Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ فضای شهری، سال دهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۲، شمارهٔ پیاپی ۲۲

DOI: 10.22067/JGUSD.2022.75116.1169
مقالهٔ پژوهشی

بررسی تاثیر عناصر شهری و تغییرات کاربری شهری بر کیفیت رواناب (مطالعه موردی کلانشهر تهران)[1]

صادق پرتانی (استادیار مهندسی آب، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران، نویسنده مسئول)
s_partani@ub.ac.ir
آسیه نوروزی کهنه قوچان (دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران)
noruziasiye1990@gmail.com
روح اله نوری (استادیار مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران)
noor@ut.ac.ir
کریستووائو ویسنته اسکاپولاتمپو فرناندس (مهندسی عمران و محیط زیست دپارتمان هیدرولیک و بهداشت دانشگاه فدرال دوپارانا، کوریتیبا، پارانا، برزیل)
cris.dhs@ufpr.br

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰
صص ۱۲۸-۱۱۱

چکیده

یکی از عوامل مهم در آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، رواناب‌های سطحی هستند. هدف از این تحقیق ایجاد یک رابطه کاربردی برای تخمین کیفیت رواناب شهری در گذر از انواع کاربری‌های اراضی مختلف شهری بوده است. این پژوهش بر مبنای روش تحقیق تلفیقی میدانی و عددی انجام شده است. سه مسیر مطالعاتی شامل زمین‌هایی با کاربری‌های مختلف شهری در شهر تهران انتخاب و مطابق با نقشه‌ها و سازه‌های زهکش شهری نقاط نمونه‌گیری تعیین شدند. پس از ۱۰ دقیقه از شروع بارش نمونه‌برداری از رواناب، در نقاط مشخص شده صورت پذیرفت و نمونه‌ها برای اندازه‌گیری مشخصات کیفیت آب از جمله کل جامدات معلق، کل جامدات حل شده، اکسیژن خواهی شیمیایی و بیوشیمیایی، نیترات و سرب به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پارامترهای اسیدیته، دما، اکسیژن محلول، هدایت هیدرولیکی ویژه نمک، توسط ابزارهای اندازه‌گیری در محل نمونه برداری تعیین شده‌اند. نتایج بیان‌گر ارتباط موثر بین کاربری اراضی

۱. این پژوهش برگرفته از پروژه مطالعاتی با عنوان" شناسایی تأثیر کاربری اراضی شهری مختلف بر میزان و انتقال آلاینده‌های شیمیایی توسط رواناب سطحی در مجاری زهکش حوزه‌ی آبریز شهری در بازه‌ی زمانی فرآیند بارش-رواناب" می‌باشد که با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری انجام گرفته است.

و متغیرهای کیفیت آب (رشد متناسب صعودی ۲۹ درصدی) بوده است. طبق نتایج این پژوهش فضای سبز اولین عامل تاثیرگذار در بالا بردن مقادیر TDS، DO، EC و شوری است بطوریکه مقادیر آنها نسبت به کاربری‌های دیگر نزدیک به دو برابر بالاتر هستند. بیش‌ترین میزان تاثیر معادل ۵۱ درصد میانگی برای متغیرهای کیفی TSS، NO_3، BOD_5، COD و Pb مربوط به درصد مساحت فضای کاربری اداری بوده و رواناب مناطق با کاربری اداری دارای بیشترین آلودگی شیمیایی (COD=307ppm) است. نتایج حاکی از آن است که فضای سبز با سهم ۳٤ درصدی از عوامل موثر بر جامدات آب و نیترات، حمل و نقل با سهم ۲۹ درصدی از عوامل موثر بر جامدات آب و سرب و متغیرهای آلی غیرقابل تجزیه توسط میگروارگانیسم‌ها و دینامیک جمعیت و کاربری اراضی بر دما و میزان اکسیژن محلول رواناب، اثرات مستقیمی دارند. این تحقیق مدیران شهری و محققان را به سمت استفاده مجدد از رواناب شهری به صورت محلی و قبل از ملحق شدن به جمع کننده‌های منطقه‌های دیگر سوق می‌دهد.

کلید واژه‌ها: اراضی شهری، پارامترهای کیفی، تغییرکاربری اراضی، رواناب شهری، کیفیت رواناب

۱. مقدمه

کاربری اراضی از مهم‌ترین ویژگی‌های حوضه آبریز است که تأثیر زیادی بر کیفیت رواناب دارد (رضوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲، ص.۲۱۳). در سراسر جهان تغییرات کاربری زمین در حال انجام است و تاکنون آثار مهمی بر ساختار و کارکرد اکوسیستم آبی داشته است (اولوسعی[1]، ۲۰۰٦، ص.٤۳). توسعه شهری نیز شکل فراگیر تغییر کاربری زمین است و پیش‌بینی می‌شود بیش از ٦۰درصد جمعیت جهان تا سال ۲۰۳۰ در مناطق شهری زندگی خواهد کرد(عینلو و همکاران، ۱۳۹۵، ص. ۳۷). در نواحی شهری به دلیل تبدیل زمین‌های آزاد به معابر، ساختمان‌های مسکونی و اداری و در نتیجه آن افزایش سطوح نفوذناپذیر، حجم زیادی از بارندگی‌ها، امکان و فرصت نفوذ در خاک را نیافته و بر روی سطوح نفوذناپذیر انباشته و به همراه خود آلودگی‌های ناشی از نوع کاربری‌های منطقه را حمل می‌نمایند (رازی و تائبی، ۱۳۸۳، ص. ۱۹؛ خراسانی و همکاران، ۱۳۸۲، ص.٤۷۹). توجه به کیفیت رواناب‌های شهری از زمانی آغاز شد که اثرات منفی آن‌ها بر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دیگر منابع پذیرنده نیز مشخص گردید (نیکس[2] ، ۱۹۹٤، ص.۲۱).

از طرف دیگر رواناب شهری اغلب به عنوان منبع اصلی آلودگی، آب‌های سطحی در مناطق شهری شناخته می‌شود (ترنجیان و معروفی، ۱۳۹٦، ص.۳۵)، و بهبود کیفیت این آبها و مصرف آن‌ها در موارد خاص می تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای در جهت تامین آب داشته باشد (فروغی و همکاران، ۱۳۹۱، ص.۱۸).

مطالعات مختلفی در ایران و جهان در ارتباط با تاثیر تغییر کاربری بر کیفیت رواناب و امکان استفاده مجدد از آنها صورت گرفته است، حیدری و همکاران در سال ۱۳۹۰ تاثیر کاربری اراضی بالادست را برروی عملکرد تالاب‌های

1. Oluseyi
2. Nix

هیگاشی هیروشیمای ژاپن بررسی و نشان دادند، مناطقی که دارای بیشترین اراضی مسکونی هستند کمترین عملکرد در کاهش نیتروژن را داشته و تالاب تحت بیشترین تغییرات کمی و کیفی از تغییرات فصلی می باشد. این در حالی است که نتایج پژوهش سلاجقه و همکاران (۱۳۹۱) نیز نشان داد تغییرات کاربری اراضی در حوضه رودخانه کرخه که به سمت کاهش اراضی مرتعی و جنگلی و افزایش اراضی مسکونی و بایر پیش رفته است، سبب کاهش شدید کیفیت آب رودخانه کرخه شده است.

حامدی و مبرقعی دینان (۱۳۹۱) در پژوهشی به معرفی پروژه‌های برداشت رواناب به منظور استفاده مجدد از آنها، فواید و محدودیت‌های این پروژه پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این مطلب بود که با توجه به تولید حجم بالای رواناب‌های شهری از یک طرف و بحران کم‌آبی پیش‌رو از طرف دیگر، می‌توان با مدیریت صحیح و استفاده بهینه از امکانات و توانمندی‌های موجود، سهم چشمگیری از منابع تأمین آب موردنیاز فعالیت‌های شهری را از رواناب حاصل از بارندگی‌ها تأمین کرد. فروغی و همکاران (۱۳۹۱) برای بهبود کیفیت رواناب‌های شهری از ستون نانو ذرات اکسید آهن به همراه میدان مغناطیسی جهت حذف فلزات سنگین از رواناب استفاده کردند، این ستون در حذف کدورت راندمان قابل ملاحظه‌ای از خود نشان نداد و در حذف نیترات نیز بی‌تأثیر بود. بوژآبادی و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقی با هدف مقایسه آلودگی رواناب به فلزات سنگین در ورودی، خروجی و داخل شهر نیشابور و همچنین مقایسه این فلزات با استانداردهای موجود به این نتایج دست یافتند که مقدار فلزات سنگین کروم، نیکل، استرانسیوم و سرب پایین‌تر از حد استاندارد بوده که این خود بیانگر امکان استفاده مجدد از رواناب شهری خواهد بود. عبدالله شمشیرساز و نظریها (۱۳۹۳) نیز در تهران پژوهش مشابه‌ای انجام داده و بیان کردند جهت بهبود کیفیت رواناب نیاز به بهره‌گیری از عملیات پیش‌تصفیه و راه‌اندازی شبکه فاضلاب است.

یزدانبخش و همکاران (۱۳۹٤) کیفیت رواناب سطحی کانال فیروزآباد شهر تهران را برای مصارف آبیاری بررسی کرده و مشخص کردند گرچه بعضی از پارامترهای اندازه‌گیری شده در رواناب با استانداردها مطابقت دارد، ولی نتایج تحقیق نشان داد که در مورد برخی از پارامترها نیاز به تصفیه و بخصوص گندزدائی وجود دارد، و در صورت استفاده، پایش مداوم این رواناب‌ها از نظر رعایت استانداردها برای آبیاری ضروری است.

در این راستا، پیرنیا و همکاران (۱۳۹٦) عوامل اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی را علت اصلی افزایش سری‌های زمانی مانند کل مواد محلول، هدایت الکتریکی، سدیم، کلرید، نسبت جذب سدیم و غیره در آب رودخانه هراز دانسته‌اند. اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۸) نیز در طی پژوهشی نشان دادند، در پی افزایش وسعت کاربری‌های شهری و کشاورزی در منطقه مطالعاتی زرند شاهد افزایش آلودگی در منابع آبی منطقه بوده‌اند. عالی پور و امینی (۱٤۰۰) ترکیب کاربری سرزمین بر کیفیت آب رودخانه‌ها را بررسی کردند، نتایج نشان داد که کاربری‌های کشاورزی، شهری و دیم بیشترین تاثیر را درکیفیت آب رودخانه‌ها داشته اند.

سان[1] و کالدول (۲۰۱۰) اثرات توسعه شهری بر کیفیت و کمیت آب رودخانه‌ها در ایالات متحده آمریکا بررسی کردند، طبق نتایج آنها کاهش نفوذپذیری و پوشش گیاهی در مناطق شهری باعث افزایش میزان رواناب شهری و همچنین افزایش آلاینده‌های آن می‌گردد. در تحقیق مشابه دیگری ووآی[2] و همکاران(۲۰۱۳) نیز غلظت مواد غذایی دریاچه‌های ویکتوریا را منعکس کننده فعالیت‌های کاربری اراضی دانسته و نشان دادند در مناطق شهری و حواشی آن غلظت بالای نیترات و در مناطق روستایی غلظت بالای انواع فسفر و کاهش گونه‌های نیتروژن نتیجه اثر کاربری اراضی در منابع پذیرنده می‌باشد.

چارترز[3] و همکاران (۲۰۱۷) رواناب چهار سطح مختلف را در یک کاربری مسکونی-اداری جمع‌آوری و با مجموعه‌ای از مطالعات بین المللی مقایسه کردند. طبق نتایج پژوهش آنان غلظت آلاینده‌ها به طور قابل توجهی در بین سطوح مختلف متفاوت است بنابراین غلظت آلاینده‌های رواناب شهری علاوه بر کاربری زمین باید با سطوح شهری مختلف مانند پشت‌بام‌ها جاده نیز دسته‌بندی و ادغام نمود. این درحالی است که وانگ[4] و همکاران(۲۰۱۸) کیفیت رواناب سطحی را با مقیاس‌های طبیعی(بارندگی، دما، فرسایش خاک) و مقیاس‌های انسانی(نوع کاربری، تراکم جمعی و سرانه تولید ناخالص داخلی) سنجیدند نتایج تحقیق آنها نشان داد سه عامل اصلی تاثیرگذار بر آلاینده‌های رواناب، تراکم جمعیت، کاربری زمین و بارندگی بوده است. یانگ و تور[5] (۲۰۱۸) آلاینده‌های رواناب سطحی یک حوضه آبریز مسکونی در فلوریدا را مورد سنجش قرار داده و دریافتند که استراتژی‌های مدیریتی با تمرکز بر محدود کردن انتقال فسفر و نیتروژن موثرتر از تمرکز بر انتقال فسفر یا نیتروژن می‌باشد. مولر[6] و همکاران (۲۰۲۰) منابع چنین آلودگی‌هایی را در ۵۰سال اخیر مورد مطالعه قرار دادند برخلاف نظر یانگ و تور رسوب اتمسفر، فعالیت‌های مرتبط با حمل‌ونقل خودرو و پوشش‌های ساختمان‌های فلزی همچنان از جمله منابع اصلی آلودگی هستند که با جزئیات بسیار بیشتری نسبت به سایر منابع مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر بررسی رابطه بین کیفیت آب و خصوصیات کاربری اراضی در ۱۲ منطقه شهر انتاریو کانادا نشان داد، خصوصیات کاربری اراضی بر روی کیفیت آب تاثیر زیادی داشته و کاربری شهری بیشترین تاثیر را دارد (اسکندری دامنه و همکاران، ۲۰۱۹).

سیاحی و همکاران (۲۰۲۰) با هدف ایجاد رابطه‌ای جدید برای برآورد کیفیت رواناب شهری از طریق کاربری اراضی مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد شاخص‌های جمعیت، نوع کاربری، عوامل هواشناسی،

1. Sun
2. Vuai
3. Charters
4. Wang
5. Yang & Toor
6. Müller

پارامترهای فیزیوگرافی محلی، الگوهای شهری و غیره می‌تواند بصورت مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت رواناب شهری تاثیر داشته باشد.

چارترز[1] و همکاران (۲۰۲۱) رواناب تصفیه نشده از نه سقف، چهار پارکینگ و شش جاده را جمع آوری و آلاینده‌های اصلی شهری در هر کدام را مورد بررسی قرار دادند تا تفاوت‌های کیفیت آب به دلیل نوع سطح، شرایط و مکان را تعیین کنند که این یافته‌ها راهنمایی ارزشمندی در جهت شناسایی سطوح الویت‌دار و انتخاب استراتژی‌های تصفیه را فراهم می‌کند. در گذشته نیز اثرات شهرسازی بر غلظت آلاینده‌های رواناب در شهر لاهتی فنلاند بررسی و نتایج نشان داد با افزایش سطوح غیرقابل نفوذ شهری افزایش قابل توجهی نیز در مقادیر کل جامدات معلق، نیتروژن کل، منگنز، کبالت نیکل و مس موجود در رواناب شهری ایجاد می‌شود(والتانن[2] و همکاران، ۲۰۱٤، ص. ۱۵). سایر تحقیقاتی که روی تاثیرات کاربری اراضی در زمان بارش بر کیفیت رواناب متمرکز شده است بر تاثیر منفی کاربری اراضی شهری بر کیفیت آب سطحی و تاثیر تعدیلی بارش بر روی کیفیت آب سطحی تاکید کرده‌اند(رجیر[3] و همکاران،۲۰۲۰). المسلم و همکاران(۲۰۲۲) بار آلاینده‌های رواناب را با استفاده از هشت طبقه‌بندی کاربری زمین برای منطقه ساسکاتون کانادا بررسی کردند و نشان دادند که ارزیابی و نظارت بر خروجی رواناب برای تعیین اثرات آلاینده‌ها بر روی محیط زیست و اجرای بعدی فن‌آوری‌های تصفیه مورد نیاز است. در نتیجه، براساس پژوهش‌های صورت گرفته در مناطق مختلف جهان، کاربری اراضی یکی از پارامترهای بسیار مهم و تعیین کننده در کیفیت آب بوده و کمی سازی پارامترهای آلاینده رواناب امری ضروری به نظر می‌رسد.

از طرف دیگر شناسایی عوامل مؤثر بر کیفیت رواناب و اولویت‌بندی آن‌ها و تعیین سهم هریک از آنها، می‌تواند با کوچکترین تغییر در کاربری اراضی شهری، ارتقاء کیفی رواناب را به همراه داشته که می‌تواند هزینه تأمین آب را کاهش داده و در نهایت مدیریت شهری پایدار به همراه مدیریت یکپارچه منابع سطحی را به ارمغان آورد.

این تحقیق در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در داخل کشور تاکید برکاربری اراضی شهری و تقسیم‌بندیهای آن دارد. در حالی که در پژوهش‌های پیشین، کاربری اراضی شهری، در مقابل یکی از کاربری‌های کشاورزی، صنعتی، منابع طبیعی، دریاچه در نظر گرفته شده است. حال اینکه این پژوهش تاکید بر کاربری اراضی شهری شامل اداری، تجاری، مسکونی، فضای سبز، معابر و غیره داشته و شناسایی سهم و میزان اثر هریک از آنها بر کیفیت رواناب شهری از اهداف مهم آن است. از دیگر نوآوری‌های این پژوهش انجام آن در رخدادهای بارندگی است که همزمان می‌تواند اثر آنی کاربری‌ها و استفاده محلی رواناب را نیز تشخیص داده و در برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و مدیریت بازیافت و استفاده مجدد رواناب به صورت محلی و بدون هزینه و انرژی‌های ناشی از انتقال، تصفیه و بازتوزیع مجدد بسیار مفید باشد.

1. Charters
2. Valtanen
3. Regier

این پژوهش در قالب یک برنامه تحقیقاتی مدون و مدرن در سه فاز مطالعاتی، میدانی و آزمایشگاهی در کلانشهر تهران به انجام رسید، در انتها با تحلیل‌های شفاف و مستقیم توصیفی و کاربردی به نتایج عملی دست یافت.

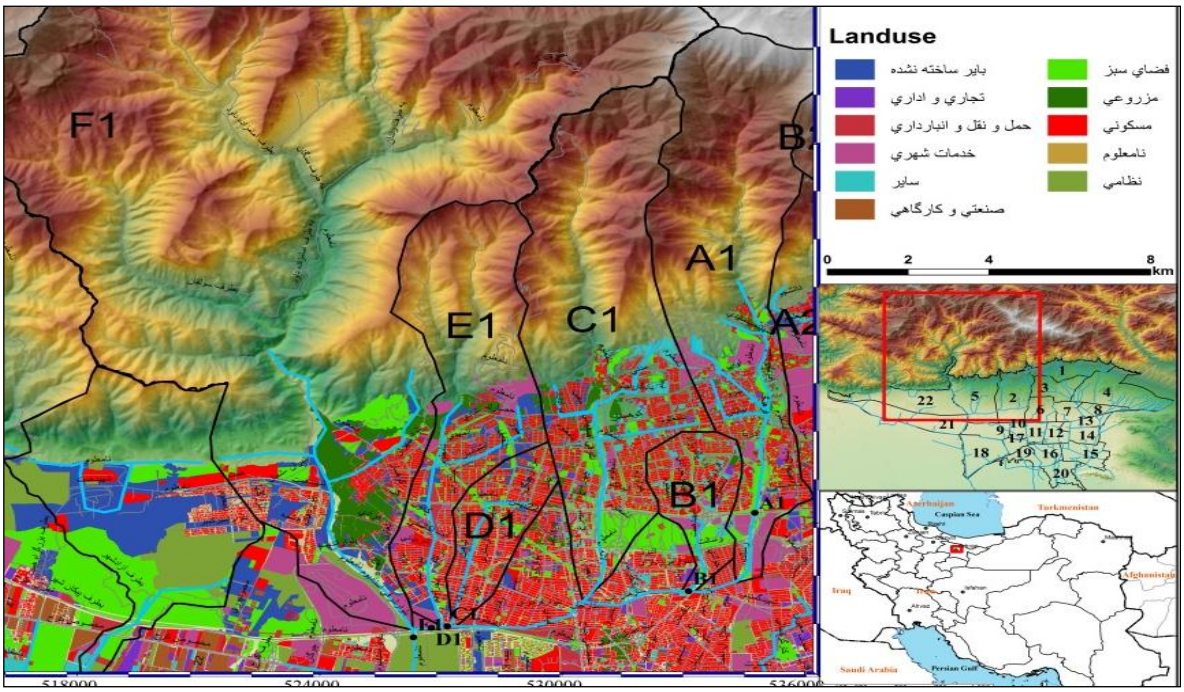
۲. روش‌شناسی

این پژوهش بر مبنای روش تحقیق تلفیقی میدانی و عددی انجام شده است، و لذا بنیان اصلی آن بر صحت اندازه‌گیری‌ها و سنجش‌های میدانی و آزمایشگاهی استوار است. بدین منظور سه مسیر مطالعاتی شامل زمین‌هایی با کاربری‌های مختلف شهری در شهر تهران انتخاب شدند. نقشه‌ها و سازه‌های زهکش شهری مورد مطالعه قرار گرفته و سپس نقاط نمونه‌گیری طوری انتخاب شدند که هریک از نقاط معرف زیرحوضه بالادست خود باشد. نمونه‌برداری و اندازه گیری از هر ایستگاه در سه نوبت و در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین که پربارش‌ترین ماه‌های سال هستند انجام شد. به طوری که در مواقع بارندگی در محل نمونه‌برداری مستقر شده و بصورت همزمان ۱۰دقیقه پس از شروع رخداد بارندگی نمونه‌برداری انجام گرفت. از دستگاه تست کیفیت آب[1] برای به دست آوردن متغیرهای pH[2]، دما، هدایت هیدرولیکی ویژه، DO[3] در محل نمونه‌گیری استفاده شده است. سپس مشخصات دقیق زمان و تاریخ نمونه برداری و ویژگی ها و شرایط محیطی همراه سنجش‌های درجا در برچسب های طراحی شده برای عملیات میدانی بدقت درج و روی بطری‌های نمونه‌ها نصب شده و جهت اندازه گیری پارامترهای کیفی TDS[4]، TSS[5]، COD، BOD_5[6]، نیترات و سرب به آزمایشگاه شرکت آبفای استان تهران انتقال داده شد. جهت اندازه گیری متغیرهای فیزیکی رواناب در کنار بررسی آمار بارش‌های شهر تهران که از سازمان هواشناسی استان خریداری شد، سنجش محلی میزان بارش، توسط سینی بارش در محل و دریافت اعداد شدت و میزان بارش متوسط شهر تهران به تخمین حدودی دوره بازگشت بارش و رواناب کمک کرده است. عمق آب، عرض کف کانال، عرض سطح آب و شیب طولی برای سنجش دبی، و روش لایه سنجی سطحی و تبدیل به سرعت متوسط با ضریب ۰/۸۵ جهت اندازه‌گیری سرعت جریان آب استفاده شده است که منجر به محاسبه دبی و حجم انتقال رواناب شد. در این پژوهش برای کنترل تطبیقی و تعیین ارتباط مؤثر بین هر یک از متغیرها علاوه بر استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده، از آمار و اطلاعات تولید شده، شاخص کیفیت آب و بررسی تطبیقی بین چند منطقه و چند شاخص با رسم نمودار استفاده شده است.

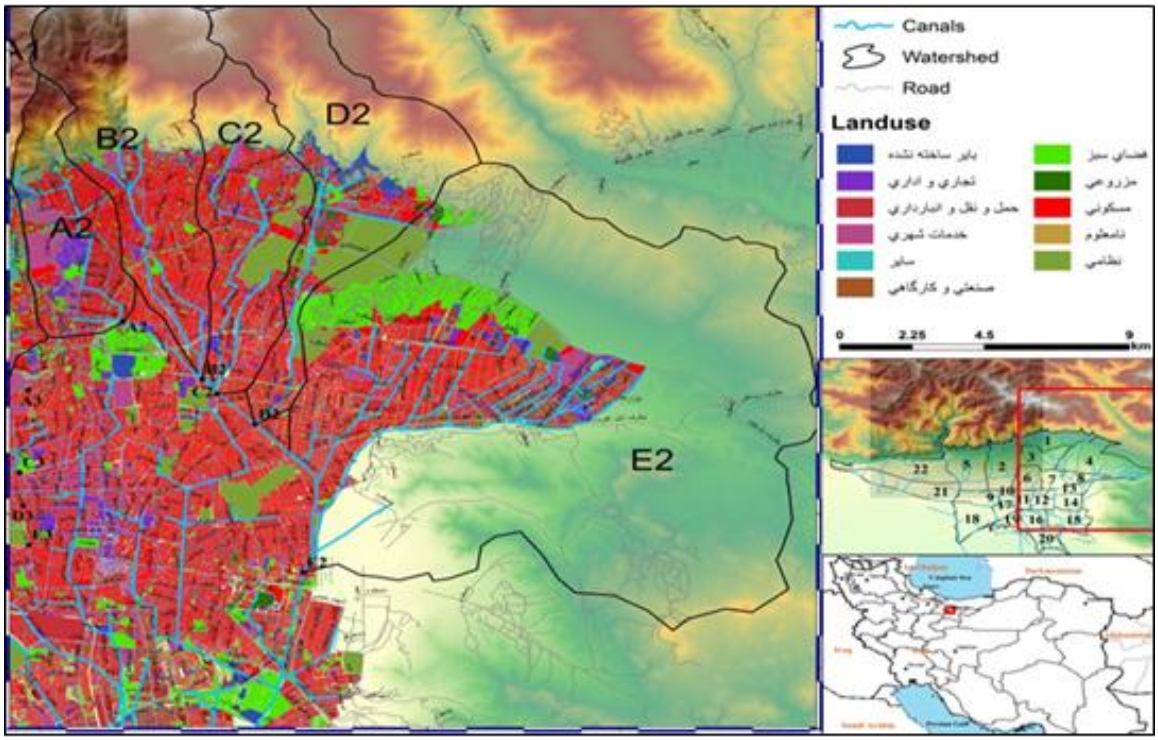
1. Combo Water Tester
2. Potential of Hydrogen Ion
3. Dissolved Oxygen
4. Total Dissolved Solid
5. Total suspended solids
6. Biological oxygen demand

۱،۲. محدوده مطالعاتی پژوهش

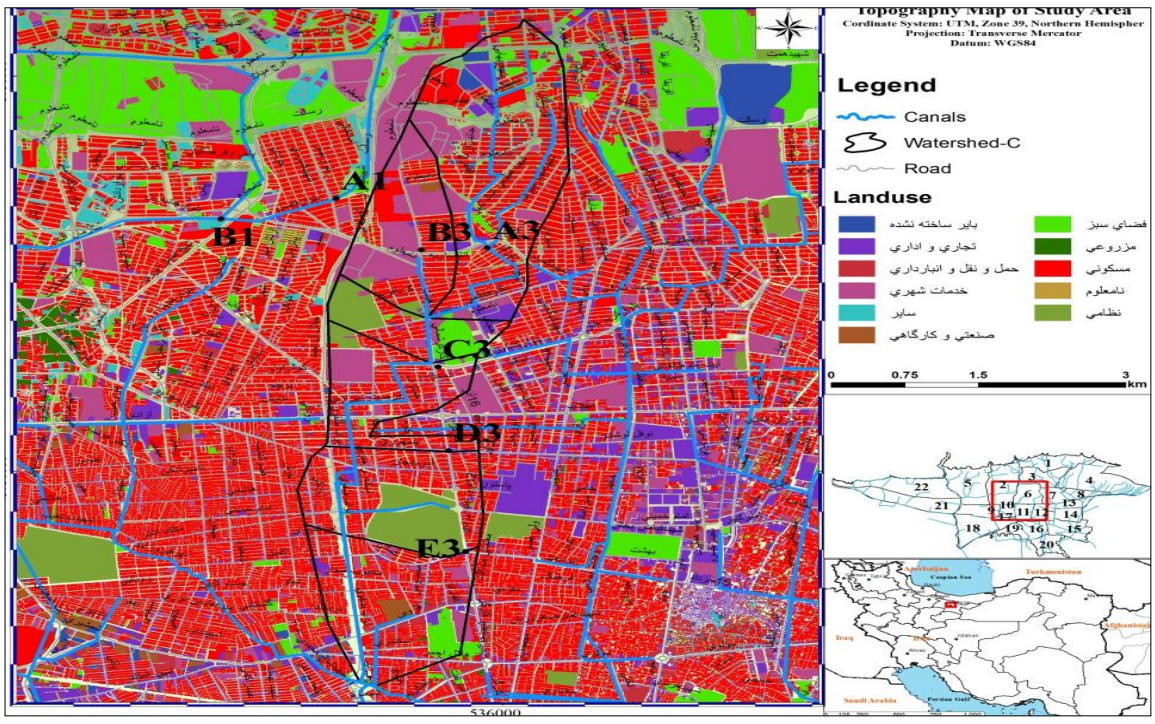
پس از بررسی‌های مختلف در حوضه شهر تهران از دیدگاه هیدرولوژیکی، جمعیت، توپوگرافیکی و کاربری اراضی و مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، سه زیرحوضه انتخاب شد که با مرز مناطق تحت مدیریت شهرداری تداخل داشته و تطبیق سطحی نیز نداشته اند. زیرحوضه شماره یک در شمال غرب، زیر حوضه شماره دو در شمال شرق و شرق تهران و نیز زیر حوضه شماره سه در مرکز تهران، بعنوان منطقه مورد مطالعه تعیین شدند. در انتخاب زیرحوضه‌ها، معیار اتصال یکپارچه مسیرهای انتخابی و تحت پوشش قرار دادن کاربری‌های مختلف اراضی و نیز تجربه گذر رواناب از کاربری‌های اصلی شهری رعایت شده است. تغییر ارتفاع در طول مسیر و سهولت دسترسی جهت انجام عملیات نمونه برداری نیز در انتخاب زیرحوضه‌ها مورد توجه بوده است. سپس هر یک از زیرحوضه‌ها نیز براساس جهت حرکت رواناب و توپوگرافی در قالب پنج زیرحوضه کوچکتر تجمعی(A,B,C,DوE) و به صورت هیدرولوژیکی تقسیم گردید.



شکل ۱. زیرحوضه شماره یک نمونه برداری و پژوهش؛ مأخذ توپوگرافی پایه: (نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۴۰۰)



شکل ۲. زیرحوضه شماره دو نمونه برداری و پژوهش؛ مأخذ توپوگرافی پایه: (نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۴۰۰)



شکل ۳. زیرحوضه شماره سه نمونه برداری و پژوهش؛ مأخذ توپوگرافی پایه : (نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۴۰۰)

۲,۲. مطالعات امکان‌سنجی پژوهش

در تحقیق حاضر ارتباط کاربری‌های مختلف با کیفیت رواناب در سطح منطقه شش شهر تهران بعنوان مرحله اول تحقیق جهت ارزیابی و امکان سنجی پژوهش، بررسی شده است. طبق نتایج تحقیق سیاحی و همکاران (۲۰۲۱) نسبت‌های کاربری اراضی منطقه شش شهر تهران، می‌تواند تا حدودی معرف زیرحوضه رواناب شهری تهران باشد. سه دسته‌بندی کلی کاربری مسکونی، کاربری اداری، کاربری فضای سبز برای تحقیق حاضر درنظر گرفته شد. شاخص‌های شهری بافت، درصد هم راستا بودن شیب خیابان‌ها با شیب غالب حوضه، کاربری منطقه (اداری، مسکونی، فضای سبز)، درصد کانیووها با پوشش گیاهی، تراکم جمعیت، سرانه فضای سبز، تغییر تراز ارتفاع، نسبت سرپوشیده بودن کانال‌ها، متوسط عرض خیابان‌ها، درصد فضاهای اشغال شده توسط پشت‌بام‌ها و حیاط منازل و ترافیک مورد بررسی قرار گرفته (بحرینی، ۱۳۹٤) و میزان شاخص های شهرسازی نیز بر اساس نوع کاربری اراضی در منطقه شش شهرداری تهران و با مقایسه تطبیقی نقشه‌های شهرداری با نقشه‌های کاربری اراضی مقیاس ۲۰۰۰، بدست آمده است. با توجه به نسبت شاخص ها و با غلبه نوع خاصی از کاربری سه نقطه برای نمونه‌برداری انتخاب و از هر نقطه سه نمونه برای سنجش متغیرهای کیفی مختلف و نمونه کنترل برداشت شد. این نوبت یک نوبت نمونه‌برداری آزمایشی بوده است که میزان باران آن ثبت نشده است و تنها به عنوان بررسی امکان تاثیر در شرایط باران ده دقیقه پس از شروع باران انجام شد.

جدول ۱. نسبت انواع کاربری اراضی در هر شاخص کاربری در منطقه شش شهر تهران

شاخص	واحد	کاربری مسکونی	کاربری فضای سبز	کاربری اداری
نسبت مساحت فضای مسکونی به مساحت کاربری	درصد	۸۱	۰	۲۵
نسبت مساحت فضای سبز به مساحت کاربری	درصد	۱٦	۸۲	۸
نسبت مساحت فضای اداری به مساحت کاربری	درصد	۳	۱۸	٦۷
جمع کل	درصد	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

مأخذ: (نقشه های شهرداری تهران، ۱۳۹۹)

۳,۲. صحت سنجی برداشت نمونه های آزمایشگاهی پژوهش

به منظور اطمینان حاصل کردن از اینکه در روش مطالعاتی از نظر کیفی خللی وارد نشده است، تمامی روش‌های QA[1]/ QC[2] مورد کنترل و ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور در طی عملیات نمونه برداری از تمامی ایستگاه‌ها دو نمونه برداشت[3] گردید. تاثیر زمانی در برداشت نمونه ها و در شرایط اقلیمی یکسان برای نمونه‌برداری در تمام

1. Quality Assurance
2. Quality Control
3. Double Sampling

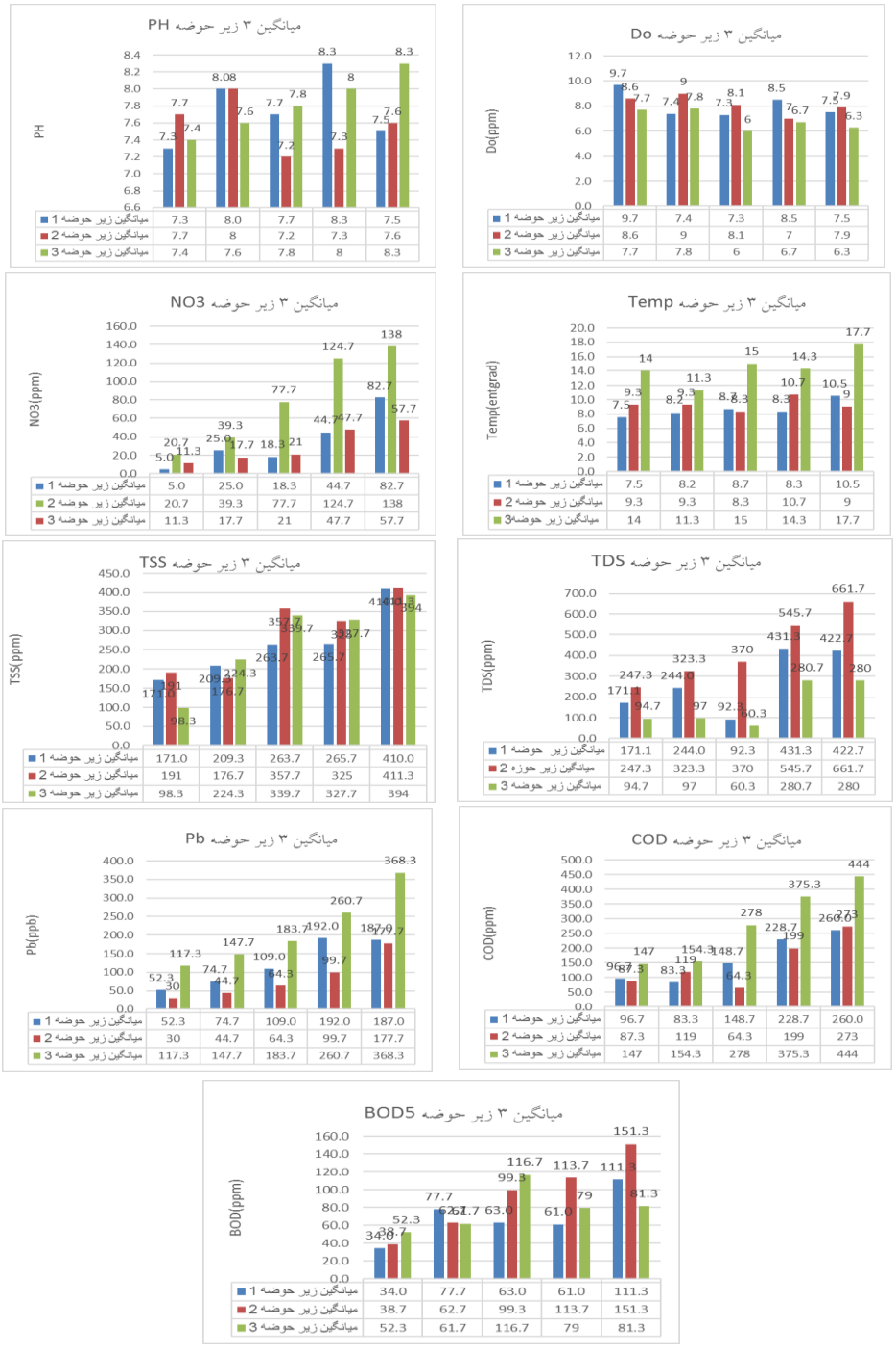
ایستگاه‌ها بسیار موثر بوده است. به عنوان مثال عدم حضور نور خورشید در زمان برداشت نمونه ها در تمام ایستگاه‌ها و عدم حضور چشم‌گیر تغییرات میزان جریان باد در هر ایستگاه در نقاط برداشت و مسیر حرکت جریان مورد توجه بوده است که خود یکنواختی نتایج و عدم تاثیرپذیری از شرایط اقلیمی را به ارمغان می‌آورد. برای کاهش تاثیر عملیات برداشت در مقطع عرضی، از نمونه برداری ترکیبی و برای کاهش خطای انسانی برداشت از نمونه برداری دوگانه استفاده شده است. عوامل متداخل نیز مانند تاثیر اکسیژن محلول و دما، Ph و رسوبات معلق در محل و آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه ها در دو یخدان جداگانه به آزمایشگاه منتقل گردیدند، و از نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه، نمونه‌های دو ایستگاه مجددا مورد سنجش قرار گرفتند. از طرف دیگرکیفیت داده‌ها با پردازش توزیع نرمال برای اطمینان از تصادفی بودن داده‌ها نیز انجام گردید و برای کنترل کیفی فنی نیز دانه بندی برای ایستگاه‌های مورد سنجش انجام شد. همچنین شرایط یکسان زهکش‌های مورد بررسی، فرآیند عملیات میدانی را با کمترین خطا مواجه نمود.

۳. یافته‌ها

۱،۳. تحلیل اولیه تغییرات مکانی

در واقع این تحلیل، تحلیلی مکانی مبتنی بر تغییرات تجمعی رواناب و کیفیت آن در کنار متوسط زمانی سه نوبت در سه ماه متوالی است. برداشت نمونه‌ها از نقاط خروجی زیرحوضه‌ها انجام شد تا بتواند معرف زیرحوضه کوچکتر و در واقع معرف تاثیرگذاری کاربری‌های اراضی شهری و یا تاثیرپذیری رواناب شهری از اکوسیستم شهری باشد. از زمانی که جریان رواناب بارش به نقطه خروجی زیرحوضه رسید و مسیر اصلی را طی نمود، نمونه برداری شروع شد. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، مقدار میانگین هریک از پارامترها و متغیرهای کیفی رواناب مورد سنجش، در سه نوبت برای هر سه زیرحوضه محاسبه گردید. نمونه برداری در پر بارش‌ترین ماه‌های سال یعنی بهمن و اسفند و فروردین انجام شده است. نمونه‌برداری ماه فروردین تا حدودی از روال عادی خارج شده و دلیل آن محدودیت‌های ترددی دوران پاندمی کرونا (COVID19) است. با این وجود این پژوهش با محوریت اصلی و هدف احصاء اثر کاربری اراضی ثابت شهری شکل گرفته است و از آنجایی که این پژوهش در بخش هم زمانی بارش و برداشت نو بوده لذا نتایج آن قابل تکیه برای نیل به اهداف خواهد بود. تغییرات مکانی تجمعی کیفیت در چند حالت قابل انتظار است. حالت اول شرایط تجمع برخی متغیرها که در طول مسیر انتقال قابل هضم یا تجزیه نیستند. حالت دوم روند کاهشی برای برخی متغیرها با توجه به فرآیند جریان سطحی و هوادهی و قابلیت تجزیه و اکسیداسیون و حتی قابلیت رقیق شدن و کاهش مقدار آنها در حجم واحد و در نهایت حالت سوم تغییرات ناشی از وجود کاربریهای خاص که در زیرحوضه‌های مختلف ظاهر یا حذف می‌شوند. از آنجایکه هر یک از زیرحوضه‌ها بر اساس حداکثر درصد سطح کاربری اراضی طبقه‌بندی شده اند، لذا حالت سوم از نظر قوت فرضیه کمرنگ تر از حالت‌های اول و

دوم می باشد. با این وجود می‌تواند تخمین هایی را در نظر گرفت که با بررسی سه نوبت برداشت تـا حـدود نزدیـک به یک فرضیه قابل بررسی باشند.



شکل ٤. نمودار تغییرات مکانی تجمعی پارامترهای کیفی در سه زیرحوضه مورد مطالعه

۲،۳. بررسی نتایج مشخصه‌های کیفی آب

۱،۲،۳. زیرحوضه شماره یک

طبق نتایج آزمایشگاهی میزان TDS در زیرحوضه یک از نوبت اول تا نوبت سوم تغییرات کاهشی داشته، که می‌تواند متاثر از کاهش حضور و فعالیت جمعیت شهری و کاربری اراضی شهری در بهار با توجه به شیوع ویروس کرونا باشد. روند تغییرات این پارامتر در ایستگاه‌های مختلف و همچنین تغییرات از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر متأثر از مشخصات مختص هریک از زیرحوضه‌ها بوده است. رواناب‌های زمستانی نیز بیشترین مقادیر TDSرا به خود اختصاص داده‌اند که با توجه به تعداد بارشها و استفاده از نمک و شن برای کنترل سطوح معابر در زمان بارش برف، قابل انتظار است. افزایش حجم جریان و دبی در دو نوبت اول، متناسب با سرعت تغییر عمق آب و میزان بارش، قابلیت و توان حمل و انتقال جامدات معلق را بالا برده که بوضوح باعث افزایش مقادیرTSS شده است. در مورد TSS نیز می‌توان افزود وضعیت کیفیت در فصل بهار بدلیل شرایط اجتماعی و بهداشت شهری افزایش یافته است. میانگین PH در حوضه شماره یک بین مقدار۷/۳–۸/۳ بوده است. ثابت بودن pH در ناحیه خنثی تا حدودی نشان از عدم ورود پساب صنایع پراکنده مراکز تجاری کوچک درون شهری دارد، که قابل انتظار است. در این حوضه BODروند صعودی داشته است. روند کلی افزایشی مواد آلی در سه نوبت میتواند نشانه تغییرات کمینه در مقدار اکسیژن در طول مسیر یا مقدار اکسیژن غیر کافی برای تجزیه ترکیبات آلی در فرآیند هوادهی رواناب در مجاری زهکش باشد. با توجه به سطح بیشینه و کاربری اراضی تحت پوشش زیرحوضه دوم، در ایستگاه دوم افزایشی بیش از سایر ایستگاه‌ها ثبت شد. از طرف دیگر نتایج آزمایش DO نیز تغییرات محدود و روند کاهش اکسیژن محلول در مجاری زهکش را در این زیرحوضه تایید می‌کند. بر خلاف BOD در ایستگاه دوم که معرف زیرحوضه دوم است، COD در این ایستگاه افزایش داشته است. افزایش سطح کاربری های اداری–تجاری مانند مجتمع‌های بزرگ فروشگاهی در زیرحوضه دوم به بعد از عواملی است که در نمودارهای تطبیقی کاربری اراضی نیز مورد توجه قرار گرفته است. این نقاط بعنوان کانون جذب جمعیت مهاجر ساعتی شهری و بالطبع افزایش تردد و حمل و نقل و احتمال افزایش ترکیبات شیمیایی را در پی دارد. نیترات در سه ایستگاه آخر این حوضه روند افزایشی داشته که نشان از ویژگی‌های تمرکز جمعیت بیشتر در زیرحوضه‌های سه ایستگاه مذکور را دارد. حال آنکه فضای سبز آنقدر افزایش نیافته که بتوان میزان افزایش نیترات را به آن مرتبط دانست. برای مقادیر سرب در حوضه یک باتوجه به تأثیر ویژگی‌های جمعیتی و کاربری اراضی در ایستگاه شماره یک کمترین و ایستگاه پنج بیشترین مقادیر سرب ثبت شده است. مقادیر نوبت اول نیز با توجه به کاهش تردد و محدودیت‌های ناشی از شیوه‌نامه‌های بهداشتی پاندمی که منجر به کاهش حضور جمعیت و کاهش تردد در سطح شهر شده است بیشتر از میانگین و مقادیر نوبت دوم و سوم تقریبا نزدیک به مقادیر میانگین بوده‌اند. با توجه به اینکه سرب از کمترین پتانسیل اکسیداسیون در شرایط عادی رواناب بهره‌مند است لذا بررسی غلظت تجمعی و نگرانی از افزایش آن در پایانه‌های رواناب شهری تهران و کاربردهای آن در کشاورزی، بسیار مهم ارزیابی می گردد.

۲،۲،۳. زیرحوضه شماره دو

افزایش و تجمع املاح بدون حذف یا واکنش نشان از حضور املاح غالب نسبی معدنی در رواناب در این زیرحوضه را دارد. افزایش در جامدات معلق نیز با توجه به وضعیت کاهش سرعت و ابعاد مجاری و در نتیجه کاهش دبی در ایستگاه دو، کاهش فیزیکی و ته نشینی اولیه را در تبدیل‌های بین مجاری و معابر مختلف در برداشته است. بطور کلی ثابت بودن pH در زیرحوضه مذکور و داشتن مقدار حداکثری در ناحیه قلیایی می‌تواند از منشا ورود غیر مجاز ترکیبات شوینده و دترجنت‌ها در ایستگاه‌های مختلف بعنوان یک فرضیه پرده‌برداری نماید، چرا که نواحی با کاربری مسکونی در محدوده‌های سه ایستگاه اول این زیرحوضه بیشتر است. افزایش یکنواخت BOD و COD و مقدار کم آن تایید کننده حضور کم ترکیبات آلی قابل تجزیه بیولوژیکی و البته پتانسیل کم میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده با توجه به سرعت جریان در اکوسیستم‌های جاری است. در این زیرحوضه نیتروژن متأثر از کاربری‌های اراضی و تمرکز جمعیتی در بازه دوم نتایج آزمایشگاهی در حال افزایش است، که این امر تایید کننده اکسیداسیون و نیتریفیکاسیون و مصرف اکسیژن و کاهش آن در ایستگاه‌های پایین‌دست است. در این زیر حوضه مقادیر سرب در نوبت سوم کمتر از میانگین و مقادیر نوبت اول و دوم نزدیک به مقادیر میانگین می باشد. مجددا میتوان گفت افزایش مقدار سرب با توجه به عدم امکان تجزیه یا حذف در طول مسیر نگرانی کیفیت رواناب مورد استفاده در پایانه‌های کلان‌شهر تهران را در پی دارد. طبق نتایج مقادیر **DO** نیز در این حوضه روند افزایشی داشته که، مقدار بالای اکسیژن محلول در ایستگاه‌های اول در نوبت دوم علاوه بر دمای نسبی کم محیط، به شرایط کاربری مسکونی محدوده و عدم ورود تجمعی آلاینده‌ها نیز مرتبط می باشد.

۳،۲،۳. زیرحوضه شماره سه

طبق نتایج آزمایشگاهی در این حوضه به دلیل افزایش دبی و رقیق شدن رواناب کمترین مقدار TDS در ایستگاه سه ثبت شده است. افزایش TSS نیز نشان‌دهنده عدم کاهش سرعت جهت ته نشینی است و آن هم به دلیل محدودیت فضا در مرکز شهر در خصوص توسعه مجاری می‌باشد. لذا با توجه به هندسه محدود کننده ابعاد، سرعت گذر جریان بالا بوده و با آرامش و کاهش سرعت برای افزایش قابلیت ته‌نشینی همراه نیست. این مسئله مشکلات ادامه مسیر زهکش‌ها و بخصوص پایین دست آن را حاد نموده و نیاز مبرم به لایروبی منظم پایین دست برای پایداری در توان گذردهی جریان رواناب بارش‌های شدید و جلوگیری از آبگرفتی معابر را نشان می دهد. در ایستگاه سوم واقع در مرکز شهر، افزایش ناگهانی BOD در واقع ناشی از افزایش ناگهانی میزان ترکیبات آلی در زیرحوضه خیابان کارگر، حد فاصل بزرگراه شهید گمنام و میدان انقلاب با توجه به شیب بالا، وجود پارک لاله و فضای سبز شهری و تراکم جمعیت است. روند صعودی و تجمعی COD که در این زیرحوضه با روند شدید صعودی نیترات، با توجه به فضای سبز شهری و میزان سرب همراه است، نگرانی تجمع ترکیبات شیمیایی سخت تجزیه‌پذیر را در پایین دست در پی دارد. افزایش ناگهانی نیترات از ایستگاه سه به بعد با توجه به کود دادن در اسفند و بهار فضای سبز شهری، می تواند قابل تطبیق باشد. همچنین در این زیر حوضه کاهش دمای محیط معمولا با افزایش ظرفیت اکسیژن

محلول رواناب متناظر بوده است. از طرف دیگر میزان تغییرات اکسیژن محلول در این حوضه تقریبا ثابت و با شیب ملایم کاهشی را می توان با روند تجمعی ترکیبات آلی مرتبط دانست.

٤. بحث

بررسی‌ها در ایران و جهان نشان می‌دهد که دخالت‌های انسانی در بیشتر کاربری‌های مختلف اراضی منجر به ایجاد تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در منابع آب پذیرنده همجوار می‌شود، این تغییرات عموما منفی است (هی[1] و همکاران، ۲۰۰۸، ص.۷٤۹). میرزایی و همکاران (۱۳۹۵) ارتباط بین پارامترهای کیفی آب و تغییر کاربری اراضی را در حوضه آبخیز زاینده‌رود بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها حاکی از کاهش کیفیت آب رودخانه به دنبال تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز و همچنین کاهش اراضی مرتعی و افزایش اراضی بایر است. با توجه به بررسی‌های انجام شده در پژوهش‌ها و مطالعات پیشین، بنظر می‌رسد پژوهش های جاری با تاکید بر کاربری اراضی شهری در مقابل کاربری اراضی کشاورزی، صنعتی و منابع طبیعی در حوزه اثرگذاری بر کیفیت منابع آب بررسی شده‌اند. بر اساس منابع در دسترس تفکیک کاربری اراضی شهری و تاثیر آن بر کیفیت منابع آب با دقت و روش کنونی مورد بررسی و واکاوی قرار نگرفته است. لیکن بررسی همزمان بارش و تاثیر آن بر کیفیت رواناب نیز در زیرحوزه های غیرشهری با دقت بالایی بررسی شده است. به طور کلی مدلی که از لحاظ مفهومی بتواند فرآیند مهندسی این مطالعه را ارائه دهد، در جایگاه این پژوهش در بین سایر پژوهش‌های هم سطح خود قابل مشاهده است. مبنای اصلی این پژوهش داده‌ها و اطلاعات واقعی مورد سنجش توسط محققین است و لذا بنیان اصلی آن بر صحت اندازه‌گیری ها و سنجش‌های میدانی و آزمایشگاهی استوار است. داده‌هایی که تاکنون در هیچ شرایطی برای مدیریت اجرایی منابع آب و مدیریت شهری بنظر ضروری نبوده و حال آنکه تحلیل آن برای این دو مدیریت جهت تامین نیازهای آبی، بسیار اهمیت دارد. چارترز و همکاران (۲۰۱۷) پیش از این در مطالعه‌ای نشان دادند، در اقلیم‌های بارانی با شدت کم، کمی کردن کیفیت رواناب تصفیه نشده از انواع سطوح کلیدی در یک حوضه برای ایجاد امکان توسعه سیستم‌های تصفیه هدفمند مورد نیاز است.

به همین خاطر، توجه بسیاری به فرآیندهای عملیات میدانی شامل برنامه‌ریزی دقیق، برداشت مناسب و همزمان، کنترل کیفیت در زمان برداشت، دقت در انتخاب ایستگاه‌های معرف زیرحوضه‌های کوچکتر صورت گرفته است. از طرف دیگر تجهیزات پرتابل نیز در حد امکان برای کاهش خطای ناشی از انتقال و نگهداری نمونه‌ها به آزمایشگاه تدارک دیده شد. همچنین از آنجایی که این پژوهش در بخش هم زمانی بارش و برداشت نو بوده لذا نتایج آن قابل تکیه برای نیل به اهداف خواهد بود.

1. He

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه مهم‌ترین آلاینده‌های کیفیت رواناب شهری در کلان شهر تهران شناسایی و اثر کاربری‌های مختلف شهری بر نوع و میزان آلودگی رواناب مورد بررسی قرار گرفت، که به طور کلی نتیجه‌گیری‌های زیر به دست آمد: با توجه به نتایج آزمایشگاهی، آلودگی شدید رواناب در منطقه مشاهده شد و بیشتر پارامترهای کیفی مورد بررسی به طور معناداری در کاربری‌های مختلف تغییر داشتند. به طور مثال پارامترهایی مانند سرب، نیتروژن و کل مواد محلول در کاربری‌های مختلف تغییرات زیادی داشته در حالی که برای PH و دما تغییرات چندانی ثبت نشده است. این تغییرات کاهش کیفیت رواناب را نشان می‌دهد.

آنالیز روند تغییرات پارامترهای کیفی آب نشان داد، انواع کاربری‌های اراضی شهری سهم و میزان اثر جداگانه و مجزایی را بر روی انواع مختلف متغیرها و پارامترهای کیفی رواناب شهری دارند. به طور مثال، فضای سبز اولین عامل تأثیرگذار در میزان شوری و TDS بوده و مناطق با کاربری اداری در شهرها، بیشترین تاثیر را برای کاهش دما و شوری رواناب را دارند. میزان درصد مسکونی بودن منطقه نیز بیشترین تاثیر را برای کاهش متغیرهای کیفی مانند TDS، NO3، COD، DO داشته به طوریکه با افزایش درصد مسکونی بودن، این مقادیر کاهش یافته‌اند. همچنین افزایش میزان درصد فضای سبز بیشترین تاثیر را برای کاهش مقدار پارامترهای TSS، BOD5، Pbو Ph دارد. پارامترهای دما و Ph در مناطق با کاربری مسکونی بیشترین مقادیر را دارند، هرچند میزان آن نسبت به دیگر کاربری‌ها چشمگیر نیست. از طرف دیگر تغییرات دما در کاربری‌های مختلف می‌تواند باعث تبخیر و کاهش دبی جریان رواناب شود که به طور قطع این مورد موجب افزایش آلودگی رواناب می گردد.

تاثیر فضای سبز بیشتر در بالا بردن مقادیر TDS، DO، EC و SALT است که مقادیر آنها نسبت به کاربری‌های دیگر نزدیک به دو برابر بالاتر هستند. همچنین میزان TDS فضای سبز بیش از سه برابر تاثیر کاربری مسکونی در منطقه است. کاربری اداری نیز بیش‌ترین میزان تاثیر برای متغیرهای کیفی TSS، NO3، BOD5، COD و Pb داشته است که نشان دهنده آلودگی زیاد این کاربری علیرغم تقاضای کمتر برای مصرف آب می‌باشد. می توان نتیجه گرفت فضای سبز از عوامل موثر بر TDS و نیترات، حمل و نقل از عوامل موثر بر TDS و سرب، جمعیت و دینامیک کاربری اراضی بر دما و میزان اکسیژن محلول رواناب، اثرات مستقیمی دارند.

در میان شاخص‌های شهری درصد شیب عمومی بیشترین تاثیر را در افزایش، پارامترهای TDS، ۳NO و DO داشته و نسبت مساحت پشت‌بام‌ها کمتر موجب افزایش این پارامترها می‌شود. شاخص شهری مساحت معابر به کل منطقه بیش‌ترین افزایش را برای سه متغییر دما و شوری و هدایت الکتریکی دارد و شاخص مساحت پشت بام‌ها کمترین تاثیر را در میزان این سه متغیر دارد.

همچنین برای پارامترهای TSS، BOD، COD، Pb و pH کمترین تاثیر در افزایش آنها مربوط به شاخص مساحت معابر به کل منطقه است و در چهار متغیر اول بیشترین تاثیر را درصد شیب عمومی منطقه می‌گذارد. پارامتر pH نیز بیشترین تاثیر را از میزان نسبت مساحت پشت‌بام‌ها به مساحت کاربری می‌پذیرد.

مقایسه نتایج پارامترهای کیفی پژوهش حاضر نشان داد، ارتباط فیزیکی میزان سطح هر نوع کاربری اراضی با رواناب شهری علاوه بر مقدار سطح، متاثر از زمان و شرایط اقلیمی و فعالیت‌های شهری نیز می‌باشد. به طوریکه می‌توان شاخص‌های اصلی سطح و میزان نسبی انواع کاربری اراضی، تراکم جمعیت، حمل و نقل عمومی و تراکم فعالیت‌های شهری را بعنوان شاخص‌های اصلی تاثیرگذار برای شناسایی اثرات کاربری اراضی شهری در توسعه مناطق جدید شهری که بتواند بر پایداری کیفی منابع آب موثر باشد، معرفی نمود.

با توجه به مطالب و نتایج ارائه شده از این پژوهش می‌شود، جهت بالا بردن دقت نتایج تحقیق، از تعداد نقاط نمونه‌برداری بیشتر با فاصله کمتر از یکدیگر در سطح منطقه و پارامترهای کیفی بیشتری استفاده شود و در نوبت‌های مشابه دیگر، این طرح برای زیرحوضه‌ها و محله‌های مختلف با همکاری شورایاری‌های محله و محققان رشته های تخصصی مدیریت شهری پایدار انجام و مطالعه تطبیقی آن نیز صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

این پروژه با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم تحقیقات و فناوری انجام شده است. بدینوسیله از حمایت مالی مرکز در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

کتاب‌نامه

۱. اسکندری دامنه، ح.، زهتابیان، غ.، سلاجقه، ع.، قربانی م. و خسروی، ح. (۲۰۱۸). تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی حوضهٔ غرب تالاب جازموریان. *مرتع و آبخیزداری*، *۷۱*(۳)، ۵٦۳-۵۷۸.

۲. بحرینی، ح. (۱۳۹۲). *تئوری شکل شهر*. چاپ چهارم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۳. بوژآبادی، ز.، حافظی مقدس، ن.، و غفوری م. (۱۳۹۳). بررسی کیفیت روان آب شهر نیشابور از لحاظ مصارف کشاورزی، شرب و صنعت. اولین کنفرانس ملی آسیب‌شناسی محیط‌زیست و آلودگی‌های شهری.

٤. ترنجیان، ا.، و معروفی، ص. (۱۳۹۹). تحلیل آلودگی ناشی از نیکل و روی موجود در رواناب شهری با استفاده از توابع توزیع احتمال (مطالعه موردی: شهر همدان). *علوم و مهندسی آبیاری*، *٤۳*(۳)، ۳۳-٤۳.

۵. حامدی، ح.، مبرقعی‌دینان، ن.، رسولی، ع.، و رازقی، ن. (۱۳۹۱). آلودگی روان‌آب‌های شهری و ارائه مناسب‌ترین اقدامات مدیریتی در کنترل آن‌ها. تهران: همایش ملی *جریان و آلودگی آب*.

٦. خراسانی، ن.، شهبازی، ا.، سرتاج، م.، و نصرتی، ک. (۱۳۸۳). کاربرد مدل های رگرسیونی در برآورد بار آلودگی رواناب شهری. *منابع طبیعی ایران*، *۵۷*(۳)، ٤۷۹-٤۹۰.

۷. رازی، پ.، و تائبی، ا.، (۱۳۸۳). شست و شوی اولیه آلاینده ها توسط رواناب های سطحی. *آب و فاضلاب*، *٤* (۵۲)، ۱۲-۱۹.

۸. رضوی‌زاده، س.، محسنی ساروی، م.، و سلاجقه، ع. (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب رودخانه طالقان. *پژوهش آب ایران*، *۷*(۱)، ۲۱۳-۲۱۷.

۹. شمشیرساز، ع.، و نظری‌ها، م. (۱۳۹۳). اثر تغییر اقلیم بر کیفیت روان آب شهری (مسیل زرگنده)، دومین همایش منطقه‌ای تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه گاوازنگ، زنگ.

۱۰. عالی پور اردی، م.، و جباریان، ب. (۱٤۰۰). بررسی تأثیر ترکیب کاربری سرزمین و سنجه‌های ساختار سیمای سرزمین در مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها (مطالعه موردی: استان اردبیل). *نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز*، ۵۱,۲(۱۰۳)، ۸۳-۹۳.

۱۱. عینلو، ف.، سلاجقه، ع.، ملکیان، آ.، و احدنژاد، م. (۱۳۹۵). بررسی اثر توسعه شهری بر تغییرات حجم رواناب با استفاده از مدل بارش-رواناب SWMM (مطالعه موردی: آبخیز شهری زنجان). *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۰(۳۳)، ۳۷-٤۷.

۱۲. فروغی، م.، حاجیان نژاد، م.، امین، م.، و طاهری، ا. (۱۳۹۱). بررسی کارایی نانو ذرات اکسید آهن به همراه میدان مغناطیسی در حذف آلاینده های رواناب شهری سنتتیک. *سلامت و بهداشت اردبیل*، ۳(۳)، ۲۷-۱۸.

۱۳. میرزایی، م.، سلگی، ع.، و ماهینی عبدالرسول، س. (۱۳۹۵). بررسی ارتباط بین پارامترهای کیفی آب و تغییرات کاربری اراضی (حوزه آبخیز زاینده رود) . *مدیریت آب و آبیاری*، ٦(۲)، ۱۷۵-۱۹۲.

۱٤. یزدانبخش، ا. ر.، و رضایی س. (۱۳۹۳). بررسی مشخصات روان آب‌های سطحی شهر تهران و مقایسه با استاندارد آب کشاورزی. اولین همایش یافته‌های نوین در محیط‌زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی.

15. Al Masum, A., Bettman, N., Read, S., Hecker, M., Brinkmann, M., & McPhedran, K. (2022). Urban stormwater runoff pollutant loadings: GIS land use classification vs. sample-based predictions. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
16. Charters, F. J., Cochrane, T. A. & Abd O'Sullivan, A. D. (2016). Untreated runoff quality from roof and road surfaces in a low intensity rainfall climate. *Science of the Total Environment*. 550, 265-272.
17. Charters, F. J., Cochrane, T. A. and O'Sullivan, A. D. (2021). The influence of urban surface type and characteristics on runoff water quality. *Science of The Total Environment*, *755*, 142470.
18. He, H., Zhou J., Wu Y., Zhang, W., & Xie, X. (2008) Modelling the response of surface water quality to the urbanization in Xian, China. *Environmental Management*, *86*, 731-749.
19. Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J. & Viklander, M. (2020). The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of the Total Environment*, *709*, 136125.
20. Müller, A., Österlund, H., Nordqvist, K., Marsalek, J., & Viklander, M. (2019). Building surface materials as sources of micropollutants in building runoff: A pilot study. *Science of the Total Environment*, *680*, 190-197.
21. Nix S. J. (1994). *Urban stormwater modeling and simulation*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.
22. Oluseyi, O.F. (2006). Urban land use change analysis of a traditional city from remote sensing data: The case of Ibadan metropolitan area, *Nigeria. Humanity & Social Sciences Journal*, *1*(1), 42-64.
23. Pirnia, A., Solaimani, K., Habibnejad roshan, M., & Besalatpour, A. (2017). Investigating the contribution of climate variability and land use change in water quality changes of Haraz River (Mazandaran Province). *Iranian Journal of Ecohydrology*, *4*(4), 1151-1163.
24. Razmkhah, R., Abrishamchi, A. and Torkian, T., (2010). Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran*).*, *Environmental Management*, *91*(4), 852–860.

25. Regier, P. J., González-Pinzón, R., Van Horn, D. J., Reale, J. K., Nichols, J., & Khandewal, A. (2020). Water quality impacts of runoff from monsoon storms on arid-land rivers: Comparing urban and non-urban pulses in the Rio Grande. *Science of The Total Environment*, 138443.
26. Sayahi, A., Ardestani, M. and Partani, S. (2021). Developing a New Matrix Model to Estimate the Urban Run-Off Water Quality. *Pollution*, *7*(1), 1-15.
27. Sun, G. and Caldwell, P. (2015). Impacts of Urbanization on Stream Water Quantity and Quality in the United States. *Water Resources IMPACT*, 17 (1): 17-20
28. Tom, M., Fletcher, T.D., & McCarthy, D.T. (2014). Heavy metal contamination of vegetables irrigated by urban stormwater: a matter of time? *PlOS one*, 9(11). 112441.
29. Valtanen, M., Sillanpaa, N., & Setala, H. (2014). The Effects of Urbanization on Runoff Pollutant Concentrations, Loadings and Their Seasonal Patterns Under Cold Climate. *Journal of Water Air Soil Pollut*, *225*, 1–16.
30. Vuai SAH, I., & Mungai N.W. (2013). Influence of land use activities on spatial and temporal variation of nutrient deposition in Mwanza region: implication to the atmospheric loading to the Lake Victoria. *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(2): 224
31. Yang, Y., and Toor, G.S. (2018). Stormwater runoff driven phosphorus transport in an urban residential catchment: Implications for protecting water quality in urban watersheds. *Scientific reports*, *8*(1), 1-10.