

# رویکرد راهبردی استفاده از آب‌های نامتعارف در اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران

آزاده صالحی\*

## کمبود منابع آبی و استفاده از آب‌های نامتعارف

منابع آبی به‌عنوان یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی و سرمایه‌های ملی هر کشور، نقش مهمی را در توسعه پایدار آن کشور ایفا می‌کنند. کشور ما یکی از مناطق کم باران جهان است، به طوری که متوسط بارندگی در آن به حدود یک سوم متوسط جهانی می‌رسد که توزیع همین مقدار بارندگی ناچیز نیز نامتعادل و نامتوازن است، بنابراین بیشتر مناطق کشور با تنش در منابع آبی روبه‌رو است.

همچنین بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به‌عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده آب در مناطق خشک، سبب افت شدید کمی و کیفی سطح آب سفره‌های زیرزمینی شده است. از این رو حفاظت از منابع آب و استفاده مطلوب از این منابع در کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



شکل ۱- رواناب جاری در اراضی جنوب تهران

آب‌های نامتعارف، جمع‌آوری و تصفیه آنها از اهمیت زیادی برخوردار بوده و استفاده از آنها نیازمند اعمال سیاست‌های مدیریتی و حفاظتی ویژه‌ای است. مطالعه و بررسی اسناد و شواهد تاریخی نشان می‌دهد استفاده از آب‌های نامتعارف قدمت ۵۰۰۰ ساله دارد. آثار سیستم جمع‌آوری فاضلاب در کاخ‌های قدیمی در چین و هدایت فاضلاب‌ها به حومه شهر و مزارع، این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد (Angelakis & Spyridakidis, 1996). انتشار رهنمودهای استفاده از آب‌های نامتعارف به‌ویژه از دیدگاه بهداشتی، توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) در سال ۱۹۸۹ و آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) و دفتر توسعه بین‌المللی آمریکا در سال ۱۹۹۲ از اقدامات اساسی است که برای

استفاده از آب‌های نامتعارف در سطح بین‌المللی انجام شده است. بازیافت آب‌های نامتعارف، بازچرخانی و استفاده دوباره از آنها در آبیاری می‌تواند از جمله راهکارهای موجود برای کاهش فشار بر منابع آب شیرین باشد. اما نباید این واقعیت را از نظر دور داشت که استفاده از آب‌های نامتعارف به دلیل بالا بودن غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین و بار میکروبی آن می‌تواند برهم‌زننده بوم‌سازگان نیز باشد.

## منابع آب‌های نامتعارف کلان‌شهر تهران

جمعیت روبه‌رشد شهر تهران و انتقال آب از حوضه‌های مجاور، سبب تولید حجم قابل توجه پساب و رواناب‌های سطحی در این شهر شده است. آب‌های نامتعارف تولید شده در کلان‌شهر تهران از

از آنجایی که اکثر فعالیت‌های انجام شده با آب منجر به تولید فاضلاب می‌شود، منابع آب بالقوه‌ای وجود دارد که به‌طور پیوسته بر حجم آنها اضافه می‌شود. فاضلاب یا آب نامتعارف، آب مصرف شده و زایدی است که در هر منطقه دارای ترکیبات متغیری است. پارامترهای عمده آب نامتعارف شامل مواد جامد، مواد آلی، مواد غذایی، فلزات سنگین، نمک‌ها و عوامل بیماری‌زا است که مقدار نسبی ترکیبات فوق در فاضلاب‌های شهری و صنعتی متفاوت است. در تعریف دیگر، فاضلاب خام، فاضلابی است که مراحل تصفیه را طی نکرده باشد، در مقابل فاضلاب تصفیه شده برای استفاده دوباره در معرض انواع تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی قرار گرفته است (صالحی، ۱۳۸۶). با توجه به وجود انواع آلودگی‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی در

\* استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: az.salehi@riff-ac.ir



دو منبع اصلی: (۱) رواناب‌های سطحی شهر تهران و (۲) پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های شهر تهران ناشی می‌شود.

### رواناب‌های سطحی شهر تهران

رواناب‌های سطحی شهر تهران از مناطق شمالی تهران سرچشمه می‌گیرند و سه شاخه اصلی دارند که به ترتیب از شرق به غرب، شامل رودخانه‌های سرخه‌حصار، فیروزآباد و کن است. این شاخه‌ها پس از عبور از مناطق شهری و جمع‌آوری پساب و رواناب‌های شهری به رودخانه جاجرود متصل و در نهایت به دریاچه نمک ختم می‌شوند. رودخانه‌های سرخه‌حصار و کن دارای جریان‌های کوهستانی و شهری بوده، در حالی که رودخانه فیروزآباد فقط شامل جریان‌های شهری است. بنابراین رواناب سطحی شهر تهران ترکیبی از آوردهای کوهستانی و شهری و بخشی از فاضلاب‌های مسکونی و صنعتی است. در جدول ۱ متوسط حجم این رواناب‌های سطحی در سال براساس سه شاخه اصلی آمده است. مجموع کل رواناب‌های سطحی شهر تهران در شرایط کنونی ۳۶۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است (حیدری، ۱۳۹۷). در نهایت رواناب‌های سطحی شهر تهران به اراضی جنوبی تهران می‌رسند (شکل ۱) و در مقیاس وسیع توسط کشاورزان برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق اعداد و ارقام منتشر شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، جنوب پایتخت دارای ۷۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی و صیفی است که حدود ۴۰ درصد از این اراضی با آب‌های نامتعارف و آلوده و ۶۰ درصد از آنها با آب چاه و زیرزمینی سالم آبیاری می‌شوند. به طوری که هم‌اکنون ۱۵ هزار هکتار از اراضی شهرستان ری، ۱۴ هزار هکتار از اراضی ورامین و یک هزار هکتار از اراضی قرچک متأثر از این آب‌های نامتعارف است (بی‌نام، ۱۳۹۷).

### پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های شهر تهران

شهر تهران دارای شش تصفیه‌خانه فاضلاب محلی و یک تصفیه‌خانه فاضلاب اصلی است. براساس طرح جامع جمع‌آوری فاضلاب تهران، متوسط سرانه پساب تولیدی معادل ۲۰۲ لیتر برای هر نفر در شبانه‌روز است (حیدری، ۱۳۹۷). پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های محلی بیشتر در آبیاری فضای سبز آن منطقه استفاده می‌شود.

تصفیه‌خانه فاضلاب اصلی شهر تهران در شهری، مجاور روستای عمادآور در زمینی به مساحت ۱۱۰ هکتار واقع شده است. این تصفیه‌خانه مناطق جنوبی تهران و مناطق فاقد تصفیه‌خانه محلی را پوشش می‌دهد (شکل ۲). با توجه به اطلاعات به دست آمده، میزان پساب تولیدی در این تصفیه‌خانه تقریباً معادل ۱۵۰ میلیون مترمکعب در سال است. با در نظر گرفتن ضریب ۲۰ درصد هدر رفت فاضلاب

در سیستم جمع‌آوری و محل تصفیه‌خانه، می‌توان عددی برابر ۱۲۰ میلیون مترمکعب را در سال برای پساب تولیدی این تصفیه‌خانه در نظر گرفت (صالحی، ۱۳۹۹). در حال حاضر پساب تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب به‌طور عمده به دشت ورامین منتقل و در اراضی کشاورزی آن منطقه استفاده می‌شود.

### کیفیت رواناب‌های سطحی شهر تهران

از آنجایی که پساب تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران، پساب شهری تصفیه‌شده است و به علت کنترلی که بر روی آن وجود دارد عمدتاً آلودگی کمتری نسبت به رواناب‌های سطحی دارد، رواناب‌های سطحی شهر تهران که در رده فاضلاب‌های خام قرار می‌گیرند از نظر کیفی مورد بررسی قرار گرفت.

اراضی جنوب تهران قطب اصلی تولید سبزی و صیفی محسوب می‌شود و از سالیان دور رواناب‌های سطحی شهر تهران به این اراضی هدایت شده و منبع تغذیه و آبیاری مزارع این منطقه بوده است. کیفیت این آب‌های نامتعارف همواره مورد توجه پژوهشگران و کارشناسان بوده و کم‌وبیش مطالعاتی روی آنها انجام شده است. بررسی کیفیت رواناب جاری در نهر فیروزآباد در سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۱ نشان داد این رواناب دارای محدودیت‌های شیمیایی و بهداشتی برای استفاده مجدد در کشاورزی است. با توجه به تعطیلی برخی از کارگاه‌های صنعتی داخل شهر و انتقال صنایع مزاحم و آلاینده به بیرون از محدوده شهری، در سال ۱۳۷۵ مطالعه دیگری روی کیفیت این رواناب انجام شد. نتایج این بررسی، روند بهبود کیفیت این رواناب را نشان داد. به طوری که از نظر غلظت فلزات سنگین، محدودیتی در استفاده از این آب نامتعارف برای آبیاری محصولات کشاورزی گزارش نشد. اما نتایج بررسی‌های میکروبی نشان داد از لحاظ بهداشتی همچنان استفاده از این آب نامتعارف برای آبیاری محصولات کشاورزی محدودیت دارد (تجریشی، ۱۳۷۷).

در مطالعه سهیلی (۱۳۷۳)، با توجه به استانداردهای ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست کشور که در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی زیاد است، نهر فیروزآباد هیچ‌گونه آلودگی از نظر عناصر سنگین مورد بررسی نداشت. همچنین مقایسه سطح فلزات سنگین موجود در رواناب جاری در سه کانال سرخه‌حصار، کن و عمادآور شهر تهران با مقادیر مجاز آب آبیاری در مطالعه Nabizadeh و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد تنها غلظت فلز کادمیم از مقدار مجاز توصیه شده برای آب آبیاری بیشتر است و فلزات سرب، نیکل، روی و مس در محدوده مجاز آب آبیاری هستند.

در مطالعه دیگری، نتایج پایش کیفی رواناب جاری در کانال‌های

جدول ۱- متوسط حجم رواناب‌های سطحی شهر تهران در شرایط کنونی

مجموع	کن	سرخه‌حصار	فیروزآباد	رودخانه
۳۶۳	۲۵/۵	۱۹۶	۱۴۱/۵	متوسط حجم رواناب (میلیون مترمکعب در سال)



شکل ۲- تصاویری از پساب تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران

آلودگی خاک کلان‌شهر تهران مؤثر هستند. یکی از منابع مهم آلودگی خاک در اراضی کشاورزی جنوب تهران، استفاده از رواناب‌های سطحی به‌منظور آبیاری است. با توجه به آبیاری درازمدت اراضی کشاورزی جنوب تهران با آب‌های نامتعارف، آلودگی خاک با عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین تبدیل به یک تهدید محیط‌زیستی شده است. وجود آلاینده‌های زیانباری چون فلزات سنگین در خاک سبب کاهش کیفیت خاک و انتقال آنها به زنجیره غذایی انسان و حیوانات می‌شود و در درازمدت آثار مخربی را در پی خواهد داشت.

در مطالعات متعددی به موضوع آلودگی خاک اراضی کشاورزی جنوب تهران اشاره شده است. سهیلی (۱۳۷۳) در مطالعه خود نشان داد با توجه به استفاده طولانی‌مدت از فاضلاب نهر فیروزآباد به‌منظور آبیاری خاک‌های منطقه جنوب تهران، میزان فلزات سنگین سرب، کادمیم، نیکل و سرب در این خاک‌ها بیشتر از حد استاندارد بوده است. مردانی و همکاران (۱۳۸۹) نیز با بررسی آلودگی خاک‌های منطقه جنوب تهران در مسیر رواناب‌های سطحی گزارش کردند به‌طورکلی غلظت فلزات سنگین در بافت خاک از غرب به شرق و از شمال به جنوب محدوده مورد مطالعه روند افزایشی داشته که روند تغییرات غلظت به‌ویژه در اراضی جنوبی که رواناب‌ها به میزان بیشتری برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود، از شدت بیشتری برخوردار بوده است. ایشان اظهار داشتند کاربرد وسیع رواناب‌های سطحی در آبیاری

فیروزآباد و سرخه‌حصار در محل ورود به مزرعه نشان داد، اگرچه این آب‌ها حاوی مقادیر زیادی ازت، نیترات، فسفات و سایر عناصر غذایی و تقویت‌کننده خاک هستند، اما این رواناب‌ها به‌ویژه رواناب جاری در کانال فیروزآباد از نظر بهداشتی مناسب آبیاری محصولات کشاورزی نیست (فصیحی، ۱۳۹۳). یزدانبخش و همکاران (۱۳۹۴) نیز با بررسی مشخصه‌های کیفی رواناب سطحی کانال فیروزآباد شهر تهران برای مصارف آبیاری گزارش کردند که این آب از نظر کیفیت شیمیایی در رده متوسط قرار دارد و با توجه به نتایج به دست آمده در مورد محدودیت‌های فیزیکی و خطرات بهداشتی مرتبط با خصوصیات میکروبی و برخی از فلزات سنگین نظیر نیکل، استفاده مستقیم از این رواناب در آبیاری اراضی کشاورزی توصیه نمی‌شود.

### آلودگی خاک اراضی کشاورزی جنوب تهران

متأسفانه با توجه به تمرکز بر موضوعات آلودگی هوا و کمبود منابع آبی، توجهی به آلودگی خاک نشده است. اما واقعیت این است که خاک بستر حیات است و نباید فعالیت‌های محیط‌زیستی تنها محدود به آلودگی هوا شود. در کلان‌شهر تهران، از سالیان پیش آلودگی خاک به‌ویژه در اراضی کشاورزی جنوب شهر از مسائل نگران‌کننده محیط‌زیستی بوده است. منابع متعددی چون صنایع آلاینده کوچک و بزرگ، پالایشگاه‌ها، مراکز دفن زباله و آب‌های نامتعارف در



زمین‌های کشاورزی جنوب تهران می‌تواند یکی از دلایل تجمع فلزات سنگین در بافت خاک‌های این منطقه باشد. بنابراین برای جلوگیری از افزایش غلظت و تشدید آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین، لازم است برای تصفیه و انتقال این رواناب‌ها با کانال‌های بهسازی شده و عدم استفاده از رواناب‌های تصفیه نشده در اراضی کشاورزی اقدامات جدی انجام شود. یافته‌های حاصل از بررسی منابع و پیامدهای جریان فاضلاب‌های شهری و صنعتی در روستاهای بخشی از حریم جنوبی تهران توسط فصیحی (۱۳۹۳) نشان از نابودی ظرفیت اکوتوریستی منطقه، آلودگی محصولات کشاورزی و دامی و گسترش نی‌زارها در اثر جریان آب‌های آلوده در منطقه و استفاده از آنها در امر آبیاری داشت. در مطالعه دیگری، باقری و همکاران (۱۳۹۶)، با ارزیابی خطر محیط‌زیستی فلزات سنگین خاک اراضی کشاورزی جنوب تهران با استفاده از شاخص‌های آلودگی گزارش کردند ۸۶ درصد از نمونه‌های خاک مورد مطالعه از نظر شاخص‌های آلودگی، آلوده به فلز سنگین سرب بودند. همچنین عباسی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی توزیع فلزات سنگین نیکل و سرب در خاک اراضی کشاورزی آبیاری شده با پساب در جنوب تهران با استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های زمین آماری، نشان دادند که بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به نواحی بود که آبیاری به‌طور عمده با پساب خام انجام می‌شد. مقایسه غلظت فلزات سنگین با مقدار استاندارد نیز نشان داد که فلز سنگین سرب در این اراضی بالاتر از مقادیر مجاز است.

درختی، گونه‌های متعلق به خانواده Salicaceae از قبیل صنوبرها و بیدها نه تنها به دلیل تولید زی‌توده بالا، سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده و جذب بالای آب (Bitts'anszky *et al.*, 2009)، بلکه به دلیل مقاومت و ظرفیت انباشت بالای فلزات، گزینه‌های ایده‌آلی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین هستند (Pulford & Dickinson, 2005; Utmazian *et al.*, 2007). در واقع با توجه به ماهیت دوگانه آب‌های نامتعارف به‌عنوان یک منبع تأمین آب و نیز یک منبع کودی و نقش منفی آن به‌عنوان یک آلاینده (Rattan *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2007)، بازیافت آنها در زراعت چوب می‌تواند از چند جنبه سودمند باشد: (۱) جلوگیری از ورود آلودگی‌های میکروبی و فلزی به زنجیره غذایی انسان و در نتیجه کاهش عواقب ناشی از بی‌توجهی به سلامت عمومی جامعه، (۲) توسعه زراعت چوب و تأمین بخشی از نیاز چوبی کشور، (۳) افزایش تولید زی‌توده گیاهی با توجه به بالا بودن سطح عناصر غذایی در آب‌های نامتعارف، (۴) جذب فلزات سنگین مضر از خاک توسط یک سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته حاصل از درخت‌کاری که می‌تواند کاهش آلاینده‌های خاک را به دنبال داشته باشد، (۵) بهره‌گیری از کارکردهای محیط‌زیستی درختان و (۶) مدیریت آب‌های نامتعارف و جلوگیری از مصرف آنها در بخش کشاورزی.

### اهمیت استفاده از آب‌های نامتعارف در زراعت چوب

میانگین مصرف سرانه چوب در دنیا ۰/۳ مترمکعب در سال، در کشورهای توسعه‌یافته ۰/۷ مترمکعب در سال و در ایران کمتر از ۰/۲ مترمکعب در سال برآورد شده است. با وجود مصرف کم سرانه چوب کشور در مقایسه با میانگین دنیا، عرصه‌های جنگلی کشور در معرض خطر و تخریب جدی است. همچنین با توجه به اجرای برنامه توقف بهره‌برداری چوبی از جنگل‌های طبیعی شمال کشور و کمبود مواد اولیه صنایع چوبی، یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین راهکارها برای برون‌رفت از بحران تخریب و نابودی بیشتر جنگل‌های باقی‌مانده، توسعه زراعت چوب در کشور است (مدیررحمتی، ۱۳۹۵). از آنجایی‌که کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده توسعه زراعت چوب در کشور است، می‌توان از پساب‌های شهری و صنعتی در چهارچوب برنامه‌های پایش و کنترل مستمر برای توسعه زراعت چوب در کشور استفاده کرد.

از طرف دیگر کشت محصولات کشاورزی در خاک‌های آبیاری شده با آب‌های نامتعارف می‌تواند منجر به ورود فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا به زنجیره غذایی انسان شود. بنابراین یکی از گزینه‌های مهم، کاشت درختان سریع‌الرشد غیرمثمر با هدف زراعت چوب در این اراضی است که در این صورت درختان سریع‌الرشد می‌توانند از طریق فرآیند گیاه‌پالایی سهم بسزایی در کاهش آلودگی خاک نیز داشته باشند. به‌طوری‌که تحقیقات نشان داده است در بین گونه‌های

### مطالعه موردی: بررسی میزان آلاینده‌های آب نامتعارف و خاک تحت کشت صنوبر با فلزات سنگین در اراضی جنوب تهران

اگرچه در سال‌های اخیر تمهیداتی برای منع استفاده از آب‌های نامتعارف برای آبیاری محصولات در اراضی کشاورزی جنوب تهران اتخاذ شده است، اما متأسفانه همچنان بخش وسیعی از اراضی کشاورزی این منطقه متأثر از آب‌های نامتعارف است. در چنین شرایطی یکی از راهکارهای موجود، تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی مورد مصرف مستقیم انسان به توسعه زراعت چوب و صنوبرکاری در این اراضی است که با توجه به موانع اقتصادی و اجتماعی موجود، این مهم نیاز به همکاری‌های چند جانبه دارد. در سال ۱۳۹۳ با همکاری مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، جهاد کشاورزی استان تهران و انجمن صنفی کارفرمایان صنایع چوب و کاغذ ایران، برنامه تغییر الگوی کشت به زراعت چوب در اراضی کشاورزی جنوب تهران شروع شد. طی جلسات متعدد با کشاورزان منطقه، تعدادی از کشاورزان موافقت و همکاری خود را نسبت به کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در اراضی متأثر از آب‌های

به طوری که بعد از گذشت ۵ سال، میانگین ارتفاع و قطر در ارتفاع برابر سینه درختان صنوبر به ترتیب ۱۱/۲۲ متر و ۱۰/۸۹ سانتی متر بود. شکل ۳ توده های صنوبرکاری آبیاری شده با آب های نامتعارف را نشان می دهد. بنابراین در صورت حمایت کشاورزان منطقه، تغییر الگوی کشت به زراعت چوب می تواند در طی چند سال انجام شود. از آنجایی که استفاده از آب های نامتعارف حتی در آبیاری گونه های غیرمثمر نیز باید با رعایت ملاحظات محیط زیستی همراه باشد، در پروژه یادشده، میزان آلاینده های آب نامتعارف استفاده شده و خاک اراضی تحت کشت صنوبر با فلزات سنگین، مطالعه و بررسی شد.

نامتعارف و در مقابل اختصاص زمین به صنوبرکاری اعلام کردند.

در همین راستا، ۳۰ هکتار از اراضی کشاورزی جنوب تهران به صنوبرکاری با آب های نامتعارف اختصاص یافت. طی یک پروژه تحقیقاتی مصوب مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، برخی از صنوبرکاری های متأثر از آب های نامتعارف طی یک دوره پنج ساله بررسی شدند. نتایج به دست آمده نشان داد درختان صنوبر آبیاری شده با آب نامتعارف از رشد بسیار خوبی برخوردار بودند.



شکل ۳- توده های صنوبرکاری آبیاری شده با آب های نامتعارف در اراضی کشاورزی جنوب تهران



شکل ۴- ورود فاضلاب کارگاهی به کانال آبیاری

براساس فاکتور آلودگی که غلظت فلز سنگین در خاک مورد مطالعه را نسبت به میانگین جهانی و متداول غلظت فلز سنگین در خاک‌های طبیعی و دست‌نخورده (Kabata- Pendias, 2011) می‌سنجد، فلزات سنگینی چون روی، منگنز، نیکل، کروم، سرب، کادمیم، آرسنیک، باریم، قلع، آنتیموان و لیتیموم دارای آلودگی متوسط و فلزات سنگین مس، جیوه، نقره و استرانسیم دارای آلودگی قابل توجه در نمونه خاک‌های مورد مطالعه بودند.

از نظر درجه آلودگی که مجموع فاکتور آلودگی فلزات سنگین اندازه‌گیری شده است، نمونه خاک‌های مورد مطالعه دارای درجه آلودگی بالایی بودند. همچنین ارزیابی شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین با توجه به شاخص بار آلودگی نیز نشان داد خاک‌های مطالعه شده در گروه خاک‌های آلوده قرار دارند.

در نهایت محاسبه شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (در این شاخص علاوه بر غلظت فلز سنگین در خاک، میزان سمیت بیولوژیکی فلز سنگین نیز دخالت دارد) نشان داد که نمونه خاک‌های مورد مطالعه از نظر این شاخص دارای ریسک متوسط تا قابل توجه از نظر آلودگی به فلزات سنگین می‌باشند.

### سخن آخر

اکثر کلان‌شهرهای ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند و در همه این کلان‌شهرها کمبود آب، بحران امروز و تهدیدی جدی برای آینده به شمار می‌رود. از سوی دیگر، سالانه حجم وسیعی از پساب‌های شهری و صنعتی در مناطق شهری و صنعتی کشور تولید می‌شود. منطقی‌ترین راه، جمع‌آوری و مدیریت آب‌های نامتعارف تولیدی و استفاده از آنها در مصارف مجازی به جز مصارف شرب است. در دهه‌های اخیر بخش وسیعی از پساب‌های آلوده به‌منظور آبیاری اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به

نتایج حاصل از بررسی آب‌های نامتعارف استفاده شده در منطقه که از رواناب‌های جاری در کانال‌های سرخه‌حصار و فیروزآباد تغذیه می‌شوند و مقایسه آنها با استانداردهای EPA، FAO و سازمان محیط‌زیست ایران نشان داد که به‌طورکلی این آب از نظر EC، pH، غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین در محدوده مجاز آب آبیاری است. اما همان‌طورکه در مطالعات متعدد نیز بیان شده است این آب از نظر بهداشتی برای آبیاری محصولات مورد مصرف مستقیم انسان به‌ویژه سبزیجات و صیفی‌جات به‌هیچ‌وجه توصیه نمی‌شود. بررسی‌های میدانی اراضی جنوب شهر تهران نشان داد فاضلاب برخی از کارگاه‌ها نیز به‌صورت موردی به کانال‌های آبیاری وارد می‌شوند (شکل ۴). به گفته ساکنان منطقه، میزان ورودی این فاضلاب‌های کارگاهی در برخی از ساعات شبانه‌روز بسیار زیاد است.

نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی یکی از این فاضلاب‌های کارگاهی نشان داد که غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کروم، لیتیموم، مولیبدن، نیکل، ربیدیم، آنتیموان و استرانسیم و همچنین عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و سولفور بسیار بالا بود. بنابراین در برخی از ساعات شبانه‌روز می‌تواند حجم زیادی از این عناصر به همراه آب آبیاری وارد اراضی کشاورزی و در نتیجه محصولات تحت کشت منطقه شود.

در این پروژه، غلظت بیش از ۵۰ فلز سنگین در خاک اراضی تحت کشت صنوبر (در ۳ منطقه مورد مطالعه) که سالیان متمادی متاثر از آب‌های نامتعارف و زیر کشت محصولات کشاورزی بوده‌اند، تعیین شد. در ادامه میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین با توجه به فاکتورها و شاخص‌های آلودگی نظیر فاکتور آلودگی (Contam- ination Factor)، درجه آلودگی (degree of contamination)، شاخص بار آلودگی (Pollution Lead Index) و شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (potential ecological risk index) بررسی و ارزیابی شد (Maanan et al., 2014; Rinklebe et al., 2019).

احتمال انتقال آلودگی‌های میکروبی و فلزی به زنجیره غذایی انسان، تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به محصولاتی که وارد زنجیره غذایی انسان نمی‌شوند، بدهی است.

متأسفانه اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران سالیان متمادی متأثر از آب‌های نامتعارف جاری در منطقه بوده و در معرض آلودگی‌های میکروبی و فلزات سنگین قرار گرفته است. نتایج مطالعه موردی انجام شده نیز حاکی از آلودگی خاک اراضی کشاورزی جنوب تهران با فلزات سنگین است. با توجه به کشت محصولات کشاورزی متعدد (گندم، جو، ذرت، یونجه و ...) در این اراضی و آبیاری با آب نامتعارف آلوده، سلامت مصرف‌کنندگان این محصولات در معرض خطر و آسیب جدی است. بنابراین ضرورت دارد مواردی همچون: (۱) تمهیداتی برای مدیریت آب‌های نامتعارف جاری در منطقه، (۲) منع جدی استفاده از آب‌های نامتعارف برای آبیاری محصولات کشاورزی و (۳) حمایت کشاورزان منطقه برای تغییر الگوی کشت به گزینه‌های مناسب دیگر مانند زراعت چوب در برنامه کار دولت قرار گیرد. در واقع، با توجه به اهمیت آب در صنوبرکاری از یک سو و محدودیت شدید منابع آبی از سوی دیگر، ضرورت استفاده از آب‌های نامتعارف برای توسعه سطح زراعت چوب در کشور انکارناپذیر است. در صورت محقق شدن این امر، ضمن تولید چوب در سطوح وسیعی از اراضی با پتانسیل توسعه زراعت چوب و بهره‌گیری از کارکردهای محیط‌زیستی درختان، می‌توان برای مدیریت آب‌های نامتعارف و جلوگیری از مصرف آنها در اراضی کشاورزی گام‌های بلندی برداشت. همچنین نتایج یک پروژه تحقیقاتی نشان داد با در نظر گرفتن پتانسیل پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب و رواناب‌های سطحی هدایت شده به سمت اراضی جنوب شهر تهران، می‌توان ۳۵ هزار هکتار از اراضی این منطقه را تحت پوشش زراعت چوب درآورد (صالحی، ۱۳۹۹). توجه به این نکته نیز بسیار مهم است که استفاده از آب‌های نامتعارف در هر حالتی باید از نظر اقتصادی موجه و از نظر محیط‌زیستی قابل پذیرش باشد.

#### منابع:

باقری، ی. ر.، مسکینی ویشکایی، ف.، محمداسماعیل، ز.، سعادت، س. و رضایی، ح.، ۱۳۹۶. ارزیابی و بهینه‌بندی خطر زیست‌محیطی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص‌های آلودگی در اراضی زراعی جنوب تهران. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۷۰(۴): ۸۶۸-۸۵۷.

بی‌نام، ۱۳۹۷. ۴۰ درصد اراضی جنوب تهران با آب آلوده آبیاری می‌شود. دسترسی در: [www.ima.ir/news/83240660/40](http://www.ima.ir/news/83240660/40)

تجربیشی، م.، ۱۳۷۷. نهر فیروزآباد، آیا می‌توان از آن به‌عنوان یک منبع آب برای آبیاری نام برد؟. شریف، ۱۴(۱۵): ۳۸-۳۱.

حیدری، ا.، ۱۳۹۷. بهره‌برداری پایدار از منابع آب و فاضلاب شهری تهران. دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۲۲-۲۴ آبان، ۱-۱۲.

سهیلی، م.، ۱۳۷۳. تأثیر پساب در آلودگی و انتقال عناصر سنگین در خاک‌های منطقه جنوب تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۲ صفحه.

صالحی، آ.، ۱۳۹۹. تعیین اراضی مستعد زراعت چوب در حاشیه کلان‌شهرها با استفاده از آب‌های نامتعارف (تهران). گزارش نهایی طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات

جنگلها و مراتع کشور، تهران، ۴۶ صفحه.

صالحی، آ.، ۱۳۸۶. رشد و غلظت عناصر معدنی درختان کاج تهران و اقلایا، آبیاری شده با فاضلاب شهری در فضای سبز جنوب تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۱۱۹ صفحه.

عباسی، ی.، میرزایی، ف. و سهرابی، ت.، ۱۳۹۷. بررسی توزیع فلزات سنگین در خاک اراضی آبیاری شده با پساب با استفاده از روش کریجینگ و مدل هایدروس: مطالعه موردی در جنوب تهران. سلامت و محیط‌زیست، ۱۱(۳): ۳۶۴-۳۵۱.

فضیعی، ح.، ۱۳۹۳. بررسی منابع و پیامدهای جریان فاضلاب‌های شهری و صنعتی در روستاهای بخشی از حریم جنوبی تهران. پژوهش‌های روستایی، ۵(۴): ۹۳۶-۹۱۱.

مدیررحمتی، ع.، ۱۳۹۵. توسعه زراعت چوب، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر و حیاتی برای کشور. طبیعت ایران، ۱۱(۱): ۲۱-۱۴.

مردانی، گ.، صادقی، م. و آهنکوب، م.، ۱۳۸۹. بررسی آلودگی خاک‌های منطقه جنوب تهران در مسیر رواناب‌های سطحی به فلزات سنگین. آب و فاضلاب، ۳: ۱۱۳-۱۰۸.

یزدانیخس، ا. ر.، اسلامی، ا. و رضایی، س.، ۱۳۹۴. بررسی کیفیت رواناب سطحی کانال فیروزآباد شهر تهران برای مصارف آبیاری. بهداشت در عرصه، ۳(۳): ۲۶-۱۹.

Angelakis, A. N. and Spyridakis, S., 1996. The Status of Water Resources in Minoan Times, A Preliminary Study, Diachronic Climatic Impacts on Water Resources in Mediterranean Region. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 111-113.

Bitts'anszky, A., Gyulai, G., Gullner, G., Kiss, J., Szab'o, Z., K'atay, G., Heszky, L. and K'om'ives, T., 2009. In vitro breeding of grey poplar (*Populus x canescens*) for phytoremediation Purposes. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 84: 890-894.

Kabata-Pendias, A., 2011. Trace Elements in Soils and Plants, 4th edition. CRC Press, Boca Raton, 505p.

Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O. and Zourarah, B., 2014. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. Ecological Indicators, 48: 616-626.

Nabizadeh, R., Mahvi, A., Mardani, G. and Yunesian, M., 2005. Study of heavy metals in urban runoff. International Journal of Environmental Science and Technology, 1(4): 325-333

Pulford, I. D. and Dickinson, N. M., 2005. Phytoremediation technologies using trees. In: Prasad, M. N. V. and Naidu, R., (Eds.), Trace elements in the environment. CRC Press, New York, pp. 375-395.

Rattan, R. K., Datta, S. P., Chhonkar, P. K., Suribabu, K. and Singh, A. K., 2005. Long-term Impact of Irrigation with Sewage Effluents on Heavy Metal Content in Soils, Crops and Groundwater a case study. Agriculture, Ecosystems and Environment, 109: 310-322.

Rinklebe, J., Antoniadis, V., M. Shaheen, S., Rosche, O. and Altermann, M., 2019. Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. Environment International, 126: 76-88.

Sharma, R. K., Agrawal, M. and Marshall, F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi. India. Ecotoxicology and Environmental Safety, 66: 258-266.

Utmazian, M. N. D., Wieshammer, G., Vega, R. and Wenzel, W. W., 2007. Hydroponic screening for metal resistance and accumulation of cadmium and zinc in twenty clones of willows and poplars. Environmental Pollution, 148: 155-165.