جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۴، پاییز ۱۳۹۶
وصول مقاله : ۱۳۹۵/۸/۱۷
تأیید نهایی : ۱۳۹۶/۳/۲۰
صفحات : ۵۶ - ۳۹

مکان‌یابی سیستم‌های سلول ماند بیولوژیکی در مدیریت رواناب‌های شهری با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی مورد شناسی: منطقهٔ یک شهرداری تهران

مهدیه سعادت فومنی[۱]، دکتر بهرام ملک‌محمدی [۲] ، دکتر اسماعیل صالحی[۳]

چکیده

امروزه مدیریت رواناب‌های سطحی و استفادهٔ مجدد از پساب، از دغدغه‌های اصلی مدیران و طراحان شهری است. رویکرد LID-BMP به‌دنبال توسعهٔ دوست‌دار طبیعت برای مدیریت آب‌های سطحی است. به‌کارگیری این روش‌ها علاوه‌بر امکان استفادهٔ مجدد از رواناب در مصارف غیرآشامیدنی نظیر مصارف کشاورزی و صنعتی، آلودگی زیست‌محیطی واردشده به خاک و منابع آب زیرزمینی را نیز کاهش خواهد داد. استفادهٔ مجدد از رواناب‌ها و تلاش به‌منظور بازچرخانی آب جزء اهداف توسعهٔ شهر تهران محسوب می‌شود. در این تحقیق ابتدا حجم رواناب و مناطق مستعد سیل‌خیزی در مقیاس کلان برای منطقهٔ یک شهرداری تهران به روش شمارهٔ منحنی و با توجه به کاربری زمین تعیین شد. سپس با استفاده از خطوط توپوگرافی، رودخانه‌های منطقه، حجم رواناب و گره‌های تجمعی، حوضهٔ آبخیز رود دره دربند محصور در منطقهٔ یک تهران به‌عنوان مقیاس خرد مشخص می‌شود. درنهایت با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط نرم‌افزار GIS، مکان‌های بهینه برای سیستم‌های سلول ماند بیولوژیکی تعیین شده و با درنظرگرفتن کانال‌های جمع‌آوری رواناب موجود، درمجموع ۱۲۳۱۹/۲۳ مترمربع برای تعبیهٔ این سیستم‌ها جانمایی و پیشنهاد می‌شود. نتایج تحلیل حساسیت به روش حذف پارامتر نشان داد که پارامتر کاربری اراضی، بیشترین اهمیت و تأثیر را در انتخاب مکان‌های مناسب برای تعبیه و استقرار این سیستم‌ها دارد؛ بنابراین، توجه ویژه به‌کاربری زمین در مدیریت رواناب مناطق توسعه‌یافتهٔ شهری ضروری و مورد انتظار است.

کلید واژگان: رواناب شهری، روش‌های نوین مدیریتی، منطق فازی، سلول‌ماند بیولوژیکی.

۱- کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست. دانشگاه تهران saadat.ma@ut.ac.ir
۲- دانشیار گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست. دانشگاه تهران (نویسنده مسؤول) malekb@ut.ac.ir
۳- دانشیار گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست. دانشگاه تهران tehranssaleh@ut.ac.ir

مقدمه

رشد شهری در حوضه‌های آبریز باعث اثرات منفی در منابع آب در سراسر دنیا شده است. ساخت راه‌ها، ساختمان‌ها، محوطه‌ها و پارکینگ‌ها باعث کاهش در زهکشی آب در خاک و همچنین فرایندهای تبخیر و تعرق شده است. پیش‌بینی رشد جمعیتی توسط سازمان ملل نشان می‌دهد که ۶۷٪ از جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در مناطق شهری زندگی خواهند کرد. این رشد نامنظم شهری ضرورتاً منجربه تبدیل مناطق کشاورزی یا طبیعی پیشین به محیط مراکز شهری بزرگ می‌شود (Mejía & Moglen, 2010:476). مجموع این عوامل موجب افزایش حجم رواناب و همچنین دبی حداکثر در رواناب‌های سطحی شده است (Braud, Fletcher, & Andrieu, 2013: 1-4). هر نوع توسعه‌ای می‌تواند موجب افزایش رواناب، تغییر الگوهای طبیعی حوزه و افزایش میزان آلاینده‌های حمل‌شده به‌وسیلهٔ رواناب شود (Tanski, 2007:3). به‌طورکلی رواناب از آن جهت حائز اهمیت است که نه‌تنها باعث تغییر سطح آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌شود؛ بلکه سبب تغییر در مناظر به‌وسیلهٔ فرسایش می‌شود. از عوامل هیدرولوژکی که بر رواناب تأثیر می‌گذارند، می‌توان به نوع بارش (باران، برف و ...)، شدت و مدت بارش، توزیع بارش بر یک حوضه، جهت حرکت رواناب، فصل و وزش باد اشاره کرد. عوامل فیزیکی مؤثر نیز شامل کاربری زمین، نوع پوشش گیاهی، نوع خاک، محدودهٔ زهکشی، شیب، ارتفاع و شبکه‌های جمع‌آوری می‌باشند (Vereecken, Kemna, Münch, Tillmann, & Verweerd, 2005). منابع آب‌های سطحی یکی از سرمایه‌های تجدیدپذیر کشور است که باید از آن حداکثر استفاده را به‌عمل آورد. درحالِ‌حاضر برای تصمیم‌گیری در مورد اجرای طرح‌های هیدرولوژی در کشور سنجه سود به هزینهٔ معیار قرار گرفته است؛ اما واقعیت آن است که این نسبت باید فقط در اولویت بخشیدن به طرح‌ها به‌کار برده شود نه اینکه اجرای بهره‌برداری از منابع آب را الزامی یا مردود سازد. مسلم است که در بهره برداری از آب حفظ اصول بوم‌شناختی و پایداری منابع آب به‌منظور تداوم بهره‌برداری برای نسل حاضر و نسل‌های آینده امری ضروری است (محمودی و سرلک،۱۳۸۷: ۶۰). اقداماتی که موفقیت درازمدت طرح مدیریت رواناب را پیش می‌برند، بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP)[1] نامیده می‌شوند. BMPها علاوه‌بر کنترل میزان رواناب در سطح شهر، کیفیت آن‌ها را نیز بهبود می‌بخشند. هدف از طراحی این نوع راهکارهای مدیریتی، کاهش حجم رواناب، کاهش پیک جریان، کاهش آلودگی‌های با منبع غیرمتمرکز ازطریقِ تبخیر و تعرق، نفوذ آب و تصفیه یا عملیات بیولوژیکی و شیمیایی می‌باشد (Barrett, 2005: 78-86). مسئلهٔ کاهش آلودگی رواناب سطحی با استفاده از این راهکارهای مدیریتی، یکی از بحث‌های مهمی است که امروزه مورد توجه اکثر شهرهای دنیا به‌ویژه تهران قرار گرفته است. رواناب‌های سطحی در تهران درحالِ‌حاضر به‌وسیلهٔ سازه‌های ورودی مجاور خیابان‌ها، کانال‌های جمع‌آوری، نهرهای شهری و مجاری سرپوشیده به پایین‌دست منتقل می‌شوند. با توجه به نقش حیاتی آب به‌عنوان مهم‌ترین عامل توسعه درحالِ‌حاضر و آینده، ضرورت مدیریت جامع منابع آب روزبه‌روز بیش‌تر احساس می‌شود. کمبود آب شیرین و افزایش جمعیت، روند افزایشی مصرف آب را نمایان ساخته است. در این شرایط، رواناب شهری به‌عنوان گزینه‌ای مناسب درجهتِ تأمین آب مطرح می‌شود. درصورتِ حذف منابع آلاینده و تصفیهٔ رواناب‌های سطحی، امکان استفاده از این منبع برای نیازهای آبی مختلف فراهم می‌شود (محمودیان،۱۳۸۷: ۳۵). در مدیریت نوین رواناب شهری، رواناب دیگر یک تهدید برای شهر شناخته نشده و از آن به‌عنوان یک فرصت برای تأمین آب شهری نام برده می‌شود. امروزه رویکردهای نوین مدیریت رواناب شهری در طراحی شبکه‌های جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی، به‌طورفزاینده‌ای برای کاهش عوارض هیدرولوژیکی و جانبی ساخت‌وساز

1.Best Management Practice(BMP)

و توسعه در حوزه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد (کاویان‌پور، مقیمی، شریفی،۱۳۸۹: ۱۲).

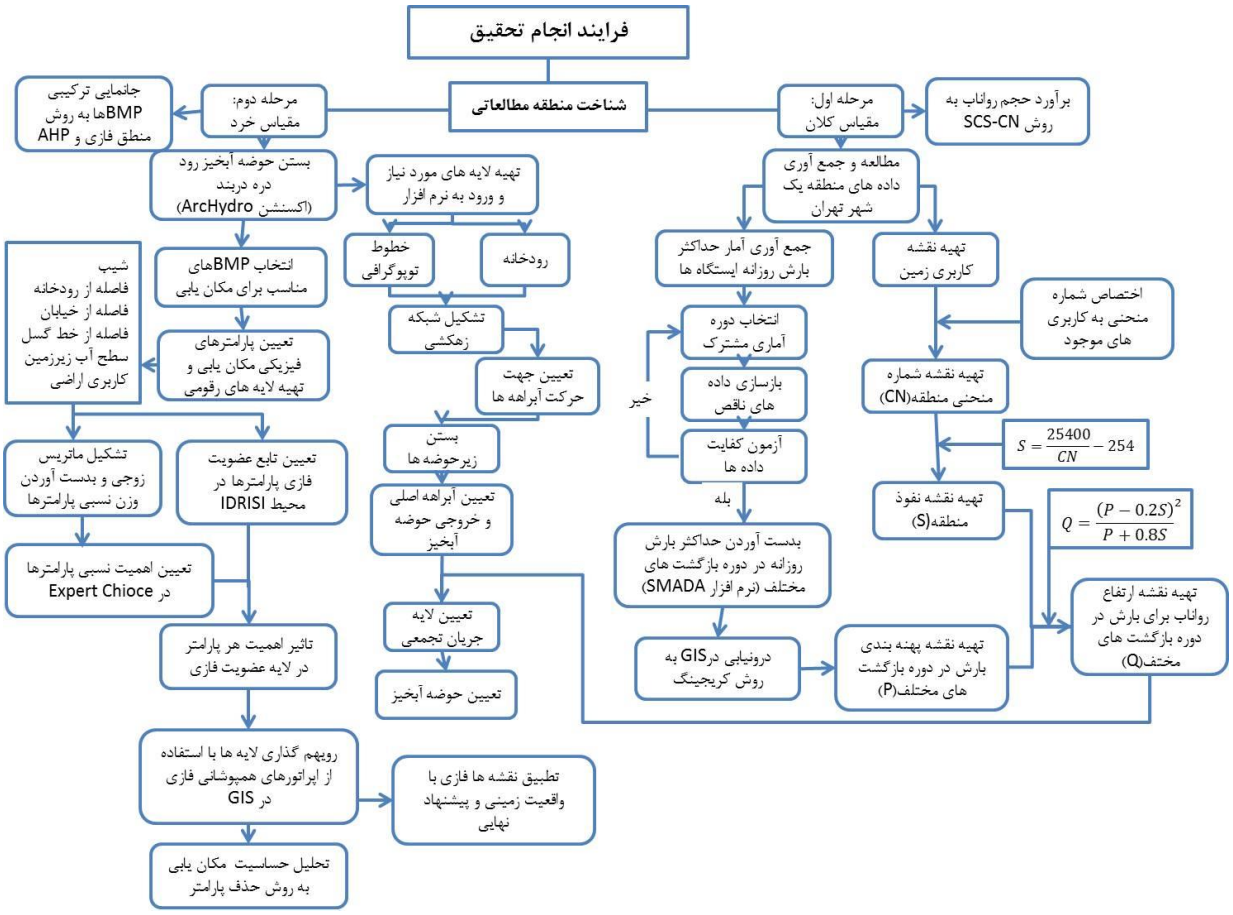
باوجودِ مطالعات بسیار بر روی کارایی بهترین روش‌های مدیریتی (BMP ها) در کنترل کیفی و کمّی رواناب (Bloorchian, Ahiablame, Osouli, Zhou, 2016:) ; Jia, Lu, Shaw, Chen, 2012: 112-119; Jia 274-280 et al., 2015: 65-76; Liu, Ahiablame, Bralts, Engel, 2015: 12-23; Park, Kang, Jung, Roesner, 2015: 130-139)، امکان‌سنجی قرارگیری این سیستم‌ها در فضای شهری کنونی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. تنها در چند مطالعه به موضوع اهمیت مکان قرارگیری این سیستم‌ها اشاره شده است. کریک[1] (۲۰۰۶) در پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد خود به انتخاب بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) برای مدیریت رواناب در شهر ملبورن استرالیا می‌پردازد. او در پژوهش خود از روش ارزیابی چرخهٔ حیات (LCA) برای انتخاب بهترین گزینه از بین ۶ روش استفاده می‌کند و نتیجه می‌گیرد، اگرچه این روش‌ها تفاوت چندانی ازنظرِ ملاحظات زیست‌محیطی با یکدیگر ندارند؛ اما در منطقهٔ موردِنظر تالاب شنی گزینهٔ بهتری برای مدیریت آب‌های سطحی محسوب می‌شود (Kirk, 2006). ترویدل[2] در پایان‌نامهٔ ارشد (۲۰۰۷) تحت عنوان «مدل مدیریت آب‌های سطحی به‌منظور پیش‌بینی جریان رواناب» از مدل SWMM برای ارزیابی حوزهٔ موردِنظر استفاده کرده است. در این پایان‌نامه افزایش سطوح نفوذناپذیر در نتیجهٔ تغییر کاربری اراضی از کشاورزی و طبیعی به مسکونی و تجاری به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل ایجاد مشکلات ناشی از رواناب‌ها برشمرده شده است. او عدم قطعیت‌های پروژه‌اش را نبودِ اطلاعات دقیق به‌دلیل گوناگونی اطلاعات بارش و سفره‌های آب زیرزمینی می‌داند (Troidl, 2007). لی[3] (۲۰۱۲) در شهر کانزاس، به بررسی قابلیت‌ها و کاربردهای مدل SUSTAIN که ازطرفِ EPA معرفی شده است، پرداخت. این مدل به‌صورت یکپارچه تمامی جنبه‌های به‌کارگیری روش‌های نوین جمع‌آوری آب‌های سطحی شامل ارزیابی مکان بهینه، نوع روش و هزینهٔ به‌کارگیری آن را بررسی می‌کند. در این مقاله محدودیت های استفاده از این مدل، کمبود داده‌های موردِنیاز و اجرای نرم‌افزارهای مختلف برای تأمین داده‌های موردِنیاز نام برده می‌شود (Lee et al., 2012, pp. 6-18). اینامدار[4] و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای که در شهر ملبورن استرالیا انجام دادند، به انتخاب بهترین مکان‌ها برای جمع‌آوری آب‌های سطحی پرداختند. در این مطالعه خروجی‌های حوضه‌های آبریز به‌عنوان مستعدترین مکان‌ها برای قرارگیری مخازن جمع‌آوری آب‌های سطحی درنظر گرفته شد و این مکان‌ها رتبه‌بندی گردیدند (Inamdar et al., 2013:. 363-370). ازآنجایی‌که به‌کارگیری این روش‌ها در مکان مناسب می‌تواند موجب افزایش راندمان و کارایی آن‌ها در کنترل کیفی و کمّی رواناب باشد؛ بنابراین، استفاده از ابزاری که بتواند این سیستم‌ها را با توجه به شرایط فیزیکی شهری جانمایی کند ضروری است. همچنین با توجه به اهمیت بررسی‌های چندمقیاسی در برنامه‌ریزی‌های شهری، در تحقیق حاضر تلاش می‌شود با استفاده از ابزار GIS و به‌صورت دو مقایسه، ابتدا در مقیاس کلان به بررسی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه باتوجه به سطوح نفوذناپذیر، کاربری اراضی و اقلیم منطقه پرداخته شده و سپس به‌کارگیری سلول‌ماند بیولوژیکی به‌صورت مکان‌دار در مقیاس خرد بررسی شود.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق، راه رسیدن به هدف و تضمین‌کنندهٔ موفقیت پژوهش است. انتخاب روش مناسب برای هر پژوهش وابسته به مواردی اعماز موضوع، جامعهٔ آماری، اهداف پژوهش، زمان در دسترس و بسیاری از عوامل دیگر می‌باشد. در این تحقیق ابتدا با روش تحلیلی (اسنادی) به جمع‌آوری اطلاعات اولیه برای آغاز کار پرداخته می‌شود. پس از انتخاب BMP مناسب برای منطقهٔ مورد مطالعه (سلول‌ماند بیولوژیکی) و به‌دست آوردن معیارهای طراحی و پارامترهای فیزیکی موردِنیاز برای مکان‌یابی آن‌ها، اطلاعات موردِنیاز از

1.Krik
2.Troidl
3.Lee
4.Inamdar

سازمان‌های ذی‌ربط اخذ می‌شود. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های آماری و لایه‌های اطلاعات مکانی و نقشه‌ها می‌باشند. این اطلاعات با روش‌های مختلف ارزیابی‌شده و سپس مورد استفاده قرار می‌گیرند. داده‌های آماری با آزمون‌های مختلف (آزمون کفایت داده‌ها و تخمین داده‌های غیرموجود) مورد ارزیابی قرارگرفته و اطلاعات مکانی نیز به‌روزرسانی می‌شود. به‌منظور درک بهتر مشکل آب‌های سطحی ابتدا در مقیاس کلان به روش شمارهٔ منحنی (SCS[1]-CN[2]) به برآورد حجم رواناب پرداخته می‌شود. سپس با توجه به اهمیت رود دره‌های شهری، حوضهٔ آبخیز رود درهٔ دربند با توجه به خطوط توپوگرافی منطقه، رودخانه‌ها، جریان تجمعی و حجم رواناب به‌عنوان مقیاس خرد تعیین می‌شود. با مرور منابع و به‌دست آوردن معیارهای فیزیکی لازم برای جانمایی BMP ها به کمک منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[3]، مکان‌های بهینه برای تعبیه این سیستم‌ها به‌دست آورده می‌شود. **Error! Unknown switch argument.** روش انجام این تحقیق را نشان می‌دهد.



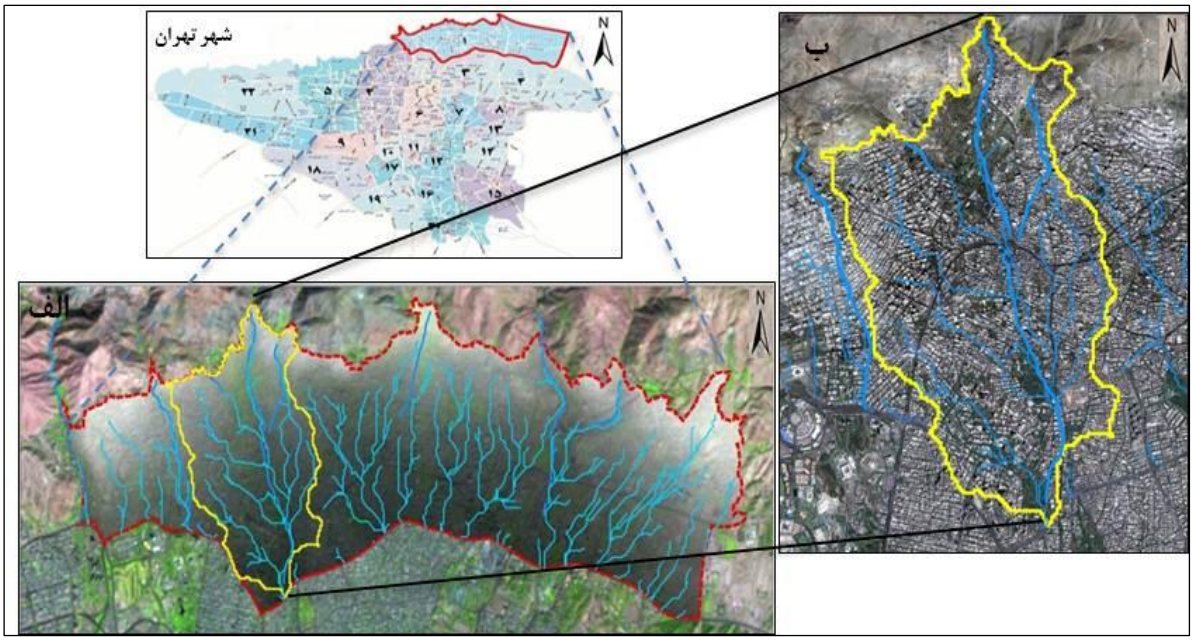
شکل ۱. فرایند انجام تحقیق

(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)

1.Soil Conservation Service
2.Curve Number
3.Analytic Hierarchy Process

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ یک شهرداری تهران با توجه به مرز شمالی مصوب شورای شهر تهران، دارای مساحتی معادل ۴۵۷۴/۲۴ هکتار می‌باشد؛ اما در عمل به‌دلیل رشد ساخت‌وساز در منطقه، محدودهٔ آن هم‌مرز با محدودهٔ ۳۵ سالهٔ شهرداری تهران شده و بر این اساس مساحتی را در حدود ۴۸۱۶ هکتار داراست. بهترین مشخصهٔ این منطقه که ازمنظرِ جمع‌آوری و هدایت رواناب نیز حائز اهمیت خواهد بود، آمیخته‌شدن بافت سنتی و شبه‌روستایی منطقه با شهرسازی مدرن و ساختمان‌های بلندمرتبه و همچنین شیب زیاد اراضی به‌خصوص در نواحی شمالی می‌باشد. درواقع منطقهٔ یک به‌دلیل جذابیت‌های گوناگون در سال‌های اخیر، آماج ساخت‌وسازهای فراوان بوده و توسعهٔ سریع منطقه، بدون درنظر گرفتن زیرساخت‌های شهری ازجمله مجاری جمع‌آوری و هدایت رواناب با توجه به افزایش سطوح نفوذناپذیر و توسعه‌یافته، می‌تواند بستر مشکلات متعدد شهری باشد. با توجه به اهمیت رود دره‌ها در ایجاد و کنترل رواناب‌های شهری، رود درهٔ دربند از بین رودخانه‌های موجود در منطقهٔ یک تهران انتخاب شد. همچنین ازآنجایی‌که استفاده از مرزهای سیاسی تعریف شده، محدودهٔ مناسب و منطقی برای بررسی مدیریت آب‌های سطحی نمی‌باشند، مرز محدودهٔ مقیاس خرد حوضهٔ آبخیز رود درهٔ دربند انتخاب شد. بستن حوضهٔ آبخیز رود دربند با استفاده از خطوط توپوگرافی و آبراهه‌های منطقه توسط اکستنشن الحاقی ArcHydro در محیط GIS صورت گرفت. از لایهٔ DEM منطقه برای تشخیص الگوی زهکشی سطح زمین استفاده کرده و پس از تولید شبکهٔ هیدروگرافی، جهت جریان، جریان تجمعی و لایهٔ حجم رواناب مرز حوضهٔ آبخیز تعیین می‌شود (**Error! Unknown switch argument.**).



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه: الف) منطقه یک شهرداری تهران ب) حوضهٔ آبخیز رود درهٔ دربند محصور در منطقه

(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)

معرفی سلول ماند بیولوژیکی[1]

سلول‌های ماند بیولوژیکی مخازن سطحی کم‌عمقی هستند که از سه لایه شامل لایهٔ سطحی بیولوژیکی، لایهٔ خاک ماسه‌ای و لایهٔ نگهداشت تشکیل شده‌اند (**Error! Unknown switch argument.**). این سلول‌ها، حجم رواناب را به‌وسیلهٔ فرایندهای فیزیکی نفوذ و ماند کاهش می‌دهند و آلاینده‌ها را ازطریقِ جذب سطحی، جذب به‌وسیلهٔ گیاهان و تجزیه

1.Bioretention Cell

حذف می‌کنند (فلاحی‌زرنـدی،۱۳۹۲: ۳۶). اسـتفاده از سـلول مانـد بیولـوژیکی مزایـا و معـایبی دارد کـه در **Error! Unknown switch argument.** بـه آن اشاره شده است.

شکل ۲. سلول ماند بیولوژیکی

منبع: (Water and Sewer Commission, 2013)

جدول ۱. مزایا، معایب و کاربردهای سلول ماند بیولوژیکی

موارد کاربرد	مزایا	معایب/محدویت ها
ایـن سیسـتم‌هـا نقـش مـؤثری در حـذف آلودگی شدید جریان‌های ابتدایی بارندگی دارند.	قابل استفاده در نواحی با فضای کم	نیاز به مراقبت و نگهداری به‌طور مستمر
	بهبود و افزایش تراز آب زیرزمینی	
برای نواحی بـرون‌شـهری بسـیار مناسـب است.	زیباسازی منظر شهری	نامناسب برای نواحی با شیب بیشتر از ٪۲۰
می‌تواننـد بـه‌صـورت جزیـره در وسـط یـا باغچه‌های نواری در حاشیهٔ پارکینگ‌هـا و میادین شهر اجرا شود.	حذف آلاینده‌های گوناگون	نیاز به برنامه‌ریزی طراحی منظر دقیق
	فراهم‌کردن سایه، جلوگیری از باد و جذب آلودگی صوتی	

منبع: (Urban Drainage and Flood Control District, 2010)

نتایج و بحث

برآورد رواناب به روش SCS-CN

یکی از روش‌های تخمین رواناب در حوضـه‌هـای بـدونِ انـدازه‌گیـری دبـی، روش شـمارهٔ منحنـی (CN) رواناب سـازمان حفاظـت خـاک آمریکـا (SCS) اسـت. در روش SCS تعیـین شـمارهٔ منحنی که تابعی از ویژگـی‌هـای خـاک، کـاربری اراضی، خصوصیات هیـدرولوژیکی ماننـد رطوبـت پیشـین خـاک مـی‌باشـد، ضـروری اسـت. روش SCS-CN به‌سبب سادگی آن خیلی‌سریع به یکی

از رایج‌ترین روش‌ها در میان مهندسان و کارشناسان تبدیل شد و اساساً برای حوضه‌های کوچک شهری و کشاورزی، حوضه‌های طبیعی متوسط و همچنین برای حوضه‌هایی که در آن‌ها داده‌های اندازه‌گیری دبی رواناب وجود ندارد، به‌کارمی‌رود (Mishra, Tyagi, Singh, Singh, 2006: 301-322). علاوه‌براین مدلی است پیش‌بینی‌کننده که ورودی‌های محیطی را به‌خوبی ثبت می‌کند و روش تأییدشده‌ای است که به‌طور گسترده در آمریکا و دیگر کشورها مورد پذیرش قرار گرفته است (Kumar, Babu, & Praveen, 2010: 39-47). در این روش ارتفاع رواناب ناشی از باران براساس رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود:

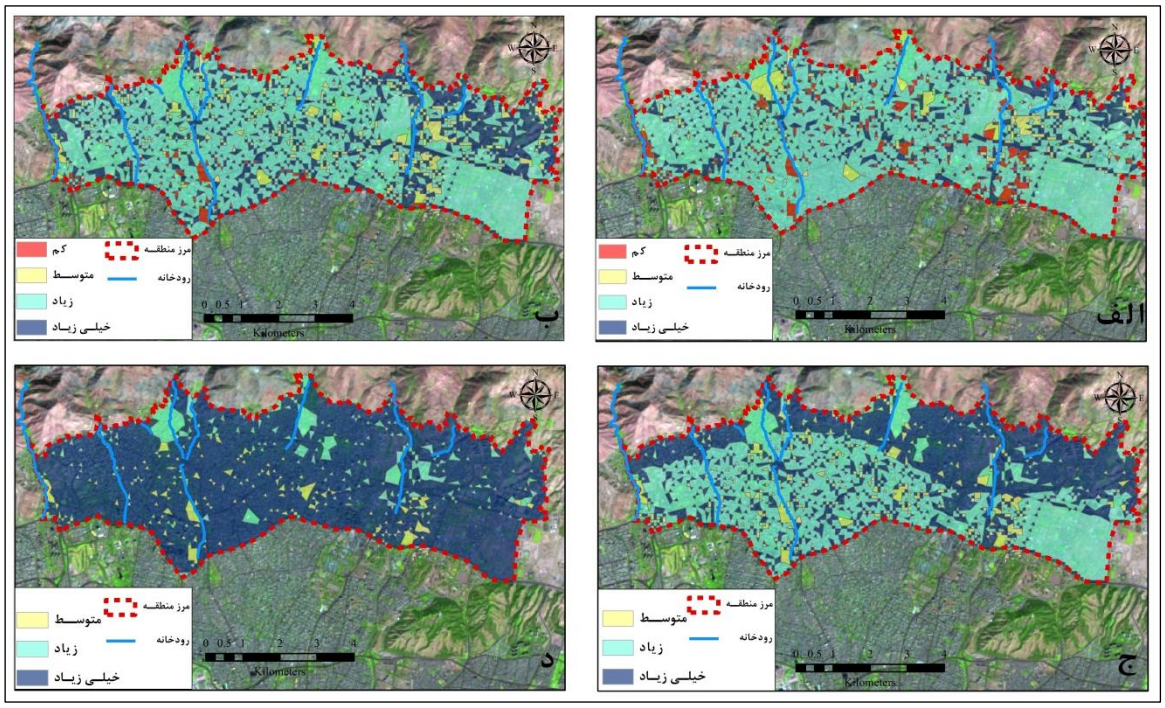
$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad P > 0.2S$$ **رابطهٔ ۱**

Q= ارتفاع رواناب به میلی‌متر، P= ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته، S= مقدار ذخیرهٔ سطحی خاک.

مقدار S در رابطه با نوع پوشش و نحوهٔ بهره‌برداری از اراضی و وضعیت سطح خاک ازنظرِ نفوذپذیری و داخل خاک ازنظرِ انتقال می‌باشد. برای S یک مقدار حداقل و یک مقدار حداکثر وجود داشته که بستگی به رطوبت قبلی خاک دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در حوضه‌های مختلف نشان داده که از کل تلفات بالقوهٔ حوضه یا S، به‌طور متوسط ۰/۲ آن قبل از شروع جریان یافتن هرز آب به‌صورت تلفات اولیه عمل کرده و ۰/۸ بقیه در طول بارش، صرف نفوذ سطحی و عمقی در خاک می‌شود؛ بنابراین، در هر مورد چنانچه ارتفاع بارندگی کمتر از ۰/۲S باشد، فرض می‌شود که رواناب به‌وجود نخواهد آمد. مقدار تلفات کل یا S برحسبِ میلی‌متر توسط رابطه‌ای، با یک عامل بدون بُعد به نام CN ارتباط می‌یابد (رابطهٔ ۲).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$ **رابطهٔ ۲:**

CN بین صفر تا ۱۰۰ متغیّر است که CN برابر با صفر، رواناب از بارندگی حاصل نیامده و در CN برابر با ۱۰۰، تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابربا ارتفاع بارندگی خواهد بود. در این مطالعه ابتدا نقشه‌های مربوط‌به لایهٔ CN و ضریب نگهداشت سطحی ساخته می‌شود. این لایه برای حوضهٔ آبخیزهای بزرگ، براساس نوع کاربری و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک محاسبه می‌شود؛ اما با توجه به اینکه منطقهٔ مورد مطالعه منطقهٔ شهری می‌باشد، ضرایب CN براساس کاربری‌های موجود و برای خاک نوع C تعیین می‌شود (McCuen, 1989). مقدار CN برای کل منطقه مقدار ۹۰/۹۴ محاسبه شد. سپس با توجه به حداکثر بارش روزانهٔ ثبت‌شده در ایستگاه‌های موجود در منطقه و اطراف آن، نقشهٔ پهنه‌بندی بارش برای دورهٔ بازگشت‌های مختلف ساخته می‌شود. برای تهیهٔ لایهٔ ارتفاع رواناب، لایهٔ پهنه‌بندی بارش و لایهٔ نفوذ به‌دست آورده شده با استفاده از رابطهٔ (۱) در محیط نرم‌افزار ArcMap با یکدیگر تلفیق شده و نقشهٔ پهنه‌بندی رواناب تهیه می‌شود. سپس با توجه به میزان ارتفاع رواناب، پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی منطقهٔ مورد مطالعه برای بارش با دورهٔ بازگشت‌های متفاوت به‌دست آورده می‌شود (**Error! Unknown switch argument.**). همان‌طورکه شکل ۴ نمایش می‌دهد، درصد زیادی از منطقهٔ مستعد سیل‌خیزی متوسط به بالا می‌باشد که این میزان در بارندگی با دوره‌های بازگشت بیشتر افزایش می‌یابد؛ بنابراین، با توجه به بی‌کفایتی کانال‌های موجود منطقه در جمع‌آوری رواناب‌ها و لزوم مدیریت آب‌های سطحی در مقیاس محله‌ای و منطقه‌ای به‌جای انتقال به پایین‌دست، استفاده از روش‌های نوین مدیریت رواناب در منطقهٔ مورد مطالعه ضروری است. همچنین از این لایه در تعیین حوضهٔ آبخیز رود درهٔ دربند استفاده می‌شود.



شکل ۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه برای بارش با دورهٔ بازگشت‌های: الف)۵ سال ب)۱۰ سال ج)۲۵ سال ج)۵۰ سال
(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)

مکان‌یابی سلول ماند بیولوژیکی در حوضهٔ آبخیز رود دربند

مکان‌یابی فرایندی است که به ارزیابی یک محیط فیزیکی که تأمین‌کنندهٔ شرایط و پشتیبانی از فعالیت‌های انسانی است، می‌پردازد. موضوع مکان‌یابی وظیفه‌ای است که افراد مختلف در علوم اقتصادی و علوم اجتماعی در آن سهیم هستند. هدف عمدهٔ ارزیابی مکان برای استفادهٔ خاص از زمین برای این است که اطمینان حاصل شود، توسعه و گسترش فعالیت‌های انسان با توجه به امکانات و محدودیت‌ها، با محیط زیست طبیعی سازگاری و هماهنگی دارد.

به‌طورکلی مراحلی که باید درجهتِ مکان‌یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی طی کرد، به‌ترتیب عبارت‌اند از:

۱) معیارهای مؤثر در مکان‌یابی مورد نظر تعیین شود.

۲) ارزش نسبی هریک از معیارها با توجه به درجهٔ اهمیتشان در مکان‌یابی معیّن شود.

۳) ارزش‌های به‌دست آمده در مرحلهٔ قبلی به لایه‌های اطلاعاتی تبدیل شود.

۴) با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و پردازش اطلاعات در GIS مکان مناسب انتخاب می‌شود.

۵) در مرحلهٔ نهایی، مکان‌های انتخاب شده بررسی می‌شوند و با دخالت دادن فاکتورهایی که در مراحل قبلی ذکر نشده‌اند، انتخاب مکان مناسب از بین مکان‌های انتخاب‌شده صورت می‌گیرد.

معیارهای مورد استفاده در این پژوهش

۱) شیب

شیب منطقه به‌عنوان معیاری که بیانگر تغییرات ارتفاعی می‌باشد، عامل تأثیرگذار در سرعت رواناب بوده و باعث افزایش فرسایش می‌شود. لایهٔ شیب منطقه از لایهٔ رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۵ متر (سازمان فناوری ارتباطات شهرداری تهران) تهیه شده است. شیب منطقه ازِنظر هدایت رواناب به‌سمت پایین‌دست و جلوگیری از تمرکز و تجمع در زیرحوضه‌های بالادست حائز اهمیت می‌باشد. آژانس حفاظت محیط زیست[1]، شیب مناسب برای استقرار هریک از BMPها را مشخص کرده است. این میزان

1.EPA

شیب با توجه به هدایت مناسب رواناب به‌سمت سیستم‌های جمع‌آوری، پیشگیری از ماند و فرسودگی و جلوگیری از زیادشدن دبی جریان تعیین شده است.

۲) سطح آب زیرزمینی

لایهٔ عمق آب زیرزمینی نشان‌دهندهٔ لایهٔ خشک است. هر چقدر سطح آب زیرزمینی پایین تر باشد، ازنظرِ استقرار سیستم های نفوذ مناسب تر است. فاصلهٔ مناسب استقرار این سیستم ها تا سطح آب زیرزمینی نیز توسط آژانس حفاظت محیط زیست تعیین شده است. برای سیستم‌های نفوذ علاوه‌بر امکان تغذیهٔ آب زیرزمینی باید به احتمال انتقال آلودگی رواناب به آب زیرزمینی نیز توجه داشت؛ بنابراین، به‌طورِکلی هرچه سطح آب بهره‌برداری پایین‌تر باشد، برای استقرار این سیستم‌ها مناسب‌تر است. لایهٔ سطح آب زیرزمینی در تحقیق حاضر توسط آمار سطح آب چاه‌های بهره‌برداری سازمان آب منطقه‌ای و تکنیک درون‌یابی IDW تهیه شده است.

۳) فاصله از خیابان

ازآنجایی‌که خیابان نفوذناپذیرترین سطح یک منطقهٔ شهری محسوب می‌شود، یکی از مهم‌ترین مسیرهای تجمع و هدایت رواناب‌های تولیدشده می‌باشند. شبکه‌های شمالی- جنوبی عامل تسریع جریان رواناب و هدایت آن به‌سمت بافت مرکزی و جنوب شهر تهران هستند. اجرای بزرگراه‌های متعدد در امتداد شرقی- غربی نیز که قطع‌کنندهٔ زهکش‌های عمدهٔ شهر می‌باشند، سبب رواناب‌های شهری غیرقابل پیش‌بینی تهران شده است. برای استقرار اکثر سیستم‌های BMP، نزدیکی به خیابان عاملی مناسب محسوب شده که میزان این فاصله با توجه به‌کارکرد آن‌ها تعیین می‌شود.

۴) فاصله از خط گسل

گسل‌ها مهم‌ترین عامل وقوع زلزله می‌باشند که نقش مؤثری در آسیب‌پذیری سیستم‌ها و تأسیسات شهری دارند. باتوجه به قرارگیری منطقهٔ مورد مطالعه بر روی دو خط گسل مهم، این پارامتر به‌عنوان یکی از معیارهای محدودکننده در مکان‌یابی سیستم‌های مدیریت رواناب به‌شمار می‌آید؛ بنابراین، لازم است حریم مناسبی از این خطوط برای استقرار سلول‌های ماند بیولوژیکی درنظر گرفته شود.

۵) فاصله از رودخانه

رود دره‌های شهری یکی از معیارهای مهم در استقرار BMPها می‌باشند. نزدیکی به رودخانه‌های شهری می‌تواند دبی جریان ورودی به این سیستم‌ها را افزایش داده و موجب پایین‌آمدن کارایی آن‌ها شود. همچنین رسوب ناشی از حجم زیاد رواناب ورودی به سیستم‌ها، آن‌ها را مستعد فرسودگی می‌کند؛ بنابراین، باید حریم قابل قبولی از رودخانه‌های شهری مورد توجه قرار گیرد.

۶) کاربری اراضی

یکی از مهم‌ترین عوامل در مکان‌یابی سیستم‌ها در مناطق توسعه‌یافتهٔ شهری، توجه به‌کاربری اراضی است. در مورد استقرار سیستم‌های BMP توجه به‌کاربری‌های نفوذپذیر که قابلیت جذب رواناب سطحی را دارا می‌باشند، حائز اهمیت است. همچنین اکثر این سیستم‌ها برای مناطق صنعتی با آلودگی بالا مناسب نمی‌باشند. ازطرفی با توجه به توسعه‌یافتگی شهری در منطقهٔ مورد مطالعه، تغییر کاربری اراضی برای استقرار این سیستم‌ها مناسب و مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد؛ بنابراین، زمین‌های بایر و فضاهای سبز شهری که امکان تعبیهٔ این سیستم‌ها را با هزینهٔ قابل قبولی فراهم می‌کنند، از اولویت بالایی برخوردارند.

استفاده از منطق فازی

تئوری مجموعهٔ فازی، یک سیستم مرسوم برای نمایش و استنتاج از اطلاعات دارای عدم‌قطعیت را فراهم می‌کند. مفهوم متغیّر زبانی در سیستم منطق فازی امکان مدیریت داده‌های غیر عددی و دانش زبانی را به‌طور همزمان فراهم می‌سازد (Mendel, 1995: 345-377). مجموعه‌های فازی به‌وسیلهٔ توابع عضویت مشخص می‌شوند. به‌علاوه به هر تابع عضویت یک واژهٔ معنی‌دار زبانی اختصاص داده می‌شود. این امر باعث می‌شود که متخصصان بتوانند با استفاده از واژه‌های

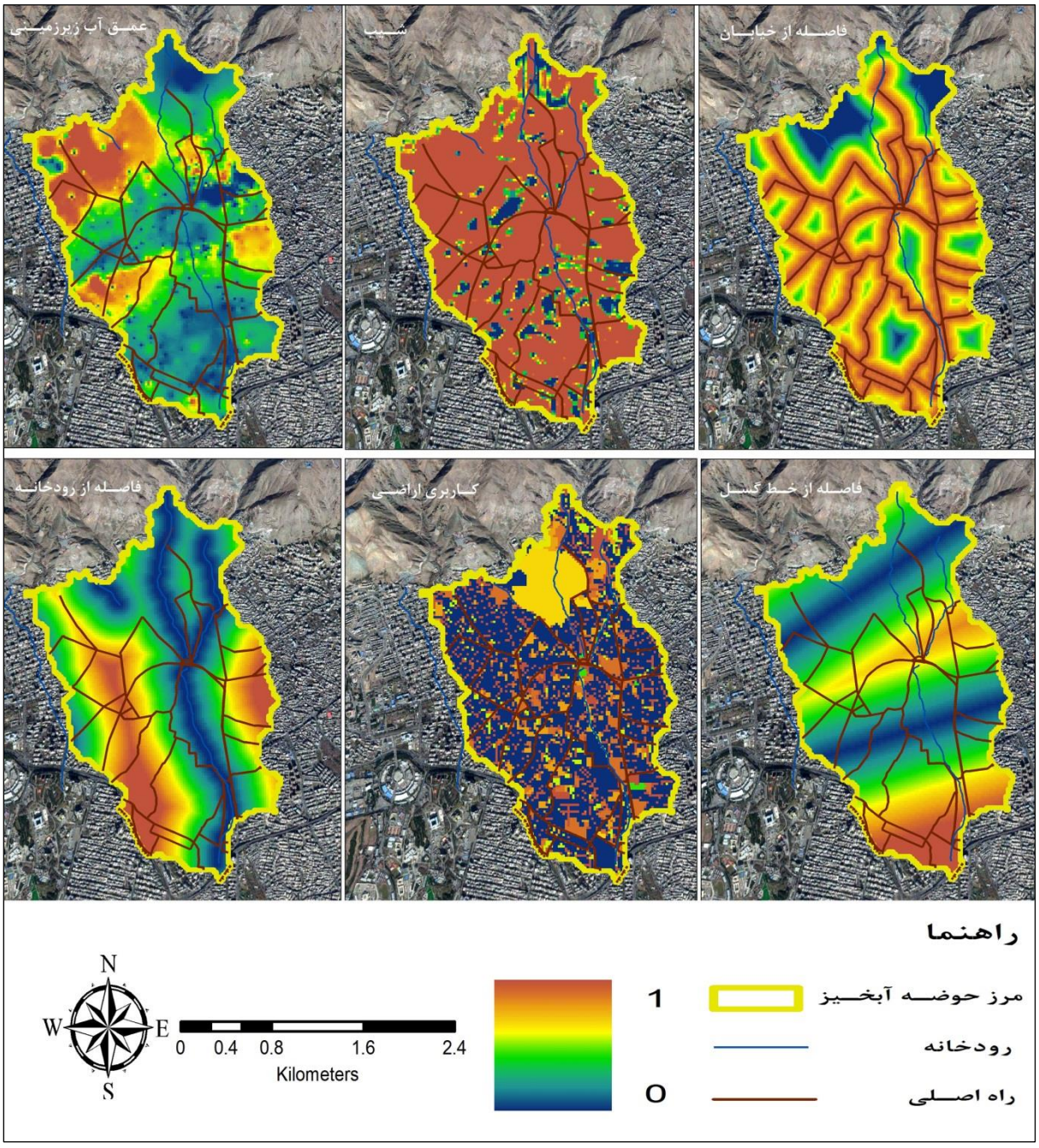
زبانی قضاوت کارشناسانهٔ خود را اعمال کنند (Yen, 1999:. 153-165). منطق فازی راهی ساده برای مقابله با ابهامات، کم‌دقتی‌ها و نامعلومات موجود در داده‌ها فراهم می‌کند. در منطق بولین، هر گزاره یا درست است یا غلط؛ به عبارت دیگر یا ارزش صفر دارد و یا یک. ولی در منطق فازی، هر گزاره دارای درجه‌ای از عضویت بین یک تا صفر است. ازآنجاکه در مسائل تصمیم‌گیری ذهنیت انسان علاوه‌بر امور عینی دخالت دارد، منطق فازی می‌تواند مفید واقع شود (Kahraman, 2008).در این مطالعه، هریک از معیارها ابتدا به‌وسیلهٔ توابع عضویت مناسب در نرم‌افزار IDRISI استانداردسازی می‌شوند. تابع عضویت منحنی‌ای است که مشخص می‌کند هر عضو از مجموعه دارای چه درجهٔ عضویتی بین ۰ تا ۱ است. در تعیین عضویت فازی[1]، برای فازی‌سازی معیارها، از توابع عضویت فازی استفاده می‌شود. انتخاب تابع برای استانداردسازی با توجه به ماهیت، اهمیت و رابطهٔ هرکدام از معیارها با هدف انتخاب می‌شود. استفاده از مدل منطق فازی در کارهای پهنه‌بندی، چون برمبنای تحلیل‌های رستری (شبکه‌ای) می‌باشد؛ لذا می‌بایست هر پیکسل در هر معیار با توجه به تابع ایده‌آل ارزش عضویتی از ۰ تا ۱ را به خود بگیرد. بدین معنی که برای هر معیار درنظر گرفته‌شده برای مکان‌یابی، پیکسلی که مطلوب‌ترین شرایط را برای مکان‌یابی دارد، ارزش ۱ و نامناسب‌ترین شرایط ارزش ۰ می‌گیرد. **Error! Unknown switch argument.** تابع عضویت و نقاط کنترلی درنظر گرفته‌شده برای معیارهای مورد استفاده در مکان‌یابی سلول‌های ماند بیولوژیکی را نشان می‌دهد. **Error! Unknown switch argument.** نقشه‌های عضویت فازی هریک از پارامترها را که با توجه به جدول ذکرشده در محیط نرم‌افزار IDRISI آماده شدند، نشان می‌دهد.

جدول ۲. توابع عضویت و وزن‌های پارامترهای مکان‌یابی سلول ماند بیولوژیکی

معیارهای فیزیکی	تابع فازی	نقاط کنترلی	وزن	منبع
شیب (درصد)	خطی/ متقارن	a=0, b=5, c=20, d=42	۰/۱۵۵	(EPA, 2007)
سطح آب زیرزمینی (متر)	خطی/ افزایشی	a=1.5, b=98	۰/۱۲	(EPA, 2007)
فاصله از آبراهه (متر)	خطی/ افزایشی	a=30, b=1073	۰/۰۸۶	(Martin-Mikle, de Beurs, Julian, & Mayer, 2015:. 29-41)
فاصله از خیابان (متر)	خطی/ کاهشی	a=4, b=816	۰/۲۱۷	(Martin-Mikle et al., 2015: 29-41)
فاصله از خط گسل (متر)	خطی/افزایشی	a=1, b=1973	۰/۰۵۱	(Symbiont, 2006)
کاربری اراضی (*)	خطی/کاهشی	a=1, b=10	۰/۳۷۱	(Ki & Ray, 2014:. 44-53)

* رتبه‌بندی کاربری‌ها: فضای سبز و پاک= ۱، خدمات عمومی= ۲، باغ و باغ مسکونی= ۳، فضای باز و تفریحی= ۴، زمین‌های بایر= ۵، پارکینگ= ۶ و کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و ویژه= ۱۰.

1.Fuzzy Membership



شکل ۴. نقشهٔ عضویت فازی پارامترهای مکان‌یابی سلول ماند بیولوژیکی

(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)

تعیین ارجحیت پارامترها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[1]

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا در سال ۱۹۸۰ توسط توماس ال ساعتی برای بیان تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره پیشنهاد شد و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است. AHP یکی از گسترده‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد (Vaidya & Kumar, 2006: 1-2) که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای موردِنظر، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bertolini, Braglia, Carmignani, 2006:. 422-430). این روش با توجه

1.Analytic Hierarchy Process

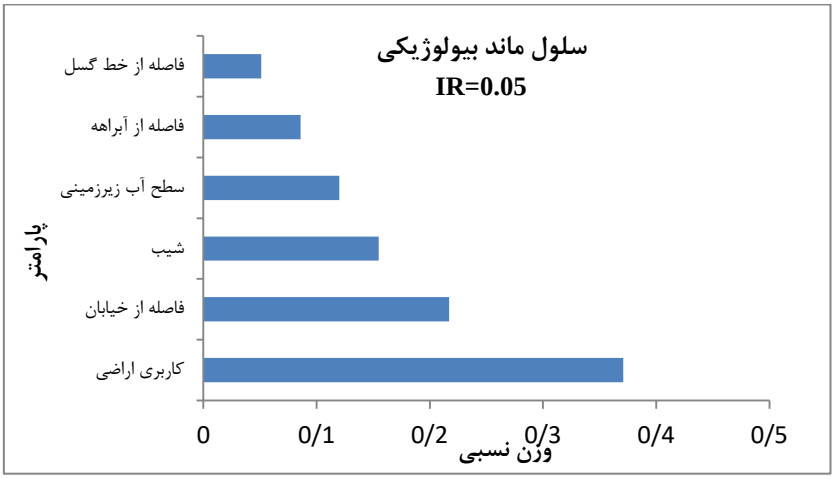
به سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری همزمان معیارهای کمّی و کیفی و همچنین توانایی بررسی سازگاری در قضاوت‌ها، می‌تواند در بررسی موضوعات مربوطبه مکان‌یابی کاربرد مطلوبی داشته باشد (Hill, Braaten, Veitch, Lees, Sharma, 2005:. 955-976).

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها از روش مقایسهٔ زوجی استفاده می‌شود. در این روش، معیارها دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می‌شود. برای این کار می‌توان از یک روش استاندارد (ارائه‌شده توسط ساعتی) استفاده کرد. روش کار به این ترتیب است که برای هر مقایسهٔ زوجی، یک عدد ۱ تا ۹ نسبت داده می‌شود (Çimren, Çatay, Budak, 2007:. 363-376). تحلیل سلسله‌مراتبی یک فرایند ذهنی است که امکان بروز خطا در آن وجود دارد. یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان بررسی در قضاوت‌های انجام‌شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارهاست. شاخص سازگاری و ضریب سازگاری به‌ترتیب براساس رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad \text{رابطهٔ (۳)}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطهٔ (۴)}$$

چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است؛ در غیر این صورت می‌بایست در قضاوت‌ها تجدیدنظر شود. در این پژوهش، ماتریس تعیین ارجحیت ۶ پارامترِ مورد استفاده در مکان‌یابی سلول‌های ماند بیولوژیکی تهیه و با استفاده از پرسشنامه و نظر ۱۵ کارشناس محیط زیست، منابع آب و برنامه‌ریزی و معماری شهری، اهمیت نسبی معیارها ارزیابی و سپس به روش میانگین هندسی اهمیت هر معیار به‌دست آورده می‌شود. سپس وزن نسبی هرکدام از پارامترها که نشان‌دهندهٔ اهمیت آن‌ها در تهیهٔ نقشهٔ مکان‌یابی این سیستم‌ها می‌باشد، به کمک نرم‌افزار Expert Choice محاسبه شد (**Error! Unknown switch argument.**). همچنین نرخ ناسازگاری زیر ۰/۰۵ نتایج به‌دست آمده را مورد تأیید قرار می‌دهد. همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، در سیستم سلول ماند بیولوژیکی به‌علت امکان استفاده از رواناب ذخیره‌شده در آبیاری فضای سبز یا کارواش، کاربری اراضی با وزن نسبی ۰/۳۷۱ دارای بیشترین اهمیت می‌باشند.

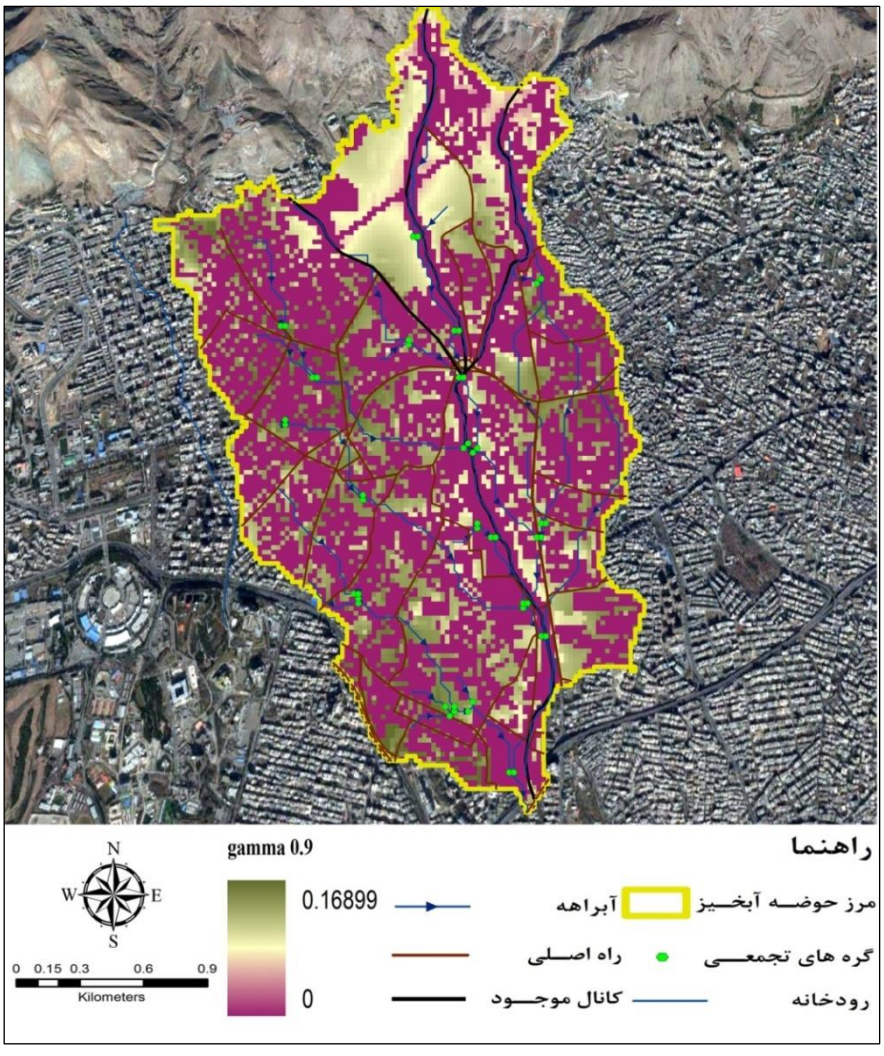


شکل ۵. وزن نسبی محاسبه‌شده از مقایسهٔ پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی

(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)

تهیهٔ نقشهٔ نهایی مکان‌یابی سلول مانـد بیولـوژیکی در حوضهٔ آبخیز رود درهٔ دربند

براساس وزن‌های محاسبه‌شـده و مقـادیر عضـویت فـازی ازقبل‌تعیین‌شده، نقشهٔ نهـایی مکـان‌یـابی بـرای سیسـتم مـوردِنظـر تهیـه مـی‌شـود. بـرای ایـن منظـور، نقشـهٔ اسـتانداردشـده بـا اسـتفاده از توابـع فـازی (**Error! Unknown switch argument.**) بـه‌دسـت آمـده برای هر پارامتر، در وزن نسبی‌اش ضرب می‌شـود. بـدین ترتیب نقشه‌های عضویت فازی پارامترها با توجه به میزان اهمیت‌شان در مکان‌یابی سیستم‌ها ساخته می‌شود؛ برای مثال، لایـهٔ کـاربری اراضـی بـا اسـتفاده از ابـزار Raster calculator در محـیط GIS در وزن نسـبی‌اش (۰/۳۷۱) ضرب شده و لایهٔ جدیـد سـاخته مـی‌شـود. سـپس ایـن نقشه‌ها با ۵ اپراتور همپوشانی فـازی (اپراتورهـای AND فـازی، OR فـازی، SUM فـازی، PRODUCT فـازی و گامای فازی) روی‌هم‌گذاری می‌شوند. درنهایـت بـا توجـه بـه‌کـارکرد ایـن سیسـتم‌هـا، مسـیر آبراهـه، کانـال‌هـای جمع‌آوری آب‌های سطحی موجـود و گـره‌هـای تجمعـی رواناب، اپراتور گامای فازی برای مکـان‌یـابی سـلول مانـد بیولوژیکی انتخاب شـد. همـان‌طـور کـه شـکل ۷ نشـان می‌دهد، مکان‌های دارای اولویـت بـالا بـرای تعبیـهٔ ایـن سیستم‌هـا در منطقـه پراکنـده هسـتند و تقریبـاً تمـامی زیرحوضه‌های محدودهٔ مکانی مناسـب درجهـت اسـتقرار این سیستم‌ها را دارند.



شکل ۶. مکان‌های مناسب استقرار سیستم‌های سلول ماند بیولوژیکی

(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)

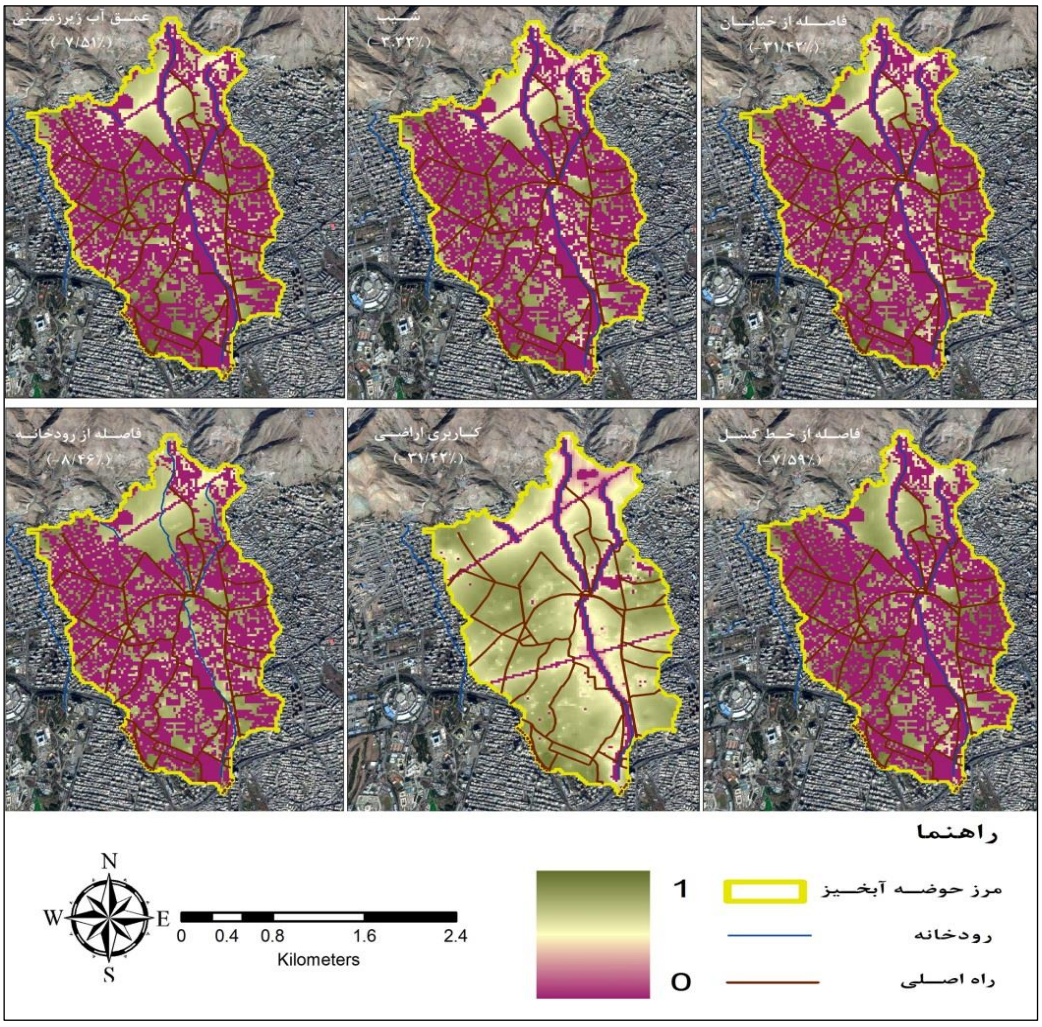
تحلیل حساسیت به روش حذف پارامترها

مرحلهٔ تحلیل حساسیت به‌منظور تعیین حساسیت مکان‌یابی نهایی به هریک از پارامترهای مورد استفاده به‌کار گرفته می‌شود. در این پژوهش برای به‌دست آوردن درصد حساسیت، از روش حذف پارامتری استفاده شد. در این روش میزان تأثیرگذاری هر پارامتر در مکان‌یابی‌ها با استفاده از تحلیل حساسیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. شیوهٔ تحلیل حساسیت به روش حذف پارامتر توسط مان سان[1] و اسووبودا[2] در سال ۱۹۹۰ معرفی شد (Lodwick, Monson, Svoboda, 1990:. 413-428). حساسیت نقشه به حذف یک یا چند پارامتر نشان داده می‌شود و ازطریق رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود:

$$S = \left[\frac{\left(\frac{V}{N} - \frac{V'}{n}\right)}{V}\right] * 100 \quad \text{رابطهٔ ۵}$$

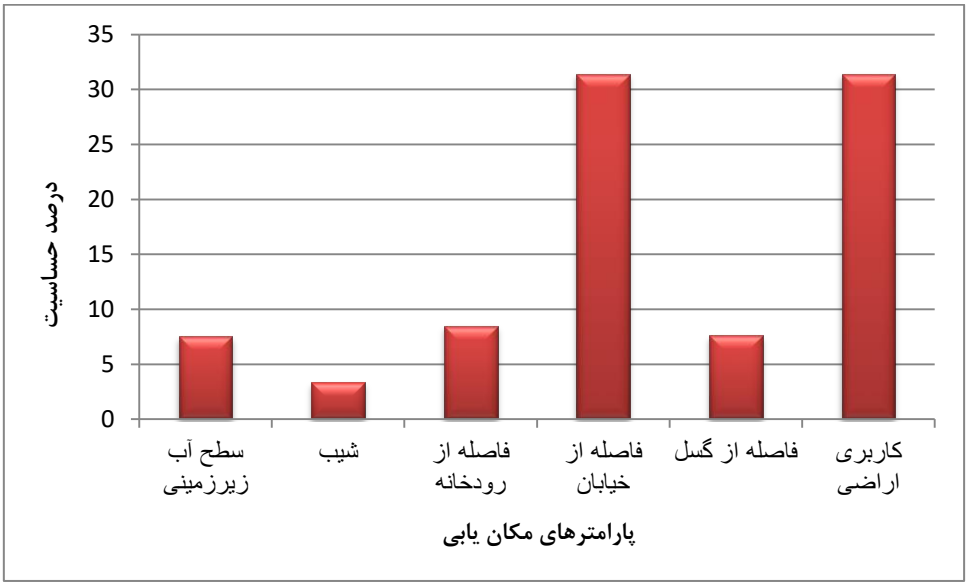
بدین ترتیب نقشه مکان‌یابی، یک بار با حضور تمامی پارامترها و اپراتور فازی انتخابی در مرحلهٔ قبل و بدون دخالت اهمیت پارامترها از نقشه‌های عضویت فازی تهیه شد. میانگین مطلوبیت سلول‌های رستری از این نقشه به‌دست آورده شد. سپس هر بار با حذف یکی از پارامترها، این نقشهٔ مکان‌یابی تهیه و میانگین مطلوبیت سلول‌ها استخراج می‌شود. شکل ۸ نقشهٔ مکان‌یابی تهیه‌شده با حذف هر پارامتر را برای سلول ماند بیولوژیکی نشان می‌دهند. با توجه به پراکندگی مکان‌های مناسب در کل نقشه، این امکان وجود دارد که در نقشه‌ها تفاوت ظاهری آشکاری دیده نشود؛ بنابراین، برای تحلیل صحیح‌تر با استفاده از رابطهٔ (۵) درصد تغییرات مکان‌یابی به حذف هر پارامتر به‌دست آورده شد (**Error! Unknown switch argument.**). نتایج به‌دست آمده تغییرات پراکندگی مطلوبیت مکان‌ها را با حذف هر پارامتر نشان داده و مشخص می‌کند که معیار کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی این سیستم‌ها دارد. با توجه به اینکه منطقهٔ مورد مطالعه برای مکان‌یابی، یک منطقهٔ کاملاً توسعه‌یافتهٔ شهری می‌باشد، اهمیت بالای کاربری اراضی در انتخاب مکان‌های مناسب برای تعبیه و استقرار سیستم‌های مدیریت رواناب‌های شهری آشکار می‌شود؛ بدین معنا که در بین پارامترهای فیزیکی استخراج‌شده برای مکان‌یابی در حوضهٔ آبخیز رود درهٔ دربند، پارامتر کاربری اراضی مهمترین نقش را در انتخاب مکان‌های بهینه درجهتِ تعبیهٔ این سیستم‌ها دارد.

1.Monson
2.Svoboda



شکل ۷. نقشهٔ تحلیل حساسیت مکان‌یابی با حذف هریک از فاکتورهای مؤثر

(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)



شکل ۹. درصد تغییرات مکان‌یابی به حذف هریک از پارامترهای فیزیکی

(منبع: نویسندگان،۱۳۹۴)

نتیجه‌گیری

با توجه به آنکه یکی از ویژگی‌های مناطق شهری‌ای که اصول طراحی اکولوژیکی در آن‌ها اعمال شده، برخورداری از آب با کیفیت بالا و مدیریت دقیق آب شهری است؛ مدیریت بهینهٔ آب‌های سطحی از اهداف این پژوهش محسوب می‌شود. ازآنجایی‌که آگاهی از میزان رواناب تولیدشده نقش مؤثری در بهبود مدیریت شهری خواهد داشت و با درنظرگرفتن این نکته که مدیریت در بالادست می‌تواند از بسیاری از مشکلات به‌وجود آمده در پایین‌دست جلوگیری کند؛ منطقهٔ یک شهرداری تهران به‌عنوان مقیاس کلان این پژوهش درنظر گرفته شد. با توجه به اینکه رود دره‌ها درحقیقت سرچشمه‌های آب تهران را تشکیل داده و مسیرهای تخلیهٔ آب‌های سطحی و سیلاب‌های احتمالی بوده‌اند، پس از انجام مطالعات مقیاس کلان، حوضهٔ آبخیز رود درهٔ دربند به‌عنوان محدودهٔ مقیاس خرد برای ارائهٔ راهکار انتخاب می‌شود. از میان روش‌های نوین مدیریتی گوناگون تنها بعضی از آن‌ها در محیط‌های توسعه‌یافته و شهری قابلیت اجرا دارند؛ بنابراین، با مطالعه و شناخت، سلول ماند بیولوژیکی برای تعبیه در منطقهٔ مورد مطالعه برگزیده شد. همچنین ازآنجایی‌که به‌کارگیری این روش‌ها در مکان مناسب می‌تواند موجب افزایش راندمان و کارایی آن‌ها در کنترل کیفی و کمّی رواناب باشد؛ با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی، مکان‌های بهینه برای استقرار این سیستم‌ها در منطقه پیشنهاد شد. برای سلول ماند بیولوژیکی با عملکرد نگهداشت موقت، کاربری اراضی اهمیت بالایی در انتخاب مکان مناسب دارد؛ زیرا هدف استفادهٔ مجدد از رواناب جمع‌شده در مصارف غیرشرب مثل آبیاری فضای سبز، کارواش، آتش‌نشانی و ... است. همچنین نتایج تحلیل حساسیت نشان داد، در منطقهٔ شهری مورد مطالعه، کاربری اراضی مهمترین فاکتور در انتخاب مکان مناسب برای تعبیهٔ این سیستم‌ها محسوب می‌شود.

منابع

فلاحی‌زرندی، اصغر. . "انتخاب ترکیب بهینهٔ بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP ها) با درنظر گرفتن ملاحظات اقتصادی در بهبود کیفیت رواناب سطحی شهر تهران". پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. (۱۳۹۲). دانشگاه خوارزمی.

کاویان‌پور، محمدرضا؛ مقیمی، ابوالفضل ؛ شریفی، سحر.. "تعیین اثرات کاربرد روش توسعهٔ کم‌اثر (LID) در کاهش سیلاب‌های شهری و شبکهٔ جمع‌آوری آب‌های سطحی شهر تهران". اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. (۱۳۸۹) تهران. صص: ۱۲-۱۱.

محمودی، بهروز؛ سرلک، مهدی. . "برآورد عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضای آب و جایگاه ایران در منطقه ازنظرِ توسعهٔ پایدار". مرکز تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت نظام. گزارش ۵۰-۸۷-۲-۰۴(۱۳۸۷).

محمودیان، علی اکبر.. "نگاهی به تهران از آغاز تا کنون". تهران: (۱۳۸۷). مؤسسهٔ جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی.

Barrett, M. E. (2005). Performance comparison of structural stormwater best management practices. Water Environment Research, 77(1), 78-86.

Bertolini, M; Braglia, M; Carmignani, G. (2006). Application of the AHP methodology in making a proposal for apublic work contract. International Journal of Project Management, 24(5), 422-430.

Bloorchian, A. A; Ahiablame, L; Osouli, A; Zhou, J. (2016). Modeling BMP and Vegetative Cover Performance for Highway Stormwater Runoff Reduction. Procedia Engineering, 145, 274-280.

Braud, I; Fletcher, T; Andrieu, H. (2013). Hydrology of peri-urban catchments: Processes and modelling. Journal of Hydrology, 485, p. 1-p. 4.

Çimren, E; Çatay, B; Budak, E. (2007). Development of a machine tool selection systemusing AHP. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 35(3-4), 363-376 .

EPA, U. S. E. P. A. (2007). Nonpoint sources pollution Control Program. Office of Water, 841-F-94-005.

Hill, M. J; Braaten, R; Veitch, S. M; Lees, B. G.; Sharma, S. (2005). Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis. Environmental Modelling & Software, 20(7), 955-976.

watershed. Landscape and Urban Planning, 140, 29-41.

McCuen, R. H. (1989). Hydrologic analysis and design: Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.

Mejía, A. I; Moglen, G. E. (2010). Spatial distribution of imperviousness and the space-time variability of rainfall, runoff generation, and routing. Water Resources Research, 46(7 .(

Mendel, J. M. (1995). Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. Proceedings of the IEEE, 83(3), 345-377.

Mishra, S; Tyagi, J; Singh ,V; Singh, R. (2006). SCS-CN-based modeling of sediment yield. Journal of Hydrology, 324(1), 301-322.

Park, D; Kang, H; Jung, S. H; Roesner, L. A. (2015). Reliability analysis for evaluation of factors affecting pollutant load reduction in urban stormwater BMP systems. Environmental Modelling & Software, 74, 130-139.

Symbiont, A. (2006). Storm Water Best Management Practices Technical Manual .

Tanski, J. (2007). Stormwater runoff. Best management practices for marinas. A guide for operators .

Troidl, J. (2007). A Storm Water Management Model to Predict Runoff and Streamflow in the Pennichuck Brook Watershed.

Urban Drainage and Flood Control District, W. R. (2010). Urban Storm Drainage Criteria Manual Best Management Practices. 3.

Vaidya, O. S.; Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. European journal of operational research, 169(1), 1-29 .

Vereecken, H; Kemna, A; Münch, H. M; Tillmann, A; Verweerd, A. (2005). Aquifer characterization by geophysical methods. Encyclopedia of Hydrological Sciences .

Water and Sewer Commission, B. (2013). Stormwater Best Management Practices: Guidance Document .

Yen, J. (1999). Fuzzy logic-a modern perspective. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 11(1), 1 .۱۶۵-۵۳.

Inamdar, P; Cook, S; Sharma, A; Corby, N; O'Connor, J; Perera, B. (2013). A GIS based screening tool for locating and ranking of suitable stormwater harvesting sites in urban areas. Journal of environmental management, 128, 363-370.

Jia, H; Lu, Y; Shaw, L. Y; Chen, Y. (2012). Planning of LID–BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. Separation and Purification Technology, 84, 112-119 .

Jia, H; Yao, H; Tang, Y; Shaw, L. Y; Field, R; Tafuri, A. N. (2015). LID-BMPs planning for urban runoff control and the case study in China. Journal of environmental management, 149, 65-76.

Kahraman, C. (2008). Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments (Vol. 16): Springer Science & Business Media.

Ki, S. J; Ray, C. (2014). Using fuzzy logic analysis for siting decisions of infiltration trenches for highway runoff control. Science of The Total Environment, 493, 44-53.

Kirk, B. (2006). Suburban stormwater management: an environmental life-cycleapproach. The University of Vermont.

Kumar, P. S; Babu, M. R. K; Praveen, T. (2010). Analysis of the Runoff for Watershed Using SCS-CN Method and Geographic Information Systems. Analysis, 2(8), 3947-3654 .

Lee, J. G; Selvakumar, A; Alvi, K; Riverson, J; Zhen, J. X; Shoemaker, L; Lai, F.-h. (2012). A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. Environmental Modelling & Software, 37, 6-18.

Liu, Y; Ahiablame, L. M; Bralts, V. F; Engel, B. A. (2015) .Enhancing a rainfall-runoff model to assess the impacts of BMPs and LID practices on storm runoff. Journal of environmental management, 147, 12-23.

Lodwick, W. A; Monson, W; Svoboda, L. (1990). Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical informations systems: suitability analysis. International Journal of Geographical Information System, 4(4), 413-428.

Martin-Mikle, C. J; de Beurs, K. M; Julian, J. P; Mayer, P. M. (2015). Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use