اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۲۹-۲۱۵

امکان‌سنجی استفاده از تکنولوژی وتلند در تصفیهٔ بیولوژیک فاضلاب روستاهای استان تهران

حسین یوسفی[1*]، ویدا خادمی[2]، علی محمودی ازناوه[3]

۱. دانشیار دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست (آب و فاضلاب)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکوهیدرولوژی، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۲۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۱۲/۲۷)

چکیده

فناوری وتلند با استفاده از گیاهان و میکروارگانیسم‌های طبیعی، روشی مؤثر برای حذف آلاینده‌ها از فاضلاب است. در سال‌های اخیر، توجه به فرایندهای تصفیهٔ بیولوژیکی برای تصفیهٔ فاضلاب در بخش‌های روستایی و کشاورزی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، افزایش یافته است. تأسیسات فاضلاب روستایی، نقش مهمی در ارتقای سلامت عمومی و حفاظت از محیط زیست در مناطق روستایی دارد. فناوری وتلند به عنوان روشی مناسب برای تصفیهٔ بیولوژیکی فاضلاب در این مناطق مورد توجه قرار گرفته است. تمرکز این مطالعه بر امکان‌سنجی اجرای وتلندها در روستاهای استان تهران است. مدل‌ها و روش‌های بهره‌برداری از وتلند در سراسر جهان و ایران جمع‌آوری شد و مدل‌های مفهومی بر اساس استانداردهای ایران طراحی شد. لایه‌های داده بر اساس سه معیار کلیدی، عوامل فنی، اجتماعی‌ـ اقتصادی و محیطی طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های مربوطه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسعه یافتند و روی هم قرار گرفتند. یافته‌ها بیانگر آن است که تقریباً ۴۹ روستا که عمدتاً در نیمهٔ غربی استان تهران واقع شده‌اند، بیشترین تناسب را برای احداث وتلند نشان می‌دهند. از میان این روستاها، ۱۲ روستا از سوی ادارهٔ آب و فاضلاب روستایی استان تهران برای توسعهٔ سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب در اولویت قرار دارند که فناوری وتلند به عنوان گزینهٔ مطلوب توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: آلودگی آب، پایداری محیط زیستی، توسعهٔ روستایی، مدیریت فاضلاب، کیفیت آب.

[*] نویسندهٔ مسئول
Email: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

حفاظت از اکوسیستم‌های آبی در برابر منابع آلودگی انسانی و طبیعی از اهمیت زیادی برخوردار است [۱]. از جمله منابع آلوده‌کنندهٔ محیط‌های آبی می‌توان به فاضلاب‌های خانگی و شهری، پساب تصفیه‌خانه‌ها، رواناب‌های شهری، فاضلاب دامی و شیرابه‌های ناشی از دفن زباله اشاره کرد [۲] که بر تنوع زیستی آبزیان تأثیرگذارند [۳]. به علاوه، این عوامل می‌توانند خاک و آب‌های زیرزمینی را آلوده کنند و سلامت انسان را به خطر بیندازند. در نتیجه، تصفیهٔ آب آلوده در راستای کاهش آلاینده‌ها و افزایش دسترسی به آب پاک حیاتی است [۴].

در سال‌های اخیر، تصفیهٔ فاضلاب خانگی غیرمتمرکز در محیط‌های روستایی در مناطق مختلف جهان مورد بررسی قرار گرفته است [۵]. به خلاف فاضلاب خانگی شهری، فاضلاب خانگی روستایی دارای غلظت آلایندهٔ کمتری است [۶]. طبق ارزیابی‌های صورت‌گرفته حدود ۹۰ درصد از فاضلاب خانگی روستایی به صورت تصفیه‌نشده مستقیم به دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های سطحی مجاور روستاها تخلیه و به طور گسترده پراکنده می‌شود [۷]. به طور کلی، فاضلاب روستایی دارای حجم کم، دامنهٔ آلودگی زیاد و تخلیهٔ متناوب است. در نتیجه، توسعهٔ یک فرایند نوین، ساده و پایدار از نظر محیط زیستی، به‌صرفه از نظر اقتصادی و قابل قبول از نظر اجتماعی برای تصفیهٔ فاضلاب خانگی روستایی ضروری است [۸].

وتلندهای ساختگی (CWs[1]) جایگزینی برای تصفیهٔ فاضلاب در جوامع روستایی برای حل اثرات اجتماعی و محیط زیستی ناشی از تخلیهٔ فاضلاب شهری تصفیه‌نشده به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، وتلندهای طبیعی و خاک است [۹ و ۱۰]. وتلندها سیستم‌های تصفیهٔ به‌صرفه با کارکرد و نگهداری آسانی هستند که نیاز به مصرف انرژی الکتریکی در آن‌ها صفر یا کم است [۱۱]. وتلندهای ساختگی سیستم‌های مهندسی‌شده‌ای هستند که فرایندهای بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی را مشابه سیستم تالاب‌های طبیعی اعمال می‌کنند. این سیستم‌ها با توجه به پیکربندی جریان می‌توانند جریان سطحی یا زیرسطحی داشته باشند، اما نوع دوم پرکاربردترین نوع وتلند است [۱۲]. میکروارگانیسم‌ها، محیط فیلتر و پوشش گیاهی اجزای کلیدی وتلندهای ساختگی هستند. نقش گیاهان به دلیل کمک آن‌ها در حذف آلاینده‌ها ضروری است. گیاهان با آزاد کردن اکسیژن در ناحیهٔ ریشه خود، توسعهٔ میکروزون‌های هوازی را که فرایند حذف آلاینده‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد، حمایت می‌کنند. آن‌ها همچنین به طور مستقیم در جذب اجزای مختلف مانند مواد مغذی شرکت می‌کنند. بنابراین انتخاب و استفاده از گیاهان از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۳ و ۱۴].

هدف از این پژوهش، امکان‌سنجی استفاده از تکنولوژی وتلند در تصفیهٔ بیولوژیک فاضلاب روستاهای استان تهران است؛ که این امر با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS مورد بررسی قرار گرفته است. اجرای این روش در ایران مستلزم سنجیدن بسترها و امکانات لازم است که بر اساس تحقیقات به‌عمل‌آمده، پژوهش‌های کافی در این زمینه در داخل کشور انجام نشده است. با توجه به اهمیت موضوع در این پژوهش سعی شده است تا اطلاعاتی در زمینهٔ امکان احداث وتلند در روستاهای استان تهران برای استفادهٔ مدیران و برنامه‌ریزان این حوزه به منظور تصفیهٔ بیولوژیکی فاضلاب‌های روستایی در سطح منطقه‌ای فراهم شود. به همین منظور، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در این زمینه از نظر اجتماعی، اقتصادی، فنی و محیط زیستی جمع‌آوری شد؛ ابتدا معیارهای لازم برای احداث وتلند و تصفیهٔ بیولوژیکی در روستاها مشخص شدند؛ سپس مدل مفهومی برای تعیین محدودهٔ مکانی مناسب وتلند در محیط نرم‌افزاری Arc GIS تهیه و نرخ سازگاری پس از وزن‌دهی معیارها با استفاده از مقایسهٔ زوجی لایه‌ها محاسبه شدند و در نهایت، مکان‌های مناسب به منظور احداث وتلند در اطراف روستاهای تهران بر اساس معیارهای موجود تعیین شدند.

۲. پیشینهٔ تحقیق

در سال ۲۰۲۰، موریرا و همکاران پژوهشی در خصوص استفاده از وتلندهای ساختگی (CW) برای تصفیهٔ فاضلاب روستایی انجام دادند. این مطالعه نشان داد در محیط‌های روستایی تانک‌های سپتیک و به دنبال آن سیستم وتلندها عملکرد مناسبی دارند. در این مناطق وتلندها مدام راندمان حذف بالایی در برابر آلاینده‌هایی مانند COD[2]، BOD[3]،

1. Constructed Wetlands

2. Chemical Oxygen Demand
3. Biological Oxygen Demand

TN[1]، TP[2] و باکتری‌های شاخص داشتند. علاوه بر این، وتلندها به طور مؤثری هورمون‌ها، ترکیبات‌دارویی و سموم را حذف کرد و در نتیجه، پساب‌های قابل استفادهٔ مجدد به وجود آورد. این مطالعه به این نتیجه رسید که وتلندها راه‌حلی پایدار برای بهداشت روستایی ارائه می‌دهند که با اهداف توسعهٔ پایدار سازمان ملل همسو است [۱۵]. جیا و همکاران (۲۰۲۱) مطالعه‌ای در مورد استفاده از وتلندهای ساختگی برای تصفیهٔ رواناب روستایی انجام دادند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد استفاده از وتلندها در راستای تصفیهٔ رواناب روستایی به طور قابل توجهی حذف آلاینده‌ها از جمله نیترات را در پی داشت [۱۶]. هدیدو و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی فناوری جایگزین برای تصفیه و استفادهٔ مجدد فاضلاب در مناطق روستایی مراکش پرداختند. در مطالعهٔ یادشده پتانسیل وتلندهای ساختگی به عنوان یک راه حل پایدار و به‌صرفه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش یادشده نشان داد وتلندها راندمان حذف بالایی برای آلاینده‌های معمولی دارند، اما حذف آلودگی‌های میکروبی همچنان یک چالش جدی برای این فناوری‌ها است. با این‌حال، با وتلندهای ترکیبی یا تصفیهٔ اضافی، این سیستمها می‌توانند پسابی تولید کنند که مطابق با استانداردهای استفادهٔ مجدد کشاورزی باشد [۱۷]. در پژوهشی دیگر شان و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی فاضلاب روستایی در منطقهٔ خشک شمال غربی چین پرداختند. در این مطالعه از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای محاسبهٔ پارامترها و بهینه‌سازی شاخص‌ها برای تصفیهٔ فاضلاب استفاده شد. این تحقیق فناوری وتلندهای ساختگی را با توجه به سازگاری بالای آن با محیط زیست به عنوان مناسب‌ترین راه حل برای مناطق متمرکز، مناطق پراکنده و مناطق منبع آب معرفی کرد [۱۸]. کائو و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای روی وتلندها برای تصفیهٔ فاضلاب خانگی در مناطق روستایی انجام دادند. آن‌ها از زئولیت و پیریت برای رفع محدودیت‌های حذف نیتروژن استفاده کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد وتلندهای کاملاً زهکشی‌شده بالاترین میزان حذف آمونیاک را در پی دارند، در حالی که پیریت کمبود منبع کربن را در وتلندهای نیمه‌زهکشی جبران کرد [۱۹]. کاربرد و انطباق فناوری محیط زیستی وتلندهای ساختگی برای تصفیهٔ فاضلاب خانگی در مناطق خشک روستایی مراکش توسط مندی و همکاران (۲۰۲۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. استفاده از این فناوری نشان داد وتلندها یک راه حل سبز و پایدار با مزایایی مانند هزینهٔ کم، سادگی ساخت‌وساز و کارایی در تصفیهٔ فاضلاب ارائه می‌دهند که در راستای ترویج حفاظت از محیط زیست و استفادهٔ مجدد از فاضلاب در روستاهای مراکش گزینه‌ای مناسب است [۲۰]. راندمان حذف میکروپلاستیک در دو تصفیه‌خانهٔ فاضلاب روستایی (WWTPs[3]) با وتلندهای ساختگی با جریان افقی زیرسطحی (HSSFCWs[4]) به طور سیستماتیک توسط لانگ و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه داده‌های آلودگی میکروپلاستیک‌های شهری و روستایی را در شهر چانگشای چین مقایسه کرد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد راندمان حذف میکروپلاستیک در دو منطقهٔ روستایی به‌ترتیب ۷۲/۳۸ و ۶۸/۱۰ درصد کمتر مناطق شهری بود. میکروپلاستیک اولیه هم در ورودی و هم در پساب با پلی‌اتیلن و پلی‌استایرن به عنوان مواد اصلی موجود بود. نگهداری منظم، کاهش فاصلهٔ شبکه و افزایش زمان نگهداری هیدرولیک (HRT[5]) و تراکم گیاهان در این روش می‌تواند به بهبود راندمان حذف میکروپلاستیک در مناطق روستایی کمک کند و از آلودگی ثانویه جلوگیری کند [۲۱]. مطالعهٔ انجام‌شده توسط وانگ و همکاران (۲۰۲۳) کاربرد بالقوهٔ وتلندهای ساختگی برای تصفیهٔ فاضلاب خانگی روستایی را بررسی کرد. آن‌ها عملکرد وتلندهای ساختگی با جریان جزر و مدی (TFCW[6]) و وتلندهای‌ساختگی با جریان افقی زیرسطحی (HFCW) را از نظر راندمان حذف آلی و مواد مغذی مقایسه کردند. TFCW راندمان حذف بالاتری را برای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، نیتروژن آمونیوم (NH4+- N[7]) و فسفر کل (TP) در مقایسه با HFCW نشان داد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد وتلندهای ساختگی دومرحله‌ای (TFCW-HFCW) و (HFCW-TFCW) در راستای حذف آلاینده‌ها مؤثرتر هستند [۲۲]. وو و همکاران بررسی اثربخشی وتلندهای ساختگی را در بهبود کیفیت آب و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حذف میزان قابل

1. Total Nitrogen
2. Total Phosphorus
3. wastewater treatment plant
4. horizontal subsurface flow constructed wetlands
5. Hydraulic Retention Time
6. tidal flow constructed wetland
7. ammonium-nitrogen

توجهی از مواد آلی (۷۶ درصد)، نیتروژن (۶۳ درصد)، و فسفر (۷۲ درصد) در فرایند تصفیه را نشان داد. همچنین طبق نتایج عملکرد وتلندها، از طریق استراتژی‌هایی مانند هوادهی مصنوعی و انتخاب نوع گیاه، قابلیت بهبود دارد [۲۳]. رتا و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی مروری به بررسی استفاده از وتلندهای ساختگی برای تصفیهٔ فاضلاب در ایتالیا پرداختند. در این پژوهش ۷۶ پروژهٔ تحقیقاتی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۳ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد وتلندهای ساختگی پتانسیل قابل توجهی در حذف آلاینده‌ها دارند، اگرچه مشخص شد عملکرد این ساختارها به‌شدت تحت تأثیر عوامل زنده و غیر زنده است [۲۴]. مطالعهٔ هندی و همکاران با هدف ارزیابی عملکرد تصفیهٔ VFCWs[1] با استفاده از فاضلاب واقعی و بررسی استفاده از درختان پالونیا در تصفیهٔ فاضلاب انجام شد. نتایج کاهش قابل توجهی را در سطوح COD و BOD5 برای واحدهای کاشته‌شده با درصد حذف از ۵۷/۱ تا ۹۸ درصد نشان داد. نتایج این تحقیق عملکرد مثبت وتلندهای ساختگی با گونه‌های گیاهی مناسب و به‌صرفه بودن آن‌ها در تصفیهٔ فاضلاب را نشان داد [۲۵]. استفاده از گیاهان زینتی و PET[2]به عنوان یک محیط فیلتر در یک سیستم تصفیهٔ فاضلاب در مقیاس بزرگ توسط سندووال هرازو و همکاران (۲۰۲۳) مورد ارزیابی قرار گرفت. این مطالعه نشان می‌دهد ترکیبی از پوشش گیاهی زینتی و محیط فیلتر مبتنی بر PETمی‌تواند عملکرد سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب در مناطق روستایی را بهبود بخشد [۲۶].

منطقهٔ مطالعاتی

استان تهران به مرکزیت شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجهٔ عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجهٔ طول شرقی و در دامنهٔ جنوبی البرز مرکزی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است [۲۷]. این استان با بیش از ۱۳ میلیون نفر جمعیت، ۱۶ درصد جمعیت کل کشور را در خود جای داده است. از این میزان ۱۲,۴۵۲,۲۳۰ نفر در مناطق شهری و ۸۱۴,۶۹۸ نفر در مناطق روستایی آن ساکن هستند. در این پژوهش کل روستاهای استان تهران به عنوان جامعهٔ آماری انتخاب شد [۲۸]. شکل ۱ منطقهٔ مطالعاتی این پژوهش را نشان می‌دهد.

تکنولوژی‌های تصفیهٔ فاضلاب

هدف از تصفیهٔ فاضلاب، گرفتن مواد معلق و شناور از فاضلاب و اکسیداسیون مواد ناپایدار آلی موجود در فاضلاب و تبدیل آن‌ها به موادی پایدار مانند نیترات، سولفات و سپس ته‌نشین ساختن و جداسازی آن مواد، است. انتخاب هر یک از روش‌های تصفیهٔ فاضلاب به عوامل مختلفی همچون نوع فاضلاب، موقعیت جغرافیایی، کمیت و کیفیت فاضلاب، کیفیت پساب خروجی، فناوری‌ها، امکانات موجود، بودجه و غیره بستگی دارد [۲۹]. روش‌های تصفیهٔ فاضلاب را می‌توان به سه دسته به شرح زیر تقسیم کرد:

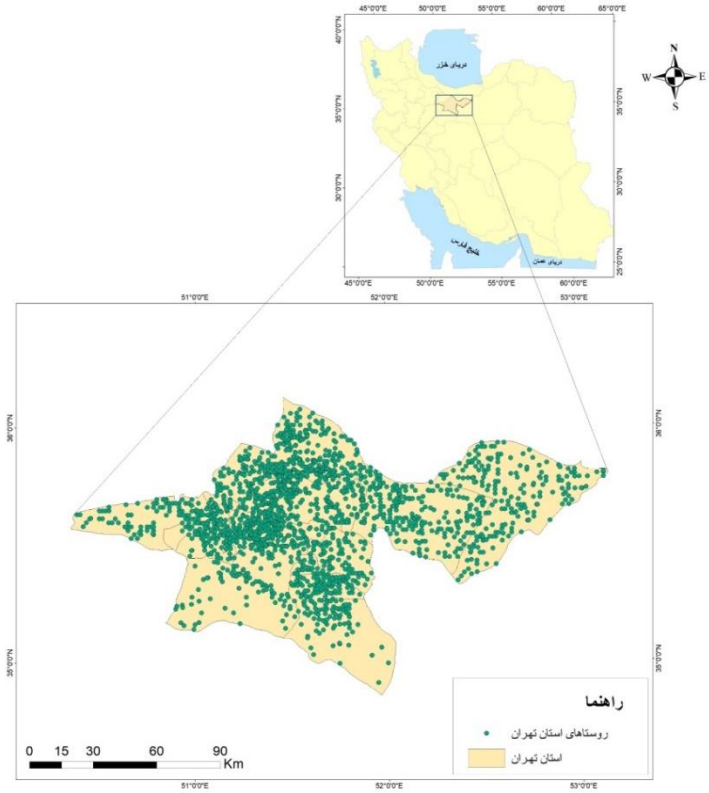
تصفیهٔ مکانیکی یا تصفیهٔ فیزیکی

تصفیهٔ مکانیکی از فرایندهایی تشکیل شده است که در آن‌ها تنها از خواص مکانیکی و فیزیکی برای جداسازی مواد خارجی معلق در فاضلاب استفاده می‌شود. مهم‌ترین روش‌های مکانیکی متداول در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شامل عبور فاضلاب از صافی و گرفتن مواد معلق موجود در آن، ته‌نشین کردن مواد معلق در فاضلاب، جداسازی آن‌ها، شناور کردن مواد معلق و گرفتن آن‌ها از سطح فاضلاب است. در هر یک از روش‌های نامبرده تا حدودی تصفیهٔ زیستی نیز به صورت خودبه‌خودی و هم‌زمان با تصفیهٔ مکانیکی انجام می‌گیرد، ولی مقدار و اثر آن در برابر تصفیهٔ مکانیکی ناچیز است [۳۰].

تصفیهٔ شیمیایی

اساس کار در تصفیهٔ شیمیایی بر کاربرد مواد شیمیایی در تصفیهٔ فاضلاب قرار داد. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، مواد شیمیایی مانند کلرور فریک و انواع مختلف پالیمرها را برای تأثیر گذاشتن روی مواد خارجی نامحلول و کلوئیدی و یا مواد محلول در فاضلاب به کار می‌برند. همچنین از مواد شیمیایی مانند کلر برای گندزدایی و کشتن میکروب موجود در فاضلاب در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب استفاده می‌شود. کل روش‌های تصفیهٔ شیمیایی، بیشتر برای تصفیهٔ فاضلاب‌های صنعتی به کار می‌روند، اما به علت استفادهٔ روزافزون از مواد شیمیایی در زندگی روزمره و ورود این مواد به فاضلاب‌های شهری، مسئلهٔ تصفیهٔ شیمیایی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خانگی نیز به‌تدریج مورد توجه قرار می‌گیرد [۳۱].

1. Vertical Flow Constructed Wetland
2. polyethylene terephthalate



شکل ۱. نقشهٔ منطقهٔ مطالعاتی

تصفیهٔ زیستی یا تصفیهٔ بیولوژیکی

فرایند تصفیهٔ بیولوژیکی مهم‌ترین مرحله در تصفیهٔ فاضلاب به شمار می‌رود. سیستم‌های تصفیهٔ بیولوژیکی، محیط‌های زنده باکتریایی هستند که با مصرف مواد مغذی فاضلاب، آلودگی آن را از بین می‌برند. نقش یک واحد تصفیهٔ بیولوژیکی، در واقع فراهم کردن شرایطی مناسب برای رشد بیولوژیکی باکتری‌ها و گیاهان جهت حذف آلودگی است. در واقع موجودات زنده تحت عنوان میکروارگانیسم‌ها، مواد آلاینده را به عنوان مادهٔ غذایی استفاده می‌کنند و باعث تصفیهٔ آب یا فاضلاب می‌شوند. در این نوع فرایند تصفیه دو روش وجود دارد:

- **روش هوازی:** در این روش مواد آلی موجود را با کمک اکسیژن آزادی که در آب وجود دارد تجزیه می‌کنند.
- **روش بی‌هوازی:** در این روش مواد آلی را با کمک اکسیژن ترکیبی مانند نیترات و سولفات تجزیه می‌کنند.

در یک تصفیه‌خانهٔ فاضلاب هر گاه تصفیهٔ مکانیکی برای کاهش آلودگی فاضلاب کافی نباشد، از کار موجودات زنده‌ای به نام باکتری‌های هوازی و یا بی‌هوازی برای ادامهٔ تصفیهٔ فاضلاب یاری می‌گیرند. کار مکان‌های تصفیهٔ زیستی در تصفیه‌خانه همانند تشدید عملی است که به طور خودبه‌خودی در طبیعت رخ می‌دهد؛ یعنی با ایجاد محیطی مناسب برای رشد و افزایش تعداد باکتری‌های نامبرده، مدت زمان تصفیهٔ طبیعی را که ممکن است به چندین روز برسد به چند ساعت کاهش می‌دهند [۳۱].

۳. مواد و روش‌ها

بررسی وضعیت موجود در رابطه با دفع فاضلاب در مناطق روستایی استان که از طریق جمع‌آوری اطلاعات از شرکت آب و فاضلاب روستایی و سایر سازمان‌های ذی‌ربط انجام شد، نشان‌دهندهٔ آن است که تعداد زیادی از روستاهای استان با مشکل دفع فاضلاب مواجه‌اند. در فرایند مکان‌یابی با توجه به مدل‌های مشابه بین‌المللی و پژوهش‌های موردی داخلی معیارهای مؤثر و مدل مفهومی اجرای پژوهش تهیه شدند؛ در ادامه پس از کنترل کیفی و ویرایش داده‌ها، لایه‌های اطلاعاتی در پارامترهای مؤثر جهت تعیین محدوده‌ها آماده‌سازی شد. پس از تهیهٔ نقشهٔ معیارها، تبدیل رستری، درون‌یابی و استانداردسازی، ارزش نقشه‌های فاکتور به روش فازی و تابع خطی انجام پذیرفت. وزن‌دهی به معیارها با روش

مقایسهٔ زوجی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام پذیرفت. تصمیم‌گیری با توجه به ماهیت معیارها و تعیین محدوده‌های مکانی مناسب با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و ترکیب خطی وزن‌دار (WLC[1]) به انجام رسید. ترکیب خطی وزن‌دار، رایج‌ترین روش در تحلیل ارزیابی چندمعیاره به شمار می‌آید. این روش که روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است [۳۲]. تهیه و تکمیل مدل ریاضی تلفیق لایه‌های اطلاعات (مدل ترکیب خطی وزن‌دار WLC) موجب تعیین مطلوبیت سرزمین برای انتخاب مکان مناسب به وسیلهٔ مدل WLC می‌شود. به منظور اجرای این پژوهش تلفیقی از نرم‌افزارهای مختلف استفاده شده است؛ مجموعهٔ نرم‌افزاری Arc GIS برای تهیه، روی‌هم‌گذاری، تجزیه‌وتحلیل و تمامی امور وابسته به نقشه‌ها و در نهایت نرم‌افزار Expert Choice جهت وزن‌دهی به معیارها و تکمیل فرایند AHP[2] به کار گرفته شده است.

۴. بحث و نتایج

معیارها و مدل مفهومی پژوهش

در این پژوهش، معیارهای مکانی مؤثر در سه دسته معیارهای فنی، محیط زیستی و اجتماعی- اقتصادی به شرح زیر تقسیم شدند.

معیارهای فنی مؤثر در امکان‌سنجی استفاده از وتلند به زیرمعیارهای نرخ تراکم جمعیت، شیوهٔ تأمین آب، موقعیت زمین، وسعت زمین، قیمت زمین، حریم مجاز کاربری، سطح آب زیرزمینی، جهت وزش باد غالب، شیب زمین، نفوذپذیری، دما، بارندگی، حریم مجاز فرودگاه، ریل راه‌آهن و حریم مجاز جاده تقسیم‌بندی می‌شوند. منافع بهداشتی، نحوهٔ دفع فاضلاب، پساب خروجی، حریم مجاز آب‌های سطحی، مناطق سیل‌خیز، مناطق چهارگانه محیط زیست، پوشش گیاهی منطقه، مناطق باستانی و مناظر، از زیرمعیارهای مهم محیط زیستی به حساب می‌آیند. معیارهای اجتماعی و اقتصادی شامل موقعیت جغرافیایی روستا، میزان فاضلاب، هزینهٔ احداث، حریم مجاز خطوط انتقال برق و سوخت است [۳۳].

چگونگی انجام این پژوهش به صورت «مدل مفهومی مراحل و فرایند انتخاب مکان مناسب جهت احداث وتلند» در شکل ۲ آمده است. این مدل مفهومی از مطالعات پارامترهای بیان‌شده به دست آمده است. بی‌شک هر چه عوامل بیشتری در یک امکان‌سنجی دخیل باشند، دقت کار بیشتر شده و از طرف دیگر، هزینه‌های اجرا افزایش یافته و پیچیده‌تر می‌شود؛ بنابراین برای استفاده از شاخص‌ها به نکاتی مانند مقیاس کار، دقت مورد نظر، هدف، شرایط منطقه و میزان تأثیرگذاری هر معیار باید دقت شود.

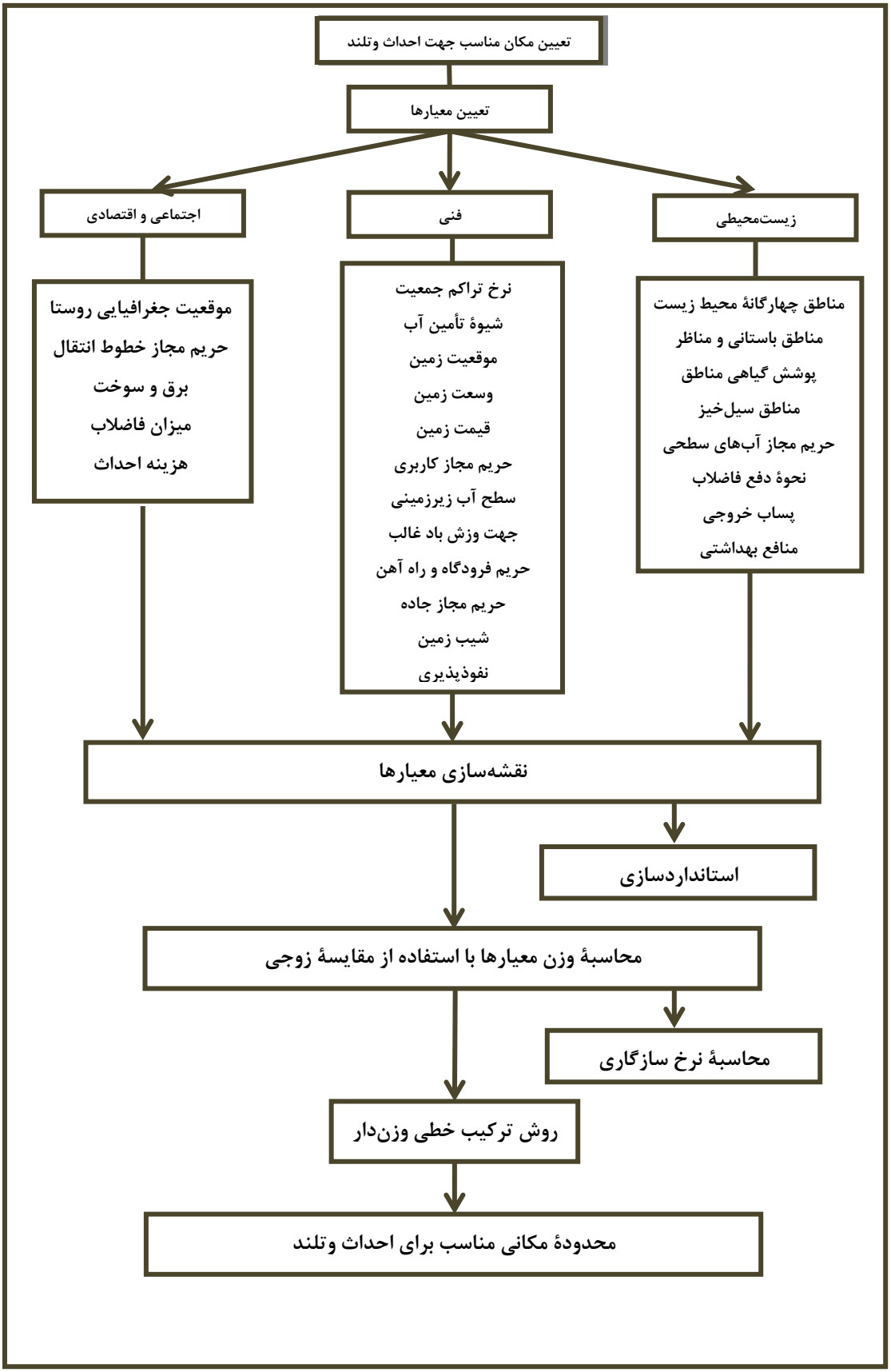
آماده‌سازی لایه‌های معیار و وزن‌دهی

اولین مرحله در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی برای مکان‌یابی یک کاربری، جمع‌آوری و ورود داده‌های اولیه به سیستم است تا بتوان بر اساس آن لایه‌های اطلاعاتی لازم را ایجاد کرد [۳۴]. این لایه‌ها ممکن است به صورت مستقیم از داده‌های ورودی و یا با پردازش روی لایه‌های اطلاعاتی دیگر ایجاد شوند. در نهایت، تمامی نقشه‌های معیار به صورت فازی، استاندارد شده و وارد مدل ریاضی تلفیق نقشه‌ها می‌شود. پس از تهیهٔ نقشهٔ اولیهٔ معیارها، با توجه به منابع موجود، حدود تعیین‌شده و ماهیت شاخص‌ها از تابع فازی خطی افزایشی یا کاهشی برای استانداردسازی نقشه‌های فاکتور استفاده می‌شود. برای محاسبهٔ وزن معیارها، از روش مقایسهٔ زوجی استفاده شده است. در روش وزن‌دهی مقایسهٔ زوجی که از روش‌های AHP است، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر تعیین می‌شوند. سپس یک ماتریس ایجاد می‌شود که ورودی آن همان وزن‌های اولیه و خروجی آن وزن‌های نهایی مربوط به معیارها است. این روش وزن‌دهی دارای سه گام اساسی است که عبارت‌اند از:

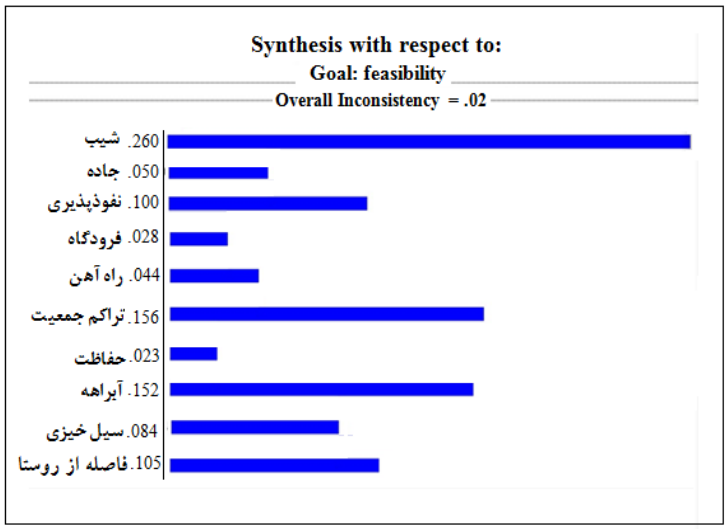
۱) ایجاد ماتریس مقایسهٔ زوجی
۲) محاسبهٔ وزن معیارها
۳) برآورد نسبت سازگاری

پس از تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی معیارها و واردسازی وزن‌های اولیه، با استفاده از نرم‌افزار EC[3] محاسبهٔ وزن‌ها صورت گرفته و از قابلیت نرم‌افزار برای تعیین نرخ ناسازگاری استفاده شده است. در شکل ۳ نرخ ناسازگاری کل به‌دست‌آمده ۰/۰۲ است که قابل قبول است و وزن‌های به‌دست‌آمده سازگاری خوبی دارند. در روش مقایسهٔ زوجی، باید مجموع وزن معیارها برابر عدد یک باشد. با توجه به نتایج بخش وزن‌دهی، معیار شیب دارای بیشترین وزن (۰/۲۶۰) و معیار مناطق حفاظت‌شده دارای کمترین وزن (۰/۰۲۳) است.

1. Weighted Linear Combination
2. Analytic hierarchy process
3. Expert Choice



شکل ۲. مدل مفهومی اجرای پژوهش



شکل ۳. نمایش خطی وزن معیارها نسبت به یکدیگر

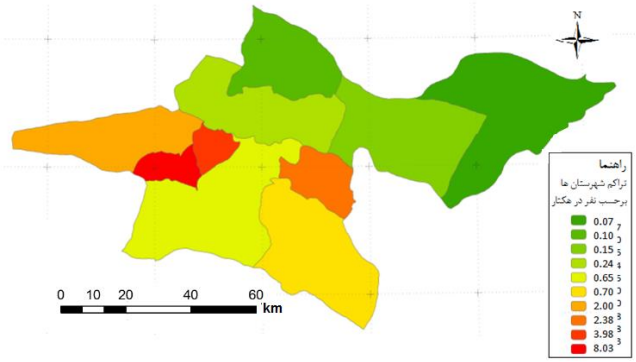
اولین مرحله در فرایند امکان‌سنجی استفاده از وتلند در روستاهای استان تهران به صورت مدل مفهومی در فضای نرم‌افزار GIS، تعیین معیارهای فنی از قبیل تراکم جمعیت، حریم مجاز کاربری، نفوذپذیری، شیب، فاصله از فرودگاه، فاصله از راه آهن و فاصله از جاده است که قابلیت نقشه‌سازی دارند.

الف) تراکم جمعیت: با توجه به اینکه نرخ تراکم جمعیت در کلیهٔ روستاهای کشور برابر نیست، به نظر می‌رسد که انتخاب میزان تراکم جمعیت به عنوان یک معیار، ضروری است. علاوه بر این، در اکثر موارد صدمات و مشکلات ناشی از عدم دفع بهداشتی فاضلاب در مناطق پرتراکم بیشتر از مناطق کم‌تراکم است. در مناطق پرتراکم استفاده از سیستم‌های دفع فاضلاب در محل (همچون چاه‌های جذبی و سپتیک تانک) به عنوان یک راه حل دفع بهداشتی فاضلاب در درازمدت نمی‌تواند رضایت‌بخش و جواب‌گو باشد. هزینهٔ مورد نیاز به ازای هر نفر برای احداث، راهبری و نگهداری تأسیسات فاضلاب در مناطق پرتراکم کمتر از مناطق کم‌تراکم است. بنابراین روستاهای با نرخ تراکم بیشتر در مقایسه با روستاهایی که نرخ تراکم کمتری دارند (در صورت داشتن سایر شرایط) در اولویت قرار می‌گیرند [۳۵]. در شکل ۴ مناطقی از استان تهران که دارای نرخ تراکم بالا هستند، به سمت رنگ قرمز متمایل می‌شوند.

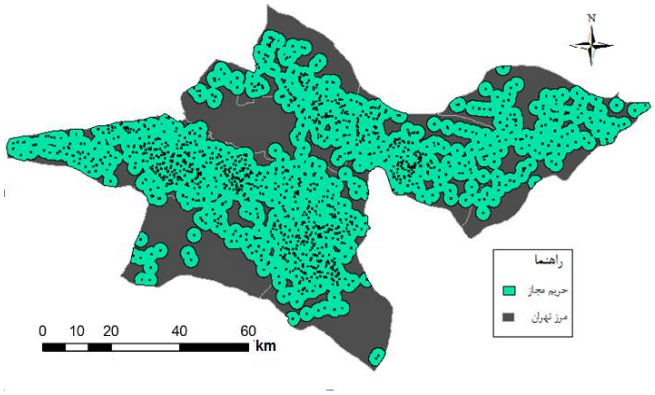
ب) حریم مجاز کاربری: با در نظر گرفتن استانداردهای جاری، فاصلهٔ تصفیه‌خانه تا نقاط مسکونی بسته به نوع فرایند را از ۵۰۰ متر تا ۱۵۰۰ متر متغیر اعلام کرده است، ولی در ضوابط جدید سازمان حفاظت محیط زیست رعایت حداقل فاصله ۲۰۰ متر از مناطق مسکونی (مناطقی که حداقل دارای ۲۰ خانوار باشند) برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با سیستم پیشرفته الزامی است [۳۶]. حریم روستا را ۳۰۰متر و فاصلهٔ مطلوب برای احداث سیستم تصفیه‌خانه را تا ۳ هزار متر بیان کرده است [۳۷]. در شکل ۵ با توجه به مرزبندی صورت‌گرفته مناطق مطلوب قابل مشاهده‌اند.

ج) نفوذپذیری: نفوذپذیری باید کمتر از ۰/۲ اینچ در هر ساعت باشد و نشت آب از میان خاک حداقل باشد [۳۸]. چنانچه نفوذپذیری خاک بیشتر از این میزان باشد، بستر وتلندها باید به روش مناسب نفوذناپذیر شود [۳۹]. شکل ۶ میزان نفوذپذیری خاک‌های استان تهران را نشان می‌دهد.

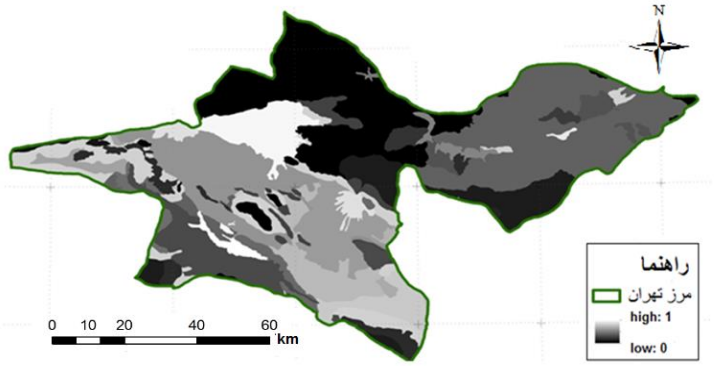
د) شیب: استاندارد موجود شیب زمین برای هر دو سیستم وتلند سطحی و زیرسطحی باید کمتر از ۱ درصد باشد و شیب قابل قبول به طور نرمال باید کمتر از ۵ درصد باشد [۴۰]. شکل ۷ تقسیم‌بندی استان تهران بر اساس شیب است که هر چه به سمت رنگ سبز متمایل می‌شود، از نظر وضعیت شیب مناسب می‌شود.



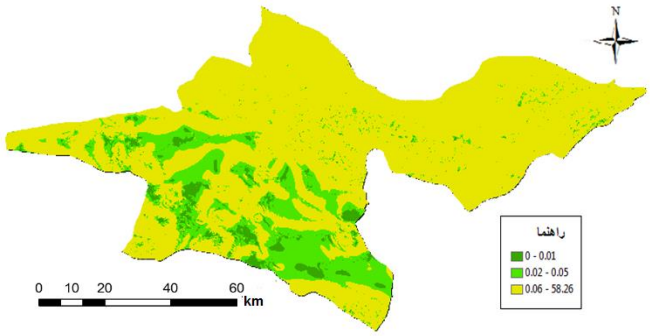
شکل ۴. نقشهٔ معیار تراکم جمعیت در روستاهای استان تهران



شکل ۵. نقشهٔ معیار رعایت حریم مجاز روستاها در استان تهران



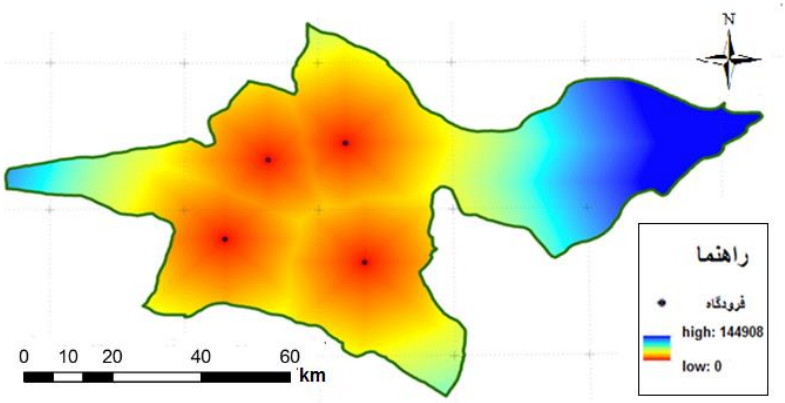
شکل ۶. نقشهٔ معیار نفوذپذیری خاک استان تهران



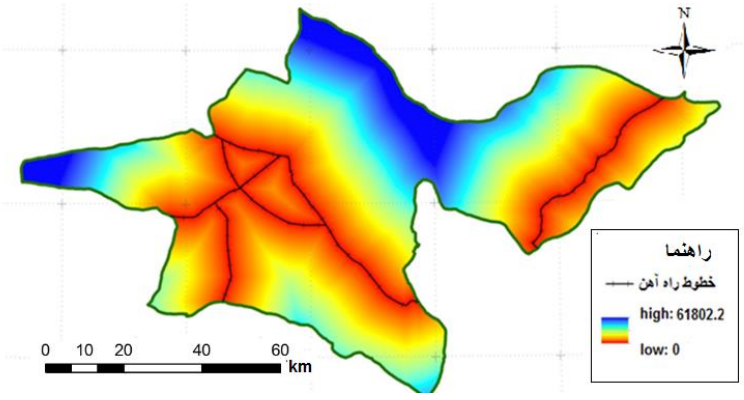
شکل ۷. نقشهٔ معیار شیب برای ساخت وتلند در استان تهران

ه) **فاصله از فرودگاه و ریل راه‌آهن:** یکی از مسائل مهم در ارتباط با رعایت حریم فرودگاه، مسئلهٔ احداث بعضی تأسیسات در اطراف فرودگاه است که می‌توانند پتانسیل خوبی برای گونه‌هایی از جانوران غیراهلی و پرندگان باشند. از جمله تأسیساتی که قابلیت جذب جانوران و پرندگان را دارد و باید از احداث آن‌ها در حریم پیشنهادشده توسط سازمان‌های هواپیمایی اجتناب کرد، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌ویژه سیستم تصفیهٔ وتلند است. طراحان هنگام برنامه‌ریزی جهت استقرار تأسیسات محیط یادشده و یا احداث فرودگاه‌های جدید باید رعایت فاصلهٔ مناسب میان فرودگاه و تأسیسات یادشده را در نظر بگیرند. بنا بر توصیهٔ سازمان‌های هواپیمایی، فاصلهٔ لازم میان باند فرودگاه، مکان‌های بارگیری و محدودهٔ تعیین‌شده برای توقف هواپیماها با محیط‌هایی که دارای قابلیت جذب جانوران و پرندگان هستند حداکثر تا ۳ هزار متر است [۳۶]. شکل ۸ چهار محدودهٔ فرودگاهی استان تهران را نشان می‌دهد که با توجه به حریم پیشنهادشده توسط سازمان‌های هواپیمایی باید حریم ۳ هزار متر با فرودگاه حفظ شود. شکل ۹ حریم خطوط راه‌آهن در استان را نشان می‌دهد که این حریم نیز مانند حریم فرودگاه در نظر گرفته می‌شود.

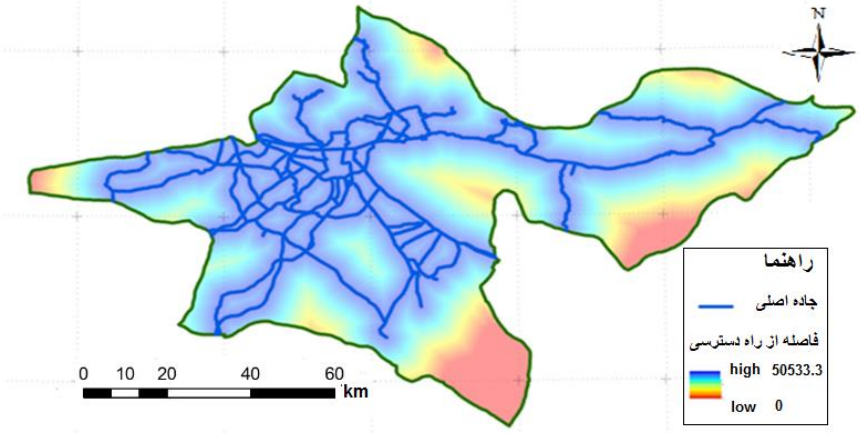
ز) فاصله از جاده: قبل از آغاز ساختمان هر راه، حریم مورد نیاز آن بر اساس تصویب نامهٔ قانونی، در جلسه‌ای به نام «کمیسیون حریم» تحت بررسی قرار می‌گیرد و حریم آن تعیین می‌شود. حریم راه زمین‌هایی بین حد نهایی بدنهٔ راه، تا فاصلهٔ معینی از محور راه در هر طرف [۳۶]. در شکل ۱۰ حریمی که برای فاصلهٔ وتلند از جادهٔ اصلی در نظر گرفته شده ۳۸ متر است.



شکل ۸. نقشهٔ معیار فاصله از فرودگاه در استان تهران



شکل ۹. نقشهٔ معیار فاصله از خطوط راه‌آهن در استان تهران



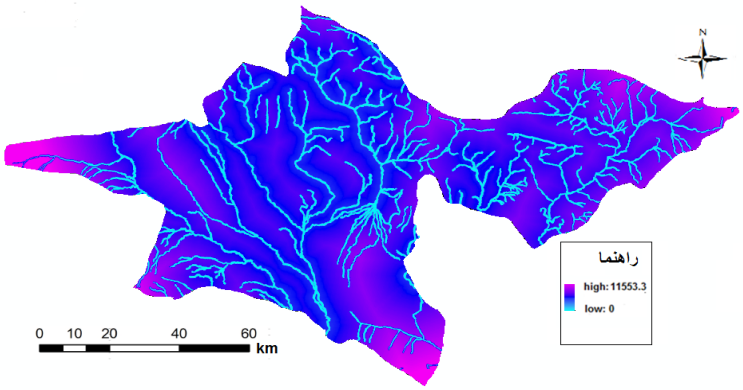
شکل ۱۰. نقشهٔ معیار فاصله از جاده‌های اصلی در استان تهران

از میان معیارهای محیط زیستی، معیارهایی که قابلیت نقشه‌سازی را داشته‌اند عبارت‌اند از: حریم مجاز آب‌های سطحی، حریم مجاز مناطق سیل‌خیز و حریم مجاز مناطق چهارگانهٔ محیط زیست.

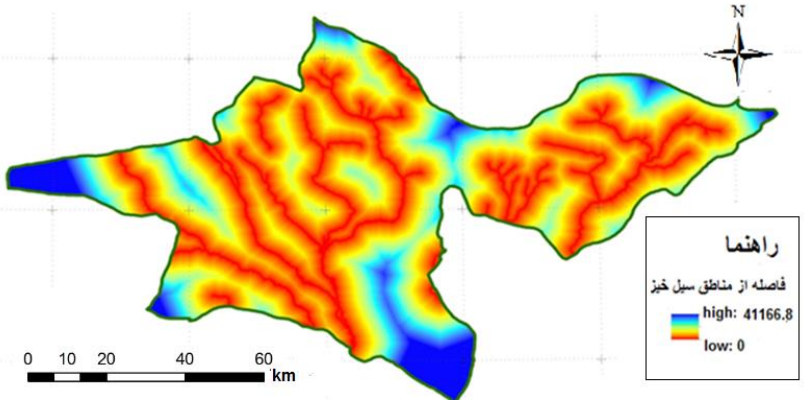
الف) حریم مجاز آب‌های سطحی: طبق قوانین، حریم انهار طبیعی، رودخانه‌ها، مسیل‌ها و برکه‌های طبیعی برای حفاظت کیفی تا ۱۵۰متر (تراز افقی) از منتهی‌الیه بستر خواهد بود که بنا به مورد و نوع مصرف و وضع رودخانه، نهر طبیعی و برکه، به وسیلهٔ وزارت نیرو یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌شود [۳۶]. شکل ۱۱ نقشهٔ معیار فاصله از آب‌های سطحی در استان تهران را نشان می‌دهد.

ب) حریم مجاز مناطق سیل‌خیز: معمولاً محل باید به دور از جریان سیل انتخاب شود، زیرا مواد حمل‌شده توسط سیلاب و گل‌ولای موجود در آن بسترها را در معرض خفگی قرار می‌دهد [۴۰]. تصفیه‌خانهٔ فاضلاب باید در مقابل سیل ۱۰۰ساله حفاظت شود. توصیه می‌شود پیش‌بینی‌های لازم به صورتی به عمل آید تا تصفیه‌خانه هنگام وقوع سیل ۲۵ ساله نیز کاملاً قابل بهره‌برداری باشد [۴۱]. حریم مناطق سیل‌خیز را یک هزار متر قرار داده است [۳۷]. آنچه در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود حریم مجاز مناطق سیل‌خیز در استان تهران است.

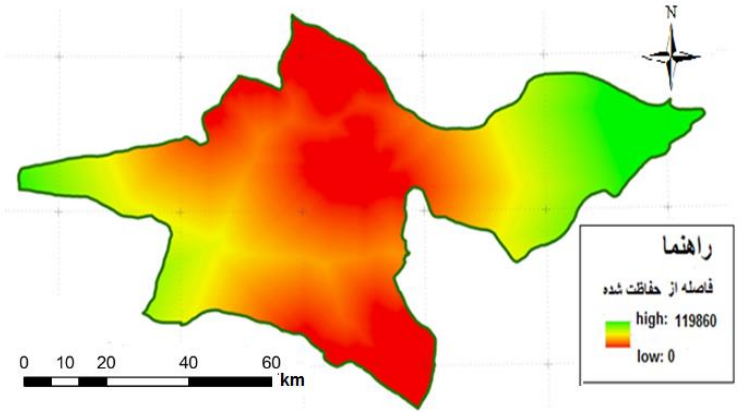
ج) حریم مجاز مناطق چهارگانهٔ محیط زیست: مناطق چهارگانهٔ سازمان حفاظت محیط زیست عبارت از پارک ملی، آثار طبیعی ملی، پناهگاه حیات وحش و منطقه حفاظت شده است و حداکثر فاصله‌ای که باید از این مناطق جهت استقرار واحدهای خدماتی رعایت شود، ۳ هزار متر است [۴۲]. شکل ۱۳ حریم این مناطق را در استان تهران نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. نقشهٔ معیار فاصله از آب‌های سطحی در استان تهران

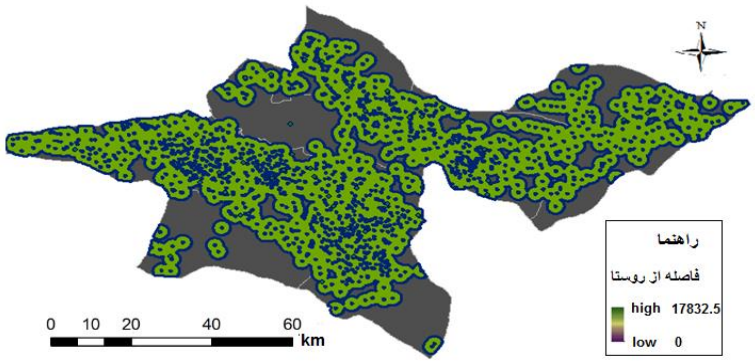


شکل ۱۲. نقشهٔ معیار فاصله از مناطق سیل‌خیز در استان تهران



شکل ۱۳. نقشهٔ معیار فاصله از مناطق چهارگانهٔ محیط زیست در استان تهران

موقعیت جغرافیایی روستا معیاری است که اطلاعات لازم برای تهیهٔ نقشهٔ میان معیارهای اجتماعی و اقتصادی را فراهم می‌سازد. موقعیت روستا یکی از معیارهای مهم انتخاب روستا است. به همین دلیل، روستاهایی که در مناطق باستانی و دیدنی واقع شده باشند و به دلیل درآمدزایی خوب از توسعه و از رشد خوبی در جنبه‌های مختلف از جمله افزایش جمعیت برخوردار باشند در اولویت قرار خواهند گرفت [۴۳]. شکل ۱۴ نقشهٔ معیار فاصله از روستا را نشان می‌دهد. این فاصله ۳۰۰ متر است.



شکل ۱۴. نقشهٔ معیار فاصله از روستا در استان تهران

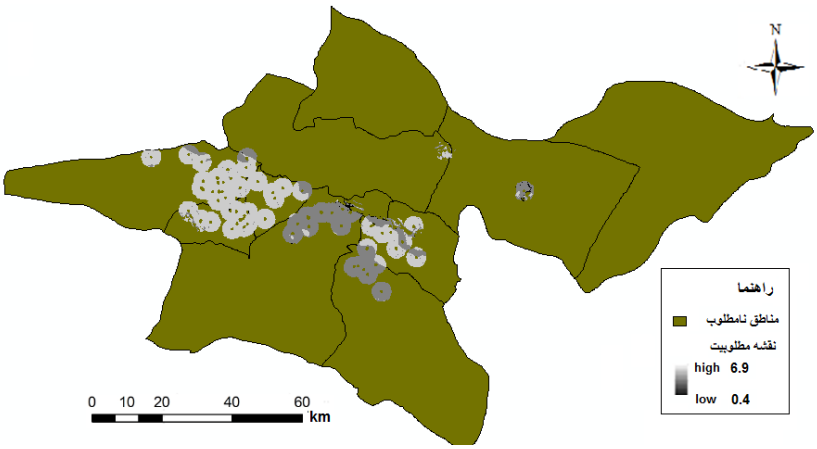
۵. نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعهٔ انجام‌شده در زمینهٔ امکان‌سنجی استفاده از وتلندها برای تصفیهٔ بیولوژیکی فاضلاب روستاهای تهران، مشهود است که فناوری وتلند به عنوان روشی مناسب برای مناطق روستایی پتانسیل بالایی دارد. استفاده از گیاهان و میکروارگانیسم‌های طبیعی در وتلندها امکان حذف مؤثر آلاینده‌ها از پساب را فراهم می‌کند و سلامت عمومی و حفاظت از محیط زیست را ارتقا می‌بخشد. طی مطالعه، مدل‌ها و روش‌های مختلفی از دو دیدگاه پژوهش‌های انجام‌شده در جهان و ایران جمع‌آوری و تحلیل شد. مدل‌های مفهومی مطابق با استانداردهای ایران و با در نظر گرفتن سه معیار اساسی فنی، اجتماعی-اقتصادی و محیطی طراحی شدند. سیستم‌های GIS در راستای طبقه‌بندی لایه‌های داده و تولید نقشه‌های به منظور ایجاد وتلند در روستاهای مختلف استفاده شد.

با استفاده از نقشه‌های مربوطه نقشهٔ مطلوبیت سرزمین به دست آمد که مناسب‌ترین محدوده‌ها را برای احداث وتلند معین می‌کند. شکل ۱۵ نقشهٔ نقاط مطلوب است.

یافته‌ها نشان می‌دهد تقریباً ۴۹ روستا که عمدتاً در نیمهٔ غربی استان تهران واقع شده‌اند، بیشترین پتانسیل را برای احداث وتلند نشان می‌دهند. از این تعداد، ۱۲ روستا از سوی ادارهٔ آب و فاضلاب روستایی استان تهران در اولویت اجرای سیستم‌های تصفیهٔ فاضلاب قرار گرفتند. سیستم وتلند به عنوان گزینهٔ مطلوب به منظور تصفیهٔ فاضلاب پیشنهاد شد. این تحقیق اهمیت فناوری وتلند را به عنوان یک رویکرد پایدار و به‌صرفه برای تصفیهٔ فاضلاب در محیط‌های روستایی و کشاورزی مطرح می‌کند. با اتخاذ این روش، روستاهای تهران می‌توانند شیوه‌های مدیریت پساب خود را بهبود بخشند و از سلامت انسان و محیط اطراف اطمینان حاصل کنند. اجرای وتلندها در روستاهای پیشنهادی، گامی ارزشمند در جهت ارتقای تأسیسات فاضلاب روستایی و زیرساخت‌های کلی استان تهران خواهد بود. مطالعات بیشتر و پایش مستمر در راستای ارزیابی اثربخشی و عملکرد بلندمدت وتلندها در این روستاها توصیه می‌شود. علاوه بر این، مشارکت جامعه و مدیریت جامع منابع آب روستایی به پذیرش و نگهداری موفق سیستم‌های وتلند، تقویت توسعهٔ پایدار و نظارت بر محیط زیست در منطقه کمک خواهد کرد.

در نهایت با توجه به اینکه موضوع وتلند در ایران نوین بوده و منابع اندکی در این زمینه موجود است، لذا محققان می‌توانند به صورت جدی در زمینهٔ وتلندها به تحقیق و پژوهش بپردازند. در این پژوهش، تعدادی از معیارهای مهم جهت انتخاب محل مناسب وتلند، مورد بررسی قرار گرفتند، با این‌حال پژوهشگران دیگر می‌توانند با ارائهٔ معیارهای دیگر نتایج دقیق‌تری را به دست آورند. معیارهای به‌دست‌آمده جهت امکان استفاده از وتلند را می‌توان به سایر روستاهای واجد شرایط در کشور نیز تعمیم داد.



شکل ۱۵. نقشهٔ نهایی مطلوبیت در امکان‌سنجی استفاده از وتلند در روستاهای استان تهران

منابع

[1]. Chheang L, Thongkon N, Sriwiriyarat T, Thanasupsin SP. Heavy Metal Contamination and Human Health Implications in the Chan Thnal Reservoir, Cambodia. Sustainability. 2021 Dec 7;13(24):13538.

[2]. Resende JD, Nolasco MA, Pacca SA. Life cycle assessment and costing of wastewater treatment systems coupled to constructed wetlands. Resour Conserv Recycl. 2019 Sep; 148:170–7.

[3]. Biggs J, von Fumetti S, Kelly-Quinn M. The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers. Hydrobiologia. 2017 Jun 1;793(1):3–39.

[4]. Gasco Cavero S, García-Gil A, Cruz-Pérez N, Martín Rodríguez LF, Laspidou C, Contreras-Llin A, et al. First emerging pollutants profile in groundwater of the volcanic active island of El Hierro (Canary Islands). Science of The Total Environment. 2023 May; 872:162204.

[5]. Li J, Lu X. Performance and Microbial Diversity in a Low-Energy ANF-WDSRBC System for the Post-Treatment of Decentralized Domestic Wastewater. Water (Basel). 2017 May 6;9(5):330.

[6]. Ma Y, Zhai Y, Zheng X, He S, Zhao M. Rural domestic wastewater treatment in constructed ditch wetlands: Effects of influent flow ratio distribution. J Clean Prod. 2019 Jul; 225:350–8.

[7]. Chen F, Yao Q. The Development of Rural Domestic Wastewater Treatment in China. Adv Mat Res. 2014 Dec;1073–1076:829–32.

[8]. Han Y, Ma J, Xiao B, Huo X, Guo X. New Integrated Self-Refluxing Rotating Biological Contactor for rural sewage treatment. J Clean Prod. 2019 Apr; 217:324–34.

[9]. Zhang DQ, Jinadasa KBSN, Gersberg RM, Liu Y, Ng WJ, Tan SK. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries – A review of recent developments (2000–2013). J Environ Manage. 2014 Aug; 141:116–31.

[10]. Lutterbeck CA, Kist LT, Lopez DR, Zerwes F V., Machado ÊL. Life cycle assessment of integrated wastewater treatment systems with constructed wetlands in rural areas. J Clean Prod. 2017 Apr; 148:527–36.

[11]. Zamora S, Sandoval L, Marín-Muñíz JL, Fernández-Lambert G, Hernández-Orduña MG. Impact of Ornamental Vegetation Type and Different Substrate Layers on Pollutant Removal in Constructed Wetland Mesocosms Treating Rural Community Wastewater. Processes. 2019 Aug 12;7(8):531.

[12]. Sandoval L, Marín-Muñiz JL, Zamora-Castro SA, Sandoval-Salas F, Alvarado-Lassman A. Evaluation of Wastewater Treatment by Microcosms of Vertical Subsurface Wetlands in Partially Saturated Conditions Planted with Ornamental Plants and Filled with Mineral and Plastic Substrates. Int J Environ Res Public Health. 2019 Jan 9;16(2):167.

[13]. Marín-Muñiz JL, Sandoval Herazo LC, López-Méndez MC, Sandoval-Herazo M, Meléndez-Armenta RÁ, González-Moreno HR, et al. Treatment Wetlands in Mexico for Control of Wastewater Contaminants: A Review of Experiences during the Last Twenty-Two Years. Processes. 2023 Jan 23;11(2):359.

[14]. Vymazal J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. Hydrobiologia. 2011 Oct 17;674(1):133–56.

[15]. Moreira FD, Dias EHO. Constructed wetlands applied in rural sanitation: A review. Environ Res. 2020 Nov; 190:110016.

[16]. Jia L, Sun H, Zhou Q, Zhao L, Wu W. Pilot-scale two-stage constructed wetlands based on novel solid carbon for rural wastewater treatment in southern China: Enhanced nitrogen removal and mechanism. J Environ Manage. 2021 Aug; 292:112750.

[17]. Hdidou M, Necibi MC, Labille J, El Hajjaji S, Dhiba D, Chehbouni A, et al. Potential Use of Constructed Wetland Systems for Rural Sanitation and Wastewater Reuse in Agriculture in the Moroccan Context. Energies (Basel). 2021 Dec 27;15(1):156.

[18]. Shan D, Jiang H, Dai Y. Selection and evaluation of rural wastewater treatment technology in arid regions of Northwest China. Desalination Water Treat. 2022; 254:57–70.

[19]. Cao X, Jiang L, Zheng H, Liao Y, Zhang Q, Shen Q, et al. Constructed wetlands for rural domestic wastewater treatment: A coupling of tidal strategy, in-situ bio-regeneration of zeolite and Fe(II)-oxygen denitrification. Bioresour Technol. 2022 Jan; 344:126185.

[20]. Mandi L, Ouazzani N, Aziz F. Constructed Wetlands as a Green and Sustainable Technology for Domestic Wastewater Treatment Under the Arid Climate of Rural Areas in Morocco. In 2022. p. 1–20.

[21]. Long Y, Zhou Z, Yin L, Wen X, Xiao R, Du L, et al. Microplastics removal and characteristics of constructed wetlands WWTPs

in rural area of Changsha, China: A different situation from urban WWTPs. Science of The Total Environment. 2022 Mar; 811:152352.

[22]. Wang S, Teng Y, Cheng F, Lu X. Application Potential of Constructed Wetlands on Different Operation Mode for Biologically Pre-Treatment of Rural Domestic Wastewater. Sustainability. 2023 Jan 17;15(3):1799.

[23]. Wu H, Wang R, Yan P, Wu S, Chen Z, Zhao Y, et al. Constructed wetlands for pollution control. Nat Rev Earth Environ. 2023 Mar 14;4(4):218–34.

[24]. Retta B, Coppola E, Ciniglia C, Grilli E. Constructed Wetlands for the Wastewater Treatment: A Review of Italian Case Studies. Applied Sciences. 2023 May 18;13(10):6211.

[25]. Hendy I, Zelenakova M, Pietrucha-Urbanik K, Salama Y, Abu-hashim M. Decentralized Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Rural and Remote Areas of Semi-arid Regions. Water (Basel). 2023 Jun 18;15(12):2281.

[26]. Sandoval Herazo LC, Marín-Muñiz JL, Alvarado-Lassman A, Zurita F, Marín-Peña O, Sandoval-Herazo M. Full-Scale Constructed Wetlands Planted with Ornamental Species and PET as a Substitute for Filter Media for Municipal Wastewater Treatment: An Experience in a Mexican Rural Community. Water (Basel). 2023 Jun 18;15(12):2280.

[27]. Moghaddasi M, Morid S, Ghaemi G, Samani M. Evaluation and Daily Monitoring of Drought in Tehran Province 2002;1(36):51-62. Agricultural Sciences. 2002; [Persian]

[28]. Salari H, Hassani A, Borghei M, Yazdanbakhsh AR, Rezaei H. Investigation of Performance Wetland In Removal N and P In Wastewater Treatment (Case Study:Morad Tapeh). Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab [Internet]. 2012;23(3):40–7. [Persian]

[29]. Tashauee HR, Mahdavi M, Karakani F, Ghelmani SV, Ataifar H. Application of horizontal sub-surface flow constructed wetland for treatment of wastewater in foreign countries and Iran. Journal of Health System Research. 2012;7(6):22–34. [Persian]

[30]. Vallée R, Dousset S, Schott FX, Pallez C, Ortar A, Cherrier R, et al. Do constructed wetlands in grass strips reduce water contamination from drained fields? Environmental Pollution. 2015 Dec; 207:365–73.

[31]. Verhoeven JTA, Meuleman AFM. Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. Ecol Eng. 1999 Jan;12(1–2):5–12.

[32]. Malczewski J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. 2nd ed. New York: john wiley & sons; 1999.

[33]. Shaghaghi F. Environmental impact assessment studies conducted using weighted linear combination method. natural resources engineering; 2010. [Persian]

[34]. Sadeghi A, Khorasani N, Danehkar A, Ardakani T. Environmental sitting thermal power plant according to Boolean and Index overlay models (Case study: Chabahar town). Journal of Natural Environment [Internet]. 2011;64(1):43–54. [Persian]

[35]. Solution for Advancement of Rural Sewage Systems. 2008. [Persian]

[36]. Phase one study of wastewater treatment plant in Aliabad, Islamshahr village. 2012. [Persian]

[37]. Yousefi Z, Mohseni A, Ghiasoddin M, Naseri S, Shakari M, Vaezi F. The Role of Gladiolus Plants in Bacteria Removal from Subsurface Wastewater in Wetland Systems. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2001;31(11):7–15. [Persian]

[38]. Rahmani-Sani A. Comparison of treatability of wastewater in tropical regions by stabilization ponds and artificial wetlands based on technical and economic criteria. Mazandaran University; 2000. [Persian]

[39]. Slimi M. urban wastewater treatment using artificial wetlands with various length-to-width ratios. Tarbiat Modares University; 1998. [Persian]

[40]. Rahmani-Sani. A. Comparison of treatability of wastewater in tropical regions by stabilization ponds and artificial wetlands based on technical and economic criteria [Bachelor’s thesis]. ;. Mazandaran University; 2010. [Persian]

[41]. Technical regulations for the investigation and approval of urban wastewater treatment plant projects. 1993. [Persian]

[42]. Sha’ari A, Rahmati A. Laws, regulations, environmental standards and guidelines for human environment. 1st ed. Tehran: Hekmat; 2012. [Persian]

[43]. Ghaderi A. Using Artificial Wetlands for Natural Treatment of Municipal Wastewater. In Isfahan: In: Proceedings of the 3rd National Conference on Water and Wastewater Industry Issues,Isfahan University of Medical Sciences; 1997. [Persian]