توزیع فضایی سیستم‌های نگهدارنده زیستی باهدف مدیریت بهینه‌ی رواناب منطقه 2 تهران

فاطمه عادلی ساردو

کارشناس ارشد مدیریت برنامه ریزی و آموزش محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست

Fatemeh.adeli67@ut.ac.ir

شهرزاد فریادی

دانشیار گروه مدیریت برنامه ریزی و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران،

اسماعیل صالحی

دانشیار گروه مدیریت برنامه ریزی و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران،

منیژه قهرودی تالی

دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: 1394/11/29 تاریخ پذیرش: 1395/1/4

چکیده

یکی از ابتدایی‌ترین اهداف مدیریت رواناب کنترل آن در مبدا می‌باشد. سیستم نگهدارنده زیستی ازجمله روش‌های نوین مدیریت رواناب با ردپای اکولوژیکی اندک است که به علت هزینه پایین احداث و سهولت نگهداری، موفقیت آنها به ثبت رسیده است. این سیستم همچنین به عنوان یک سیستم اصلاح زیستی یکی از پیشرفته ترین و به روز ترین سیستم های کاهش آلودگی غیر نقطه ای و کنترل رواناب در زمان حاضر است. با افزایش سطوح نفوذناپذیر، در منطقه 2 رواناب سطحی پس از آلوده کردن اراضی پایین دست به واسطه‌ی کانال‌ها به رودخانه درکه و فرحزاد رسیده و از طریق سیل برگردان غرب وارد نهر فیروزآباد و نهایتا خود را به جنوب تهران می‌رساند. هدف این مطالعه توزیع فضایی این سیستم باهدف بازگردانی مجدد رواناب در جهت احیای مصنوعی و بهبود چرخه هیدرولوژی شهری در مقیاس منطقه می‌باشد که با بهره از روش مقایسه زوجی و تحلیل فازی انجام شده است. این مدل با استفاده از معیارهای شیب، عمق آب زیرزمینی، بزرگراه، لکه‌ی سبز و ایستگاه آتشنشانی توسعه یافت. مقایسه زوجی در نرم‌افزار- *Expert Choice*، فازی سازی معیارها براساس توابع مختلف فازی و نوع پارامتر در*GIS10.3* و تعیین گره‌های تجمعی رواناب در *Arc Hydro*صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین پهنه‌های مستعد جهت توزیع سیستم قسمت‌های شرقی با کاربری مسکونی و بزرگراه با پتانسل بالای تولید رواناب و کمترین آن مربوط به مرکز و شمال منطقه با کاربری فضای سبز است. استفاده از راهبردهای چندمنظوره با یکپارچه سازی داده‌های شهری سبب پایداری منابع آب برای فضای سبز و صرفه اقتصادی در درازمدت می‌گردد.

واژگان کلیدی: رواناب شهری، سیستم نگهدارنده زیستی، توزیع فضایی، منطق فازی

مقدمه

شهرنشینی، یکی از ویژگی‌های کلیدی رشد جهانی جمعیت می‌باشد که به طرز جدایی ناپذیری به کاربری اراضی و تغییر در پوشش زمین[1] (***LUCC***) مرتبط می‌باشد***[15]***. یکی از ویژگی‌های غالب ***LUCC*** در مناطق شهری، موزائیک الگوهای سطوح نفوذناپذیر و سطوح سبز می‌باشد. افزایش سطوح غیرقابل نفوذ می‌تواند به طور قابل توجهی منجربه تغییر در فرآیند هیدرولوژی طبیعی شود و در مجموع باعث کاهش نفوذ آب و افزایش رواناب سطحی گردد***[۱۹،۲٤،۲۹]***. افزایش بیش از حد رواناب شهری ناشی از افزایش سطوح نفوذ ناپذیر(مانند پارکینگ، جاده و..) باعث افزایش سیلاب، همچنین کاهش کیفیت رواناب‌های شهری به واسطه‌ی افزایش بارآلایندگی موجود در رواناب و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می-گردد***[۱۸،۹]***. در شرایط بارندگی مشابه، در مناطق شهری با مقدار بیش تر از 50 درصد سطوح نفوذناپذیر حدود 40 درصد از بارندگی به رواناب سطحی تبدیل می‌شود، در حالی که در مناطق جنگلی این مقدار به 13 درصد کاهش می‌یابد***[6]***. در سال‌های اخیر برای کاهش در تاثیرات منفی شهرنشینی روش‌هایی با رویکرد توسعه کم اثر(***LID***)[2] - بهترین راهکارهای مدیریتی(***BMP***)[3] برای کنترل کیفیت و کمیت رواناب های شهری پیشنهاد شده است***[8، ۱۲،۲۸]***. در حال حاضر بسیاری از روش‌های ***LID-BMP*** مانند بام سبز، ترانشه‌های نفوذ، سیستم‌های نگهدارنده زیستی و.. وجود دارد. سیستم‌های نگهدارنده زیستی[4] به عنوان فیلترهای زیستی و یا باغ باران[5] شناخته می‌شوند که به عنوان بهترین راهکارهای مدیریتی در آمریکا***[7]*** و به طور گسترده‌ای در سایر کشورها استفاده می‌گردد***[11،30،31]***. از جمله مزایای این سیستم هزینه نگهداری پایین، افزایش زیبایی، نصب آسان و ایمن و همچنین رد پای اکولوژیک کوچک است که باعث شده است به عنوان یک راه حل مناسب برای کاهش اثرات توسعه در شهرها به شمار رود. سیستم‌های نگهدارنده زیستی باعث هدایت رواناب‌های سطحی جهت ذخیره‌سازی در مقیاس کوچک و یا در زیرزمین است که این سیستم‌ها در سرتاسر منطقه با هدف مدیریت رواناب به گونه‌ای توزیع می‌شود که باعث تاخیر در حرکت آن شوند و در نهایت به تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی نیز کمک می کند. موفقیت طرح‌های کنترل رواناب ناشی از بارندگی مستلزم شناسایی مکان‌های دارای پتانسیل برای به کارگیری این سیستم می‌باشد. اگر این سیستم‌ها به صورت علمی وبا شناخت دقیق محدوده مورد مطالعه جهت تعیین پارامترهای موثر در مکانیابی، پتانسیل‌یابی شوند می‌توانند به صورت مکان‌دار و با تعیین شبکه های خدمات‌دهی در مقیاس محلی برای هر سیستم که برای فضاهای اطراف خود نقش تامینی و احیای

---

[1] ***Land Use and Cover Changes***
[2] ***Low Impact Development***
[3] ***Best Management Paractice***
[4] ***Bioretention System***
[5] ***Raingarden***

مصنوعی چرخه طبیعی آب در شهر را دارد و همچنین باعث کنترل کمی و کیفی رواناب های سطحی شوند قرار گیرند. در این تحقیق توزیع فضایی سیستم‌های نگهدارنده زیستی با بهره از مدل تحلیل مقایسه-ی زوجی فازی انجام گردیده است. این مدل با استفاده از 5 معیار شیب، عمق آب‌های زیرزمینی، فاصله از بزرگراه، فاصله از لکه‌های سبز و ایستگاه‌های آتش‌نشانی توسعه یافته است و لایه‌ی مربوط به هرکدام از پارامترها براساس توابع مختلف فازی و نوع پارامتر، فازی سازی شده و در محیط ***GIS*** بر اساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌های متخصصین که در نرم افزار ***Expert Choice*** تحلیل شده است، وزن دار شده-اند، به صورتی که شبکه‌ی نهایی از تلفیق مکان‌های مناسب برای احداث سیستم های نگهدارند زیستی، مسیرهای حرکتی رواناب‌های سطحی در هریک از زیرحوضه‌ها و گره‌های تجمعی رواناب حاصل از نرم افزار ***Arc Hydro*** حاصل شد وطبقه‌بندی گردید. باتوجه به موارد ذکر شده در بالا و اشاره به عدم امکان ورود رواناب های سطحی به شبکه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب های شهری به نظر می‌رسد بهترین حالت مدیریت رواناب‌های جمع شده در سیستم‌های نگهدارنده زیستی در مقیاس خود سیستم و دسترسی محلی می باشد. با درنظر گرفتن این موضوع که هر سیستم نگهدارنده زیستی در مقیاس محلی و به اطراف خود برای آبیاری فضای سبز، شستن خیابان و مصارف دیگر خدمات می دهد و در نظر گرفتن این ارتباط در مقیاس منطقه 2 شهرداری تهران و با توجه به اثرات بالادست پایین دست زیرحوضه ها شبکه‌ی نهایی ارتباطات حاصل می‌شود. در زمینه‌ی مدیریت رواناب‌های شهری و درمواردی استفاده از سیستم‌های نگهدارنده زیستی تحقیقات و پروژه‌های متعددی در داخل و به طور خاص در خارج از کشور انجام شده است که به مواردی از آن به طوراجمالی آن اشاره می‌گردد. بهروزی در پایان نامه خود با عنوان"مدل بهینه‌سازی کنترل کمی و کیفی رواناب شهری با استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی(***BMPs***) با برآورد و مقایسه نمودن خصوصیات کمی و کیفی رواناب در ترکیب‌های مختلف دو راهکار با عنوان جوی باغچه و روسازی نفوذپذیر با تمرکز بر کاهش غلظت جامدات معلق کل به منظور برآورد استانداردها و حداقل سازی دبی رواناب شهری در نهر فیروز آبادی واقع در جنوب غربی شهر تهران پرداخته است***[1]***.

کاظمی و همکاران در مقاله خود ارزیابی 12 سیستم نگهدارنده زیستی را در منطقه ملبورن انجام داده‌اند، در این پژوهش به چالش‌های محیط‌های شهری ازنظر کمبود تنوع زیستی پرداخته شده واز طریق تله گذاری، میزان و توزیع بی مهرگان در این سیستم‌ها مورد بررسی قرار گرفته است***[17]***. لی و همکاران در مطالعه‌ای به معرفی سیستم نگهدارنده زیستی به عنوان بهترین شیوه برای از بین بردن اختلالات هیدرولوژیکی ناشی از افزایش سطوح نفوذ ناپذیر در مناطق شهری اشاره کرده‌اند***[21]***. دایتز در مطالعه‌ای به بررسی تحقیقات کنونی و توصیه‌هایی برای آینده در زمینه مدیریت رواناب‌های شهری پرداخته است. همچنین رویکردLID را بامزایای فراوان از قبیل ذخیره ونفوذ آب، طولانی شدن زمان جاری شدن رواناب

و طولانی شدن مسیر جریان، کاهش سطوح نفوذناپذیر وتغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی را به عنوان یک جایگزین برای مدیریت رواناب به شیوه‌ی سنتی معرفی می‌کند ***[9]***.

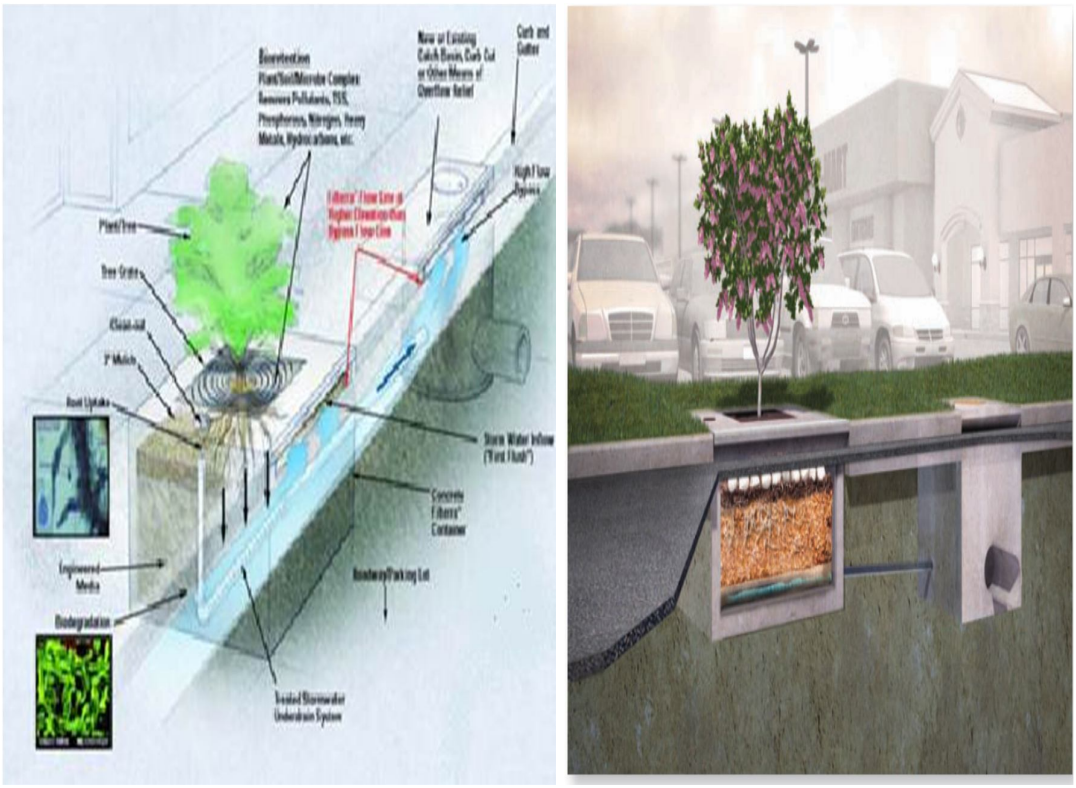
در تحقیقی عملیاتی که‌در دانشگاه مریلند انجام شده است، به معرفی سیستم نگهدارنده زیستی به عنوان راه حلی برای مدیریت رواناب در مناطق مختلف از جمله مناطق مسکونی و پارکینگ‌های بزرگ ومناطق با تراکم بالاپرداخته شده است ***[13]***.

با وجود اینکه در تحقیقات قبلی به رویکردهای نوین کنترل رواناب سطحی پرداخته شده است اما این تحقیق تاکیدی خاص بر توزیع فضایی(مکانیابی) سیستم‌های نگهدارنده زیستی بر طبق معیارهای اصولی و انطباق این معیارها با توجه به شرایط منطقه 2 تهران داشته است و پهنه های نهایی جهت استقرار سیستم-های نگهدارنده زیستی را برطبق معیارهای دقیق مکانیابی به همراه مسیرهای خطی و گره‌های تجمعی رواناب با درنظر گرفتن اثرات بالادست پایین دست رواناب پیشنهاد داده است. استفاده از معیارهای اصولی جهت توزیع فضایی رویکردهای نوین کنترل رواناب به همراه استفاده از مسیرهای خطی رواناب و گره-های تجمعی آن در بستر زمین گامی در جهت تکمیل تحقیقات قبلی می‌باشد.

سیستم نگهدارنده زیستی

سیستم نگهدارنده زیستی با هدف بازگردانی مجدد آب به چرخه‌ی هیدرولوژی شهری و احیای مصنوعی آن می‌باشد و به طور خاص به شرایط گیاهان در این سیستم وابسته می‌باشد که گیاهان وظیفه‌ی گیاه‌پالایی را برعهده دارند و به واسطه‌ی این نقش دارای مزایای دیگری از قبیل (حفظ و نگهداشت رواناب، کنترل رسوب و فرسایش، تقلید از طبیعت و هیدرولوژی قبل از توسعه‌ی سایت، و..) می‌باشند. این سیستم‌ها مبتنی بر زمین (بلند به عنوان مخالف تالاب)، برای کنترل کمیت و کیفیت رواناب با استفاده از روش‌های شیمیایی، زیستی و فیزیکی از طریق ویژگی‌های گیاهان، میکروب‌ها و خاک جهت از بین بردن طیف وسیعی از آلودگی‌های غیرنقطه‌ای می‌باشند. این سیستم در مجموع 95٪ کل مواد جامد معلق، 82٪ کل فسفر، 76٪ کل نیتروژن و 91٪ فلزات سنگین را حذف می‌کند. سیستم نگهدارنده زیستی شامل یک محفظه‌ی بتونی(شکل 1)، یک لایه‌ی3 اینچی مالچ، 1.5 تا 3.5 فوت از یک خاک تهیه شده با فناوری بیوتکنولوژی(به عنوان بخش واسطه)، یک لوله برای بازدید و پاکسازی، یک سیستم زهکشی زیرزمینی ویک نوع مناسب از گیاه(گل ، درختچه یا درخت) می‌باشد ***[9]***. رواناب‌های شهری به طور مستقیم از سطوح غیر قابل نفوذ به واسطه‌ی شیب زمین به یک محفظه‌ی بتونی راه می‌یابد و در آن جا از میان ریشه-ی گیاه، مالچ و خاک مهندسی شده جریان می‌یابد و عبور می‌کند و سپس از طریق یک زهکش زیرزمینی

که به یک لوله فاضلاب شهری یا خروجی‌های مناسب دیگری که به سیستم متصل باشد خارج می‌شود و دوباره‌واردچرخه‌ی مصرف می‌شود.

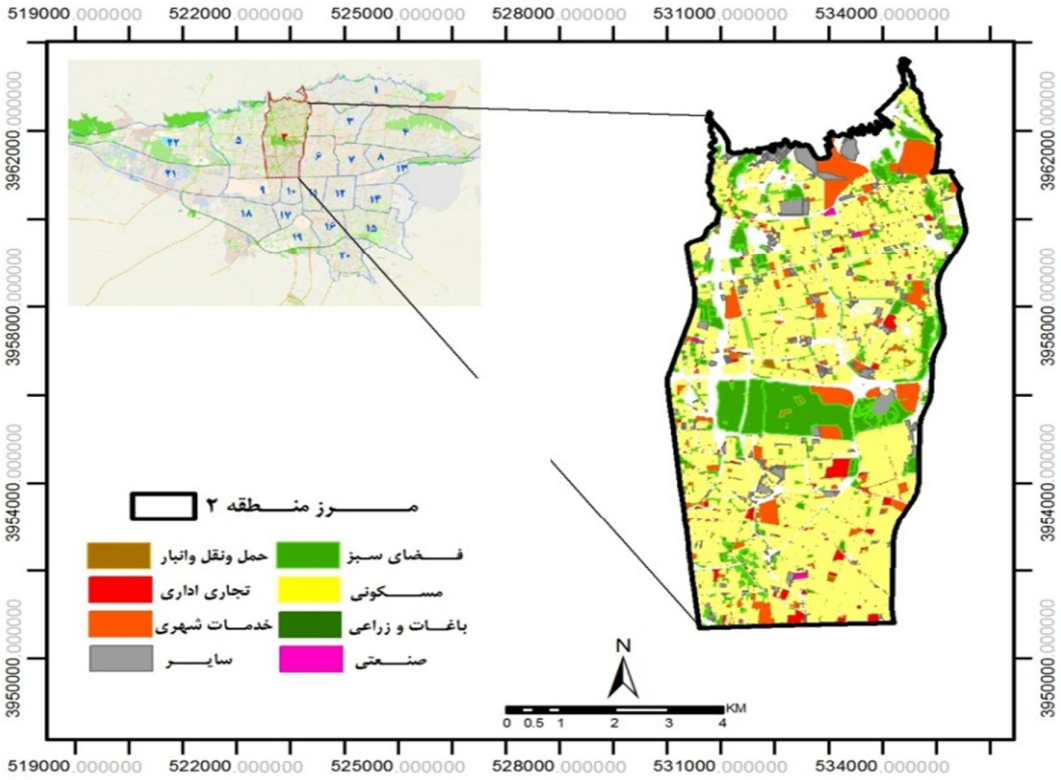


شکل شماره1- اجزا تشکیل دهنده ی سیستم نگهدارنده زیستی *[32]*

مشخصات منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه 2شهرداری تهران، بین 35 درجه، 39 دقیقه و 15 ثانیه تا 35 درجه، 43دقیقه و 12ثانیه عرض شمالی و 51درجه، 20دقیقه و 38 ثانیه تا 51درجه، 22دقیقه و 40 ثانیه طول شرقی و در جنوب غربی تهران قرار گرفته است(نقشه1). در بخش‌های شمال منطقه که ساختار سنگی است به دلیل جاذب نبودن خاک، فاضلاب‌ها به سطح زمین راه یافته، پس از آلوده کردن اراضی پایین دست به همراه جریان آب‌های سطحی وارد جوی‌ها، نهرها و کانال‌ها شده و نهایتا همراه با آب رودخانه‌های فرحزاد و درکه، آب‌های سطحی دیگر به مسیل برگردان غرب وارد شده و به همراه نهرفیروزآباد خود را به اراضی جنوب شهرتهران می-رسانند***[4]***. شکل 1 نمونه‌ای از آبگرفتگی در سطح منطقه هنگام بارندگی را نشان می‌دهد. منطقه‌ی 2 شهرداری تهران با مساحت 64 کیلومتر مربع حدود ده درصد از کل مساحت شهر تهران را به خود اختصاص داده است و کاربری عمده‌ی آن به ترتیب شامل مسکونی، راه، بزرگراه و فضای‌سبز می‌باشد***[2***

Iبراساس مرورمنابع یکی از کاربردهای سیستم نگهدارنده زیستی استفاده از آن در بزرگراه‌ها و در مقیاس گسترده می‌باشد که باتوجه به شبکه‌ی عظیم بزرگراهی در سطح منطقه توزیع فضایی این سیستم‌ها در جهت مدیریت رواناب‌های آن گامی مفید می‌باشد.



شکل شماره2- موقعیت جغرافیایی منطقه 2 تهران

شکل شماره3- آبگرفتگی در منطقه2 تهران(اتوبان نیایش)

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از تلفیق دومدل فازی و مقایسه زوجی استفاده شده است. ***AHP*** روش انعطاف پذیر کمی برای انتخاب برمبنای نسبی در مقایسه بایکدیگر است***[22]***. در این روش برای تصمیم گیری‌های پیچیده چارچوب سلسله مراتبی تهیه می‌شود. ساعتی مقیاس اندازه‌گیری را برای مقایسه دو به دو گزینه‌ها پیشنهاد می‌کند***[26]***. باوجود محبوبیت زیاد این روش، غالبا از آن به خاطر ناتوانی در یکی کردن ابهام‌ها و ادراکات تصمیم گیرنده نسبت به اعداد دقیق انتقاد می‌شود. مطرح نمودن مبحث عدم قطعیت را برای اولین بار، با عنوان احتمال، به ارسطو نسبت داده‌اند. وضعیتی که عدم قطعیت در تصمیم‌گیری به وجود می‌آورد، باعث ایجاد انحرافات مثبت (شانس) و منفی (تهدید) از نتایج مورد انتظار می‌شود***[14]***. عدم قطعیت در این است که تصمیم‌گیر نمی‌داند کدام موقعیت طبیعی رخ می‌دهد***[23]***.اما از آنجایی که عدم قطعیت یکی از معمول‌ترین مشخصه‌های مسایل تصمیم‌سازی می‌باشد، روش ***FAHP*** برای پاسخگویی به این مشکل ایجاد شده است. این روش به تصمیم سازان اجازه می‌دهد تا تقدم‌های حدودی یا انعطاف پذیر خود را با اعداد فازی بیان کنند. ***FAHP*** از محدوده‌ای از ارزش‌ها برای بیان عدم قطعیت استفاده می‌کند***[20]***. در تئوری مجموعه‌ی فازی اگر یک گروه به وسیله‌ی ***" X "*** و***"x"*** با ارزش‌های(***x1, x2, x3, ..,xn***) نشان دهنده‌ی اجزا عمومی ***"X"*** باشند، سپس مجموعه‌ی فازی***"M"***برای این مجموعه‌ی هدف به وسیله ***{(E, μM(x))|x∈X}*** نشان داده می‌شود***[10]***. علاوه بر این ***μM (x)*** نشان دهنده ی تابع آن است که در حالت واقعی بیش از یک مقیاس از اعداد حقیقی در بازه [0,1]بوده است. علاوه بر این یک عدد فازی مثلثی(***TFN***) یک نوع خاص از اعداد فازی می باشد و عمدتا برای کاربردهای عملی پیشنهاد می گردد***[33]***. برای هرعدد مثلث فازی (***a,b,c***) تابع عضویت آن به صورت ریاضی (***M***) در معادله یک نشان داده شده است که در آن ***a ≤ b ≤ c*** می باشد و (***a, b, c***) نشان دهنده ی مرز پایین، متوسط و بالایی مربوط به اعداد مثلثی فازی می باشد.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0, & x \le a, \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & x \in [a,b], \\ \dfrac{x-c}{b-c}, & x \in [b,c], \\ 0, & x > c, \end{cases}$$

در تعیین عضویت فازی روش استانداردسازی، برای فازی‌سازی معیارها، از توابع عضویت فازی (جدول 1) استفاده می‌شود. استفاده و اعمال هر کدام از این توابع با توجه به دو پارامتر نقطه‌ی میانی[1] و پخش[7] صورت می‌گیرد. منظور از نقطه میانی نقطه‌ای است که در آن نقطه ارزش عضویتی (فازی) مقادیر تغییر می‌کند. به بیانی دیگر، نقطه میانی یک آستانه است که در آن آستانه ارزش عضویتی داده شده به مقادیر مختلف ورودی تغییر می‌کند. نقطه میانی در هر تابع توسط کاربر تعریف می‌شود. پارامتر دیگری که مشخص کننده شکل نهایی هر تابع از توابع عضویتی فازی است، پارامتر پخش نام دارد؛ پارامتری که بر اساس آن داده‌های هر ورودی بر روی محور xها توزیع می‌شوند.

جدول شماره1- توابع مختلف تعیین عضویت فازی در *ArcGIS*

تابع عضویت فازی	ویژگی
Gaussian	**تابع عضویت را بر اساس توزیع نرمال یا گوسی و بر اساس یک نقطه میانی تعریف می‌کند (عضویت فازی نقطه میانی 1 است).**
Large	**این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر بزرگ در نقشه، عضویت نزدیک به 1 داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی 0/5 می‌باشد).**
Linear	**این تابع، عضویت فازی را بر اساس یک حداکثر با عضویت فازی 1 و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می‌کند.**
MSLarge	**این تابع عضویت فازی را بر اساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر عضویتی نزدیک به 1 می‌گیرند.**
Near	**این تابع، تابع عضویت را بر اساس یک مقدار خاص توسط یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر مشخص می‌کند (نقطه میانی عضویت یک می‌گیرد).**
Small	**این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر کوچک در نقشه، عضویت نزدیک به 1 داشته باشند. این تابع نیز بر اساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود (عضویت نقطه میانی 0.5 می‌باشد).**

داده‌های ورودی با ارزش عضویت‌های متفاوت در هر تابع باعث تغییر توزیع آن‌ها می‌شود. لذا این تغییر آهنگ باعث تفاوت در پارامترهای پخش می‌شود و در نهایت پارامتر پخش این داده‌ها شکل نهایی هر تابع را مشخص می‌کند. استفاده از این توابع با توجه به تعریف هرکدام از آن‌ها متفاوت می‌باشد. انتخاب تابع برای استانداردسازی با توجه به ماهیت، اهمیت و رابطه هرکدام از معیارها با هدف انتخاب می‌شود. استفاده از مدل منطق فازی در کارهای پهنه‌بندی، چون بر مبنای تحلیل‌های رستری (شبکه‌ای) می‌باشد، لذا می‌بایست هر پیکسل در هر معیار با توجه تابع ایده‌آل ارزش عضویتی از 0 تا 1 را به خود بگیرد.

عملگرهای فازی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند عبارتند از:

عملگر ضرب فازی[9]

که در آن $i\mu$ تابع عضویت فازی می‌باشد. اپراتور ضرب فازی درجه عضویت‌های یک موقعیت در نقشه-های مختلف را در هم ضرب می‌کند. این اپراتور باعث کاهش عضویت نهایی می‌شود و نتیجه آن تعلق

---

[1]Midpoint
7Spread

وزن بسیار کوچکی به هر موقعیت است که در صورت زیاد بودن نقشه‌های ورودی این عدد به سمت صفر میل می‌کند.

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i$$

عملگر جمع فازی

با اعمال اپراتور جمع فازی، مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها در نقشه خروجی بزرگ شده و در صورت زیاد بودن ورودی‌ها به سمت یک میل می‌کند. به دلیل بزرگ شدن وزن‌های نهایی، اثر این اپراتور افزایشی است[5].

$$\text{ر}\mu_{\text{combination}} = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - \mu_i)$$

عملگر گاما11

اپراتور فازی گاما، حالت کلی روابط اپراتورهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامترهای کاهشی و افزایشی را همزمان تلفیق نموده، به مقادیری در خروجی دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات افزایشی و کاهشی دو اپراتور ضرب و جمع فازی باشد .

$$\mu_{\text{combination}} = (\text{ Algebraic Sum} \times \text{ Algebraic Product})^{1-\gamma}$$

نتایج

مراحل اجرای این تحقیق در شکل 2 ارائه شده است. در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاع ***(DEM)*** سازمان نقشه برداری کشور برای تهیه ی لایه‌های شیب و جریان تجمعی رواناب و همچنین از فایل رقومی شبکه‌ی آبراهه‌ها استفاده شده است. سایر لایه‌های اطلاعاتی از قبیل عمق آب‌های زیرزمینی، بزرگراه، فضای سبز و.. از سازمان‌های مربوطه تهیه گردیده است. به منظور مکانیابی سیستم‌های نگهدارنده زیستی 5 فاکتور اصلی شناسایی شد و در ادامه با گره‌های تجمعی رواناب تلفیق گردید. تمام لایه‌ها با

سیستم زمین مرجع یکسان (***UTMWGS 1984, Zone 39N***)، با مقیاس مشترک و ***Cellsize*** مشابه (30×30) در محیط ***GIS*** آماده پردازش و ارزیابی قرار گرفتند. برای تعیین اهمیت شاخص‌های مورد نظر جهت ارزیابی تناسب زمین ابتدا اهمیت نسبی هرکدام از معیارها بر اساس نتایج حاصل از پرسشنامه و با استفاده از مقایسه زوجی توسط نرم افزار ***Expert choice 11*** تعیین گردید. سپس هرکدام از آن‌ها توسط نرم افزار ***GIS 10.3*** فازی شده و در طیف عددی صفر تا یک قرار گرفتند. در مرحله‌ی بعد با تلفیق مدل ***AHP*** و فازی، لایه‌های استاندارد شده در وزن‌های حاصل ازمدل مقایسه زوجی ضرب و به لایه‌های وزن دار فازی شده تبدیل شدند. سپس عملگرهای ضرب و جمع فازی روی لایه‌ها انجام و هم پوشانی صورت گرفت. از طرفی با استفاده از لایه‌ی رقومی ارتفاع و لایه‌ی خطی آبراهه در اکستنشن الحاقی ***Arc Hydro*** گره‌های تجمعی رواناب تعیین گردید. در نهایت با ترکیب عملگر گاما و گره‌های تجمعی رواناب نقشه‌ی نهایی مکان‌های مناسب جهت استقرار سیستم های نگهدارنده زیستی در سطح منطقه 2 تعیین گردید.

شکل شماره4- مدل مفهومی تحقیق جهت مکانیابی سیستم نگهدارنده زیستی در منطقه 2 تهران

در این تحقیق باتوجه به مرورمنابع و شرایط منطقه 2پارامترهای شیب، عمق آب زیرزمینی، فاصله از فضای سبز، فاصله از بزرگراه و ایستگاه های آتش نشانی انتخاب شده است. ویژگی‌ها و شرایط هرکدام به طور مختصر اشاره گردیده است:

شیب

لایه‌ی شیب مورد نظر از لایه‌ی رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک 50 متر ساخته شده است. شیب منطقه از نظر هدایت رواناب‌های سطحی به سمت پایین دست و جلوگیری از تمرکز و تجمع در زیرحوضه های بالادست حائز اهمیت می‌باشد. برای اینکه رواناب‌های سطحی خط شیب مناسب را پیدا کرده و به سمت سیستم نگهدارنده زیستی هدایت شوند، شیب مناسب برای این پژوهش در بازه‌ی 5٪ تا 20٪ قرار می-گیرد[25]. به‌طور کلی شیب منطقه برای استفاده در سیستم نگهدارنده زیستی نباید از 20 درصد بیش‌تر باشد. برای فازی‌سازی این پارامتر از تابع ***Near*** با نقطه‌ی میانی 50 و مقدار پخش 1 استفاده شده است. بیش‌ترین مقدار عضویت(یک) مربوط به طبقه‌ی شیب 5تا 20 درصد می‌باشد.

عمق آب زیرزمینی

این لایه نشان دهنده ضخامت لایه‌ی خشک می‌باشد. هرچقدر عمق آب زیرزمینی در منطقه کمتر باشد، شرایط برای احداث سیستم نگهدارنده زیستی مناسب‌تر است، یکی از مزایای قابل توجه این سیستم‌ها کمک به تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد. لایه‌ی عمق آب زیرزمینی در پژوهش حاضر به وسیله‌ی آمار چاه‌های مشاهده‌ای توسط سازمان آب و منطقه ای و تکنیک درونیابی حاصل شده است. عمق آب زیرزمینی مناسب برای مکانیابی سیستم باید حدود 2- 1.5 فوت باشد[27]. برای فازی سازی این پارامتر از تابع ***Linear*** به صورت کاهشی استفاده شده است.

بزرگراه

در سطح منطقه‌ی 2 اکثر رواناب‌های ناشی از بارندگی به وسیله‌ی بزرگراه‌های شمالی-جنوبی زه کشی شده وبه خارج ازمنطقه هدایت می‌شوند. اکثریت مشکلات ناشی از رواناب در سطح منطقه مربوط به بزرگراه‌های شرقی- غربی می‌باشد که در مسیر خود با سیل برگردان‌های شمالی جنوبی برخورد کرده و باعث اختلال در عملکرد آن‌ها می شوند[3]. بزرگراه‌ها با سطوح غیرقابل نفوذ خود از استعداد بالایی برای احداث سیستم برخوردار می‌باشند. بزرگراه‌ها، یکی از مهم‌ترین مسیرهای تجمع و هدایت رواناب‌های

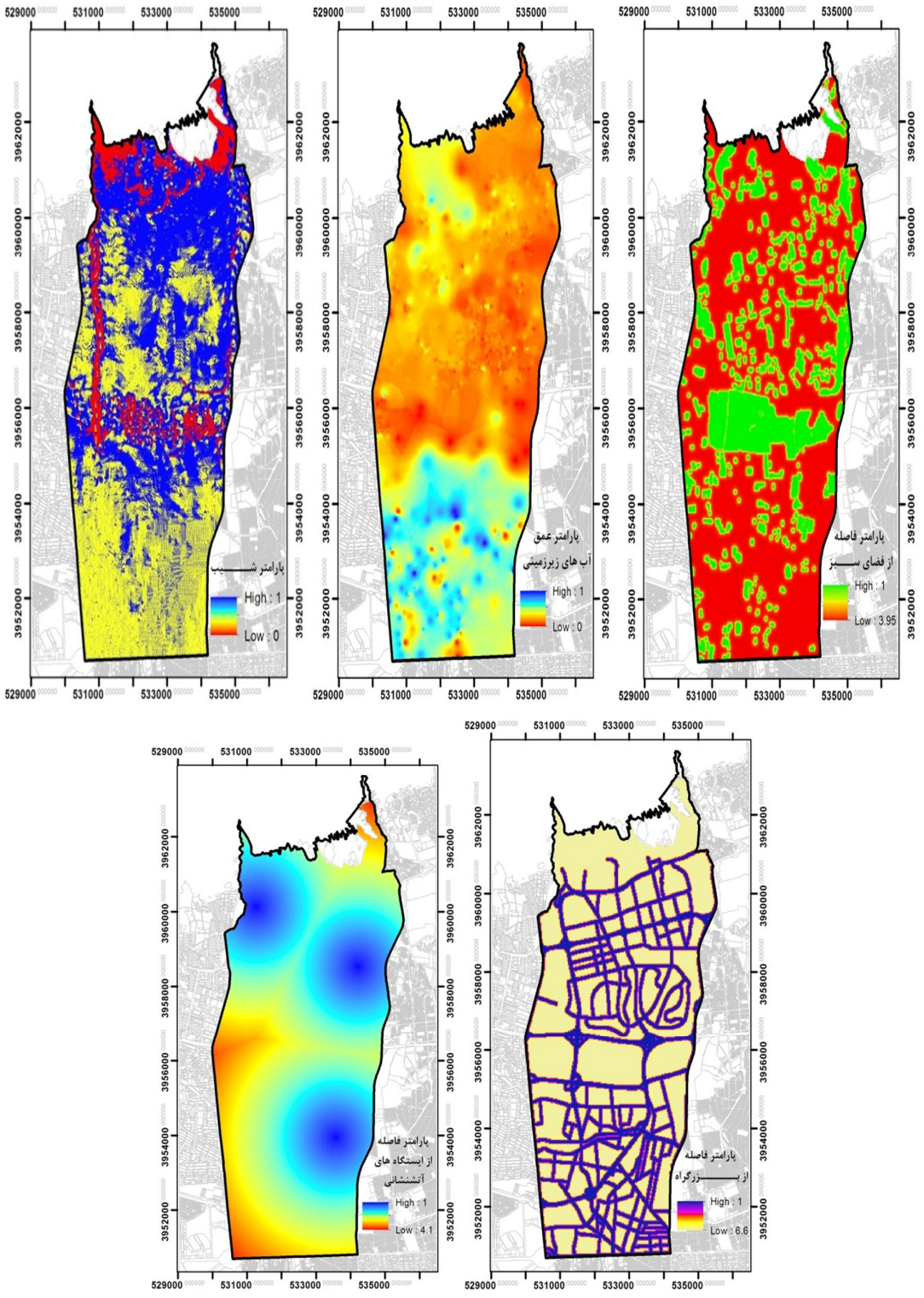
تولید شده در مناطق شهری هستند. از تابع ***Small*** با نقطه میانی 50 و پخش 5 برای تعیین مقادیر عضویت فازی این پارامتر استفاده شده است.

فضای سبز

لکه‌های سبز و خاک که با عنوان لکه‌های نفوذپذیر شناخته می‌شوند از نظر سرعت در جذب رواناب‌های سطحی حائز اهمیت می‌باشند. با توجه به شهری بودن منطقه و نبود خاک در سطوح شهری از لکه‌های سبز به عنوان لایه‌ی نفوذپذیر و فضای باز استفاده شده است. در تعیین مقدار عضویت فازی فاصله از فضاهای سبز شهری در منطقه 2 همانند پارامتر فاصله از بزرگراه از تابع عضویت فازی ***Small*** با نقطه میانی 50 و مقدار پخش 5 استفاده گردید.

ایستگاه‌های آتشنشانی

در منطقه 2 شهر تهران، تعداد 3 مرکز آتش‌نشانی شناسایی شد. این معیار جهت تسهیل در استفاده مجدد رواناب‌های سطحی وبازگردانی آن‌ها به چرخه‌ی هیدرولوژی شهری مورد استفاده قرارگرفته است. در مکان‌یابی سیستم پهنه‌های نزدیک به این مراکز دارای بیش‌ترین وزن نسبی می‌باشند. در پژوهش حاضر، از تابع ***Linear*** به صورت کاهشی برای تعیین مقدار عضویت فازی پارامتر فاصله از مراکز آتش‌نشانی استفاده شده است(نقشه شماره 2). قابل ذکراست که نوع توابع استفاده شده در جهت فازی سازی پارامترهای انتخابی باتوجه به آزمون و خطا با درنظر گرفتن نوع پارامتر و انطباق با شرایط منطقه انتخاب گردیده است.



شکل شماره5- پارامترهای محیطی موثر در مکانیابی سیستم نگهدارنده زیستی

تعیین ضرایب اهمیت شاخص های موثر در توزیع فضایی

وزن‌دهی و الویت‌بندی معیارها جهت انجام مکانیابی در نرم افزار ***Expert choice*** مشخص می‌شود. جهت مقایسه‌ی زوجی از روش ماتریسی در نرم افزار استفاده گردید و باتوجه به نظرات حاصل از پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کارشناسان و شناخت منطقه مورد مطالعه وزن دهی به هرکدام از معیارها انجام گردید(جدول2). بعد از وزن دهی و انجام محاسبات در نرم افزار و توجه به نرخ سازگاری(نرخ سازگاری باید کم تر از 0/1 باشد) وزن‌های نهایی به دست می‌آید که در این پژوهش پارامتر شیب 0.368، دارای بیشترین وزن نسبی و بیشترین تاثیرگذاری در توزیع فضایی و بعد از آن پارامتر فاصله از بزرگراه با وزن نسبی 0.29 در رده دوم اهمیت قرار گرفت. پارامترهای فضای سبز، مراکز آتش نشانی و عمق آب‌های زیرزمینی با وزن‌های 0.19، 0.096 و 0.560 در رده‌های بعدی قرار گرفتند(شکل6).

جدول شماره2- ماتریس مقایسه زوجی برای معیارهای مؤثر در مکان‌یابی سیستم نگهدارنده زیستی

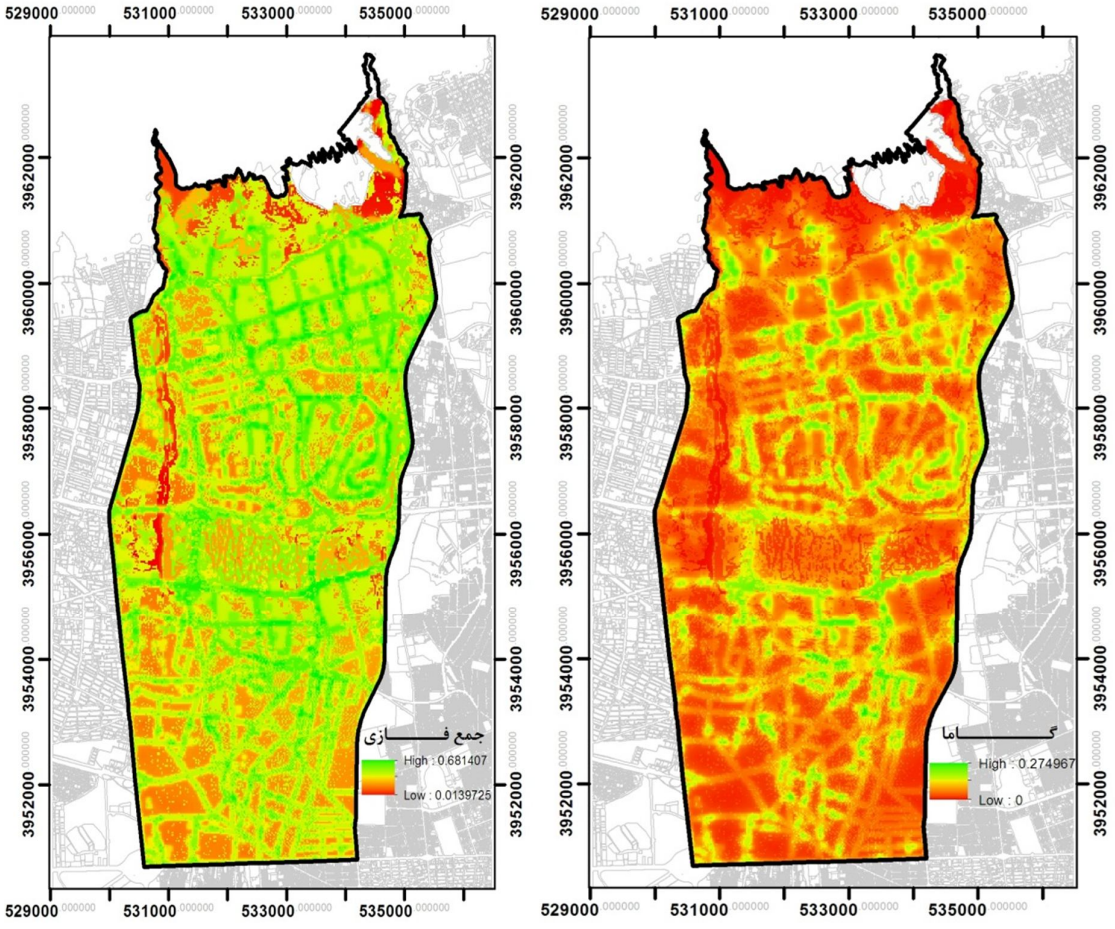
پارامتر	شیب	فاصله از بزرگراه	فضای سبز	مراکز آتش نشانی	آب زیرزمینی
شیب	1	1.2	2.5	3.6	5.7
فاصله از بزرگراه		1	1.5	3.4	4.5
فضای سبز			1	2.3	3.7
مراکز آتش نشانی				1	2.1
آب زیرزمینی					1

شکل شماره6- وزن نسبی محاسبه شده از مقایسه پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی سیستم‌های نگهدارنده زیستی

بعد از وزن‌دهی معیارها در نرم افزار ***Expert choice 11*** وزن هرکدام از معیارهابر طبق رابطه 5 در لایه‌ی مربوطه ضرب شد.

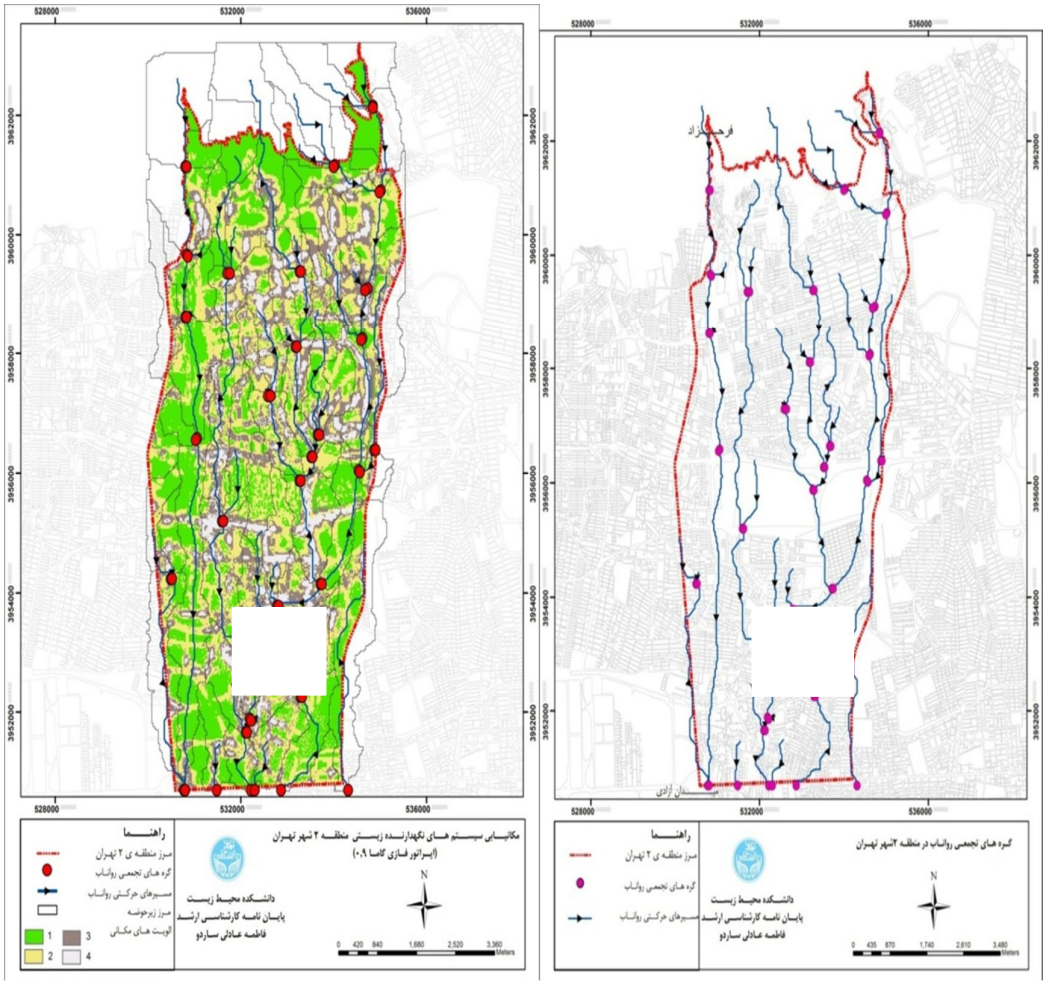
$$f(x) = wi\mu(xi)$$

که در آن ***f(x)*** لایه وزن‌دار فازی، ***wi*** وزن هریک از معیارهای ***AHP*** و***μxi*** تابع فازی هرکدام از لایه ها می‌باشد. بعد از فازی سازی و ضرب وزن‌ها در لایه‌های فازی شده عملگرهای ***SUM, GAMA*** بر لایه‌های فازی شده اجرا می‌شود.



شکل شماره7- عملگر گاما 0/9 وجمع فازی

باتوجه به حساسیت خیلی کم عملگر فازی جمع، نقشه‌ی حاصل از عملگر گامای فازی معرفی شده است که با توجه به آزمون و خطا در ارتباط با عملگر گامای (0/7، 0/8، 0/9) و منطقه2 و لایه های گاما مشخص گردید که گامای 0/9 بیش ترین انطباق را با توزیع فضایی دارد. سپس برای تعیین محل‌های تجمع رواناب در سطح منطقه با استفاده از اکستنشن الحاقی ***Arc Hydro*** در نرم افزار ***Arc GIS10.3***، گره‌های تجمعی رواناب بر اساس لایه‌ی رقومی ارتفاع و لایه‌ی خطی رواناب مشخص گردید(نقشه4) و با نقشه ی حاصل از گامای 0/9 ترکیب و نقشه‌ی تناسب نهایی در مقیاس زیرحوضه مشخص گردید (نقشه4). برطبق نقشه‌ی شماره 4 بیش‌ترین الویت‌های مکانی جهت به کارگیری سیستم نگهدارنده زیستی مربوط به پهنه‌های شرقی منطقه می‌باشد که دارای کاربری مسکونی و بزرگراه می‌باشد.



شکل شماره8- گره‌های تجمعی رواناب، مکان‌های نهایی با گامای 0.9 جهت استقرار سیستم نگهدارنده زیستی

بحث و نتیجه گیری

رویکردهای نوین کنترل رواناب‌های شهری شامل ***LID*** و***BMP*** در جهت کاهش اثرات منفی شهرنشینی ضروری می‌باشند. تعیین مکان مناسب جهت به کارگیری این روش‌ها نیازمند تحلیلی جامع می‌باشد تا تمامی فاکتورهای محیطی از قبیل شرایط سایت، اثربخشی هزینه های ***BMP*** و .. را شامل شود. از طرفی فرآیند برنامه‌ریزی باید دارای تعاملات بسیاری با طرح‌های توسعه شهری در مقیاس محلی(مکان مناسب جهت استقرار سیستم) شامل کاربری زمین و ملاحضات طراحی منظر باشد. این مقاله در جهت تکمیل نتایج پژوهشی نگارندگان صورت گرفته است که به پهنه بندی رواناب در منطقه 2 شهرتهران براساس دوره بازگشت‌های 100، 50، 25 و 5 ساله پرداخته است. لایه‌ی نهایی(نقشه شماره 4) در محیط ***GIS*** براساس الویت‌های مکانی طبقه‌بندی گردیده است و نشان می‌دهد که الویت‌ها تاحدودی مربوط ب پهنه-هایی می‌باشد که در قسمت‌های شرقی منطقه واقع شده‌اند. طبق نتایج تحقیق قبلی بیشترین پتانسیل تولیدرواناب مربوط به کاربری‌های مسکونی و بزرگراه در قسمت‌های شرقی منطقه(بزرگراه‌ها) و کمترین پتانسیل آن مربوط به قسمت‌های پرشیب مرکز و شمال باکاربری فضای سبز می‌باشد این نتیجه خود بیانگر اهمیت نوع کاربری زمین درایجاد پتانسیل رواناب می‌باشد، تاحدی که میزان اهمیت فاکتور مهمی چون شیب را بی‌تأثیر می‌سازد. در هنگام بارندگی در سطح منطقه 2 تهران، به دلیل اینکه مسیل‌ها بر شیب‌های طبیعی منطقه منطبق نیستند و بر خط القعرهای قدیمی انطباق دارند، رواناب ها به سمت مسیل ها زهکشی نمی‌شوند. در واقع انطباق مناسبی میان خطوط زه کشی طبیعی و شبکه‌ی مسیل‌های فعلی وجود ندارد و مسیل‌ها قادر به انجام وظیفه نمی‌باشند. این وظیفه را المان‌های شهری مانند بزرگراه ها، خیابان و .. انجام می‌دهند. درنتیجه تبدیل تهدیدهای شبکه‌ی بزرگراهی به فرصت‌های منطقه بدور از هرگونه سهل انگاری و برخورد سطحی که منجر به افزایش مخاطرات طبیعی در کانون‌های شهری می‌گردد، الزامی می‌باشد. تحقق این امر با یکپارچه‌سازی‌داده‌های شهری و ارائه رویکردهای نوین و مکان‌داربا عنوان سیستم‌های زه کشی پایدار میسر می‌شود که خود نیز راهبردی برای مدیریت رواناب‌های سطحی بااستفاده ازطراحی سیستم‌های جمع‌آوری رواناب باحفظ فرآیندهای اکولوژیکی در سطح منطقه می‌باشد. هدف اصلی از این راهبردها در مناظر شهری ایجاد شبکه‌ای به‌منظور تقلید از چرخه آب شهری در جهت احیاء مصنوعی چرخه‌ی طبیعی با رویکرد توسعه‌ی کم اثر است. باتوجه به عدم امکان ورود رواناب‌های سطحی به شبکه-ی تصفیه‌ی فاضلاب‌های شهری به نظر می‌رسد در بهترین حالت، مدیریت رواناب‌های جمع شده در سیستم نگهدارنده زیستی در مقیاس خود سیستم و دسترسی محلی می‌باشد. به صورتی که شبکه‌ی نهایی از تلفیق مکان‌های مناسب برای احداث سیستم‌های نگهدارنده زیستی، مسیرهای حرکتی رواناب های سطحی در هریک از زیرحوضه‌ها و گره‌های تجمعی رواناب تعیین گردیده است. با توجه به این نکته که

هر سیستم در مقیاس محلی و به اطراف خود برای آبیاری فضای سبز، شستن خیابان و مصارف دیگر خدمات می‌دهد و در نظر گرفتن این ارتباط در مقیاس منطقه و توجه به اثرات بالادست پایین دست زیرحوضه‌ها شبکه‌ی نهایی ارتباطات حاصل می‌گردد و با اقداماتی سازمان یافته باعث احیاء مصنوعی چرخه طبیعی آب شهری می‌گردد. ساخت سازه‌ها و تجهیزات جهت جمع آوری رواناب‌های سطحی در مناطق شهری خصوصا در بزرگراه‌ها و جاده‌های شهری و در لکه‌های نفوذپذیری همچون پارک پردیسان در منطقه 2 تهران سبب پایداری منابع آب برای فضای سبز در درازمدت و صرفه‌ی اقتصادی آن خواهد شد. باتوجه به رشدفزاینده‌ی سطوح غیرقابل نفوذشهری وجود راهنمایی شفاف برای مقامات محلی و تصمیم‌گیرندگان جهت تدوین طرح‌های لازم در جهت تمایل هرچه بیشتر به یکپارچه‌سازی داده‌های شهری و ارائه رویکردهای نوین می‌تواند راهبردی چندمنظوره برای مدیریت رواناب‌های سطحی در سطح منطقه با درنظرگرفتن اهدافی چون کنترل رواناب‌های سطحی از طریق ذخیره، نفوذ، طولانی‌تر شدن زمان جاری شدن رواناب، طولانی کردن مسیر جریان و کاهش سطوح نفوذناپذیر، تغذیه آب‌های زیرزمینی، - افزایش لکه‌های سبز، غنی‌سازی تنوع زیستی و.. با ردپای اکولوژیکی اندک در محیط‌های شهری گردد. با تکیه بر تحلیل‌های انجام شده، راهبردهایی به منظور کاهش آثار زیست محیطی و خسارات رواناب های شهری و ادامه ی تحقیق ارائه می شود:

- ✓ استفاده از فضاهای باز در درون محدوده شهری و به ویژه استفاده از پارکها و بزرگراه ها برای احداث سازه‌های مربوط به کنترل سیلاب غالبا در مراحل اولیه‌ی برنامه ریزی کاربری اراضی و تهیه طرح جامع توسعه شهر پیش بینی و گنجانده شود. لازم است اشاره شود که احداث مخازن با استخرهای تعدیل سیلاب یا مخازن پالایش رواناب های شهری و برخی کشورها از جمله کانادا، استرالیا و ایالات متحده به عنوان یک راه حل اساسی و اصلی برای حل مشکل عمران اراضی در درون مرزهای محدود برنامه ریزی شده توسعه شهر، جستجو و یافت شده است. در کشورهای مذکور، احداث استخرهای تعدیل سیلاب جز لاینفک از طرح عمران اراضی نوآباد تلقی شده و استفاده از اینگونه تاسیسات به موجب الزام قانونی و اجباری است و می باید با ضوابط استاندارد طراحی، اجرا و بهره برداری و نگهداری شود.

- ✓ برای افزایش استفاده از این سیستم و سایر روش‌های مدیریت رواناب در منبع باید در هنگام تدوین طرح‌های جامع به این نکته به صورت الزام قانونی مورد توجه قرارگیرد که هر منطقه بایستی مسئولیت بار تولیدی رواناب خود را برعهده بگیرد و در داخل محدوده‌ی منطقه مدیریت

شوند، نه اینکه به صورت تجمعی وارد سایر مناطق شده و نهایتا با بارآلودگی بسیار زیاد به اراضی جنوب تهران هدایت شوند.

- ✓ در تحقیق حاضر فرض برآن بود که در مکانیابی ***BMP*** در هر زیرحوضه تنها از سیستم نگهدارنده زیستی استفاده شود در حالی که می توان از تلفیق ***BMP*** های در هریک از زیرحوضه ها استفاده کرد و تاثیر همزمان سایر روش‌هایی چون ترانشه نفوذ، سطوح متخلخل و.. را مشاهده نمود.

- ✓ در مطالعات آتی ضمن معرفی ***BMPs*** به عنوان شیوه‌ای نوین در کنترل رواناب‌های شهری، مسائل اقتصادی در رابطه به هزینه‌های اجرا و نگهداری در دوره طرح نیز مورد بررسی قرار گیرد.

- ✓ تاثیر عدم قطعیت در بحث هیدرولوژیکی نظیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی بارش-رواناب، زمان تمرکزو.. در مطالعات بعدی لحاظ گردد.

- ✓ مدل‌های آزمایشگاهی هر کدام از ***BMP*** ها ساخته شود تا بتوان کارایی دقیق آن‌ها در کنترل کمی و کیفی رواناب تعیین گردد.

- ✓ پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده با توجه به اهمیت زمان تمرکز و زمان رسیدن آب در هریک از زیرحوضه‌ها به خروجی زیرحوضه و تاثیر آن برنتایج توزیع فضایی، تمام عوامل موثر بر زمان تمرکز در حوزه آبخیز شهری مشخص گردد و سپس با استفاده از عوامل تعیین شده و میزان اهمیت و تاثیرگذاری آن‌ها روابط مناسبی برای برآورد زمان تمرکز ارائه گردد.

- ✓ افزایش‌معیارها وزیرمعیارهای تصمیم‌گیری خصوصا معیارهای دقیق‌تر هیدرولوژیکی- هیدرولیکی جهت دستیابی به نتایج دقیق‌تر تحقیق باتوجه به موقعیت‌های متفاوت لازم می باشد.

منابع

1- بهروزی، امیر،1392، مدل بهینه سازی کنترل کمی و کیفی رواناب شهری با استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی(***BMPs***) مطالعه موردی: منطقه 10شهرداری تهران)، کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

2- سایت شهرداری منطقه 2 تهران، www.***region2.tehran.ir***

3-عادلی ساردو، فاطمه،1393، مدیریت بهینه رواناب های شهری با استفاده از سیستم های نگهدارنده زیستی(نمونه مورد مطالعه: منطقه 2 شهرداری تهران)،کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

4- مهندسین مشاور مهاب قدس، 1391، مطالعات طرح جامع مدیریت آب های سطحی شهرتهران، جلدچهارم، بررسی شبکه اصلی موجود آب های سطحی.

5- ***Alesheikh, A ., Soltani, M., Nouri, N ., Khalilzadeh, M. 2008. Land Assessment for Flood Spreading Site Selection Using Geospatial In formation System, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol .5, No .4, 455-462.***

6- ***Bonan, G.B. 2002. Ecological Climatology: Concepts and Applications. Cambridge University Press.***

7- ***Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., & Clar, M. 2009. Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. Journal of Environmental Engineering, 135(3), 109-117.***

8- ***Davis, A .P. 2005. Green engineering principles promote low-impact development. Environ. Sci. Technol. 39 (16), 338Ae 34 4A.***

9- ***Dietz, M. E. 2007. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. Water, air, and soil pollution, 186(1-4), 351-363***

10- ***Dubois D, Prade H. Fuzzy real algebra: some results. Fuzzy Sets Syst 1979;2:327–49.***

11- ***Fujita, S. 1997. Measures to promote stormwater infiltration. Water Science and Technology 36, 289–293.***

12- ***Field, R., Struck, S.D., Tafuri, A .N., Ports, M.A ., Clar, M ., Clark, S., Rushton, B. 2006. BMP Technology in Urban Watersheds: Current and Future Directions. ASCE Reston, VA , ISBN 0-784 4-0872-6***

13- ***Guilford Run Bioretention Project, University of Maryland. 2000. http://www.se.umd.edu***

14- ***Ivanov, D., & Sokolov, B. 2009. Adaptive supply chain management. Springer Science & Business Media***

15- ***Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J. 2012. Cities And Flooding: A Guide To Integrated Urban Flood Risk Management For The 21st Century. World Bank Publications.***

16- ***Jiang , H. and Eastman,R. 2000. Application of fuzzy measurment in multi_ critria evaluation in GIS." International Journal of Geogra fic Information System,vol.14,No.***

17- ***Kazemi, F., Beecham, S., & Gibbs, J. 2009. Streetscale bioretention basins in Melbourne and their effect on local biodiversity. Ecological Engineering, 35(10), 1454-1465***

18- ***Khan, S., Lau, S.L., Kayhanian, M., Stenstrom, M.K. 2006. Oil and grease measure-ment in highway runoff-sampling time and event mean concentrations J. Environ. Eng. 132 (3), 415 e422***

19- ***Leopold, L.B. 1968. Hydrology for Urban Land Planning: A Guidebook on the Hydro-logic Effects of Urban Land Use. United States Department of the Interior***

20- ***Lee, A. H., Chen, W. C., & Chang, C. J. 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. Expert systems with applications, 34(1), 96-107.***

21- ***Li, H., Sharkey, L. J., Hunt, W. F., & Davis, A. P. 2009. Mitigation of impervious surface hydrology using bioretention in North Carolina and Maryland. Journal of Hydrologic Engineering, 14(4), 407-415.***
22- ***Linkov, I., Satterstrom, F. K., Steevens, J., Ferguson, E., & Pleus, R. C. 2007. Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials. Journal of Nanoparticle Research, 9(4), 543-554.***
23- ***Monahan G E. 2000. Management decision making: spreadsheet modeling, analysis, and application, Cambridge University Press, England***.
24- ***Paul, M.J., Meyer, J.L. 2001. Streams in the urban landscape. Ann. Rev. Ecol. Syst. 32, 365-333.***
25- ***Manual for Stormwater Quality Control Measures***
26- ***Saaty, T. L. 1980. The analytical hierarchical process. J. Wiley. New York***
27-United States Environmental Protection Agency. 1999.Storm Water Technology Fact - SheetBioretention.Washington D.C.
28- ***US EPA. 2009. SUSTAIN-a Framework for Placement of Best Management Practices in Urban Watersheds to Protect Water Quality. EPA/60 0/R-09/095. Office of Research and Development, Cincinnati, OH.***
29- ***Whitford, V., Ennos, A.R., Handley, J.F. 2001. "City form and natural process"—indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. Landsc. Urban Plann. 57, 91–103***
30- ***Wong, T.H.F. 2006. Australian Runoff Quality: A Guide to Water Sensitive Urban Design***
31- ***Woods-Ballard, B.K., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P. 2007. The SUDS Manual. CIRIA (C697), London and Dundee***
32- ***Www.filtera.com***
33- ***Zimmerman HJ. Fuzzy sets theory and its applications. 1996. Boston: Kluwer Academic Publishers.***