استفاده قرار گیرد. (بند ۳-۹-۱)



مرحله پنجم: ارزیابی خطرپذیری سیل

در صورتی که تهیه نقشه خطرپذیری (ریسک) مد نظر باشد، باید نوع ارزیابی خطرپذیری به لحاظ کیفی یا کمی مشخص گردد. نوع اطلاعات در دسترس، نیاز طرح، نوع آسیب‌پذیری تهدید کننده منطقه مورد مطالعه مواردی هستند که نوع ارزیابی خطرپذیری را تهدید می‌کنند.

روش‌های ارزیابی خطرپذیری در بخش ۳-۵ ارائه شده است. در صورت نیاز به ارزیابی کیفی خطرپذیری از روش‌های وزن‌دهی به معیارها و یا روش ماتریس ارزیابی کیفی و در صورت نیاز به ارزیابی کمی خطرپذیری محاسبات میزان خسارت مورد انتظار سالانه انجام می‌شود.

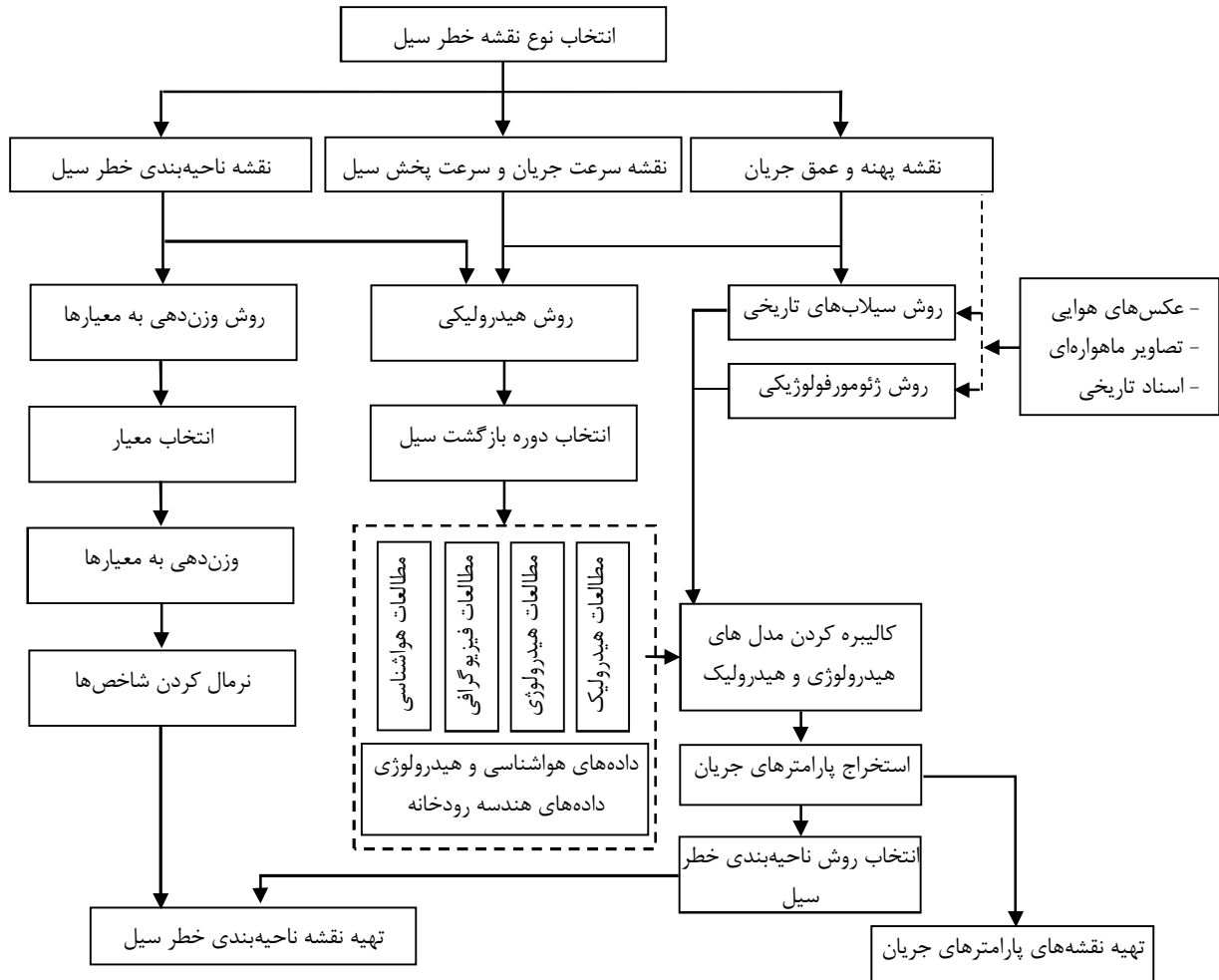
مرحله ششم: تهیه نقشه خطرپذیری سیل

پس از ارزیابی خطرپذیری کمی یا کیفی در منطقه مورد مطالعه، نقشه خطرپذیری در سطوح خطرپذیری کم تا زیاد تهیه و ترسیم می‌شود. (بند ۳-۹-۲)

مرحله هفتم: تهیه نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل

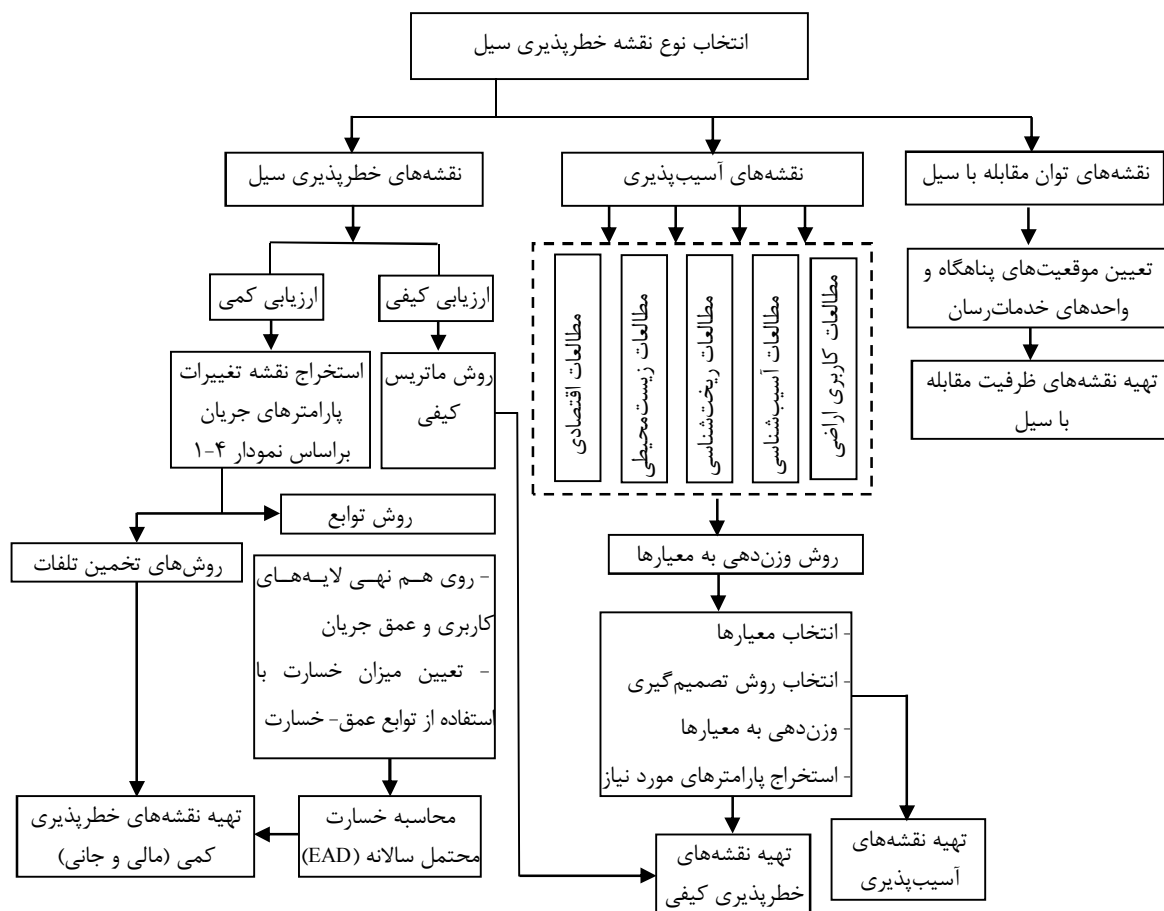
اگر نقشه‌های ظرفیت مقابله با سیل که عموماً در مبحث مدیریت بحران کاربرد فراوانی دارند، مد نظر باشد باید مواردی همچون موقعیت پناهگاه‌ها، واحدهای کمک‌رسانی و امداد و در صورت نیاز نرخ سواد آموزی نیز تعیین شود. سپس اطلاعات حاصله بر روی نقشه‌ها منعکس شده و نقشه ظرفیت مقابله با سیل تهیه می‌شود. (بند ۳-۹-۱-۵) نمودارهای (۴-۱) و (۴-۲) مراحل مختلف تهیه نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیل را نشان می‌دهد.





نمودار ۴-۱- مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیل





نمودار ۴-۲- مراحل تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل



پیوست ۱

تجربیات جهانی در تهیه نقشه‌های

سیلاب



پ.۱-۱- مقدمه

استفاده از تجربیات سایر کشورها بالاخص کشورهای پیشرو در زمینه کنترل سیلاب و کاهش بهینه خسارت سیل می تواند در زمینه ارائه بهترین روش‌های تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب موثر باشد. لذا در این فصل شرح مختصری از روند تهیه و نحوه ارائه نقشه‌های خطر و خطرپذیری سیلاب در کشورهای مختلف ارائه شده است.

پ.۱-۲- بررسی تجربیات جهانی در زمینه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

اولین نقشه‌های سیلاب در دنیا مربوط به کشورهای آمریکا و کانادا در دهه ۱۹۷۰ بوده است. این نقشه‌ها عموماً به ارائه نقشه‌های پهنه سیل گیر رودخانه محدود بوده و پارامترهای دیگر جریان مانند سرعت و عمق جریان سیل ملاک طبقه‌بندی خطر سیل قرار نگرفته‌اند. تهیه نقشه‌های سیلاب در کشورهای اروپایی نیز از دهه ۱۹۹۰ آغاز شد. اما تهیه این نقشه‌ها در قالب نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در اروپا از سال ۲۰۰۲ به طور جدی انجام شد. در آسیا نیز چین و ژاپن در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ اولین کشورهایی بودند که اقدام به تهیه نقشه‌های سیل کردند. پس از آن و به خصوص در دهه گذشته هر یک از کشورها با توجه به شرایط خاص خود اقدام به تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب نموده است. جدول (پ.۱-۱) خلاصه‌ای از وضعیت نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در جهان را نشان می‌دهد. به طور کلی ویژگی‌های نقشه‌های سیل در سایر کشورها را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- تهیه نقشه‌های خطر سیل بر اساس ناحیه‌بندی خطر با درجات مختلف کم، متوسط و زیاد که با توجه به پهنه سیل، عمق و سرعت جریان صورت می‌پذیرد.
- تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای تاثیرگذار در تعیین میزان خطرپذیری و میزان آسیب‌پذیری منطقه در برابر سیلاب تهیه می‌شود.
- تهیه نقشه‌های سیلاب با لحاظ نمودن پدیده شکست ناگهانی سازه‌های کنترل سیل در هنگام وقوع سیلاب مانند سیل‌بندها که موجب تشدید میزان خطرپذیری سیلاب می‌شود.
- ارائه نقشه‌های تخلیه فوری و فرار در هنگام وقوع سیل
- ارائه نقشه‌های خطرپذیری به صورت آنلاین برای استفاده عموم مردم به منظور افزایش آگاهی در زمینه منطقه بندی خطر سیل و ایجاد آمادگی در برابر سیلاب
- نقشه‌های سیلاب عموماً برای سه دوره بازگشت با احتمال وقوع کم، متوسط و زیاد ارائه می‌شوند.
- ارائه برنامه استقرار کاربری اراضی بر اساس منطقه‌بندی خطر و خطرپذیری
- به روزرسانی نقشه‌های خطرپذیری سیلاب با توجه به عوامل تغییردهنده میزان خطرپذیری مانند تغییرات آب و هوایی، تغییر پراکنش جمعیت، تغییر کاربری اراضی سیلاب‌دشت‌ها، احداث سازه‌های کنترل سیلاب و سایر موارد هر چندین سال یک بار



- ارائه برنامه‌های مدیریت خطرپذیری سیل مبتنی بر پیشگیری، محافظت و آمادگی در برابر سیلاب
- اجرای طرح بیمه سیل توسط دولت یا شرکت‌های بیمه خصوصی

پ.۱-۲-۱- کشور آمریکا

در کشور آمریکا، مسوولیت تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب، ارزیابی و مدیریت خطرپذیری (MAP) بر عهده مرکز مدیریت بحران آمریکا (FEMA^۱) می‌باشد. هدف اصلی این مرکز تهیه نقشه‌های خطر سیلاب با دقت بالا است که به منظور دستیابی به این هدف از همکاری مردم، ایالت‌ها و مراکز مختلف بهره می‌گیرد. این مرکز نقشه‌هایی را به صورت آنلاین در اختیار مردم و مسوولین قرار می‌دهد که با در اختیار داشتن یک آدرس یا موقعیت خاص می‌توانند به میزان خطر سیلاب در آن منطقه دست یابند. تهیه نقشه‌های خطر سیلاب در آمریکا بخشی از پروژه بیمه سیل می‌باشد. در حقیقت تهیه نقشه‌های خطر سیلاب اولین گام برای انجام بیمه سیلاب است. نقشه‌های سیلاب در دوره‌های زمانی متناوب بر اساس اطلاعات شرکت‌های بیمه‌ای و ارزیابی خطرپذیری منطقه به روزرسانی می‌شوند. شرکت‌های بیمه اطلاعات جامعی در زمینه جریان سیلاب رودخانه‌ها، طوفان‌ها، آنالیز هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و نقشه‌های بارش و توپوگرافی در اختیار دارند [۹۴]. مرکز مدیریت بحران آمریکا سه نوع نقشه سیلاب تهیه می‌کند: نقشه بیمه سیل، نقشه حدود پهنه سیلاب و نقشه خطرپذیری سیل. نقشه‌های بیمه سیل کامل‌ترین نقشه‌هایی است که تهیه می‌شوند و شامل همه اطلاعات مورد نیاز می‌باشد [۹۴]. در کشور آمریکا نقشه‌های فرار و تخلیه در زمان سیلاب نیز تهیه شده است.

پ.۱-۲-۲- کشور کانادا

در کشور کانادا، تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب بر عهده دولت این کشور بوده که حدوداً از سال ۱۹۷۵ با تهیه نقشه‌های پهنه سیل گیر رودخانه آغاز شده است. در سال ۲۰۱۵ و پس از انجام بررسی جامعی در خصوص نقشه‌های سیل «سری دستورالعمل‌های تهیه نقشه سیلاب‌دشت فدرال^۲» با همکاری سازمان‌های مختلف و گروه‌های فنی و تخصصی تهیه شد. این سری شامل ۹ سند^۳ ارائه شده در رابطه با مدیریت سیل می‌باشد که برخی از آن‌ها هنوز در دست بررسی می‌باشند. به عنوان مثال مجموعه «ساختار تهیه نقشه سیلاب‌دشت فدرال^۴» در مارس ۲۰۱۷ منتشر شده و مجموعه «ارزیابی خطر سیل» در حال تهیه می‌باشد. هدف این طرح، ارائه یک رویکرد کلی برای تهیه نقشه‌های سیل است. اگرچه انواع مختلفی از نقشه‌های سیل در دنیا تعریف شده، ولی در این طرح چهار نوع نقشه از اهمیت بالاتری

1- Federal Emergency Management Agency

2- The Federal Floodplain Mapping Guidelines Series

3- Documents

4- Federal Floodplain Mapping Framework



برخوردار است که در بردارنده ویژگی‌های مهم سیل می‌باشد. ۱- نقشه پهنه سیلاب در صورتی که از مقطع اصلی رودخانه بیرون نزنند، ۲- نقشه خطر سیل، ۳- نقشه خطرپذیری سیل و ۴- نقشه اطلاع‌رسانی سیل. تمامی سندهای موجود بر اساس نتایج پژوهش‌های علمی و تکنیکی منتشر شده و به صورت دوره‌ای به‌روز می‌شوند [۵۶].

پ. ۱-۲-۳- اروپا

اولین نقشه‌هایی که در اروپا تهیه شد مربوط به اواخر دهه ۱۹۹۰ می‌باشد. اما سیلاب تابستان سال ۲۰۰۲ رودخانه دانوب در سه کشور آلمان، جمهوری چک و اتریش، نقطه عطفی در نقشه‌های سیلاب اروپا ایجاد کرد. وقوع این سیل موجب شد تا سیاست‌گذاران بخش مدیریت سیلاب و مخاطرات ناشی از آن در اتحادیه اروپا درصدد برآیند تا راهکار جدی و تاثیرگذاری برای مقابله با پدیده سیلاب ارائه دهند. اولین دستورالعملی که در این راستا تدوین شد، دستورالعمل جلوگیری، حفاظت و کاهش آثار مخرب سیلاب توسط یک گروه فنی از کشورهای فرانسه و هلند بود. تلاش‌های صورت گرفته منجر به تشکیل مجموعه تبادل اطلاعات بین کشورهای اروپایی (EXCIMAP^۱) در خصوص موضوع سیلاب گردید. این مجموعه متشکل از ۴۰ نماینده از ۲۴ کشور اروپایی بوده و هدف اصلی آن‌ها، جمع‌آوری و تبادل اطلاعات، داده‌ها و تجربیات در خصوص رویارویی با سیلاب در کشورهای اروپایی بود. در نهایت، مجموعه مذکور اقدام به تدوین دستورالعملی به نام «راهنمای تهیه نقشه‌های سیلاب در اروپا» در سال ۲۰۰۶ گردید. در این دستورالعمل علاوه بر ارائه روش‌های تهیه نقشه‌های سیلاب، نمونه‌های مختلف از نقشه‌های رودخانه‌های اروپایی را نیز نشان داده است [۶۰].

در انگلیس، فرانسه و اتریش، شرکت‌های بیمه تحت نظر دولت و یا به طور مستقل اقدام به تهیه نقشه‌های سیلاب می‌کنند و عموماً نقشه‌هایی را تهیه می‌کنند که پهنه سیل را نشان می‌دهد. معمولاً اطلاعات خطرپذیری سیل که توسط شرکت‌های بیمه‌ای تهیه می‌شوند، به صورت محرمانه هستند.

در ۲۳ اکتبر ۲۰۰۷ اتحادیه اروپا (EU) یک سری دستورات (قوانین)^۲ برای ارزیابی و مدیریت خطر سیل با تاکید بر دوره بازگشت و بزرگی سیل و همچنین اثرات ناشی از آن، ارائه نمود [۸۰]. از آن پس EXCIMAP تجربیات کشورهای مختلف در خصوص نحوه تهیه نقشه‌ها و روش و متدولوژی کار را برای انواع مختلف سیلاب شامل سیل ناشی از رودخانه، نزولات آسمانی، ساحلی، آب زیرزمینی، تنداب کوهستانی و سیل شهری را در دستور کار قرار داد. همه کشورهای اروپایی عضو این کمیته ملزم شدند موارد زیر را تا زمان معین انجام دهند: ۱- ارزیابی اولیه برای مشخص کردن حوضه رودخانه‌ها و مناطق ساحلی در معرض خطر سیل تا پایان سال ۲۰۱۱، ۲- تهیه نقشه‌های خطر سیل برای این مناطق تا پایان سال ۲۰۱۳ و ۳- برنامه‌های مدیریت خطر سیل مبتنی بر پیشگیری، محافظت و آمادگی تا پایان سال ۲۰۱۵ [۷۴].

1- European Exchange Circle

2- European Directive (2007/60/EC)



تا نوامبر ۲۰۱۳، تقریباً اکثریت اعضا گزارشی در مورد تعیین مناطق دارای پتانسیل بالای خطر سیل (APSFR^۱) ارائه کردند. در هر کشور، نقشه‌ها برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف تهیه شده‌اند که از ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ سال متغیر می‌باشند [۴۴ و ۴۵]. در بسیاری از کشورها دوره بازگشت ۱۰۰ سال به عنوان محدوده‌های خطر متوسط در نظر گرفته شده است، اما دوره بازگشت بالاتر مانند ۱۰۰۰ سال نیز در برخی کشورها مانند فلاندر، انگلیس، مجارستان و لهستان استفاده شده‌اند. حتی در برخی کشورها مانند هلند دوره بازگشت بسیار بالا (۱۰۰۰۰ سال) نیز استفاده شده است. اطلاعات پهنه سیل می‌تواند همراه با اطلاعات عمق و سرعت سیل نیز بیان شود. وضعیت نقشه‌های سیلاب برای مهم‌ترین کشورهای اروپایی به شرح زیر می‌باشد:

انگلیس: در کشور انگلیس نقشه‌های خطر سیل برای سه دوره بازگشت ۳۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ترسیم شده که به ترتیب مربوط به خطر سیل کم، متوسط و زیاد است. هدف عدم ساخت و ساز در دو منطقه با خطر متوسط و زیاد و ساخت و سازهای مدیریت شده در مناطق با خطر کم است. نقشه‌های بازبینی شده خطر سیل، در سال ۲۰۱۳ به صورت آنلاین در اختیار عموم قرار گرفته‌اند. نقشه‌های خطرپذیری سیلاب برای مناطقی که جمعیت آن بالای ۳۰۰۰۰ نفر است و بر اساس نقشه‌های خطر سیل و با اضافه نمودن عوارضی مانند بیمارستان‌ها، تاسیسات زیربنایی و سایر موارد مهم تهیه شدند. این نقشه‌ها نیز به صورت آنلاین قابل دسترسی می‌باشند و اطلاعات تکمیلی برآورد خطرپذیری سیلاب مانند اطلاعات محل بیمارستان‌ها، وسایل نقلیه عمومی و سایر موارد نیز در نقشه‌ها ارائه شده است [۷۷].

آلمان: در کشور آلمان نقشه سیلاب برای اغلب رودخانه‌ها با حوضه آبریز بیش‌تر از ۱۰ کیلومترمربع در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ تهیه شده است. ترسیم نقشه‌ها برای سیلاب ۱۰۰ ساله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اما این مساله برای رودخانه‌ای مانند رودخانه راین به ۵۰۰ سال می‌رسد. آنلاین نمودن تمامی نقشه‌ها تا پایان سال ۲۰۱۵ صورت گرفته است [۷۷].

هلند: در کشور هلند نقشه سیلاب رودخانه‌های کل کشور و برای یک دوره بازگشت تهیه شده است به جز موارد خاص که دوره بازگشت‌های متفاوتی در نظر گرفته شده است. برای دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال، نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و برای دوره بازگشت ۳۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ سال نقشه سیلاب با مقیاس ۱:۵۰۰۰ وجود دارد. بعضی نقشه‌ها آنلاین هستند اما یک سایت متمرکز برای کل کشور وجود ندارد [۷۷].

فرانسه: در فرانسه نقشه سیلاب برای کلیه رودخانه‌های کشور وجود دارد. نقشه‌ها عموماً برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ترسیم شده‌اند، اما بعضی شامل چند دوره بازگشت نیز می‌باشند. نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در این کشور برای

1- Identification of Areas of Potential Significant Flood Risk



سه منطقه خطر سیل شامل دوره بازگشت ۱۰۰ سال، دوره بازگشت بالاتر از ۱۰۰ و کم‌تر از ۱۰۰ تهیه می‌شوند. این نقشه‌ها برای کل کشور به صورت آنلاین در اختیار عموم قرار دارند [۷۷].

پ.۱-۲-۴- ژاپن

ژاپن کشوری است که به دلیل قرارگیری در شرایط طبیعی خاص از جمله نوع توپوگرافی و آب و هوای ویژه، ۵۰ درصد جمعیت و ۷۵ درصد دارایی‌های آن در مناطق مستعد سیلاب واقع شده‌اند [۱]. همین ویژگی موجب شد تا کشور ژاپن از جمله کشورهای پیشرو در زمینه تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب و ارائه برنامه‌های جامع مدیریت بحران باشد. تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در این کشور با هدف مدیریت غیرسازه‌ای سیلاب از سال ۱۹۹۴ توسط شهرداری‌ها و با راهنمایی وزارت اراضی، تاسیسات زیربنایی و حمل و نقل و گردشگری آغاز شد و برنامه مقابله با سیلاب در دو نوبت در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ اصلاح شد که در نهایت منجر به انتشار آیین‌نامه «تهیه نقشه‌های خطرپذیری» در سال ۲۰۰۵ گردید. این آیین‌نامه مبنای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در ژاپن و بسیاری از کشورهای آسیای شرقی شد. تاکنون شهرداری‌ها برای ۱۵۰۰ شهر ژاپن نقشه‌های خطرپذیری سیلاب را منتشر کرده‌اند.

نقشه‌هایی که در ژاپن تهیه می‌شوند عبارتند از:

- نقشه سیلاب‌های تاریخی رودخانه‌ها بر اساس عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، داغاب سیل و گفتگو با افراد محلی
 - نقشه پهنه سیلاب بر اساس مدل‌سازی جریان سیلاب در رودخانه‌ها
 - نقشه عمق سیلاب
 - نقشه‌های تخلیه مناطق شامل منطقه‌بندی محل‌های تخلیه، مشخص کردن پناهگاه‌ها، تعیین مسیر تخلیه، تعیین مناطق حادثه خیز و سیل‌گیر، تعیین وسایل لازم برای تخلیه و سایر ملزومات
- علاوه بر تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب، اطلاع‌رسانی، آگاهی‌سازی و آموزش مردم پیش از وقوع سیلاب و نحوه مقابله با سیلاب در مواقع بحرانی در کشور ژاپن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین برنامه‌های مدونی برای کلیه افراد و ارگان‌هایی که از نقشه‌های خطرپذیری سیلاب استفاده می‌کنند وجود دارد. وظایف ارگان‌های ذیربط (شهرداری‌ها و سایر ارگان‌های مربوطه) و ساکنان محلی در وضعیت عادی و قبل از وقوع سیلاب و همچنین موقعیت‌های اضطراری به تفکیک مشخص شده است. به عنوان مثال دولت موظف است نقشه‌های سیل‌گیری منطقه، طرح‌های مقابله با بحران سیل و نقشه مسیرهای تخلیه و فرار ساکنان را پیش از وقوع سیلاب در اختیار مردم قرار دهد و ساکنان محلی نیز ملزم هستند ضمن رعایت نحوه استقرار کاربری اراضی در مناطق در معرض خطر سیلاب، نسبت به تهیه لوازم کمک‌های اولیه و وسایل مورد نیاز در زمان فرار و تخلیه فوری منطقه پس از دریافت اختاریه‌های هواشناسی اقدام نمایند [۵۲ و ۶۷].



پ.۱-۲-۵- چین

در کشور چین از دهه ۱۹۸۰ بعضی موسسات، استان‌ها، شهرها و شرکت‌های بیمه مطالعاتی را بر روی انواع نقشه‌های خطرپذیری سیل برای کاربردهای مختلف انجام دادند. به طور کلی در کشور چین از سال ۲۰۰۳ رویکرد مدیریت سیل جایگزین کنترل سیل گردید و بی تردید تهیه نقشه‌های خطر سیل اولین گام در راستای مدیریت سیلاب می‌باشد. در سال ۲۰۰۵ راهنمای «تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب» ارائه شد و تهیه نقشه‌های سیلاب برای رودخانه‌های کشور چین بر اساس راهنمای مذکور آغاز گردید.

پ.۱-۲-۶- استرالیا

پس از سیل ویران‌گر سال ۲۰۱۱ در شرق استرالیا، دولت این کشور تصمیم به بازبینی بیمه بلایای طبیعی نمود. این بازبینی نشان دهنده عدم وجود یک سیستم یکپارچه در مورد جمع‌آوری و ارائه اطلاعات خطرپذیری سیل بود. با انجام تحقیقات گسترده موسسه کاهش بلایای طبیعی در سال ۲۰۱۷، اقدام به انتشار هفت جلد راهنمای حوادث در استرالیا که مختص به مدیریت سیلاب‌دشت‌ها می‌باشد، نموده است. این دستورالعمل‌ها بهترین راهکارها را در رابطه با مدیریت سیلاب مطرح کرده است [۵۱ و ۸۵].

در این راهنما، خطر سیل مستقل از جمعیت در معرض خطر معرفی شده است و هر جا عمق سیل بیش‌تر از ۲ متر باشد آن منطقه در معرض خطر سیل خواهد بود. ارزیابی خطر سیل در ۴ گام انجام شده است:

۱- نحوه تعیین پارامترهای جریان سیل (که عمدتاً بر اساس عمق و سرعت سیل است).

۲- تعیین کمی خطر سیل

۳- رسم منحنی‌های آسیب‌پذیری برای وسایل نقلیه، انسان‌ها و ساختمان‌ها

۴- بررسی عوامل موثر دیگر بر روی خطرپذیری سیل

طبق این آیین نامه خطر سیل به ۶ تراز مختلف در نقشه‌ها تقسیم می‌شود:

H1: ایمنی عمومی برای وسایل نقلیه، انسان‌ها و ساختمان‌ها ($D = 0.3 \text{ m}$, $V = 2 \text{ m/s}$, $D \times V \leq 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$)

H2: نا ایمن برای وسایل نقلیه کوچک ($D = 0.5 \text{ m}$, $V = 2 \text{ m/s}$, $D \times V \leq 0.6 \text{ m}^2/\text{s}$)

H3: نا ایمن برای وسایل نقلیه کوچک، کودکان و سالخورده‌ها ($D = 1.2 \text{ m}$, $V = 2 \text{ m/s}$, $D \times V \leq 0.6 \text{ m}^2/\text{s}$)

H4: نا ایمن برای وسایل نقلیه و انسان‌ها ($D = 2 \text{ m}$, $V = 2 \text{ m/s}$, $D \times V \leq 1 \text{ m}^2/\text{s}$)

H5: نا ایمن برای وسایل نقلیه و انسان‌ها. در معرض خسارت بودن تمام ساختمان‌ها، در معرض ویرانی بودن یک

تعداد ساختمان نامستحکم ($D = 4 \text{ m}$, $V = 4 \text{ m/s}$, $D \times V \leq 4 \text{ m}^2/\text{s}$)

H6: نا ایمن برای وسایل نقلیه و انسان‌ها، در معرض ویرانی بودن تمام ساختمان‌ها ($D \times V \geq 4 \text{ m}^2/\text{s}$)



پ.۱-۲-۷- کوئینزلند

در کوئینزلند استرالیا تهیه نقشه‌های سیلاب پس از سیل‌های سال ۲۰۱۱ با جدیت در دستور کار این ایالت قرار گرفت. با تدوین برنامه نقشه‌های سیلاب کوئینزلند (QFMP) تهیه نقشه‌های سیلاب رودخانه‌ها به منظور ارائه برنامه‌های کاربری اراضی، مدیریت ساخت و ساز در سیلاب‌دشت‌ها، ارائه روش‌های سازه‌ای سیلاب، برنامه‌ریزی استقرار تاسیسات زیربنایی، مدیریت حوضه آبریز، کنترل فرسایش و رسوب در سطح حوضه و رودخانه‌ها، آموزش و اطلاع‌رسانی مردم، مدیریت بحران و در نهایت بیمه سیلاب آغاز گردید. در این کشور نقشه‌های سیلاب در سطوح مختلف تهیه می‌شوند: نقشه‌هایی در سطح شهرهای کوچک و نقشه‌های جامع با جزئیات مورد نیاز برای شهرهای با جمعیت زیاد [۷۴ و ۵۸].

جدول پ.۱-۱- مشخصات نقشه‌های خطر سیل در کشورهای دیگر

کشور	نوع نقشه و مقیاس آن							متفرقه	مشخصات ارائه شده در نقشه‌ها			کاربرد نقشه‌های سیل				تاریخ شروع به تهیه نقشه‌های خطر سیلاب	توضیحات				
	سیلاب‌های گذشته	پهنه‌ی سیل	عمق سیل	سایر پارامترهای سیل (سرعت و ...)	ناحیه‌بندی خطر سیل	ریسک سیل	آسیب‌پذیری		نقشه فرار و تخلیه ^۱	نقشه اطلاع‌رسانی سیل ^۲	تهیه شده توسط	دسترسی آنلاین به نقشه‌ها	طبقه‌بندی پهنه‌ی سیل	طبقه‌بندی خطر سیل	طبقه‌بندی ریسک سیل			دوره بازگشت سیل	مدیریت و ارزیابی سیل	برنامه کاربردی آراضی	اطلاع‌رسانی عمومی
آمریکا	آمریکا	*	*	*	*	(نقشه نرخ بیمه سیل)	*	مرکز مدیریت بحران آمریکا (FEMA)	*	*	*	*	*	*	۱۰۰ و ۵۰۰ ساله	*	*	*	*	۱۹۶۸	در کشور آمریکا نقشه‌های فرار و تخلیه فوری برای زمان سیلاب نیز تهیه شده است و به عنوان نمونه می‌توان به نقشه‌های ایالت‌های فلوریدا، لوئیزیانا، کالیفرنیا، نیوجرسی و کارولین جنوبی اشاره نمود. همچنین کلیه نقشه‌های سیلاب در پهنه‌های مختلف خطر سیل در کل رودخانه‌های کشور به صورت آنلاین در اختیار کاربران قرار دارد.
	کانادا		*	*	*	*	*	دولت فدرال کانادا	*	*	*	*	*	*	۱۰۰ ۲۰۰ ۳۵۰ ۵۰۰	-	*	*	*	۱۹۷۶	تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب طی برنامه کاهش خسارت سیلاب (FDRP) از سال ۱۹۷۵ در کانادا آغاز شد. میزان سیلاب رودخانه‌ها جهت ارائه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب در برخی ایالت‌ها بر اساس سیلاب طوفان‌های منطقه تعیین می‌شود.
	بلژیک	*	*	*	*	*	*	*	دولت منطقه‌ای	*	*	*	*	*	۳	۱۷ دوره بازگشت مختلف	*	*	*	*	نقشه پارامترهای سیلاب شامل نقشه سرعت بالا آمدن آب می‌باشد.
اروپا	فرانسه	*	*	*	*	*	*	دولت منطقه‌ای	*	*	*	*	*	۱	۱۰۰ ساله	۳	*	*	*	دهه	مدت زمان سیل نیز در نقشه‌ها درج شده است.
	سوئیس		*	*	*	*	*	دولت منطقه‌ای	*	*	*	*	*	۱	۴ دوره بازگشت مختلف	متغیر بسته به منطقه ^۳	*	*	*	۱۹۹۰	

۱- Evacuation maps

۲- Flood Awareness Maps

۳- Varies Depending on Region



ادامه جدول پ.۱-۱- مشخصات نقشه‌های خطر سیل در کشورهای دیگر

کشور	نوع نقشه و مقیاس آن				متفرقه	مشخصات ارائه شده در نقشه‌ها		کاربرد نقشه‌های سیل				تاریخ شروع به تهیه نقشه‌های خطر سیلاب	توضیحات									
	سیلاب‌های گذشته	پهنه‌ی سیل	عمق سیل	سایر پارامترهای سیل (سرعت و ...)		ناحیه‌بندی خطر سیل	ریسک سیل	آسیب‌پذیری	نقشه فرار و تخلیه	نقشه اطلاع‌رسانی سیل	تهیه شده توسط			دسترسی آنلاین به نقشه‌ها	طبقه‌بندی پهنه‌ی سیل	طبقه‌بندی خطر سیل	طبقه‌بندی ریسک سیل	دوره بازگشت سیل	مدیریت و ارزیابی سیل	برنامه کاربری اراضی	اطلاع‌رسانی عمومی	پهنه سیل
هلند		*	*	*	*						*	*	*	*		۳۰۰ و ۱۰۰۰ و سیلاب حداکثر رودخانه	*	*	*	*		نقشه پارامترهای سیلاب شامل نقشه سرعت جریان می‌باشد.
	انگلیس	*	*	*	*	*	۲	۴-۷			*	*	*	*		۱۰۰۰ و ۱۰۰۰ ساله				*		
ایرلند		*	*	*	*	*	۳				*	*	*	*		-				*		
	یونان	*	*	*	*											-			*			
آلمان		*	*	*	*	*	۴-۱	۴	۷							۱۰۰۰ و ۱۰۰۰ ساله سیلاب‌های حداکثر رودخانه برای رودخانه‌های بزرگ دوره بازگشت ۳۰۰ ساله نیز در نظر گرفته شده است.		*	*	*		دو مولفه مهم نقشه‌های این کشور، تراز سطح آب و لبریز شدن مقطع رودخانه است. در نقشه‌های تخلیه، مسیر تخلیه بر اساس تراز آب متفاوت است. همچنین محل‌های سکونت اضطراری، ایستگاه‌های اتوبوس برای خروج افراد از منطقه و توضیحات راهنما ارائه شده است.
	اسپانیا	*	*	*	*			۳	۵							۳ دوره بازگشت		*		*		
ایتالیا		*	*	*	*		*	۳	۴							۳ دوره بازگشت		*		*		
فنلاند		*	*	*	*		*		۵									*	*	*		
اتریش								۳	۵							۳ دوره بازگشت		*		*		دوره بازگشت سیل برای نقشه‌های پهنه سیل و ریسک سیل ۱۰۰ سال می‌باشد. ولی برای رودخانه‌های اصلی و پرشیب از دوره بازگشت ۱۵۰ سال استفاده می‌کنند.
لهستان			*	*	*		*	۲-۸								متغیر		*		*	۲۰۰۰	در لهستان دو نوع منطقه ریسک سیل تعریف شده است. منطقه ریسک مستقیم و منطقه ریسک بالقوه. مورد دوم به مناطقی گفته می‌شود که پس از آسیب سواحل یا کناره‌های سیل‌گیر در معرض خطر سیل قرار می‌گیرند.
نروژ		*	*	*	*		*	۱								۶ دوره بازگشت		*		*		
پرتغال		*	*	*	*													*	*	*		
سوئد		*	*	*	*		*	۲								۲ دوره بازگشت		*		*		



ادامه جدول پ. ۱-۱- مشخصات نقشه‌های خطر سیل در کشورهای دیگر

کشور	نوع نقشه و مقیاس آن							متفرقه	مشخصات ارائه شده در نقشه‌ها			کاربرد نقشه‌های سیل			تاریخ شروع به تهیه نقشه‌های خطر سیلاب	توضیحات						
	قاره	کشور	سیلاب‌های گذشته	پهنی سیل	عمق سیل	سایر پارامترهای سیل (سرعت و ...)	ناحیه‌بندی خطر سیل		ریسک سیل	آسیب‌پذیری	نقشه فرار و تخلیه	نقشه اطلاع‌رسانی سیل	تهیه شده توسط	دسترسی آنلاین به نقشه‌ها			طبقه‌بندی پهنی سیل	طبقه‌بندی خطر سیل	طبقه‌بندی ریسک سیل	دوره بازگشت سیل	مدیریت و ارزیابی سیل	برنامه کاربری اراضی
آسیا	دانمارک	*	*	*	*	*	*	*	دولت مرکزی	*	۱	۲ دوره بازگشت	*	*	*	*	*	*	*	*	۱۹۹۴	
	ژاپن	*	*	*	*	*	*	*	شهرداری	*										۱۹۸۴		
	چین	*	*	*	*	*	*	*														
	تایلند	*	*	*	*	*	*	*	HTC ^۱ و محلی													
آسیا	مالزی	*	*	*	*	*	*	*	سازمان‌های دولتی ^۲												۲۰۰۴	
	فیلیپین	*	*	*	*	*	*	*	دولت‌های محلی	*											۲۰۰۴	
	استرالیا	*	*	*	*	*	*	*	دولت‌های محلی	*	*	100 200 500 PMF			*	*	*	*	*	*	۲۰۱۱	سایر پارامترهای سیلاب شامل سرعت جریان می‌باشد. به روز رسانی نقشه‌های ریسک سیلاب هر ۵ تا ۱۰ سال یکبار انجام می‌شود.
	کویت‌زلند	*	*	*	*	*	*	*	دولت کوئینزلند	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	۲۰۱۱	

1- The Humid Tropics Centre

2- Government Agencies



پیوست ۲

نمونه نقشه‌های خطرپذیری تهیه شده

در ایران



به طور کلی نقشه‌هایی که تاکنون در کشور با عنوان نقشه‌های سیلاب تهیه شده است، عموماً مربوط به نقشه‌های پهنه سیل گیر با دوره بازگشت‌های مختلف بوده است. در برخی موارد و با توجه به ضرورت طرح‌های سامان‌دهی، نقشه تغییرات عمق و سرعت جریان نیز تهیه شده است. لیکن نقشه‌های با عنوان نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل یا نقشه‌های خطرپذیری سیل تاکنون به صورت کلی تهیه نشده است و بعضاً به صورت پژوهشی تهیه و مورد بررسی قرار گرفته است. متدولوژی استفاده شده در تهیه نقشه‌های خطر یا خطرپذیری سیل در کشور به چند دسته زیر تقسیم می‌شود.

۱- تهیه نقشه‌های خطر سیل در قالب پهنه سیل، و تغییرات سرعت عمق جریان با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی یک بعدی یا دوبعدی جریان سیل در رودخانه [۲۸، ۲۱، ۱۸].

۲- تهیه نقشه‌های خطرپذیری یا شدت سیل خیزی زیرحوضه‌های یک رودخانه با استفاده از روش وزن‌دهی به معیارها. نوع معیارهای انتخاب شده، نحوه امتیازدهی به معیارها و روش‌های مورد استفاده برای وزن‌دهی به معیارها (تصمیم‌گیری چند معیاره، فازی و غیره) با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود. [۳۶، ۳۵، ۳۴، ۳۱، ۲۵، ۲۳، ۲۲، ۱۹، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۶، ۳، ۲].

تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب با استفاده از روش تعیین خسارت مورد انتظار سالانه و تعیین تلفات انسانی محتمل [۴]. البته تحقیقات متعددی برای محاسبه و برآورد خسارت سیل انجام شده است، لیکن منجر به تهیه نقشه خطرپذیری سیل نشده است که می‌توان به [۳۰، ۲۷، ۱۳، ۸] اشاره نمود. یکی از کامل‌ترین تحقیقات انجام شده در این زمینه برآورد خسارت ناشی از سیل در حوضه رودخانه‌های کارون و دز می‌باشد که در سال ۱۳۸۳ انجام شده است [۳۰]. در ادامه به چندین نمونه از این نوع نقشه‌ها اشاره شده است.

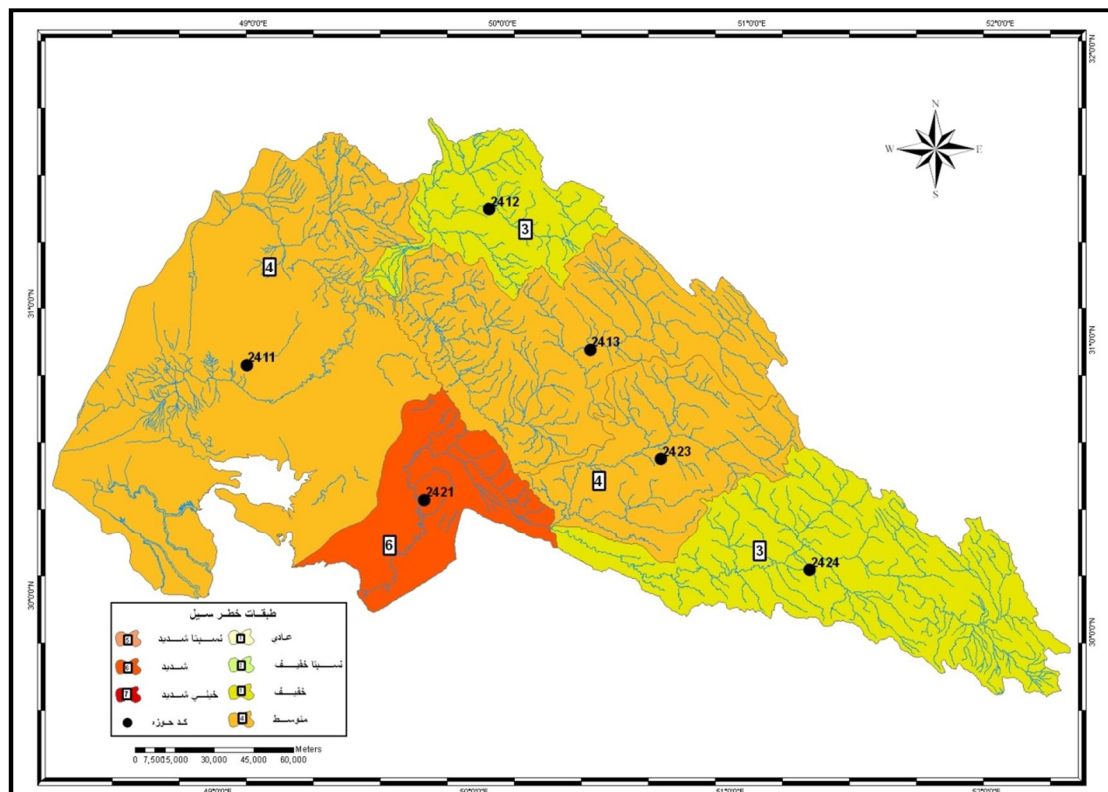
پ. ۲-۱- اطلس سیل کشور

پروژه تحقیقاتی «تهیه و توسعه اطلس و آماده‌سازی داده‌های زمانی و مکانی سیل در حوضه‌های رده هفت کشور» به عنوان یک پروژه ملی با هدف تعیین روش‌شناسی تلفیق و ترکیب اطلاعات مختلف و شاخص‌های اصلی و پایه‌ای مورد نیاز در تهیه و توسعه اطلس سیل حوضه‌های رتبه هفت کشور تعریف شد و در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور اجرا گردید. این پروژه با ۱۵ زیر پروژه در سطح کشور به مرحله اجرا در آمد. پروژه‌های استانی ۱۵ گانه شامل آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، همدان، زنجان، کردستان، لرستان، خوزستان، فارس، ایلام، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، کرمان، هرمزگان و مناطق خشک و خراسان شمالی می‌باشد. شایان ذکر است که پروژه ملی پوشش کشوری داشته و برای کل سطح کشور اجرا شد. شدت سیل خیزی، فراوانی وقوع سیل، خسارات، تلفات جانی و پهنه‌های سیل گیر، مراکز مسکونی و جمعیت در معرض سیل به همراه حجم آورده‌های سیلابی سالانه و منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارش از جمله اطلاعات مهمی هستند که در تدوین اطلس سیل استفاده شدند.

این پژوهش نشان می‌دهد که از ۲/۱ درصد وسعت در معرض خطر سیل کشور، حدود ۱/۱ درصد در محدوده خطر خیلی شدید، ۱۰/۹ درصد در محدوده نسبتاً شدید، ۷/۵ درصد در محدوده شدید، ۱۴/۳ درصد در محدوده عادی، ۳۴/۵

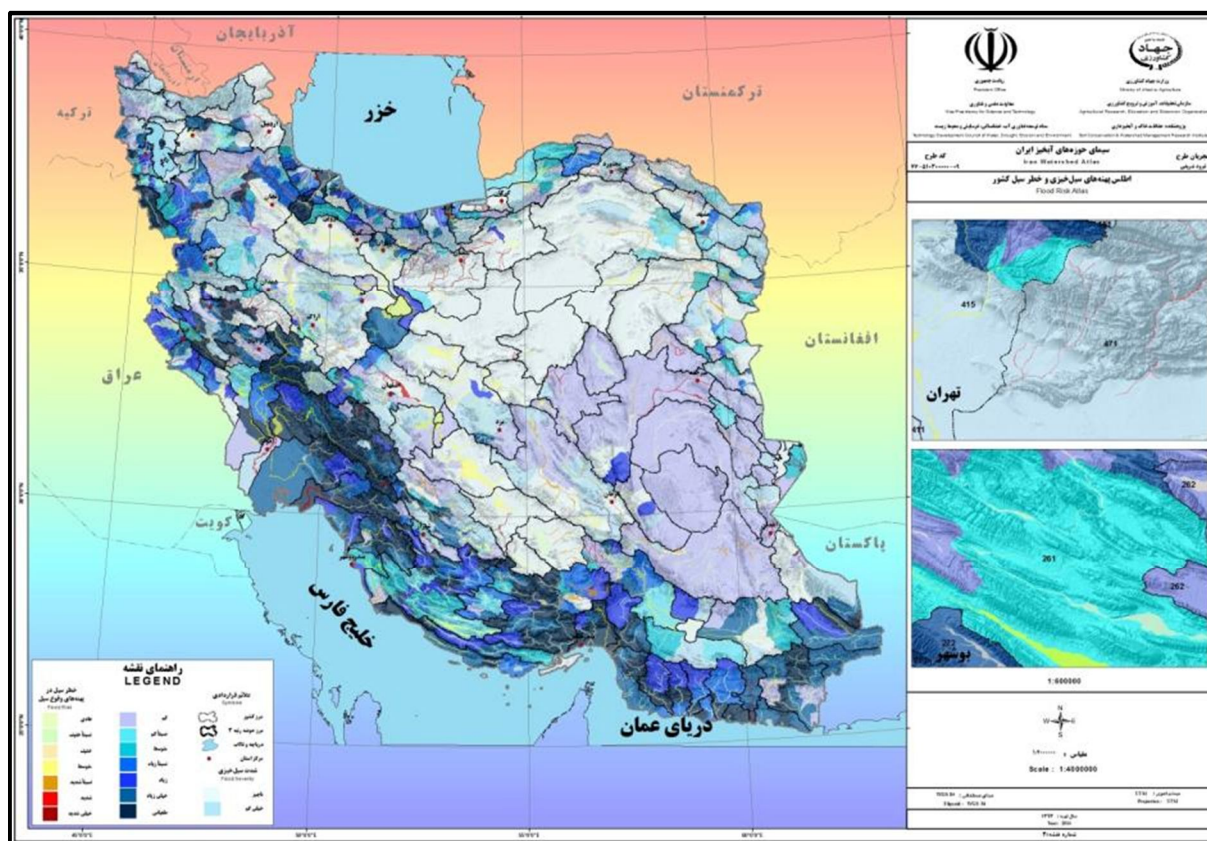


درصد در محدوده متوسط، ۲۰/۴ درصد در محدوده نسبتاً خفیف و ۱۱/۱ درصد در محدوده خفیف واقع شده است. شکل‌های (پ.۱-۲) تا (پ.۴-۲) نمونه‌ای از نقشه‌های سیل خیزی تهیه شده را نشان می‌دهند [۶].



شکل پ.۱-۲- نقشه خطر سیل حوضه هندیجان-جراحی به تفکیک حوضه‌های رتبه چهار [۶]



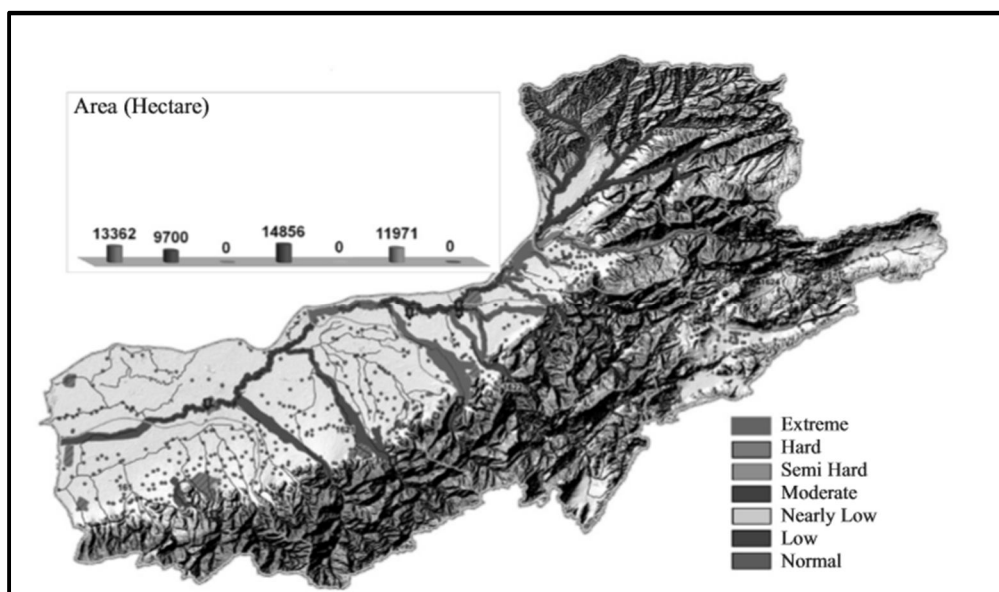


شکل پ.۲-۲- اطلس پهنه های سیل خیزی و خطر سیل کشور [۶]

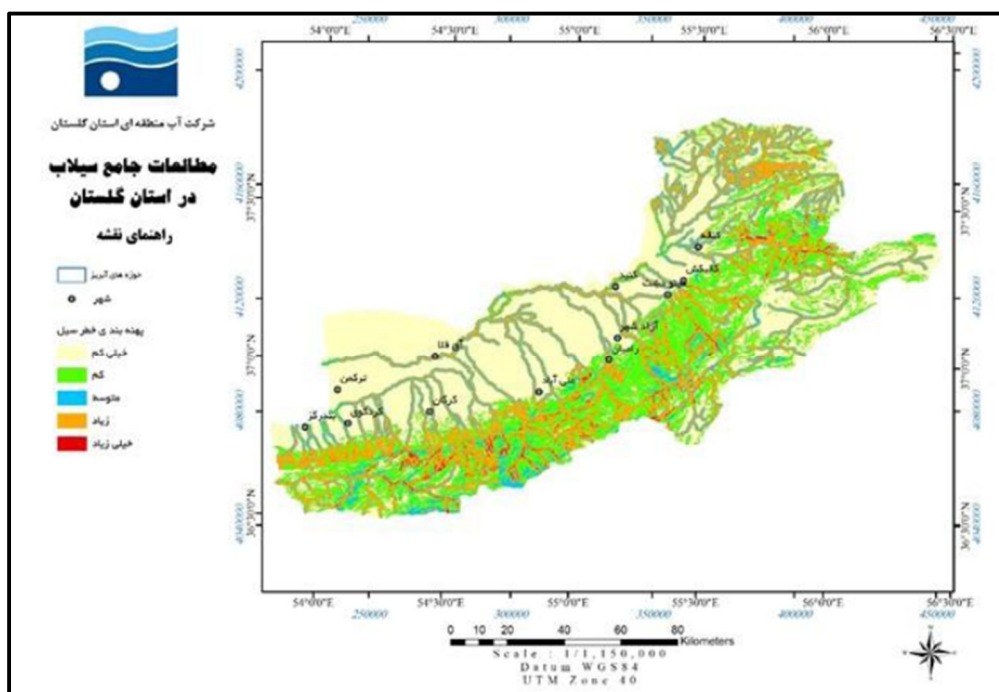
پ.۲-۲- حوضه آبریز رودخانه گرگان رود

نقشه‌های خطر سیل تهیه شده در حوضه آبریز گرگان رود شامل نقشه خطرپذیری سیل با استفاده از روش وزن‌دهی به معیارها و نقشه‌های فرار و تخلیه روستاهای حاشیه رودخانه گرگان رود و سرشاخه‌های سیل خیز آن می‌باشد. نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل و خطرپذیری سیل در سال ۱۳۹۱ توسط صفری پور و همکاران بر اساس روش وزن‌دهی به معیارها تهیه شده است. معیارهای در نظر گرفته برای ناحیه‌بندی سطوح خطر در سطح حوضه آبریز عبارتند از: تعداد سیلاب‌های رویداده، تلفات انسانی، خسارت مالی، جمعیت، تراکم جمعیت و نقاط مسکونی. نقشه تهیه شده برای ناحیه‌بندی خطر سیل در شکل (پ.۲-۳) نشان داده شده است [۶۷]. همچنین تجری و همکاران در سال ۱۳۹۶ با استفاده از همین روش و در نظر گرفتن پارامترهای شاخص‌های دخیل در نقشه پهنه خطر سیل مانند زمین‌شناسی منطقه، مسیر رودخانه، ضریب گراویلیوس، شیب، نقشه هم‌باران و پوشش گیاهی برای ۵۱ حوزه آبریز رودخانه گرگان رود نقشه خطر سیل تهیه کرده‌اند [۷]. شکل (پ.۲-۴) نقشه پهنه‌بندی خطر سیل تهیه شده به این روش را نشان می‌دهد. در این تحقیق پهنه‌های خطر به پنج ناحیه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است.





شکل پ.۲-۳- نقشه ناحیه‌بندی خطر سیل حوضه آبریز گرگان‌رود



شکل پ.۲-۴- نقشه پهنه‌بندی خطر سیل استان گلستان

همچنین در حوضه آبریز گرگان‌رود طی مطالعات انجام شده توسط شرکت آب منطقه‌ای گلستان نقشه‌های فرار و تخلیه روستاهای حاشیه گرگان‌رود و سرشاخه‌های آن تهیه و ارائه شده است. شکل (پ.۲-۵) نمونه نقشه فرار و تخلیه یکی از روستاهای محدوده طرح را نشان می‌دهد [۳۷].

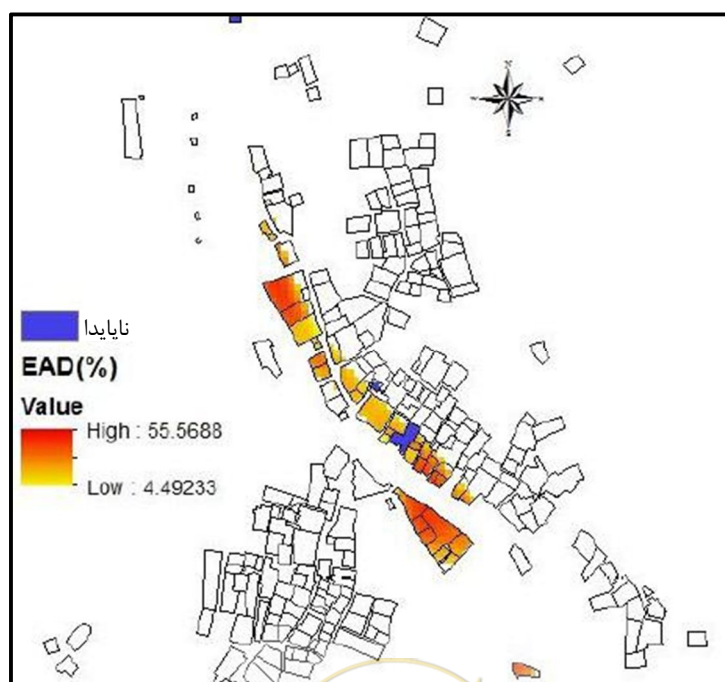




شکل پ.۲-۵- نمونه نقشه فرار و تخلیه یکی از روستاهای حاشیه رودخانه دوغ در حوضه آبریز گرگان رود

پ.۲-۲- رودخانه کن

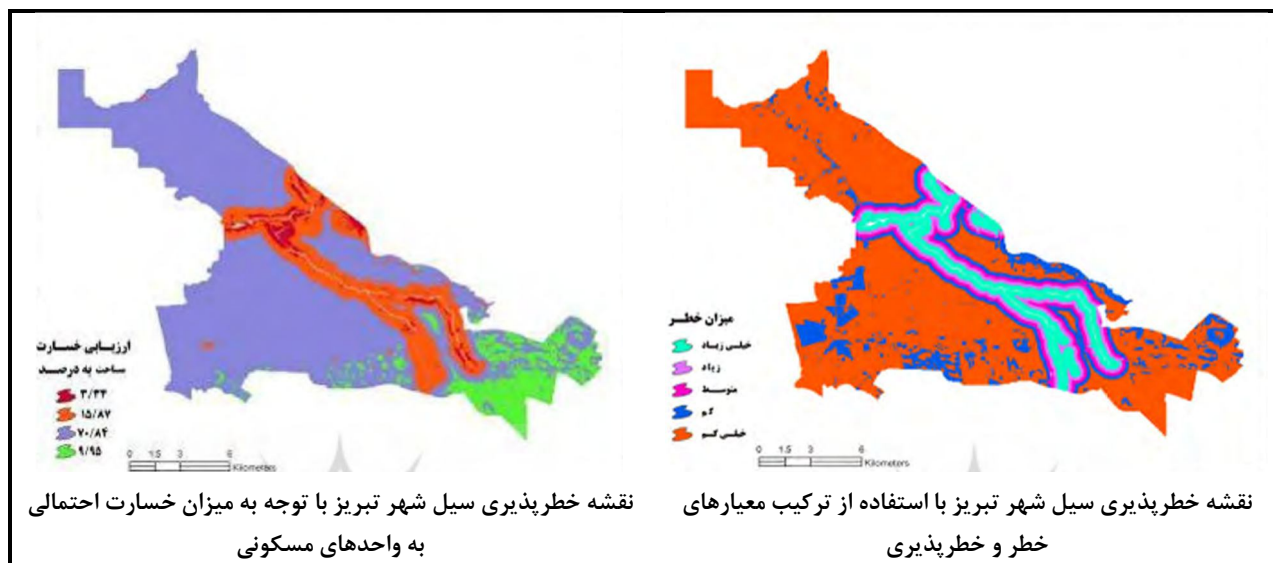
نقشه‌های خطرپذیری کمی برای رودخانه کن در محدوده روستای سولقان توسط امیرمرادی [۴] انجام شده است. بدین منظور از مدل‌سازی هیدرولیکی برای مدل‌سازی جریان رودخانه به صورت دو بعدی و توابع عمق - خسارت موجود برای سایر کشورها به منظور تخمین خسارت مورد انتظار (EAD) استفاده شده است. شکل (پ.۲-۶) نقشه خسارت مورد انتظار محدوده روستای سولقان را نشان می‌دهد.



شکل پ.۲-۶- نقشه خسارت مورد انتظار رودخانه کن در محدوده روستای سولقان

پ.۲-۳- پهنه‌بندی خطر سیل شهر تبریز

محمودزاده و همکاران در سال ۱۳۹۴ اقدام به تهیه نقشه خطرپذیری سیل با عنوان «ریزپهنه‌بندی خطر سیل در شهر تبریز» با استفاده از به کارگیری روش وزن دهی به معیارها (روش AHP) نموده‌اند. در این تحقیق معیارهای در نظر گرفته برای ارزیابی و پهنه‌بندی سطح خطر سیلاب شامل کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مسیل‌ها، طبقات شیب، تراکم مسکونی، ضریب CN، ضریب رواناب، تراکم جمعیت، فضای باز و قدمت ابنیه بوده است و پس از تهیه لایه‌های مورد نیاز در محیط GIS و نرمال کردن مقادیر هر معیار، وزن نهایی هر معیار با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP تعیین شد. سپس نقشه خطرپذیری سیلاب در شهر تبریز ارائه شده است. همچنین به منظور ارزیابی میزان خسارت به واحدهای مسکونی در شهر تبریز، مراحل فوق بر اساس معیارهای کیفیت بنا (بتن و اسکلت، آجر و ملات، خشت و گل)، قدمت بنا، تراکم ساختمان‌ها، فاصله تا حریم رودخانه، تراکم جمعیتی و فضاهای باز با استفاده از روش SAW که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد، انجام شده و نقشه خطرپذیری واحدهای مسکونی تهیه شده است (شکل پ.۲-۷) [۳۳].



شکل پ.۲-۷- نقشه‌های خطرپذیری سیلاب شهر تبریز

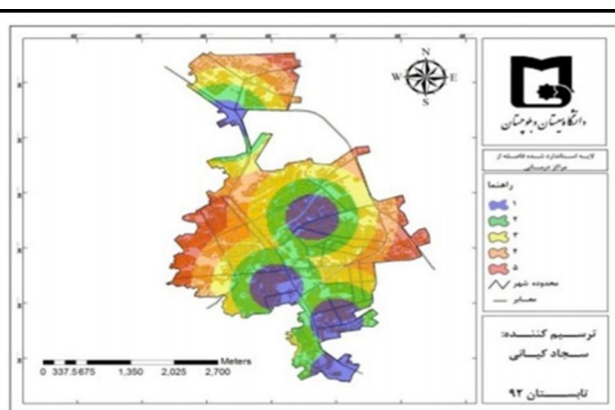
پ.۲-۴- پهنه‌بندی خطر سیل شهر نهاوند

فتوحی و همکاران در سال ۱۳۹۴ اقدام به تهیه نقشه خطرپذیری سیل با عنوان «ریزپهنه‌بندی خطر سیل در شهر نهاوند» با استفاده از به کارگیری روش وزن دهی به معیارها (روش AHP) نموده‌اند. در این تحقیق معیارهای در نظر گرفته برای ارزیابی و پهنه‌بندی سطح خطر سیلاب شامل موارد زیر می‌باشد:

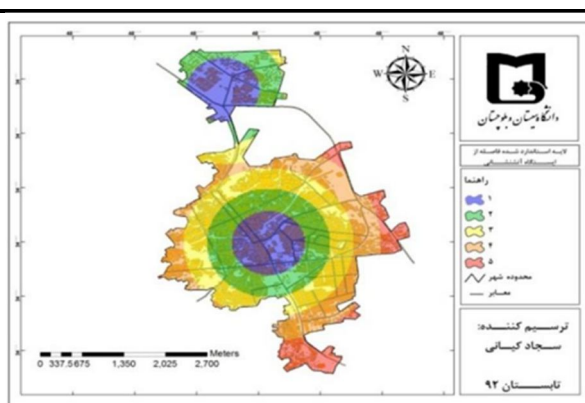
- فاصله از مسیل
- نوع مصالح
- شیب
- فاصله از آتش‌نشانی

- ارتفاع
- فاصله از مراکز درمانی
- جنس خاک
- فاصله از فضای باز
- قدمت ابنیه
- فاصله از مراکز سوختگیری
- تراکم ساختمانی
- فاصله از معابر درجه ۱
- تراکم جمعیت
- فاصله از معابر درجه ۲ و ۳

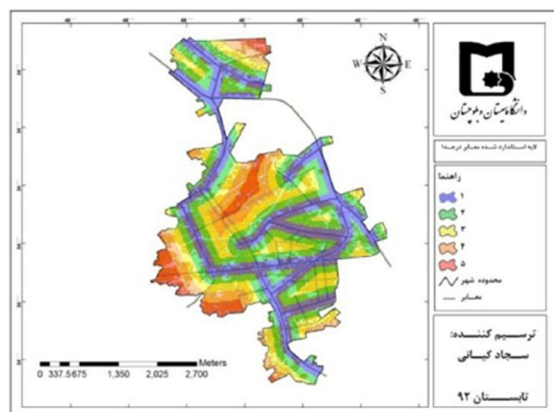
معیارهای انتخاب شده شامل معیارهای محیطی و آسیب‌پذیری شامل موارد ظرفیت مقابله با سیلاب از جمله فاصله از مراکز درمانی و کمک رسانی و غیره می‌باشد. در این تحقیق نیز پس از تهیه لایه‌های معیارهای مختلف در GIS نرمال کردن هر معیار، وزن نهایی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP تعیین شده است. سپس نقشه خطرپذیری سیلاب در شهر نهاوند تهیه شده است (شکل (پ.۲-۸)) [۲۲].



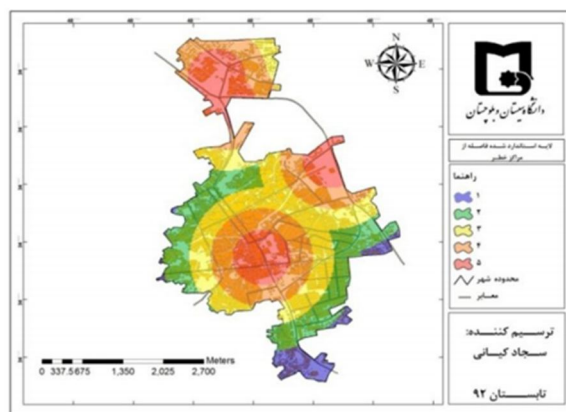
ب - نقشه استاندارد شده فاصله از مراکز امدادی و درمانی



الف - نقشه استاندارد شده فاصله از آتش‌نشانی

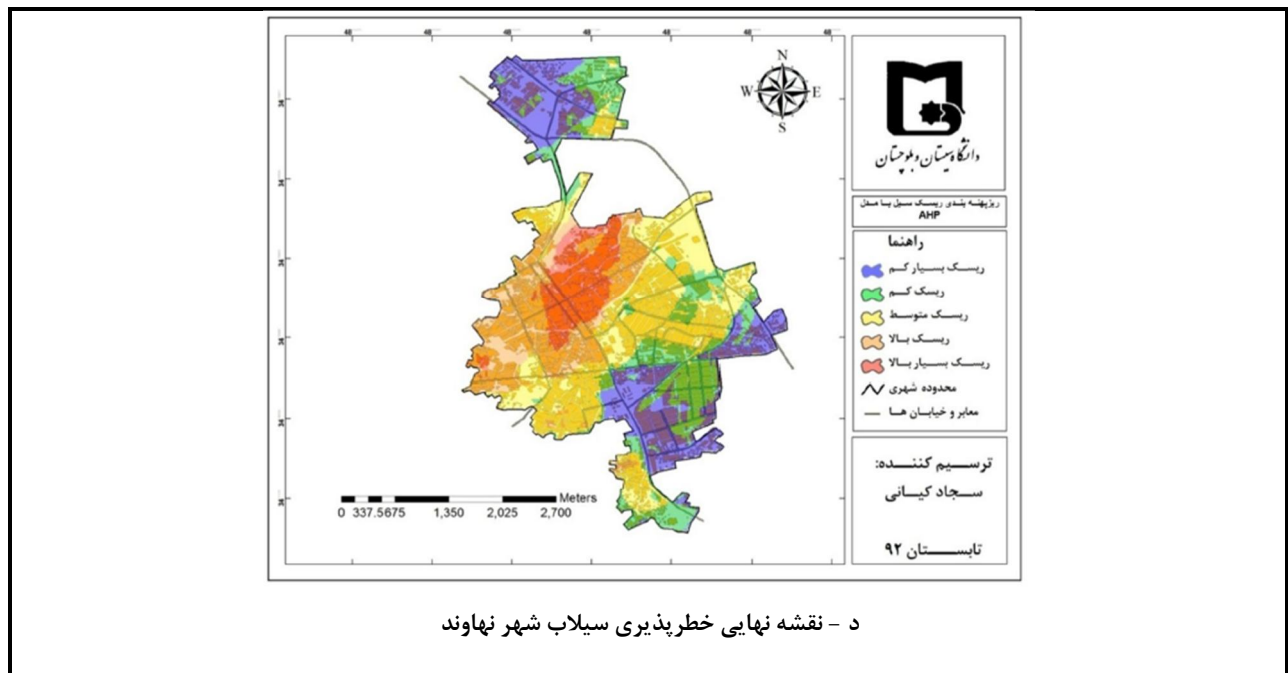


ه - نقشه استاندارد شده فاصله از معابر درجه ۱



ج - نقشه استاندارد شده فاصله از جایگاه سوخت‌گیری

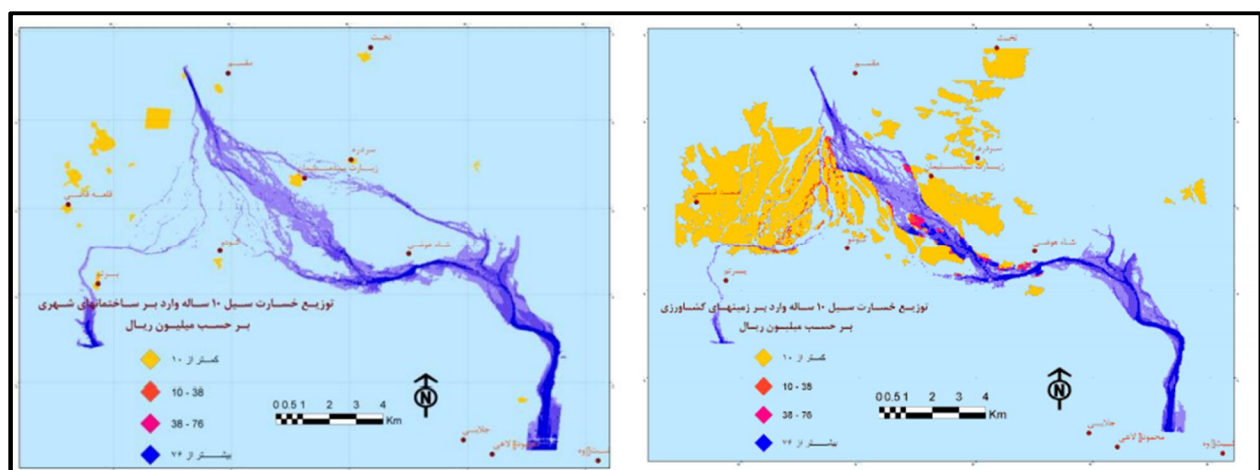




شکل پ.۲-۸- نقشه‌های خطرپذیری سیلاب شهر نهاوند

پ.۲-۶- تعیین خسارت سیل در مخروط افکنه رودخانه جاماش بندرعباس

یکی از روش‌های ارزیابی کارایی طرح‌های کنترل سیلاب، ارزیابی خسارت محتمل سیل پس از اجرای طرح و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌باشد. در این تحقیق که توسط کاویانپور و همکاران در سال ۱۳۹۴ انجام شده است، طرح‌های مختلف کنترل سیلاب در مخروط افکنه رودخانه جاماش بندرعباس و تاثیر آن در پخش سیلاب و در نهایت میزان خسارت محتمل بر روی نقشه منعکس شده است (شکل پ.۲-۹) [۲۶].



شکل پ.۲-۹- نقشه توزیع خسارت سیل ۱۰ ساله وارد بر اراضی کشاورزی و ساختمان‌های شهری

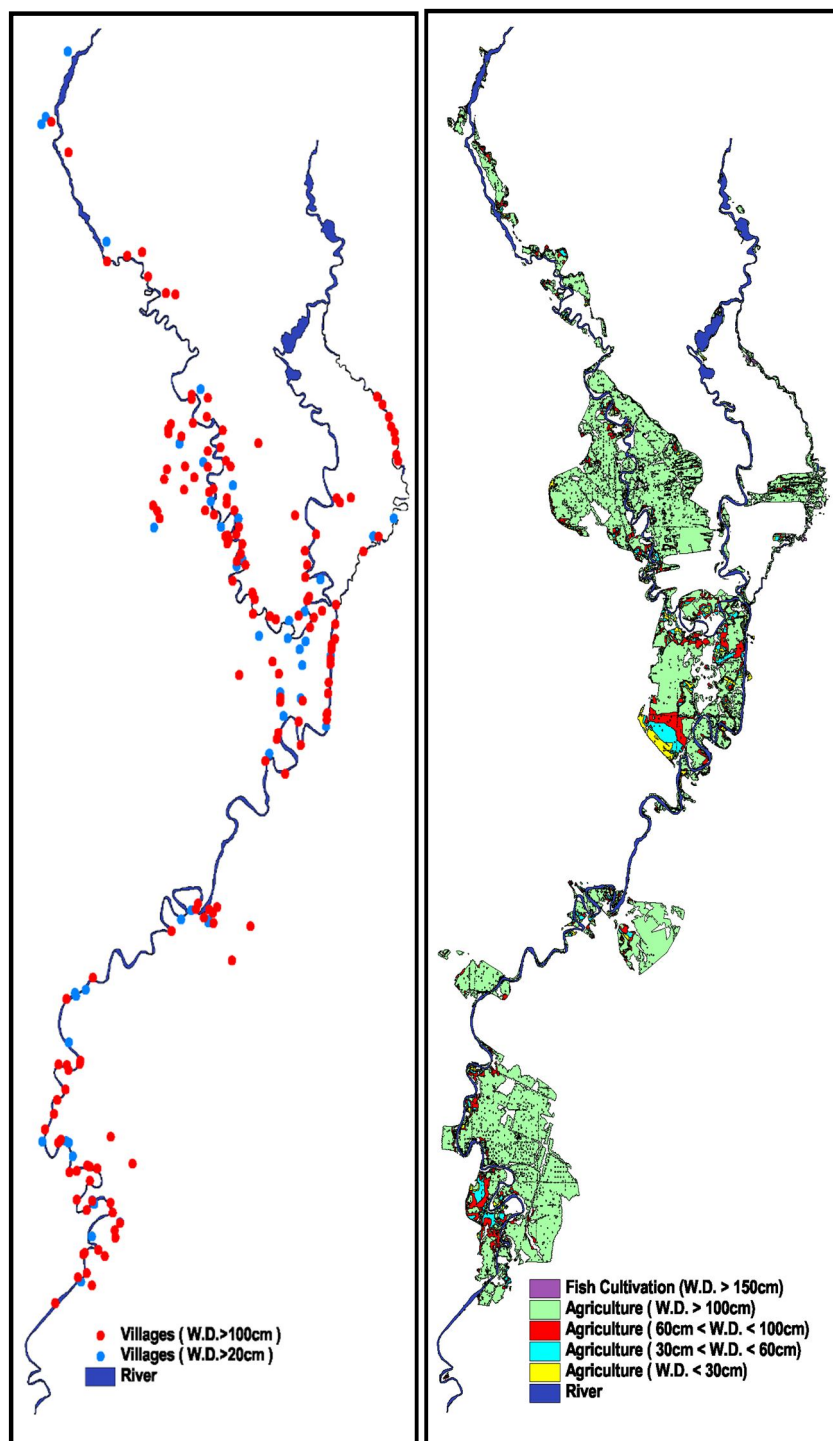


پ.۲-۷- تعیین خسارت ناشی از سیل در حوضه آبریز رودخانه‌های دز و کارون

مطالعات کنترل سیلاب و تعیین پتانسیل خسارت ناشی از وقوع سیل در حوضه آبریز رودخانه‌های دز و کارون بخشی از پروژه «مدیریت و بهره‌برداری بهینه سیستم‌های منابع آبی و برقابی حوزه‌های دز و کارون» بوده که توسط سازمان آب و برق خوزستان در دهه ۱۳۸۰ انجام شده است [۳۲].

در این مطالعه به منظور شناسایی و برآورد میزان پتانسیل خسارت سیلاب در بازه‌های مختلف رودخانه‌های کارون و دز در ابتدا پرسشنامه‌هایی در ارتباط با انواع خسارات سیلاب طراحی و تدوین گردید. این پرسشنامه‌ها در ۲ نوع مجزا شامل پرسشنامه خسارت واحدهای مسکونی و اراضی زراعی و خسارت واحدهای صنعتی تهیه شده و در مناطق سیل خیز و حساس تکمیل شد. در حقیقت هدف از تدوین پرسشنامه‌ها و تکمیل آن‌ها توسط ساکنان مناطق سیل خیز استخراج توابع عمق - خسارت برای کاربری‌های مختلف بوده است. پس از پایش اطلاعات پرسشنامه‌ها، جداول میزان خسارت به ازای اعماق مختلف سیلاب تهیه شد. سپس با در اختیار داشتن نقشه کاربری اراضی، استفاده از مدل HEC-FDA و تعریف داده‌های ورودی مربوط به منحنی‌های احتمال - دبی، دبی - تراز و تراز - خسارت، اقدام به محاسبه مقدار مورد انتظار خسارت سالانه در بازه‌های مختلف رودخانه در حالت‌های مختلف وضعیت موجود و اجرای گزینه‌های کنترل سیل شده است. پتانسیل خسارت ناشی از سیل در حوضه آبریز رودخانه‌های دز و کارون برآورد شده است. شکل (پ.۲-۱۰) مناطق خسارت‌زا در حوضه آبریز مورد مطالعه به تفکیک نوع خسارت و عمق آبگرفتگی حاصل از سیلاب ۱۰۰ ساله را نشان می‌دهد.





شکل پ. ۱۰-۲- نقشه مناطق خسارت زا در اعماق مختلف برای کاربری‌های کشاورزی و مسکونی در اعماق مختلف سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای رودخانه‌های کارون و دز در استان خوزستان



پیوست ۳

شرح خدمات مطالعات تهیه نقشه‌های

پهنه‌بندی خطر سیل



نقشه‌های خطر سیلاب نقشه‌هایی می‌باشند که در آن‌ها مشخصات مربوط به سیل که معرف میزان خطر و بزرگی سیل هستند، ارائه می‌شوند و ناحیه‌بندی میزان خطر در سیلاب‌دشت صرفاً بر اساس مشخصات هیدرولیکی سیل تعیین شده و نقش عواملی مانند کاربری اراضی و شرایط اقتصادی و اجتماعی در آن‌ها لحاظ نمی‌گردد. به عبارتی دیگر نقشه‌هایی که یکی از مشخصات سیلاب یا ترکیبی از مشخصات را نشان می‌دهد و از ترکیب نقشه‌های پهنه سیلاب با عمق جریان، سرعت و جهت جریان سیل و یا ترکیبی از پارامترهای جریان تهیه می‌شود، نقشه خطر سیل نامیده می‌شود. کاربرد نقشه‌های خطر سیلاب، کاربردهای مهمی در طرح‌های مهار و مدیریت سیل و مدیریت کاربری اراضی دارد و یکی از داده‌های پایه برای برنامه‌های توسعه اراضی سیلاب‌دشت محسوب می‌شود.

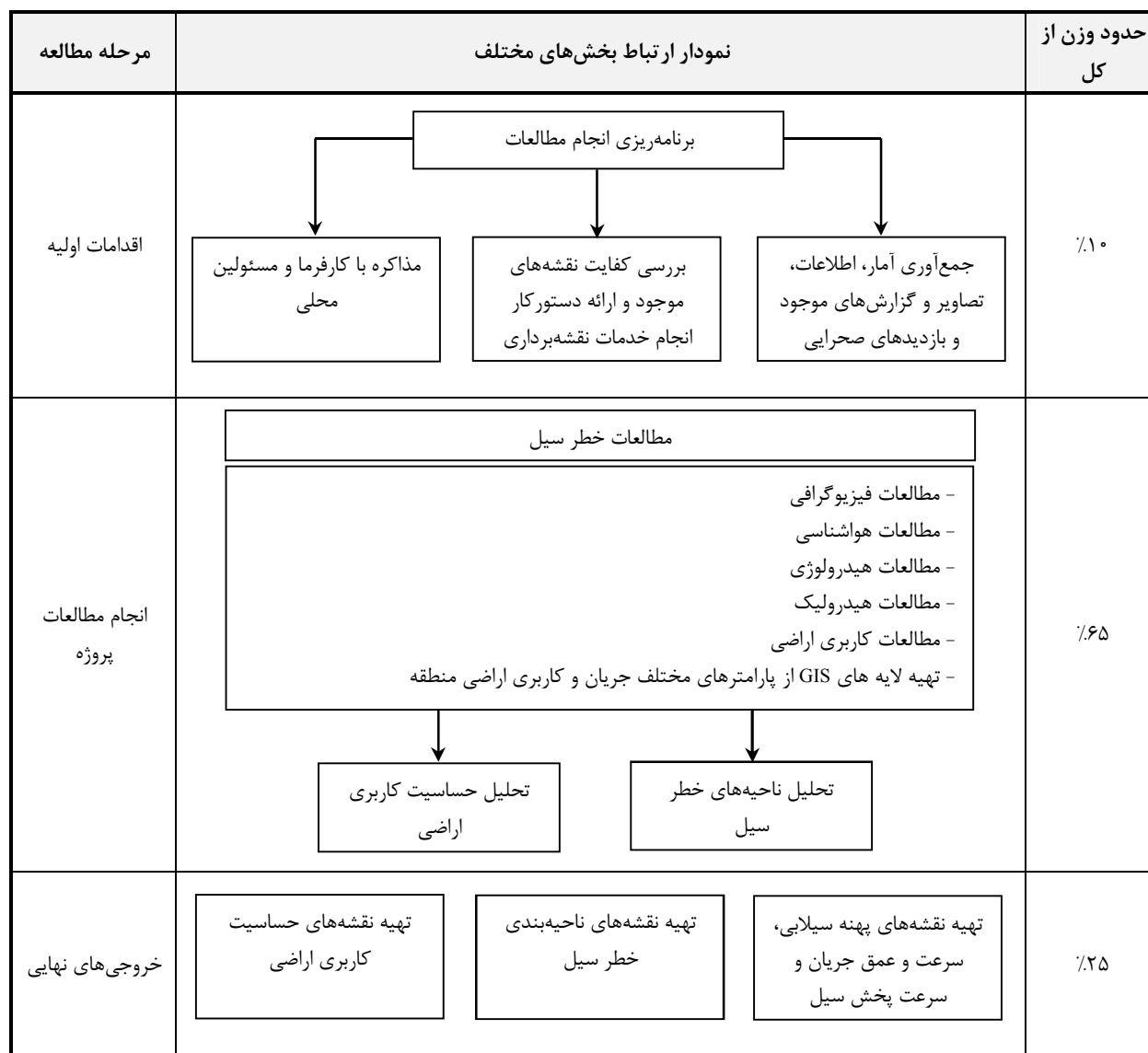
تهیه نقشه خطر سیل برای یک رودخانه، یک فرآیند مطالعاتی است و انجام این فرآیند نیازمند شرح خدماتی است که مراحل کار و موضوعات تخصصی لازم برای تهیه این نقشه‌ها و ترتیب مراحل را نشان دهد. بدین منظور شرح خدمات حاضر به عنوان راهنمایی برای انجام مطالعات و تهیه نقشه‌های خطر سیل تهیه شده است. محدوده این شرح خدمات به سه بخش کلی تقسیم می‌شود: بخش اول اقدامات اولیه، بخش دوم انجام مطالعات و بخش سوم تهیه نقشه‌ها. در نمودار پ. ۳-۱، بخش‌ها و مراحل مختلف مطالعات مشاهده می‌شود.

در بخش اقدامات اولیه، به جمع‌آوری آمار، اطلاعات، نقشه‌ها، تصاویر هوایی و ماهواره‌ای و گزارش‌های موجود و بازدید از محدوده مطالعات مبادرت ورزیده و بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده طبق نظر کارفرما مراحل انجام مطالعات برنامه‌ریزی می‌شود. در این بخش برای اطمینان از مشخص بودن گام‌های مطالعات، متدولوژی انجام کار تدوین شده و به تایید کارفرما می‌رسد.

در بخش انجام مطالعات، با بررسی داده‌ها و اطلاعات موجود از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرولوژی محدوده طرح و نقشه‌های توپوگرافی رودخانه و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، مطالعات فیزیوگرافی، هواشناسی، هیدرولوژی و هیدرولیک به منظور استخراج مشخصات جریان سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف انجام می‌پذیرد. همچنین مطالعات کاربری اراضی به منظور بررسی وضعیت حساسیت خطر سیل برای کاربری‌های واقع در سیلاب‌دشت انجام می‌شود. در نهایت سطوح مختلف خطر در پهنه‌های سیلابی رودخانه‌های محدوده طرح تعیین می‌شود.

در بخش تهیه نقشه‌ها، مطابق با مقیاس مورد نظر نقشه‌های پارامترهای خطر جریان، ناحیه‌بندی خطر سیل و نقشه حساسیت کاربری اراضی تهیه می‌شود.





نمودار پ.۳-۱- بخش‌ها و مراحل مطالعات تهیه نقشه‌های خطر سیل

۱- اقدامات اولیه

اقدامات اولیه شامل کارهایی است که پیش از شروع مطالعات، پایه‌ریزی شده و شرایط انجام مطالعات را فراهم می‌سازد. این بخش شامل برنامه‌ریزی مطالعات، مذاکره با کارفرما و دستگاه‌های ذیربط، جمع‌آوری اطلاعات و نقشه‌ها، تهیه دستورالعمل خدمات جانبی و بازدیدهای میدانی می‌باشد.

۱-۱- برنامه‌ریزی مطالعات

۱-۱-۱- برنامه‌ریزی انجام فعالیت‌های دفتری

۱-۱-۲- برنامه‌ریزی بازدیدهای میدانی

۱-۱-۳- مذاکرات با کارفرما و سازمان‌های ذیربط به منظور تبیین اهداف و روش کار، نیازها و محدودیت‌ها



- ۴-۱-۱- برنامه‌ریزی جمع‌آوری آمار و اطلاعات، نقشه‌ها و گزارش‌ها
 ۵-۱-۱- تهیه برنامه زمان‌بندی انجام مطالعات و برنامه شکست کار (WBS)

۲-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات

- ۱-۲-۱- جمع‌آوری نقشه‌های کوچک مقیاس (۱:۱۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰ یا ۱:۵۰۰۰۰) حوزه آبریزهای مورد مطالعه
 ۲-۲-۱- جمع‌آوری نقشه‌های بزرگ مقیاس (۱:۱۰۰۰۰، ۱:۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰) در صورت وجود از آبراهه‌های اصلی حوزه و مسیل‌های شهری و روستایی
 ۳-۲-۱- جمع‌آوری عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای موجود منطقه مطالعاتی در دوره‌های زمانی مختلف
 ۴-۲-۱- جمع‌آوری نقشه‌های کاربری اراضی و کاداستر موجود از منطقه مورد مطالعه
 ۵-۲-۱- جمع‌آوری کلیه گزارشات پایه، تخصصی و آلبوم نقشه‌های حد بستر و حریم موجود و پهنه‌بندی سیلاب از رودخانه‌های مورد مطالعه
 ۶-۲-۱- جمع‌آوری آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در محدوده طرح و آمار بارندگی و دبی‌های سیلابی، آمار رسوب و کیفیت آب
 ۷-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سیلاب‌های گذشته رودخانه در اسناد و مدارک تاریخی موجود و پرس و جو از ساکنین منطقه
 ۸-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه در محدوده سیلابدشت رودخانه‌های مورد مطالعه
 ۹-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از تاسیسات و ابنیه‌های موجود در مسیر رودخانه‌های مورد مطالعه که بر مدل‌سازی جریان سیلاب تاثیرگذار هستند مانند سدها، بندهای انحرافی، پل‌ها و غیره
 ۱۰-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به طرح‌های اجرا شده یا در دست اجرا ساماندهی رودخانه

۳-۱- بازدید میدانی و بررسی‌های اولیه

- ۱-۳-۱- برنامه‌ریزی و هماهنگی انجام بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه و رودخانه‌های آن
 ۲-۳-۱- شناسایی وضعیت رودخانه‌ها و حوزه‌های آبریز آنها در محدوده مورد مطالعه و خصوصياتی مانند ضرایب مورد نیاز برای برآورد سیلاب، ضرایب مقاومت جریان در مقطع اصلی رودخانه و سیلابدشت‌ها و سایر موارد مورد نیاز
 ۳-۳-۱- بررسی مسیر و پهنه سیلاب‌های قبلی و داغاب‌ها و خسارات وارده
 ۴-۳-۱- بررسی وضعیت سازه‌های عرضی و طولی رودخانه‌های محدوده طرح
 ۵-۳-۱- بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی سیلابدشت رودخانه‌های محدوده طرح
 ۶-۳-۱- مذاکره با اهالی و بهره‌برداران از منابع رودخانه در مورد سیلاب‌های گذشته



۴-۱- بررسی کفایت نقشه‌های موجود و ارائه دستورالعمل نقشه‌برداری در صورت لزوم

۴-۱-۱- بررسی نقشه‌های موجود از منطقه مورد مطالعه به لحاظ دقت، مقیاس و کفایت نقشه‌ها با توجه به دقت

مورد نیاز

۴-۱-۲- ارائه دستورالعمل انجام خدمات نقشه‌برداری در صورت عدم کفایت نقشه‌های موجود (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ و

۱:۲۵۰۰۰ برای مطالعات در سطح حوضه‌های آبریز و استانی و مناطق کشاورزی و خارج از محدوده شهری و روستایی و مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ برای مطالعات در سطح شهرها و روستاها و مناطق مسکونی، صنعتی و تجاری)

۲- مطالعات خطر سیل

۱-۲- مطالعات فیزیوگرافی، هواشناسی و هیدرولوژی

۱-۲-۱- تعیین حدود حوضه آبریز و زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ها

۱-۲-۲- تعیین موقعیت‌های برآورد سیلاب در مسیر رودخانه‌ها

۱-۲-۳- استخراج DEM حوضه‌های آبریز بر اساس نقشه‌های موجود

۱-۲-۴- استخراج خصوصیات فیزیکی حوضه و زیرحوضه‌ها شامل مساحت و محیط حوضه، شکل حوضه، طول

رودخانه‌های اصلی و فرعی، شیب حوضه، تراکم شبکه آبراهه‌ها، خصوصیات ارتفاعی حوضه و زمان تمرکز حوضه

۱-۲-۵- جمع‌آوری و بررسی کیفیت، صحت و کفایت آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری منطقه

۱-۲-۶- انتخاب دوره آماری، تکمیل و تطویل آمار ایستگاه‌های با دوره آماری کوتاه‌تر از دوره شاخص

۱-۲-۷- تحلیل و پردازش داده‌های هواشناسی به منظور استخراج اطلاعات مورد نیاز جهت تهیه مدل هیدرولوژیکی

حوضه آبریز و زیرحوضه‌های آن مانند رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف و مورد نیاز

۱-۲-۸- بررسی آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در رودخانه‌های مورد مطالعه و سایر رودخانه‌های

حوضه‌های مجاور و تکمیل و بازسازی آن‌ها

۱-۲-۹- استخراج اطلاعات مورد نیاز از شرایط فیزیکی حوضه آبریز مانند جنس خاک، پوشش گیاهی و سایر موارد

۱-۲-۱۰- بررسی تغییر اقلیم بر بزرگی و دوره بازگشت سیلاب

۱-۲-۱۱- برآورد دبی‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف در نقاط مورد نیاز برای مدل‌سازی رودخانه با استفاده

از روش‌های آماری، روابط تجربی و یا مدل‌سازی هیدرولوژیکی بارش - رواناب

۱-۲-۱۲- استخراج هیدروگراف‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

۱-۲-۱۳- تعیین حداکثر سیل محتمل (PMF)

۲-۲- مطالعات هیدرولیک

۲-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات هندسی موجود شامل



- نقشه‌های توپوگرافی رقومی از مسیر رودخانه و سیلابدشت آن
- موقعیت و ابعاد سازه‌های تقاطعی و محاذی رودخانه
- اطلاعات سدها و بندهای ذخیره‌ای در مسیر رودخانه و برنامه رهاسازی آب در شرایط معمول و سیلابی و غیره
- ۲-۲-۲- تعیین نوع مدل‌سازی مناسب جهت شبیه‌سازی جریان (یک بعدی، دو بعدی یا ترکیبی، مدل‌سازی جریان رودخانه با بستر ثابت یا متحرک)
- ۳-۲-۲- انتخاب مدل مناسب هیدرولیکی متناسب با وضعیت مورفولوژیک و رژیم و نوع مدل‌سازی جریان رودخانه‌ها
- ۴-۲-۲- بررسی نقشه‌های توپوگرافی و مقاطع عرضی دریافتی و تهیه مشخصات هندسی رودخانه
- ۵-۲-۲- تخمین ضریب زبری مقاطع اصلی رودخانه و سیلابدشت آن
- ۶-۲-۲- تعیین شرایط مرزی بازه مورد مطالعه
- ۷-۲-۲- تعیین سیلاب‌های رودخانه با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله، حداکثر سیل محتمل و دوره بازگشت مبنا برای تهیه نقشه‌های خطر سیل با توجه به مطالعات هیدرولوژی طرح
- ۸-۲-۲- مدل‌سازی هیدرولیکی جریان رودخانه بر اساس وضع موجود (با وجود کلیه تاسیسات و سازه‌های موجود و سایر دخل و تصرفات در بستر و حریم)
- ۹-۲-۲- بررسی اسناد و مدارک تاریخی موجود از سیلاب‌های گذشته رودخانه
- ۱۰-۲-۲- تخمین مشخصات جریان سیلاب تاریخی شامل عمق و پهنه سیل بر اساس اسناد و مدارک تاریخی موجود
- ۱۱-۲-۲- تفسیر اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی، گزارش‌های زمین‌شناسی منطقه و سایر اطلاعات زمین‌شناختی موجود به منظور استخراج پهنه سیلاب تاریخی رودخانه
- ۱۲-۲-۲- صحت‌سنجی مدل هیدرولیکی با توجه به تفسیر اطلاعات سیلاب‌های گذشته یا ژئومورفولوژی منطقه در صورت امکان
- ۱۳-۲-۲- اجرای مدل برای سیلاب‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله و حداکثر سیل محتمل و تعیین کلیه مشخصات هیدرولیکی

۳-۲- مطالعات کاربری اراضی

- ۱-۳-۲- بررسی اطلاعات، نقشه‌ها و گزارش‌های موجود کاربری اراضی حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌ها به ویژه در مناطق جمعیتی و بررسی طرح‌های هادی روستایی و تفضیلی شهرها
- ۲-۳-۲- بررسی و تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به روز به منظور تعیین کاربری اراضی یا پوشش اراضی سیلابدشت

۳-۳-۲- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی حاشیه رودخانه‌ها بر اساس اطلاعات موجود و بازدیدهای میدانی تکمیلی

۴-۳-۲- دسته‌بندی انواع کاربری‌ها بر اساس میزان حساسیت آن‌ها به آسیب‌پذیری در برابر سیل



۲-۳-۵- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی پیش‌بینی شده در آینده در صورت اجرای طرح‌های توسعه (در صورت نیاز)

۲-۴- مطالعات ناحیه‌بندی خطر سیل

۲-۴-۱- تهیه لایه‌های عمق و سرعت جریان در پهنه سیل با دوره بازگشت مبنا برای رودخانه‌های مورد مطالعه

۲-۴-۲- تلقیق لایه‌های عمق و سرعت جریان در پهنه سیلابی

۲-۴-۳- استخراج ناحیه‌های مختلف خطر سیل بر اساس روش ناحیه‌بندی ترکیب عمق و سرعت جریان

۳- تهیه و ارائه نقشه‌ها

۳-۱- تهیه نقشه‌های پهنه سیل به ازای سیلاب‌های مختلف، سیل تاریخی و حداکثر سیل محتمل

۳-۲- تهیه نقشه‌های ناحیه‌بندی پارامترهای جریان مانند پهنه سیلاب، سرعت و عمق جریان به تفکیک

۳-۳- تهیه نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس ناحیه‌های تعیین شده در بند ۲-۴

۳-۴- تهیه نقشه‌های سرعت پخش سیلاب (سرعت پیشروی عرضی و طولی سیلاب)

۳-۵- قراردادن محدوده‌های بستر و حریم رودخانه بر روی نقشه‌های خطر سیل

۳-۶- تهیه نقشه حساسیت کاربری اراضی واقع در سیلاب‌دشت‌ها بر اساس پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

۳-۷- تهیه آلبوم نقشه‌های خطر سیل



پیوست ۴

شرح خدمات مطالعات تهیه نقشه‌های

خطرپذیری سیل



نقشه‌های خطرپذیری (ریسک) سیلاب، نقشه‌هایی است که نشان‌دهنده اثرات منفی بالقوه سیل در دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد و با استفاده از عواملی مانند تعداد شاخص ساکنین منطقه درگیر با سیل، نوع فعالیت‌های اقتصادی منطقه متأثر از سیلاب، تاسیسات موجود در منطقه، میزان خسارت محتمل و سایر شاخص‌های مشابه نشان داده می‌شود. به عبارت دیگر نقشه‌های جامعی هستند که از ترکیب میزان آسیب‌پذیری عناصر موجود در منطقه (جمعیت، صنایع، تاسیسات زیربنایی و سایر موارد) با میزان خطرات بالقوه سیل حاصل می‌شوند. این نقشه‌ها، یکی از اطلاعات پایه و اساسی در طرح‌های مدیریت ریسک سیل محسوب می‌شود و تصویر روشنی از میزان خطر و آسیب‌رسانی سیلاب در پهنه سیلابدشت را برای تصمیم‌گیری در برنامه‌های توسعه شهری، روستایی، کشاورزی و صنعتی به نمایش می‌گذارد.

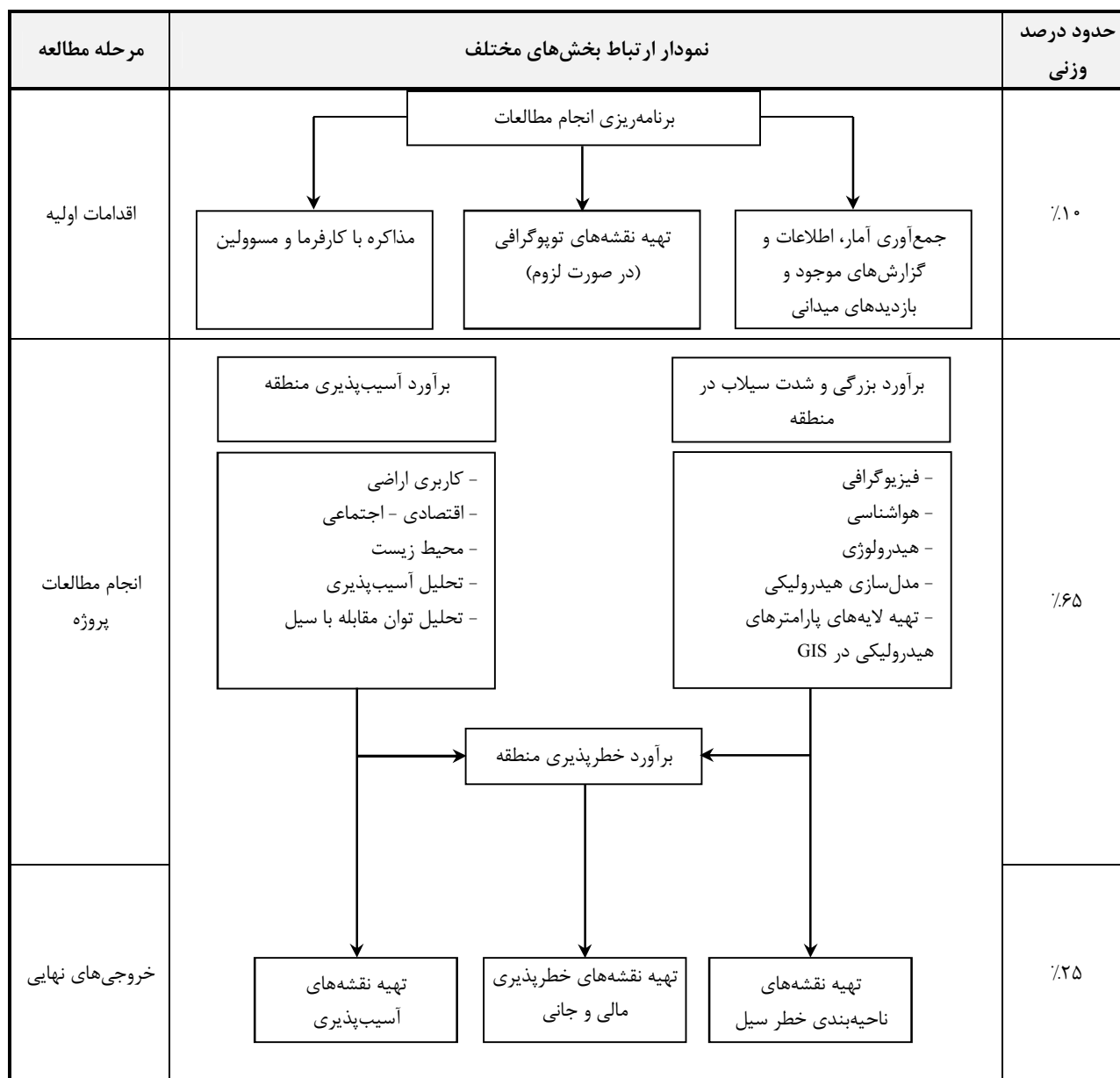
تهیه نقشه خطرپذیری سیل برای یک منطقه، یک فرآیند مطالعاتی است و انجام این فرآیند نیازمند شرح خدماتی است که مراحل کار و موضوعات تخصصی لازم برای تهیه این نقشه‌ها و ترتیب مراحل را نشان دهد. بدین منظور شرح خدمات حاضر به عنوان راهنمایی برای انجام مطالعات و تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل تهیه شده است. محدوده شرح خدمات پیشنهادی به سه بخش کلی تقسیم می‌شود: بخش اول اقدامات اولیه، بخش دوم انجام مطالعات و بخش سوم تهیه نقشه‌ها.

در نمودار (پ.۴-۱) مراحل انجام و ارتباط بخش‌های مختلف مطالعات نشان داده شده است.

در بخش اقدامات اولیه، به جمع‌آوری آمار، اطلاعات، نقشه‌ها و گزارش‌های موجود و بازدید از محدوده مطالعات مبادرت ورزیده و بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده طبق نظر کارفرما مراحل انجام مطالعات برنامه‌ریزی می‌شود. در این بخش برای اطمینان از مشخص بودن گام‌های مطالعات، متدولوژی انجام کار تدوین شده و به تایید کارفرما می‌رسد. در بخش انجام مطالعات، با بررسی داده‌ها و اطلاعات موجود حوضه آبریز و اطلاعات اقتصادی و اجتماعی منطقه، بخش‌های اصلی مطالعات شامل هیدرولوژی، هیدرولیک و پهنه‌بندی سیلاب، کاربری اراضی در وضعیت موجود و پیش‌بینی آن در سال‌های آتی، بررسی وضعیت و تعیین میزان آسیب‌پذیری‌های فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه، ارزیابی خطرپذیری کمی (خسارت بالقوه مالی و جانی) انجام شده و براساس اطلاعات به دست آمده از مشخصات هیدرولیک جریان سیل و تحلیل آسیب‌پذیری و کاربری اراضی، میزان خطرپذیری سیل برآورد می‌شود.

در بخش تهیه نقشه‌ها، مطابق با مقیاس مورد نظر و مفاهیم خطر و خطرپذیری سیلاب، نقشه‌های خطر و آسیب‌پذیری و خطرپذیری تهیه می‌شود.





نمودار پ.۴-۱- ارتباط بخش‌های مختلف مطالعات خطرپذیری سیلاب

۱- اقدامات اولیه

اقدامات اولیه شامل کارهایی است که پیش از شروع مطالعات پایه‌ریزی شده و شرایط انجام مطالعات را فراهم می‌سازد. این بخش شامل برنامه‌ریزی مطالعات، مذاکره با کارفرما و دستگاه‌های ذیربط، جمع‌آوری اطلاعات و نقشه‌ها، دستورالعمل خدمات جانبی و بازدیدهای میدانی می‌باشد.

۱-۱- برنامه‌ریزی مطالعات

۱-۱-۱- برنامه‌ریزی انجام فعالیت‌های دفتری

۱-۱-۲- برنامه‌ریزی بازدیدهای میدانی



۳-۱-۱- برنامه‌ریزی مذاکرات با کارفرما و سازمان‌های ذیربط به منظور تبیین اهداف و روش کار و نیازها و محدودیت‌ها

۴-۱-۱- برنامه‌ریزی جمع‌آوری آمار و اطلاعات، نقشه‌ها و گزارش‌ها
۵-۱-۱- تهیه برنامه زمان‌بندی انجام مطالعات و برنامه شکست کار (WBS)

۲-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات

۱-۲-۱- جمع‌آوری نقشه‌های کوچک مقیاس (۱:۱۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰ یا ۱:۵۰۰۰۰) حوضه

۲-۲-۱- جمع‌آوری نقشه‌های بزرگ مقیاس (۱:۱۰۰۰، ۱:۱۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰ در صورت وجود) از آبراهه‌های اصلی حوضه و مسیل‌های شهری و روستایی

۳-۲-۱- جمع‌آوری عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای موجود حوضه در دوره‌های زمانی مختلف

۴-۲-۱- جمع‌آوری نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

۵-۲-۱- جمع‌آوری کلیه گزارشات پایه، تخصصی و آلبوم نقشه‌های حد بستر و حریم موجود و پهنه‌بندی سیلاب از رودخانه‌های مورد مطالعه

۶-۲-۱- جمع‌آوری آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در محدوده طرح و آمار بارندگی و دبی‌های سیلابی، آمار رسوب و کیفیت آب

۷-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سیلاب‌های گذشته رودخانه در اسناد و مدارک تاریخی موجود و یا پرس و جو از ساکنین منطقه

۸-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه در محدوده سیلابدشت رودخانه‌های مورد مطالعه

۹-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از تاسیسات موجود در مسیر رودخانه‌های مورد مطالعه که بر مدل‌سازی جریان سیلاب تاثیرگذار هستند مانند سدها، بندهای انحرافی و پل‌ها و سایر موارد

۱۰-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به طرح‌های اجرا شده یا در دست اجرا ساماندهی رودخانه

۱۱-۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات اجمالی مربوط به سطح خطرپذیری و تعیین مسائل و مشکلات موجود در رودخانه‌ها و مسیل‌های اصلی

۱۲-۲-۱- جمع‌آوری آمار، گزارشات موجود مرتبط با وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه مورد مطالعه از ارگان‌های ذیربط مانند اطلاعات جمعیت منطقه، میزان اشتغال و بیکاری، سطح تحصیلات و سایر موارد

۱۳-۲-۱- جمع‌آوری آمار، گزارش‌های موجود از خسارات سیلاب‌های گذشته رودخانه

۱۴-۲-۱- جمع‌آوری نقشه‌ها و اطلاعات خطوط ارتباطی راه‌ها، تاسیسات زیربنایی مانند خطوط انتقال برق، آب،

مخابرات، نفت، گاز و سایر موارد



۳-۱- بازدید میدانی و بررسی‌های اولیه

- ۱-۳-۱- برنامه‌ریزی و هماهنگی انجام بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه و رودخانه‌های آن
- ۲-۳-۱- شناسایی وضعیت رودخانه‌ها و حوضه‌های آبریز آنها در محدوده مورد مطالعه و خصوصیات مائند ضرایب مورد نیاز برای برآورد سیلاب، ضرایب مقاومت جریان در مقطع اصلی رودخانه و سیلابدشت‌ها و سایر موارد مورد نیاز
- ۳-۳-۱- بررسی موقعیت نقاط جمعیتی در حاشیه رودخانه‌ها، تعداد دفعات وقوع سیل، میزان خسارت سیل، تبعات اقتصادی و اجتماعی منفی و مثبت سیل در جامعه، نحوه رویارویی مردم با سیل
- ۴-۳-۱- بررسی مسیر و پهنه سیلاب‌های قبلی و داغاب‌ها و خسارات وارده
- ۵-۳-۱- بررسی وضعیت سازه‌های عرضی و طولی رودخانه‌های محدوده طرح
- ۶-۳-۱- مذاکره با اهالی و بهره‌برداران از منابع رودخانه در مورد سیلاب‌های گذشته

۴-۱- بررسی کفایت نقشه‌های و ارائه دستورالعمل نقشه‌برداری در صورت لزوم

- ۱-۴-۱- بررسی نقشه‌های موجود از منطقه مورد مطالعه به لحاظ دقت، مقیاس و کفایت نقشه‌ها با توجه به نیاز دقت مورد نیاز
- ۲-۴-۱- ارائه دستورالعمل انجام خدمات نقشه‌برداری در صورت عدم کفایت نقشه‌های موجود (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ برای مطالعات در سطح حوضه‌های آبریز و استانی و مناطق کشاورزی و خارج از محدوده شهری و روستایی و مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ برای مطالعات در سطح شهرها و روستاها و مناطق مسکونی، صنعتی و تجاری)

۲- مطالعات خطر سیل

۱-۲- مطالعات فیزیوگرافی، هواشناسی و هیدرولوژی

- ۱-۱-۲- تعیین حدود حوضه آبریز و زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ها
- ۲-۱-۲- تعیین موقعیت‌های برآورد سیلاب در مسیر رودخانه‌ها
- ۳-۱-۲- استخراج DEM حوضه‌های آبریز بر اساس نقشه‌های موجود
- ۴-۱-۲- تعیین خصوصیات فیزیکی حوضه و زیرحوضه‌ها شامل مساحت و محیط حوضه، شکل حوضه، طول رودخانه‌های، شیب حوضه، تراکم شبکه آبراهه‌ها، خصوصیات ارتفاعی و زمان تمرکز حوضه
- ۵-۱-۲- جمع‌آوری و بررسی کیفیت، صحت و کفایت آمار و اطلاعات موجود
- ۶-۱-۲- انتخاب دوره آماری، تکمیل و تطویل آمار ایستگاه‌های با دوره آماری کوتاه‌تر از دوره شاخص
- ۷-۱-۲- تحلیل و پردازش داده‌های هواشناسی به منظور استخراج اطلاعات مورد نیاز جهت تهیه مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز و زیرحوضه‌های آن مانند رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف و مورد نیاز



- ۸-۱-۲- بررسی آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در رودخانه‌های مورد مطالعه و سایر رودخانه‌های حوضه‌های مجاور و مشابه و تکمیل و بازسازی آن‌ها
- ۹-۱-۲- استخراج اطلاعات مورد نیاز از شرایط فیزیکی حوضه آبریز مانند جنس خاک، پوشش گیاهی و سایر موارد
- ۱۰-۱-۲- بررسی تغییر اقلیم بر بزرگی و دوره بازگشت سیلاب
- ۱۱-۱-۲- برآورد دبی‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف در نقاط مورد نیاز برای مدل‌سازی رودخانه با استفاده از روش‌های آماری، روابط تجربی و یا مدل‌سازی هیدرولوژیکی بارش - رواناب
- ۱۲-۱-۲- استخراج هیدروگراف‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف
- ۱۳-۱-۲- تعیین حداکثر سیل محتمل (PMF)

۲-۲- مطالعات هیدرولیک

- ۱-۲-۲- جمع‌آوری اطلاعات هندسی موجود شامل
- نقشه‌های توپوگرافی رقومی از مسیر رودخانه و سیلابدشت آن
 - موقعیت و ابعاد سازه‌های تقاطعی و محاذی رودخانه
 - اطلاعات سدها و بندهای ذخیره‌ای در مسیر رودخانه و برنامه رهاسازی آب در شرایط معمول و سیلابی و غیره
- ۲-۲-۲- تعیین نوع مدل‌سازی مناسب جهت شبیه‌سازی جریان (یک بعدی، دو بعدی یا ترکیبی، مدل‌سازی بستر ثابت یا متحرک)
- ۳-۲-۲- انتخاب مدل مناسب هیدرولیکی متناسب با وضعیت مورفولوژیک و رژیم جریان رودخانه‌ها و نوع مدل‌سازی جریان
- ۴-۲-۲- بررسی نقشه‌های توپوگرافی و مقاطع عرضی و تهیه مشخصات هندسی رودخانه
- ۵-۲-۲- تخمین ضریب زبری مقاطع اصلی رودخانه و سیلابدشت آن
- ۶-۲-۲- تعیین شرایط مرزی بازه‌های مورد مطالعه
- ۷-۲-۲- تعیین سیلاب‌های رودخانه با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله، حداکثر سیل محتمل و دوره بازگشت مبنا برای تهیه نقشه‌های خطر سیل با توجه به مطالعات هیدرولوژی طرح
- ۸-۲-۲- مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه‌های محدوده مطالعاتی بر اساس وضع موجود منطقه (با وجود کلیه تاسیسات و سازه‌های موجود و سایر دخل و تصرفات در بستر و حریم)
- ۹-۲-۲- بررسی اسناد و مدارک تاریخی موجود از سیلاب‌های گذشته رودخانه
- ۱۰-۲-۲- استخراج مشخصات جریان سیلاب تاریخی شامل عمق و پهنه سیل
- ۱۱-۲-۲- تفسیر اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی، گزارش‌های زمین‌شناسی منطقه و سایر اطلاعات زمین‌شناختی موجود به منظور استخراج پهنه سیلاب تاریخی رودخانه



۲-۲-۱۲- صحت سنجی مدل هیدرولیکی با توجه به تفسیر اطلاعات سیلاب‌های گذشته یا اطلاعات ژئومورفولوژیکی منطقه در صورت امکان

۲-۲-۱۳- اجرای مدل برای سیلاب‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله و حداکثر سیل محتمل و تعیین مشخصات هیدرولیکی جریان شامل عمق و پهنه سیل، سرعت جریان، سرعت پخش سیلاب و زمان ماند سیل

۲-۳- مطالعات ناحیه‌بندی خطر سیل

۲-۳-۱- تهیه لایه‌های عمق و سرعت جریان در پهنه سیل با دوره بازگشت مبنا برای رودخانه‌های مورد مطالعه

۲-۳-۲- تلفیق لایه‌های عمق و سرعت جریان در پهنه سیلابی

۲-۳-۳- استخراج ناحیه‌های مختلف خطر سیل بر اساس روش ناحیه‌بندی ترکیب عمق و سرعت جریان

۳- مطالعات خطرپذیری سیل

۳-۱- مطالعات کاربری اراضی

۳-۱-۱- بررسی اطلاعات، نقشه‌ها و گزارش‌های موجود کاربری اراضی حاشیه رودخانه‌ها و مسیل‌ها به‌ویژه در مناطق جمعیتی و بررسی طرح‌های هادی روستایی و تفضیلی شهرها

۳-۱-۲- بررسی و تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به روز به منظور تعیین کاربری اراضی یا پوشش اراضی سیلاب‌دشت

۳-۱-۳- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی حاشیه رودخانه‌ها بر اساس اطلاعات موجود و بازدیدهای میدانی تکمیلی

۳-۱-۴- دسته‌بندی انواع کاربری‌ها بر اساس میزان حساسیت آن‌ها به آسیب‌پذیری در برابر سیل

۳-۱-۵- تهیه نقشه‌های کاربری اراضی پیش‌بینی شده در آینده به منظور تحلیل خطرپذیری در صورت اجرای طرح‌های توسعه (در صورت نیاز)

۳-۲- مطالعات اقتصادی - اجتماعی

۳-۲-۱- بررسی و تحلیل آمار، اطلاعات و گزارشات موجود مرتبط با وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه مورد مطالعه مانند اطلاعات جمعیت‌شناسی منطقه، میزان اشتغال و بیکاری، سطح تحصیلات و سایر موارد

۳-۲-۲- بررسی و تحلیل آمار، اطلاعات و گزارش‌های موجود از خسارات سیلاب‌های گذشته رودخانه

۳-۲-۳- تهیه پرسشنامه‌هایی به منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم در خصوص میزان خسارت مستقیم و غیرمستقیم

وارد در سیلاب‌های گذشته، وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه، نحوه رویارویی با سیلاب و غیره

۳-۲-۴- تکمیل پرسشنامه‌ها از طریق توزیع آن‌ها در میان جوامع و مسئولین محلی مربوطه

۳-۲-۵- بررسی، تحلیل و پایش پرسشنامه‌های تکمیل شده و استخراج اطلاعات مورد نیاز



اطلاعات تکمیلی از طریق تحلیل پرسشنامه‌ها به شرح موارد ذیل به دست می‌آید:

۳-۲-۶- جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سطح فقر، اشتغال، بیکاری، سطح تحصیلات، امکانات موجود برای فرار از

سیلاب

۳-۲-۷- بررسی روش‌های سنتی هشدار سیل و وضعیت موجود امکانات و تجهیزات پیش‌بینی و هشدار

۳-۲-۸- بررسی آمادگی ساکنین منطقه در رویارویی با سیلاب

۳-۲-۹- بررسی آشنایی ساکنین منطقه با مفاهیم نقشه‌های سیلاب

۳-۲-۱۰- بررسی نحوه بهره‌برداری از آب رودخانه در مواقع سیلابی که موجب کاهش خطرپذیری شود.

۳-۲-۱۱- بررسی آثار خسارات سیلاب و تاثیرات منفی اجتماعی آن بر زندگی مردم منطقه از جمله:

- از دست دادن شغل

- تخریب واحدهای مسکونی و تجاری

- ورود سیلاب به داخل منازل و خسارت به اثاثیه

- بروز تنش‌های اجتماعی ناشی از افزایش فقر

- افزایش جرم و بزهکاری

- بروز بیماری در اثر وقوع سیلاب در رودخانه‌های با آلودگی زیست‌محیطی بالا

- سایر مواردی که به عنوان خسارات اجتماعی وارده ناشی از سیلاب مطرح می‌باشند

۳-۲-۱۲- بررسی میزان رعایت قوانین و احترام به آن‌ها در بین مردم منطقه

۳-۲-۱۳- تعیین ارزش عرفی اراضی حاشیه رودخانه‌ها به تفکیک کاربری اراضی

۳-۲-۱۴- تعیین ارزش دارایی‌ها و سرمایه‌های موجود در حاشیه رودخانه، مانند مراکز صنعتی، خدماتی، کشاورزی و

سایر موارد

۳-۲-۱۵- بررسی مشاغل و فعالیت‌های اقتصادی حاشیه رودخانه که به طور مستقیم یا غیر مستقیم در نتیجه وقوع

سیلاب مختل شده و اقتصاد مردم منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

۳-۲-۱۶- تحلیل اطلاعات جمعیت منطقه مورد مطالعه به منظور تعیین توزیع سنی جمعیت، جنسیت و غیره

۳-۲-۱۷- تعیین معیارهای آسیب‌پذیری اقتصادی در منطقه مورد مطالعه جهت تعیین آسیب‌پذیری اقتصادی

۳-۲-۱۸- تعیین معیارهای آسیب‌پذیری اجتماعی در منطقه مورد مطالعه جهت تعیین آسیب‌پذیری اجتماعی

۳-۳- مطالعات زیست‌محیطی

۳-۳-۱- جمع‌آوری، بررسی اطلاعات و گزارشات موجود زیست‌محیطی از منطقه مورد مطالعه

۳-۳-۲- بررسی آمار و اطلاعات کیفیت آب رودخانه و تعیین محدوده‌های با کیفیت نامناسب به لحاظ کاربری‌های

شرب، کشاورزی و صنعت



۳-۳-۳- تعیین موقعیت مراکز صنعتی، انبارهای مواد شیمیایی و سایر منابع آلاینده رودخانه بالاخص مواردی که در هنگام وقوع سیلاب موجب گسترش آلودگی در رودخانه می‌شوند.

۳-۳-۴- بررسی اثرات منفی زیست‌محیطی سیلاب در حوضه آبریز و سیلابدشت رودخانه‌های واقع در محدوده مورد مطالعه مانند اثرات بر گونه‌های گیاهی و جانوری، موجودات آبی و کیفیت منابع آب

۳-۳-۵- بررسی مخاطرات حادثه‌ساز زیست‌محیطی ناشی از وقوع سیلاب در پهنه‌های سیلگیر رودخانه‌ها

۳-۳-۶- تعیین معیارهای زیست‌محیطی در منطقه مورد مطالعه جهت تعیین آسیب‌پذیری زیست‌محیطی

۳-۴- مطالعات ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب

۳-۴-۱- بررسی و تعیین نوع و مشخصات ریخت‌شناسی رودخانه‌های محدوده مطالعاتی

۳-۴-۲- بررسی نحوه تغییرات زمانی مسیر رودخانه در آینده و پیش‌بینی روند تغییرات در سیلاب‌های آتی بالاخص تغییرات ایجاد شده در مسیر جریان رودخانه

۳-۴-۳- شناسایی بازه‌های فرسایش‌پذیر و ناپایدار از نظر فرسایش بستر و کناره‌ها و تعیین بازه‌های آسیب‌پذیر در

مسیر رودخانه

۳-۴-۴- بررسی میزان فرسایش‌پذیری در سطح حوضه آبریز و احتمال وقوع سیلاب با حجم رسوب بالا در

رودخانه‌های محدوده مطالعاتی

۳-۴-۵- شناسایی بازه‌های رسوبگذار رودخانه که ممکن است منجر به کاهش آبگذری و افزایش آسیب‌پذیری در

سیلابدشت گردد.

۳-۴-۶- بررسی احتمال بریده شدن قوس‌های رودخانه در هنگام وقوع سیلاب

۳-۴-۷- بررسی آثار ایجاد تغییرات انسانی ایجاد شده در مسیر رودخانه بر میزان آسیب‌پذیری و خطرپذیری

۳-۴-۸- تعیین معیارهای آسیب‌پذیری به لحاظ پارامترهای ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب در رودخانه‌های

محدوده مطالعاتی

۳-۵- مطالعات آسیب‌پذیری و خطرپذیری

۳-۵-۱- تعیین و بررسی معیارهای مختلف آسیب‌پذیری فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی

۳-۵-۲- انتخاب نوع آسیب‌پذیری در برابر سیلاب که باید تحلیل شود.

۳-۵-۳- تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به محدوده‌های همگن به لحاظ پارامترهای آسیب‌پذیری در محیط GIS

۳-۵-۴- وزندهی به معیارهای آسیب‌پذیری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و نرم افزارهای مربوطه

۳-۵-۵- بی‌بعدسازی، استاندارد کردن و استخراج شاخص‌های آسیب‌پذیری فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و

زیست‌محیطی به تفکیک



- ۳-۵-۶- ناحیه‌بندی سطوح آسیب‌پذیری به تفکیک نوع آسیب‌پذیری یا در ترکیب با یکدیگر
- ۳-۵-۷- تعیین دقت و مقیاس مورد نظر برای ارزیابی میزان خسارت محتمل سیلاب (تعیین دقت شامل انتخاب انواع کاربری‌ها، نوع محصولات کشت شده، ساختمان‌های مشابه به لحاظ طبقات و نحوه ساخت و ساز و غیره می‌باشد).
- ۳-۵-۸- تعیین دوره بازگشت سیلاب برای ارزیابی میزان خسارت محتمل سیلاب
- ۳-۵-۹- بررسی گزارشات و منابع علمی به منظور انتخاب منحنی‌های عمق - خسارت برای کاربری‌های مختلف
- ۳-۵-۱۰- تعیین منحنی‌ها یا روابط میزان خسارت محتمل به ازای اعماق مختلف سیلاب برای انواع کاربری‌های موجود در محدوده مورد مطالعه بر اساس پرسشنامه‌های تکمیل شده در بخش مطالعات اقتصادی
- ۳-۵-۱۱- تعیین میزان خسارت محتمل سیل برای کاربری‌های مختلف در دوره بازگشت‌های متفاوت
- ۳-۵-۱۲- انتخاب نرم افزار مناسب برای تحلیل ریسک خسارت سیل مانند نرم افزارهای HEC-FDA، HEC-FIA
- ۳-۵-۱۳- تعیین میزان خسارت محتمل سالانه یا خسارت مورد انتظار سالانه
- ۳-۵-۱۴- ناحیه‌بندی میزان خطرپذیری سیل بر اساس خسارت مورد انتظار سالانه
- ۳-۵-۱۵- تعیین میزان تلفات انسانی و مجروحین محتمل در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت مبنا در صورت نیاز کارفرما
- ۳-۵-۱۶- ناحیه‌بندی خطرپذیری سیل بر اساس میزان تلفات انسانی محتمل در صورت نیاز کارفرما
- ۳-۵-۱۷- تعیین معیارهای تاثیرگذار در توان مقابله با سیل مانند موقعیت مراکز خدماتی، امدادی، درمانی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، جایگاه سوختگیری، فاصله از معابر درجه ۱، ۲ و ۳، جایگاه‌های سوختگیری وسایل نقلیه، پناهگاه‌ها و سایر موارد
- ۳-۵-۱۸- وزن‌دهی به معیارهای مشخص شده در بند ۳-۵-۱ و تعیین شاخص توان مقابله با سیل بر اساس معیارهای مطروحه

۴- تهیه و ارائه نقشه‌ها

۴-۱- نقشه‌های خطر سیل

- ۴-۱-۱- تهیه نقشه‌های پهنه سیل به ازای سیلاب‌های مختلف
- ۴-۱-۲- تهیه نقشه‌های ناحیه‌بندی پارامترهای جریان مانند پهنه سیلاب، سرعت و عمق - جریان به تفکیک در صورت نیاز
- ۴-۱-۳- تهیه نقشه‌های ناحیه‌بندی خطر سیل بر اساس ناحیه‌های تعیین شده در بند ۲-۳
- ۴-۱-۴- تهیه نقشه‌های سرعت پخش سیلاب (سرعت پیشروی عرضی و طولی سیلاب)
- ۴-۱-۵- قراردادن محدوده‌های بستر و حریم رودخانه بر روی نقشه‌های خطر سیل
- ۴-۱-۶- تهیه آلبوم نقشه‌های خطر سیل



۲-۴- نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطرپذیری

۱-۲-۴- تهیه نقشه آسیب‌پذیری فیزیکی شامل آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها مانند پل‌ها، تاسیسات عبوری از رودخانه، تاسیسات واقع در سیلابدشت رودخانه مانند خطوط انتقال برق، گاز، آب و غیره، راه‌های ارتباطی، تاسیسات آبیگری از رودخانه و سایر موارد

۲-۲-۴- تهیه نقشه آسیب‌پذیری اجتماعی بر اساس معیارهای تعیین شده در بخش مطالعات اجتماعی

۳-۲-۴- تهیه نقشه آسیب‌پذیری اقتصادی بر اساس معیارهای تعیین شده در بخش مطالعات اقتصادی

۴-۲-۴- تهیه نقشه آسیب‌پذیری زیست‌محیطی بر اساس معیارهای تعیین شده در بخش مطالعات زیست‌محیطی

۵-۲-۴- تهیه نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه در صورت نیاز

۶-۲-۴- تهیه نقشه ناحیه‌بندی خسارت محتمل سالیانه یا نقشه خطرپذیری مالی

۷-۲-۴- تهیه نقشه ناحیه‌بندی تلفات انسانی محتمل یا نقشه خطرپذیری جانی

۸-۲-۴- تهیه نقشه‌های تکمیلی سیلاب مانند حساسیت کاربری اراضی، نقشه‌های فرار و تخلیه و نقاط امن،

نقشه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی

۹-۲-۴- تهیه نقشه‌های توان مقابله با سیل بر اساس شاخص توان مقابله با سیل برآورد شده در بند ۳-۵-۱۷

۱۰-۲-۴- تهیه آلبوم نقشه‌های خطرپذیری سیلاب



منابع و مراجع

- ۱- «اصول و مبانی تهیه و کاربرد نقشه‌های خطر سیلاب در ژاپن»، کارگروه تخصصی پیشگیری از سیل و طغیان رودخانه‌ها، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۵
- ۲- امیراحمدی، ا؛ کرامتی، ص؛ احمدی، ط؛ «ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر نیشابور در راستای توسعه شهری»، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال دوم، شماره ۷، ص ۹۱-۱۱۰، ۱۳۹۰
- ۳- امیراحمدی، ا؛ بهنیافر، ا؛ ابراهیمی، م؛ «ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری»، آمایش محیط، دوره ۵، شماره ۱۶، ص ۱۷-۳۲، ۱۳۹۱
- ۴- امیرمرادی، کیمیا، «پهنه‌بندی ریسک مخاطرات مالی و جانی ناشی از سیلاب‌های رودخانه‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت عوامل طبیعی»، پایان‌نامه دکتر، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، ۱۳۹۸
- ۵- «بررسی خسارت سیل»، نشریه شماره ۱۶۴- ن طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، ۱۳۹۵
- ۶- پرهت، ج؛ «اطلس سیل کشور»، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۳۹۷
- ۷- تجری، ح و همکاران؛ «مدل‌سازی و تعیین پهنه خطر سیل در استان گلستان»، پنجمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب، ۱۳۹۶
- ۸- جاف، ل، «ارزیابی خسارت ناشی از سیل با استفاده از نرم افزار HEC-FDA در حوضه آبخیز خوانسار»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۳
- ۹- جنیدی، فائزه، «سیلاب‌های تاریخی ایران»، پایگاه اینترنتی <http://mojepishro.ir>
- ۱۰- حاتمی نژاد، ح؛ آتش افروز، ن؛ آروین، م، «پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چند معیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایزه»، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۷، شماره ۲، ۱۳۹۶
- ۱۱- حسن زاده نفوتی، خواجه بافقی، «پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیطان بافق)»، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۴، ۱۳۹۵
- ۱۲- حمیدی و همکاران، «تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوضه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی» پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۴، ۱۳۹۵
- ۱۳- دلیران فیروز و همکاران، «ارزیابی خسارات ناشی از سیل در حوضه‌های آبخیز قمصر و قهرود با استفاده از نرم‌افزار HEC- FIA»، نشریه علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره هفتاد و چهارم، ۱۳۹۴
- ۱۴- «راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها»، نشریه شماره ۳۰۷ سازمان برنامه و بودجه کشور،



- ۱۵- «راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل»، نشریه شماره ۵۸۳ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۱
- ۱۶- «دستورالعمل روش‌های محاسبه حداکثر سیل محتمل (PMF)»، نشریه شماره ۶۴۷ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۲
- ۱۷- «راهنمای مدیریت سیلاب‌دشت»، نشریه شماره ۷۰۵ سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۵
- ۱۸- رضایی مقدم، م؛ یاسی، م؛ نیکجو، م؛ رحیمی، م. «پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهرچای)»، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۵، ۱۳۹۷
- ۱۹- صابری فر، ر؛ شکری، ه، «پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند»، آمایش سرزمین، دوره ۱۱، شماره اول، ص ۱۷۸-۱۳۹۸، ۱۵۹
- ۲۰- ضرغامی، مهدی، «تدقیق عملکرد میانگین وزنی مرتب با در نظرگیری عدم قطعیت‌های فازی و احتمالی؛ مورد پژوهی: اولویت‌بندی اجرای طرح‌های توسعه منابع آب در ایران»، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۶
- ۲۱- غفاری، گ؛ سلیمانی، ک؛ مساعدی، ا، «پهنه‌بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل با استفاده از HEC – GeoRAS (مطالعه موردی: رودخانه بابلرود)»، نشریه دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶۰، شماره ۲، صص ۴۵۱-۴۳۹، ۱۳۸۶
- ۲۲- فتوحی، ص؛ کیانی، س، «ریزپهنه‌بندی ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: شهر نهاوند)»، فصل‌نامه آمایش محیط، دوره ۸، شماره ۲۹، صص ۱۳۳-۱۵۲، ۱۳۹۴
- ۲۳- قبادی، م؛ احمدی پری، م؛ صالحی، ا، «ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک سیلاب سکونتگاه‌های انسانی در راستای توسعه پایدار با بهره‌گیری از Fuzzy AHP در محیط GIS و مدل DPSIR (مطالعه موردی: منطقه آبعلی)»، فصل‌نامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۸، شماره ۲، صص ۳۶۳-۳۵۱، ۱۳۹۵
- ۲۴- قدسی پور، ح؛ «فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP»، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۵
- ۲۵- قنواتی، ع؛ بابایی اقدم، ف؛ همتی، ط؛ رحیمی، م، «پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از مدل منطق فازی در محیط GIS (مطالعه موردی حوضه رودخانه خیاوچای مشکین شهر)»، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۳، صص ۱۳۵-۱۲۱، ۱۳۹۴
- ۲۶- کاویانپور، م؛ نیکرو، پ؛ پورحسن، م؛ «کاهش خسارت سیل در مخروط افکنه‌ها مطالعه موردی: رودخانه جاماش در بندرعباس»، تحقیقات منابع آب ایران، سال یازدهم، شماره ۱، ۱۳۹۴
- ۲۷- کرباسی، م؛ شکوهی، ع؛ ثقفیان، ب؛ «تخمین تلفات سیلاب‌های آبی در مناطق مسکونی»، ۱۳۹۷
- ۲۸- کریمی فیروزجایی و همکاران، «تهیه نقشه خطر سیل مبتنی بر انرژی جریان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی»، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۴، ۱۳۹۶



- ۲۹- کریمی، نعمت الله، «جایگاه سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای در پایش و پیش‌بینی سیلاب و برآورد خسارت‌های ناشی از آن»، موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۶
- ۳۰- گنجی نوروزی، ز؛ شکوهی، ع؛ «ارزیابی مدل ریاضی پیش‌بینی خسارت کشاورزی ناشی از سیل»، تحقیقات منابع آب ایران، سال دهم، شماره ۳، ۱۳۹۳
- ۳۱- غلامی، محمد؛ احمدی، مهدی؛ «ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر لامرد با استفاده از AHP، GIS و منطق فازی»، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، ۱۳۹۸
- ۳۲- «مدیریت و بهره‌برداری بهینه سیستم‌های منابع آبی و برقابی حوزه‌های دز و کارون»، سازمان آب و برق خوزستان، شرکت مهندسين مشاور مه‌اب قدس، شرکت مشاور اسکات ویلسن پیزولد، ۱۳۸۳
- ۳۳- محمودزاده، ح؛ امامی کیا، و؛ رسولی، ع؛ «ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، ۱۳۹۴
- ۳۴- محمودزاده، ح؛ باکویی، م؛ «پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی»، مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۸، ۱۳۹۷
- ۳۵- مختاری هشی، ح؛ رحیمی، د؛ «پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی»، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۷، پیاپی ۶۱، شماره ۱، ۱۳۹۵
- ۳۶- ملک محمدی، ب، تجریشی، مسعود؛ «تعیین نرخ بیمه سیل در مناطق شهری»، صنعت بیمه سال ۱۴، شماره ۵۵، ۱۳۸۴
- ۳۷- «مطالعات بازبینی و بررسی اثرات طرح جامع سیل و توسعه و تدوین برنامه بلند مدت سیل در استان گلستان»، مهندسين مشاور سازآب گلستان، آب منطقه‌ای گلستان، ۱۳۹۴
- 38- Alaghmand S et al. (2010), "GIS-based river flood hazard mapping in urban area (a case study in Kayu Ara river basin, Malaysia)", Vol.2(6), P 488-500.
- 39- Büchele, B, et al.(2006), 'Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks', Natural Hazards and Earth System Science, vol. 6, No. 4, pp. 485-503.
- 40- Chang, N., G. Parvathinathan and J. Breeden. (2008), "Combining GIS with fuzzy multi criteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region", Journal of Environmental Management, 87: 139-153.
- 41- Crichton, D., (1999), "The Risk Triangle", CGU Insurance, UK.
- 42- DEFRA. "Flood risks to people phase 2". In: R&D Technical Report FD2321. DEFRA.& Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme. ,2006.
- 43- Dilley, M, Chen, RS, Deichmann, U 2005, Natural disaster hotspots: a global risk analysis, The World Bank, Hazard Management Unit, Washington, DC.
- 44- " EU overview of methodologies used in preparation of Flood Hazard and Flood Risk Maps ", (2016), European commission, Publications Office of the European Union.



- 45- "European Overview Assessment of Member States 'reports on Preliminary Flood Risk Assessment and Identification of Areas of Potentially Significant Flood Risk", (2016), European commission, Publications Office of the European Union.
 - 46- Flanagan B.E., et al. (2011), "A Social Vulnerability Index for Disaster Management", Journal of Homeland Security and Emergency Management, Vol. 8: Iss. 1.
 - 47- "Flood mapping implementation kit; Queensland Flood Mapping Program", (2014), State of Queensland, Department of Natural Resources and Mines.
 - 48- "Flood risk and environmental vulnerability, Exploring the synergies between floodplain restoration, water policies and thematic policies", (2016), EEA report.
 - 49- "Flood Risk and Land use vulnerability Guidance", (2018), Scottish Environment Protection Agency (SEPA).
 - 50- Foudi, S; Eraso, N; Tamayo, I. (2015), "Integrated spatial risk assessment: The case of Zaragoza", Land Use Policy 42, 278-292.
 - 51- "Flood hazard", (2017), Australian disaster resilience handbook collection, Guideline 7-3, Australian institute for disaster resilience.
 - 52- "Flood Hazard Mapping Manual in Japan", (2005), Flood Control Division, River Bureau & Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT).
 - 53- "Flood hazard map guidelines of the German Working Group", (2006), Federal States on Water Issues (LAWA).
 - 54- "Floodplain development manual: the management of flood liable land", (2005), New South Wales Government.
 - 55- Fransi F. et al, (2016), "Satellite remote sensing and GIS-based multi-criteria analysis for flood hazard mapping", Natural Hazards.
 - 56- "Federal Floodplain Mapping Framework Version 1.0", (2017), Natural Resources Canada & Public Safety Canada.
 - 57- Geological Survey of Spain, (2009), "A Handbook on flood hazard mapping methodology".
 - 58- "Guide for Flood Studies and Mapping in Queensland", (2017), Department of Natural Resources and Mines.
 - 59- Ghosh, A; Kumar Kar, S; (2016), "Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India", Natural Hazard.
 - 60- "Handbook on good practices for flood mapping in Europe", (2007), EXCIMAP (a European exchange circle on flood mapping).
 - 61- "Hazus – MH for risk assessment", (2004), FEMA 433.
 - 62- HEC-FDA (2008) Flood Damage Reduction Analysis. User Manual. Version 1.2.4, Us Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.
 - 63- Huizinga J, Moel H, Szewczyk W; (2017), "Global Flood depth damage functions", JRC technical reports.
 - 64- Hajibigloo M, et al. (2017), "Mapping the flood prone areas for developing a flood risk management system in the northeast of IRAN", Water Harvesting Research, 2(2):1-12.
 - 65- Holmes, D; Croot, D, (2010), "Top Spec Geography: Flood Risk and Management".
 - 66- Hoque, M. et al. (2019), "Assessing Spatial Flood Vulnerability at Kalapara Upazila in Bangladesh Using an Analytic Hierarchy Process", Sensors.
 - 67- http://www.mlit.go.jp/rivcer/basic_info/english/river.htm.
- (سایت وزارت اراضی، تاسیسات زیربنایی و حمل و نقل کشور ژاپن)



- 68- <http://apps.sepa.org.uk/FRMStrategies/highlands-argyll.html>.
- 69- "Integrated flood management tasks: Flood Mapping", (2013), World meteorological Organization.
- 70- Jonkman S N, (2005), "Global perspectives of loss of human life caused by floods", Journal of Natural Hazards ,34:151-175.
- 71- Jonkman, S N; (2007) "Loss of life estimation in flood risk assessment—theory and applications", Ph.D. Thesis, Delft University.
- 72- Kabul C et al,(2009), " Integrated urban flood risk assessment- adapting a multicriteria approach to a city", Natural Hazard Earth system, 9, 1881-1895.
- 73- Kropff, M, J. (2008), "Integrated local knowledge into GIS- based flood risk assessment", Phd thesis.
- 74- Moel, H et al. (2009), "Flood maps in Europe – methods, availability and use"; Natural Hazards and Earth System Sciences,9, 289-301.
- 75- Mohammadi S.A, et al, (2014), " Flood damage estimate (quantity), using HEC-FDA model. Case study: the Neka river", 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCW12013.
- 76- Marschiavelli, Mone; (2008), " Vulnerability assessment and coping mechanism related to floods in urban areas: A community-based case study in Kumpang Melayu, Indonesia", Master Thesis, Gradjam Mada University.
- 77- "National Floodplain Mapping Assessment - Final Report" (2014), Public Safety Canada.
- 78- Nasiri, H; Yosof M; Ali, T; (2016), "An overview to flood vulnerability assessment methods"; Sustainable of water resources management, 331-336.
- 79- Rashetnia S, (2016), "Flood vulnerability assessment by applying a Fuzzy logic method", Thesis
- 80- "Review of flood mapping", (2008), Integrated flood risk analysis and management methodologies.
- 81- Rana, I.A.; Routray, J.K. (2018), "Integrated methodology for flood risk assessment and application in urban communities of Pakistan". Nat. Hazards, 91, 239–266.
- 82- Safaripour, M; Monavari, M; Zare M. (2012), " Flood risk assessment using GIS (case study: Golestan Province,Iran), Journal of environmental study, vol 21, No 6, 1817-1824.
- 83- Simmon, D, et al. (2017), "Qualitative and quantitative approaches to risk assessment", Risk Management, Disaster Risk Management knowledge centre.
- 84- Solin, L et al. (2018),"Vulnerability assessment of households and its possible reflection in flood risk management: The case of the upper Myjava basin, Slovakia", Int. J. Disaster Risk Reduction. No 28, 640–652.
- 85- Smith et al, (2014), "Flood Hazard", Water research laboratory.
- 86- Sherman K L, (1932), Stream Flow from Rainfall by the Unit Graph Method," Engineering News-Record, Vol. 108, pp. 501-505
- 87- Shrestha, B et al. (2018), "Methodology for Agricultural Flood Damage Assessment", Intech open.
- 88- Thielen et al, (2006), "Methods for Flood Risk Assessment: Concepts and Challenges", International Workshop on Flash Floods in Urban Areas, Muscat-Sultanate of Oman.
- 89- USACE-HEC (2000) Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (HEC), Davis, USA
- 90- USACE-HEC (2008) Hydrologic Modeling System HEC-HMS v3.2 User's Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, USA.
- 91- Vatanfada, J. (2009), "Flood management of Iran (country report)", Flood Prevention Committee.



- 92- Weerasinghe, K et al. (2017), “Qualitative Flood Risk Assessment for the Western Province of Sri Lanka”, 7th International Conference on Building Resilience, Bangkok, Thailand.
- 93- Wright, D B, (2016), “Methods in Flood Hazard and Risk Assessment”, CAPRA.
- 94- WWW.FEMA.GOV



خواننده گرامی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می باشد.



Manual for Providing Flood Risk Map [No. 821]

Project Adviser: Mahmoud Afsous

Authors & Contributors Committee:

Mahmoud Afsous	Sazepardazi Iran Consulting Engineers Co.	M.Sc. of Hydraulic Eng.
Sanaz Bambaiechi	Sazepardazi Iran Consulting Engineers Co.	Ph.D. of Water Resources Eng.
Elahe Kakavand	Regional Water Company of Qazvin	M.Sc. of Hydrolic Structures

Supervisory Committee:

Ghazal Jafari	Iran Water Resources Management Co.	M.Sc. of Hydraulic Structures Eng.
MohammadHossien Yazdani	National Disaster Management Organization Of Iran	M.Sc. of Crisis Managment

Confirmation Committee:

Mohammad Ebrahim Banihabib	University of Tehran	Ph.D. of Water Resources Eng.
Ghazal Jafari	Iran Water Resources Management Co.	M.Sc. of Hydraulic Structures Eng.
Narges Dashti	Ministry of Energy	B.Sc. of Irrigation Eng.
Mohammad Rostami	Soil Conservation and Watershed Management Research Institute	Ph.D. of Water Resources Eng.
Hesam Fouladfar	Iran Water & Power Resources Development Company	Ph.D. of River Engineering
Jabbar Vatan Fada	Ministry of Energy	M.Sc. of Hydrolic Structures
Mahdi Yasi	University of Tehran	Ph.D. of River Engineering
Mohammad Hossien Yazdani	National Disaster Management Organization Of Iran	M.Sc. of Crisis Managment

Steering Committee: (Plan and Budgest Organization)

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamazanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidedin Rezvani	Expert in Irrigation and Drainage Engineering, Technical and Executive Affairs Department



Abstract:

Flood management covers the holistic and continuous assessment, evaluation and reduction of flood hazard and flood risks. Furthermore, a prerequisite for effective and efficient flood risk management is the in-depth knowledge of the prevailing hazards and risks throughout a river basin. Flood maps are illustrated to demand speed information of flood hazard and risk. Flood maps which divided to hazard and risk maps are indispensable tools to show information about hazards, vulnerabilities and risks in a particular area.

- Flood hazard maps shows areas which could be flooded according to three probabilities (low, medium high) complemented with: type of flood, the flood extent; water depths or water level as appropriate; where appropriate, flow velocity or the relevant water flow direction and finally the hazard zoning.
- Flood risk maps indicate the potential adverse consequences associated with floods under several probabilities, expressed in terms of: the indicative number of inhabitants; type of economic activity of the area and installation and buildings potentially might be affected by flood.

Flood maps can be used for:

- Flood Risk Management Strategy (prevention, mitigation)
- Land-use planning, land management
- Emergency planning
- Public Awareness raising
- Insurance industry
- Flood warning and public training

The present manual was prepared to explain different types of flood maps and the procedure of how provide flood hazard and risk maps which are effective base tools for any planning and management action plan to prevent or mitigate flood damage.



Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Manual for Providing Flood Risk Map

No. 821

Last Edition: 06-27-2020

Deputy of Technical, Infrastructure and
Production Affairs
Department of Technical & Executive
Affairs, Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Water and Wastewater Standards and Projects
Bureau

seso.moe.org.ir



این ضابطه

با عنوان «راهنمای تهیه نقشه‌های
خطرپذیری سیلاب»، به بررسی انواع نقشه‌های
سیلاب و کاربردهای آن، روش‌ها و متدولوژی
تهیه نقشه‌های خطر سیلاب، نقشه‌های
خطرپذیری سیلاب و مطالعات مربوط به آن و
مراحل تهیه نقشه‌های مذکور، می‌پردازد و در
نهایت شرح کلی خدمات مطالعات تهیه
نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل و مطالعات تهیه
نقشه‌های خطرپذیری سیل را ارائه می‌دهد.

