مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
ص ۳۹۲-۳۷۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱
تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

آنالیز ریسک و رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها به منظور جانمایی LIDها در کنترل سیلاب شهری (مطالعه موردی: مناطق ۱۰ و ۱۱ مشهد)

❖ **حامد زاهدی خامنه؛** دانشجو دکتری سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

❖ **سعید رضا خداشناس*؛** استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این پژوهش سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی مناطق ۱۰ و ۱۱ شهر مشهد مدل‌سازی گردید. جهت ارزیابی شرایط سیستم آنالیز ریسک و همچنین به منظور مکان یابی جهت اجرای طرح‌های توسعه کم اثر (LID)[1]، از آنالیز ریسک استفاده شد. نتایج نشان داد که سیستم جمع‌آوری اگر چه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت دوساله مشکل خاصی ندارد ولی برای سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر ظرفیت مناسب ندارد و به ترتیب ۲۹ و ۳۸ درصد از کانال‌ها دچار پس زدگی و آبگرفتگی می‌شوند. جهت آنالیز ریسک از دو پارامتر احتمال شکست (pof) [2]و پیامد شکست (cof) [3]استفاده شد. نتایج با استفاده از Z-Score دسته‌بندی و زیر حوضه‌ها به ۵ گروه تفکیک شدند. نتایج نشان داد که به ترتیب در مناطق ۱۰ و ۱۱، ۶۱.۹ و ۴۹.۵درصد از زیر حوضه در دسته با احتمال شکست بالا (گروه‌های ۴ و ۵) قراردارند. همچنین بررسی پیامد شکست نشان داد که ۱۶.۳ درصد از زیر حوضه‌های منطقه ۱۰ و ۲۴ درصد از زیر حوضه‌های منطقه ۱۱ در گروه با پیامد شکست بالا قرار دارند. جهت رتبه‌بندی نهایی زیر حوضه به منظور اولویت‌بندی در جانمایی طرح‌های LID علاوه بر آنالیز ریسک، زیر حوضه‌ها بر اساس اولویت‌های اقتصادی اجتماعی و کاربری اراضی نیز دسته‌بندی گردید. رتبه‌بندی نهایی نشان داد ۶.۶ درصد از زیر حوضه‌های مورد مطالعه که شامل ۲۲.۸ درصد از مساحت محدوده مورد بررسی هستند در دسته با ریسک بالا قرار می‌گیرند. انجام رتبه‌بندی، مناطق با خطر سیل بالا را تحت فشار می‌گذارد که کنترل LID را بپذیرند و سرمایه گذاری انجام دهند، همچنین به مناطقی که خطر سیل کمتری دارند اما احتمال بالاتر در اجرا و سرمایه‌گذاری LIDها دارند سود می‌رسانند.

واژگان کلیدی: مدیریت سیلاب، رواناب، توسعه کم اثر، رتبه‌بندی زیرحوضه، ارزیابی ریسک

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۵۱۳۸۸۰۵۷۲۰
Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

[1] Low Impact Development
[2] probability of failure
[3] consequence of failure

۱. مقدمه

هدف اصلی از مدیریت سنتی سیلاب شهری انتقال آب از یک منطقه درحداقل زمان است. افزودن سطوح غیرقابل نفوذ، نفوذی را که در یک منطقه در وضعیت طبیعی آن رخ می‌دهد را کاهش می‌دهد، این امر به افزایش میزان رواناب کمک می‌کند. ادامه مدیریت سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی با این روش به پیشرفت‌های پایدار کمک نخواهد کرد [۲۷].

افزودن کنترل‌های توسعه کم اثر (LID) به سیستم‌های مدیریت سیلاب موجود، علاوه بر کاهش حجم رواناب و مزایای کیفیت آب، می‌تواند مزایای کاهش اثرات اقلیمی برای رواناب سطحی دارا باشد [۳۰]. علاوه بر این LIDها باعث ارتقاء مزایای اکولوژیکی، ایجاد چشم‌اندازهای زیبا و مزایای تفریحی نیز می‌شوند [۲۷]. شناسایی موانع اقتصادی اجتماعی در مقابل LID برای بهبود سرمایه‌گذاری در این راستا ضروری است [۸، ۹، ۲۴].

در هنگام اجرای کنترل‌های LID فاکتورهای انتخابی زیادی وجود دارد، از آن جمله می‌توان به تعداد کنترل، اندازه، ترکیب و محل کنترل و... اشاره کرد. بودجه یک عامل محدود کننده اصلی در پروژه‌های سیستم‌های جمع‌آوری سیلاب شهری است، که باعث می‌شود انتخاب بهینه و قرار دادن LID مناسب برای دستیابی به حداکثر کاهش جریان رواناب از اهمیت بالایی برخوردار باشد.

برای ارزیابی صحیح و مقایسه سناریوهای LID در بهینه‌سازی حوضه آبریز، روش‌های مناسب لازم است. بهترین سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در تمرین مدیریت (BMPDSS)، روش بهینه‌سازی می‌باشد که در طراحی و قرارگیری BMPها کمک می‌کند. BMPDSS کاربر را ملزم به تعیین نقاط ارزیابی و عوامل ارزیابی، متغیرهای تصمیم‌گیری، توابع هزینه و اهداف مدیریت می‌کند [۱۵].

در روش چند هدفه (MOSEBEND) پارامترهای اجتماعی - اقتصادی و توسعه با در نظر گرفتن نزدیک‌ترین فاصله جهت اجرای LID در نظر گرفته شد است و هدف آن فراهم کردن راه‌حل‌های بهینه جهت اجرای روش‌های توسعه کم اثر برای زیر حوضه‌های مختلف می‌باشد. الگوریتم ارائه شده سعی کرده است تا راه‌حل‌هایی را با در نظر گرفتن بیش‌ترین کاهش رواناب، کم‌ترین هزینه و بالاترین احتمال تعمیر و نگهداری برای مالکان خصوصی فراهم کند [۶، ۷].

مدل (SUSTAIN) به منظور یکپارچه‌سازی مدل تصفیه و تجزیه و تحلیل آب‌های سطحی شهری ارائه شده است که از ادغام الگوریتم ژنتیک با GIS ایجاد شد که از برخی روش‌های محاسباتی SWMM استفاده می‌کند [۲۰، ۲۱].

SUSTAIN ابزار جهت تصمیم گیری است که می‌تواند هزینه‌ها و مزایای مربوط به اجرای کنترل‌های مختلف LID را تجزیه و تحلیل کند [۱۴]. این مدل می‌تواند مدل‌سازی هیدرولوژیکی از عملکرد LID را ارائه دهد و مقرون به صرفه‌ترین گزینه‌ها را بر اساس اهداف یک سایت خاص مشخص کند.

در پژوهشی به منظور بهینه‌سازی شیوه‌های مدیریت سیلاب در شرایط تغییر آب و هوا برای آبخیزداری در تهران از مدل SWMM و NSGA-II به همراه تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها استفاده گردیده است. براساس معیارهای قابلیت اطمینان مربوط به کاهش سیل و هزینه، BMPهای شبیه‌سازی شده بهینه گردیدند [۱۸]. در پژوهش دیگری از NSGA-II با SWMM برای تعیین چیدمان بهینه ظرفیت استخرهای نگهدارنده برای کاهش اضافه بار حاصل از منهول‌ها استفاده شده است [۱۳].

به منظور تعیین محل کف‌های نفوذ پذیر و پشت‌بام‌های سبز از مدل SWMM و روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شده است. همچنین جهت تعیین موقعیت کنترل‌ها و تحلیل تناسب بین عملکرد و هزینه‌های اجرا مدل NSGA - II به SWMM پیوند داده شد [۱۲]. در پژوهش دیگر از NSGA-II، انتخاب چند معیار، روش‌های فازی و یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای تهیه اطلاعات مربوط به هزینه و سود مربوط به اجرای LID استفاده گردید [۲۸].

استفاده از SWMM و یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه روشی معمول برای ارزیابی LIDها بوده است. به منظور کنترل سیلاب شهری در کره جنوبی با استفاده از Matlab و SWMM الگویی برای بهینه‌سازی ابعاد LID برای کاهش اولین Flush Effect (FFE) ایجاد کردند [۵].

زو و همکاران از SWMM و Matlab برای بهینه‌سازی طرح‌های کنترل‌های LID استفاده کردند. آنها قادر به ایجاد یک طرح بهینه بودند که میزان رواناب را ۶۵ درصد کاهش داده و راندمان کاهش بار آلاینده مواد جامد معلق را ۶۵.۶ درصد کاهش می‌داد.

از الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) همراه با SWMM برای توسعه و بهینه‌سازی مدل استفاده شده است. از این مدل برای تعیین طراحی بهینه روکش‌های نفوذ پذیر استفاده گردید. الگوریتم HS مکان‌هایی را برای اجرای روکش نفوذ پذیر انتخاب می‌کند و تعیین می‌کند از چه اندازه و نوع روسازی باید در هر شرایطی استفاده شود [۱۶].

به منظور ارزیابی اهمیت پارامترهای مختلف در طراحی LID از الگوریتم ژنتیک (Borg MOEA) و اتصال آن با مدل SWMM استفاده شده است. این مدل قادر به انجام بهینه‌سازی چند هدفه برای تجزیه و تحلیل اقدامات احتمالی LID با به حداقل رساندن جریان اوج در سیلاب‌ها می‌باشد. این مدل همچنین اطلاعات مهمی در مورد مقرون به صرفه بودن کنترلهای مختلف LID ارائه می‌دهد [۱۰].

بر روی شبکه جمع‌آوری شهر مشهد نیز تحقیقاتی انجام شده است. در یک پژوهش به منظور بررسی شرایط شبکه جمع‌آوری رواناب شهری منطقه ۱۰ مشهد از مدل ASSA استفاده گردید. نتایج نشان داد که در سیلاب‌های با دوره بازگشت بزرگتر از ۲ سال برخی از کانال‌ها توان عبور سیل طراحی را ندارند [۳]. همچنین در تحقیق دیگری بررسی اثر توسعه و گسترش شهر بر سیلاب شهری پرداخته شده است. بررسی‌ها نشان داد که مساحت شهر مشهد در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۲۰، ۳۱.۵ برابر شده است. همچنین دبی اوج سال ۱۳۹۵ نسبت به سال‌های ۱۳۲۰، ۱۳۵۵ و ۱۳۶۵ به ترتیب ۳۰۷، ۲۵۹ و ۱۷۷ برابر شده است [۳۱]. در مطالعه دیگری با استفاده از نرم افزار SWMM شبکه جمع‌آوری آب سطحی حوضه آبریز جنوب غربی شهر مشهد را مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی آمار ۴۵۰ واقعه بارش اعلام شد که بر اساس شرایط منطقه مورد مطالعه بارش‌های با مقدار کم و زمان کوتاه مدت ولی با شدت لحظه‌های زیاد از بارش‌های با مقدار زیاد و زمان طولانی‌تر ولی شدت لحظه ای کمتر دبی اوج آبنمود بزرگتری تولید می‌نماید [۳۲].

به منظور بررسی سیستم جمع‌آوری سیلاب شهری شهر ویندسور کاناد از مدل SWMM استفاده گردید. در این مطالعه عنوان شد که تعیین دقیق محل جانمایی LIDها در کارایی و بهبود عملکرد آن‌ها بسیار مهم است. از این رو با استفاده از آنالیز Z-Score زیر حوضه‌های شهری را جهت جاتمایی سیستم‌های LID رتبه‌بندی گردید [۲۳].

افزایش سطوح نفوذ پذیر به دلیل توسعه روزافزون شهر مشهد و تغییرات اقلیمی دهه اخیر موجب افزایش میزان رواناب شهری به مقدار قابل ملاحظه‌ای شده است. از این رو بررسی و تحلیل شبکه جمع‌آوری سیلاب شهر مشهد و یافتن راهکاری به منظور مدیریت صحیح سیلاب ضروری به نظر می‌رسد.

در این پژوهش سیستم‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی دو منطقه ۱۰ و ۱۱ شهر مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این مطالعه، ایجاد یک چارچوب بهینه‌سازی چندبخشی است که قادر به تشریح بهترین موقعیت به منظور قرارگیری LID جهت مدیریت سیلاب شهری است. برای انجام این کار، ابتدا به مدل‌سازی شبکه موجود پرداخته و پس از تحلیل شرایط با استفاده از یک روش ارزیابی ریسک سیل شهری و همچنین روش تجزیه و تحلیل اجتماعی و اقتصادی اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها برای قرار دادن کنترل‌های LID در یک منطقه شهری تعیین گردیده است.

۲. روش شناسی

۲.۱. محدوده مورد مطالعه

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت، دومین کلان شهر ایران می‌باشد که در شمال‌شرق ایران بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزارمسجد واقع است. ارتفاع شهر از سطح دریا حدود ۱۰۵۰ متر (حداکثر ۱۱۵۰ متر و حداقل ۹۵۰ متر) است. براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر مشهد در این سال، بالغ بر سه میلیون نفر بوده‌است. محدوده مورد بررسی بخشی از غرب شهر مشهد (اراضی مناطق ۱۰ و ۱۱ شهرداری مشهد) می‌باشد. مساحت محدوده برابر با ۳۶/۳ کیلومتر مربع می‌باشد.

شکل ۱. نقشه شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی مناطق ۱۰ و ۱۱ مشهد

مرز زیر حوضه‌ها با استفاده از نقشه کاربری شهر مشهد، و نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهری در محیط GIS ترسیم شدند. محدود مورد مطالعه به ۶۷۸ زیر حوضه تقسیم گردید. ۶۷۸ کانال وظیفه انتقال رواناب سطحی محدوده مورد مطالعه را دارند. تعداد گره‌ها برابر با ۷۰۲ می‌باشد. تحلیل پارامترهای فیزیکی حوضه بر اساس نقشه DEM شهر مشهد و همچنین داده‌های نقشه برداری میدانی صورت گرفته است.

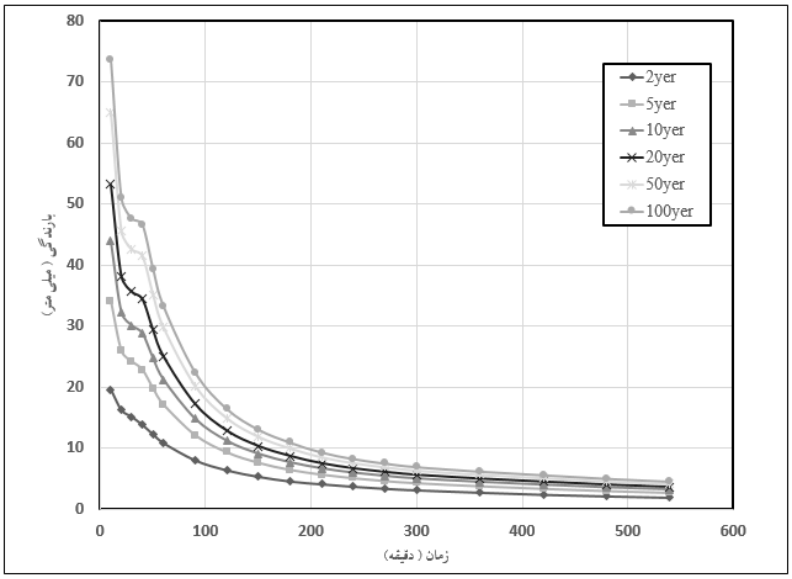
۲.۲. برآورد رواناب

جهت برآورد رواناب زیر حوضه‌های شهری، از منحنی‌های شدت مدت فراوانی مشهد [۳] استفاده شده است. با توجه به محاسبه زمان تمرکز در زیر حوضه‌ها، بارندگی با مدت زمان ۲ ساعت (بزرگترین زمان تمرکز) انتخاب گردیده است. به منظور مدلسازی هیدرولیکی ۳ دوره بازگشت ۲، ۵ و ۵۰ ساله انتخاب [۲] و با استفاده از مدل SPSS معادلات شدت بارش برای باران ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف تهیه گردید.

معادله استفاده شده برای شدت بارش به شکل زیر می‌باشد:

$$i = \frac{a}{(t+c)^b} \qquad (۱)$$

در این معادله i شدت بارندگی بر اساس میلیمتر بر ساعت، t زمان تداوم بارندگی و a,b,c نیز پارامترهای شکل و موقعیت (بی بعد) می‌باشند. با استفاده از نرم افزار SPSS روابط شدت بارندگی ۲ ساعته برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله محاسبه گردید است که به شرح زیر می‌باشد.



شکل۲. منحنی شدت- مدت- بارش شهر مشهد

جدول ۱. ضرایب معادله نفوذ

دوره بازگشت	a	b	c	R squared
۲ ساله	۳۲۸۸	۱.۱۸۳	۶۶.۰۱۷	۰.۹۹۷
۵ ساله	۷۲۹۶	۱.۲۹۸	۵۹.۹۳	۰.۹۹۳
۵۰ ساله	۱۸۱۰۰	۱.۳۵۷	۵۵.۲۱۹	۰.۹۸۷

جهت بدست آوردن هایتوگراف بارندگی از روش شیکاگو اصلاح شده استفاده شد. در این روش عمق بارش قبل از زمان بیشینه بارش(PB) و بعد از زمان بیشینه بارش (PA) از روابط زیر بدست می‌آید:

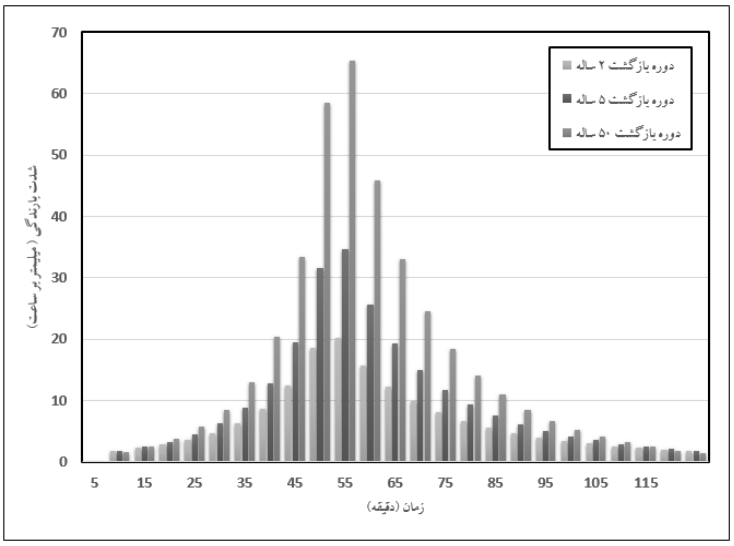
$$P_B = \frac{-a.t_B}{\left(\frac{t_B}{r}+c\right)^b} \quad (۲)$$

$$P_A = \frac{-a.t_A}{\left(\frac{t_A}{1-r}+c\right)^b} \quad (۳)$$

$$r = 0.375t_D \quad (۴)$$

۲.۳. محاسبه CN (عدد منحنی)

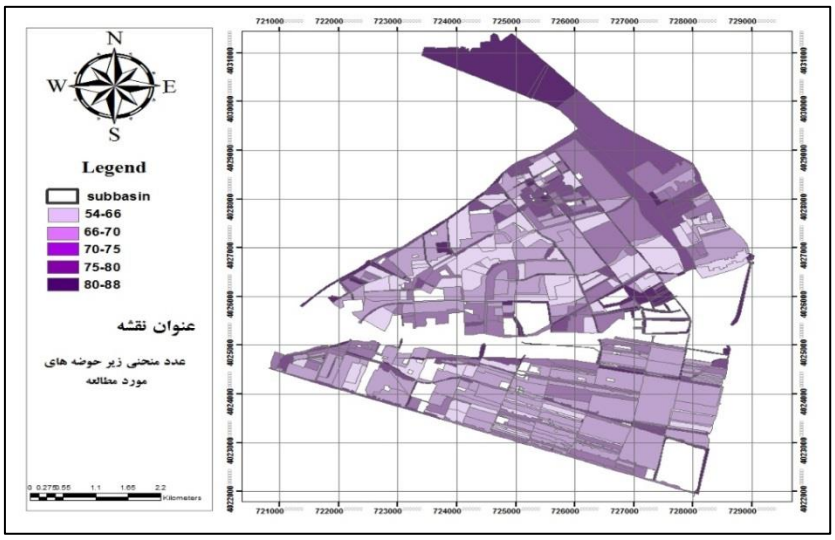
بدین منظور در گام نخست برای بدست آوردن CN برای هر زیر حوضه ابتدا با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهر مشهد و تصاویر ماهواره ای و همچنین سامانه بر خط شهرداری کاربری اراضی شهرداری مشهد، کاربری اراضی در هر زیر حوضه مشخص و تفکیک گردید. با توجه به گروه هیدرولوژیکی خاک و همچنین کاربری اراضی عدد منحنی برای هر محدوده تعیین گردید [۲۵]. با توجه به درصد اشغال هر کاربری در هر زیر حوضه با استفاده از میانگین وزنی مقدار CN هر زیر حوضه تعیین می‌گردد. در نهایت جهت انتخاب CN نهایی مقدار بدست آمده با مقدار موجود در مطالعات بالادستی نیز مقایسه گردیده است.



شکل۳. هایتوگراف باران ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله

جدول ۲. درصد اشغال و مقدار CN کاربری محتلف

کاربری	مساحت (هکتار)	درصد اشغال	CN
مسکونی	۱۴۸۵.۹۱	۰.۴۸	**۶۱**
آموزشی	۵۶.۰۹	۰.۰۲	**۶۱**
پارکینگ یا فضای ورزشی	۶۰.۲۱	۰.۰۲	**۹۰**
خدماتی و تجاری و اداری	۲۰۹.۰۳	۰.۰۷	**۸۱**
پارک یا فضای سبز، کشاورزی	۴۷.۹۸	۰.۰۲	**۴۹**
معابر و خیابان‌ها	۱۲۶۶.۷۵	۰.۴۱	**۸۳**
کل	۳۱۲۵.۹۴	۱	**۷۵**



شکل۴. پهنه‌بندی CN در سطح محدوده مورد مطالعه

۲.۴. نرم‌افزار SWMM[1]

به منظور بررسی شبکه جمع‌آوری از مدل SWMM استفاده شده است. به منظور شبیه‌سازی هیدرولیک از روش موج دینامیک[2] استفاده شد [۲۵]. این روش کی از توانمندترین روش‌های روندیابی جریان است، چرا که این روش معادلات جریان کامل یک بعدی سنت ونانت[3] را برای کل شبکه انتقال حل می‌کند [۱]. زبری مناطق نفوذپذیر و نفوذ ناپذیر براساس تفکیک کاربری اراضی هر زیر حوضه تعیین گشته است. بدین جهت با استفاده از نقشه کاربری اراضی و تصاویر ماهواره‌ای، کاربری هر زیر حوضه بتفکیک و بر اساس منحنی بی بعد (CN) شماره منحنی هر زیر حوضه مشخص گردید.همچنین از روش شماره منحنی جهت برآورد نفوذ استفاده شد. به منظور تعیین پارامترهای زبری کانال‌ها علاوه بر راهنما نرم افزار از نتایج مطالعات جامع آب‌های سطحی مشهد (شرکت توس آب) استفاده شد. مشخصات کانال‌ها شامل ابعاد، رقوم ارتفاعی ابتدا و انتها، شیب و... توسط نقشه بردار برداشت و با بازدید میدانی چک گردید.

۲.۵. رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها

روش مورد استفاده برای گروه‌بندی ریسک و تحلیل اجتماعی، آنالیز z - score می‌باشد. امتیاز z معیاری آماری است که داده‌ها را به یک امتیاز استاندارد تبدیل می‌کند [۲۳]. امتیاز z بیانگر موقعیت یک داده نسبت به میانگین داده‌ها می‌باشد که با استفاده از معادله زیر می‌توان آن را تعیین کرد. میانگین کلی مجموعه داده‌ها از یک داده منفرد تفریق می‌شود و سپس به انحراف معیار مجموعه داده تقسیم می‌شود. معادله زیر یک نمره مثبت یا منفی را فراهم می‌کند. برای مثال یک z - score مساوی صفر به این معنی است که نقطه داده برابر میانگین است، امتیاز ۱- z - score به این معنی است که نقطه داده انحراف معیار پایین‌تر از میانگین است. به همین ترتیب ۱، میانگین انحراف معیار بالاتر از میانگین است.

$$z = \frac{x - MEAN}{STDEV} \qquad (۵)$$

۲.۶ ارزیابی ریسک

آنالیز ریسک، راهکاری مناسب جهت شناخت نیازهای ضروری زیر ساخت‌ها به منظور سرمایه‌گذاری موثر، با در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی، بر روی داریی حیاتی می‌باشد[26]. برای انجام این کار باید می‌بایست به ارزیابی کمی ریسک پرداخته شود. ارزیابی کمی ریسک با ضرب احتمال وقوع در نتیجه یا تاثیر آن رویداد انجام می‌شود [۲۳]. در یک خطر سیل، ارزیابی ریسک با ضرب احتمال وقوع یک سیل در نتایج آن تعریف می‌شود (معادله ۶) [۱۹].

برای ارزیابی خطر سیل، احتمال و نتیجه شکست سیلاب مورد نیاز است [17]. برای ارزیابی احتمال شکست سیلاب شهری، عوامل زیر باید در نظر گرفته شوند: شرایط فیزیکی، پروفیل خاک، عملکرد و ظرفیت هیدرولیکی [۱۷]. جهت ارزیابی ریسک از دو معیار احتمال شکست (POF) و ارزیابی پیامد شکست (COF) استفاده شده است.

احتمال شکست: بدین منظور از نتایج مدل‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی با مدل SWMM استفاده گردیده است. سیلاب به دوره بازگشت ۵ ساله (بر اساس توصیه نشریه ۱۱۸-۳) [۲] به عنوان سیلاب طراحی انتخاب شده است. جهت بررسی احتمال شکست، سه پارامتر حداکثر ظرفیت کانال‌ها، حداکثر جریان انتقال داده شده توسط هر کانال و ضریب رواناب انتخاب گردید [۲۳]. به منظور نرمال‌سازی، حداکثر جریان در هر کانال بر عرض مقطع تقسیم شده است. هر یک از این فاکتورها با استفاده از z - score از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی میگردند (جدول ۳). ۱ کم‌ترین احتمال وقوع سیل و ۵ بیشترین می‌باشد. برای هر زیر حوضه بالاترین امتیاز از عوامل ۳ گانه به عنوان احتمال

[1] Storm Water Management Model
[2] Dynamic Wave
[3] Saint Venant

شکست آن زیر حوضه در نظرگرفته شد.

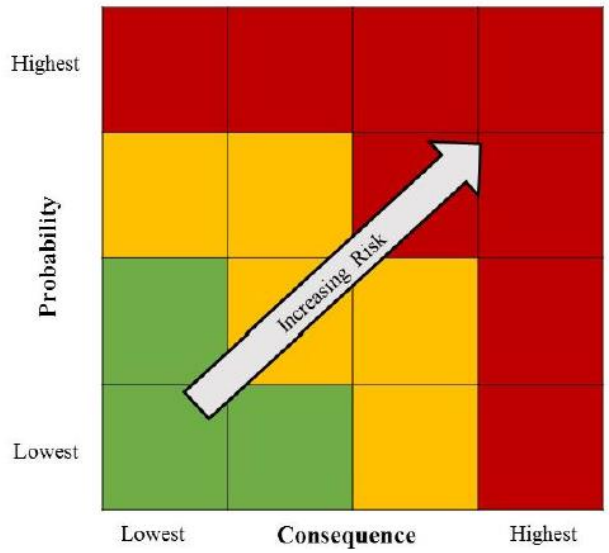
ارزیابی پیامد شکست: پیامد شکست می‌تواند برای تعیین حساسیت دارایی مورد استفاده قرار گیرد. این ارزیابی خسارت اقتصادی، مسائل اجتماعی مانند تاثیر بر زندگی انسانی و یا اموال و اثرات زیست‌محیطی را در نظر می‌گیرد [۲۶]. برای تعیین پیامد شکست، کاربری اراضی هر زیر حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در هر زیر حوضه کاربری‌های مسکونی ویلایی، مسکونی آپارتمانی، فضای آموزشی، فضای باز و پارکینگ‌ها و املاک تجاری و اداری تعیین گردید. سپس با استفاده از دفترچه ارزش معاملاتی شهرستان مشهد مربوط به سال ۹۸ (مربوط به شهرداری مشهد) و همچنین استفاده از آمار و اطلاعات دفاتر املاک هر منطقه، ارزش ریالی کاربری‌های موجود در هر زیر حوضه برآورد گردید تا مشخص شود در صورت وقوع سیل بیش‌ترین تاثیر یا آسیب را با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی در کدام زیر حوضه ایجاد می‌شود.

بدین ترتیب یک منطقه مسکونی با تراکم بالا یا اراضی تجاری و اداری نسبت به منطقه مسکونی با تراکم پایین، دارای ارزش اقتصادی بیشتر و پیامد شکست بزرگتری می‌باشد. هر زیر حوضه با استفاده از z - score نرمال و از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی شده است. یک کم‌ترین تاثیر منفی و پنج بیش‌ترین آسیب احتمالی ناشی از سیل دارد. ریسک نهایی پروژه از معادله زیر بدست می‌آید.

$$Risk = POF \times COF \qquad (۶)$$

جدول ۳. دسته‌بندی گروه‌ها بر اساس نمره Z

Z-Score	Score
$Z \leq -0.75$	۱
$-0.75 < Z \leq -0.25$	۲
$-0.25 < Z \leq 0.25$	۳
$0.25 < Z \leq 0.75$	۴
$Z > 0.75$	۵

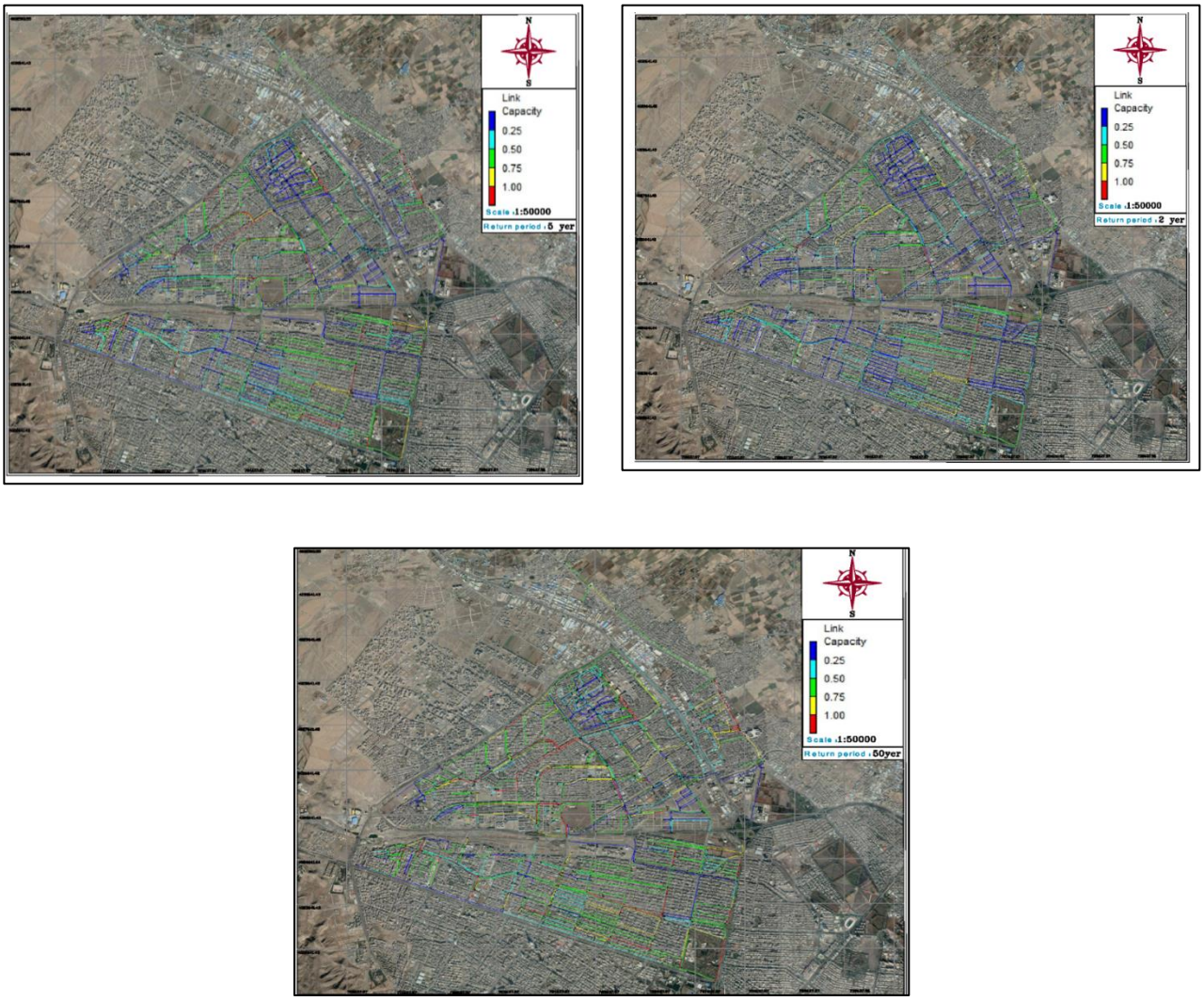


شکل ۵. ماتریسک ریسک بر اساس معادله ۶

۳. نتایج

۱.۳. بررسی عملکرد شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی

شکل ۶ نسبت پرشدگی کانال‌های شبکه موجود را درسیلاب با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۵۰ ساله را نشان می‌دهد. موقعیت مکانی کانال‌هایی که دچار آبگرفتگی شده‌اند و زیر حوضه‌های مربوط آن در شکل ارائه شده است. بحرانی‌ترین زمان مابین ۱:۱۵ ساعت تا ۱:۳۰ ساعت از شروع بارندگی می‌باشد.



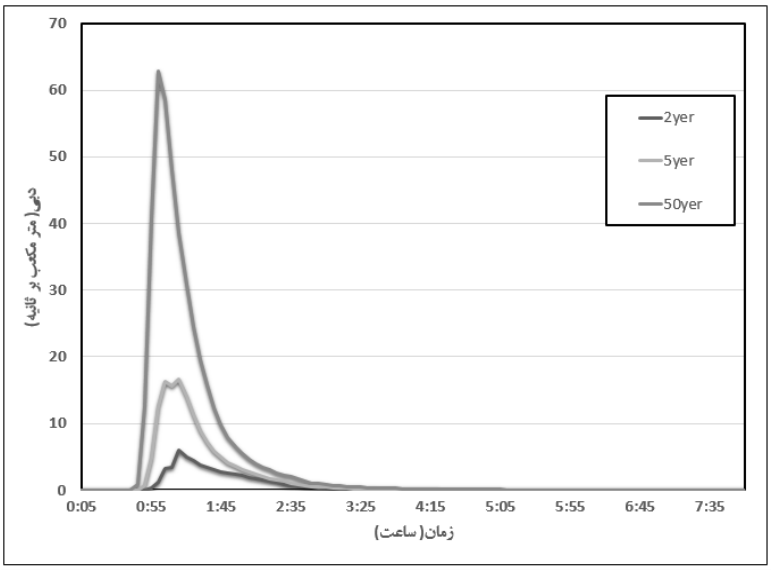
شکل ۶. چگونگی عملکرد کانال‌ها: درصد پرشدگی کانال‌ها در سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله

جدول ۴ تعداد و درصد کانال‌ها و گره‌های دچار آبگرفتگی و پس زدگی را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد در شرایط سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ به ترتیب ۱۵، ۲۹ و ۳۸ درصد از کانال‌های دچار پس زدگی و آبگرفتگی می‌شود. با افزایش دوره بازگشت طرح عملکرد سیستم جهت عبور جریان‌های سطحی ضعیف تر می‌شود. دلیل پرشدگی با توجه به نتایج مناسب نبودن مقاطع و شیب کانال‌های با توجه به افزایش رواناب سطحی بر اثر افزایش سطوح نفوذ ناپذیر می‌باشد.

جدول ۴. چگونگی عملکرد کانال‌ها: درصد پرشدگی کانال‌ها در سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

عنوان	تعداد کل	تعداد کانال و گره های آبگرفته			درصد کانال و گره ها آبگرفته		
		دوره بازگشت سیلاب					
		۲	۵	۵۰	۲	۵	۵۰
کانال ها	۶۷۸	۱۰۴	۱۹۷	۲۵۹	۱۵	۲۹	۳۸
گره ها	۷۰۲	۴۴	۱۰۰	۱۷۰	۶	۱۴	۲۴

شکل ۷ هیدروگراف سیلاب ایجاد شده از رواناب سطحی در سطح حوضه را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۵ آمده است در دوره بازگشت‌ها ۲، ۵ و ۵۰ ساله به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۳۱ درصد از رواناب به سیلاب تبدیل شده است. همچنین مقدار سیلاب ایجاد شده با دوره بازگشت ۵۰ ساله نسبت به دوره باز گشت ۵ و ۲ ساله به ترتیب ۲.۸ و ۷.۲ برابر می‌باشد.



شکل ۷. هیدروگراف سیل ایجاد شده در سطح حوضه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله

جدول ۵. سیل ایجاد شده در سطح حوضه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله

عنوان	دوره بازگشت		
	۲	۵	۵۰
سیل سطحی (متر مکعب)	۱۷۸۳۳	۴۵۳۹۰	۱۲۹۶۰۰
درصد از رواناب	۱۲	۲۰	۳۱

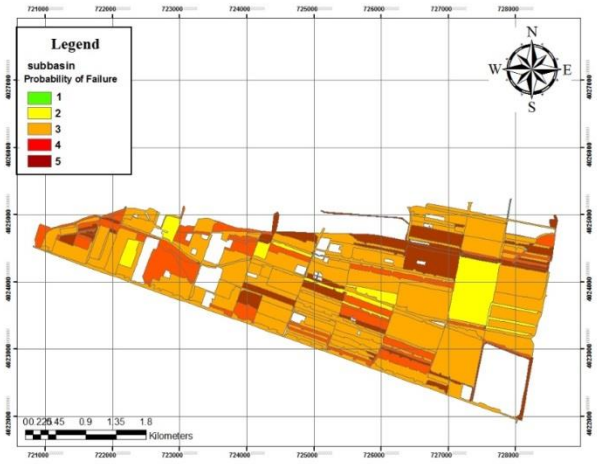
با تغییرکاربری اراضی و اضافه شدن مناطق نفوذ ناپذیر حجم رواناب افزایش و از طرفی به دلیل فرسوده بودن کانال‌های موجود و نداشتن ظرفیت انتقال کافی سیلاب‌های سطحی در سطح شهر ایجاد شده است که نشان دهنده عدم توانایی شبکه موجود در کنترل سیلاب شهری دارد. با عنایت به شرایط شبکه موجود، نیاز به تغییر رویکرد در سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی محدوده مورد مطالعه احساس می‌شود. یکی از رویکردها استفاده از روش‌های توسعه کم اثر می‌باشد.

۳.۲. آنالیز ریسک

۳.۲.۱. احتمال شکست (POF)

شکل ۸ نقشه زیر حوضه‌های محدوده مطالعاتی به تفکیک احتمال شکست را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج در منطقه ۱۰ ،تعداد ۱۶۷ از زیر حوضه‌ها که معادل ۳۷.۹ درصد می‌باشد در گروه ۵ (بیشترین احتمال وقوع سیل) قرار می‌گیرند. بیشتر این زیر حوضه دارای مساحت کم و مربوط به مناطقی است که محل اتصال کانال‌های چند کانال می‌باشد. در منطقه ۱۱، تعداد ۶۶ زیر حوضه معادل ۲۷.۷ درصد از زیر حوضه در گروه ۵ قرار دارد. گروه ۳ با ۴۵.۸ درصد بیشترین زیر حوضه‌ها منطقه ۱۱ را شامل شده است. در این محدوده نیز دو دسته زیر حوضه در شرایط احتمال شکست حداکثر قرار گرفته اند. بیشترین تعداد مربوط به زیر حوضه‌های با مساحت کوچک است که محل اتصال مسیر مختلف هستند. در این زیر حوضه‌ها نسبت حداکثر جریان انتقال دهنده بالا بوده و برخی بیش از طرفیت کانال می‌باشد. دسته دوم حوضه آبریز با مساحت بزرگر با ضریب رواناب بالا می‌باشد. در این بررسی در هیچ کدام از مناطق زیر حوضه در دسته حداقل احتمال شکست قرار نمی‌گیرند و بیشترین مساحت در هر دو ناحیه در دسته ۳ قرار دارد.

(الف)



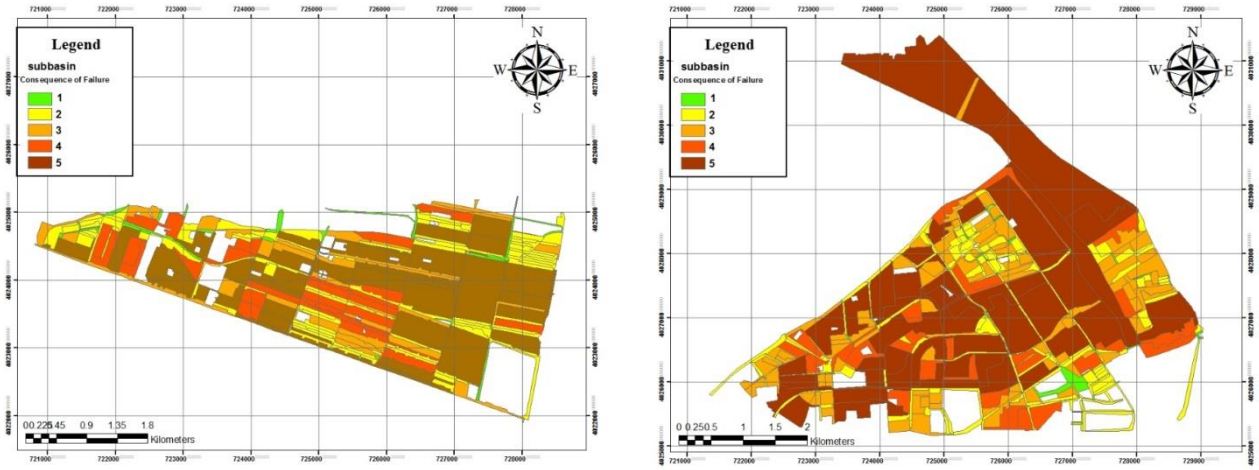
(ب)

شکل ۸. رتبه‌بندی زیر حوضه‌های مورد مطالعه به تفکیک احتمال شکست: الف) منطقه ۱۰ شهرداری مشهد، ب) منطقه ۱۱ شهرداری مشهد

۳.۲.۲. پیامد شکست (COF)

شکل ۹ نقشه زیر حوضه به تفکیک پیامد (خسارت) شکست را نشان می‌دهد.تعداد ۴۴ زیر حوضه برابر با ۱۰ درصد از زیر حوضه از منطقه ۱۰ و تعداد ۳۲ زیر حوضه برابر با ۱۳.۴ درصد از زیر حوضه‌های منطقه ۱۱ در گروه ۵ قرار گرفته است. در هر دو منطقه بیشتریت تعداد زیر حوضه در گروه ۲ قرار دارد. اما زیر حوضه گروه ۵ بیشترین مساحت هر دو محدوده را اشتغال کرده اند. در

حقیقت زیر حوضه قرار گرفته در گروه ۵ یا دارای مساحت بزرگ، یا بالاترین تراکم جمعیتی و یا محدوده‌های با کاربری اراضی تجاری و مسکونی می‌باشد. در این زیر حوضه در صورت وقوع سیلاب احتمالی بیشترین خسارات وارد می‌شود.



(الف) (ب)

شکل ۹. رتبه‌بندی زیر حوضه‌های مورد مطالعه به تفکیک پیامد شکست: الف) منطقه ۱۰ شهرداری مشهد، ب) منطقه ۱۱ شهرداری مشهد

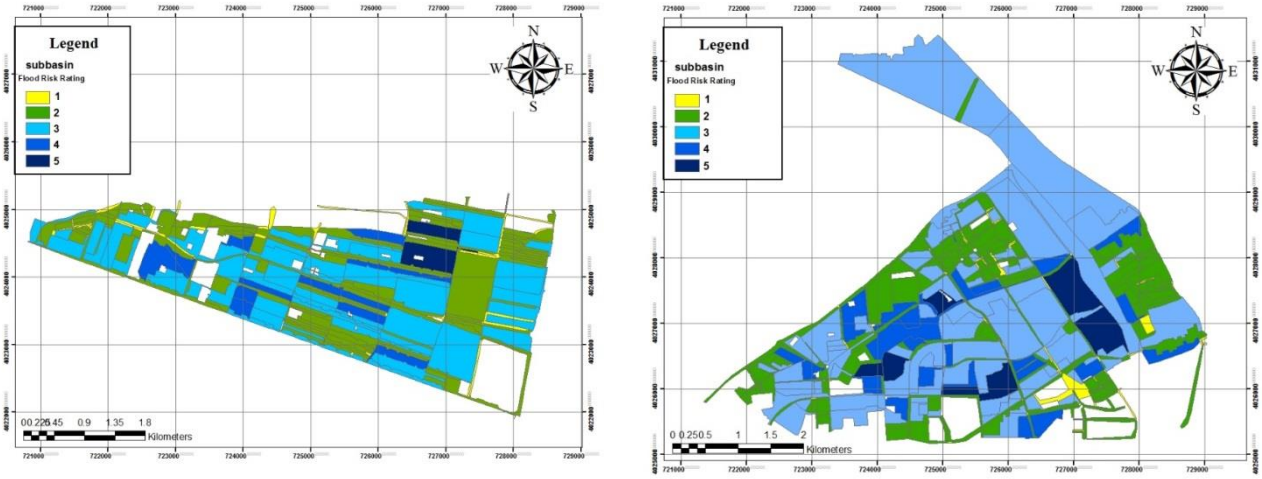
۳.۲.۳. درجه‌بندی نهایی ریسک

هر زیر حوضه داری یک مقدار عددی برای احتمال ریسک و پیامد ریسک می‌باشد. با استفاده از معادله ۶ امتیاز کلی ریسک برای هر زیر حوضه مشخص می‌گردد. جدول ۶ نشان می‌دهد که چگونه این زیر حوضه‌ها در یکی از پنج گروه قرار داده شدند. شکل ۱۰ نقشه رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر ریسک را نشان می‌دهد.

زیر حوضه‌ها با POFs بالا و COFs به عنوان زیر حوضه‌هایی دارای الویت جهت استفاده از شیوه‌های LID باید مورد توجه قرار گیرند. جدول ۷ تعداد و درصد زیر حوضه‌ها در هر دسته را نشان می‌دهد.

جدول ۶. دسته‌بندی نهایی زیر حوضه‌ها بر اساس آنالیز ریسک

Subcatchment group	Risk Score (Eq.6)
۱	Score ≤ 5
۲	5< Score ≤ 10
۳	10< Score ≤ 15
۴	15< Score ≤ 20
۵	Score ≥ 20



(الف) (ب)

شکل ۱۰. دسته‌بندی زیر حوضه‌های مورد مطالعه به تفکیک ریسک: الف) منطقه ۱۰ شهرداری مشهد، ب) منطقه ۱۱ شهرداری مشهد

جدول ۷. تعداد زیر حوضه‌ها واقع شده در هر دسته به تفکیک منطقه (آنالیز نهایی ریسک)

منطقه	درصد قرار گیری در هر گروه				
	۱	۲	۳	۴	۵
۱۰	۲۵.۶	۴۹.۴	۱۸.۱	۵.۴	۱.۴
۱۱	۲۵.۶	۴۹.۶	۱۸.۹	۵.۰	۰.۸
کل	۲۵.۶	۴۹.۵	۱۸.۴	۵.۳	۱.۲

نتایج نشان می‌دهد که بخش عمده ای از زیر حوضه‌های دارای احتمال شکست بالا در مناطقی قرار گرفته اند که دارای ارزش مالی بالایی نبوده و بیشتر سطح این زیر حوضه توسط معابر، خیابان‌ها و فضاهای باز شهری اشغال شده اند. این مناطق یا دارای سطح پوشش نفوذ ناپذیر زیاد با ضریب رواناب بالا می‌باشد و یا محدوده‌ها که محل تقاطع چندین کانال می‌باشند. این زیر حوضه‌ها دارای مساحت کوچک بوده اما ظرفیت کانال توان عبور سیلاب را نداشته است. از طرفی ایجاد سیل در این مناطق موجب اختلال در سیستم حمل نقل شهری و ایجاد ترافیک می‌گردد.

تعداد ۴۴ زیر حوضه برابر با ۶.۵ درصد از کا زیر حوضه در گروه با ریسک بالا (گروه‌های ۴و۵) قرار دارد. زیر حوضه‌های قرار گرفته در گروه حداکثر ریسک حداکثر سطوح غیر قابل نفوذ و بالاترین ضریب رواناب دارند و عمدتا در پایین دست مسر انتقال سیلاب قرار گرفته اند. همچنین ۲۵ درصد از حوضه آبریزهای هر دو ناحیه دارای احتمال ریسک بیشتر از متوسط می‌باشد. این زیر حوضه دارای الویت در اجرای طرح‌های LID می‌باشد. بیشترین مساحت نیز در هر دو منطقه توسط زیر حوضه‌های گروه ۳ اشغال شده است.

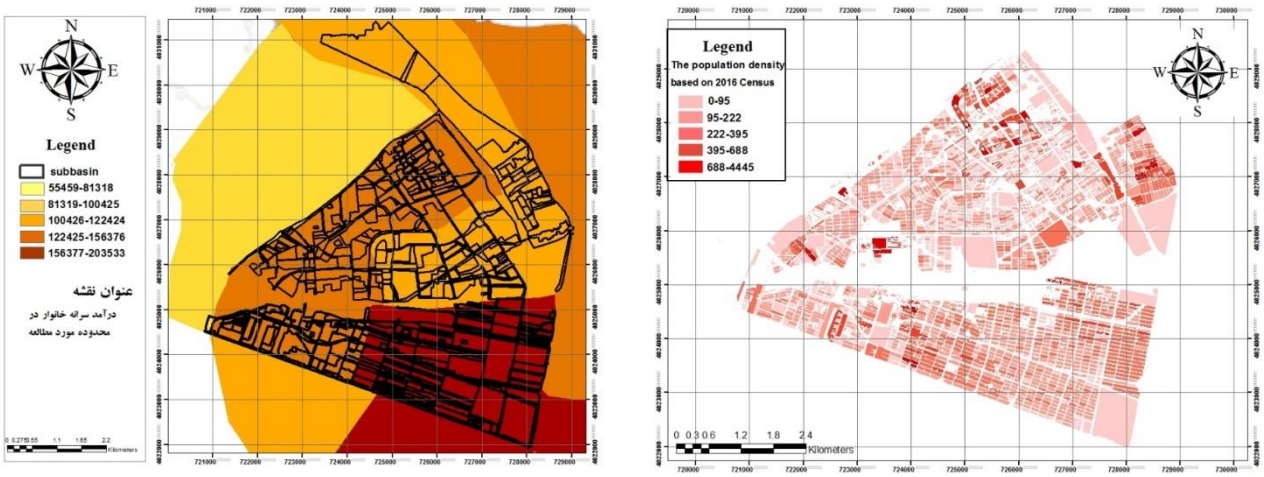
۳.۳. تجزیه و تحلیل اجتماعی و اقتصادی زیر حوضه‌ها

به منظور جانمایی LID و برنامه ریزی جهت نگهداری بلندمدت آن‌ها در آغاز برنامه‌ریزی یک پروژه، اطلاعاتی از خصوصیات اجتماعی - اقتصادی مانند جمعیت آن، توزیع درآمد و توزیع کاربری اراضی باید برداشته شود [11]. از داده‌های سرشماری سال ۱۳۹۵ کشوری، جهت تهیه نقشه پراکندگی جمعیت در زیر حوضه‌ها مورد مطالعه استفاده گردید. همچنین جهت برآورد توانایی ساکنین برای سرمایه گذاری از نقشه پراکندگی متوسط درآمد سرانه خانوار [4] استفاده شده است. بر این اساس با استفاده از z score- زیر حوضه‌ها به ۵ دسته تقسیم شدند. ۱ نشان‌دهنده کمترین احتمال جهت سرمایه‌گذاری و ۵ نشان‌دهنده بالاترین احتمال جهت سرمایه‌گذاری می‌باشد.

جهت امتیاز دهی نهایی اقتصادی – اجتماعی علاوه بر میانگین درآمد کاربری اراضی نیز مورد توجه قرار گرفت. بر این اساس هر زیر حوضه به ۵ دسته فضای باز (پارکینگ‌ها و فضای سبز و...)، معابر (خیابان، پیاده رو...)، کاربری اقتصادی (تجاری و اداری)، کاربری آموزشی، مسکونی تقسیم‌بندی گردید. به ترتیب فضای باز دارای امتیاز۵ و مسکونی ۱ می‌باشد. با جمع دو پارامتر حداکثر امتیاز برابر ۱۰ خواهد بود. جدول ۸ چگونگی دسته‌بندی زیر حوضه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول۸. دسته‌بندی نهایی زیر حوضه‌ها بر اساس آنالیز ریسک

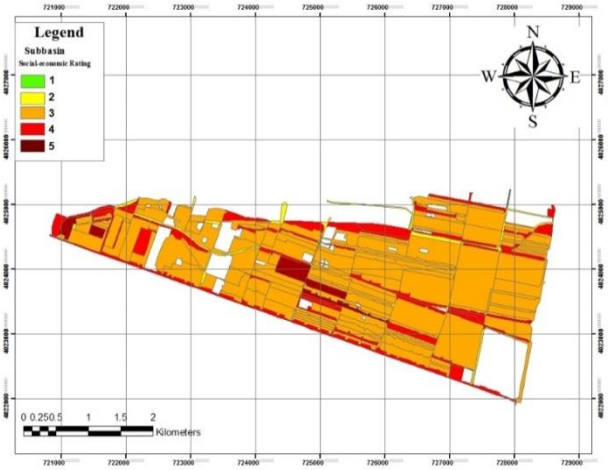
Subcatchment group	S-E Score
۱	Score ≤ 2
۲	2< Score ≤ 4
۳	4< Score ≤ 6
۴	6< Score ≤ 8
۵	Score ≥ 8



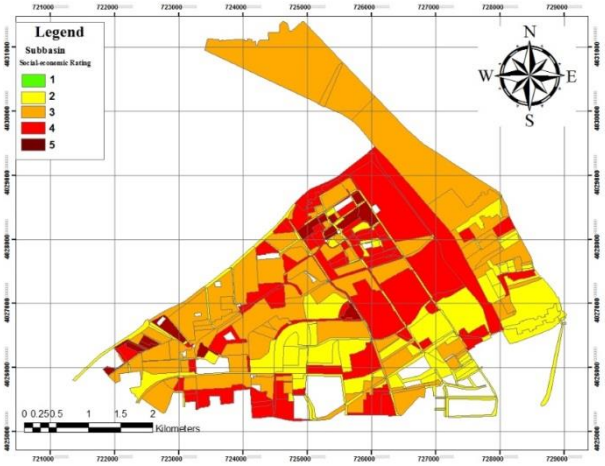
(الف) (ب)

شکل ۱۱. زیر حوضه‌های مورد مطالعه: الف) پراکندگی تراکم جمعیت، ب) درآمد سرانه خانوار

شکل ۱۲ رده‌بندی اجتماعی- اقتصادی زیر حوضه را در سراسر منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در منطقه ۱۰، ۱۰۶ زیر حوضه که معادل ۲۴ درصد از زیر حوضه‌ها می‌باشد در گروه‌های ۴ و۵ قراردارد. این درصد برای منطقه برابر با ۲۵.۶ درصد و معادل ۶۱ زیر حوضه می‌باشد. زیر حوضه‌هایی که بخش عمده آن را اراضی بایر، معابر و خیابان‌های شهری و... اشغال کرده‌اند عملا از نظر جذب سرمایه اقتصادی دارای جذابیت پایین‌تری می‌باشند. اما در این تقسیم‌بندی بالاترین امتیازات به زیر حوضه‌هایی تعلق گرفت که علاوه بر قرار گیری در مناطق با سطح درآمد بالا دارای فضاهای مناسب جهت اجرای طرح‌های LID نیز باشند.



(ب)



(الف)

شکل ۱۲. زیر حوضه‌های مورد مطالعه به تفکیک رتبه‌بندی اقتصادی- اجتماعی: الف) منطقه ۱۰ شهرداری مشهد، ب) منطقه ۱۱ شهرداری مشهد

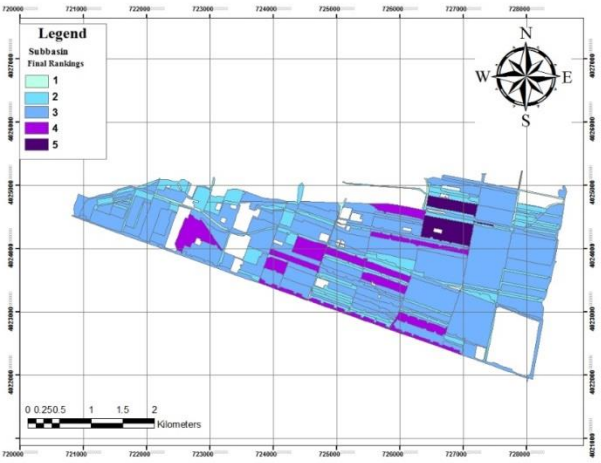
در ناحیه ۱۰ عمده زیر حوضه دارایی مساحتی بزرگ‌تر از میانگین می‌باشد و زیر حوضه‌های با مساحت بزرگ‌تر، دارای تراکم جمعیتی و ساختمانی بالاتر و یا فضای‌های بزرگ ورزشی و باز در گروه‌های ۴ و۵ قرار گرفته‌اند. در منطقه ۱۱ با توجه به یکنواخت تر بودن تراکم جمعیتی و درآمد سرانه، محدوده‌های که از نظر کاربری اراضی دارای فضاهایی مناسب به منظور قرارگیری LIDها بودند در دسته ۴و۵ قرار گرفته‌اند.

۳.۴. رتبه‌بندی نهایی زیر حوضه‌ها

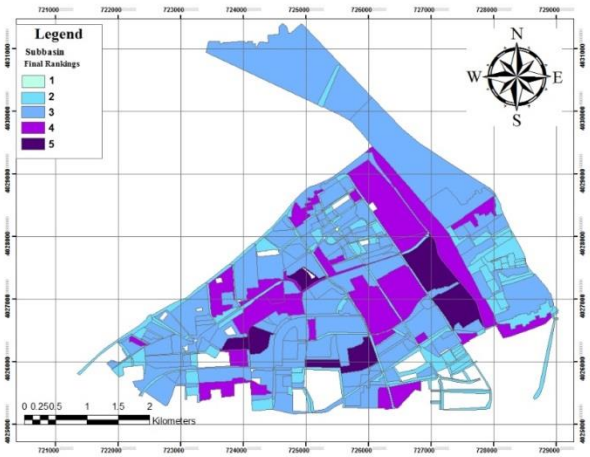
امتیاز نهایی با جمع امتیازات ریسک و نمرات اجتماعی – اقتصادی بدست آمده است. و زیر حوضه‌ها به ۵ گروه همانطور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود تفکیک می‌گردند، بنابراین حداکثر امتیاز ممکن ۳۵ است. گروه ۱ مناطقی را نشان می‌دهد که در آن LID کمترین تاثیر در کنترل سیلاب دارند. گروه ۵ نشان‌دهنده زیر حوضه‌هایی است که بیش‌ترین تاثیر را از اجرای LID خواهد دید و بیش‌ترین احتمال را دارند که LID تداوم یابند و تضمین می‌کند که بیش‌ترین سود حاصل از سرمایه‌گذاری بدست آید. شکل ۱۳ نقشه نهایی رتبه‌بندی هر زیر حوضه را نشان می‌دهد.

بررسی جداول ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که گروه ۲ در هر دو منطقه با بیش از ۵۰ درصد بیشترین تعداد زیر حوضه‌ها را شامل می‌شود که عمدتا کاربری اراضی این زیر حوضه‌ها بایر یا معابر و خیابان‌ها می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که زیر حوضه قرار گرفته در گروه ای ۴ و۵، عمدتا زیر حوضه‌های با مساحت بزرگ می‌باشند که به

دلیل پتانسیل تولید رواناب بیشتر، احتمال گرفتگی و پس زدگی جریان در کانال‌های آن‌ها بیشتر است. همچنین به دلیل تراکم بیشتر جمعیتی و ساختمانی احتمال خطر در این زیر حوضه‌ها بالاتر است. همچنین بیشترین مساحت محدوده مورد بررسی در دسته ۳ قرار گرفته است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۳. زیر حوضه‌های مورد مطالعه به تفکیک الویت جانمایی LIDs : الف) منطقه ۱۰ شهرداری مشهد، ب) منطقه ۱۱ شهرداری مشهد

جدول ۹. تعداد زیر حوضه‌ها واقع شده در هر دسته به تفکیک منطقه (رتبه‌بندی نهایی زیر حوضه‌ها)

منطقه	درصد قرار گیری در هر گروه				
	۱	۲	۳	۴	۵
۱۰	۰.۵	۵۸.۰	۳۴.۲	۵.۹	۱.۴
۱۱	۳.۸	۵۰.۴	۴۰.۳	۴.۶	۰.۸
کل	۱.۶	۵۵.۴	۳۶.۴	۵.۴	۱.۲

جدول ۱۰. مساحت زیر حوضه‌ها واقع شده در هر دسته به تفکیک منطقه (رتبه‌بندی نهایی زیر حوضه‌ها)

منطقه	درصد قرار گیری در هر گروه				
	۱	۲	۳	۴	۵
۱۰	۰.۰۱۸	۱۵.۲	۵۷.۰	۲۱.۳	۶.۶
۱۱	۰.۹	۱۷.۹	۶۷.۱	۱۰.۵	۳.۶
کل	۰.۴	۱۶.۲	۶۰.۷	۱۷.۳	۵.۵

۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج مدلسازی شبکه موجود با رواناب‌های ایجاد شده بر اساس بارندگی‌های ۲ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله نشان داد که شبکه موجود توان انتقال ۸۸ و ۸۰ درصد رواناب ایجاد شده با دوره بازگشت‌های ۲ و ۵ ساله را دار می‌باشد. با افزایش دوره بازگشت به ۵۰ سال بیش از ۳۱ درصد از رواناب به سیلاب تبدیل می‌گردد. بررسی عملکرد کانال‌ها نشان داد که در شرایط سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۵۰ ساله به ترتیب ۱۵، ۲۹ و ۳۸ درصد از کانال‌ها دچار پس زدگی و استغراق می‌شوند. دلیل این امر طراحی نامناسب آن‌ها برای شرایط توسعه یافته فعلی حوضه آبریز می‌باشد. قبادی [۳] نیز در بررسی شرایط منطقه ۱۰ مشهد عنوان کرده بود که افزایش دوره بازگشت سیلاب شبکه در برخی نقاط دچار پس زدگی می‌شود. همچنین تحقیقات فلاح تفتی [۳۲] نیز نشان داده بود که سیستم جمع‌آوری در برخی از نقاط در سیلاب‌های کوتاه مدت با شدت بالا توان عبور سیلاب را ندارد. با توسعه اراضی و کاهش اراضی نفوذ پذیر، ضریب زبری کاهش و در نتیجه حجم رواناب افزایش یافته است. تحقیقات عزیری نیز [۳۱] موئد این نکته می‌باشد. در دهه اخیر مساحت شهر مشهد ۲۵٪ افزایش داشته است که در نتیجه اراضی نفوذناپذیر نیز به همین نسبت زیاد شده است. اکثر کانال‌های موجود عمری بیش از ۱۰ سال دارند در نتیجه با افزایش رواناب جهت عبور آن دچار مشکل هستند. با در نظر گرفتن انسداد کانال‌ها با تجمع زباله و نخاله‌ها درصد عملکرد بیش از این مقدار کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد می‌بایست شبکه موجود با طرح‌های نوین شامل روش‌های توسعه کم اثر اصلاح گردد.

نتایج آنالیز ریسک نشان داد که به ترتیب در مناطق ۱۰ و ۱۱، ۶۱.۹ و ۴۹.۵ درصد از زیر حوضه در دسته با احتمال شکست بالا (گروه‌های ۴ و ۵) قراردارند. در این بررسی شرایط هیدرولیکی و سازه ای کانال‌ها و هیدرولوژیکی حوضه آبریز بررسی شده است. این نشان از عملکرد پایین سیستم و همچنین افزایش میزان رواناب گسیل شده به کانال‌های می‌باشد. در تعدادی از این زیر حوضه‌ها بخش عمده از مساحت شامل معابر و خیابان‌ها می‌باشد، که نتایج از احتمال بالای آبگرفتگی آن‌ها حاکی است.

با ضرب احتمال شکست در پیامد شکست ریسک نهایی بدست آمد. نتایج نشان داد که ۶.۵ ٪ از زیر حوضه‌ها در محدوده ریسک بالا (دسته‌های ۴و۵) قرار دارند که شامل زیر حوضه‌های با مساحت‌های بزرگتر و دارای تراکم ساختمانی بالا می‌باشد. عوامل فوق باعث افزایش رواناب حوضه‌ها گردیده به علاوه احتمال خسارات اقتصادی در این محدوده‌ها بالاتر است. این گروه می‌بایست در قرارگیری LIDها در الویت قرار گیرند. نتایج بدست آمده با تحقیقت مک فی [23] همخوانی مناسبی دارد. مک فی نشان داد که زیر حوضه‌ها با ضریب نفوذپذیری پایین و همچنین از نظر ساختمانی با تراکم بالا بهترین مناطق جهت جانمایی LIDها هستند و با جانمایی LIDها براین اساس نسبت فایده به هزینه بالا می‌رود. بیشترین تعداد زیر حوضه در دسته ۲ (۴۹.۵ ٪) قرار گرفته اند. درصد بالایی از کاربری حوضه‌ها فوق معابر و خیابان‌ها می‌باشند و از نظر هزینه‌های پیامد شکست حداقل می‌باشند. با جانمایی LIDها در گروه‌های ۴ و ۵ (که زیر حوضه‌ها با مساحت بزرگتر را شامل می‌شود) علاوه بر تاثیر بر شرایط خود زیر حوضه‌ها، دبی خروجی از این زیرحوضه‌ها نیز کاهش و تاثیر مثبت بر عملکرد کانال‌های پایین دست خود نیز می‌گذارد.

جهت رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها به منظور تعیین الویت جانمایی LID در یک منطقه شهری علاوه بر بررسی خطر سیل می‌بایست اثرات اجتماعی - اقتصادی آن منطقه را نیز در نظر گرفت. رتبه نهایی هر زیر حوضه از تجمیع نمره ریسک و رتبه اقتصادی- اجتماعی زیر حوضه بدست آمد. ۶.۶ درصد از زیر حوضه‌های مورد مطالعه که شامل ۲۲.۸ درصد از مساحت محدوده مورد بررسی بودند در دسته ۵ (بالاترین الویت) قرار گرفتند. انجام رتبه‌بندی

مناطق باعث شناسایی مناطق با خطر سیل بالا شده و سرمایه گذاری برای ایجاد طرح‌های LID را توجیه پذیر می‌کند. همچنین در مناطقی که خطر سیل کمتری دارند اما احتمال بالاتر در اجرا و سرمایه‌گذاری LIDها دارند سود می‌رسانند و به مدیریت سیل در کل منطقه کمک خواهد کرد. با توجه به اینکه سیستم جمع‌آوری سیلاب شهری در ایران وظیفه شهرداری‌ها می‌باشد، با عنایت به هزینه‌های اجرایی طرح‌های LID، به منظور اجرای موثر روش‌های فوق مدل مالی مشارکتی جهت اجرای این طرح‌ها پیشنهاد می‌گردد. بنابراین مناطق با تراکم جمعیت بالا (تعداد خانوار یا مشترک بالاتر) و یا دارای ارزش اقتصادی زیاد از نظر جذب سرمایه، محدوده‌های مناسب جهت اجرا شیوه‌های LID می‌باشد.

References

[1] Ardeshir, A., and Behzadian, K. (2017) Management of stormwater Collection Systems and Flood Control (1th ed). Amirkabir University of Technology. (in Persian)

[2] Office of Water and Abfa Standards and Plans (2016). Principles and Criteria for Designing Sewerage and Surface Water Networks (Review of Journals 3-118 and 163). (in Persian)

[3] Ghobadi, F. (2018). Urban Flood Modelling (Case Study: Chehel-Bazeh golestan region). MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian)

[4] Rahnama, M.R., Khakpoor, B., Razavi, M.H. (2015). Identification and clustering of brown lands in Mashhad in order to present investment patterns, Journal of Geography and Regional Development, No. 1, Spring and Summer 2015(in Persian)

[5] Baek, S.-S., Choi, D.-H., Jung, J.-W., Lee, H.-J., Lee, H., Yoon, K.-S., and Cho, K. H. (2015). Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in urban area, Korea: Experimental and modeling approach. Water Research, 86, 122–131. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.038

[6] Cano, O. M., and Barkdoll, B. D. (2017a). Multiobjective, Socioeconomic, Boundary-Emanating, Nearest Distance Algorithm for Stormwater Low-Impact BMP Selection and Placement. Journal of Water Resources Planning and Management,143(1), 05016013. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000726

[7] Cano, O. M., and Barkdoll, B. D. (2017b). Multiobjective, Socioeconomic, Boundary-Emanating, Nearest Distance Algorithm for Stormwater Low-Impact BMP Selection and Placement. Journal of Water Resources Planning and Management,143(1), 05016013. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000726

[8] Carter, T., and Fowler, L. (2008). Establishing Green Roof Infrastructure Through Environmental Policy Instruments. Environmental Management, 42(1), 151–164. https://doi.org/10.1007/s00267-008-9095-5

[9] Earles, A., Rapp, D., Clary, J., and Lopitz, J. (2009). Breaking Down the Barriers to Low Impact Development in Colorado. In World Environmental and Water Resources Congress 2009 (pp. 1–10). Kansas City, Missouri, United States: American Society of Civil Engineers.

[10] Eckart, K., McPhee, Z., and Bolisetti, T. (2018). Multiobjective Optimization of Low Impact Development Stormwater Controls. Journal of Hydrology. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.068

[11] Engel-Yan, J., Kennedy, C., Saiz, S. and Pressnail, K. (2005). Toward sustainable neighbourhoods: the need to consider infrastructure interactions. Canadian Journal of Civil Engineering, 32(1), 45–57. https://doi.org/10.1139/l04-116

[12] Giacomoni, M. H. and Joseph, J. (2017). Multi-Objective Evolutionary Optimization and Monte Carlo Simulation for Placement of Low Impact Development in the Catchment Scale. Journal of Water Resources Planning and Management, 143(9), 04017053. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000812

[13] Hooshyaripor, F., and Yazdi, J. (2017). A new methodology for surcharge risk management in urban areas (case study: Gonbad-e-Kavus city). Water Science and Technology, 75(4), 823–832. https://doi.org/10.2166/wst.2016.567

[14] Innovyze. (2015). Sustainable Urban Stormwater Best Managment Practices with InfoSWMM Sustain. Innovyze. Retrieved from http://www.innovyze.com/news/showcases/InfoSWMM_Sustain_InfoSWMM_2D_and_SWMMLive.pdf

[15] Jia, H., Lu, Y., Yu, S. L., and Chen, Y. (2012). Planning of LID–BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. Separation and Purification Technology, 84, 112–119. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.04.026

[16] Jung, Y., Han, S., and Jo, D. (2016). Optimal Design of Permeable Pavement Using Harmony Search Algorithm with SWMM. In J. H. Kim & Z. W. Geem (Eds.), Harmony Search Algorithm (Vol. 382, pp. 385–394). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-47926-1_37

[17] Kandasamy, V. P. V., and Sinha, S. K. (2017). Development of Guidelines for Managing Stormwater Pipe Assets—Utility Perspective Case Study Approach. In Pipelines 2017 (pp. 442–453). Phoenix, Arizona: American Society of Civil Engineers. https://doi.org/10.1061/9780784480885.041

[18] Karamouz, M., and Nazif, S. (2013). Reliability-Based Flood Management in Urban Watersheds Considering Climate Change Impacts. Journal of Water Resources Planning and Management, 139(5), 520–533. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000345

[19] Klijn, F., Samuels, P., and Van Os, A. (2008). Towards flood risk management in the EU: State of affairs with examples from various European countries. International Journal of River Basin Management, 6(4), 307–321.https://doi.org/10.1080/15715124.2008.9635358

[20] Lai, F., Dai, T., Zhen, J., Riverson, J., Alvi, K., and Shoemaker, L. (2007). SUSTAIN-AN EPA BMP process and placement tool for urban watersheds. Proceedings of the Water Environment Federation, 2007(5), 946–968.

[21] Lee, J. G., Selvakumar, A., Alvi, K., Riverson, J., Zhen, J. X., Shoemaker, L., and Lai, F. (2012). A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. Environmental Modelling & Software,37, 6–18.https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.04.011

[22] Lee, J. G., Selvakumar, A., Alvi, K., Riverson J., Zhen, J. X., Shoemaker, L., and Lai, F.(2012). A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. Environmental Modelling & Software, 37, 6–18 https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.04.011

[23] McPhee, Z. (2019). Optimizing Low Impact Devolempment Controls for Substainable Urban Flood Risk Mangment. Masters' theses of University of Windsor https://scholar.uwindsor.ca/etd/7647

[24] Rodriguez, J. M., Molnar, J. J., Fazio, R. A., Sydnor, E. and Lowe, M. J. (2009). Barriers to adoption of sustainable agriculture practices: Change agent perspectives. Renewable Agriculture and Food Systems, 24(01), 60–71. https://doi.org/10.1017/S1742170508002421

[25] U.S EPA. (1999). Stormwater technology fact sheet. Bioretention. Washington, D.C: US Environmental Protection Agency. U.S EPA. (2000). Low Impact Development (LID) A Literature Review. Washington, D.C: U.S Environmental Protection Agency.

[26] Van Auken, M., Ahmed, A., and Slaven, K. (2016). Total Water Solutions – Maximizing Stormwater Program Effectiveness Through Risk-Based Asset Management Journal - American Water Works Association, 108, 20–25. https://doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0148

[27] Wong, T. H. F. and Eadie, M. L. (2000). Water sensitive urban design: A paradigm shift in urban design (pp. 1281–1288). Presented at the 10th World Water Congress: Water, the Worlds Most Important Resource., Melbourne, Vic.: International Water Resource Association. Retrieved from http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=519426635188728;res=IELENG

[28] Yazdi, J. and Salehi Neyshabouri, S. A. A. (2014). Identifying low impact development strategies for flood mitigation using a fuzzy-probabilistic approach.Environmental Modelling & Software, 60, 31–44.https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.06.004

[29] Xiao, Q., McPherson, E. G., Simpson, J. R., and Ustin, S. L. (2007). Hydrologic processes at the urban residential scale. Hydrological Processes, 21(16), 2174–2188. https://doi.org/10.1002/hyp.6482

[30] Zahmatkesh, Z., Burian, S. J., Karamouz, M., Tavakol-Davani, H. and Goharian, E (2015). Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff: Case Study of New York City. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 141(1), 04014043. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000770

[31] Azizi, j. and Khodashenas, S. (2019). The Effect of Mashhad City Development on Its Flooding During 1941-2016. Iran-Watershed Management Science & Engineering. 45, 123-134. (in Persian)

[32] Fallah-Tafti., A. (2005). Simulated surface runoff drainage area Mashhad Water and electricity using fusion model MIKE SWMM and GIS. Water Development.MSc. Thesis.University of Ferdowsi Mashhad. (in Persian)