

عنوان طرح:

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

مجری:

پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

دکتر احمد جمشیدی زنجانی

دستگاه اجرایی متقاضی طرح:

سازمان جهاد کشاورزی استان تهران

۱۴۰۰-۱۴۰۱



فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱ فصل اول مقدمه.....	۱
۱-۱- کلیات و زمینه پژوهش.....	۲
۲-۱- اهمیت و ضرورت پژوهش.....	۵
۳-۱- اهداف پژوهش.....	۸
۴-۱- فرضیه‌ها یا سؤال‌های اساسی پژوهش.....	۹
۵-۱- مبانی نظری پژوهش.....	۹
۶-۱- متغیرهای پژوهش.....	۱۰
۷-۱- روش انجام پژوهش.....	۱۰
۲ فصل دوم ادبیات موضوع و مرور بر تحقیقات گذشته.....	۱۲
۱-۲- فلزات سنگین.....	۱۳
۲-۲- عوامل تجمع فلزات سنگین در خاک.....	۱۳
۳-۲- اثرات فلزات سنگین بر منابع آب.....	۱۴
۴-۲- اثرات تجمع فلزات سنگین بر بدن انسان.....	۱۴
۵-۲- اثرات بر محیط‌زیست فیزیکی.....	۱۵
۶-۲- بررسی اثرات سوء بر محیط‌زیست بیولوژیکی (زیستی).....	۱۶
۷-۲- بررسی اثر بر وضعیت بهداشت و سلامتی.....	۱۶
۸-۲- بررسی اثر بر منابع آب‌و خاک.....	۱۷
۹-۲- بررسی چارچوب‌ها و معیارهای قانونی و استانداردهای مربوط به استفاده مجدد از پساب‌ها.....	۱۸
۱-۹-۲- استانداردهای مربوط به کیفیت شیمیایی.....	۱۸
۲-۹-۲- استانداردهای مربوط به شاخص‌های میکروبیولوژیکی.....	۱۸
۱۰-۲- نگاهی به تصفیه‌خانه‌های شهر تهران.....	۲۲

۲۴.....	۱-۱۰-۲- نگاهی اجمالی به روش‌های متداول تصفیه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر تهران.....
۲۶.....	۱۱-۲- پیشینه پژوهش.....
۲۷.....	۱-۱۱-۲- تجارب و تحقیقات داخلی.....
۳۴.....	۳-۱۱-۲- تجارب و تحقیقات خارجی.....
۳۸.....	۳ فصل سوم روش تحقیق.....
۳۹.....	۱-۳- نمونه‌برداری.....
۳۹.....	۱-۱-۳- مقدمه.....
۴۰.....	۲-۱-۳- نمونه‌برداری از پسابها و اراضی تحت پوشش شهرستان ری.....
۴۵.....	۳-۱-۳- نمونه‌برداری از پسابها و اراضی تحت پوشش شهرستان پاکدشت.....
۴۹.....	۴-۱-۳- نمونه‌برداری از پسابها و اراضی تحت پوشش شهرستان قرچک.....
۵۰.....	۵-۱-۳- نمونه‌برداری از پسابها و اراضی تحت پوشش شهرستان ورامین.....
۵۴.....	۶-۱-۳- نمونه‌برداری از پسابها و اراضی تحت پوشش شهرستان پیشوا.....
۵۵.....	۲-۳- بررسی منابع احتمالی آلاینده آب‌های جاری در منطقه.....
۶۰.....	۳-۳- آنالیز نمونه‌های آب، خاک و گیاه.....
۶۰.....	۱-۳-۳- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های خاک.....
۶۱.....	۲-۳-۳- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های آب.....
۶۹.....	۳-۳-۳- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های گیاه.....
۷۰.....	۴-۳- تعیین ریسک سلامت مربوط به استفاده از پساب‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه.....
۷۲.....	۵-۳- آزمایش‌های تعیین دسترسی زیستی.....
۷۲.....	۱-۵-۳- استخراج با استفاده از EDTA.....
۷۲.....	۲-۵-۳- استخراج متوالی.....
۷۳.....	۶-۳- تحلیل آماری با استفاده از جدول ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای.....
۷۴.....	۷-۳- مواد مرجع تایید شده.....
۷۶.....	۴ فصل چهارم نتایج و بحث.....
۷۷.....	۱-۴- مقدمه.....
۷۷.....	۲-۴- نتایج آنالیز نمونه‌های آب.....
۷۸.....	۱-۲-۴- نتایج آنالیز COD و BOD.....

۷۹.....	۲-۲-۴- نتایج آنالیز فلزات سنگین.....
۸۷.....	۳-۲-۴- نتایج آنالیز pH.....
۸۸.....	۴-۲-۴- نتایج آنالیز EC.....
۸۹.....	۵-۲-۴- نتایج آنالیز کلی فرم.....
۹۰.....	۶-۲-۴- نتایج آنالیز TSS و TDS.....
۹۲.....	۷-۲-۴- نتایج آنالیز SAR و SSP.....
۹۴.....	۸-۲-۴- نتایج آنالیز نیترات.....
۹۵.....	۹-۲-۴- نتایج آنالیز آنیون ها و کاتیون ها.....
۱۰۲.....	۱۰-۲-۴- بررسی کیفیت آب برای مصارف شرب.....
۱۲۹.....	۱۱-۲-۴- بررسی استفاده از آب برای مصارف کشاورزی.....
۱۳۲.....	۳-۴- جمع بندی.....
۱۳۵.....	۴-۴- نتایج آنالیز نمونه های خاک.....
۱۴۱.....	۵-۴- پهنه بندی توزیع و پراکنش عناصر موجود در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه.....
۱۴۷.....	۶-۴- نتایج آنالیز نمونه های گیاه.....
۱۵۲.....	۷-۴- پهنه بندی توزیع و پراکنش عناصر موجود در گیاه در محدوده مورد مطالعه.....
۱۵۷.....	۸-۴- نتایج آنالیز دسترسی زیستی فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه.....
۱۵۷.....	۱-۸-۴- نتایج آنالیز استخراج متوالی.....
۱۶۳.....	۲-۸-۴- تعیین غلظت دسترس پذیری زیستی فلزات سنگین برای گیاهان.....
۱۶۵.....	۹-۴- نتایج آنالیز کربن آلی موجود در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه.....
۱۶۵.....	۱۰-۴- نتایج حاصل از جدول ضریب همبستگی.....
۱۶۶.....	۱۱-۴- نتایج حاصل از تحلیل خوشه ای.....
۱۶۹.....	۱۲-۴- نتایج حاصل از شاخص های سنجش آلودگی.....
۱۶۹.....	۱-۱۲-۴- نتایج بدست آمده از شاخص انباشت ژئوشیمیایی.....
۱۷۱.....	۲-۱۲-۴- نتایج محاسبه شاخص غنیشدگی.....
۱۷۳.....	۳-۱۲-۴- شاخص درجه آلودگی اصلاح شده.....
۱۷۵.....	۴-۱۲-۴- نتایج شاخص ریسک اکولوژیک.....

۱۷۶.....	۴-۱۳- نتایج شاخص ارزیابی ریسک در معرض سلامتی انسان.....
۱۷۹.....	۵ فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۱۸۰.....	۵-۱- نتیجه‌گیری.....
۱۸۱.....	۵-۱-۱- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان ری (قلعه نو).....
۱۸۲.....	۵-۱-۲- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان قرچک.....
۱۸۳.....	۵-۱-۳- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان پاکدشت.....
۱۸۳.....	۵-۱-۴- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان ورامین.....
۱۸۳.....	۵-۱-۵- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان پیشوا.....
۱۸۴.....	۵-۲- خلاصه نتایج.....
۱۸۵.....	۵-۳- پیشنهادات.....
۱۸۷.....	۶ منابع و مراجع.....

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

- شکل ۱-۱. شماتیک روش انجام پژوهش ۱۰
- شکل ۱-۲. شماتیک روش تصفیه لجن فعال ۲۵
- شکل ۱-۲. نمونه‌ای از برکه‌های تثبیت فاضلاب ۲۶
- شکل ۱-۳. نقشه کل نقاط نمونه برداری ۴۰
- شکل ۲-۳. کانال انتقال پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه جنوب تهران ۴۱
- شکل ۳-۳. اراضی کشاورزی تحت آبیاری با پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهری ۴۱
- شکل ۴-۳. نمایی از رودخانه آب معروف به نهر فیروزآباد و ورود پساب کارخانه ماسه‌شویی به آن ۴۲
- شکل ۵-۳. کانال فاضلاب تصفیه‌نشده روستای ده‌خیر و اراضی تحت کشت با آن ۴۲
- شکل ۶-۳. نمایی از پساب تصفیه نشده روستای نظرآباد و اراضی کشاورزی تحت کشت با آن ۴۳
- شکل ۷-۳. نمایی از پساب تصفیه نشده شهرک صنعتی عشق‌آباد ۴۳
- شکل ۸-۳. کارخانه ماسه‌شویی واقع در نزدیکی نهر آب فیروزآباد ۴۴
- شکل ۹-۳. کشت ذرت در زمین‌های کشاورزی تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه‌نشده نهر فیروزآباد ۴۴
- شکل ۱۰-۳. نقاط نمونه برداری در شهرستان ری ۴۵
- شکل ۱۱-۳. نمایی از ورودی کانال انتقال پساب تصفیه‌خانه شهری به شهرستان پاکدشت ۴۶
- شکل ۱۲-۳. عبور کانال انتقال پساب تصفیه‌خانه شهری از داخل شهر پاکدشت ۴۷
- شکل ۱۳-۳. حوضچه مدیریت و تقسیم پساب واقع در شهرستان پاکدشت ۴۷
- شکل ۱۴-۳. زمین زراعی گندم کشت شده با پساب تصفیه شده ۴۸
- شکل ۱۵-۳. نقاط نمونه برداری در شهرستان پاکدشت ۴۸
- شکل ۱۶-۳. آب‌بند ذخیره پساب روستای رحمت آباد شهرستان قرچک ۴۹
- شکل ۱۷-۳. نقاط نمونه برداری در شهرستان قرچک ۵۰
- شکل ۱۸-۳. رودخانه شوروشیرین بخش جوادآباد شهرستان ورامین ۵۱
- شکل ۱۹-۳. تعدادی از پمپ‌های نصب شده جهت رودخانه شوروشیرین شهرستان ورامین ۵۱
- شکل ۲۰-۳. مسیر ورود پساب خروجی گاوداری اشراق به رودخانه شور و شیرین ۵۲
- شکل ۲۱-۳. کانال انتقال آب چاه بخش جوادآباد شهرستان ورامین ۵۳
- شکل ۲۲-۳. نقاط نمونه برداری در شهرستان ورامین ۵۴
- شکل ۲۳-۳. نقاط نمونه برداری در شهرستان پیشوا ۵۵

- شکل ۳-۲۴. کارگاه‌های صنعتی واقع در منطقه قلعه نو و مسیر کانال انتقال آب تصفیه‌خانه..... ۵۶
- شکل ۳-۲۵. تصویر واحد صنعتی فعال در محدوده کانال ۵۶
- شکل ۳-۲۶. تصاویر محدوده‌های صنعتی از جمله شهرک صنعتی ثامن و خاوران واقع در مسیر کانال ۵۷
- شکل ۳-۲۷. تصویر هوایی کارخانه گچ واقع شده در مسیر کانال انتقال آب تصفیه‌خانه..... ۵۸
- شکل ۳-۲۸. تصویر هوایی گاوداری اشراق و مسیر تخلیه پساب آن ۵۹
- شکل ۳-۲۹. تصویر هوایی کارگاه ماسه‌شویی واقع در مسیر نهر فیروزآباد..... ۵۹
- شکل ۳-۳۰. مقایسه اندازه‌گیری COD به روش رفلکس و اسپکتروفتومتر ۶۳
- شکل ۳-۳۱. تصویر دستگاه ICP-OES جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین در نمونه‌های آب ۶۴
- شکل ۳-۳۲. تصویر pH سنج جهت اندازه‌گیری pH نمونه‌های آب ۶۵
- شکل ۴-۱. نتایج آنالیز BOD و COD نمونه‌های آب ۷۸
- شکل ۴-۲. نتایج آنالیز غلظت آرسنیک موجود در نمونه‌های آب ۸۰
- شکل ۴-۳. واحدهای صنعتی موجود در مسیر آب کانال‌های تصفیه نشده در منطقه قلعه‌نو..... ۸۱
- شکل ۴-۴. واحدهای صنعتی موجود در مسیر نقاط نمونه‌برداری ۱۶ و ۲۰..... ۸۲
- شکل ۴-۵. نتایج آنالیز غلظت کروم موجود در نمونه‌های آب ۸۳
- شکل ۴-۶. موقعیت ایستگاه شماره ۷ در شهرستان ری (پساب خروجی واحدهای صنعتی امین‌آباد) ۸۳
- شکل ۴-۷. موقعیت ایستگاه شماره ۱۶ در شهرستان قرچک در نزدیکی واحدهای صنعتی..... ۸۴
- شکل ۴-۸. نتایج آنالیز غلظت مس موجود در نمونه‌های آب ۸۴
- شکل ۴-۹. نتایج آنالیز غلظت آهن موجود در نمونه‌های آب ۸۵
- شکل ۴-۱۰. نتایج آنالیز غلظت جیوه موجود در نمونه‌های آب ۸۶
- شکل ۴-۱۱. نتایج آنالیز غلظت سلنیم موجود در نمونه‌های آب ۸۷
- شکل ۴-۱۲. نتایج آنالیز pH نمونه‌های آب ۸۸
- شکل ۴-۱۳. نتایج آنالیز مقدار EC نمونه‌های آب ۸۹
- شکل ۴-۱۴. نتایج آنالیز کلی‌فرم موجود در نمونه‌های آب ۹۰
- شکل ۴-۱۵. نتایج آنالیز مقدار TDS موجود در نمونه‌های آب ۹۱
- شکل ۴-۱۶. نتایج آنالیز مقدار TSS موجود در نمونه‌های آب ۹۲
- شکل ۴-۱۷. نتایج آنالیز مقدار SAR نمونه‌های آب ۹۳
- شکل ۴-۱۸. نتایج آنالیز مقدار SSP نمونه‌های آب ۹۴
- شکل ۴-۱۹. نتایج آنالیز غلظت نیترات موجود در نمونه‌های آب ۹۵
- شکل ۴-۲۰. نتایج آنالیز غلظت Cl موجود در نمونه‌های آب ۹۶
- شکل ۴-۲۱. نتایج آنالیز غلظت PO_4 موجود در نمونه‌های آب ۹۷
- شکل ۴-۲۲. نتایج آنالیز غلظت HCO_3 موجود در نمونه‌های آب ۹۸
- شکل ۴-۲۳. نتایج آنالیز غلظت SO_4 موجود در نمونه‌های آب ۹۹

- شکل ۴-۲۴. نتایج آنالیز غلظت Na موجود در نمونه‌های آب ۱۰۰
- شکل ۴-۲۵. نتایج آنالیز غلظت کلسیم موجود در نمونه‌های آب ۱۰۱
- شکل ۴-۲۶. موقعیت نمونه شماره ۱۹ و مسیر تخلیه پساب خروجی دامداری اشراق به رودخانه ۱۰۱
- شکل ۴-۲۷. نتایج آنالیز غلظت منیزیم موجود در نمونه‌های آب ۱۰۲
- شکل ۴-۲۸. نمودار شولر برای نهر آب جاری-ورودی مزارع کشاورزی ذرت، یونجه و گندم ۱۰۳
- شکل ۴-۲۹. نمودار شولر برای رودخانه آب معروف به نهر فیروز آباد ۱۰۴
- شکل ۴-۳۰. نمودار شولر برای آب خروجی ماسه شویی که به نهر فیروز آباد ۱۰۵
- شکل ۴-۳۱. نمودار شولر برای لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماند پلاستیکی ۱۰۶
- شکل ۴-۳۲. نمودار شولر برای آب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد (قالی شویی، سنگ شور و دامداری) ۱۰۷
- شکل ۴-۳۳. نمودار شولر برای آب کانال روستای ده خیر-فاضلاب ۱۰۸
- شکل ۴-۳۴. نمودار شولر برای آب روستای نظر آباد ۱۱۰
- شکل ۴-۳۵. نمودار شولر برای آب شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی) ۱۱۱
- شکل ۴-۳۶. نمودار شولر برای کانال آب فاضلاب با بوی بسیار نامطبوع فاضلاب ۱۱۲
- شکل ۴-۳۷. نمودار شولر برای آب جمع‌آوری شده در یک آبپند و آبیاری زمین‌های کشاورزی با بوی نامطبوع فاضلاب در روستای رحمت آباد ۱۱۳
- شکل ۴-۳۸. نمودار شولر برای آب زهکشی‌شده و تصفیه‌نشده قرچک (کانال جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی اطراف) ۱۱۴
- شکل ۴-۳۹. نمودار شولر برای پساب خروجی دامداری-آبیاری زمینهای گندم و یونجه-شرکت اشراق .. ۱۱۵
- شکل ۴-۴۰. نمودار شولر برای رودخانه آب تصفیه نشده (معروف به رودخانه شور و شیرین) - آبیاری زمینهای کشاورزی ۱۱۶
- شکل ۴-۴۱. نمودار شولر برای نمونه آب چاه موجود در منطقه ۱۱۷
- شکل ۴-۴۲. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران ۱۱۸
- شکل ۴-۴۳. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران ۱۱۹
- شکل ۴-۴۴. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه شده-ورودی پاکداشت-بوی بسیار نامطبوع ۱۲۰
- شکل ۴-۴۵. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه شده-داخل شهر-بوی بسیار نامطبوع ۱۲۱
- شکل ۴-۴۶. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده-پاکدشت ورودی زمینهای کشاورزی ذرت و یونجه ۱۲۲
- شکل ۴-۴۷. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده پاکدشت به همراه آب چاه ۱۲۳
- شکل ۴-۴۸. نمودار شولر برای آب کانال در نقطه O محل تقسیم آب کانال تصفیه شده ۱۲۴
- شکل ۴-۴۹. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران ۱۲۵
- شکل ۴-۵۰. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران ۱۲۶
- شکل ۴-۵۱. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران ۱۲۷

- شکل ۴-۵۲. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه شده جنوب تهران ۱۲۸
- شکل ۴-۵۳. نمودار ویلکوکس برای نمونه آب های تصفیه نشده ۱۳۰
- شکل ۴-۵۳. نمودار ویلکوکس برای نمونه آب های تصفیه نشده ۱۳۱
- شکل ۴-۵۴. نقشه نقاط نمونه برداری خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۳۶
- شکل ۴-۵۵. نتایج آنالیز آرسنیک موجود در نمونه های خاک ۱۳۷
- شکل ۴-۵۶. نتایج آنالیز کروم موجود در نمونه های خاک ۱۳۷
- شکل ۴-۵۷. نتایج آنالیز مس موجود در نمونه های خاک ۱۳۸
- شکل ۴-۵۸. نتایج آنالیز آهن موجود در نمونه های خاک ۱۳۸
- شکل ۴-۵۹. نتایج آنالیز منگنز موجود در نمونه های خاک ۱۳۹
- شکل ۴-۶۰. نتایج آنالیز نیکل موجود در نمونه های خاک ۱۳۹
- شکل ۴-۶۱. نتایج آنالیز سرب موجود در نمونه های خاک ۱۴۰
- شکل ۴-۶۲. نتایج آنالیز روی موجود در نمونه های خاک ۱۴۱
- شکل ۴-۶۳. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش آرسنیک موجود در نمونه های خاک در محدوده ۱۴۲
- شکل ۴-۶۴. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش کروم موجود در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۴۳
- شکل ۴-۶۵. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش مس موجود در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۴۳
- شکل ۴-۶۶. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش آهن در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۴۴
- شکل ۴-۶۷. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش منگنز در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۴۵
- شکل ۴-۶۸. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش نیکل موجود در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۴۵
- شکل ۴-۶۹. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش سرب موجود در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۴۶
- شکل ۴-۷۰. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش روی موجود در نمونه های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۴۷
- شکل ۴-۷۱. نقشه نقاط نمونه برداری گیاه در محدوده مورد مطالعه ۱۴۸
- شکل ۴-۷۲. نتایج آنالیز آرسنیک در نمونه های گیاه ۱۴۸
- شکل ۴-۷۳. نتایج آنالیز کروم در نمونه های گیاه ۱۴۹
- شکل ۴-۷۴. نتایج آنالیز مس در نمونه های گیاه ۱۴۹
- شکل ۴-۷۵. نتایج آنالیز کادمیم در نمونه های گیاه ۱۵۰
- شکل ۴-۷۶. نتایج آنالیز نیکل در نمونه های گیاه ۱۵۱
- شکل ۴-۷۷. نتایج آنالیز سرب در نمونه های گیاه ۱۵۱
- شکل ۴-۷۸. نتایج آنالیز روی در نمونه های گیاه ۱۵۲
- شکل ۴-۷۹. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش آرسنیک موجود در نمونه های گیاه در محدوده ۱۵۳
- شکل ۴-۸۰. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش کادمیم موجود در نمونه های گیاه در محدوده ۱۵۳
- شکل ۴-۸۱. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش کروم موجود در نمونه های گیاه در محدوده مورد مطالعه ۱۵۴
- شکل ۴-۸۲. نقشه پهنه بندی توزیع و پراکنش مس موجود در نمونه های گیاه در محدوده مورد مطالعه ۱۵۴

- شکل ۴-۸۳. نقشه پراکنش نیکل موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه..... ۱۵۵
- شکل ۴-۸۴. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش سرب موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه ۱۵۶
- شکل ۴-۸۵. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش روی موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه.. ۱۵۶
- شکل ۴-۸۶. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای آرسنیک ۱۶۰
- شکل ۴-۸۷. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای کادمیم..... ۱۶۰
- شکل ۴-۸۸. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای کبالت..... ۱۶۱
- شکل ۴-۸۹. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای کروم..... ۱۶۱
- شکل ۴-۹۰. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای مس ۱۶۱
- شکل ۴-۹۱. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای نیکل..... ۱۶۲
- شکل ۴-۹۲. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای سرب..... ۱۶۲
- شکل ۴-۹۳. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای روی ۱۶۲
- شکل ۴-۹۴. نمودار مجموع فاز قابل مبادله و کربناته برای ۹ نمونه خاک..... ۱۶۳
- شکل ۴-۹۵. نمودار وضعیت دسترسی زیستی فلزات سنگین با EDTA برای ۹ نمونه..... ۱۶۴
- شکل ۴-۹۶. نتایج آنالیز کربن آلی موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه ۱۶۵
- شکل ۴-۹۷. نتایج تحلیل خوشه‌ای بین فلزات مورد بررسی در ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه..... ۱۶۷
- شکل ۴-۹۸. شماتیک اجزای اصلی به صورت سه بعدی..... ۱۶۹
- شکل ۴-۹۹. نمودار جعبه‌ای میزان شاخص انباشت (Igeo) ۱۷۱
- شکل ۴-۱۰۰. نمودار جعبه‌ای میزان شاخص غنی شدن گیتی (EF) بر حسب آهن..... ۱۷۲
- شکل ۴-۱۰۱. نمودار جعبه‌ای میزان شاخص غنی شدن گیتی (EF) بر حسب منگنز..... ۱۷۳
- شکل ۴-۱۰۲. نمودار میزان شاخص میزان آلودگی اصلاح شده (mCd) ۱۷۴
- شکل ۴-۱۰۳. شاخص ریسک اکولوژیک در نقاط نمونه برداری ۱۷۵
- شکل ۴-۱۰۴. شاخص غیر سرطان‌زایی در نقاط نمونه‌برداری..... ۱۷۶
- شکل ۴-۱۰۵. شاخص سرطان‌زایی آرسنیک در نقاط نمونه‌برداری..... ۱۷۷
- شکل ۴-۱۰۶. شاخص سرطان‌زایی کادمیم در نقاط نمونه‌برداری..... ۱۷۷
- شکل ۴-۱۰۷. شاخص سرطان‌زایی سرب در نقاط نمونه‌برداری..... ۱۷۸

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۲. استانداردهای خروجی فاضلاب از طرف سازمان حفاظت محیط زیست، به استناد ماده ۵ آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب.....	۲۰
جدول ۲-۲. استانداردهای استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی در کشورهای جهان.....	۲۱
جدول ۳-۲. مشخصات تصفیه‌خانه‌های موجود شهر تهران.....	۲۳
جدول ۴-۲. مشخصات تصفیه‌خانه‌های واقع در محدوده شهر تهران.....	۲۴
جدول ۵-۲. نگاهی اجمالی به تحقیقات داخلی استفاده از پساب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی.....	۳۱
جدول ۶-۲. نگاهی اجمالی به تحقیقات خارجی استفاده از پساب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی	۳۷
جدول ۱-۳. مقایسه مقدار حاصل از آنالیز و مقدار نمونه استاندارد ۳-MESS.....	۷۵
جدول ۱-۴. مشخصات نقاط نمونه‌برداری از کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده.....	۷۷
جدول ۲-۴. وضعیت آلودگی نقاط مختلف نمونه‌برداری شده به تفکیک نقاط تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده.....	۱۳۲
جدول ۳-۴. مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه غلظت کل فلزات سنگین در ۱۸ ایستگاه نمونه‌برداری خاک	۱۳۵
جدول ۴-۴. نتایج آزمون استخراج متوالی فلزات سنگین ۹ نمونه خاک.....	۱۵۸
جدول ۵-۴. نتایج حاصل از استخراج کننده‌های تک مرحله‌ای به کمک EDTA در ۹ ایستگاه نمونه‌برداری	۱۶۴
جدول ۶-۴. مقادیر ضریب همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۹ ایستگاه نمونه‌برداری.....	۱۶۶
جدول ۷-۴. مراکز خوشه نهایی در ۴ خوشه مورد مطالعه.....	۱۶۸
جدول ۸-۴. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص Igeo.....	۱۷۰
جدول ۹-۴. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص EF.....	۱۷۱
جدول ۱۰-۴. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص mCd.....	۱۷۴
جدول ۱۱-۴. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص ریسک اکولوژیک.....	۱۷۵

مقدمه

۱-۱- کلیات و زمینه پژوهش

فلزات سنگین ازجمله عناصری هستند که می‌توانند به دلیل فعالیت‌های انسانی و یا شرایط طبیعی در اکوسیستم وجود داشته باشند. معمولاً فعالیت‌های انسانی باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در منابع آب‌و خاک و به‌طور کلی در اکوسیستم تحت تأثیر می‌شود. آلودگی منابع آب‌و خاک در نهایت منجر به ورود آلاینده‌های فلزی به گیاهان و زنجیره غذایی انسان می‌شود. به‌خصوص چنانچه منابع آلوده در دسترس برای فعالیت‌های کشاورزی باشد (Pendias and Pendias, ۱۹۸۹). بر اساس آمارهای سازمان بهداشت جهانی سالانه در حدود ۱۰ درصد مردم دنیا در اثر مصرف غذای آلوده دچار بیماری می‌شوند. همچنین در حدود ۴۲۰ هزار نفر نیز در اثر بیماری‌های ناشی از مصرف غذای آلوده جان خود را از دست می‌دهند که این رقم چیزی در حدود ۷/۵ درصد از مرگ‌های سالانه دنیا را شامل می‌شود. در این میان کودکان کمتر از ۵ سال در معرض ریسک و خطر جدی‌تر ناشی از بیماری‌های متأثر از آلودگی غذایی هستند، به‌گونه‌ای که سالانه در حدود ۱۲۵ هزار نفر از کودکان به این دلیل جان خود را از دست می‌دهند. تأمین ایمنی غذایی می‌تواند از بسیاری از بیماری‌های ناشی از آلودگی غذایی جلوگیری نماید (WHO, ۲۰۲۰).

فلزات سنگین از منابع طبیعی و یا انسان‌ساخت نشأت می‌گیرند. منابع عمده ورود آلودگی فلزات احتراق سوخت‌های فسیلی، معدنکاری، فعالیت‌های هسته‌ای، زائدات شهری و صنعتی، فاضلاب، کودها و آفت‌کش‌ها به شمار می‌رود (Pendias and Pendias, ۱۹۸۹). برخلاف مواد آلی، فرآیندهای طبیعی تجزیه منجر به حذف و یا خروج فلزات سنگین از محیط‌های درگیر به‌خصوص خاک و رسوبات نخواهد شد. برخی از فلزات سنگین به‌صورت بالقوه خطر سمیت برای زندگی موجودات زنده و همچنین محیط‌زیست به همراه دارند اما این مسئله شامل همه فلزات سنگین نمی‌شود و فلزاتی مانند روی در مقدار کم برای انسان و گیاهان ضروری است. از جهت دیگر غلظت بالای این فلزات می‌تواند منجر به ایجاد اختلال در سلامت موجودات زنده و آسیب به اکوسیستم شود. اثر آلودگی آن‌ها در محیط‌هایی مانند آب، خاک و رسوب به مشارکت شیمیایی آن‌ها و فازهای پیوندی وابسته است (Calmano et al., ۱۹۹۳). از این‌رو، علاوه بر بررسی غلظت آلاینده‌های فلزی در گیاهان، بررسی و پایش آلاینده‌های فلزی در منابع آب‌و خاک بسیار ضروری و درعین حال امری پیچیده است. از سویی اگرچه اندازه‌گیری غلظت کل آلاینده‌های فلزی

امری بسیار مهم در تعیین وضعیت آلودگی است، اما این امر به‌تنهایی کافی نیست. ازاین‌رو علاوه بر تعیین غلظت فلزات در خاک، بررسی مشارکت شیمیایی آن‌ها، ریسک آزادسازی و قابلیت دسترسی زیستی آن‌ها در راستای سنجش اثر بر اراضی قابل کشت و فعالیت‌های کشاورزی بسیار مهم و ضروری است.

باین‌حال آلودگی مواد غذایی ناشی از فلزات سنگین می‌تواند اثرات بسیار سوء در بلندمدت مانند انواع سرطان و آسیب‌های جدی بر سیستم عصبی در پی داشته باشد و نشانه‌های آن در ابتدای امر به‌راحتی بروز پیدا نخواهد کرد. اثر مواد غذایی آلوده بر افرادی که آسیب‌پذیری بیشتری از منظر سلامتی دارند، بسیار جدی‌تر خواهد بود. سالمندان، نوزادان، خانم‌های باردار و افراد بیمار ازجمله کسانی هستند که می‌توانند تأثیرپذیری بیشتری از آلودگی مواد غذایی داشته باشند. آلودگی مواد غذایی نه‌تنها بر سلامت مصرف‌کنندگان اثرگذار است، بلکه بر اقتصاد و رشد جوامع محلی نیز اثر بسیار سوء خواهد داشت. ازجمله می‌توان بر کاهش صادرات مواد غذایی و همچنین اثر منفی بر گردشگری اشاره داشت.

جهت بررسی ایمنی غذایی، در کنار بررسی غلظت در محصولات کشت‌شده، پایش منابع آب و خاک ازجمله اولین و مهم‌ترین اقدامات سنجش و ارزیابی پتانسیل آلوده‌سازی منابع غذایی به شمار می‌رود. آلودگی منابع آب و خاک به‌طور حتم منجر به راهیابی آلودگی به محصولات کشاورزی خواهد شد. اهمیت این امر زمانی دوچندان خواهد شد که در کشت محصولات کشاورزی از منابع آب نامتعارف مانند پساب‌های شهری و صنعتی استفاده شود.

شایان‌ذکر است در حال حاضر ۳۰ تصفیه‌خانه در شهر تهران در حال بهره‌برداری است که به نظر می‌رسد پساب تصفیه‌خانه جنوب تهران به مصارف کشاورزی برای اراضی شهری و ورامین می‌رسد. همچنین طرح احداث دو تصفیه‌خانه سرخه‌حصار و فیروزآباد نیز در دست بررسی است که قرار است پساب‌های تصفیه‌شده خروجی از این تصفیه‌خانه‌ها نیز به مصارف کشاورزی برسد. در حال حاضر اطلاعات چندانی از کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده از ابتدای مسیر تا انتها (محل مصرف) در دسترس نیست. ازاین‌رو، چگونگی مصرف پساب‌های رهاشده از این تصفیه‌خانه‌ها و بررسی انواع منابع آلاینده در مسیر رهاسازی تا مصرف ازجمله اقدامات بسیار مهم و ضروری در بحث ارزیابی اثرات سوءمصرف پساب و همچنین ریسک

سلامت ناشی از آن محسوب می‌شود. استفاده نامناسب از پساب‌های تصفیه‌شده بدون لحاظ نمودن و بررسی تغییرات کیفیت آن در مسیر در بلندمدت قطعاً عوارض جبران‌ناپذیری بر سلامت جوامع محلی خواهد گذاشت. به این منظور پایش پارامترهای آلودگی و انواع آلاینده‌ها هم در پساب‌های رهاشده (در مسیر رهاسازی تا مزرعه) و هم در محصولات کشت‌شده با چنین منابعی مانند گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یا سایر محصولات کشاورزی و همچنین منابع آب‌و خاک و تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از آن بسیار حائز اهمیت است. از جمله آلاینده‌هایی که اثرات سرطان‌زایی آن‌ها به اثبات رسیده است، فلزات سنگین ترکیبات نیتрат و همچنین برخی از انواع آلاینده‌های آلی است که متأسفانه این دسته از آلاینده‌ها یا در پساب‌های رهاشده (به دلیل نوسان در راندمان فرآیندهای تصفیه) حضور دارند و یا در مسیر رهاسازی تا مصرف با توجه به وجود منابع آلاینده متعدد در مسیر پساب، می‌تواند سبب آلودگی پساب‌ها شود. سنجش غلظت کل فلزات در منابع خاک اطلاعات اولیه‌ای در اختیار قرار می‌دهد. با این حال، جهت بررسی بحث ایمنی غذایی و توجه ویژه به آلودگی اراضی قابل کشت، سنجش دسترسی زیستی و پتانسیل آزادسازی فلزات در خاک نیز بسیار حائز اهمیت است. همچنین آلودگی خاک در نهایت منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی خواهد شد. از این‌رو در کنار سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، اندازه‌گیری و تعیین غلظت فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های ذکر شده در منابع آب‌و خاک محدوده قابل کشت (از ابتدای مسیر رهاسازی تا مصرف احتمالی) اطلاعات ارزنده‌ای در خصوص وضعیت آلودگی و همچنین احتمال انتشار این دسته از آلاینده‌ها به زنجیره غذایی انسان فراهم می‌آورد. با توجه به محل قرارگیری تصفیه‌خانه جنوب تهران، طرح پیشنهادی حاضر بر محدوده شهرری، قرچک و ورامین متمرکز خواهد شد تا با مطالعه و پایش نمونه‌های آب، پساب، خاک و برخی محصولات گیاهی از سلامت استفاده از پساب‌های رهاشده از برخی تصفیه‌خانه‌های مدنظر (شامل ۴ تصفیه‌خانه) اطلاعات ارزنده‌ای از کیفیت نهایی پساب‌های تصفیه شده در محل مصرف به دست آید.

کلیدواژه:

فلزات سنگین، آلودگی خاک، آلودگی آب، دسترسی زیستی، منابع آب نامتعارف

۱-۲- اهمیت و ضرورت پژوهش

کمبود آب و تأمین مواد غذایی بشر سبب شده استفاده از آب‌های نامتعارف مانند فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌عنوان یک منبع بالارزش در جهت افزایش میزان تولیدات بخش کشاورزی شناخته شده‌است. در این راستا سیستم فاضلاب شهری برای جمع‌آوری فاضلاب خانگی، فاضلاب مناطق تجاری، فاضلاب‌های سطحی شهری و انتقال آن‌ها به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و در نهایت به محل دفع ایجاد شده است. شبکه جمع‌آوری، ایستگاه‌های پمپاژ، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، خطوط ویژه انتقال، استفاده مجدد از فاضلاب و لجن از جمله سازه‌ها، تأسیسات و اقدامات در این سیستم هستند.

استفاده و آبیاری درازمدت با آب‌های غیرمتعارف سبب محدودیت‌ها و چالش‌هایی از جمله مخاطرات بهداشتی برای کشاورزان و مصرف‌کنندگان مواد غذایی، شور و سدیمی شدن خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. جایگاه استفاده از فاضلاب در ایران و جهان بررسی‌ها نشان می‌دهد که در دنیا از فاضلاب تحت شرایط و استانداردهای خاصی برای مصارف مختلف استفاده می‌شود. اولویت‌های مصرف فاضلاب در دنیا به‌صورت زیر است:

۱. وارد کردن پساب به مسیل‌های طبیعی پس از آنکه استانداردهای زیست‌محیطی در آن رعایت شده باشد. این امر به‌منظور حفظ تعادل در اکوسیستم‌های آبی صورت می‌گیرد.
۲. دفع فاضلاب در سطح اراضی به‌منظور نفوذ در خاک پس از آنکه تصفیه شده و استانداردهای زیست‌محیطی را دارا باشد.
۳. استفاده از پساب در تغذیه آبخوان‌هایی که توان خود پالایی را داشته و آب استحصال شده از آن‌ها مورد استفاده شرب قرار نگیرد.
۴. استفاده از فاضلاب برای آبیاری درختان جنگلی
۵. استفاده از فاضلاب برای آبیاری مراتع
۶. استفاده از فاضلاب به‌صورت آبیاری کرتی برای محصولاتی که مورد استفاده دام قرار گیرد.
۷. استفاده از فاضلاب برای محصولاتی که مستقیماً مورد استفاده انسان قرار نگیرد.

پساب فاضلاب

استفاده صحیح از پساب‌های شهری علاوه بر گسترش پوشش گیاهی، از یک طرف از آلودگی محیط‌زیست جلوگیری می‌نماید و از طرف دیگر با دارا بودن عناصر مغذی، علاوه بر کاهش آلودگی آب‌های سطحی و

زیرزمینی، باعث کاهش هزینه مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. به همین دلیل به‌عنوان منابع آب و کودی ارزان قیمت مورد توجه قرار گرفته است.

با این وجود پساب و لجن فاضلاب حاوی مقادیر زیادی از عناصر کم‌مصرف و فلزات سنگین نیز هست. هنگامی که این مواد به زمین اضافه می‌شوند، گیاه این عناصر را نیز جذب می‌کند. جذب عناصر کم‌مصرف و فلزات سنگین به مقدار زیاد به‌وسیله گیاه می‌تواند سبب آلودگی زنجیره غذایی انسان و دام شود. قابل توجه است برای پیشگیری از جذب بیش از حد فلزات سنگین توسط گیاه، برخی از کشورها و همچنین سازمان حفاظت محیط‌زیست و سازمان بهداشت جهانی قوانینی وضع کرده‌اند و حدودی را نیز برای غلظت عناصر و ویژگی‌های مختلف پساب‌ها تعیین نموده‌اند.

در این میان به‌طور معمول هنگام طراحی سیستم‌های آبیاری باید اطلاعات کافی در مورد خاک، گیاه، آب و اقلیم جمع‌آوری شود و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. کاربرد فاضلاب در آبیاری به دلیل حضور میکروارگانیسم‌ها و مواد شیمیایی آن می‌تواند با مخاطرات بهداشتی همراه گردد که معمولاً در سه بخش؛ خطرات بهداشت فردی، خطرات بهداشت محصولات کشاورزی و خطرات بهداشت مصرف‌کنندگان مطالعه می‌شوند. مهم‌ترین عامل ایجادکننده مخاطرات بهداشت فردی، میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، انگل‌ها و مواد سمی و شیمیایی فاضلاب هستند. همچنین مشکلات بهداشتی محصولات کشاورزی در نتیجه فعل‌وانفعالات و واکنش‌های مختلف بین ترکیبات و آلاینده‌های فاضلاب با خاک و گیاه بسیار محتمل است. از میان باکتری‌های موجود در محیط فاضلابی می‌توان به انواع کلی‌فرم‌های مدفوعی اشاره نمود که مدت زمان ادامه حیات آن‌ها کمتر از ویروس‌ها است. شیستوزومیا و کرم‌های قلاب‌دار از مهم‌ترین انواع کرم‌ها و انگل‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب هستند. مواد شیمیایی سمی عمدتاً مشتمل بر فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، مس، سرب و...) و ترکیبات آلی (آفت‌کش‌ها و ترکیبات حلقوی و...) است که ضمن تأثیر منفی بر خاک زراعی، بهداشت فردی کارگران مزارع را نیز تهدید می‌نمایند. یکی از شاخصه‌ای اساسی در کاربرد پساب در آبیاری، غلظت ارگانیسم‌های مدفوعی و باکتری‌های کلی‌فرمی است.

با این حال بررسی تجارب داخلی استفاده از پساب‌ها در سطح کشور نشان می‌دهد که این منابع عمدتاً در حواشی شهرها جهت آبیاری محصولات سبزیجات و صیفی‌جات به کار گرفته‌شده و این مصارف علیرغم صرفه‌جویی در مصارف آب و کودهای شیمیایی؛ آلودگی منابع آب‌و خاک و محصولات تولیدی را به همراه داشته است. در حال حاضر به سه صورت مختلف از فاضلاب‌ها، پساب‌ها و آب‌های برگشتی در کشاورزی استفاده می‌شود.

- استفاده غیراصولی و بدون رعایت استانداردهای مربوط و الگوی کشت مناسب
- بعد از تصفیه کامل فاضلاب و رساندن کیفیت آن به حد استانداردهای موردنظر
- استفاده از پساب باکیفیت نامطلوب، برای کشت نباتات خاص و انتخاب روش مناسب آبیاری، منطبق
باکیفیت پساب‌ها و کنترل افراد در معرض تماس
نکته مهم دیگری که در این میان باید مورد توجه قرار گیرد آن است که پایش پساب‌های رهاسازی شده
(با فرض کیفیت قابل قبول جهت مصارف کشاورزی) نیز بسیار ضروری و حائز اهمیت است. این مسئله از
آن جهت اهمیت دارد که اطلاعاتی از منابع آلاینده در مسیر رهاسازی تا مصرف وجود ندارد و امکان
آلودگی مجدد پساب‌ها وجود دارد. ضمن آنکه در برخی مواقع می‌تواند بیانگر کارایی فرآیندهای تصفیه در
تصفیه‌خانه‌ها باشد. همچنین پساب‌ها با توجه به ویژگی‌های خاصی که دارند، علیرغم مزایا و فواید
انکارناپذیر، دارای مشکلات و خطراتی نیز هستند که نمونه بارز آن عوارض ناشی از استفاده غیراصولی
جریان نهرها و کانال‌های فاضلاب کش سطح تهران در اراضی جنوب تهران به‌ویژه دشت ورامین است. با
توجه به پیچیدگی مدیریت استفاده از این منابع توجه به اثرات سوء محیط زیستی به شرح زیر ضروری
است:

- تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آن به گیاه
 - اثرات سمی ناشی از یون‌های ویژه بر گیاهان
 - مسائل و مشکلات بهداشتی ناشی از عوامل بیماری‌زا
 - تشدید شوری خاک‌ها
 - عوارض بهداشتی مربوط به کارگران و شاغلان در پروژه
- ایران به‌عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه با کمبود آب و کاهش منابع آب تجدیدشونده مواجه بوده و در
این راستا متولیان امر، پالایش و استفاده مجدد از پساب‌های شهری و صنعتی و همچنین آب‌های برگشتی
را به‌عنوان منابعی جدید برای جبران بخشی از این کمبودها موردتوجه قرار داده‌اند. بررسی تجارب
جهانی نشان می‌دهد که با توجه به کمبود آب، استفاده از این پساب‌ها و آب‌های برگشتی به‌عنوان یک
منبع ارزشمند آب مطرح بوده و با گذشت زمان اهمیت آن بیشتر خواهد شد. در صورت استفاده صحیح
و رعایت استانداردها و ضوابط مربوط از اثرات سودمندی همچون حفاظت کمی و کیفی از منابع آب،
جلوگیری از آلودگی منابع آب، کاهش نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی، احیا اراضی بیابانی،
منافع اقتصادی و امکان استفاده در مصارف صنعتی برخوردار است. درزمینه اثرات منفی، توجه به اثرات

آن‌ها بر کیفیت محصولات، کیفیت خاک، وضعیت آلودگی منابع آب و سلامتی انسان‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین بررسی قابلیت استفاده پساب‌های مختلف در کشاورزی نشان می‌دهد که از بین منابع مختلف پساب‌ها و منابع برگشتی، فاضلاب‌های خانگی به خاطر حجم زیاد و کیفیت مناسب‌تر بعد از طی مراحل تصفیه برای مصارف کشاورزی از اولویت بیشتری برخوردار است. در استفاده از پساب‌های خانگی برای مصارف زراعی توجه به خواص بهداشتی از جمله کلیفرم، فکال کلیفرم و تخم انگل‌های نماتودی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و از عوامل محدودیت را در انتخاب الگوی کشت محسوب می‌شوند.

همان‌طور که بیان شد استفاده از پساب‌ها برای مصارف کشاورزی آلودگی‌های آب، خاک و گیاه را در پی دارد و به طبع آن مخاطرات بسیار جدی برای انسان و سایر جانداران ایجاد می‌کند. اهمیت و ضرورت این امر زمانی دوچندان می‌شود که اطلاعات مستندی از کیفیت پساب از محل رهاسازی تا محل مصرف در اختیار نباشد. حضور انواع منابع آلاینده در مسیر در کنار تغییران کیفیت خروجی تصفیه‌خانه می‌تواند سبب اثر منفی و مخاطره سلامت برای مصرف‌کننده نهایی در پی داشته باشد. از این‌رو به نظر می‌رسد بررسی کیفیت پساب‌های خروجی تصفیه‌خانه‌های شهر تهران (از محل رهاسازی تا مصرف) و ارزیابی ریسک سلامت استفاده از پساب‌ها در صنعت کشاورزی باید مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۳- اهداف پژوهش

از این‌رو اهداف کلی طرح عبارت است از:

(۱) بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های شهر تهران

(۲) ارزیابی ریسک سلامت گیاهان آبیاری شده با پساب‌ها

همچنین اهداف جزئی طرح حاضر نیز عبارت است از:

(۱) شناسایی منابع آلاینده احتمالی در مسیر رهاسازی پساب تا مصرف

(۲) بررسی نوسان احتمالی در کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده

۴-۱- فرضیه‌ها یا سؤال‌های اساسی پژوهش

فرضیات:

- (۱) فرض بر آن است حضور منابع آلاینده احتمالی تأثیر جدی بر کیفیت پساب مصرفی خواهد گذاشت.
- (۲) استفاده از شاخصه‌ای معتبر و مرسوم می‌تواند ارزیابی ریسک سلامت را تسهیل نماید.

سؤالات طرح:

- (۱) وضعیت آلودگی فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و نیترات در محصولات کشت‌شده با پساب تصفیه‌شده به چه صورت است؟
- (۲) منابع آلاینده در مسیر تصفیه‌خانه (با تمرکز بر تصفیه‌خانه‌های شهر تهران) کدام است؟
- (۳) تغییرات کیفیت پساب‌های خروجی از تصفیه‌خانه تا مزرعه به چه صورت است؟
- (۴) عوامل ایجاد تغییرات کیفی در پساب‌های رهاسده شامل چه مواردی است؟

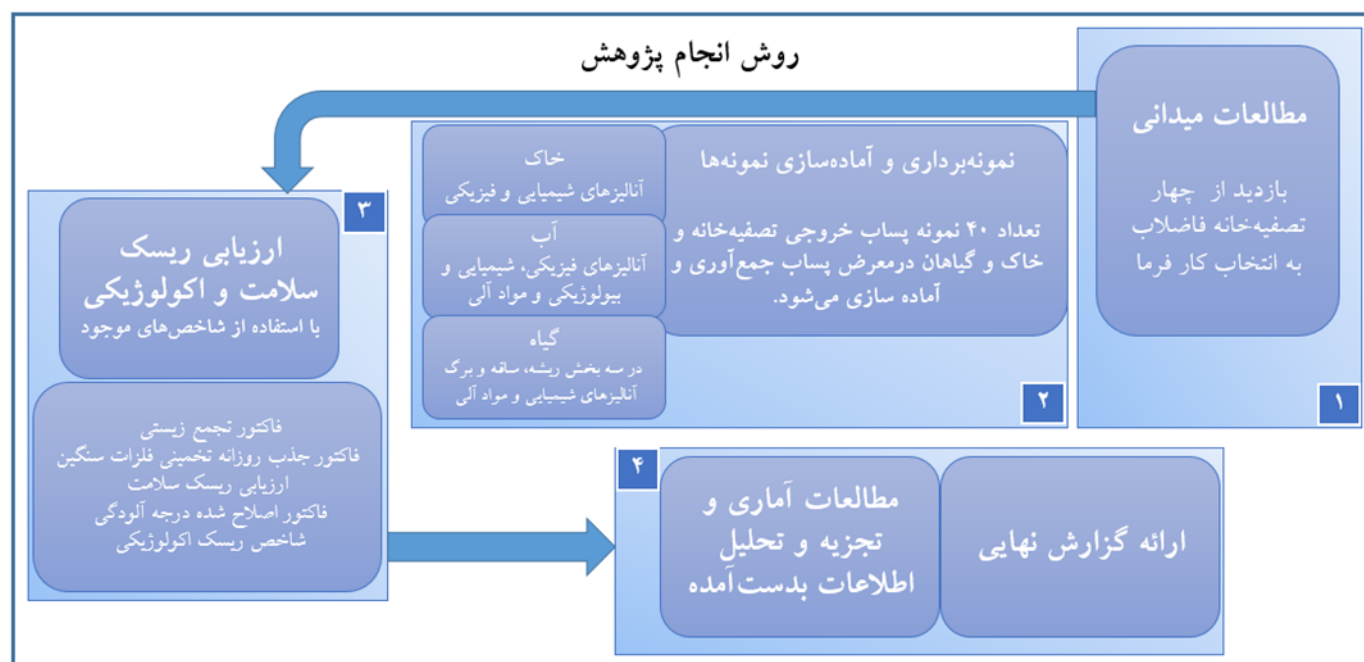
۵-۱- مبانی نظری پژوهش

استفاده از پساب‌های نامتعارف و یا کاهش کیفیت در پساب تصفیه‌شده در کشاورزی باعث ایجاد مخاطرات جدی برای انسان و دیگر موجودات اکوسیستم می‌شود. از این‌رو بررسی انواع آلودگی‌های احتمالی موجود در پساب‌های خروجی تصفیه‌خانه‌ها و تأثیرات زیست‌محیطی (تأثیر بر خاک، گیاهان و انسان) در صورت وجود مصارف کشاورزی می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد. آلودگی‌های موجود در پساب‌ها به چند دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها آلودگی‌های مربوط به فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و نیترات هستند.

با توجه به موارد بیان شده، شرح خدمات به شرح ذیل خواهد بود (نمونه‌برداری در دو فصل انجام خواهد شد):

- (۱) مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی جهت شناسایی دقیق منابع آلاینده
- (۲) نمونه‌برداری از خروجی تصفیه‌خانه‌ها در سه بخش آب، خاک و گیاه (حدود ۲۰۰ نمونه برای ۴ تصفیه‌خانه به پیشنهاد کارفرما)
- (۳) آنالیز فلزات سنگین در نمونه‌ها
- (۵) آنالیز کالی‌فرم مدفوعی و نیترات در نمونه‌ها
- (۶) آنالیز BOD، COD و TSS
- (۷) آنالیزهای آنیون‌ها و کاتیون‌های متداول

- ۸) سنجش فلزات سنگین و سایر پارامترهای مؤثر در نمونه‌های آب، خاک و گیاه
 ۹) ارزیابی ریسک سلامت استفاده از محصولات کشاورزی و نمونه‌ها خاک
 ۱۰) جمع‌بندی و گزارش نهایی



شکل ۱-۱. شماتیک روش انجام پژوهش

۱-۶- متغیرهای پژوهش

در این پژوهش تغییرات پارامترهای کیفی از جمله نیتروژن کل، کلی فرم مدفوعی، COD، BOD، TSS و غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های آب، خاک و گیاه محدوده مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. همچنین ریسک سلامت استفاده از پساب‌ها در کشاورزی نیز محاسبه خواهد شد.

۱-۷- روش انجام پژوهش

با توجه به اهداف و عنوان طرح، جزئیات روش پژوهش به شرح ذیل است:

مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی

- جمع‌آوری اطلاعات دقیق تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه (فرآیند تصفیه، راندمان تصفیه، اراضی و مناطق تحت پوشش، مسیرهای انتقال و...)

- بازدید از تصفیه‌خانه‌ها و مسیرهای انتقال

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی و جمع‌آوری اطلاعات دقیق از پروژه مورد نظر، نقاط نمونه‌برداری از آب، خاک و گیاهان تعیین و نمونه‌برداری انجام خواهد شد. نمونه‌برداری از تصفیه‌خانه‌های جنوب تهران، صفادشت، ملارد، شاهد شهر و پرند و مسیر انتقال آن به پیشنهاد کارفرمای محترم در نظر گرفته خواهد شد. در مجموع تصفیه‌خانه ۳۵ نمونه پساب، ۱۵ نمونه خاک و ۱۵ نمونه گیاه مدنظر است که مجموعاً در حدود ۶۵ نمونه در کل طرح برداشت خواهد شد. برای نگهداری نمونه‌های مرتبط با سنجش فلزات سنگین، حتماً از اسید نیتریک استفاده خواهد شد تا pH نمونه به زیر ۲ برسد. همچنین نمونه‌ها در جعبه‌های یونولیتی همراه با یخ تا رسیدن به آزمایشگاه نگهداری خواهد شد. نمونه‌برداری به پیشنهاد کارفرما در دو فصل سال انجام خواهد شد. همچنین در خصوص نمونه‌برداری از خاک و گیاه بر اساس زمان کشت و نوع محصول با تأیید کارفرما اقدام خواهد شد.

ادبیات موضوع و مرور بر تحقیقات گذشته

۲-۱- فلزات سنگین

وجود فلزات سنگین در پساب‌های خروجی تصفیه‌خانه‌ها یکی از عوارض مهم در به هم خوردن تعادل و توازن طبیعت است که منشأ آن می‌تواند کاهش راندمان تصفیه‌خانه، ورود آلودگی در مسیر انتقال و... باشد. به‌طور کلی ورود هر نوع ماده شیمیایی یا بیولوژیکی که غلظت آن بیش از زمینه طبیعی بوده و باعث تغییر در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب، خاک و گیاه شود، آلودگی اطلاق می‌شود. مهم‌ترین آلاینده‌ها شامل فلزات سنگین، بارش‌های اسیدی و مواد آلی هستند که از میان آن‌ها فلزات سنگین به دلیل خصوصیتی همچون غیرقابل تجزیه بودن، سمی بودن، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی بیشتر موردتوجه هستند (Micó et al, ۲۰۰۶; Kabata-Pendias and Mukherjee, ۲۰۰۷).

آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی که از طریق آبیاری با استفاده از پساب‌های نامتعارف ایجاد می‌شود، ممکن است منجر به بی‌نظمی در ساختار خاک، دخالت در رشد گیاه و نهایتاً آسیب به سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی شود. گزارش شده است نیمی از میانگین سرب، کادمیوم و جیوه از طریق غذاهای ناشی از منشأ گیاهی (سبزی، غلات و حبوبات) است که بر اثر آلوده شدن خاک‌ها به فلزات سنگین و انتقال این فلزات به گیاه وارد زنجیره غذایی انسان شده است (Lee et al, ۲۰۰۶). روند انباشت عناصر سنگین در خاک بسیار کند بوده و اثرات آن پس از ده‌ها سال مشخص می‌شود و در درازمدت موجب کاهش کیفیت خاک و در نهایت تخریب اراضی کشاورزی می‌گردد (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۲- عوامل تجمع فلزات سنگین در خاک

اغلب این فلزات سنگین در خاک‌ها، ناشی از منابع مختلفی نظیر هوازدگی طبیعی بالا در سنگ‌های زمینه و محتویات فلزی و یا ناشی از آلودگی‌های با منبع انسانی است؛ به عبارت دیگر، این فلزات به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما در اثر فعالیت‌های انسانی هم ممکن است به خاک افزوده شوند. در حقیقت، فعالیت‌های انسانی ممکن است منجر به تجمع بیشتر فلزات سنگین در خاک شود. آلودگی خاک به فلزات سنگین معمولاً در مزارعی که در گذشته آب یا لجن فاضلاب دریافت کرده‌اند و مناطقی که اطراف توده‌های بزرگ ضایعات و پسماندهای معدنی قرار دارند، به‌علاوه مناطق صنعتی که در آن‌ها ترکیبات شیمیایی دفن یا دپو شده‌اند و همچنین مناطقی که در پایین‌دست این مناطق و در جهت باد واقع شده‌اند، مشاهده می‌شود (Yalcin et al, ۲۰۰۷). آلودگی آب به فلزات سنگین در مسیر انتقال نیز از دیگر عواملی است که باعث افزایش تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه شده و به طبع آن سلامت انسان با مخاطرات جدی همراه می‌شود.

۲-۳- اثرات فلزات سنگین بر منابع آب

فلزات ترکیبات طبیعی اکوسیستم‌های آبی هستند و بسیاری از آن‌ها در غلظت‌های کم برای ارگانیزم‌ها ضروری‌اند. تنها زمانی که مقادیر آن‌ها از حد مجاز فراتر رود، آلاینده محیط‌زیست محسوب می‌شوند و می‌توانند مشکل اصلی اکوسیستم‌های آبی به شمار آیند. با توجه به خطرات فلزات سنگین، اندازه‌گیری این فلزات در آب باید به‌طور دائم انجام گیرد تا غلظت آن‌ها از حد مجاز زیادتر نشود و موجب بیماری نگردد. حلالیت فلزات سنگین در آب اغلب توسط pH آب و یا نوع و غلظت لیگاندی که فلز به آن پیوند می‌شود و همچنین پتانسیل اکسید و احیاء محیط کنترل می‌شود (Bastami et al, ۲۰۱۵).

نشت فلزات سنگین از طریق خوردگی لوله، درصد مهمی از آلودگی آب‌های آشامیدنی را تشکیل می‌دهد. بخش زیادی از فلزات موجود در آب‌های آشامیدنی شهرها مربوط به موادی است که در لوله‌کشی منازل به کار می‌رود. آب‌های خورنده به علت مجاورت و تماس به لوله‌ها، اتصالات، شیرآلات شبکه توزیع شهری و لوله‌کشی خانگی سبب انتقال فلزات به آب آشامیدنی می‌شوند همچنین کاهش راندمان تصفیه‌خانه‌ها باعث افزایش میزان فلزات سنگین در پساب خروجی می‌شوند که با روانه شدن این پساب‌ها به محیط‌های آبی زمینه را برای آلودگی منابع سطحی زیرزمینی آب فراهم می‌سازد. این فلزات شامل سرب، کادمیوم، روی، آهن و منگنز هستند (میران زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۴- اثرات تجمع فلزات سنگین بر بدن انسان

فلزات سنگین با ایجاد مکانیسم‌های متعدد سبب به هم خوردن تعادل در موجودات زنده به ویژه انسان می‌شوند و طیف گسترده‌ای از عوارض و اختلالات را به وجود می‌آورند. این عوارض و اختلالات در تمامی ارگان‌ها دیده می‌شوند و فاکتورهای مختلفی از جمله نوع فلز در آن‌ها دخالت دارند. فلزاتی که بیشترین سمیت را دارند عبارت‌اند از: آرسنیک، باریم، کادمیوم، سرب، جیوه و کروم. وارد شدن بیش از اندازه فلزات سنگین به بدن باعث ایجاد عوارض و صدماتی چون اختلالات عصبی، گوارشی، استخوانی، اختلال در عمل آنزیم‌ها، کلیه‌ها، مراکز خون‌ساز و عقب‌ماندگی ذهنی و سرطان خواهد شد (Chervona et al, ۲۰۱۲). ریسک قرار گرفتن در معرض و اثرات نامطلوب سلامتی فلزات سنگین از طریق مسیرهای پوستی و بلع به شرح زیر برآورد می‌شود (Jamshidi-zanjani et al, ۲۰۲۰):

$$DI_{in} = \frac{C_T \times IR_S \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$DI_d = \frac{C \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

DI_{in} - مصرف روزانه بر اساس مسیرهای مصرف و قرارگرفتن در معرض خوراکی ($mg\ kg^{-1}\ day^{-1}$)

CT - غلظت کل فلز در نمونه خاک ($mg\ kg^{-1}$)

IRs - مصرف خاک نرخ (برابر ۱۰۰، $mg\ day^{-1}$)

EF - فراوانی قرار گرفتن در معرض (برابر ۳۵۰، $day\ year^{-1}$)

ED - مدت زمان قرار گرفتن در معرض (برابر ۷۰، سال)

BW - وزن بدن (برابر ۷۰، kg)

AT - میانگین زمان قرار گرفتن در معرض (برابر ۲۵۵۰، روز)

DI_d - مصرف روزانه پوستی ($mg\ kg^{-1}\ day^{-1}$)

SA - سطح تماس سطح پوست (برابر ۵۲۵، cm^2)

AF - فاکتور چسبندگی (برابر ۰/۴۹، $mg/cm^2/day$)

ABS - فاکتور جذب پوستی (بدون واحد)

۲-۵- اثرات بر محیط‌زیست فیزیکی

بقایای املاح، سموم و آفتکش‌ها، کودهای شیمیایی و عناصر کمیاب در آب‌های برگشتی و زهاب‌ها و همچنین فلزات سنگین و مواد آلی در پساب‌های شهری و صنعتی در صورت استفاده غیر صحیح و راه یابی به منابع آب موجب تخریب زیست‌بوم‌های آبی می‌گردد. نمک‌ها با تأثیر بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک موجب تغییر در سامانه جذب آب توسط گیاه گردیده و نهایتاً بر عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارند. مصرف آب‌شور با تأثیر منفی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، کاهش پایداری ساختمان خاکدانه‌ها و کاهش نفوذ آب به خاک و کاهش تولید محصول خواهد شد. افزایش قلیائیت خاک که ممکن است به دلیل غلظت زیاد سدیم اتفاق بیافتد، در اثر افزایش سدیم قابل‌تبادل، کانی‌های رسی متورم و پراکنده گردیده و موجب تخریب ساختمان خاک و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شوند. در استفاده از فاضلاب و پساب برای آبیاری، اغلب پاتوژن‌ها و تخم انگل‌های نماتودی، در چند سانتی‌متری اول خاک فیلتر می‌شوند. از میان آلودگی‌های شیمیایی، نیتрат یکی از فاکتورهای اصلی محسوب می‌شود. این ترکیب می‌تواند تا عمق زیادی همراه آب در خاک حرکت کرده و مخاطرات زیادی را در استفاده از منابع آب زیرزمینی به وجود آورد. پساب‌ها و آب‌های برگشتی به دلیل غنی بودن

از عناصر مغذی و داشتن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در صورت استفاده غیراصولی، قادر به راه‌یابی به منابع آب سطحی و آلودگی آن‌ها و تشدید پدیده تغذیه گرایشی خواهند بود. در این زمینه طراحی و در نظرگیری زهکش‌های مناسب ضروری است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۸۹).

حضور ذرات معلق معدنی و آلی در فاضلاب خام، پساب تصفیه‌شده و حتی آب آبیاری معمولی، ممکن است موجبات انسداد خلل و فرج خاک را به‌خصوص در لایه‌های سطحی فراهم آورد. این امر می‌تواند کاهش شدت نفوذ آب به درون خاک و نقصان هدایت هیدرولیکی آن را سبب شود. در صورت عدم برنامه‌ریزی و استفاده غیراصولی از این منابع، انتشار بوی نامناسب از اثرات سوء دیگری است که می‌تواند برای ساکنین مناطق هم‌جوار و همچنین کارگران شاغل در پروژه‌های استفاده مجدد ناخوشایند و آزاردهنده باشد.

۲-۶- بررسی اثرات سوء بر محیط‌زیست بیولوژیکی (زیستی)

برخی از پساب‌ها که برای آبیاری مصرف می‌شوند حاوی یون‌هایی چون بر (B)، کلر (Cl) و سدیم (Na) و عناصر کمیاب (آلومینیوم، برلیوم، کبالت، فلئور، آهن، لیتیم، منگنز، مولیبدن، سلنیوم، قلع، تیتانیوم، تنگستن و وانادیوم) در غلظتی بیش از حد نیاز گیاه می‌باشند؛ این حالت باعث کاهش رشد، تغییر شکل گیاه و یا کم شدن و از بین رفتن محصول می‌گردند.

تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی آلوده به فلزات سنگین (در صورت عدم تصفیه مناسب و یا آلوده شدن در مسیر)، برای آبیاری محصولات موجب انتقال و تجمع این فلزات در محصولات تولیدی و در نهایت ایجاد مخاطرات بهداشتی برای حیوانات و انسان خواهد شد. همچنین استفاده از پساب‌ها با آلودگی میکروبی برای آبیاری گونه‌های علوفه، علاوه بر مخاطرات بهداشتی برای کارگران، می‌تواند باعث انتقال آلودگی به احشام و دام‌ها گردد. مهم‌ترین بیماری‌ها در این رابطه شامل بیماری سل، کرم کدوی گاوی (تنیاسازی‌ناتا) و آلودگی‌های سالمونلایی است. تجمع عناصر سنگین در گیاهان و مصرف آن‌ها توسط احشام، باعث انتقال این عناصر به انسان می‌شود. چون حیوانات در معرض مقادیر بیشتری از عناصر سنگین (به علت استفاده از گیاهان) نسبت به انسان هستند، لذا پتانسیل حیوانات از نظر آلودگی با این عناصر بیشتر است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۸۹).

۲-۷- بررسی اثر بر وضعیت بهداشت و سلامتی

اثرات بهداشتی ناشی از میکروارگانیسم‌ها و عوامل بیماری‌زا

یکی از مسائل خطرزا در تصفیه و استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی، وجود عوامل بیماری‌زا و انتشار آن‌ها در بین کارگران، جوامع محلی و اجتماعات انسانی مجاور و همچنین مصرف‌کنندگان محصولات تولیدی است. راه‌های پیشگیری شامل ضدعفونی پساب تا حد رسیدن به کیفیت موردنظر، به‌ویژه استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) است که برای کشورهای در حال توسعه و ازجمله ایران مناسب‌تر به نظر می‌رسد. به‌طورمعمول کلی‌فرم مدفوعی و تعداد تخم انگل نماتد، به‌عنوان شاخص کیفی بهداشتی جهت ارزیابی درجه آلودگی و اثرات بهداشتی-زیست محیطی مربوط به بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب‌ها و آب‌های برگشتی مطرح است.

اثرات بهداشتی ناشی از ترکیبات آلی و شیمیایی

ترکیبات آلی، بخشی از ناخالصی‌ها می‌باشند که به فرم‌های مختلف در آب‌های بازیافتی مشاهده می‌شوند. این گروه با شاخص‌های BOD, COD و TOC بیان می‌شوند. این گروه قابلیت تجزیه زیستی داشته و در سامانه‌های تصفیه معمول، اکسید و به ترکیبات پایدار تبدیل می‌گردند؛ بخش محدودی از این مواد به‌صورت ترکیبات آلی حلقوی مقاوم به تجزیه زیستی بوده و همراه پساب به منابع پذیرنده دفع می‌شود.

ترکیبات شیمیایی موجود در پساب‌ها و آب‌های برگشتی با دارا بودن خواص شیمیایی و سمی، در طولانی مدت دارای خطراتی بر سلامتی افراد مرتبط با آن‌ها می‌باشند. این گروه شامل فلزات سنگین، عناصر کمیاب، مواد آلی سرطان‌زا، ترکیبات شیمیایی و دارویی است. این گروه از فاکتورهای کیفی مهم پساب‌های صنعتی به‌ویژه صنایع شیمیایی و فلزی بوده و از ماندگاری و اثرات مخرب بالایی برخوردار می‌باشند. این منابع همچنین دارای مقادیر قابل‌توجهی از مواد دارویی و هورمون‌ها می‌باشند که وقتی پساب خروجی برای آبیاری استفاده شود در گیاهان مختلف تجمع یافته و یا منجر به تولید ترکیبات ثانویه شده و درنهایت به بدن دام و یا انسان منتقل شده و می‌تواند اختلالات مختلفی را، ازجمله اختلال در باروری و زادوولد به همراه داشته باشد. محققین پیش‌بینی می‌کنند که بیش از ۷۰۰۰ نوع از این ترکیبات در خروجی پساب تصفیه‌خانه‌ها موجود باشد که در حال حاضر تنها ۴۵ نوع این گروه شناخته شده است (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۸۹).

۲-۸- بررسی اثر بر منابع آب‌و خاک

استفاده از منابع پساب‌های تصفیه‌شده که احتمالاً در مسیر انتقال و یا در پی کاهش راندمان تصفیه‌خانه دچار آلودگی شده است، با عوارض سوء ناگواری بر محیط‌زیست و به‌ویژه منابع آب‌و خاک همراه است.

شوری زیاد و بقایای سموم، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی در آب‌های برگشتی و زهاب‌ها و همچنین فلزات سنگین در پساب‌های شهری و صنعتی در صورت استفاده غیر صحیح و راه‌یابی به منابع آب موجب تخریب زیست‌بوم‌های آبی می‌گردد. ترکیبات ازت (نیتريت و نیترات) از جمله عوامل آلاینده منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شوند که می‌تواند طی مصرف پساب‌ها و آب‌های برگشتی تشدید گردد. از میان آلودگی‌های شیمیایی، نیترات‌ها منابع اصلی آلودگی هستند، چرا که می‌توانند در مسافت‌های زیادی در خاک حرکت کنند و مخاطرات زیادی را در استفاده از منابع آب زیرزمینی به همراه داشته باشد. خصوصاً زمانی که از این منابع برای تغذیه مصنوعی استفاده شود، آلودگی نیترات‌ها بسیار مهم است. کاربرد پساب‌ها و آب‌های برگشتی به دلیل غنی بودن از عناصر مغذی و داشتن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا باعث تسریع و تشدید پدیده تغذیه گرایي خواهد بود.

یکی از مشکلات عمده در استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی، تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آن به گیاه است. این عناصر در کوتاه‌مدت تأثیر چندانی بر روی گیاه نداشته ولی به تدریج با تجمع در اندام‌های گیاهی و مصرف توسط انسان و دام، به بدن آن‌ها منتقل و تجمع پیدا کرده و باعث صدمه و آسیب می‌گردد. اکثر این فلزات در حین نفوذ در لایه سطحی خاک رسوب نموده و به ترکیبات نامحلول و غیرقابل جذب گیاه تبدیل می‌گردند ولی طی عملیات خاک‌ورزی در سال‌های آتی به ناحیه ریشه منتقل شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. استفاده طولانی‌مدت از پساب‌ها و آب‌های برگشتی در اراضی زراعی جنوب تهران باعث تجمع و تمرکز فلزات سنگین در خاک و محصولات زراعی تولیدی در این مناطق شده است.

۲-۹- بررسی چارچوب‌ها و معیارهای قانونی و استانداردهای مربوط به استفاده مجدد از پساب‌ها

۲-۹-۱- استانداردهای مربوط به کیفیت شیمیایی

چنانچه مشاهده می‌شود مطابق جدول ۱ و ۲ به ترتیب استانداردهای خروجی فاضلاب از طرف سازمان حفاظت محیط زیست و استانداردهای کیفی مورد استفاده در کشورهای مختلف از تفاوت زیادی برخوردار بوده و این تفاوت به ویژه در زمینه فلزات سنگین از دامنه وسیع‌تری برخوردار است.

۲-۹-۲- استانداردهای مربوط به شاخص‌های میکروبیولوژیکی

توصیه می‌شود که برای کاربرد فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی، دو مورد زیر رعایت گردد:
- در آبیاری محدود شده و بدون محدودیت، میانگین حساسی تخم انگل زنده کمتر از ۱ عدد در لیتر
باشد.

- برای آبیاری بدون محدودیت، میانگین هندسی تعداد کلیفرم‌ها در ۱۰۰ میلی لیتر کمتر از ۱۰۰۰
باشد

بررسی استانداردهای داخلی و مقایسه آن نشان می‌دهد که استانداردهای مذکور عمدتاً برگرفته از
استانداردهای مشابه خارجی می‌باشند. استاندارد دفع فاضلاب ارائه شده از طرف سازمان حفاظت محیط
زیست شامل استانداردهای مربوط به دفع پساب‌های حاصل از تصفیه فاضلاب به منابع آب سطحی،
زیرزمینی و همچنین استفاده مجدد در مصارف کشاورزی است. این استاندارد در برگیرنده اکثر
پارامترهای کیفی اعم از فیزیکی، شیمیایی، میکروبیولوژیکی و فلزات سنگین می‌باشد. برای استفاده از
پساب‌ها در مصارف زراعی و همچنین دفع در منابع آب سطحی و زیرزمینی تاکنون از این استاندارد
استفاده می‌شود. استاندارد خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری که استاندارد مورد توافق وزارت نیرو،
بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران بوده و از لحاظ مقدار پارامتر
مورد نظر با استاندارد خروجی فاضلاب‌های سازمان حفاظت محیط زیست یکی بوده ولی از نظر دوره زمانی
اندازه‌گیری و تعداد پارامترهای اندازه‌گیری متفاوت است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

جدول ۲-۱. استانداردهای خروجی فاضلاب از طرف سازمان حفاظت محیط زیست، به استناد ماده ۵ آیین
نامه جلوگیری از آلودگی آب

آلاینده	تخلیه به آبهای سطحی (mg/l)	تخلیه به چاه جاذب (mg/l)	کشاورزی و آبیاری (mg/l)	آلاینده	تخلیه به آبهای سطحی (mg/l)	تخلیه به چاه جاذب (mg/l)	کشاورزی و آبیاری (mg/l)
۱ نقره	۱	۰/۱	۰/۱	۲۶ آمونیوم	۲/۵	۱	—
۲ آلومینیوم	۵	۵	۵	۲۷ نیتريت	۱۰	۱۰	—
۳ آرسنیک	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۲۸ نترات	۵۰	۱۰	—
۴ بر	۲	۱	۱	۲۹ فسفات	۶	۶	—
۵ باریم	۵	۱	۱	۳۰ سرب	۱	۱	۱
۶ بریلیوم	۰/۱	۱	۰/۰۵	۳۱ سلنیم	۱	۰/۱	۰/۱
۷ کلسیم	۷۵	—	—	۳۲ سولفید	۳	۳	۳
۸ کادمیوم	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۳۳ سولفیت	۱	۱	۱
۹ کلر آزاد	۱	۱	۰/۲	۳۴ سولفات	۴۰۰	۴۰۰	۵۰۰
۱۰ کلراید	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۳۵ روی	۲	۲	۲
۱۱ فرماید	۱	۱	۱	۳۶ چربی روغن	۱۰	۱۰	۱۰
۱۲ فنل	۱	ناچیز	۱	۳۷ دترجنت	۱/۵	۰/۵	۰/۵
۱۳ سیانور	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۳۸ BOD ₅	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۱۰۰	۱۰۰
۱۴ کبالت	۱	۱	۰/۰۵	۳۹ COD	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)	۲۰۰	۲۰۰
۱۵ کروم	۰/۵	۱	۱	۴۰ DO	۲	—	۲
۱۶ کروم	۲	۲	۲	۴۱ TDS	—	—	—
۱۷ مس	۱	۱	۰/۲	۴۲ TSS	۴۰ (لحظه‌ای ۶۰)	۱۰۰	۱۰۰
۱۸ فتوراید	۲/۵	۲	۲	۴۳ SS	۰	—	—
۱۹ آهن	۳	۳	۳	۴۴ PH	۶/۵-۸/۵	۵-۹	۶/۵-۸/۵
۲۰ جیوه	ناچیز	ناچیز	ناچیز	۴۵ مواد رادیواکتیو	۰	۰	۰
۲۱ لیتیم	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۴۶ کدورت	۵۰	—	۵۰
۲۲ منیزیم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۷ رنگ	۷۵	۷۵	۷۵
۲۳ منگنز	۱	۱	۱	۴۸ کلیفرم گوارشی	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
۲۴ مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۴۹ کلیفرم	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۲۵ نیکل	۲	۲	۲	۵۰ تخم انگل	جهت آبیاری محصولاتی که به صورت خام مورد استفاده قرار می‌گیرد نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد		

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

جدول ۲-۲. استانداردهای استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی در کشورهای جهان

پارامتر	واحد	کانادا	امریکا	تایوان	مجارستان	چین	عربستان	تونس
pH					۸/۵-۶/۵	۸/۵-۵/۵	۸/۵-۵/۵	۸/۵-۶/۵
TDS	میلی گرم بر لیتر	۳۵۰۰-۵۰۰				۲۰۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۷۰۰
هدایت الکتریکی	میکروزیمنس بر سانتیمتر			۷۵۰				
جامدات معلق	میلی گرم بر لیتر			۱۰۰		۱۵۰	۱۰۰	۳۰
کلرید	میلی گرم بر لیتر			۱۷۵		۲۵۰	۲۸۰	۲۰۰۰
سولفات	میلی گرم بر لیتر			۲۰۰				
BOD	میلی گرم بر لیتر					۸۰	۸۰	
COD	میلی گرم بر لیتر							
آلومینیم	میکروگرم بر لیتر	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰		۵۰۰۰	
ارسنیک	میکروگرم بر لیتر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
بریلیم	میکروگرم بر لیتر	۱۰۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰		۱۰۰	
بر	میکروگرم بر لیتر	۶۰۰-۵۰۰	۷۵۰	۷۵۰	۷۰۰	۳۰۰۰-۱۰۰۰	۵۰۰	۳۰۰۰
کادمیم	میکروگرم بر لیتر	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۵	۵	۱۰
کروم	میکروگرم بر لیتر	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
کبالت	میکروگرم بر لیتر	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰		۵۰	
مس	میکروگرم بر لیتر		۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰
فلور	میکروگرم بر لیتر	۱۰۰۰			۱۰۰۰	۳۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰
آهن	میکروگرم بر لیتر						۵۰۰۰	۵۰۰۰
سرب	میکروگرم بر لیتر	۲۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰
لیتیم	میکروگرم بر لیتر		۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰		۷۰	
منگنز	میکروگرم بر لیتر						۲۰۰	۵۰۰
جیوه	میکروگرم بر لیتر			۵	۱۰	۱	۱	۱
مولیبدون	میکروگرم بر لیتر	۵۰-۱۰	۱۰	۱۰	۰		۱۰۰	
نیکل	میکروگرم بر لیتر	۲۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰		۲۰	۲۰۰
سلنیم	میکروگرم بر لیتر	۵۰-۲۰	۲۰	۲۰		۲۰	۲۰	۵۰
روی	میکروگرم بر لیتر	۵۰۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰
سیانید	میکروگرم بر لیتر				۱۰۰۰۰	۵۰۰	۵۰	
نفت و روغن	میکروگرم بر لیتر			۵۰۰۰	۸۰۰۰			
بنزن	میکروگرم بر لیتر				۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	
نفت	میکروگرم بر لیتر				۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	
تری‌کلرواستیلید	میکروگرم بر لیتر					۵۰۰	۵۰۰	
پروپیون آلدیدید	میکروگرم بر لیتر					۵۰۰	۵۰۰	

۲-۱۰- نگاه‌ی به تصفیه‌خانه‌های شهر تهران

وضعیت موجود:

تصفیه خانه صاحبقرانیه اولین تصفیه خانه ایران است که به روش هواده‌ی گسترده عمقی کار می‌کند. این تصفیه خانه در دهه ۱۳۳۰ توسط شرکت آمریکایی تدنس در منطقه صاحبقرانیه تهران با ظرفیت تصفیه فاضلاب خانگی جمعیتی معادل ۲۰۰۰ نفر طراحی و ساخته شد. جنس لوله شبکه جمع آوری این تصفیه خانه از نوع آریست سیمانی و محل دفع پساب آن کانال پاسداران می‌باشد. دبی متوسط ورودی به تصفیه خانه $50 \text{ m}^3/\text{d}$ و مقدار فاضلابی که روزانه سیستم بدون تصفیه به کانال وارد می‌کند، $30 \text{ m}^3/\text{d}$ می‌باشد.

تصفیه خانه زرگنده در خیابان دکتر شریعتی خیابان ظفر خیابان رودکی نبش کوچه لادن واقع می‌باشد. مطالعه و عملیات اجرایی آن از اوایل دهه ۱۳۶۰ شروع و در سال ۱۳۶۶ به بهره برداری رسیده است. نوع فرایند آن لجن فعال تماس و تثبیت - هواده‌ی گسترده عمقی و محل دفع پساب آن مسیل رودکی می‌باشد.

تصفیه خانه شوش در شهرک کیانشهر انتهای خیابان قربانزاده واقع است. مطالعه و عملیات اجرایی آن از اوایل ۱۳۵۰ شروع و در سال ۱۳۶۱ به بهره برداری رسیده است. نوع فرایند آن لجن فعال - هواده‌ی گسترده سطحی و محل دفع پساب آن نهر سرخه حصار می‌باشد. جمعیت تحت پوشش و دبی متوسط ورودی به ترتیب ۴۰۰۰۰ نفر و ۲۴۰ مترمکعب در ساعت است.

تصفیه خانه اکباتان در شهرک اکباتان بین فاز یک و دو و با سیستم لجن فعال از نوع هواده‌ی ممتد واقع شده است. در این تصفیه خانه، جهت پالایش پساب از صافی‌های شنی ثقلی تند استفاده شده است. جنس لوله شبکه جمع آوری از نوع آریست و محل دفع پساب آن نهر فیروز آباد می‌باشد. دبی متوسط ورودی به این تصفیه خانه $625 \text{ m}^3/\text{h}$ و حداکثر آن $45000 \text{ m}^3/\text{h}$ است. جمعیت تحت پوشش این تصفیه خانه بر مبنای طراحی واحدها، ۱۰۰۰۰۰ نفر بوده است.

تصفیه خانه فاضلاب جنوب تهران که در شهرری، اتوبان شهید آوینی مجاور روستای عمادآور واقع می‌باشد برای تصفیه بخشی از فاضلاب تهران در ۸ مدول به ظرفیت ۴۲۰۰۰۰۰۰۰ نفر پیش بینی شده است. چهار مدول ساخته شده فعلی هرکدام جمعیتی معادل ۵۲۵۰۰۰ نفر را پوشش داده و جریانی معادل ۴۵۰۰۰۰ متر مکعب در روز را می‌تواند جهت تصفیه پذیرش نماید. نواحی تحت پوشش این تصفیه خانه فاضلاب‌های جمع آوری شده از شمال و شمال شرق شهر بوده و از دو ورودی شرقی و غربی تصفیه خانه

دریافت می‌گردد. زمین تصفیه خانه به مساحت ۱۱۰ هکتار و باشویی از شمال به جنوب، از تراز ۱۰۳۵ الی ۱۰۲۰ واقع شده است. نوع فرآیند تصفیه فاضلاب از نوع لجن فعال همراه با حذف نیتروژن است و پساب تصفیه شده آبیاری زمین‌های کشاورزی دشت ورامین را تامین خواهد کرد. جمعیت تحت پوشش و دبی متوسط ورودی به ترتیب ۲۱۰۰۰۰۰ نفر و ۳۱۲ مترمکعب در ساعت است.

تصفیه خانه محلاتی در شهرک شهید محلاتی واقع در جاده لشکرک می‌باشد. مطالعه و عملیات اجرایی آن از اواخر دهه ۱۳۶۰ شروع و در سال ۱۳۷۸ به بهره برداری رسیده است. نوع فرایند آن لجن فعال - هوادهی گسترده عمقی می‌باشد و دفع پساب آن جهت آبیاری فضای سبز شهرک مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول ۳ مشخصات تصفیه‌خانه‌های موجود در شهر تهران را ارائه می‌دهد.

جدول ۲-۳. مشخصات تصفیه‌خانه‌های موجود شهر تهران

تصفیه‌خانه	جمعیت تحت پوشش نفر	دبی ورودی m ³ /h	فرآیند تصفیه	محل دفع پساب
۱ صاحبقرانیه	۲۰۰۰	۱۲		
۲ محلاتی	۳۰۰۰۰	۲۰۰	لجن فعال-هوادهی گسترده عمقی	جهت آبیاری فضای سبز شهرک
۳ زرگنده	۱۲۰۰۰	۱۹۰	لجن فعال-هوادهی گسترده عمقی	مسیل رودکی
۴ قیطریه	۱۲۰۰۰	۵/۶۲	لجن فعال-هوادهی گسترده عمقی	مسیل بهمنی
۵ شهرک قدس	۸۵۰۰۰	۱۹۸	لجن فعال-هوادهی گسترده عمقی	کانال جمع آوری آب‌های سطحی بزرگراه شیخ فضل الله
۶ شوش	۴۰۰۰۰	۲۴۰	لجن فعال _ هوادهی گسترده سطحی	نهر سرخه حصار
۷ اکباتان	۱۰۰۰۰	۶۲۵	A ₂ O	نهر فیروز آباد

*با توجه به گزارش شرکت فاضلاب تهران در شهریور ماه ۱۳۹۹ در مجموع ۳/۴۸۲/۰۰۰ نفر تحت پوشش شبکه فاضلاب قرار دارند و ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ۷۱۹/۷۵۰ مترمکعب در روز است. همچنین ۱۷۴/۹۹۸/۲۸۴ مترمکعب در سال، حجم پساب واگذار شده به بخش کشاورزی است (گزارش بهره برداری شرکت فاضلاب تهران- ۱۳۹۸).

افق ۱۴۱۰:

با توجه به اطلاعات موجود در افق ۱۴۱۰، ۱۵ تصفیه‌خانه فاضلاب شهری برنامه‌ریزی شده که شامل تصفیه‌خانه‌های طرح جامع فاضلاب شهر تهران (۷ عدد) است که با تبدیل تصفیه‌خانه شمال غربی به چهار تصفیه‌خانه در منطقه ۲۲ تعداد آن‌ها به ۱۰ عدد افزایش می‌یابد (تاکنون حدود ۴۵ درصد تصفیه‌خانه‌های طرح فاضلاب تهران اجرایی شده است). همچنین تصفیه‌خانه‌های محلی تهران تحت پوشش آب و فاضلاب به ۵ عدد می‌رسد که پیش‌بینی می‌شود مجموع پساب تصفیه‌خانه‌های شهر تهران ۸۵۲/۵۵ میلیون مترمکعب در سال باشد. مشخصات کلی تصفیه‌خانه‌های تهران در افق ۱۴۱۰ در جدول ۴ ارائه شده است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

جدول ۲-۴. مشخصات تصفیه‌خانه‌های واقع در محدوده شهر تهران

ردیف	تصفیه خانه	جمعیت در سال ۱۴۱۰ (میلیون نفر)	متوسط پساب سالانه (میلیون مترمکعب)	نوع فرآیند تصفیه
تصفیه‌خانه‌های طرح جامع فاضلاب شهر تهران				
۱	جنوبی	۴/۴۸	۳۰۶/۸	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
۲	غربی	۳/۴۳	۲۷۳	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
۳	جنوب غربی	۰/۶۸	۳۸/۴	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
۴	مرکزی	۱/۱	۷۷/۷	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
۵	خرگوش دره	۰/۲۵۶	۱۶/۶	تصفیه ثانویه
۶	دستواره	۰/۲۵۶	۱۶/۶	تصفیه ثانویه
۷	غرب دریاچه	۰/۱۳۹	۹	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
۸	وردآورد	۰/۰۵۹	۳/۸	تصفیه ثانویه
۹	شرقی	۰/۶۹	۵۶/۷	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
۱۰	شهرک غرب	۰/۵۴	۴۳/۷	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
تصفیه‌خانه‌های محلی موجود در شهر تهران تحت پوشش شرکت آب و فاضلاب				
۱۱	دستواره	۰/۰۸۵	۵/۲	تصفیه ثانویه با حذف مواد مغذی
۱۲	غرب دریاچه	۰/۰۴۲	۲	تصفیه اولیه پیشرفته
۱۳	وردآورد	۰/۰۰۷	۰/۱۵	تصفیه ثانویه
۱۴	شرقی	۰/۰۳	۱/۸	تصفیه ثانویه
۱۵	شهرک غرب	۰/۰۲	۱/۱	تصفیه اولیه پیشرفته

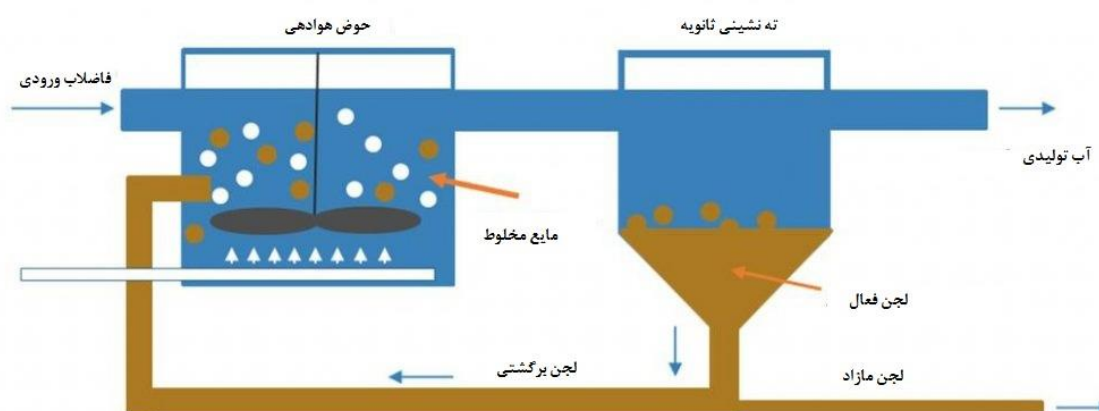
همانطور که اشاره شد ۱۷۴/۹۹۸/۲۸۴ مترمکعب در سال حجم پساب واگذار شده به بخش کشاورزی است و به طبع افزایش تعداد تصفیه‌خانه‌ها در افق ۱۴۱۰ حجم پساب واگذار شده به این بخش نیز افزایش خواهد یافت. لازم به ذکر است این موضوع اثر مثبتی در تامین آب بخش کشاورزی با استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده دارد، اما مدیریت و پایش مستمر این تصفیه‌خانه‌ها و مسیرهای انتقال برای جلوگیری از اثرات سوء و آلودگی‌های مرتبط با آن در آب، خاک و گیاهان بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

۲-۱۰-۱- نگاهی اجمالی به روش‌های متداول تصفیه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر تهران

همانطور که مشخص است هدف از تصفیه فاضلاب حذف آلاینده‌های آن برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست و امکان استفاده مجدد می‌باشد. در اغلب استانداردهای مربوط به تصفیه ثانویه فاضلاب برای COD، BOD₅، TSS و سایر پارامترهای موثر در کیفیت، محدودیت در نظر گرفته می‌شود. برای میزان آلودگی بیولوژیکی نیز به منظور کنترل مقدار کلی فرم در حد مجاز، به ویژه در مواردی که پساب برای اهداف

آبیاری در نظر گرفته می‌شود، محدودیت‌هایی اعمال شده است. در این میان با در نظر گرفتن استانداردهای موجود انواع نسبتاً گسترده‌ای از روش‌های تصفیه فاضلاب وجود دارد.

تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی اغلب به منظور جداسازی مواد معلق فاضلاب به کار می‌روند و در اغلب روش‌های تصفیه فاضلاب یکسان می‌باشند. بنابراین مبنای مقایسه فرآیندهای مختلف تصفیه فاضلاب، سیستم‌های بیولوژیکی خواهند بود. فرآیندهای مختلف بیولوژیک جهت کاهش مواد آلاینده فاضلاب وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشد. یکی از متداول‌ترین سیستم‌ها در تصفیه فاضلاب سیستم لجن فعال است (شکل ۱). این فرآیند می‌تواند محدودیت‌های ذکر شده توسط استانداردهای مختلف را برآورده کند. فرآیند لجن فعال متعارف که غالباً در تصفیه‌خانه‌های بزرگ به کار گرفته می‌شود شامل یک استخر هوادهی و استخر ته‌نشینی است که مخلوط لجن از استخر هوادهی به استخر ته‌نشینی، که در آن لجن از پساب جدا می‌شود، منتقل می‌گردد. اساس کار در فرآیند لجن فعال هوازی، شامل هوادهی فاضلاب خام در مجاورت میکروارگانیسم‌ها در حوضچه هوادهی و سپس جداسازی جرم میکروبی از فاضلاب هوادهی شده در حوض‌های ته‌نشینی و به دست آوردن پساب تصفیه شده است.



شکل ۱-۲. شماتیک روش تصفیه لجن فعال

در فرآیند لجن فعال به دلیل نیاز به تجهیزات مکانیکی و الکتریکی و مصرف زیاد انرژی هزینه تصفیه فاضلاب بالا می‌باشد. در مقابل این روش‌ها، فرآیندهای کم هزینه‌تر نیز وجود دارد که جزء فرآیندهای تصفیه طبیعی می‌باشند که برکه‌های تثبیت فاضلاب در این دسته قرار دارند (شکل ۲).

برکه‌های تثبیت جزء ساده‌ترین فرآیندهای تصفیه فاضلاب می‌باشند که در مقایسه با سایر سیستم‌های تصفیه از راندمان بالا در حذف ارگانیسم‌های بیماری‌زا، شوک‌پذیری در مقابل مواد سمی و بارهای

آلی و هیدرولیکی برخوردار می‌باشند. تعداد بسیار زیادی از این برکه‌ها در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به کار گرفته شده‌اند.

در کشور ایران نیز بر اساس بخشنامه مدیریت شرکت آب و فاضلاب در سال ۱۳۷۰ در صورت امکان ساخت و استفاده برکه‌های تثبیت نسبت به سایر روش‌های تصفیه فاضلاب در اولویت قرار دارد. قابل ذکر است که با توجه به مطالعات انجام شده راهبری صحیح و اصولی از مهم‌ترین عوامل در عملکرد بهینه برکه‌های تثبیت به شمار می‌آید. بی توجهی به مسائل بهره‌برداری در این روش منجر به ایجاد مشکلات عمده‌ای از جمله تولید بو، تجمع حشرات و در نهایت تولید پسابی با کیفیت نامطلوب می‌گردد. برکه‌های تثبیت به حداقل مصرف انرژی، تجهیزات مکانیکی و الکتریکی نیاز دارند. عیب عمده برکه‌های تثبیت فاضلاب نیاز به زمین زیاد است. در کشور ما به دلیل مناسب بودن شرایط آب و هوایی از نظر درجه حرارت در اکثر مناطق می‌توان به طور موثر از برکه‌های تثبیت برای تصفیه فاضلاب با هزینه‌های کمتر استفاده نمود.



شکل ۲-۱. نمونه‌ای از برکه‌های تثبیت فاضلاب

۲-۱۱-۱- تجارب و تحقیقات داخلی

انسان از گذشته‌های دور و نامعلوم، آب‌های برگشتی و فاضلاب‌ها را در کشاورزی مورد استفاده قرار داده است. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که در قرن دهم هجری، فاضلاب در حومه شهر اصفهان برای کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. در قدیم استفاده از فاضلاب عمدتاً با انگیزه حاصلخیز کردن اراضی کاربرد داشته است، در صورتی که در حال حاضر کمبود آب انگیزه اصلی محسوب می‌شود. اولین تصفیه‌خانه شهری به روش لجن فعال و با ظرفیت ۴۸۰ مترمکعب در روز در سال ۱۳۴۰ در منطقه صاحبقرانیه ساخته شد. دومین تصفیه‌خانه فاضلاب شهری کشور در سال ۱۳۵۲ به روش برکه تثبیت در فولاد شهر اصفهان احداث گردید. هم‌اکنون اغلب شهرهای بزرگ کشور دارای سامانه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب می‌باشند. در حال حاضر در سطح کشور، به ویژه در حواشی شهرهای بزرگ و مراکز استان‌ها مناطق وسیعی با پساب‌ها، آب‌های برگشتی و رواناب‌های شهری آبیاری می‌شوند. در بیش‌تر مواقع این استفاده غیراصولی بوده و برای کشت سبزیجات و صیفی‌جات به کار رفته و موجب آلودگی محیط زیست، تجمع آلودگی در خاک و انتقال آن به محصولات تولیدی شده است. با توجه به میزان استقبال و هم‌چنین نیاز به استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی در کشاورزی، در حال حاضر بیش‌تر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سطح کشور با هدف استفاده مجدد از پساب حاصل در کشاورزی، طراحی و اجرا می‌گردند. با وجود قدمت استفاده از فاضلاب در کشور، تحقیقات در زمینه اثرات مربوط در یکی دو دهه اخیر آغاز شده است. در بخشی از این مطالعات توجه اصلی به اثرات زیست محیطی کاربرد این منابع معطوف شده و در بررسی‌های دیگر تاثیر این آب‌ها در کمیت و کیفیت محصول مورد بررسی قرار گرفته است. در حال حاضر نیز در بسیاری از شهرهای کشور فاضلاب‌های شهری و رواناب‌های سطحی که از شهرها خارج می‌شوند، در زمین‌های کشاورزی پایین دست استفاده می‌شود.

بررسی مطالعات داخلی نشان می‌دهد که با توجه به اهمیت موضوع مطالعات کاربردی در خصوص ارزیابی کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده جهت مصارف کشاورزی انجام شده است. ناصری و همکاران (۱۳۹۱) کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل به‌منظور استفاده مجدد در کشاورزی را بررسی کرده‌اند. مطالعه مذکور به‌صورت توصیفی-مقطعی بوده و نمونه‌برداری از پساب و انجام آزمایش‌ها جهت تعیین کیفیت پساب و مقایسه با استانداردها صورت گرفته است. نتایج نشان داد که میانگین پارامترهای COD و BOD₅ به ترتیب ۹۷/۸۷ و ۵۷/۲۵ میلی‌گرم در لیتر و میانگین فلزات سنگین کادمیوم، مس و سرب به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۰۸ و ۰/۶۷ میلی‌گرم در لیتر با استاندارد سازمان محیط‌زیست ایران در زمینه استفاده مجدد از

پساب در کشاورزی مطابقت داشته است. میانگین کلیفرم کل و مدفوعی به ترتیب $7/3 \times 10^5$ و $2/3 \times 10^4$ بوده است که با استاندارد مربوطه مطابقت نداشته است. کابوسی (۱۳۹۳) اثر میان‌مدت آبیاری با پساب تصفیه‌شده بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بندرگز) را مورد ارزیابی قرار داد. در تحقیق مذکور دو نمونه از فاضلاب ورودی و سه نمونه از پساب خروجی تصفیه‌خانه تهیه گردید و ۲۵ پارامتر کیفی فاضلاب مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که آبیاری گیاهان با پساب تصفیه‌خانه در میان‌مدت مشکلی نداشته لیکن اثر آن بر میزان آلودگی احتمالی خاک به عناصر سمی و سنگین و میزان جذب آن‌ها توسط گیاه مورد بررسی و تحلیل قرار نگرفته است. امام جمعه و همکاران (۱۳۹۵) کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب ناحیه صنعتی الوند قزوین جهت تخلیه به محیط‌زیست و استفاده مجدد از آن را مورد ارزیابی قرار دادند. میانگین غلظت BOD_5 ، COD و کلی‌فرم کل و مدفوعی به ترتیب $145/2$ ، 79 میلی‌گرم بر لیتر، 621 و 600 اندازه‌گیری شده است. همچنین میانگین غلظت سرب و کبالت به ترتیب $0/21$ و $0/04$ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است. در پژوهش مذکور محققین بیان کردند که به دلیل وجود آلودگی‌های میکروبی پساب و خاصیت تجمع‌ی بعضی از عناصر، انتخاب محصول و نوع مصرف پساب برای کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اهمیت استفاده از پساب حاتمی و همکاران (۱۳۹۷) استفاده مجدد از پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر بجنورد جهت مصارف کشاورزی و آبیاری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین غلظت باقیمانده در پساب خروجی برای BOD_5 ، COD ، TSS و فسفات به ترتیب $27,11,21$ و $11/34$ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار کلراید و SAR برای پساب تصفیه‌خانه بجنورد به ترتیب $3/89$ و 221 گزارش شده است. مهرآوران و همکاران (۱۳۹۴) امکان استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن را بررسی کردند. در تحقیق مذکور شاخص‌های کیفی BOD_5 ، COD ، TSS ، روی، مس، کروم در فاضلاب ورودی و خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت که به ترتیب برابر $99/5$ ، 199 ، 117 ، $1007/0$ ، $0/1$ ، $0/0136$ میلی‌گرم بر لیتر بودند که تایید کننده استفاده از پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه مشهد جهت مصارف کشاورزی بود. ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ایلام در حذف کل کلی‌فرم، کلی‌فرم مدفوعی و سایر عوامل موثر بر کیفیت آب نیز نشان داد که شدت آلودگی آن در حد متوسط می‌باشد. طبق گزارش نورمرادی و همکاران (۱۳۹۲) راندمان حذف BOD_5 ، COD ، ذرات معلق، نیتروژن کل، کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی توسط تصفیه‌خانه فاضلاب ایلام به ترتیب برابر $80/49$ ، $78/82$ ، $82/6$ ، $16/59$ ، $23/75$ و $51/85$ درصد است. نتایج به دست آمده از ارزیابی مذکور حاکی از آن است که تصفیه

خانه فاضلاب ایلام کارایی لازم جهت تولید پساب مطابق با استانداردهای زیست محیطی را ندارد و نیاز است اقدامات اساسی در خصوص اصلاح و ارتقاء ظرفیت واحدهای تصفیه خانه انجام پذیرد.

آتش‌پز و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی اثرات آبیاری با پساب بر غلظت، توزیع و آلودگی بعضی عناصر سنگین خاک دریافتند که تجمع معنی‌داری از عناصر کادمیم، مس، سرب، روی و نیکل در اثر آبیاری با پساب در خاک‌های مختلف این منطقه مورد مطالعه در تحقیق مذکور اتفاق افتاده است و چنانچه این روند آبیاری ادامه داشته باشد قطعا در آینده صدمات جبران‌ناپذیری به اکوسیستم این اراضی وارد می‌شود. محققین گزارش کرده‌اند که بیشترین افزایش (۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد) و کمترین افزایش (۱۰ تا ۳۲ درصد) به ترتیب مربوط به کادمیم و مس بوده‌است. همچنین نتایج تحقیق عسگری و الباجی (۱۳۹۶) که امکان استفاده از پساب در کشاورزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد بررسی کرده بودند، مشخص کرد که پساب مذکور تنها جهت آبیاری گیاهان علوفه‌ای و صنعتی مقاوم به غلظت‌های بالای بی‌کربنات مناسب است. بر اساس نتایج بررسی کیفیت آب در تحقیق مذکور، متوسط مقدار کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل پساب به ترتیب ۶۴۱۶/۸ و ۱۶۹۷۷/۷ MPN در ۱۰۰ میلی لیتر گزارش شده که بالاتر از محدوده مجاز توصیه‌شده در استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران است.

مکاری و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی غلظت و منشا فلزات سنگین (Cu, Zn, Pb, Cr, Co, Cd, As, Ni) در خاک اطراف تصفیه خانه جنوب تهران پرداختند. برای این منظور از ضرایب ژئوشیمیایی مانند ضریب غنی‌شدگی، ضریب زمین‌انباشت، ضریب آلودگی، شاخص بار آلودگی برای نشان دادن میزان آلودگی خاک‌های کشاورزی و انباشت فلزات در آن‌ها استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل، ضریب غنی‌شدگی در خاک‌هایی که با آب زیرزمینی آبیاری شدند بیشتر بود و دو فلز As و Pb در هر دو زمین‌های منطقه حالت غنی‌شدگی قابل توجهی دارند، شاخص زمین‌انباشت (Igeo) در مناطق آبیاری شده با فاضلاب بیشتر بود و عنصر Cd در مناطق آبیاری شده با آب چاه منفی و بدون آلودگی است. عناصر Cr, Cu, Zn در هر دو منطقه، در حالت آلودگی بی‌نهایت قرار دارند. همچنین سجادی و همکارانش (۱۳۹۹) به ارزیابی استفاده از پساب تصفیه‌شده در تصفیه‌خانه جنوب تهران برای استفاده کشاورزی پرداختند. بدین منظور پساب تصفیه‌شده مورد آنالیز ICP قرار گرفت و عناصر کروم، کادمیوم، منکنز، کبالت و نیکل آن بیش از حد استاندارد برای مصرف کشاورزی حاصل شد و طبق شاخص کیفی عناصر سمی، در دسته "خیلی بد" قرار گرفت. برای این منظور توصیه شد این پساب برای گیاهان غده‌ای و سبزیجات به کار گرفته نشود.

ارزیابی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری تربیت حیدریه (۱۳۹۷) نیز نشان داد که میزان نیترات موجود در پساب به ترتیب بر اساس استاندارد سازمان محیط‌زیست و سازمان غذا و دارو بالاتر از حد مجاز قرار داشته و برای استفاده در مصارف کشاورزی بایستی تمهیداتی لحاظ گردد. همچنین بررسی سایر پارامترهای کیفیت پساب تصفیه‌شده نشان داد که پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر تربیت حیدریه برای کشاورزی محصولاتی مانند غلات و گیاهان یک‌ساله ساقه‌دار مانعی ندارد. طاهری و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی انتقال نیترات از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری نیشابور دریافتند که آبیاری با پساب تاثیری در افزایش مخاطرات بهداشتی برای گیاه ذرت و خاک ندارد ولی خطر زیادی در آلودگی منابع آبی منطقه به نیترات در بر خواهد داشت. جمع‌بندی تحقیقات داخلی استفاده از پساب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی در جدول ۵ ارائه شده است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

جدول ۲-۵. نگاهی اجمالی به تحقیقات داخلی استفاده از پساب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی

نویسندگان	موضوع پژوهش	آنالیز	نتایج	منبع
ناصری و همکاران (۱۳۹۱)	بررسی کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل به‌منظور استفاده مجدد در کشاورزی	BOD, COD, کادمیوم، مس، سرب، کلیفرم کل و مدفوعی	نتایج تحقیق نشان داد که پساب بجز از نظر کلیفرم‌های کل و مدفوعی محدودیتی برای استفاده در کشاورزی ندارد.	(ناصری et al., ۱۳۹۱)
کابوسی (۱۳۹۳)	ارزیابی اثر میان‌مدت آبیاری با پساب تصفیه‌شده بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر بندرگز)	pH, TDS, هدایت الکتریکی، NO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} ، سختی کل، کدورت، مواد جامد معلق، کلیفرم کل	پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهر بندرگز برای مصارف آبیاری مناسب است. محدودیتی بر گیاهان و افزایش شوری و مشکلات سدیم را به وجود نمی‌آورد.	(کابوسی, ۱۳۹۳)
امام جمعه و همکاران (۱۳۹۵)	ارزیابی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب ناحیه صنعتی الوند قزوین جهت تخلیه به محیط‌زیست و استفاده مجدد از آن	BOD, COD, کادمیوم، کبالت، سرب، کلیفرم کل و مدفوعی	به دلیل آلودگی میکروبی پساب و همچنین خاصیت تجمع‌ی بعضی عناصر، انتخاب محصول و نوع مصرف پساب برا کشاورزی باید معطوق بر اصول بهداشتی باشد.	(Emamjomeh et al., ۲۰۱۷)
حاتمی و همکاران (۱۳۹۷)	بررسی استفاده مجدد از پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر بجنورد جهت مصارف کشاورزی و آبیاری	EC, BOD, COD, TSS, TDS, SAR, درصد سدیم، یون‌های منیزیم، پتاسیم، کلسیم، سدیم و کلراید	بدلیل بالا بودن غلظت کلراید در پساب تصفیه شده، توصیه می‌شود این پساب در آبیاری گیاهان نیمه‌حساس استفاده شود.	(Hatami et al., ۲۰۱۸)
مهرآوران و همکاران (۱۳۹۴)	بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست محیطی آن	BOD, COD, TSS, روی، مس، کروم	پساب تصفیه شده تصفیه خانه قابلیت استفاده جهت کشاورزی را دارا است.	(مهرآوران et al., ۱۳۹۴)
نورمرادی و همکاران (۱۳۹۲)	ارزیابی عملکرد تصفیه خانه فاضلاب شهر ایلام در حذف کل کلی فرم، کلی فرم مدفوعی و سایر عوامل موثر بر کیفیت آب	BOD, COD, ذرات معلق، نیتروژن کل، کل کلیفرم‌ها و کلیفرم های مدفوعی	تصفیه خانه فاضلاب ایلام کارایی لازم جهت تولید پساب مطابق با استانداردهای زیست محیطی را ندارد.	(نورمرادی et al., ۱۳۹۳)
آتش‌پز و همکاران (۱۳۹۷)	بررسی اثرات آبیاری با پساب برغلظت، توزیع و آلودگی بعضی عناصر سنگین خاک	Cd, Zn, Cu, Pb, Ni	در اکثر خاک‌های مطالعه شده شکل کل عناصر نیز (به استثنای مس) به طور معنی‌داری افزایش یافته بود و بیشترین افزایش (۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد) و کمترین افزایش (۱۰ تا ۳۲ درصد) به ترتیب مربوط به کادمیم و مس بود.	(آتش‌پز et al., ۱۳۹۷)
عسگری و الباجی (۱۳۹۶)	بررسی امکان استفاده از پساب در کشاورزی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد		پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرکرد را می‌توان برای آبیاری گیاهان علوفه‌ای و صنعتی مقاوم به غلظت‌های بالای بی‌کربنات استفاده کرد.	(عسگری & الباجی, ۱۳۹۶)
چوپان و امامی (۱۳۹۷)	ارزیابی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری تربت‌حیدریه جهت مصارف کشاورزی	BOD, COD, TSS, کلیفرم، نترات، پارامتر کدورت، سولفات، فسفات، کلراید و ترکیبات غیر آلی سمی	برای کشاورزی محصولاتی مانند غلات و گیاهان یکساله ساقه‌دار مانعی ایجاد نمی‌کنند.	(چوپان & امامی, ۲۰۱۸)
طاهری و همکاران (۱۳۹۶)	بررسی انتقال نترات از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری به منظور استفاده مجدد از پساب برای کشت ذرت علوفه‌ای		آبیاری با پساب تاثیری در افزایش مخاطرات بهداشتی برای گیاه ذرت و خاک ندارد ولی خطر زیادی در آلودگی منابع آبی منطقه به نترات در بر خواهد داشت.	(طاهری et al., ۲۰۱۹)

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

مکری و همکاران (۱۳۹۴)	بررسی غلظت و منشأ فلزات سنگین در خاک اطراف تصفیه‌خانه جنوب تهران	غلظت فلزات سنگین (Pb, Cr, Co, Cd, As, Ni, Cu, Zn)	ضریب غنی‌شدگی در خاک‌هایی که با آب زیرزمینی آبیاری شدند بیشتر بود و دو فلز As و Pb در هر دو زمین‌های منطقه حالت غنی شدگی قابل توجهی دارند	(Makri et al., ۲۰۱۶)
سجادی و همکاران (۱۳۹۹)	ارزیابی استفاده از پساب تصفیه‌شده برای کشاورزی مطالعه موردی: تصفیه خانه جنوب تهران	غلظت فلزات سنگین	کروم، کادمیوم، منکنز، کبالت و نیکل آن بیش از حد استاندارد برای مصرف کشاورزی حاصل شد و طبق شاخص کیفی عناصر سمی، در دسته "خیلی بد" قرار گرفت	(Sajadi et al., ۲۰۲۰)

بررسی تجارب استفاده از پساب‌ها در سطح کشور نشان می‌دهد که این منابع عمدتاً در حواشی شهرها جهت آبیاری محصولات سبزیجات و صیفی‌جات به کار گرفته شده و این مصارف علیرغم صرفه جویی در مصارف آب و کودهای شیمیایی؛ آلودگی منابع آب و خاک و محصولات تولیدی را به همراه داشته است. در حال حاضر به سه صورت مختلف از فاضلاب‌ها، پساب‌ها و آب‌های برگشتی در کشاورزی استفاده می‌شود:

- استفاده غیراصولی و بدون رعایت استانداردهای مربوط و الگوی کشت مناسب
- بعد از تصفیه کامل فاضلاب و رساندن کیفیت آن به حد استانداردهای مورد نظر
- استفاده از پساب با کیفیت نامطلوب، برای کشت نباتات خاص و انتخاب روش مناسب آبیاری، منطبق با کیفیت پساب‌ها و کنترل افراد در معرض تماس
- همچنین تجربیات مختلف در رابطه با طرح‌های استفاده مجدد از پساب‌ها در کشور نشان می‌دهد که اجرای این طرح‌ها می‌تواند اثرات مثبت زیر را در پی داشته باشد:
- کنترل بیابان‌زایی با کاربرد منابع در آبیاری اراضی زراعی و فضای سبز و جنگل کاری
- بهینه‌سازی و افزایش بهره‌وری مصارف آب با استفاده مجدد از پساب‌ها
- حفظ منابع آبی موجود از طریق برگشت دادن جریان‌های فاضلاب به زمین
- صرفه‌جویی در هزینه مصرف کودهای شیمیایی
- توسعه سطح زیر کشت آبی
- حفاظت خاک و بهبود کیفیت آن از طریق رشد گیاهان و جلوگیری از فرسایش خاک
- کاهش آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی
- پساب‌ها با توجه به ویژگی‌های خاصی که دارند، علیرغم مزایا و فواید انکارناپذیر، دارای مشکلات و خطراتی نیز می‌باشند که نمونه بارز آن عوارض ناشی از استفاده غیر اصولی جریان انهار و کانال‌های فاضلاب‌کش سطح تهران در اراضی جنوب تهران به ویژه دشت ورامین می‌باشد. با توجه به پیچیدگی مدیریت استفاده از این منابع توجه به اثرات سوء محیط زیستی به شرح زیر ضروری می‌باشد:
- تجمع فلزات سنگین در خاک و انتقال آن به گیاه
- اثرات سمی ناشی از یون‌های ویژه بر گیاهان
- مسائل و مشکلات بهداشتی ناشی از عوامل بیماری‌زا
- تشدید شوری خاک‌ها

- عوارض بهداشتی مربوط به کارکران و شاغلان در پروژه

۲-۱۱-۳- تجارب و تحقیقات خارجی

کاربرد فاضلاب‌های خام و تصفیه شده در کشورهای مختلف جهان از دیر باز رواج داشته است. از اواسط قرن نوزدهم و آغاز آلودگی‌های باکتریایی در منابع آب سطحی کشورهای صنعتی (به ویژه اروپا و ایالات متحده) که مسائل بهداشتی گسترده‌ای را به همراه داشت، به تدریج تاسیس تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مختلف در مناطق شهری توسعه یافت. در کشورهای پیشرفته، فقط استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده و با رعایت ضوابط و استانداردهای مربوط صورت می‌گیرد. متأسفانه افزایش جمعیت و رشد صنایع به قدری سریع بوده که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه تصفیه‌خانه‌های موجود، جوابگوی فاضلاب‌ها و پساب‌های تولیدی نبوده و در مناطقی از پساب‌های خام و آلوده برای مصارف مختلف استفاده می‌شود که عوارض ناگوار بهداشتی و محیط زیستی را به همراه دارد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از مناطق دنیا که با کمبود آب برای آبیاری مواجه هستند، از زهاب کشاورزی نیز در کنار پساب‌های شهری و صنعتی به‌عنوان یکی از گزینه‌های تامین نیاز آبی محصولات استفاده می‌کنند. استفاده مجدد تنها در صورتی مفید است که زهاب از کیفیت خوب و قابل قبولی برخوردار باشد. برخی از مشکلات کیفی زهاب‌ها برای استفاده مجدد عبارتند از :

میزان بالای املاح، آلودگی با عناصر کمیاب و وجود مواد آلی سمی. پساب‌های صنعتی و پساب‌های شهری (زهکش‌های روباز)، زهاب آلوده و پساب‌ها می‌توانند عوارضی از قبیل تخریب خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، مشکلات بهداشتی مرتبط با آب و آلودگی محصولات غذایی را به همراه داشته باشند.

با بررسی تحقیقات خارجی نیز مشخص شد، ماناس و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی سه ساله گیاه کاهو که با پساب و آب نوشیدنی آبیاری شده بود دریافتند که آبیاری با پساب تاثیر بالایی بر پارامترهای خاک از جمله موادآلی، نیتروژن، فسفات، کلسیم، آلومینیم، آهن، سرب و روی داشته است (Mañas et al., ۲۰۰۹).

مالچی و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی جذب ترکیبات دارویی توسط سبزیجات ریشه‌دار که با پساب تصفیه‌شده آبیاری شدند، گزارش کرده‌اند که ترکیبات دارویی آنیونی (کاربامازپین، کافئین و لاموتریزین) و غیر آنیونی (متروپرولول، بزافیرات و...) در برگ و ریشه سبزیجات (هویج و سیب‌زمینی) مشاهده شده است. در تحقیق مذکور که بررسی ریسک سلامت مرتبط با مصرف سبزیجات با استفاده از روش TTC انجام گرفته است مشخص شد که مقدار حد آستانه سمیت لاموتریزین (یک نو ترکیب دارویی غیر آنیونی)

با مصرف ۶۰ گرم هویج برای کودکان قابل دستیابی است (Malchi et al., ۲۰۱۴). در تحقیق مشابه دیگری پتانسیل ریسک سلامت فلزات سنگین بدلیل مصرف سبزیجات آبیاری شده با پساب مورد ارزیابی قرار گرفت. ورما و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی نمونه‌هایی از آب، خاک و گیاه منطقه مورد مطالعه دریافتند که سبزیجات منطقه به فلزات سنگین (سرب و کادمیم) آلوده شده‌اند (Verma et al., ۲۰۱۵).

بررسی ریسک سلامت و محیط‌زیستی استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده شهر بغداد جهت آبیاری با شاخص آلودگی کل (CPI) و شاخص آلودگی آلی (OPI) مشخص کرد این پساب‌ها در تمامی فصول آلوده هستند. شکیر و همکاران طی مطالعه مذکور نرخ جذب سدیم (SAR)، درصد سدیم محلول (SSP) و کربنات سدیم باقی‌مانده (RSC) جهت بررسی قابلیت استفاده پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه الرستما در بغداد را محاسبه کردند. نتایج نشان داد که در فصل تابستان و پائیز شوری بالا و سدیم پائین و در فصل بهار و زمستان شوری خیلی بالا در آب مشاهده شده است. همچنین استفاده از پساب مذکور به دلیل خطر کلراید شناسایی شده و RSC بیشتر از ۱/۲۵ با محدودیت‌های کمی تا متوسط همراه کرده است (Shakir et al., ۲۰۱۷). مطابق تحقیق سال ۲۰۱۶ که تجمع فلزات سنگین و پتانسیل ریسک سلامت در سبزیجات آبیاری شده با پساب‌ها را مورد بررسی قرار دادند، گزارش شده که بیشترین تجمع فلزات آهن، مس، کروم و روی در سبزیجات کاهو، تربچه و کلم مشاهده شده است. لازم به ذکر است در تحقیق مذکور از فاکتور BAF، EDI و HRI جهت ارزیابی ریسک سلامت سبزیجات استفاده شده است. مطابق بررسی غلظت فلزات سنگین Cd، Cr، Cu، Ni، Pb و روی در فلفل سبز و گوجه فرنگی آبیاری شده با پساب نشان داد که غلظت Cr، Pb و Zn در مقایسه با محدودیت‌های ایمنی توصیه شده به طور قابل توجهی زیاد بوده است (Likuku & Obuseng, ۲۰۱۵). نتایج ارزیابی کیفیت پساب‌های تصفیه شده برای اهداف کشاورزی در سال ۲۰۱۸ نشان داد که برخی از پارامترها مانند کدورت، مواد جامد معلق، رسانایی الکتریکی، سدیم، مواد شوینده، کلی‌فرم کلی و کلی‌فرم کانونی، آمونیوم، کربنات سدیم باقیمانده از حد مجاز فراتر رفته و برای اهداف کشاورزی و آبیاری مناسب نیستند (Rahimi et al., ۲۰۱۸).

با این حال در برخی تحقیقات از جمله ارزیابی ریسک فلزات سنگین در گیاهان (سیب‌زمینی، گوجه و خیار) آبیاری شده با پساب تصفیه‌شده مشاهده می‌شود که مصرف سبزیجاتی که با پساب آبیاری می‌شوند، هیچ‌گونه اثر سو بر سلامت مصرف‌کنندگان ندارد (Cherfi et al., ۲۰۱۵). نتایج ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین در خاک‌ها و سبزیجات آبیاری شده با پساب‌های تصفیه‌شده نشان داد که فقط Cd از حداکثر حد قابل قبول در این سایت‌ها فراتر رفته بود (Wang et al., ۲۰۱۲).

در این میان برخی از تحقیقات نشان از تاثیر مثبت پساب تصفیه‌شده بر محصول تولیدی دارد. اوریانو و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی تاثیر آبیاری با پساب تصفیه‌شده بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاه کاهو نشان دادند که غلظت برخی مواد مغذی در خاک بعد از آبیاری با پساب تصفیه‌شده بیشتر شده است. همچنین گزارش شده که میزان وزنی تولید کاهو در کاهوهای کشت شده با آبیاری پساب تصفیه‌شده بیشتر از حالت آبیاری با آب متداول کشاورزی بوده است. فرهادخانی و همکاران (۲۰۱۸) نیز با بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده مجدد (STWW) مدعی شده‌اند که با توجه به نتایج آنالیزها پساب مذکور قابلیت استفاده ایمن به‌عنوان منبع جایگزین را دارد. در نتایج تحقیق مذکور آمده که غلظت *E. coli* (MPN/۱۰۰ ml Log ۱۸/۴) با توجه به استاندارد سازمان جهانی بهداشت در حد مجاز برای آبیاری سبزیجات بوده است. همچنین تاثیر معنی‌داری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک آبیاری شده با STWW گزارش نشده است (Farhadkhani et al., ۲۰۱۸). مطابق مطالعه‌ی دیگری که ریسک سلامت مرتبط با مصرف سبزیجات آبیاری شده با پساب تصفیه‌شده در سال ۲۰۱۹ را ارزیابی کرده بود، غلظت فلزات مس، روی، کروم و سرب در نمونه‌های لجن و سبزیجات اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق مذکور نشان از تصفیه خوب پساب توسط تصفیه‌خانه دارد که جهت مصارف کشاورزی پیشنهاد شده است (Njuguna et al., ۲۰۱۹). جدول ۲-۶ جمع‌بندی تحقیقات خارجی استفاده از پساب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی را ارائه می‌دهد.

جمع‌بندی مرور تحقیقات

همان‌طور که بیان شد استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده برای اهداف کشاورزی به جهت احتمال کاهش راندمان تصفیه‌خانه و ورود آلودگی در مسیر انتقال پساب‌ها همواره مخاطرات جدی برای سلامت انسان و محیط‌زیست به همراه دارد. نتایج تحقیقات مختلف نشان داد که نتایج بررسی کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده نشان از وجود فلزات سنگین در حدود غیرمجاز دارد که خطر جدی برای سلامت غذایی محصولات کشت‌شده با این پساب‌ها محسوب می‌شود.

با توجه استفاده گسترده از پساب‌های تصفیه‌شده در شهر تهران به‌خصوص در آبیاری اراضی کشاورزی جنوب تهران و مخاطرات جدی مرتبط با آن به جهت احتمال وجود آلاینده در پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها به نظر می‌رسد جهت پایش وضعیت خروجی تصفیه‌خانه‌ها و مسیرهای انتقال آب، کیفیت پساب‌ها از منظر آلودگی به فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و شیمیایی موردبررسی قرار گیرد. همچنین ریسک سلامت

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

فلزات سنگین در گیاهان آبیاری شده با پساب‌های تصفیه‌شده نیز به جهت پایش سلامت محصولات کشاورزی بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۲-۶. نگاهی اجمالی به تحقیقات خارجی استفاده از پساب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی

عنوان	سال	نکات	منبع
آبیاری با پساب: تاثیر بر خاک، گیاه کاهو و دینامیک میکروارگانیسم‌ها	۲۰۰۹	مطابق گزارش نویسندگان مقدار EC ، TOC ، نیترات، کلراید، کلسیم، پتاسیم، مس، سرب و منگنز در آب پساب به شکل معنی‌داری بالاتر از آب نوشیدنی بود. حد فلزات سنگین بیشتر از حد استاندارد نبود ولی تجمع این فلزات در زمان آبیاری بیشتر از دو سال باید مورد توجه قرار گیرد.	(Mañas et al., ۲۰۰۹)
آبیاری سبزیجات ریشه‌دار با پساب: بررسی جذب ترکیبات دارویی و ریسک‌های سلامت انسانی مرتبط با آن	۲۰۱۴	مشخص شد که تجمع ترکیبات دارویی از جمله کافئین، لاموتریزین و کاربامازپین باعث ایجاد ریسک سلامت برای انسان می‌شود که نشان می‌دهد باید تدابیر ویژه‌ای جهت استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده حاوی ترکیبات دارویی برای مصارف کشاورزی اندیشیده شود.	(Malchi et al., ۲۰۱۴)
ارزیابی پتانسیل ریسک سلامت فلزات سنگین بدلیل مصرف سبزیجات آبیاری شده با پساب	۲۰۱۵	سبزیجات منطقه به فلزات سنگین (سرب و کادمیم) آلوده شده‌اند.	(Verma et al., ۲۰۱۵)
ریسک‌های سلامت و محیط‌زیست مرتبط با استفاده از پساب جهت آبیاری	۲۰۱۷	در فصل تابستان و پائیز شوری بالا و سدیم پائین و در فصل بهار و زمستان شوری خیلی بالا در آب مشاهده شده است. همچنین استفاده از پساب مذکور به دلیل خطر کلراید شناسایی شده و RSC بیشتر از ۱/۲۵ با محدودیت‌های کمی تا متوسط همراه کرده است	(Shakir et al., ۲۰۱۷)
ریسک سلامت مرتبط با مصرف سبزیجات آبیاری شده با پساب تصفیه‌شده	۲۰۱۹	نتایج تحقیق مذکور نشان از تصفیه خوب پساب توسط تصفیه‌خانه دارد که جهت مصارف کشاورزی پیشنهاد شده است.	(Njuguna et al., ۲۰۱۹)

روش تحقیق

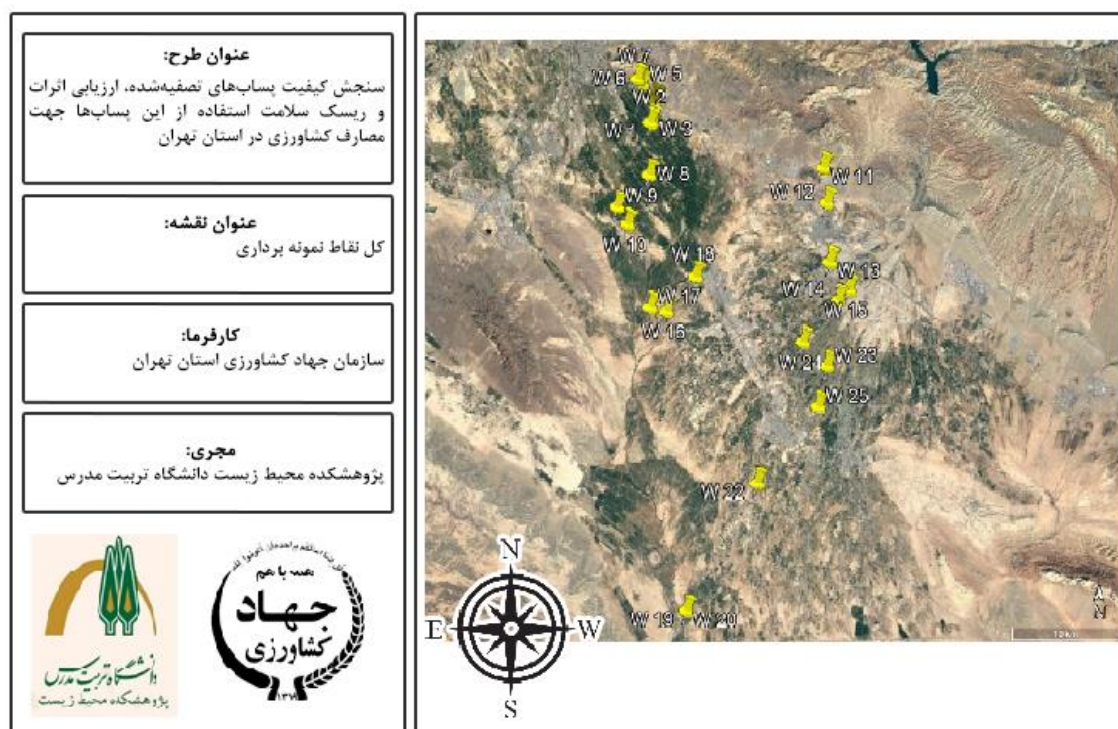
۳-۱- نمونه‌برداری

۳-۱-۱- مقدمه

در راستای بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه جنوب تهران و ارزیابی ریسک سلامت گیاهان آبیاری شده با پساب خروجی از این تصفیه‌خانه و همچنین آب‌های نامتعارف در منطقه، نمونه‌برداری از این پساب‌ها و اراضی آبیاری شده با آن انجام شد. به‌منظور بررسی کیفیت این پساب‌ها در طول مسیر، تعداد ۲۵ نمونه از کانال انتقال‌دهنده این پساب و مسیرهای آب نامتعارف برداشت شده است. این نمونه‌ها از ابتدای مسیر انتقال پساب در منطقه شهری (قلعه نو)، برداشت شده است و در طول مسیر در تمامی نقاطی که امکان دسترسی به کانال میسر بوده، نمونه‌برداری انجام شده است.

همچنین، جهت بررسی کیفیت گیاهان آبیاری شده با این پساب‌ها و اثرات آن بر خاک اراضی کشاورزی، نمونه‌برداری از گیاهان کشت شده و خاک زمین‌های زراعی تحت آبیاری با این پساب‌ها انجام شد. قابل ذکر است که نمونه‌برداری در مردادماه سال ۱۴۰۰ انجام شد و عمده گیاهان موجود در زمین‌های زراعی محدوده مورد مطالعه ذرت علوفه‌ای و یونجه بوده است. نمونه‌های گیاهی برداشت شده از ریشه، ساقه و برگ‌ها بوده است. در برخی از زمین‌های کشاورزی محدوده مورد مطالعه کاه و کلش باقی‌مانده از برداشت گندم و کلزا موجود بود که به‌صورت موردی نمونه‌برداری از این گیاهان نیز انجام شده است.

با هماهنگی انجام شده توسط ریاست محترم گروه محیط‌زیست و سلامت غذای سازمان جهاد کشاورزی، نمونه‌برداری از پساب و اراضی کشاورزی محدوده مورد مطالعه با حضور کارشناسان محترم شهرستان‌های ری، پاکدشت، ورامین، قرچک و پیشوا که با اراضی منطقه و منابع آبیاری آن‌ها آشنایی داشتند انجام شده است. در جریان نمونه‌برداری و مصاحبه با کارشناسان محترم سازمان جهاد کشاورزی مشخص شد که برخی از اراضی به‌غیر از استفاده از پساب تصفیه‌خانه با پساب‌های نامتعارف و تصفیه نشده موجود در منطقه نیز آبیاری می‌شوند. به‌منظور بررسی کیفیت این‌گونه از پساب‌ها و تأثیر آن‌ها بر خاک و کیفیت گیاهان کشت شده، نمونه‌برداری از این‌گونه پساب‌ها، خاک و گیاهان آبیاری شده با آن نیز انجام شده است. در ادامه این بخش گزارش نمونه‌برداری از پساب و اراضی کشاورزی محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. کل نقاط نمونه‌برداری به صورت شکل ۳-۱ انتخاب گردید.



شکل ۳-۱. نقشه کل نقاط نمونه برداری

۳-۱-۲- نمونه‌برداری از پساب‌ها و اراضی تحت پوشش شهرستان ری

با هماهنگی انجام شده نمونه‌برداری از پساب‌های جاری در شهرستان ری و اراضی کشاورزی تحت آبیاری آن در روز سه‌شنبه مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۰ انجام شد. پساب‌هایی که در شهرستان ری برای آبیاری اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد به دو نوع تقسیم می‌شود. بخشی از اراضی این شهرستان با پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه آبیاری می‌شود که عمده محصولات تحت کشت با این پساب ذرت علوفه‌ای، یونجه و گندم است. شکل ۳-۲ تصویری از کانال انتقال پساب تصفیه‌خانه جنوب تهران در نزدیکی شهرک امین‌آباد و شکل ۳-۳ تصویری از اراضی تحت آبیاری با آن را نشان می‌دهد. در نزدیکی بخشی از اراضی کشاورزی، شهرک صنعتی امین‌آباد وجود دارد که کارگاه‌های مختلف ساخت مصنوعات فلزی، آبکاری فلزات، قالیشویی، زباله‌شویی و دامداری در آن فعال است. پساب خروجی از واحدهای صنعتی شهرک صنعتی امین‌آباد بدون مدیریت به سمت زمین‌های کشاورزی روان می‌شود. نمونه‌های پساب خروجی از این کارخانه‌ها برداشت شده است تا کیفیت آن مورد بررسی قرار گیرد. آمار دقیق از مساحت اراضی تحت آبیاری با پساب تصفیه‌خانه در منطقه قلعه نو وجود ندارد.



شکل ۳-۲. کانال انتقال پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه جنوب تهران



شکل ۳-۳. اراضی کشاورزی تحت آبیاری با پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهری

بخش دیگری از اراضی کشاورزی شهرستان ری با پساب‌های نامتعارف و تصفیه نشده آبیاری می‌شود که منابع پساب‌های تصفیه نشده موجود در شهرستان ری عبارت‌اند از رودخانه آب معروف به نهر فیروزآباد (شکل ۳-۴) (این نهر از دامنه‌های کوه‌های شمال تهران نشأت می‌گیرد که بعد از گذر از شهر تهران به این منطقه می‌رسد)، کانال فاضلاب تصفیه‌نشده روستای ده خیر (شکل ۳-۵)، پساب تصفیه نشده روستای

نظرآباد (شکل ۳-۶) و پساب تصفیه نشده شهرک صنعتی عشق‌آباد (شکل ۳-۷). به دلیل عدم مدیریت
پساب‌های مذکور آمار دقیقی از اراضی تحت کشت با آن‌ها در دسترس نیست. نمونه‌برداری از این پساب‌ها
جهت بررسی کیفیت آن‌ها انجام شده است.



شکل ۳-۴. نمایی از رودخانه آب معروف به نهر فیروزآباد و ورود پساب کارخانه ماسه‌شویی به آن



شکل ۳-۵. کانال فاضلاب تصفیه‌نشده روستای ده‌خیر و اراضی تحت کشت با آن



شکل ۳-۶. نمایی از پساب تصفیه نشده روستای نظرآباد و اراضی کشاورزی تحت کشت با آن



شکل ۳-۷. نمایی از پساب تصفیه نشده شهرک صنعتی عشق‌آباد

به دلیل نبود نظارت بر پساب‌های نامتعارف جاری در شهرستان ری آمار دقیقی از کیفیت و منابع آن‌ها در دسترس نیست. به گفته کارشناس سازمان جهاد کشاورزی بخش قلعه‌نو شهرستان ری پساب واحدهای مختلف صنعتی مانند قالیشویی‌ها، موزائیک‌سازی‌ها، سنگ‌بری‌ها، ریخته‌گری‌ها، دامداری‌ها و سایر موارد از این دست وارد به این منابع سرریز می‌شود. شکل ۳-۸ تصویری از یک واحد سنگ‌شکنی و ماسه‌شویی را نشان می‌دهد که پساب خود را به نهر آب معروف به روستای فیروزآباد می‌ریزد.



شکل ۳-۸. کارخانه ماسه‌شویی واقع در نزدیکی نهر آب فیروزآباد

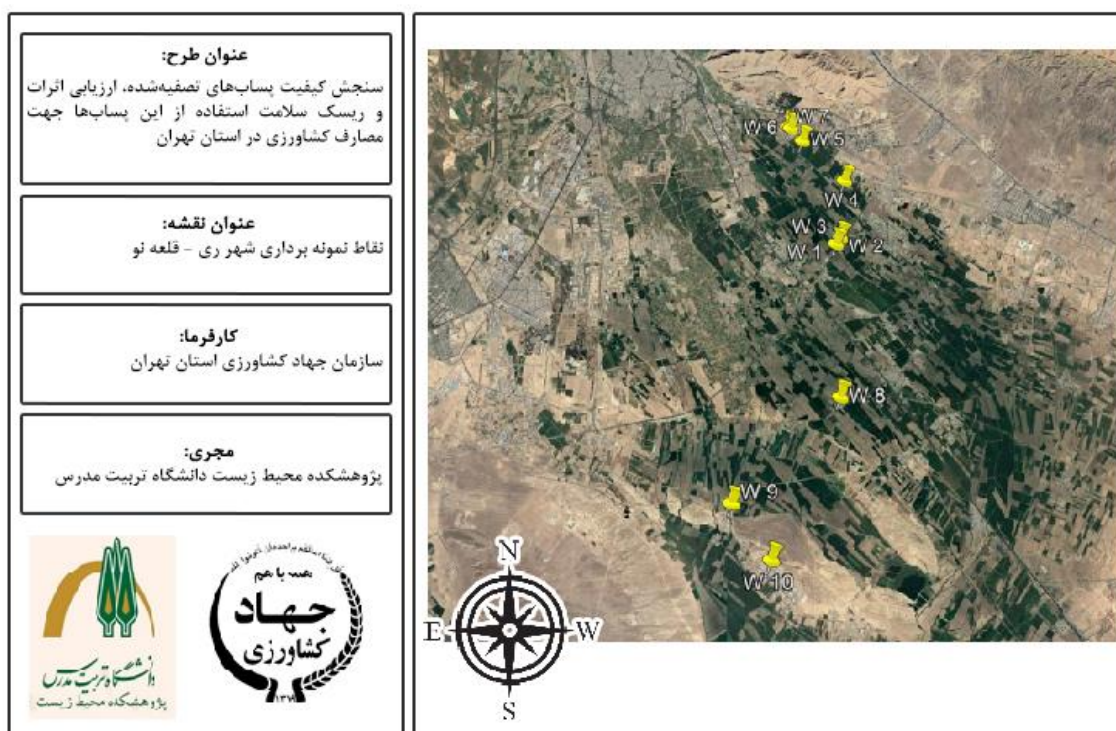
شکل ۳-۹ تصویری از اراضی کشاورزی شهرستان ری را که با پساب تصفیه نشده نهر آب فیروزآباد آبیاری می‌شود نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹. کشت ذرت در زمین‌های کشاورزی تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه‌نشده نهر فیروزآباد

در مجموع تعداد ۱۰ نمونه پساب، ۵ نمونه خاک و ۷ نمونه گیاهی از محدوده قلعه نو برداشت شده است. نقاط نمونه برداری بر روی نقشه در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۳-۱۰. نقاط نمونه برداری در شهرستان ری

۳-۱-۳- نمونه برداری از پساب‌ها و اراضی تحت پوشش شهرستان پاکدشت

با هماهنگی انجام شده نمونه برداری از پساب‌های جاری در شهرستان پاکدشت و اراضی کشاورزی تحت آبیاری آن در روز سه شنبه مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۰ انجام شد.

کانال انتقال پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهرری پس از خروج از شهرستان ری وارد شهرستان پاکدشت می‌شود. در محل ورود پساب به شهرستان پاکدشت نمونه جهت بررسی کیفیت پساب برداشت شده است. شکل ۳-۱۱ نمایی از ورودی کانال پساب به شهرستان پاکدشت را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۱. نمایی از ورودی کانال انتقال پساب تصفیه خانه شهری به شهرستان پاکدشت

بخش‌هایی از این کانال از داخل شهر پاکدشت عبور می‌کند. اطراف کانال بوی نامطبوع استشمام می‌شود که این موضوع اعتراض شهروندان و ساکنان نزدیک به آن را در پی داشت. در شکل ۳-۱۲ بخشی از کانال انتقال پساب که از داخل شهر پاکدشت عبور می‌کند ارائه شده است. مصاحبه با مردم محلی این منطقه گویای این موضوع بود که مردم بومی محدوده پاکدشت از تصفیه شدن آب کانال بی اطلاع بودند. بدین معنی که احتمال دارد برخی از ساکنان و کارگاه‌های صنعتی منطقه، پساب‌های خانگی و صنعتی خود به داخل آب کانال تصفیه شده تخلیه نمایند. بررسی کارگاه‌ها و مناطق صنعتی و مسکونی قرار گرفته در مسیر آب می‌تواند منابع احتمالی آلاینده در این پساب‌ها را مشخص نماید.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۳-۱۲. عبور کانال انتقال پساب تصفیه‌خانه شهری از داخل شهر پاکدشت

از تمامی بخش‌هایی که امکان دسترسی به کانال انتقال پساب میسر بود نمونه‌های پساب برداشت شده است. حوضچه مدیریت و تقسیم آب در شهرستان پاکدشت واقع است که نمونه پساب از آن برداشت شده است. شکل ۳-۱۳ حوضچه تقسیم پساب واقع در شهرستان پاکدشت را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۱۳. حوضچه مدیریت و تقسیم پساب واقع در شهرستان پاکدشت

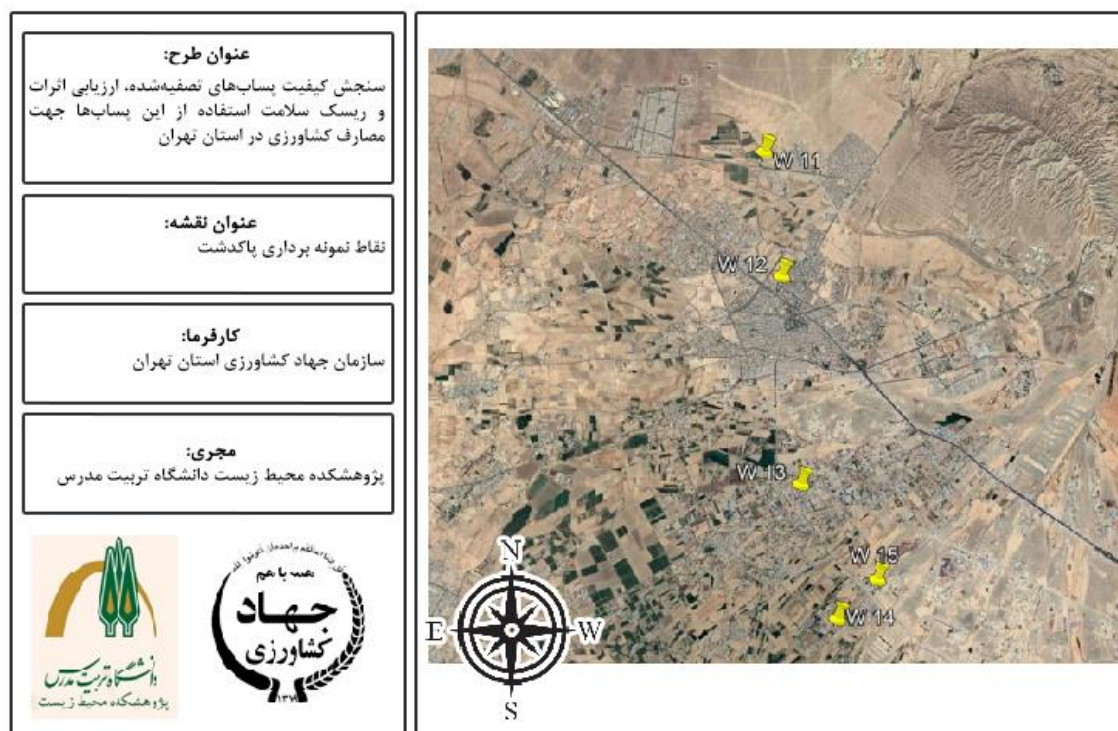
نمونه‌های خاک و گیاهان کشت شده با پساب از زمین‌های زراعی برداشت شده است که تصویر ۳-۱۴ نمونه‌ای از این زمین‌ها را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه این است که در شهرستان پاکدشت از پساب

تصفیه نشده برای آبیاری زمین‌های زراعی استفاده نمی‌شود و تنها منبع آب نامتعارف که برای آبیاری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه است.



شکل ۳-۱۴. زمین زراعی گندم کشت شده با پساب تصفیه شده

در مجموع تعداد ۵ نمونه پساب، ۳ نمونه خاک و ۳ نمونه گیاهی از محدوده پاکدشت برداشت شده است. نقاط نمونه برداری در شکل ۳-۱۵ بر روی نقشه نشان داده شده‌اند.



شکل ۳-۱۵. نقاط نمونه برداری در شهرستان پاکدشت

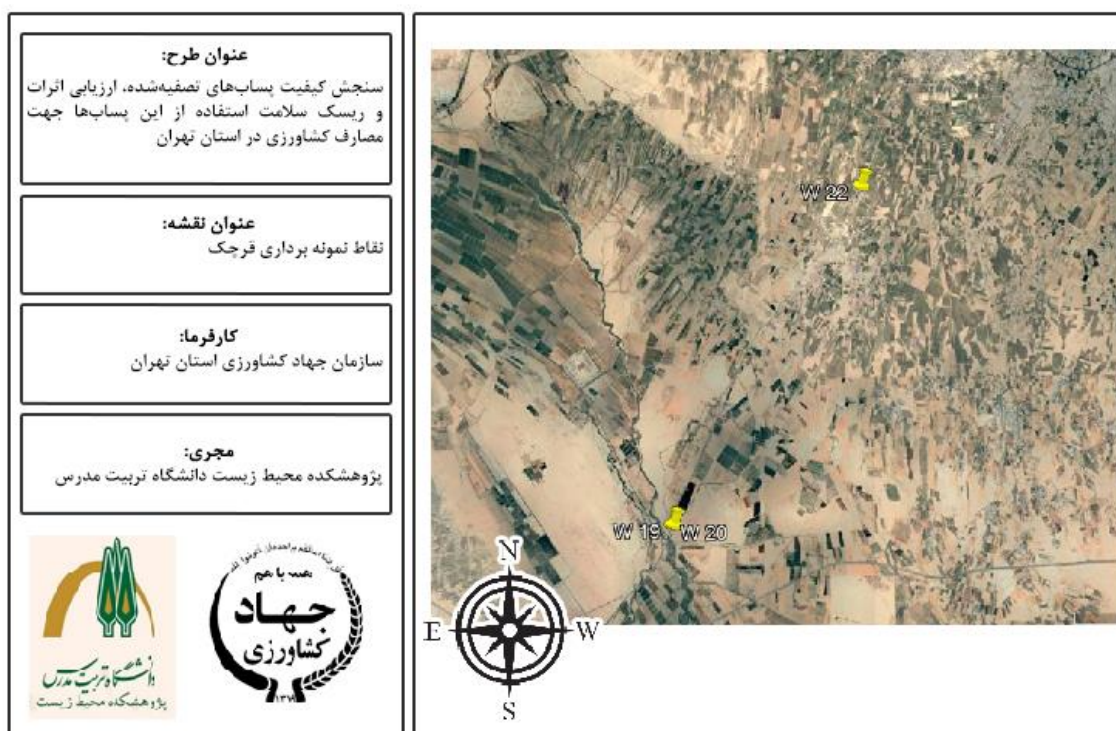
۳-۱-۴- نمونه‌برداری از پساب‌ها و اراضی تحت پوشش شهرستان قرچک

با هماهنگی انجام شده نمونه‌برداری از پساب‌های جاری در شهرستان قرچک و اراضی کشاورزی تحت آبیاری آن در روز چهارشنبه مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۱ انجام شد. مطابق بازدید صورت گرفته از مناطق شهرستان قرچک و بررسی مسیر آب‌های جاری در منطقه مشخص کرد که زمین‌های زراعی واقع در شهرستان قرچک که با پساب نامتعارف آبیاری می‌شود اکثراً در روستای رحمت‌آباد این شهرستان هستند. در روستای رحمت‌آباد شهرستان قرچک آب‌بندی ایجاد شده است که آب نهر فیروزآباد بعد از طی مسیر به آنجا رسیده و در آن جمع‌آوری می‌شود. آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی منطقه نیز به‌وسیله پمپی که روی این آب‌بند نصب شده است، تامین می‌شود. طی بازدید مشخص شد که نشت گازوئیل از این پمپ باعث آلودگی بخشی از این آب شده بود. به گفته افراد محلی بعضی افراد از این محل برای ماهیگیری استفاده می‌کنند. در شکل ۳-۱۶ تصاویر آب‌بند ذخیره پساب روستای رحمت‌آباد شهرستان قرچک و زمین‌های زراعی تحت آبیاری با آن ارائه شده است.



شکل ۳-۱۶. آب‌بند ذخیره پساب روستای رحمت‌آباد شهرستان قرچک

در مجموع تعداد ۳ نمونه پساب، ۱ نمونه خاک و ۱ نمونه گیاهی از محدوده شهرستان قرچک برداشت شده است. نقاط نمونه برداری در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷. نقاط نمونه برداری در شهرستان قرچک

۳-۱-۵- نمونه‌برداری از پساب‌ها و اراضی تحت پوشش شهرستان ورامین

با هماهنگی انجام شده نمونه‌برداری از پساب‌های جاری در شهرستان ورامین و اراضی کشاورزی تحت آبیاری آن در روز چهارشنبه مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۱ انجام شد.

اراضی کشاورزی تحت آبیاری با پساب و آب‌های نامتعارف شهرستان ورامین عمدتاً در بخش جوادآباد این شهرستان واقع شده است. منابع آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی و صنایع شهرستان ورامین از پساب تصفیه‌خانه و فاضلاب تصفیه‌نشده جاری در سطح رودخانه‌های فصلی شهرستان تامین می‌شود. طبق توضیحات کارشناس محترم سازمان جهاد کشاورزی بخش جوادآباد، بخشی از اراضی کشاورزی جوادآباد با رودخانه آب تصفیه نشده که به نام رودخانه شور و شیرین معروف است آبیاری می‌شود. منبع این رودخانه، فاضلاب تصفیه‌نشده و در بعضی فصول روان آب‌های جاری شده آب باران است. طبق شواهد موجود در حواشی رودخانه شور شیرین حجم آب این رودخانه زیاد است. از جمله این شواهد عمق و پهنای زیاد این رودخانه و وجود تعداد پمپ‌های زیاد نصب شده در حاشیه رودخانه به‌منظور پمپاژ آب به اراضی بود. اما در تاریخ نمونه‌برداری از این رودخانه به دلیل خشک‌سالی، حجم آب این رودخانه بسیار

کاهش یافته بود. در شکل ۳-۱۸ و ۳-۱۹ به ترتیب رودخانه شوروشیرین بخش جوادآباد شهرستان ورامین و تعدادی از پمپ‌های نصب شده روی آن ارائه شده است.



شکل ۳-۱۸. رودخانه شوروشیرین بخش جوادآباد شهرستان ورامین



شکل ۳-۱۹. تعدادی از پمپ‌های نصب شده جهت رودخانه شوروشیرین بخش جوادآباد شهرستان ورامین
یکی از منابع آلودگی که به رودخانه شوروشیرین بخش جوادآباد وارد می‌شود، پساب خروجی از دامداری
اشراق است. پساب خروجی از این دامداری بدون هیچ‌گونه تصفیه پس از عبور از بخشی از زمین‌های زراعی

وارد رودخانه شوروشیرین می‌شود. آلودگی این پساب کاملاً مشهود است و بوی بسیار نامطبوع آن شکایت افراد محلی را به همراه داشت. در شکل ۳-۲۰ تصویر بخشی از پساب خروجی از دامداری اشراق نمایش داده شده است که وارد رودخانه موجود در منطقه می‌شود.



شکل ۳-۲۰. مسیر ورود پساب خروجی گاوداری اشراق به رودخانه شور و شیرین

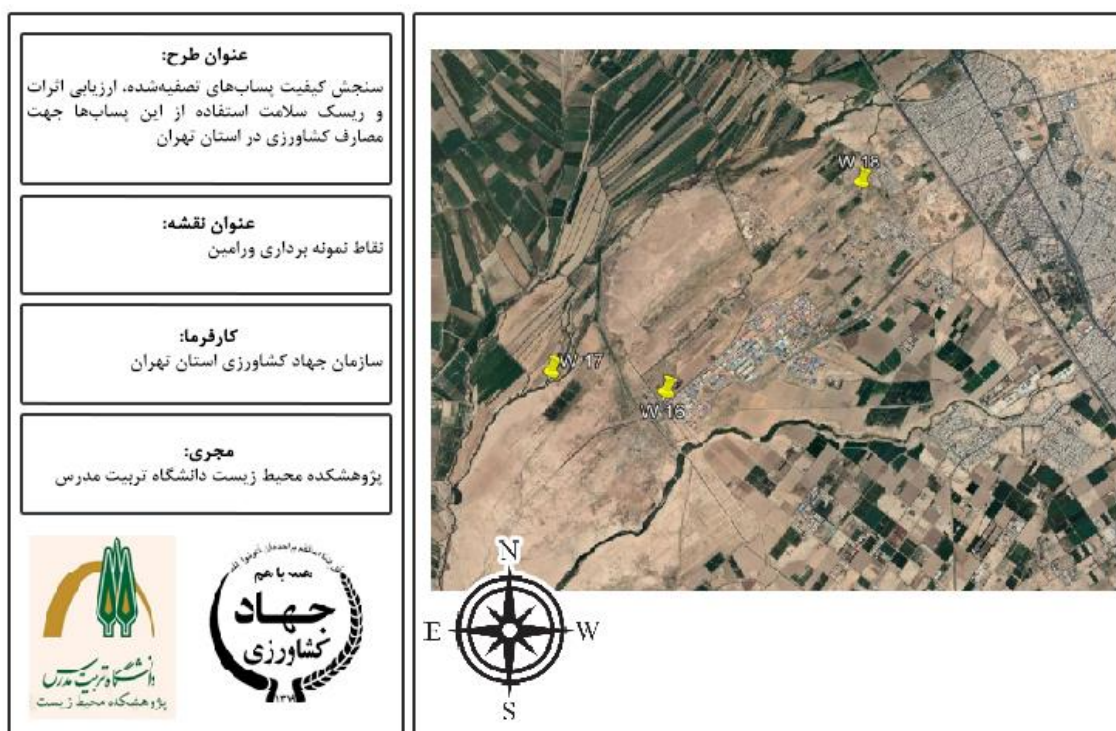
در بخش جوادآباد شهرستان ورامین بخشی از اراضی کشاورزی با آب چاه آبیاری می‌شود. قابل ذکر است که در بیشتر مواقع به دلیل مقدار کم آب پمپاژ شده از این چاه و کافی نبودن آن برای سیراب کردن زمین‌های زراعی، پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه از طریق کانال‌های موجود در منطقه به آن اضافه می‌شود. به‌منظور بررسی کیفیت این آب نمونه‌برداری از آن انجام شده است. در شکل ۳-۲۱ تصویر از کانال انتقال آب چاه جوادآباد ارائه شده است.



شکل ۳-۲۱. کانال انتقال آب چاه بخش جوادآباد شهرستان ورامین

از پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه جنوب تهران که در بخش جوادآباد شهرستان ورامین جاری است و از آن برای آبیاری زمین‌های زراعی این شهرستان استفاده می‌شود، محصولات کشت شده با آن و خاک آن نمونه‌برداری انجام شده است. طبق گفته کشاورزان محلی استفاده از این پساب در اصطلاح باعث «پرکردن سریع ساقه ذرت علوفه‌ای می‌شود» و در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی برای کشت ذرت کاهش می‌یابد. در مجموع تعداد ۴ نمونه پساب، ۷ نمونه خاک و ۵ نمونه گیاهی از محدوده ورامین برداشت شده است. نقاط نمونه برداری بر روی نقشه شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

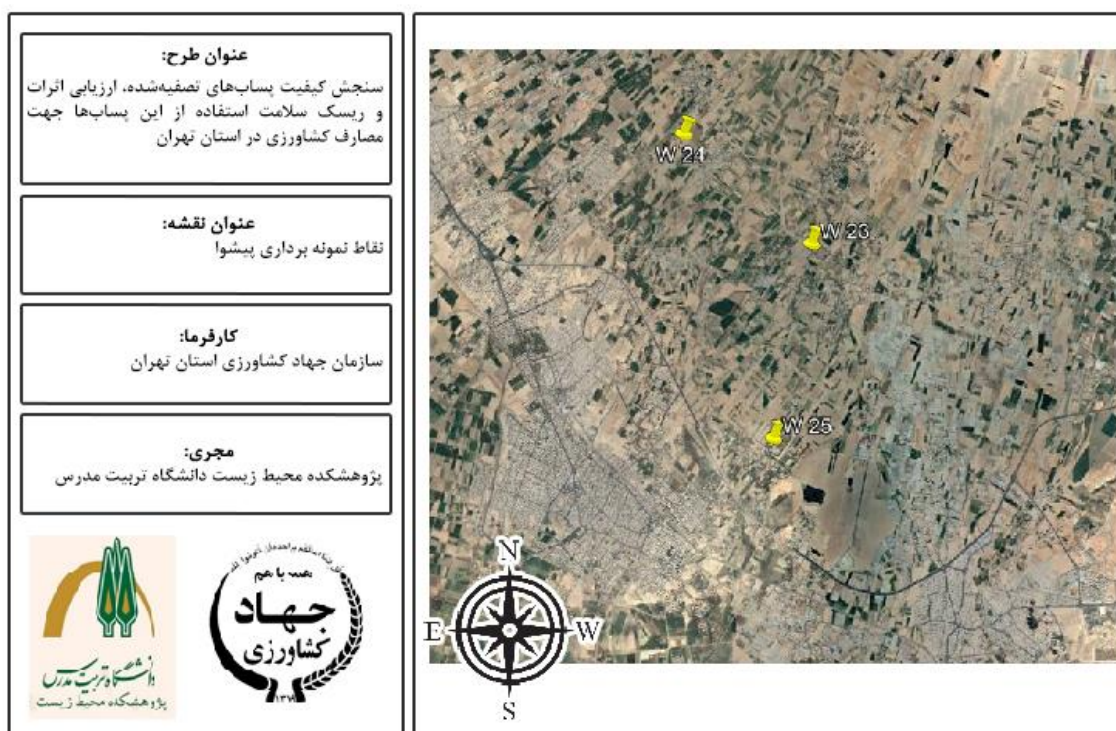


شکل ۳-۲۲. نقاط نمونه برداری در شهرستان ورامین

۳-۱-۶- نمونه برداری از پساب‌ها و اراضی تحت پوشش شهرستان پیشوا

با هماهنگی انجام شده نمونه برداری از پساب‌های جاری در شهرستان پیشوا و اراضی کشاورزی تحت آبیاری آن به همراه کارشناس مدیریت جهاد کشاورزی منطقه در روز یکشنبه مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۲۴ انجام شد.

بازدید از منطقه پیشوا مشخص کرد که زمین‌های کشاورزی این منطقه که در پایین دست مناطق شهرستان پاکدشت قرار گرفته است با استفاده از دو منبع پساب تصفیه شده و آب‌های نامتعارف آبیاری می‌شوند. جهت بررسی کیفیت آب‌های این منطقه نیز در مجموع تعداد ۳ نمونه پساب، ۲ نمونه خاک و ۲ نمونه گیاهی از محدوده پیشوا برداشت شده است. نقاط نمونه برداری در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۳. نقاط نمونه برداری در شهرستان پیشوا

۳-۲- بررسی منابع احتمالی آلاینده آب‌های جاری در منطقه

همانطور که پیش‌تر بیان شد، با توجه اینکه مناطق مسکونی و صنعتی بسیاری در مسیر آب‌های جاری منطقه وجود دارد احتمال می‌رود برخی از این واحدها پساب خود را به نحوی به کانال آب تصفیه شده یا دیگر آب‌های جاری در منطقه سرریز نمایند. به همین منظور و با بررسی مسیر انتقال این پساب‌ها تعدادی از مناطق مسکونی و صنعتی از جمله شهرک‌های صنعتی، کارگاه‌های بازیافت زباله و ... مشخص شد که احتمال می‌رود منابع آلودگی‌های ایجاد شده در این پساب‌ها باشد. نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از این مناطق اطلاع دقیقی از وضعیت موجود در منطقه ارائه خواهد کرد. در شکل ۳-۲۴ منابع احتمالی آلاینده شناسایی شده در منطقه قلعه ارائه شده است.



شکل ۳-۲۴. کارگاه‌های صنعتی واقع در منطقه قلعه نو و مسیر کانال انتقال آب تصفیه‌خانه

با توجه به بازدید صورت گرفته از منطقه مشخص شد که کارگاه‌های فعال قالیشویی، آبکاری، مصنوعات فلزی و دامداری پساب خود را با استفاده از جوی آب موجود در محدوده به زمین‌های کشاورزی وارد می‌کنند. لازم به ذکر است به گفته ساکنان احتمال سرریز آن به کانال آب تصفیه شده وجود دارد که در این صورت آلودگی زیادی را وارد این کانال می‌کنند.

همانطور که در شکل ۳-۲۵ قابل مشاهده است، به نظر می‌رسد واحد صنعتی واقع شده در مسیر کانال پساب خود را به داخل کانال سرریز می‌کند و آلاینده‌های احتمالی موجود در پساب این واحد وارد آب تصفیه شده می‌شود.



شکل ۳-۲۵. تصویر واحد صنعتی فعال در محدوده کانال

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۳-۲۶. تصاویر محدوده‌های صنعتی از جمله شهرک صنعتی ثامن و خاوران واقع در مسیر کانال آب

بررسی بیشتر مسیر کانال آب تصفیه‌خانه نشان داد که شهرک‌های صنعتی ثامن و خاوران نیز در مسیر این کانال انتقال آب قرار دارند که از جمله منابع احتمالی آلاینده به شمار می‌روند. شکل ۳-۲۶ تصاویری از محدوده‌های صنعتی از جمله شهرک صنعتی خاوران و ثامن را ارائه کرده است. همچنین وجود کارخانه گچ بر روی مسیر انتقال آب تصفیه‌خانه می‌تواند یکی از عوامل و منابع احتمالی آلاینده برای این کانال آب باشد. شکل ۳-۲۷ تصویر کارخانه گچ و مسیر انتقال آب را نشان داده است.



شکل ۳-۲۷. تصویر هوایی کارخانه گچ واقع شده در مسیر کانال انتقال آب تصفیه‌خانه

بررسی مسیر انتقال آب در منطقه ورامین نیز مشخص کرد که گاوداری موجود در منطقه اقدام به تخلیه پساب خود در رودخانه شور و شیرین می‌کند. این پساب پس از عبور از زمین‌های کشاورزی به رودخانه می‌رسد. احتمال آلودگی مسیر عبور و در نهایت آب روخانه بدلیل تخلیه این پساب‌ها وجود دارد. در شکل ۳-۲۸ تصویر گاوداری اشراق و مسیر تخلیه پساب آن را ارائه شده است.



شکل ۳-۲۸. تصویر هوایی گاوداری اشراق و مسیر تخلیه پساب آن



شکل ۳-۲۹. تصویر هوایی کارگاه ماسه‌شویی واقع در مسیر نهر فیروزآباد

همانطور که در شکل ۳-۲۹ قابل مشاهده است کارگاه ماسه‌شویی واقع در مسیر نهر فیروزآباد پساب خود را در نقطه مشخص شده در تصویر به داخل نهر تخلیه می‌کند. وجود واحدهای صنعتی با تعداد بالا در مسیر انتقال آب تصفیه‌خانه و همچنین دیگر آب‌های جاری منطقه که با هدف آبیاری زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند باعث آلودگی شدید این آب‌ها شده و عواقب جبران ناپذیر محیط‌زیستی را در بلند مدت به منطقه تحمیل خواهد کرد.

۳-۳- آنالیز نمونه‌های آب، خاک و گیاه

نمونه‌ها پس از آماده‌سازی جهت تعیین غلظت فلزات سنگین، BOD_5 ، COD، TSS و نیترات به آزمایشگاه ارسال خواهد شد.

فرایند هضم ماتریس نمونه، توسط یک اسید قوی انجام می‌شود. در مورد ماتریس‌های آلی برای تخریب کامل ماتریس نمونه ممکن است از یک اکسیدکننده نیز استفاده شود. اسید استفاده‌شده معمولاً اسید نیتریک است چون نمک‌های حاصل از آن (نیترات فلز) معمولاً محلول هستند درحالی‌که اسیدکلریدریک یا اسیدسولفوریک نمک‌های نامحلول ایجاد می‌کند. جهت هضم اسیدی نمونه‌ها به‌صورت زیر عمل خواهد شد.

حجم مشخصی از نمونه اسیدی و کاملاً مخلوط شده (۱۰۰ میلی‌لیتر) داخل یک بشر ریخته می‌شود. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و چند عدد سنگ جوش اضافه می‌شود. یک شیشه ساعت به‌عنوان سرپوش و جلوگیری از آلودگی روی بشر قرار گرفته و نمونه روی هیتر حرارت داده می‌شود تا به آرامی به جوش آید و تبخیر شود. حرارت تا زمانی که حجم نمونه به ۱۰ الی ۲۰ میلی‌لیتر برسد، ادامه دارد. عمل حرارت را با افزودن اسید نیتریک ادامه داده تا وقتی نمونه شفاف شود. در طول عمل هضم نمونه نباید خشک شود. دیواره بشر و شیشه ساعت را با آب دیونایز شستشو داده و نمونه را به بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل‌شده و پس از سرد شدن به حجم رسانیده و کاملاً مخلوط شود. در ادامه روش‌های آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های آب، خاک و گیاه ارائه شده است.

۳-۳-۱- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های خاک

تمامی نمونه‌های خاک که از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت می‌شوند بعد از انتقال به آزمایشگاه با استفاده از سرند ۶۰ میکرومتر الک می‌شود. سپس قسمت ریزدانه خاک در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک می‌شود. جهت محاسبه محتوای کربنات خاک و $L.O.I$ ، نمونه‌ها به ترتیب به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد و یک ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. غلظت فلزات سنگین (سرب، مس، آهن، کادمیم، منگنز و روی) در خاک نیز با استفاده از دستگاه MS-ICP اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۱-۱-۳-۱- اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین موجود در نمونه‌های خاک

یکی از پرکاربردترین روش‌های آنالیز عنصری برای تعیین نوع و غلظت عناصر آنالیز ICP (طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی) است. این روش به دلیل مزایایی همچون قابلیت تشخیص تمامی عناصر، تداخل‌های شیمیایی بسیار کم و حد حساسیت بالا کاربردهای زیادی را در زمینه‌هایی نظیر مهندسی مواد، محیط‌زیست و شیمی پیدا کرده و در بعضی موارد جایگزین روش‌هایی چون طیف‌سنجی جذب اتمی و طیف‌سنجی گسیل شعله شده است.

جهت تعیین غلظت کل فلزات ابتدا یک گرم از هر نمونه به وسیله ترازو وزن شد. سپس میزان ۱۰ سی‌سی تیزاب که حاصل ترکیب اسید نیتریک (HN) و اسید کلریدریک (HCl) که نسبت آن‌ها ۱ به ۳ است، به هر یک از نمونه‌های خاک خشک شده افزوده شد و نمونه‌ها در حمام شنی و دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرارگرفت تا محلول تیزاب به جوشش آید. در مرحله بعد ۵ سی‌سی اسیدپرکلریک (HClO_4) به نمونه‌ها افزوده شد و نمونه‌ها تا زمان خروج دود سفید رنگ در حمام شنی باقی ماندند. پس از طی مراحل فوق، جهت حذف مواد حل شده از مابقی خاک‌های حل نشده نمونه‌ها از کاغذصافی عبور داده شدند و نمونه‌ها با رقیق‌سازی به کمک آب‌مقطر و در بالن ژورنه‌های مندرج به حجم ۱۰۰ سی‌سی رسانده شدند (جمشیدی و سعیدی، ۱۳۹۲). در مرحله آخر برای قرائت غلظت میزان فلزاتی که به فاز محلول منتقل شده‌اند، از دستگاه ICP استفاده شد که در این پروژه غلظت فلزهای نقره، آلومینیوم، آرسنیک، بریلیم، باریم، بیسموت، کلسیم، کادمیوم، سرب، کبالت، کروم، سزیم، مس، دیسپروزیوم، اربیم، اروپیم، آهن، گادولینیم، ایندیم و هافنیوم قرائت شد.

۳-۳-۲- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های آب

نمونه‌های آب جمع‌آوری شده از پساب خروجی تصفیه‌خانه و آب‌های نامتعارف برای آنالیز با استفاده از فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر و نیتریک اسید جهت جلوگیری از ترسیب به نمونه‌ها اضافه می‌شوند. همچنین تمامی نمونه‌ها تا زمان ارسال به آزمایشگاه در coolbox در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نگهداری شده‌اند. در ادامه پارامترهای pH، BOD، COD، TSS، نیترات، فسفات، غلظت فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیم، آهن و...)، مواد مغذی و آلی (سدیم، کلسیم، پتاسیم و...) و کلی‌فرم کل مدفوعی آنالیز می‌شود.

۳-۲-۱- تجهیزات آزمایشگاه آب

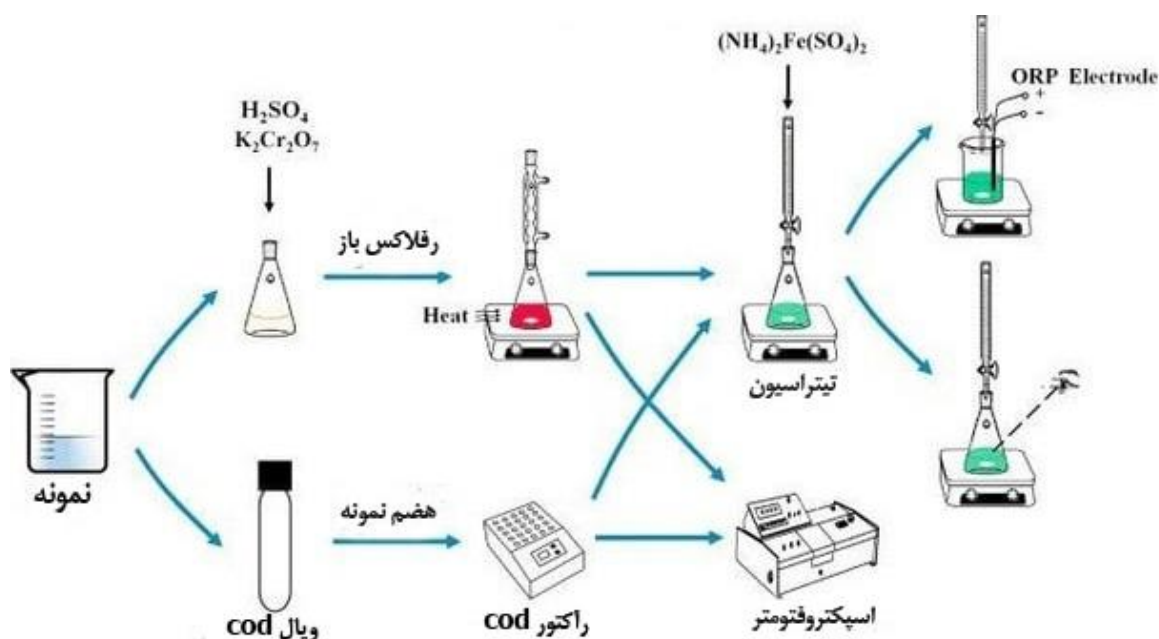
اسپکتروفوتومتر ابزاری برای اندازه‌گیری میزان عبور یا بازتاب نور مرئی، نور فرابنفش یا نور مادون قرمز است. طیف سنج‌ها که اسپکتروفوتومتر هم جزئی از آنها است، شدت نور را به عنوان تابعی از طول موج منبع نور اندازه‌گیری می‌کنند. اسپکتروفوتومترها به دو دسته تک پرتوی و دوپرتویی تقسیم می‌شوند. اسپکتروفوتومتر تک پرتویی شدت نور مطلق و اسپکتروفوتومتر دو پرتویی شدت نور را در دو مسیر نوری جداگانه اندازه‌گیری می‌کنند (مسیر نوری استاندارد مرجع و نمونه) برای استفاده از اسپکتروفوتومتر لازم است محلول نمونه درون کووت ریخته و داخل دستگاه قرار داده شود. پس از روشن کردن دستگاه، میزان نور جذب شده اندازه‌گیری می‌شود.

از این دستگاه برای اندازه‌گیری غلظت املاح در محلولهای شیمیایی استفاده می‌شود. به همین علت در حوزه‌های مختلف علمی مانند فیزیک، زیست‌شناسی مولکولی، شیمی و بیوشیمی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به جز اندازه‌گیری املاح محلول‌های شیمیایی، این دستگاه می‌تواند در اندازه‌گیری غلظت مواد مانند پروتئین، DNA یا RNA، رشد سلول‌های باکتریایی و واکنش‌های آنزیمی استفاده کرد. دامنه دینامیکی گسترده و طول عمر طولانی لامپ از ویژگی‌های مهم دستگاه اسپکتروفوتومتر است.

۳-۲-۲- اندازه‌گیری COD و BOD

پارامتر COD نیز یکی از مهمترین پارامترها در تشخیص کیفیت آب غیر شرب است. در بسیاری از شرایط با استفاده از COD می‌توان محدوده BOD را هم تعیین کرد. اما آنچه پارامتر COD را خاص کرده است زمان اندک مورد نیاز جهت اندازه‌گیری آن در مقایسه با BOD است. COD تنها به یک ساعت زمان احتیاج دارد در حالیکه BOD به ۵ روز زمان نیاز دارد. آنچه COD را محبوب‌تر کرده پیشرفت روش اندازه‌گیری از رفلکس باز به بسته است. در روش قدیمی مواد شیمیایی زیادی مورد نیاز بود در حالیکه در روش جدید با استفاده از راکتور COD رفلکس بسته در چندین ویال بصورت همزمان انجام می‌شود و به مواد شیمیایی اندکی هم نیاز است. در شکل زیر مقایسه‌ای بین روش رفلکس و اسپکتروفوتومتر ارائه شده است.



شکل ۳-۳۰. مقایسه اندازه‌گیری COD به روش رفلاکس و اسپکتروفوتومتر

اندازه‌گیری COD با روش رفلاکس بسته و باز قابل انجام است که روش رفلاکس بسته و باز با تیتراسیون یا با اسپکتروفوتومتر همراه است. بیشتر مواد آلی بوسیله ترکیبی از کروم و سولفوریک اسید قابل اکسید شدن هستند. یک نمونه توسط محلول‌های اسیدی و مقدار مشخصی از پتاسیم دی‌کرومات ($K_2Cr_2O_7$) به شدت رفلاکس (به اصطلاح باز روان) می‌شود. بعد از هضم نمونه برای تعیین COD مقدار باقی‌مانده و اکسید نشده پتاسیم دی‌کرومات بوسیله سولفات آمونیوم فرو تیترو می‌شود تا مقدار پتاسیم دی‌کرومات مصرف شده تعیین گردد و مواد اکسید شده در معادلات اکسیژن مصاحبه می‌گردد.

مدت زمان استاندارد رفلاکس ۲ ساعت است که ممکن است این زمان کاهش هم بیابد که همان نتیجه ۲ ساعت را می‌دهد. بعضی از نمونه‌ها که مقدار COD پایین‌تری دارند یا در نمونه جامدات غیر یکنواخت بیشتری یافت می‌شود ممکن است نیاز به آنالیز بیشتری داشته باشند تا نتایج پرمحتوای بدست آید. نتایج با دقت بیشتری بدست خواهند آمد اگر با دی‌کرومات بیشتری واکنش داده شود به طوریکه مقداری از دی‌کرومات در ظرف واکنش رسوب نماید.

۳-۲-۳-۳- اندازه‌گیری فلزات سنگین

عمده‌ترین دستگاه‌هایی که برای تعیین ترکیب شیمیایی مواد در روش شیمی‌تر به کار می‌روند دستگاه‌های اسپکتروفتومتر، دستگاه جذب اتمی و ICP می‌باشد. پلاسمای جفت شده القایی (Inductively Coupled Plasma)، از جمله روش‌های طیف سنجی نشری (Emission) است که اتم‌سازی در آن به کمک پلاسمای تولید شده توسط یک گاز بی‌اثر که عمدتاً آرگون (Ar) است صورت می‌پذیرد. دستگاه ICP-OES می‌تواند از هر دو زاویه دید شعاعی و محوری نسبت به پلاسمای عمودی، خوانش نشر عناصر را انجام دهد و بر اساس نشر اتمی کار می‌کند که می‌تواند تعداد زیادی از عناصر جدول تناوبی را در ترکیبات مختلف از جمله نمونه‌های خاک، آب، فلزات و نمونه‌های پلیمری در محدوده وسیعی از غلظت و با حد تشخیص ppb اندازه‌گیری کند. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر، روشی حساس‌تر، با حد تشخیص بهتر و تکرارپذیری بالاتر است. مزیت عمده این دستگاه، اندازه‌گیری همزمان عناصر در مدت زمان کوتاه و با دقت و تکرارپذیری بالا می‌باشد. دستگاه دارای مولد فرکانس رادیویی (RF) است که محیطی از گاز داغ و یونیزه بی‌اثر آرگون را به وجود می‌آورد که به این حالت اصطلاحاً حالت پلاسما گفته می‌شود. سیستم RF با تکنولوژی حالت جامد باعث می‌شود پلاسمایی قوی، قابل اطمینان و بی‌نیاز از تعمیر و نگهداری داشته باشید که پایداری آنالیزی این پلاسما در طولانی مدت حفظ می‌گردد. در این آزمون نمونه به طور کامل تخریب خواهد شد. در شکل ۳-۳۱ تصویری از دستگاه ICP-OES ارائه شده است.



شکل ۳-۳۱. تصویر دستگاه ICP-OES جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین در نمونه‌های آب

۳-۲-۴- اندازه‌گیری pH

مقدار pH بر اساس اختلاف پتانسیل یک سل الکتروشیمیایی با استفاده از یک pH متر مناسب اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۳-۳۲). pH یک نمونه به علت تعادل به دما نیز وابسته است. بنابراین دمای نمونه همیشه همراه با مقدار pH اندازه‌گیری می‌شود. در شکل زیر نمونه‌ای از این دستگاه ارائه شده است.



شکل ۳-۳۲. تصویر pH سنج جهت اندازه‌گیری pH نمونه‌های آب

۳-۲-۵- اندازه‌گیری سولفید آزاد شده در آب

ابتدا ۲۵ میلی‌لیتر محلول بافر فتالات و ۵ میلی‌لیتر محلول EDTA را در ظرف واکنش دستگاه جدا کننده قرار داده می‌شود. ۲۰ میلی‌لیتر محلول روی استات به ظرف جذب اضافه می‌شود. دستگاه جداکننده نصب شده و به مدت ۱۰ دقیقه جریانی از نیتروژن با سرعت ۴۰ لیتر بر ساعت از محلول عبور داده می‌شود. نمونه نگهداری شده به وسیله همزن مغاطیسی به مدت ۵ دقیقه به شد همزده شده و هم‌زمان با هم‌زنی مقداری از این نمونه توسط قیف چکاننده به ظرف واکنش اضافه می‌شود. قیف چکاننده را با مقدار کمی آب شسته و به مدت ۶۰ دقیقه جریانی از نیتروژن با سرعت ۴۰ لیتر بر ساعت از محلول عبور داده می‌شود. ظرف جذب را از دستگاه جدا کرده و از طرف رابط سمیاده‌ای اصلی، ۱۰ میلی‌لیتر محلول شناساگر تشکیل دهنده رنگ و ۱ میلی‌لیتر آمونیوم آهن سه سولفات اضافه می‌شود. ظرف جذب بعد از پر شدن

توسط آب مخلوط شده و به مدت ۱۰ دقیقه نگهداری می‌شود. محلول در یک بالن مدرج ریخته شده و بعد از شستن ظرف جذب، آبشویه آن را به داخل بالن اضافه می‌شود. سپس با آب به حجم رسانده شده و جذب محلول توسط طیف سنج در طول موج ۶۶۵ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۲-۶- اندازه‌گیری سختی کل به روش حجمی

در این روش با استفاده از محلول استاندارد EDTA در محیط بافر آمونیکال و در حضور معرف اریوکروم بلک تی، سختی کل آب اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به حدود سختی، حجمی از نمونه را انتخاب می‌کنیم که کمتر از ۱۵ میلی‌لیتر EDTA برای تیتراژ کردن نیاز داشته باشد و آن را در داخل ارلن ریخته و به آن ۱-۲ میلی‌لیتر بافر آمونیکال در زیر هود ریخته تا pH آن به ۱۰ برسد، معمولاً ۱ میلی‌لیتر بافر این pH را تامین می‌کند. سپس ۰/۱ تا ۰/۲ گرم معرف اریوکروم بلک تی به آن می‌افزاییم که منجر به ایجاد رنگ قرمز می‌شود، سپس نمونه را با محلول EDTA ۰/۰۱ مولار تا پیدایش رنگ آبی تیتراژ می‌کنیم و از روی حجم EDTA مصرفی و با استفاده از فرمول زیر، سختی کل را محاسبه می‌کنیم:

میلی لیتر نمونه / $(F * V * 1000) =$ (برحسب میلی گرم کربنات کلسیم بر لیتر) سختی کل
F: فاکتور کربنات کلسیم که برابر یک است.
V: حجم کربنات کلسیم که برابر ۲۰ میلی لیتر است.

۳-۲-۷- اندازه‌گیری کلی‌فرم

آزمایش استاندارد جهت شناسائی گروه کلیفرم بر اساس روش تخمیر چند لوله‌ای (MT) به صورت سه مرحله احتمالی، تاییدی و تکمیلی و نیز با تکنیک صافی غشائی (MF) و یا بوسیله روش سوبسترای کروموزنیک انجام می‌شود.

از روش تخمیر در ۱۰ لوله یکسان هر کدام حاوی ۱۰ میلی لیتر یا ۵ لوله یکسان هر کدام حاوی ۲۰ میلی لیتر و یا یک بطری حاوی ۱۰۰ میلی لیتر نمونه استفاده شود. زمانی که آزمایش تمام نمونه‌های آب آشامیدنی به وسیله روش تخمیر صورت می‌گیرد از مرحله تاییدی استفاده گردد. آزمایش تکمیلی برای نمونه‌های انتخابی به صورت فصلی یا حداقل هر سه ماه یک بار جهت کنترل کیفی به کار می‌رود. برای آزمایش‌های روزانه در بیشتر شبکه‌های آبرسانی عمومی، به ویژه آن مواردی

که گند زدایی می‌شوند، هدف آزمایش کلیفرم ارزیابی میزان کارایی و بازدهی فرایندهای تصفیه و راهبری تصفیه خانه آب و فاضلاب از طریق سنجش نتایج با استاندارد های EPA است. بخش عمده‌ای از کلیفرم‌های موجود در سیستم توزیع لزوماً نتیجه اشکال در کار تصفیه‌خانه یا منبع آب چاه نبوده بلکه دلیل آن می‌تواند مربوط به رشد مجدد باکتری در خطوط اصلی باشد. از آنجائی که تشخیص بین آلودگی ثانویه و رشد مجدد کلیفرم‌ها در سیستم، که می‌تواند به دلیل حضور مواد آلی باشد، مشکل است، باید فرض را بر آلودگی مجدد و ثانویه قرار داد، مگر اینکه خلاف آن ثابت شود.

۳-۲-۸- اندازه‌گیری TSS

TSS را در یک نمونه آب یا فاضلاب، از طریق ریختن یک حجم دقیق آب که قبلاً اندازه‌گیری شده است، محاسبه می‌کنند. به طور معمول یک لیتر آب برای تعیین TSS وزن می‌شود. اما اگر تراکم ذرات آب بالا باشد، مقدار کمتر و اگر آب بسیار تمیز بود، به اندازه دو یا سه لیتر وزن می‌گردد.

سپس این حجم دقیق آب از طریق یک فیلتر تصفیه آب که از قبل وزن شده است و اندازه منافذ آن هم مشخص می‌باشد، عبور داده می‌شود. پس از آن فیلتر آب را خشک می‌کنند تا تمام آب آن تبخیر شود و در انتها فیلتر تصفیه آب را دوباره وزن می‌کنند.

فیلترهای تصفیه آب برای اندازه‌گیری TSS، به طور معمول از الیاف شیشه‌ای تشکیل و ساخته شده‌اند. میزان افزایش وزن خشک فیلتر، همان وزن اندازه‌گیری شده از ذرات موجود در نمونه آب است. با توجه به میزان آبی که وزن شده بود، و از طریق فرمول می‌توان مقدار TSS را محاسبه کرد که به صورت میلی‌گرم در لیتر و یا به طور معمول از mg / L بیان می‌شود.

TSS میزان مواد غیر حل شده در آب را اندازه می‌گیرد (مواد معلق) اما اگر آب حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای از مواد حل شده باشد (مانند زمانی که آب دریا را اندازه می‌گیرید)، میزان مواد حل شده، به وزن فیلتر تصفیه آب که خشک شده، اضافه خواهد شد و در واقع با TSS جمع می‌شود. بنابراین لازم است که فیلتر تصفیه آب و نمونه را بعد از فیلتر کردن و قبل از خشک کردن آن با آب مقطر شست.

عدم انجام این مرحله، یک اشتباه نسبتاً شایع حتی توسط تکنسین‌های با تجربه آزمایشگاه که با نمونه‌های آب دریا کار می‌کنند است، و به طور کامل باعث بروز خطا در محاسبه TSS می‌شود. زیرا وزن نمک باقی مانده بر روی فیلتر تصفیه آب در طول خشک شدن را نیز به مقدار TSS اضافه می‌کند، در حالیکه به راحتی می‌توان آن را با آب مقطر شست و جدا نمود.

اگرچه سنجش کدورت آب نیز مانند سنجش TSS، برای اندازه‌گیری کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد اما TSS برای بررسی کیفیت آب مفیدتر است، چرا که TSS وزن واقعی از مواد ذرات موجود در نمونه را بدست می‌آورد. در شرایط نظارت دائم بر کیفیت آب، یک سری از اندازه‌گیری‌های فشرده TSS همراه با اندازه‌گیری کدورت که نسبتاً سریع و آسان است انجام می‌شود، که داشتن میزان TSS و کدورت باهم می‌تواند تحلیل بهتری از نتایج ارائه دهد.

۳-۲-۹- اندازه‌گیری نیترات در آب

ابتدا یک محلول استاندارد از صفر تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر یون نیترات به کمک محلول استاندارد نیترات پتاسیم تهیه می‌شود. منحنی مقدار نور جذبی را نسبت به غلظت یون نیترات بر حسب میلی‌گرم در لیتر رسم شده و منحنی تنظیم را برای هر نمونه مورد آزمون باید جداگانه تهیه می‌شود. در صورت وجود کلر باقیمانده در محلول مورد آزمون، به ازاء هر ۰/۰۵ میلی‌گرم کلر مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر محلول آرسنیت به ۵۰ میلی‌لیتر محلول مورد آزمون اضافه و سپس یک قطره زیادی نیز بر روی محلول اضافه می‌شود.

چنانکه محلول کدر و یا بدلیل بالا بودن مقادیر مواد آلی رنگی باشد، مقدار ۰/۵ گرم کربن فعال و سه میلی‌لیتر هیدرات آلومینیوم به ۱۵۰ میلی‌لیتر از نمونه اضافه کرده بخوبی مخلوط و پس از چند دقیقه صاف و قسمت اولیه محلول زیر صافی دور ریخته می‌شود.

مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول زیر صافی و یا چنانکه آب مورد آزمون بی‌رنگ و تمیز بوده و احتمالاً بیشتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر یون نیترات نداشته باشد، مستقیماً از خود آن بوسیله پی‌پت برداشته و به داخل یک بشر ۵۰ میلی‌لیتری خشک و تمیز منتقل می‌شود. سپس مقدار یک میلی‌لیتر معرف بروسین - اسید سولفانیلیک اضافه شده و همچنین در بشر ۵۰ میلی‌لیتری دیگری ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ریخته می‌شود. محتویات بشر اول را که آزمون و معرف بروسین سولفانیلیک می‌باشد بر روی بشر محتوی اسید با احتیاط خالی کرده و برای اطمینان از مخلوط شدن کامل دوباره به بشر اولی برگردانده شده و این عمل شش بار تکرار و به مدت ۱۰ دقیقه در محل تاریک نگهداری می‌شود.

هنگامی که رنگ در محلول ظاهر می‌شود، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر آب در داخل بشر خالی ریخته و پس از وقفه ده دقیقه‌ای آن را به آزمون اضافه کرده و عمل مخلوط کردن را به روال قبلی تکرار و سپس برای ۲۰ تا ۳۰ دقیقه در جای تاریک قرار داده می‌شود. مقدار جذب نور آزمون را در ۴۱۰ نانومتر در مقابل محلول مقابله‌ای که عملیات مشابه در مورد آن انجام شده است، اندازه گرفته می‌شود.

۳-۳-۲-۱۰- اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌ها

نتایج اندازه‌گیری شده برحسب میلی اکوی والان بر لیتر گزارش می‌شود و برای تبدیل آن به میلی گرم بر لیتر می‌توان آنها را در وزن اکوی والان هر یون ضرب نمود. عناصر کمیاب معمولاً برحسب میلی گرم بر لیتر با میکروگرم بر لیتر گزارش می‌شوند.

معمولاً جمع آنیون‌ها برابر با جمع کاتیون‌هاست. چنانچه نتایج آزمایش‌ها اختلاف یک درصد را نشان دهد، نتیجه بسیار عالی است، اگر اختلاف بیشتر بود، باید نسبت به تکرار آزمایش‌ها و واریسی معرف‌ها، اقدام گردد. در آب‌های خیلی سبک که مواد آلی دارند، درصد خطای بالایی در آزمایش‌ها مشاهده می‌شود. این خطا براساس خصوصیات کیفی آب موجود در طبیعت بوده و ارتباطی به خطای اندازه‌گیری ندارد و یا ممکن است یون‌های دیگری در آب باشد. معمولاً یون‌های کاتیونی عمده کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و یون‌های آنیونی عمده، کربنات، بی کربنات، سولفات و کلراید می‌باشند.

یون آهن محلول دوظرفیتی مربوط به کاتیون‌ها و نیترات، مربوط به آنیون‌ها می‌گردد. سیلیس به لحاظ شکل کلئیدی، جداگانه گزارش می‌شود. در مرحله بعد، عناصر کمیاب مورد آزمایش قرار می‌گیرند که تعیین آنها بستگی به ماهیت و هدف هر پروژه دارد. جدول زیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب را با توجه به روشهای آزمایش و انتخاب دستگاه‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری مقدار کلرید به روش نقره سنجی

کلر، به شکل کلرید یکی از آنیونهای اصلی در آب و فاضلاب است. در آب مزه شوری که توسط غلظت کلرید ایجاد می‌شود متفاوت است و به ترکیب شیمیایی آب بستگی دارد. مقدار زیاد کلرید ممکن است به رشد گیاهان، لوله‌ها و ساختارهای فلزی آسیب برساند. روش نقره سنجی برای استفاده در آب‌های نسبتاً صاف مناسب است. در محلول خنثی و یا قلیایی، کرومات پتاسیم می‌تواند نقطه پایانی تیتراسیون نیترات نقره و کلرید را مشخص کند. کلرید نقره به صورت کمی، پیش از کرومات جیوه قرمز تشکیل می‌شود.

۳-۳-۳- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های گیاه

بعد از جمع‌آوری نمونه‌ها و شستشوی آنها وزن، طول و ضخامت گیاه اندازه‌گیری می‌شود. سپس گیاه به سه بخش ریشه، ساقه و برگ تقسیم می‌شود. هضم بخش‌های مختلف گیاهان با استفاده از ۵ میلی لیتر HNO_3 برای ۰/۳ گرم از نمونه گیاه موردنظر انجام می‌شود. سپس نمونه بر روی هیتر قرار داده شده و ۲ میلی لیتر H_2O_2 به هر نمونه اضافه و تا زمانی که محلول شفاف شود دما داده می‌شود. نمونه بعد از سرد

شده فیلتر شده و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده می‌شود. سپس غلظت فلزات سنگین و مواد آلی و مغذی موجود در سه بخش ریشه، ساقه و برگ با استفاده از ICP-OES اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۴- تعیین ریسک سلامت مربوط به استفاده از پساب‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه

۳-۴-۱- تعیین ریسک سلامت در گیاهان

نمونه‌های گیاه به صورت تصادفی از محدوده‌ی تحت پوشش تصفیه‌خانه‌ها برداشت خواهد شد. بعد از شستشو ریز شده و در دمای ۶۰ درجه خشک می‌شود. هضم اسیدی نمونه به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه انجام شده و جهت تعیین غلظت فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌های احتمالی به آزمایشگاه ارسال خواهد شد.

فاکتور تجمع زیستی (Bio-accumulation factor)

$$BAF = C_{\text{plant}}/C_{\text{soil}}$$

C_{plant} غلظت فلزات سنگین در گیاه

C_{soil} غلظت فلزات سنگین در خاک

فاکتور جذب روزانه تخمینی فلزات سنگین

$$EDI = C_{\text{metal}} \times W_{\text{food}}/B_w$$

C_{metal} غلظت فلزات سنگین در محصول

W_{food} جذب میانگین روزانه

B_w وزن بدن

ارزیابی ریسک سلامت

$$HRI = \sum n(C_n \times D_n/RfD \times B_w)$$

C_n غلظت فلزات سنگین در محصول

D_n نرخ جذب در سال

RfD سطح ایمن انتشار

B_w وزن بدن

فاکتور غنی‌شدگی (EF)

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{ref}}\right)_{sample}}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}}\right)_{background}}$$

Cn؛ محتوای فلز مورد مطالعه

Cref؛ غلظت فلز مرجع

Bn؛ غلظت زمینه فلز مورد مطالعه

Bref؛ غلظت فلز مرجع در زمینه

فاکتور اصلاح شده درجه آلودگی (mCd)

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_f^i}{n} \quad C_f = \frac{M_x}{M_b}$$

n؛ تعداد عناصر مورد مطالعه

Cf؛ فاکتور آلودگی

Mx؛ غلظت فلز مورد مطالعه در نمونه

Mb؛ غلظت فلز مورد مطالعه در زمینه

شاخص ریسک اکولوژیکی (RI)

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r \quad E_r = T_r \times C_f \quad C_f = \frac{C_s}{C_n}$$

RI؛ فاکتور ریسک اکولوژیکی کل

Er؛ ریسک اکولوژیکی یک عنصر

Tr؛ فاکتور پاسخ سمیت برای فلزات سنگین

Cf؛ فاکتور آلودگی

Cs؛ غلظت فلز مورد مطالعه در خاک

Cn؛ غلظت فلز مورد مطالعه در زمینه

۳-۵- آزمایش‌های تعیین دسترسی زیستی

۳-۵-۱- استخراج با استفاده از EDTA

در این روش از محلول ۰/۰۵ مولار EDTA و نسبت رسوب به محلول معادل ۱:۱۰ استفاده شد. زمان مورد نیاز برای شیکر یک ساعت در نظر گرفته شد. همچنین از سانتریفیوژ به مدت ۲۰ دقیقه با شدت دور ۳۰ دور بر دقیقه استفاده شد. نتایج بدست آمده از این آزمایش می‌تواند مقدار فلز سنگین جذب شده به وسیله ریشه گیاه را شبیه‌سازی کند. در مراحل بعد نمونه‌ها فیلتر و به کمک آب مقطر به حجم رسانده شده و قرائت غلظت‌های فلزات سرب، روی، کادمیوم و مس که به محلول EDTA منتقل شدند، با استفاده از دستگاه جذب اتمی انجام شد.

۳-۵-۲- استخراج متوالی

به‌منظور انجام آزمایشات استخراج متوالی بر روی نمونه خاک ۱۰ ایستگاه، روش ارائه شده تزییر استفاده شد. مطابق این روش فلزات در ترکیب با پیوندهای قابل مبادله، کربناته، اکسیدهای منگنز و آهن، مواد آلی و پیوندهای بسیار سخت به‌صورت متوالی استخراج خواهند شد. چگونگی استخراج فلزات از پیوندهای مورد اشاره به‌صورت زیر خواهد بود:

- پیوندهای قابل مبادله: یک گرم از نمونه خشک رسوب در دمای اتاق با ۱۰ میلی لیتر محلول یک مولار کلرید منیزیم در pH برابر ۷ به مدت یک ساعت به‌صورت پیوسته با همزن مخلوط می‌گردد. پس از گذشت یک ساعت از اختلاط فلزاتی که در پیوندهای بسیار سست قابل مبادله هستند جدا خواهند شد.
- پیوندهای کربناته: باقیمانده حاصل شده از مرحله قبل با ۱۰ میلی لیتر محلول یک مولار استات سدیم در دمای اتاق و در pH برابر ۵ به مدت پنج ساعت مخلوط می‌گردد. لازم به ذکر است برای تنظیم pH بهتر است از اسید استیک استفاده گردد.
- پیوندهای اکسید آهن و منگنز: مخلوط باقیمانده از مرحله دوم به مدت ۶ ساعت به همراه ۲۰ میلی لیتر ۰/۰۴ مولار در ۲۵ درصد حجمی اسید استیک، در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت می‌بیند.

- پیوندهای آلی: برای استخراج فلزات سنگین از پیوندهای آلی، به مخلوط باقیمانده از مرحله سوم ۳ میلی لیتر اسید نیتریک ۰/۰۲ مولار و ۵ میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد افزوده خواهد شد. همچنین با استفاده از اسید نیتریک pH محلول بر روی ۲ تنظیم خواهد شد. سپس مخلوط به مدت ۲ ساعت در

دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده خواهد شد. پس از این مرحله ۳ میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد به نمونه اضافه می‌شود و با اسید استیک pH آن بر روی ۲ تنظیم خواهد شد و مجدداً به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده خواهد شد. پس از خنک شدن، ۵ میلی لیتر استات آمونیوم ۳/۲ مولار در ۲۰ درصد حجمی اسید استیک به مخلوط افزوده می‌شود. پس از آن نمونه به ۱۰۰ میلی لیتر ترقیق شده و مدت ۳۰ دقیقه به‌صورت پیوسته مخلوط خواهد شد.

- پیوندهای باقیمانده (بسیار سخت): برای استخراج فلزات از پیوندهای بسیار سخت از هضم اسیدی مواد باقیمانده از مرحله چهارم با اسید پرکلریک و اسید فلوئوریدریک مخلوط می‌گردد.

۳-۶- تحلیل آماری با استفاده از جدول ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای

مقادیر جدول ضریب همبستگی بین منفی یک تا یک است. هر چه عدد ارتباط بین دو متغیر به یک نزدیک‌تر باشد، آن دو متغیر همبستگی مستقیم بیشتری دارند و در صورتی که عدد بین آن‌ها به سمت منفی یک متمایل باشد، ارتباط معکوس متغیرها بیشتر است. عدد صفر به این معناست که متغیرها با هم ارتباطی ندارند.

آنالیز خوشه‌ای یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که هدف اولیه آن دسته‌بندی متغیرها بر مبنای خصوصیات و شباهت آنهاست، اهداف و نتایج را خوشه‌بندی می‌کند و زمانی که برخی از متغیرها یا گروه‌ها ویژگی‌های مشابهی را نشان دهند، در یک خوشه قرار می‌گیرند. تحلیل نتایج خروجی آنالیز خوشه‌ای می‌تواند همگنی و همسانی قوی خارج از خوشه‌ها را نشان دهد. آنالیز خوشه‌ای مرتبه‌ای روشی متداول است که بر پایه درک مستقیم شباهت رفتاری بین متغیرها استوار است. عموماً نتایج این تحلیل با استفاده از نمودار درختی ارائه می‌شود.

شایان ذکر است در این پروژه به منظور تفسیر روابط بین متغیرهای اندازه‌گیری شده و منشایی، از جدول ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای بر اساس محاسبه ضریب همبستگی پیرسون و به کمک نرم‌افزار SPSS استفاده می‌شود و با در نظر گرفتن معنی‌دار یا بی معنا بودن ضرایب همبستگی و خوشه‌های بدست آمده، اقدام به تحلیل نتایج خواهد شد. متغیرهای اندازه‌گیری شده در این پروژه (فلزات سنگین، BOD، COD و...) از لحاظ میزان همبستگی با یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته و جدول ضریب همبستگی و آنالیز خوشه‌ای برای تمامی نمونه‌ها ارائه خواهد شد.

۳-۷- مواد مرجع تایید شده

مواد مرجع تایید شده (CRM) یا کنترل‌ها، استانداردهایی هستند که برای بررسی کیفیت و قابلیت ردیابی اندازه‌شناختی محصولات، اعتبارسنجی روش‌های اندازه‌گیری تحلیلی و یا برای کالیبراسیون ابزارها استفاده می‌شوند. یک ماده مرجع تایید شده شکل خاصی از استاندارد اندازه‌گیری است. مواد مرجع به ویژه برای شیمی تجزیه و تجزیه و تحلیل بالینی مهم هستند. از آنجایی که بیشتر ابزارهای تحلیلی، مقایسه‌ای هستند، برای کالیبراسیون دقیق به نمونه‌ای از ترکیب شناخته شده (مواد مرجع) نیاز است. این مواد مرجع تحت رویه‌های سخت‌گیرانه تولید می‌شوند و از نظر گواهی‌نامه و قابلیت ردیابی داده‌های ارائه‌شده با معرف‌های آزمایشگاهی متفاوت هستند. سیستم‌های مدیریت کیفیت که شامل اعتبارسنجی آزمایشگاهی تحت استانداردهای ملی و بین‌المللی اعتبار/گواهی‌نامه مانند ISO/IEC ۱۷۰۲۵ می‌شود، هنگام استفاده از مواد مرجع برای کالیبراسیون، به قابلیت ردیابی اندازه‌شناسی به مواد مرجع گواهی شده (در صورت امکان) نیاز دارند. مراحل کلی مورد نیاز در تولید یک ماده مرجع تایید شده معمولاً عبارتند از:

- جمع آوری یا سنتز مواد
- آماده سازی نمونه (شامل همگن سازی، تثبیت، بطری ریختن و غیره)
- تست همگنی
- ارزیابی ثبات
- تخصیص ارزش

به علاوه ممکن است ارزیابی قابلیت جابه جایی یک ماده مرجع مهم باشد. این امر به ویژه برای مواد بیولوژیکی مهم است.

به منظور بررسی صحت نتایج، تمامی آزمایش‌ها روی نمونه‌های محلول و خاک همراه با تکرار و اندازه‌گیری انجام شد. علاوه بر این، یک نمونه خالی برای تجزیه و تحلیل هر گونه خطای احتمالی ارائه شد. افزون بر این، از نمونه استاندارد ۳-MESS برای اطمینان از کنترل کیفیت داده های به دست آمده خاک استفاده شد. جدول ۳-۸۸۸۸۸ میزان غلظت به دست آمده و میزان استاندارد و انحراف معیار نمونه ۳-MESS را نشان می‌دهد.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

جدول ۳-۱. مقایسه مقدار حاصل از آنالیز و مقدار نمونه استاندارد MESS-۳

فلز	مقدار تایید شده	انحراف	مقدار به دست آمده
Ag	۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۱۹۱
Al	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۱۲۹
As	۱۰/۵۰	۱/۱	۱۰/۶۲۳
Be	۲/۳۰	۰/۱۲	۲/۴۷۶
Cd	۰/۲۴	۰/۰۱	۰/۲۲۷
Ca	۱/۴۷	۰/۰۶	۱/۳۹۱
Cr	۱۰۵/۰۰	۴	۱۰۷/۸۶۹
Co	۱۴/۴۰	۲/۰	۱۳/۸۰۷
Cu	۳۳/۹۰	۱/۶	۳۶/۰۱۱
Fe	۴/۳۴	۰/۱۱	۴/۲۷۲
Pb	۲۱/۱۰	۰/۷	۲۲/۴
Mn	۳۲۴/۰۰	۱۲	۳۳۱/۲
Ni	۴۶/۹۰	۲/۲	۴۷/۵۲
Sb	۱/۰۲	۰/۰۹	۰/۹۸۶
V	۲۴۳/۰۰	۱۰	۲۳۸/۱۲
Zn	۱۵۹/۰۰	۸	۱۶۴/۲۳

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج مربوط به آنالیز نمونه‌های آب، خاک و گیاه در محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج مربوط به غلظت فلزات سنگین، مقادیر BOD، COD، TSS، EC، نیترات و آنیون‌ها و کاتیون‌ها می‌تواند وضعیت آلودگی را در گام اول مشخص کند. این نتایج در نهایت می‌تواند جهت تصمیم‌گیری در خصوص مدیریت اصولی و موثر آلودگی ایجاد شده در منطقه به صورت کاربردی مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲- نتایج آنالیز نمونه‌های آب

همانطور که در فصل قبل بیان شد، جهت بررسی کیفیت آب‌های مورد استفاده کشاورزی در منطقه تعداد ۲۵ نمونه آب از کانال‌ها و منابع موجود برداشت شد که ۱۱ نمونه مربوط به کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌شده و ۱۴ نمونه مربوط به کانال‌ها و منابع تصفیه نشده بود. در جدول ۴-۱ تعداد و مشخصات کامل این نمونه‌ها ارائه شده است. در ادامه نتایج آنالیزهای مربوط به کیفیت آب نمونه‌های برداشت شده ارائه خواهد شد.

جدول ۴-۱. مشخصات نقاط نمونه‌برداری از کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده

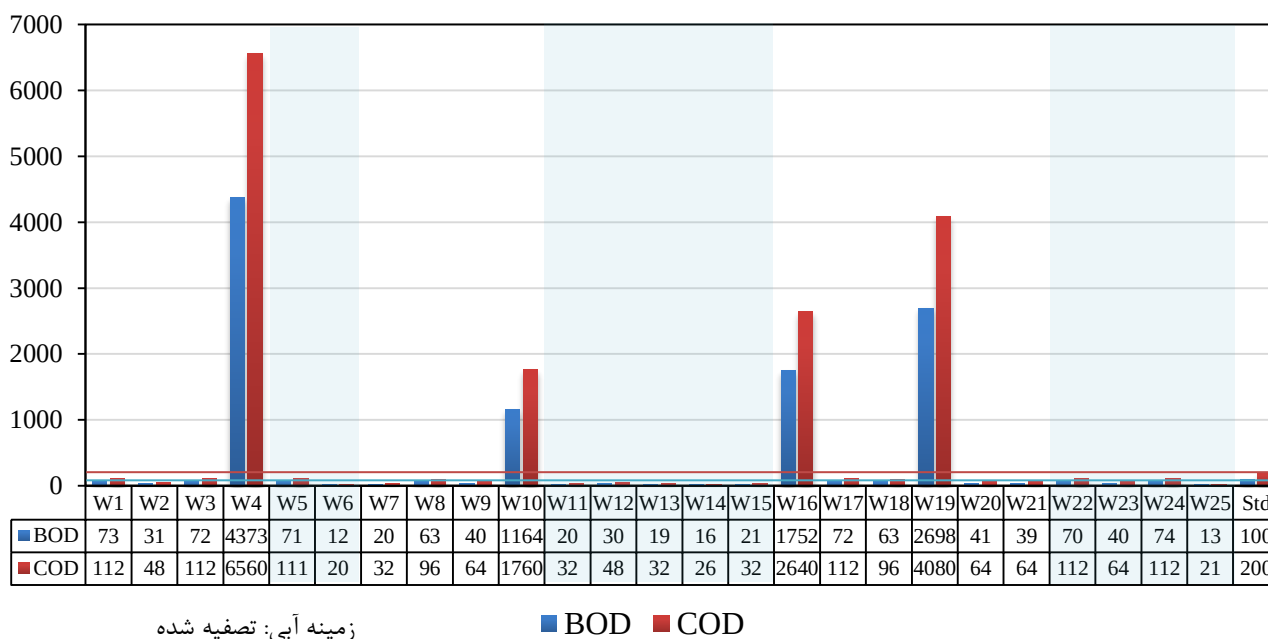
نقاط	X	Y	توضیحات
کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌نشده			
W ۱	۵۴۵۱۸۸	۳۹۳۳۳۷۹	نهر آب جاری- تصفیه نشده- ورودی مزارع کشاورزی ذرت، یونجه و گندم
W ۲	۵۴۵۳۵۱	۳۹۳۳۶۲۰	رودخانه آب معروف به نهر فیروز آباد- آب تصفیه نشده
W ۳	۵۴۵۳۵۱	۳۹۳۳۶۲۰	آب خروجی ماسه شویی که به نهر فیروز آباد ریخته می‌شود
W ۴	۵۴۵۴۷۳	۳۹۳۵۳۱۸	لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماند پلاستیکی
W ۷	۵۴۳۷۴۷	۳۹۳۷۰۱۳	آب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد (قالی شویی، سنگ شور و دامداری)
W ۸	۵۴۵۲۶۷	۳۹۲۹۰۴۳	آب کانال تصفیه نشده روستای ده خیر- فاضلاب
W ۹	۵۴۲۴۲۴	۳۹۲۶۲۳۷	آب تصفیه نشده- روستای نظر آباد
W ۱۰	۵۴۳۴۶۲	۳۹۲۴۸۳۳	آب تصفیه نشده- شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی)
W ۱۶	۵۴۷۳۴۶	۳۹۱۷۷۲۸	کانال آب فاضلاب و تصفیه نشده- بوی بسیار نامطبوع فاضلاب
W ۱۷	۵۴۵۸۳۴	۳۹۱۷۹۹۰	آب تصفیه نشده- جمع‌آوری شده در یک آببند و آبیاری زمین‌های کشاورزی- بوی نامطبوع فاضلاب-روستای رحمت آباد
W ۱۸	۵۴۹۹۲۷	۳۹۲۰۷۲۳	آب زهکشی شده و تصفیه نشده قرچک- کانال برای آبیاری زمین‌های کشاورزی اطراف استفاده می‌شود.
W ۱۹	۵۵۰۲۴۳	۳۸۹۲۸۵۸	پساب خروجی دامداری- آبیاری زمین‌های گندم و یونجه- شرکت اشراق

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

۲۰ W	۵۵۰۱۸۹	۳۸۹۲۸۲۱	رودخانه آب تصفیه نشده- به نام رودخانه شور و شیرین معروف است- آبیاری زمین‌های کشاورزی
۲۱ W	۵۵۱۷۸۰	۳۸۹۷۳۳۲	نمونه آب چاه موجود در منطقه
کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌شده			
۵ W	۵۴۴۲۷۶	۳۹۳۶۵۵۷	آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران
۶ W	۵۴۳۹۳۴	۳۹۳۶۹۴۱	آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران
۱۱ W	۵۶۱۳۴۸	۳۹۳۰۲۸۶	آب کانال تصفیه شده- ورودی پاکداشت- بوی بسیار نامطبوع
۱۲ W	۵۶۱۷۷۴	۳۹۲۷۳۶۸	آب کانال تصفیه شده- داخل شهر- بوی بسیار نامطبوع
۱۳ W	۵۶۲۲۵۹	۳۹۲۲۴۷۹	آب کانال تصفیه شده- پاکداشت ورودی زمین‌های کشاورزی ذرت و یونجه
۱۴ W	۵۶۳۱۵۷	۳۹۱۹۳۰۷	کانال آب تصفیه شده پاکداشت به همراه آب چاه
۱۵ W	۵۶۴۰۹۵	۳۹۲۰۲۴۸	آب کانال تصفیه شده- نقطه O محل تقسیم آب کانال تصفیه شده
۲۲ W	۵۵۶۳۱۹	۳۹۰۳۷۵۵	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران
۲۳ W	۵۶۲۳۴۸	۳۹۱۳۷۶۷	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران
۲۴ W	۵۶۰۰۹۰	۳۹۱۵۷۰۱	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران
۲۵ W	۵۶۱۶۷۲	۳۹۱۰۳۵۱	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران

۴-۲-۱- نتایج آنالیز COD و BOD

کل اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD) و کل اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی (BOD) دو شاخص مهم جهت ارزیابی کیفیت پساب است. آبیاری مداوم با فاضلاب در غلظت بالای مواد آلی باعث گرفتگی خلل و فرج خاک و فراهم آوردن شرایط بی هوازی در خاک و در محیط ریشه می‌گردد.



شکل ۴-۱. نتایج آنالیز BOD و COD نمونه‌های آب

همانطور در شکل ۴-۱ ارائه شده است، نتایج آنالیز نشان داد که BOD و COD نمونه‌های ۴، ۱۰، ۱۶ و ۱۹ بیشتر از مقدار مجاز جهت آبیاری است. نمونه شماره ۴ مربوط به لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی بود که در مسیر کانال آبیاری زمین‌های کشاورزی قرار داشت. نمونه شماره ۱۰ مربوط به کانال تصفیه‌نشده در شهرک صنعتی عشق آباد بود که بعنوان شهرک موزاییک‌سازی شناخته شده است. آب کانال فاضلاب و تصفیه‌نشده در شهرستان قرچک که جهت مصارف کشاورزی استفاده می‌شود BOD و COD بیش از حد مجاز را داشت که در نتایج نمونه ۱۶ قابل مشاهده است. نمونه شماره ۱۹ نیز که جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی گندم و یونجه مورد استفاده قرار می‌گرفت، دارای BOD و COD بیش از حد مجاز بود. این نمونه مربوط به پساب خروجی دامداری اشراق بود که رودخانه موجود در منطقه (رودخانه شور و شیرین) تخلیه می‌شود.

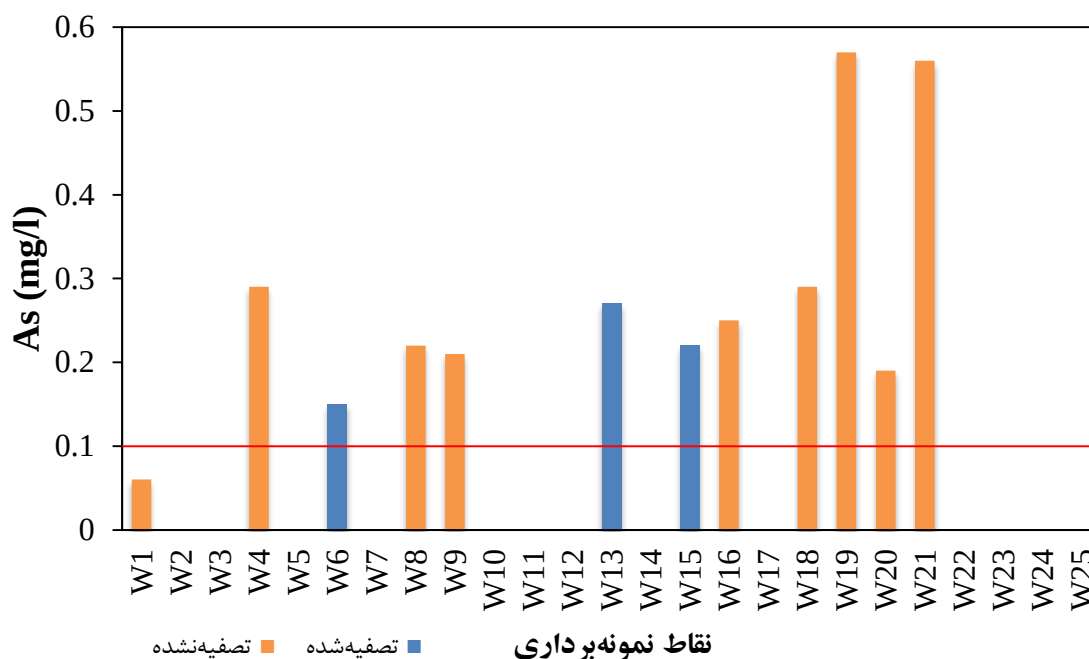
میانگین BOD و COD مربوط به منابع آب تصفیه‌نشده به ترتیب برابر با ۷۵۰ و ۱۱۳۱ میلی‌گرم بر لیتر بود. این نتایج نشان می‌دهد آب‌های تصفیه‌نشده با توجه به مقادیر BOD و COD بیش از حد مجاز جهت مصارف کشاورزی مناسب نیستند. همچنین میانگین مقادیر BOD و COD برای منابع آب تصفیه‌شده به ترتیب برابر با ۳۵ و ۵۵/۵ میلی‌گرم بر لیتر است که بر اساس استانداردهای موجود در حد قابل قبول جهت مصارف کشاورزی قرار دارند.

۴-۲-۲- نتایج آنالیز فلزات سنگین

استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی آلوده به فلزات سنگین، برای آبیاری محصولات موجب انتقال و تجمع این فلزات در محصولات تولیدی و در نهایت ایجاد مخاطرات بهداشتی برای حیوانات و انسان خواهد گردید. همچنین تجمع عناصر سنگین در گیاهان و مصرف آنها توسط احشام، باعث انتقال این عناصر به انسان می‌شود. چون حیوانات در معرض مقادیر بیش تری از عناصر سنگین (به علت استفاده از گیاهان) نسبت به انسان هستند، لذا پتانسیل حیوانات از نظر آلودگی با این عناصر بیشتر است.

۴-۲-۲-۱- نتایج آنالیز آرسینک موجود در آب

همانطور که در نمودار شکل ۴-۲ مشخص است، غلظت آرسینک در نمونه آب ۱۱ ایستگاه بیشتر از حد مجاز آرسینک در آب آبیاری مطابق استاندارد سازمان جهانی بهداشت و کشور ایران (۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) است. غلظت آرسینک در کل ایستگاه‌های نمونه برداری از صفر تا ۰/۵۷ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. به طوری که در ایستگاه‌های ۱۹ و ۲۱ غلظت آرسینک به بیش از ۵ برابر حد مجاز رسیده است.



شکل ۴-۲. نتایج آنالیز غلظت آرسنیک موجود در نمونه‌های آب

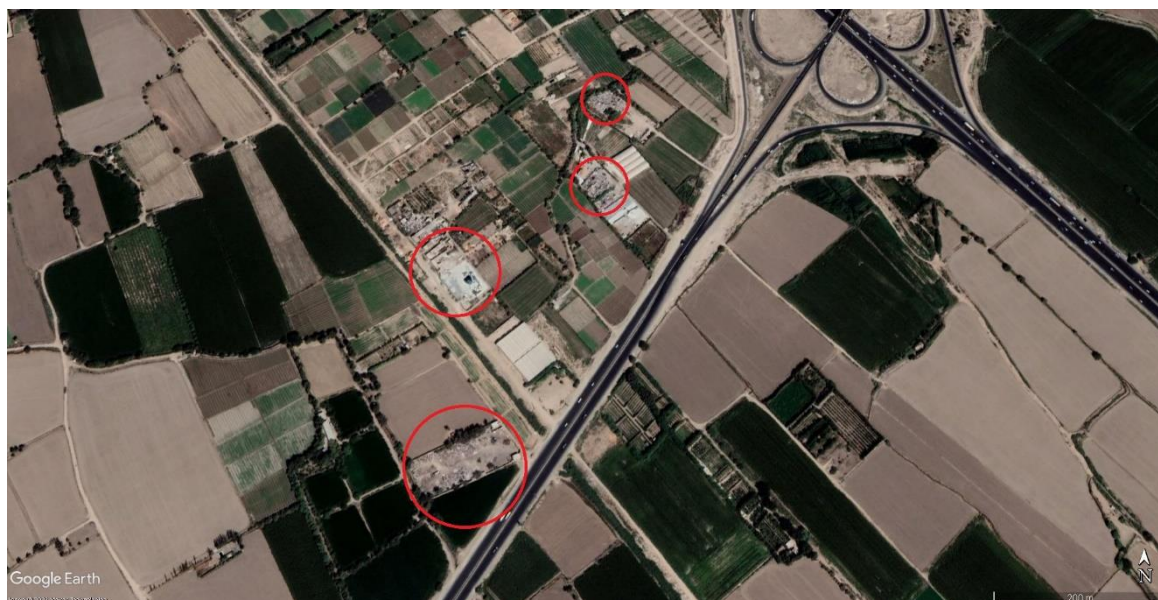
نمونه شماره نیز ۱۹ مربوط به پساب خروجی دامداری اشراق است که به رود شور و شیرین تخلیه می‌شود و بیشترین مقدار آرسنیک را داشت. همانطور که مشخص است اثر سمیت آرسنیک بر روی انسان در غلظت‌های بالا در سبزیجات و غلات بیشتر است. همچنین سمیت آرسنیک معدنی از آلی بیشتر است که مقدار زیاد آرسنیک باعث صدمات حاد دستگاه گوارش و بیماری‌های قلبی می‌شود. منابع تولید آرسنیک فاضلاب‌های صنعتی از جمله بهره برداری معدن، حشره کش و سموم، عکاسی، فتوکپی، صنایع داروسازی، نفت و زغال سنگ است.

میانگین غلظت آرسنیک در منابع آب تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب برابر با ۰/۳۲۲ و ۰/۲۱۳ میلی‌گرم بر لیتر است که نشان می‌دهد که هر دو مسیر به آرسنیک آلوده شده‌اند. وجود آرسنیک در نمونه‌های کانال آب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه جنوب تهران (نمونه‌های شماره ۶، ۱۳ و ۱۵) نشان می‌دهد که احتمالاً آب فاضلابی که وارد تصفیه‌خانه می‌شود شامل پساب‌های صنعتی تهران است که بعد از تصفیه نیز همچنان در حد غیر مجاز در آب وجود دارد. همچنین وجود واحدهای صنعتی در مسیر این کانال می‌توان از دیگر منابع آلاینده باشد. نمونه شماره ۶ که از منطقه قلعه‌نو و از کانال انتقال آب تصفیه‌خانه تهران برداشت شده است، در ابتدای مسیر کانال قرار دارد و از خروجی تصفیه‌خانه تا این نقطه هیچ پساب صنعتی به جزء واحدهای صنعتی امین‌آباد (قالی‌شویی، سنگ‌شوی، دامداری و صنایع فلزکاری) وارد کانال نمی‌شود. به همین دلیل به نظر می‌رسد یا آب کانال قبل از تصفیه، آلوده به آرسنیک بوده و سیستم

تصفیه موجود در تصفیه‌خانه جنوب تهران کارآیی مناسبی جهت حذف این آلاینده را ندارد و یا پساب واحدهای صنعتی امین‌آباد علت آلودگی ایجاد شده باشند. لازم به ذکر است نمونه پسابی که از منطقه صنعتی امین‌آباد برداشت شد حاوی آرسنیک نبود و لازم است بررسی بیشتری بر روی پساب‌های این منطقه صورت گیرد.

نمونه شماره ۱۳ و ۱۵ که از کانال انتقال آب تصفیه‌خانه جنوب تهران و نقطه تقسیم آب کانال (نقطه O) در منطقه پاکدشت برداشت شده است، به ترتیب حاوی ۰/۲۷ و ۰/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر آرسنیک بودند. منبع این آلودگی در این نقاط علاوه بر پساب‌های صنعتی ورودی به تصفیه‌خانه جنوب تهران، می‌تواند بر اثر تخلیه غیر مجاز پساب‌های صنعتی واحدهای مختلف موجود در مسیر کانال از جمله شهرک صنعتی خاوران و ثامن باشد که در فصل قبل اشاره شد.

با توجه به نتایج آنالیزها، نمونه‌های ۴، ۸، ۹، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ (مربوط به پساب‌های تصفیه‌نشده)، حاوی مقدار غیر مجاز آرسنیک جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی هستند. نمونه ۴ که مربوط به لجن کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی حاوی ۰/۲۹ میلی‌گرم بر لیتر آرسنیک بود. بررسی منطقه نشان داد که در مسیر آب‌های تصفیه نشده که به نقاط ۸ و ۹ منتهی می‌شود واحدهای صنعتی مختلفی فعالیت می‌کنند که در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. به نظر می‌رسد پساب خروجی این واحدها به کانال آب تصفیه نشده تخلیه می‌شود که باعث ایجاد آلودگی در این آب‌ها شده است.



شکل ۴-۳. واحدهای صنعتی موجود در مسیر آب کانال‌های تصفیه نشده در منطقه قلعه‌نو

همچنین وجود آلودگی آرسنیک در نقاط ۱۶ و ۲۰ می‌تواند مربوط به واحدهای صنعتی باشد که در شکل ۴-۴ ارائه شده است. علاوه بر این واحدهای صنعتی، پساب خروجی دامداری اشراق (نمونه شماره ۱۹) نیز آلوده به آرسنیک بود که پساب آن به رودخانه موجود در منطقه (نمونه شماره ۲۰) تخلیه می‌شود.

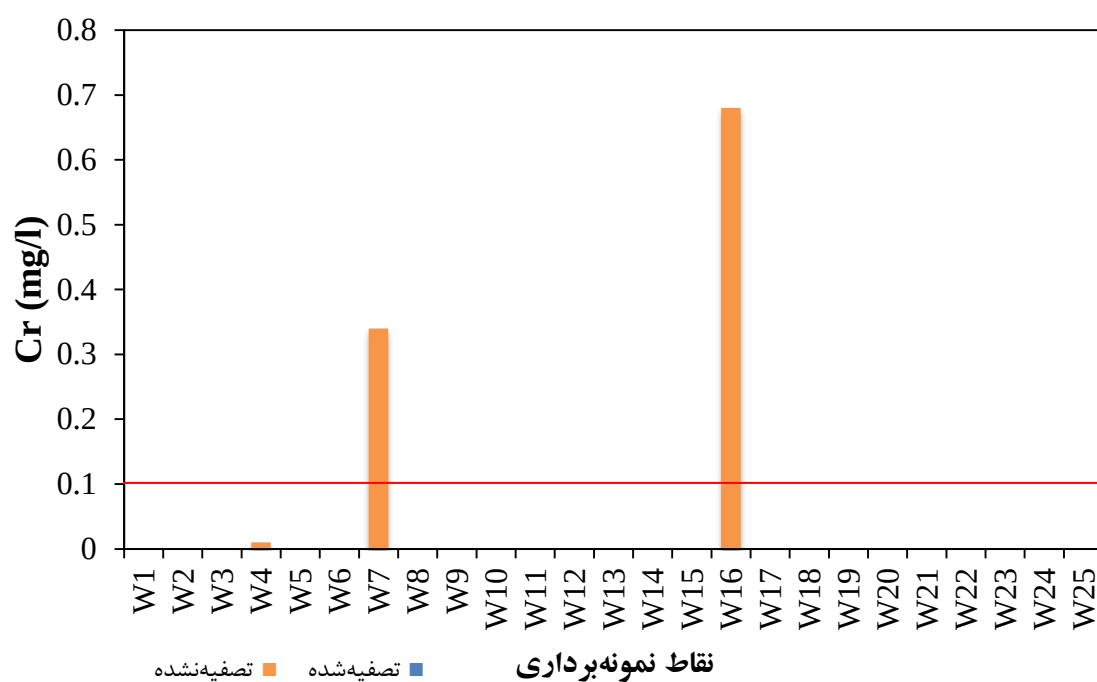


شکل ۴-۴. واحدهای صنعتی موجود در مسیر نقاط نمونه برداری ۱۶ و ۲۰

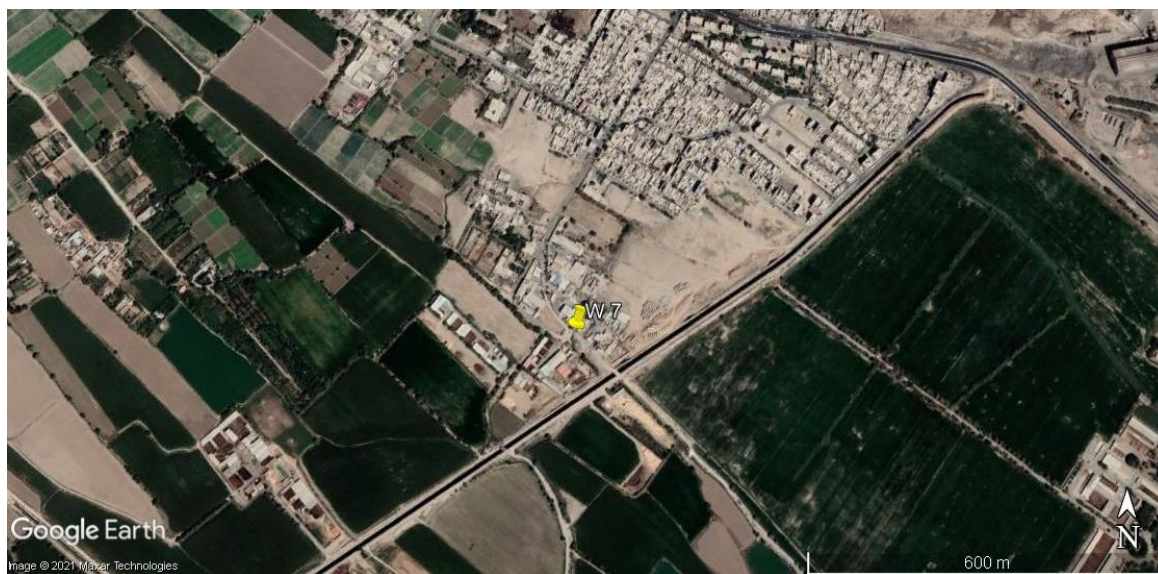
مطابق نمودار شکل زیر غلظت کروم در دو ایستگاه ۷ و ۱۶ به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۶۸ میلی گرم بر لیتر بوده که بیشتر از حد مجاز آن (۰/۱ میلی گرم بر لیتر) در استانداردهای داخلی و بین‌المللی است. میانگین غلظت کروم موجود در نمونه‌های منابع آب تصفیه‌نشده برابر با ۰/۳۴ میلی گرم بر لیتر است. همچنین هیچ‌گونه آلودگی کروم در منابع آب تصفیه‌شده مشاهده نشد (شکل ۴-۵).

نمونه ۷ مربوط به پساب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد است (شکل ۴-۶). این واحدها شامل قالی‌شویی، مصنوعات فلزی، آبکاری و دامداری است که پساب آن از طریق کانال‌های محلی به منابع آب مورد استفاده برای کشاورزی وارد می‌شود. نمونه شماره ۱۶ که بیشترین مقدار کروم در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری را دارد مربوط به آب موجود در کانال‌های فاضلاب تصفیه‌نشده در شهرستان قرچک است. لازم به ذکر است مطابق گفته کارشناس محترم جهاد کشاورزی این کانال‌های آب جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد واحدهای صنعتی موجود در مسیر کانال‌های تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده می‌تواند بعنوان منبع اصلی آلودگی کروم باشد که نتایج آنالیزها هم نشان می‌دهد که در دو نقطه غلظت آلاینده کروم به بیش از مقدار مجاز جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی رسیده است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۵. نتایج آنالیز غلظت کروم موجود در نمونه‌های آب

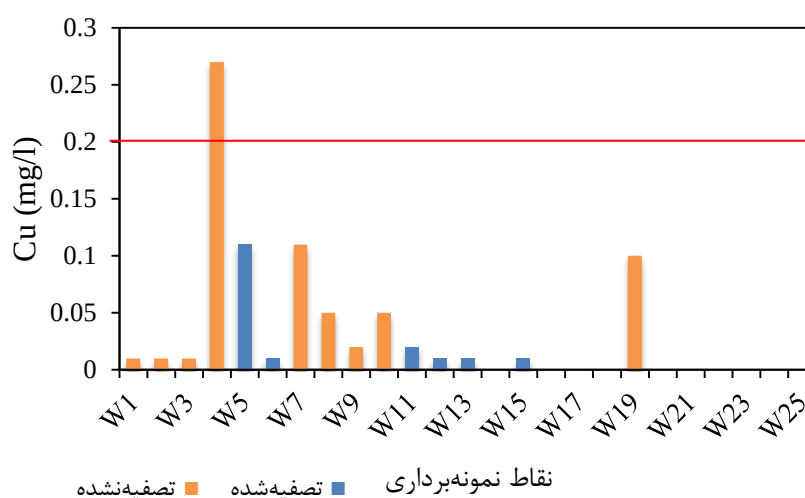


شکل ۴-۶. موقعیت ایستگاه شماره ۷ در شهرستان ری (پساب خروجی واحدهای صنعتی امین‌آباد)



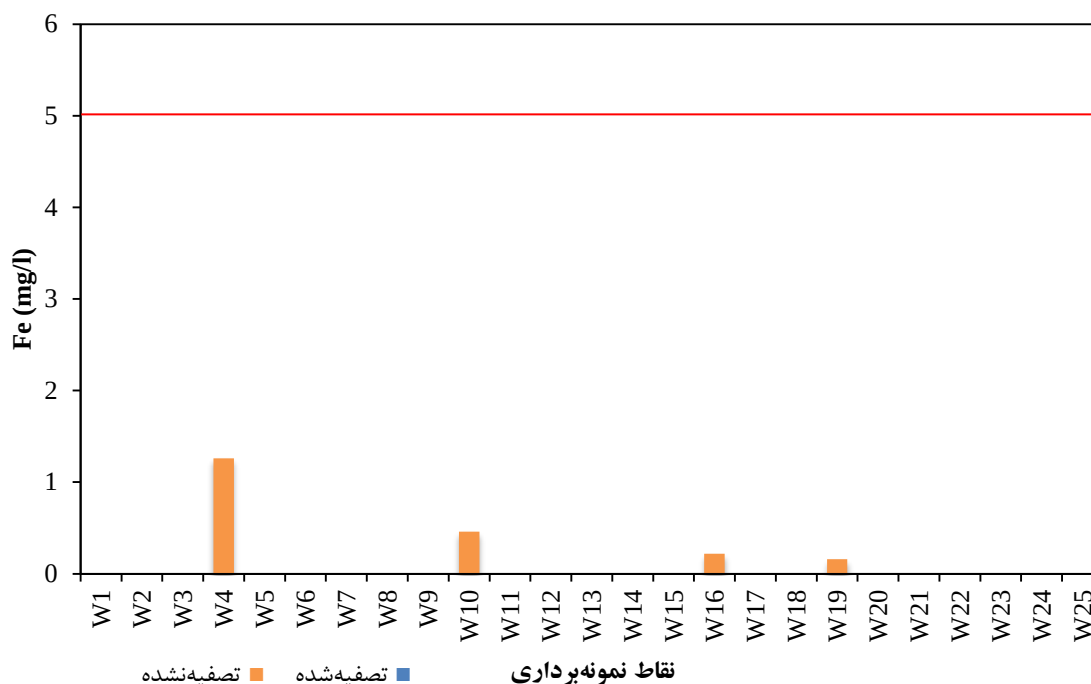
شکل ۴-۷. موقعیت ایستگاه شماره ۱۶ در شهرستان قرچک در نزدیکی واحدهای صنعتی

نتایج آنالیز غلظت مس موجود در نمونه‌های آب نشان داد که تنها نمونه شماره ۴ غلظت بیش از حد مجاز را دارد (شکل ۴-۸). این نمونه مربوط به لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی بود. در نمونه‌های ۵، ۷ و ۱۹ که به ترتیب مربوط به آب کانال تصفیه‌شده، پساب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد و پساب خروجی گاوداری اشراق است، غلظت مس به مقدار $0/1$ میلی گرم بر لیتر رسیده است که نسبت به سایر نمونه‌ها مقادیر بالایی به خود اختصاص داده‌اند. با این وجود بجزه نمونه شماره ۴ بقیه نمونه‌ها به حد غیر مجاز جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی نرسیده‌اند. لازم به ذکر است میانگین غلظت مس در منابع آب تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب برابر با $0/07$ و $0/028$ میلی گرم بر لیتر است.



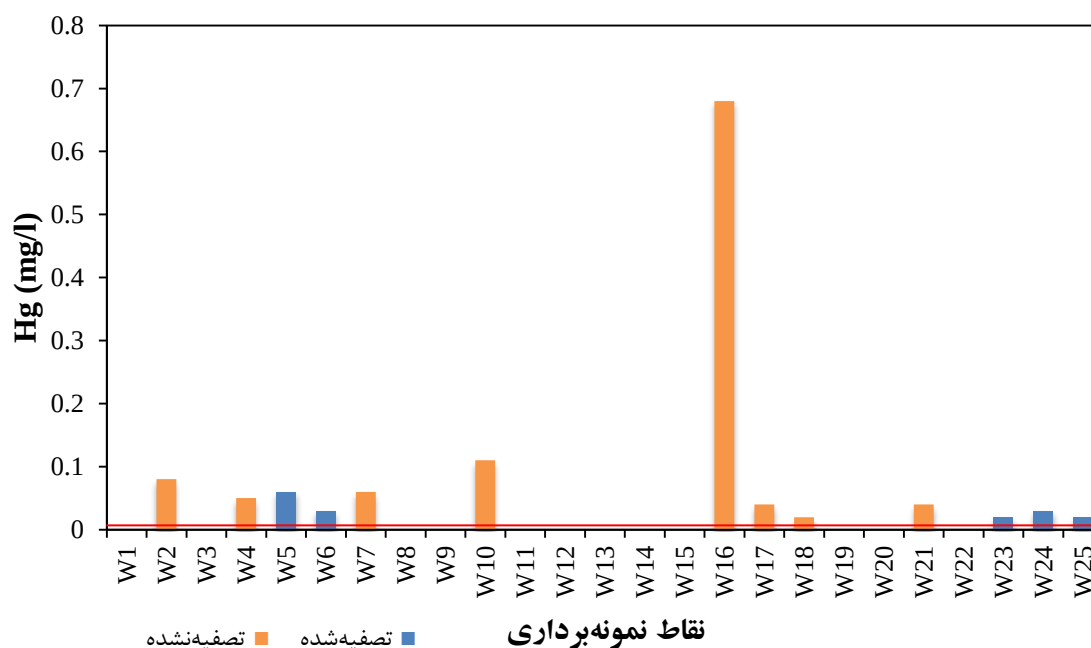
شکل ۴-۸. نتایج آنالیز غلظت مس موجود در نمونه‌های آب

مطابق شکل ۴-۹ مشخص شد که غلظت آهن در نمونه‌های برداشت شده بالاتر از حد مجاز آن جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی نبود. بیشترین مقدار آهن مربوط به نمونه شماره ۴ بود که این نمونه از لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی در منطقه قعله نو شهرستان ری برداشت شده بود.



شکل ۴-۹. نتایج آنالیز غلظت آهن موجود در نمونه‌های آب

بر اساس استانداردهای کشورهای مختلف از جمله ایتالیا، یونان، اردن، چین و... حد مجاز جیوه در آب جهت مصارف کشاورزی از ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵ میلی گرم بر لیتر متغیر است. نتایج حاصل از آنالیز غلظت جیوه نشان داد که ۱۳ نمونه آب برداشت شده مقدار بالاتر از استاندارد را دارند. در این میان نمونه شماره ۱۶ با مقدار ۰/۶۸ میلی گرم بر لیتر بیشترین مقدار جیوه را داشته است. این نمونه از کانال آب فاضلاب تصفیه‌نشده در شهرستان قرچک برداشت شده است که بوی بسیار نامطبوع در این نقطه در زمان نمونه‌برداری به مشام می‌رسید. همانطور که قبلاً اشاره شد محل برداشت این نمونه از کانال آب تصفیه‌نشده در نزدیکی واحدهای صنعتی موجود در منطقه بود که به نظر می‌رسد آلودگی جیوه مربوط به پساب خروجی این واحدهای صنعتی باشد (شکل ۴-۱۰).



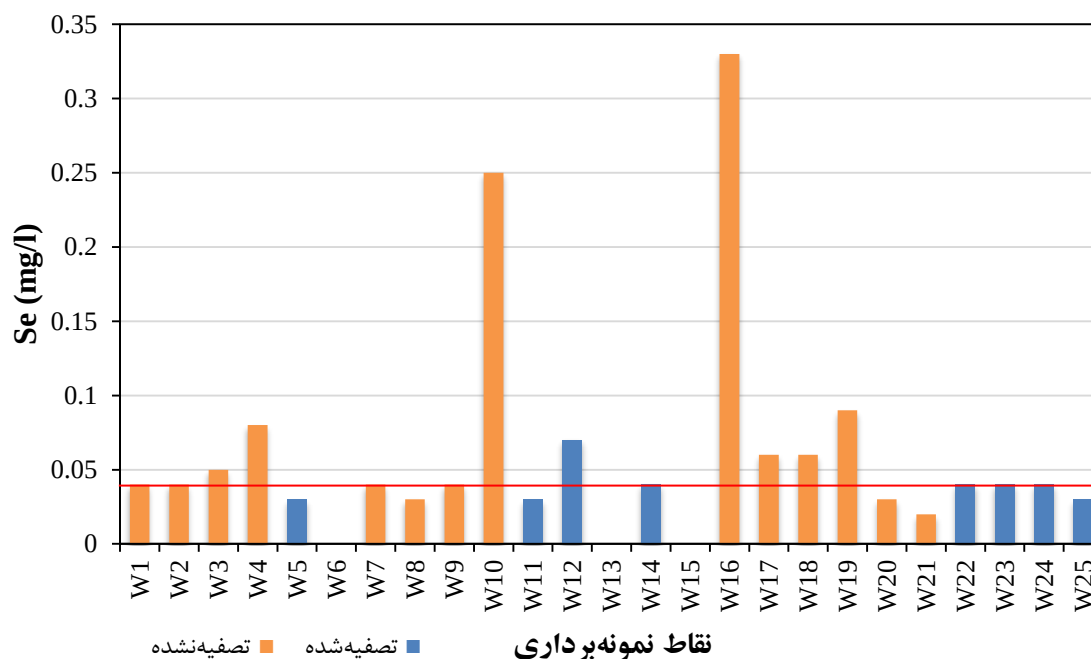
شکل ۴-۱۰. نتایج آنالیز غلظت جیوه موجود در نمونه‌های آب

وجود جیوه در آب در غلظت‌های غیر مجاز نیز باعث صدمه به کلیه می‌شود و با تشکیل متیل مرکوری موجب صدمه به سیستم اعصاب مرکزی می‌گردد که منجر به مرگ یا وارد آمدن صدمات ذهنی و اختلال در عملکرد این سیستم می‌شود. منابع اصلی جیوه فاضلاب‌های صنعتی از جمله تولید رنگ، سموم، صنایع الکترونی، نساجی، کارخانجات شیمیایی، لاستیک و پلاستیک، باتری سازی، سلولز و کاغذ سازی، صنایع داروسازی است.

میانگین غلظت جیوه موجود در نمونه‌های آب تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب برابر با ۰/۱۳۵ و ۰/۰۳۲ میلی گرم بر لیتر است که در هر دو مسیر از حد مجاز مصارف کشاورزی فراتر است. نتایج آنالیز غلظت سلنیم در نمونه‌های آب برداشت شده مشخص کرد که ۲۱ نمونه از ۲۵ نمونه برداشت شده حاوی غلظت غیر مجاز سلنیم هستند. در این میان نمونه‌های ۱۰ و ۱۶ به ترتیب حاوی ۰/۲۵ و ۰/۳۳ میلی گرم بر لیتر سلنیم بوده‌اند که بیشترین مقدار سلنیم در بین سایر نمونه‌ها است. نمونه شماره ۱۰ از کانال آب تصفیه‌نشده در نزدیکی شهرک صنعتی عشق‌آباد و نمونه شماره ۱۶ از کانال آب تصفیه‌نشده واقع در شهرستان قرچک برداشت شده بود. آب عبوری از شهرک موزاییک سازی عشق‌آباد که آلوده به جیوه است بعد از گذر از زمین‌های کشاورزی به پایین دست (محل نمونه شماره ۱۶) می‌رسد. احتمالاً آلودگی سلنیم ایجاد شده در این آب‌ها نیز مربوط به واحدهای صنعتی موجود در منطقه عشق‌آباد باشد. با این حال نتایج نشان می‌دهد که هر دو مسیر انتقال آب (تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده) آلوده به سلنیم است

(شکل ۴-۱۱). بطوری‌که میانگین غلظت سلنیم در منابع آب تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب برابر با ۰/۰۸۳ و ۰/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر بود که از حد مجاز جهت مصارف کشاورزی (۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر) فراتر رفته است و هر دو منبع آب موجود در منطقه به سلنیم آلوده شده است. منبع آلودگی این آب‌ها هم می‌تواند واحدهای صنعتی موجود در منطقه باشد و هم واحدهای صنعتی موجود در شهر تهران که پساب آن‌ها جهت تصفیه به تصفیه‌خانه جنوب تهران می‌رسد و این تصفیه‌خانه عملاً کارایی مناسبی جهت حذف و تقلیل سلنیم در پساب را ندارد.

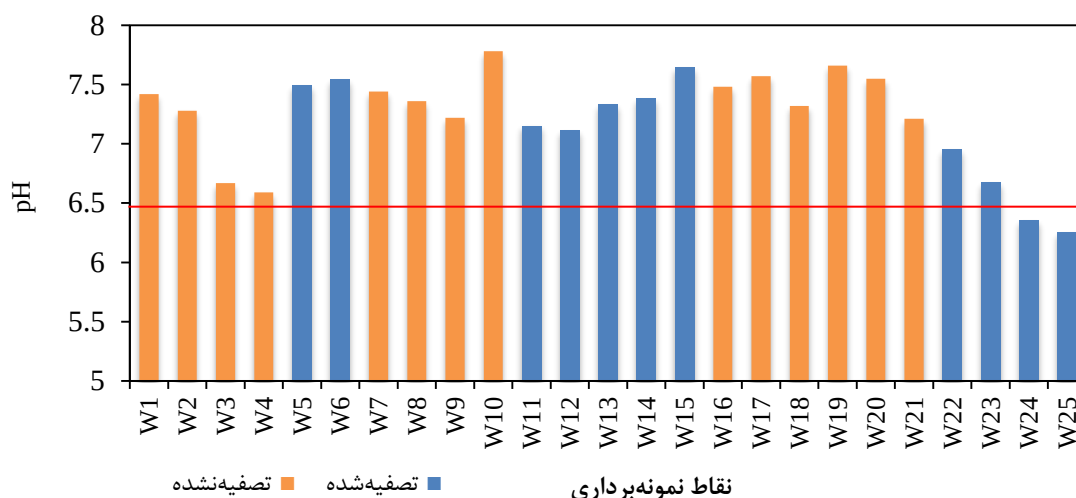
لازم به ذکر است وجود سلنیم در غلظت‌های بالا باعث ریزش موها، تشکیل ناخن غیرطبیعی و اضطراب‌های روانی می‌شود که در اثر دریافت طولانی و زیاد سلنیوم حادث می‌گردد. فاضلاب‌های صنعتی از جمله تولید رنگ، صنایع الکترونیک و الکتریکی، عکاسی و فتوکپی می‌توانند منابع این آلودگی باشند.



شکل ۴-۱۱. نتایج آنالیز غلظت سلنیم موجود در نمونه‌های آب

۴-۲-۳- نتایج آنالیز pH

آنالیز pH نمونه‌های آب مشخص کرد که pH نمونه‌ها از ۶ تا ۸ متغیر است. مطابق استانداردهای موجود مقدار pH مجاز جهت مصارف کشاورزی از ۵ تا ۱۰ متغیر است. مطابق استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) مقدار مجاز pH باید در محدوده ۶ تا ۹ قرار داده باشد. با این وجود هیچ‌گونه آلودگی در آب‌های منطقه از لحاظ pH وجود ندارد.

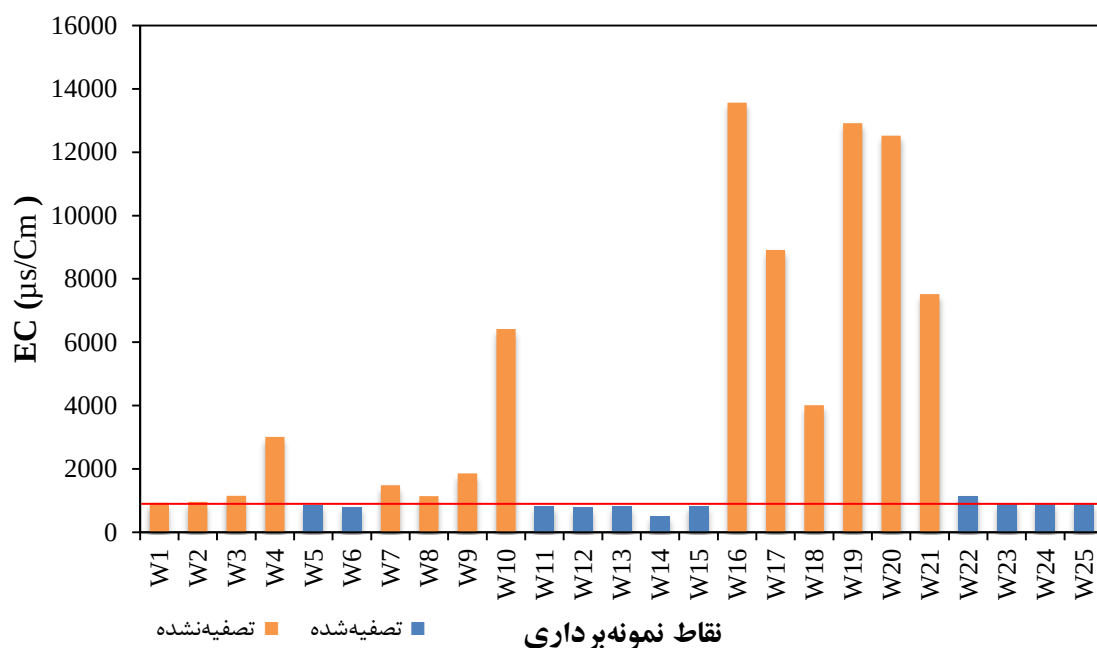


شکل ۴-۱۲. نتایج آنالیز pH نمونه‌های آب

اما در این میان استاندارد کشور ایران حد مجاز pH جهت مصارف کشاورزی را در محدوده ۶/۵ الی ۸/۵ تعریف کرده است که با توجه به این استاندارد نمونه‌های شماره ۲۴ و ۲۵ پایین تر از محدوده مجاز جهت مصارف کشاورزی قرار دارند (شکل ۴-۱۲). نمونه‌های ۲۴ و ۲۵ مربوط به آب کانال تصفیه شده تصفیه‌خانه جنوب تهران است که در شهرستان پیشوا برداشت شده است. نمونه ۳ فاضلاب ماسه‌شویی به علت مواردی چون لجن کربناته و نمونه ۴ فاضلاب خردایش مواد پلاستیکی به علت هیدروکربن بالا که مانع فعالیت‌های بیولوژیکی می‌شود دارای pH کمتر از ۷ هستند.

۴-۲-۴- نتایج آنالیز EC

هدایت الکتریکی یکی از شاخص‌هایی است که جهت نشان دادن غلظت یون‌های موجود در آب استفاده می‌شود. این شاخص با مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های حاصل از تجزیه مواد شیمیایی به صورت مستقیم مرتبط است و همچنین با غلظت کل نمک‌های موجود در پساب مطابقت دارد. مطابق استانداردهای موجود آب‌هایی که EC آن‌ها در محدوده ۷۵۰ الی ۲۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است، آب‌های کم شور و آب‌هایی که در محدوده ۲۵۰۰ الی ۸۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر قرار دارد جزء آب‌های تقریباً شور هستند. آب با مقدار EC در محدوده ۸۰۰۰ الی ۱۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در گروه آب‌های شور قرار می‌گیرد. مقدار EC بین ۱۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر نیز جزء آب‌های خیلی شور به حساب می‌آید.



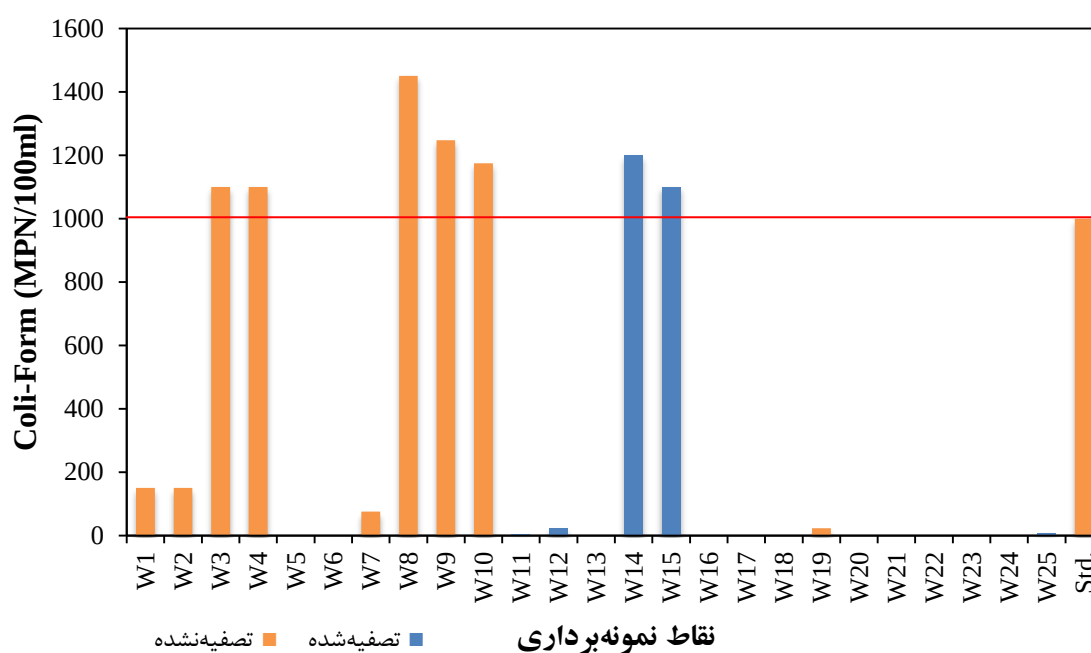
شکل ۴-۱۳. نتایج آنالیز مقدار EC نمونه‌های آب

همانطور که در شکل ۴-۱۳ ارائه شده است، مقدار EC برای نمونه‌های شماره ۴، ۱۰، ۱۸ و ۲۱ در محدوده با شوری متوسط قرار دارند. نمونه‌ی شماره ۱۷ با EC برابر با ۸۹۱۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در محدوده آب‌های شور قرار دارد. آنچه مشخص است، نمونه‌های ۱۶، ۱۹ و ۲۰ با EC بالاتر از ۱۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در محدوده آب‌های بسیار شور قرار گرفته است. لازم به ذکر است اگر مطابق استاندارد کشورهای تونس و تایوان مقدار مجاز EC جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی ۷۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در نظر گرفته شود، EC تمامی نمونه‌های برداشت شده بجز نمونه شماره ۱۴ بیش از حد مجاز جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی است.

۴-۲-۵- نتایج آنالیز کلی‌فرم

استفاده از پساب‌ها با آلودگی میکروبی برای آبیاری زمین‌های کشاورزی، علاوه بر مخاطرات بهداشتی برای کشاورزان، می‌تواند باعث انتقال آلودگی به احشام و دام‌ها گردد. مهمترین بیماری‌ها در این رابطه شامل بیماری سل، کرم کدوی گاوی و آلودگی‌های سالمونلایی است. کاربرد فاضلاب برای آبیاری منجر به شیوع بیماری‌های انگلی آسکاریس و تریکوریس می‌شود. همچنین دام‌های چرا کرده در مزارع آبیاری شده با فاضلاب و یا استفاده کرده از آب کانال‌هایی فاضلاب به عنوان شرب، به شدت به بیماری کیست هیداتیک دچار می‌شوند. به طور معمول کلی فرم مدفوعی و تعداد تخم انگل نمائد، به عنوان شاخص کیفی بهداشتی

جهت ارزیابی درجه آلودگی و اثرات بهداشتی-زیست محیطی مربوط به بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب‌ها و آب‌های برگشتی مطرح است. بررسی استانداردهای کشور ایران و سازمان جهانی بهداشت (WHO) نشان داد که مقدار مجاز کلی فرم جهت مصارف کشاورزی $1000 \text{ MPN}/100 \text{ ml}$ است. نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان داد که ۶ نمونه دارای مقدار کلی فرم بیش از حد مجاز هستند. نمونه‌های شماره ۳، ۴، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴ و ۱۵ نمونه‌هایی هستند که مقدار کلی فرم بیش از حد مجاز را دارند (شکل ۴-۱۴).

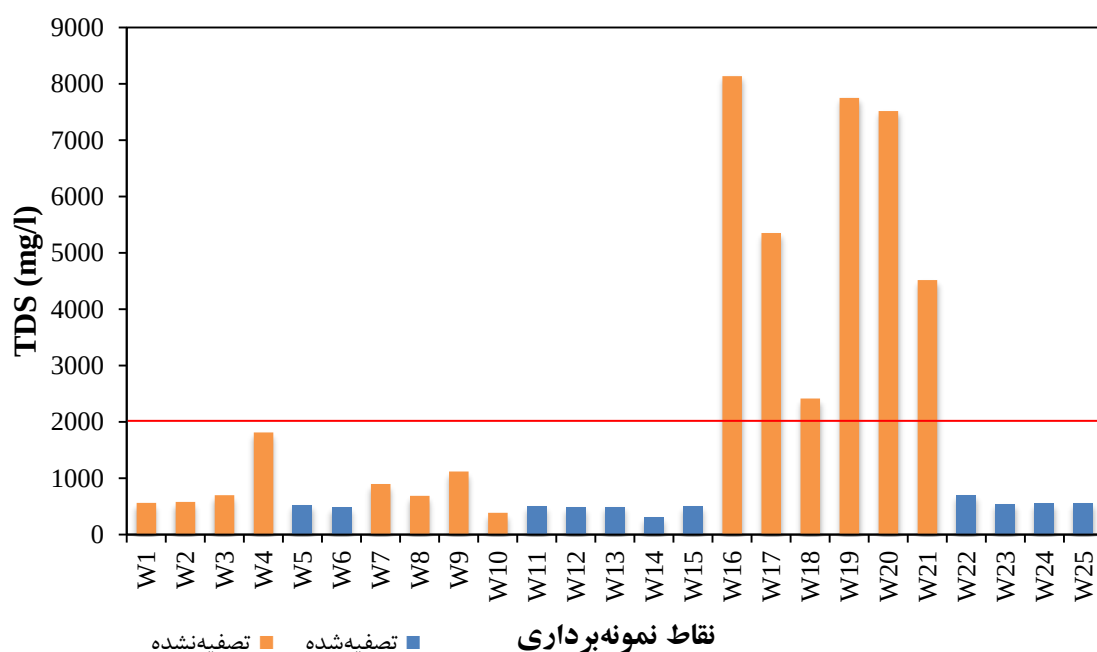


شکل ۴-۱۴. نتایج آنالیز کلی فرم موجود در نمونه‌های آب

نمونه شماره ۳ مربوط به پساب خروجی ماسه‌شویی بود که به نهر فیروزآباد تخلیه می‌شود. نمونه شماره ۴ مربوط به لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی واقع در منطقه قلعه‌نو بود. نمونه شماره ۸، ۹ و ۱۰ به ترتیب مربوط به آب کانال تصفیه نشده واقع در روستای ده خیر، آب تصفیه نشده واقع در روستای نظر آباد و آب تصفیه نشده شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی) است که جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه شماره ۱۴ و ۱۵ نیز به ترتیب از کانال آب تصفیه شده پاکدشت به همراه آب چاه و کانال آب تصفیه شده واقع در شهرستان پاکدشت (نقطه تقسیم آب کانال) برداشت شده است.

۴-۲-۶- نتایج آنالیز TSS و TDS

غلظت کل مواد محلول در آب (TDS) یکی از مهمترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت آب کشاورزی است. شوری خاک با نمک‌های محلول در آب ارتباط دارند و این نمک‌های محلول می‌توانند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی تاثیر گذار باشند. غلظت بالای مواد معلق در آب نیز باعث گرفتگی حفره های خاک می‌شود که بستگی به میزان ذرات معلق، ترکیب این ذرات و تخلخل خاک دارد. اگر حفرات خاک گرفته شود، نفوذ آب به خاک کاهش یافته و راندمان آبیاری کاهش می‌یابد. بررسی نتایج TDS نشان داد که ۵ نمونه از نمونه‌های برداشت شده دارای TDS بالاتر از حد مجاز هستند. مطابق استاندارد کشور ایران و سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) به ترتیب ۴۵۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر است که نمونه‌های شماره ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ غلظت‌های TDS بالاتر از ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر را نشان می‌دهند (شکل ۴-۱۵). با این وجود با در نظر گرفتن استاندارد کشور ایران تمامی نمونه‌ها به غیر از نمونه شماره ۱۴، مقدار TDS بالاتر از حد مجاز (۴۵۰ میلی گرم بر لیتر) را دارند.

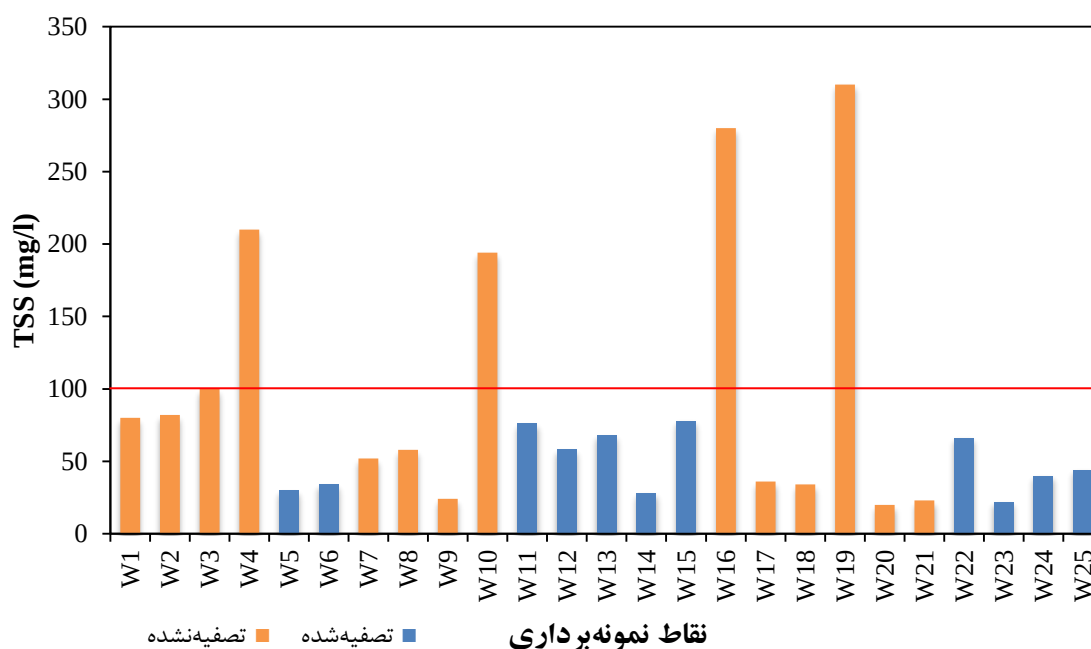


شکل ۴-۱۵. نتایج آنالیز مقدار TDS موجود در نمونه‌های آب

نمونه‌های شماره ۱۶، ۱۷ و ۱۸ واقع در شهرستان قرچک و به ترتیب مربوط به کانال آب فاضلاب و تصفیه نشده (بوی بسیار نامطبوع فاضلاب)، کانال آب تصفیه نشده (جمع آوری شده در یک آببند جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی روستای رحمت آباد) و کانال آب زهکشی شده و تصفیه نشده (کانال آب جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی اطراف) است. همچنین نمونه‌های ۱۹، ۲۰ و ۲۱ واقع در شهرستان ورامین و به ترتیب مربوط به پساب خروجی دامداری (تخلیه به رودخانه جهت آبیاری زمین‌های گندم و یونجه)،

رودخانه آب تصفیه نشده (رودخانه شور و شیرین جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی) و نمونه آب چاه موجود در منطقه است.

بررسی نتایج آنالیز مقدار TSS در نمونه‌های آب نشان داد که مطابق استاندارد کشور ایران مقدار TSS در ۴ نمونه بیش از حد مجاز ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است (شکل ۴-۱۶). نمونه‌های شماره ۴، ۱۰، ۱۶ و ۱۹ چهار نمونه‌ای هستند که مقدار TSS در آن‌ها بیش از مقدار مجاز کشور است. این نمونه‌های به ترتیب مربوط به لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماند پلاستیکی واقع در قلعه‌نو، آب تصفیه نشده واقع در شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی)، کانال آب فاضلاب و تصفیه نشده واقع در شهرستان قرچک و پساب خروجی دامداری اشراق بود.

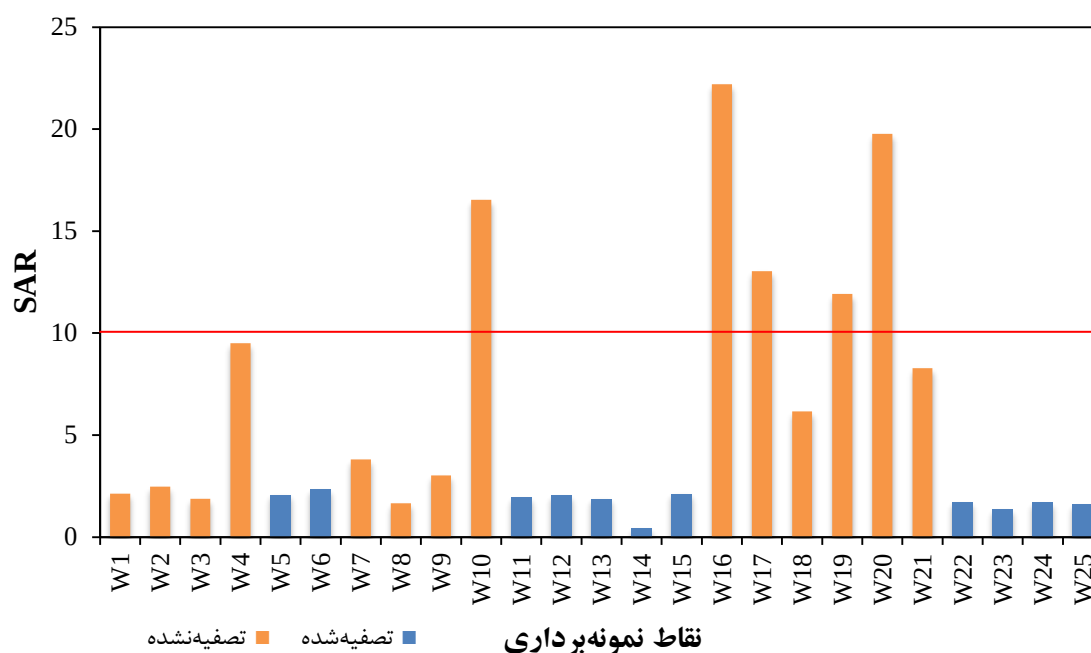


شکل ۴-۱۶. نتایج آنالیز مقدار TSS موجود در نمونه‌های آب

۴-۲-۷- نتایج آنالیز SAR و SSP

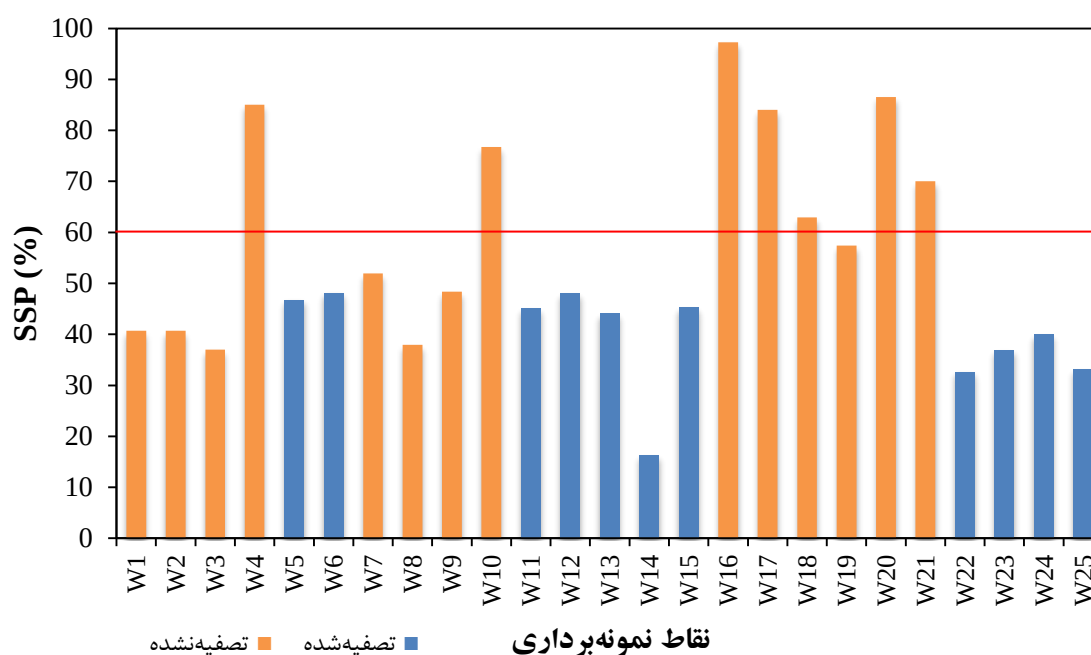
سدیم یکی دیگر از عواملی است که بر کیفیت خاک کشاورزی تاثیرگذار است. حضور سدیم تبادلی در خاک باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می‌شود که کیفیت خاک کشاورزی را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. سدیم تبادلی تمایل پراکنش خاک داشته، باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می‌شود. این پراکنش ذرات باعث تشکیل یک لایه سله بر روی خاک گشته و مانع جوانه‌زنی بذر می‌شود.

نسبت جذبی سدیم (SAR) مطمئن‌ترین شاخص جهت تعیین میزان تاثیر آب آبیاری بر افزایش سدیم تبادلی خاک است. مطابق استانداردهای موجود مقدار SAR بیش از ۱۰ نشان از غلظت غیر مجاز جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی است. نتایج آنالیز SAR نمونه‌های آب نشان داد که نمونه‌های شماره ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۱۹ و ۲۰ مقدار بالاتر از استاندارد را دارد (شکل ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۷. نتایج آنالیز مقدار SAR نمونه‌های آب

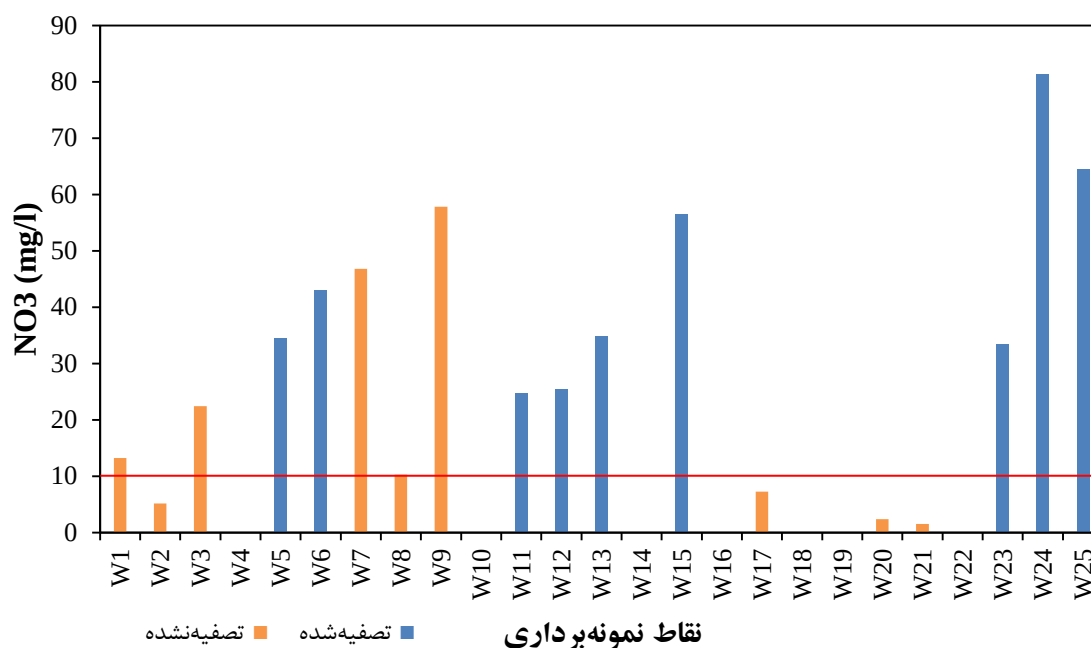
نمونه شماره ۱۰ مربوط به آب کانال تصفیه نشده شهرک صنعتی عشق آباد در منطقه قلعه نو است. نمونه‌های ۱۶ و ۱۷ نیز به ترتیب مربوط به کانال آب تصفیه نشده و آببند موجود در شهرستان قرچک است که جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمونه‌های ۱۹ و ۲۰ از پساب خروجی دامداری اشراق و رودخانه شور و شیرین برداشت شده است که مقدار SAR آن‌ها بیش از حد مجاز است. نمونه‌های شماره ۴، ۷، ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۰ و ۲۱ نمونه‌هایی هستند که درصد SSP آن‌ها از حد مجاز استاندارد SSP در آب‌های آبیاری کشاورزی فراتر رفته است (شکل ۴-۱۸). لازم به ذکر است استاندارد SSP جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی ۶۰ درصد است که ۸ نمونه بیش از حد مجاز بوده است و کیفیت لازم جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی را ندارند.



شکل ۴-۱۸. نتایج آنالیز مقدار SSP نمونه‌های آب

۴-۲-۸- نتایج آنالیز نیتрат

از میان آلودگی‌های شیمیایی، نیترات یکی از فاکتورهای اصلی به حساب می‌آید. این ترکیب می‌تواند تا عمق زیادی همراه آب در خاک حرکت کرده و مخاطرات زیادی را در استفاده از منابع آب زیرزمینی بوجود آورد. مقدار نیترات در آب‌هایی که جهت مصارف کشاورزی استفاده می‌شود نبایستی از مقدار ۱۰ میلی گرم بر لیتر فراتر رود. بر اساس نتایج بدست آمده میانگین غلظت نیترات در نمونه آب‌های تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب برابر ۱۸/۵ و ۴۴/۳ میلی گرم بر لیتر بود که نشان می‌دهد هر دو مسیر حاوی غلظت غیر مجاز نیترات هستند. بررسی نتایج آنالیز نیترات در نمونه‌های آب نشان داد که غلظت نیترات ۱۳ نمونه بیش از حد مجاز بوده است و یک نمونه نیز غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر را نشان می‌دهد (شکل ۴-۱۹). نمونه‌های شماره ۹، ۱۵، ۲۴ و ۲۵ چهار نمونه‌ای هستند که بیشترین مقدار نیترات (بیش از ۵۰ میلی گرم بر لیتر) را داشته‌اند. نمونه‌های ۵، ۶، ۷، ۱۳ و ۲۳ حاوی مقدار نیترات بیش از ۳۰ میلی لیتر بر گرم بوده‌اند.



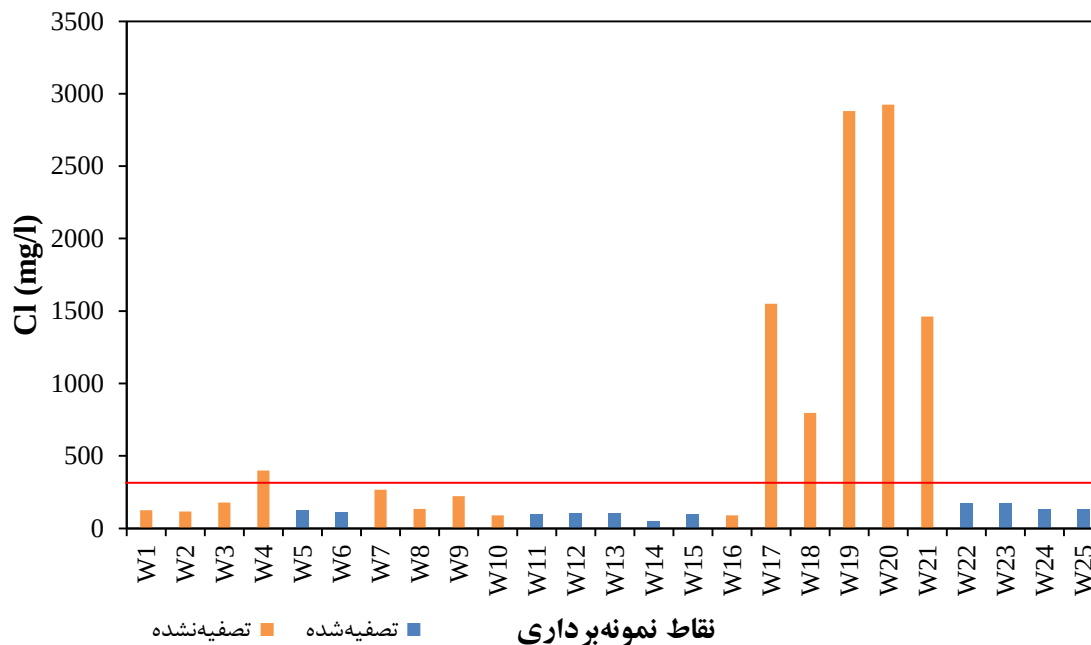
شکل ۴-۱۹. نتایج آنالیز غلظت نیترات موجود در نمونه‌های آب

همچنین نمونه‌های ۱، ۳، ۱۱ و ۱۲ مقدار نیترات بیش از ۱۰ میلی‌لیتر بر گرم داشته‌اند. این نتایج نشان داد که تنها نمونه‌های آب برداشت شده از شهرستان‌های قرچک و ورامین غلظت نیترات کمتر از استاندارد را دارند و آب موجود در دیگر مناطق به نوعی حاوی نیترات فراتر از حد مجاز هستند. همانطور که می‌دانید در اثر ترکیب نیتريت و نیترات با ترکیباتی که قابلیت تبدیل آنها را به نیتروز و نیتروز آمین را دارا می‌باشند، ترکیبات سرطان زا تشکیل شود. آب آبیاری آلوده به نیتروژن باعث افزایش رشد گیاه می‌شود و این افزایش رشد باعث از دست رفتن عملکرد گیاه می‌شود. چرا که افراط در رشد، پیری زودرس گیاه را تسریع نموده و استعداد پذیرش آفت و بیماری را بیشتر می‌کند.

۴-۲-۹- نتایج آنالیز آنیون‌ها و کاتیون‌ها

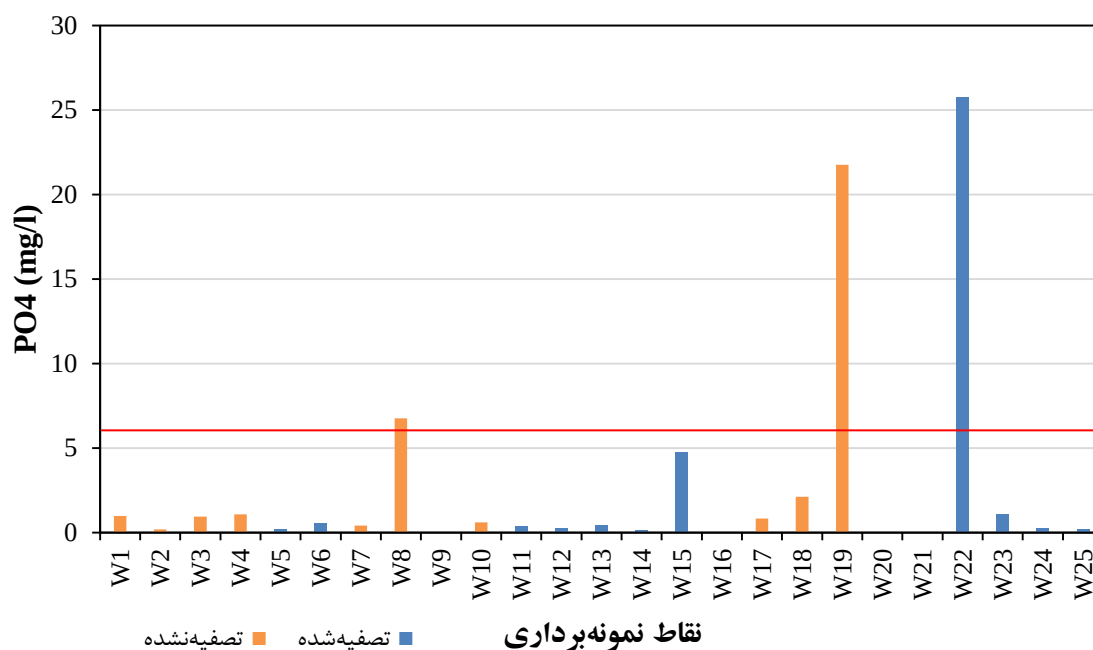
کلر یکی از یون‌های سمی است که اگر غلظت آن بیش از حد مجاز باشد می‌تواند باعث اختلال در ریشه، کاهش عملکرد محصول، تغییر شکل ظاهری و حتی مرگ گیاه شود. نتایج آنالیز کلراید در نمونه‌های آب نشان داد که ۵ نمونه حاوی غلظت بالای کلراید هستند (شکل ۴-۲۰). نمونه‌های ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ به ترتیب مربوط به آب تصفیه نشده جمع آوری شده در یک آبند واقع در روستای رحمت آباد، آب زهکشی شده و تصفیه نشده واقع در شهرستان قرچک، پساب خروجی دامداری و رودخانه آب تصفیه

نشده (رودخانه شور و شیرین) است که جهت مصارف کشاورزی استفاده می‌شود و حاوی غلظت غیر مجاز یون کلراید هستند.



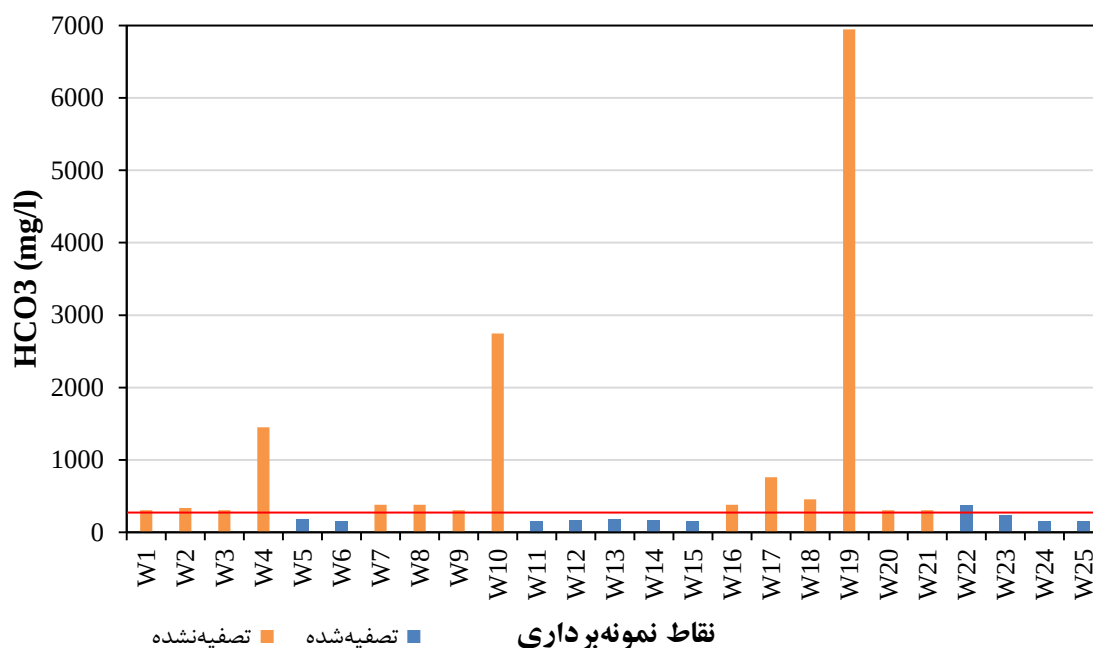
شکل ۴-۲۰. نتایج آنالیز غلظت Cl موجود در نمونه‌های آب

بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز غلظت فسفات مشخص شد که میانگین غلظت فسفات موجود در منابع آب تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب برابر با ۳/۵۶ و ۳/۱ میلی‌گرم بر لیتر است. بررسی نتایج آنالیز فسفات نشان داد که نمونه‌های ۸، ۱۹ و ۲۲ مقدار فسفات بالاتر از حد مجاز را دارند (شکل ۴-۲۱). این نمونه‌های به ترتیب مربوط به آب کانال تصفیه نشده روستای ده‌خیر، پساب خروجی دامداری و آب کانال تصفیه شده تصفیه‌خانه جنوب تهران است. همچنین نمونه شماره ۱۵ که از نقطه تقسیم آب تصفیه‌شده در شهرستان پاکدشت برداشت شده است، حاوی فسفات ۴/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر است که مطابق استاندارد کشور ایتالیا (۲ میلی‌لیتر بر گرم) بیش از حد مجاز جهت مصارف کشاورزی است.



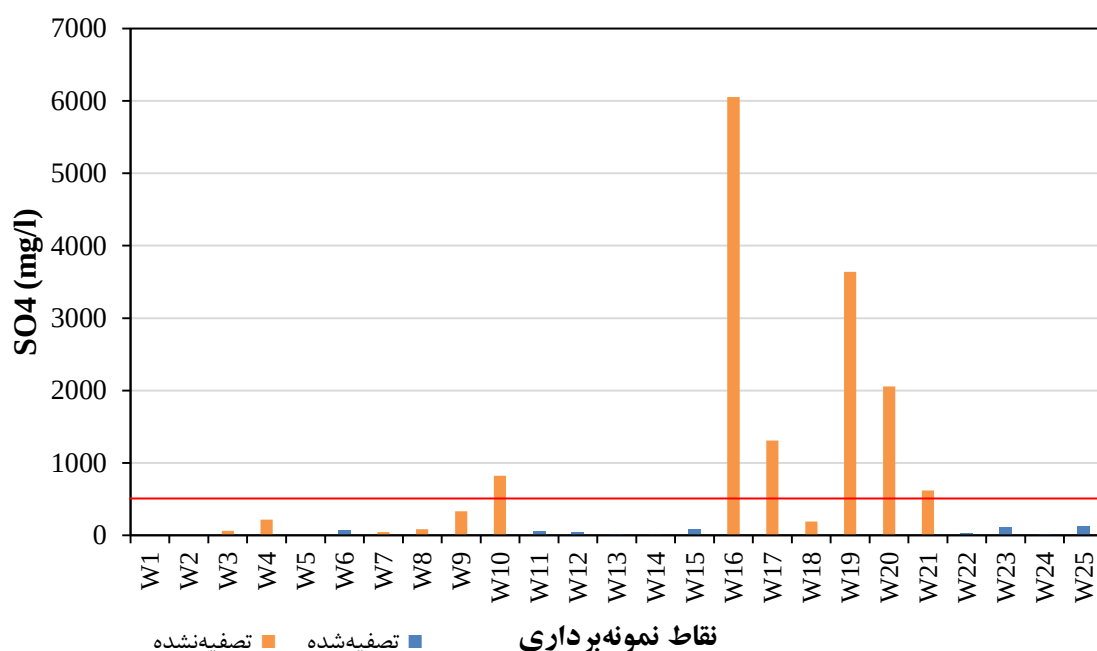
شکل ۴-۲۱. نتایج آنالیز غلظت PO_4 موجود در نمونه‌های آب

مطابق نتایج بدست آمده میانگین غلظت بی‌کربنات در منابع آب تصفیه‌نشده و تصفیه شده به ترتیب برابر با ۱۰۹۸ و ۱۸۸ میلی گرم بر لیتر است. نتایج آنالیز غلظت یون HCO_3 در نمونه‌های آب مشخص کرد که ۱۵ نمونه غلظت بالای حد مجاز بی‌کربنات را دارند (شکل ۴-۲۲). بطوریکه نمونه‌های ۱۹، ۱۰ و ۴ به ترتیب بیشترین مقدار بی‌کربنات را به خود اختصاص داده‌اند. نمونه شماره ۱۹ مربوط به پساب خروجی دامداری، نمونه شماره ۱۰ مربوط به کانال آب تصفیه نشده واقع در شهرک صنعتی عشق آباد و نمونه شماره ۴ مربوط به لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی بوده است. در این میان نتایج آنالیزها نشان داد که نمونه‌های برداشت شده از آب کانال تصفیه‌شده تصفیه‌خانه جنوب تهران مقدار مجاز بی‌کربنات را داشتند.



شکل ۴-۲۲. نتایج آنالیز غلظت HCO_3^- موجود در نمونه‌های آب

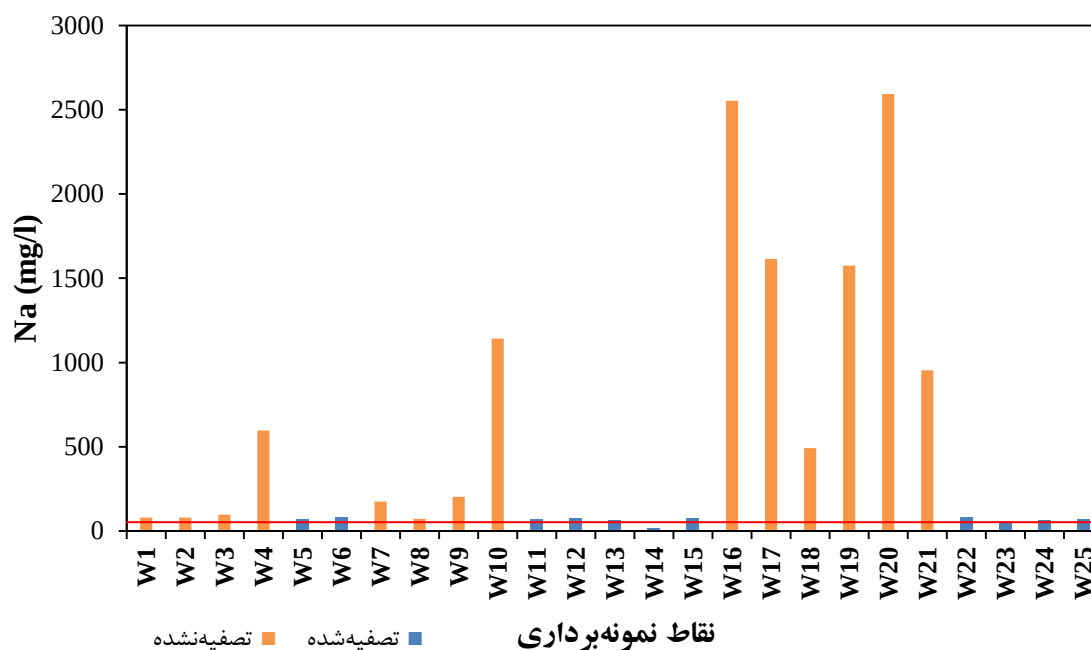
مطابق استاندارد خروجی فاضلاب (ماده ۵ آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب - ۱۳۷۳/۹/۵) حد مجاز غلظت SO_4 برابر با ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر است. حال نتایج آنالیز SO_4 در نمونه‌های آب نشان داد که ۶ نمونه از ۲۵ نمونه برداشت شده غلظت فراتر از حد مجاز برای SO_4 را داشته‌اند (شکل ۳-۲۳). نمونه‌های شماره ۱۰، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ نمونه‌هایی هستند که غلظت غیرمجاز سولفات را دارند. این نمونه‌ها به ترتیب از کانال آب تصفیه نشده شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی)، کانال آب فاضلاب و تصفیه نشده واقع در شهرستان قرچک، آب تصفیه نشده و جمع آوری شده در یک آببند واقع در روستای رحمت آباد، پساب خروجی دامداری اشراق، رودخانه آب تصفیه نشده واقع در شهرستان ورامین و نمونه کانال آب چاه موجود در منطقه برداشت شده است.



شکل ۴-۲۳. نتایج آنالیز غلظت SO_4 موجود در نمونه‌های آب

بیشترین مقدار سولفات مربوط به نمونه شماره ۱۶ است که از یک کانال تصفیه‌نشده فاضلاب در شهرستان قرچک برداشت شده است.

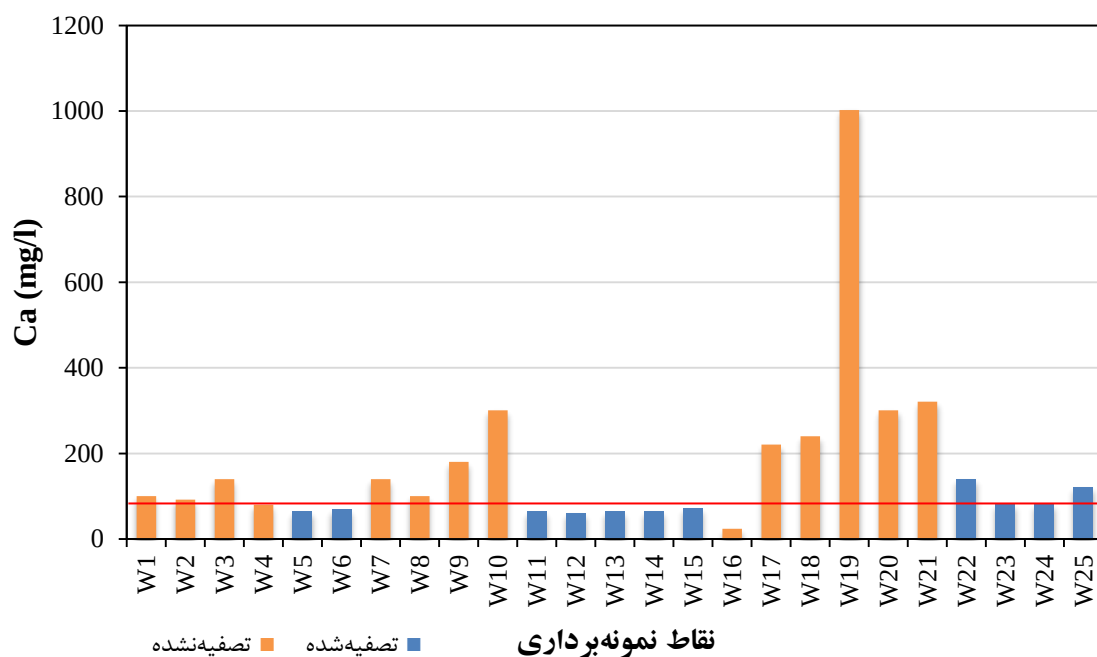
بررسی نتایج آنالیز سدیم در آب‌های محدوده مطالعاتی نشان داد که میانگین غلظت سدیم در منابع آب تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب ۸۷۳ و ۶۴ میلی‌گرم بر لیتر است. همانطور که در نمودار ۴-۲۴ ارائه شده است، مقدار حد مجاز کلسیم در آب مورد استفاده برای کشاورزی برابر با ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر است. نتایج آنالیز مشخص کرد که نمونه‌های شماره ۴ (لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماند پلاستیکی)، شماره ۱۰ (آب تصفیه نشده- شهرک صنعتی عشق آباد)، شماره ۱۶ (کانال آب فاضلاب و تصفیه نشده- بوی بسیار نامطبوع فاضلاب)، شماره ۱۷ (آب تصفیه نشده- جمع‌آوری شده در یک آببند و آبیاری زمین‌های کشاورزی روستای رحمت آباد)، شماره ۱۹ (پساب خروجی دامداری تخلیه شده در رودخانه مصرفی کشاورزی)، شماره ۲۰ (آب رودخانه شور و شیرین) و شماره ۲۱ (کانال آب چاه موجود در منطقه ورامین) بیشترین مقدار کلسیم را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج آنالیزها مشخص که آب کانال‌های تصفیه نشده به شدت حاوی مقادیر غیر مجاز کلسیم جهت مصارف کشاورزی هستند که به نظر می‌رسد وجود واحدهای صنعتی مختلف که در بخش‌های قبلی اشاره شد، باعث ایجاد این آلودگی‌های در آب‌های موجود در منطقه شده است.



شکل ۴-۲۴. نتایج آنالیز غلظت Na موجود در نمونه‌های آب

مطابق استانداردهای موجود از جمله استاندارد کشور ایران و استرالیا (AGWR) حد مجاز غلظت کلسیم در آب جهت مصرف کشاورزی ۷۵ میلی گرم بر لیتر است. مطابق نتایج بدست آمده، تنها ۶ نقطه نمونه برداری شده کمتر از حد مجاز بوده و دارای مقادیر در حدود ۶۰ میلی گرم بر لیتر هستند که به حد استاندارد نزدیک است. مابقی نمونه‌ها مقادیر کلسیم بیش از استاندارد نشان می‌دهند. میانگین غلظت کلسیم در نمونه آب‌های تصفیه‌نشده و تصفیه به ترتیب ۲۳۱/۶ و ۷۸/۹ میلی گرم بر لیتر بود که نشان می‌دهد هر دو مسیر حاوی غلظت‌های غیر مجاز کلسیم جهت مصارف کشاورزی است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



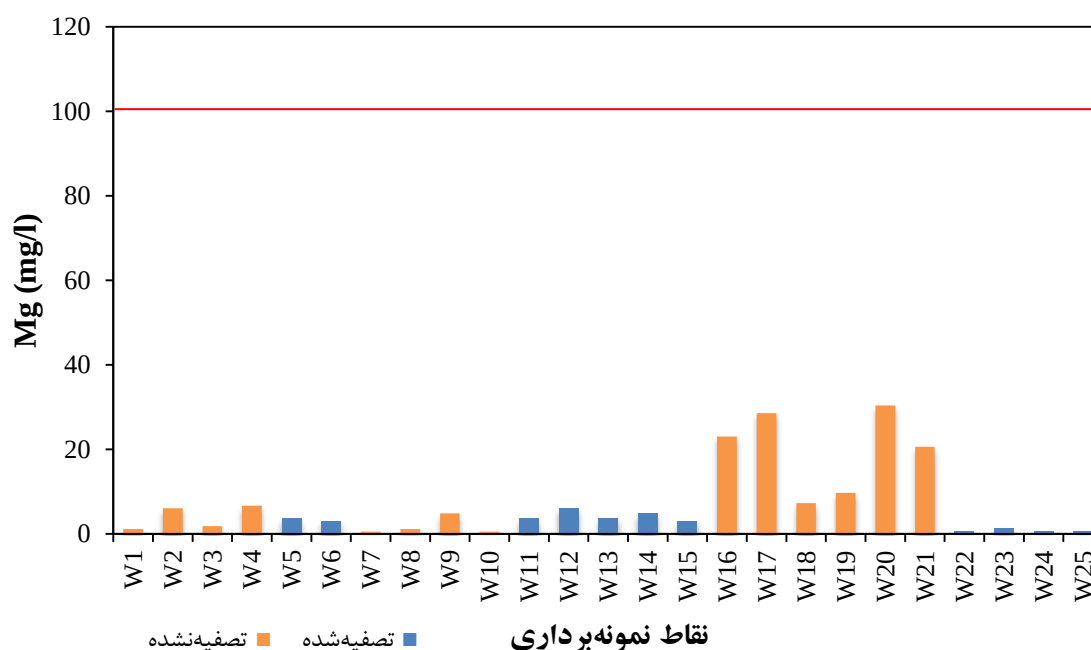
شکل ۴-۲۵. نتایج آنالیز غلظت کلسیم موجود در نمونه‌های آب

بطوری که در شکل ۴-۲۵ ارائه شده است، مقدار کلسیم در نمونه شماره ۱۹ بیشترین مقدار موجود در بین نمونه‌ها (۱۰۰۲ میلی‌گرم بر لیتر) بود. این نمونه مربوط به پساب خروجی دامداری اشراق بود که به رودخانه موجود در منطقه تخلیه می‌شود.



شکل ۴-۲۶. موقعیت نمونه شماره ۱۹ و مسیر تخلیه پساب خروجی دامداری اشراق به رودخانه

مطابق نمودار شکل ۴-۲۷ غلظت منیزیم در نمونه‌های آب بیشتر از حد مجاز نبوده است. در هیچکدام از نقاط نمونه‌برداری شده غلظت بالاتر از حد مجاز منیزیم مطابق استاندارد ایران و استرالیا در آب مشاهده نشد. لازم به ذکر است حد مجاز منیزیم در آب‌های مناسب برای کشاورزی مطابق استاندارد کشور ایران و استرالیا به ترتیب ۱۰۰ و ۴۰ میلی گرم بر لیتر است. میانگین غلظت منیزیم در نمونه آب‌های تصفیه‌نشده و تصفیه‌شده به ترتیب ۱۰/۲ و ۲/۸ میلی گرم بر لیتر است که هیچگونه آلودگی مربوط به منیزیم در آب‌های منطقه نشان نمی‌دهد.

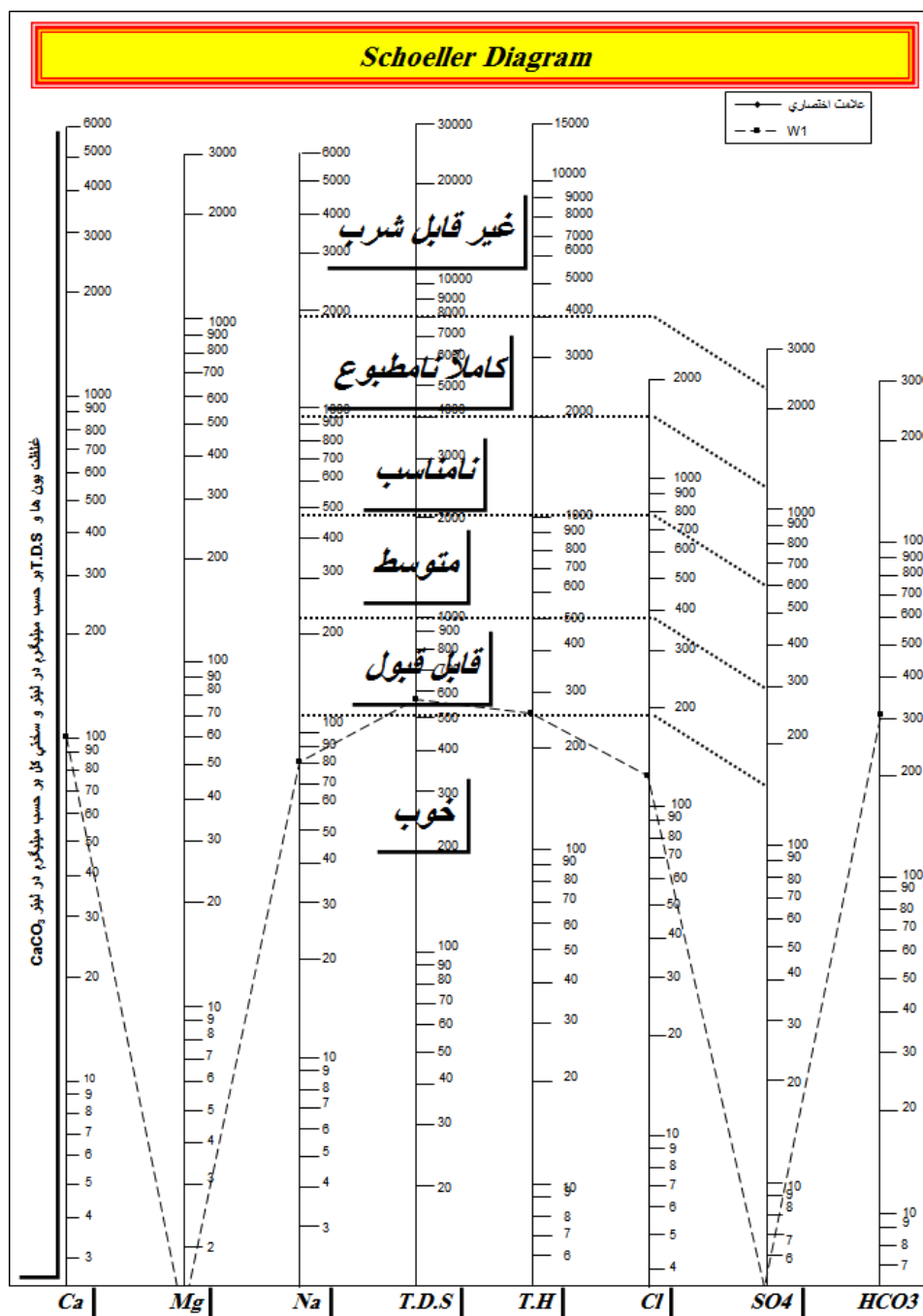


شکل ۴-۲۷. نتایج آنالیز غلظت منیزیم موجود در نمونه‌های آب

۴-۲-۱۰- بررسی کیفیت آب برای مصارف شرب

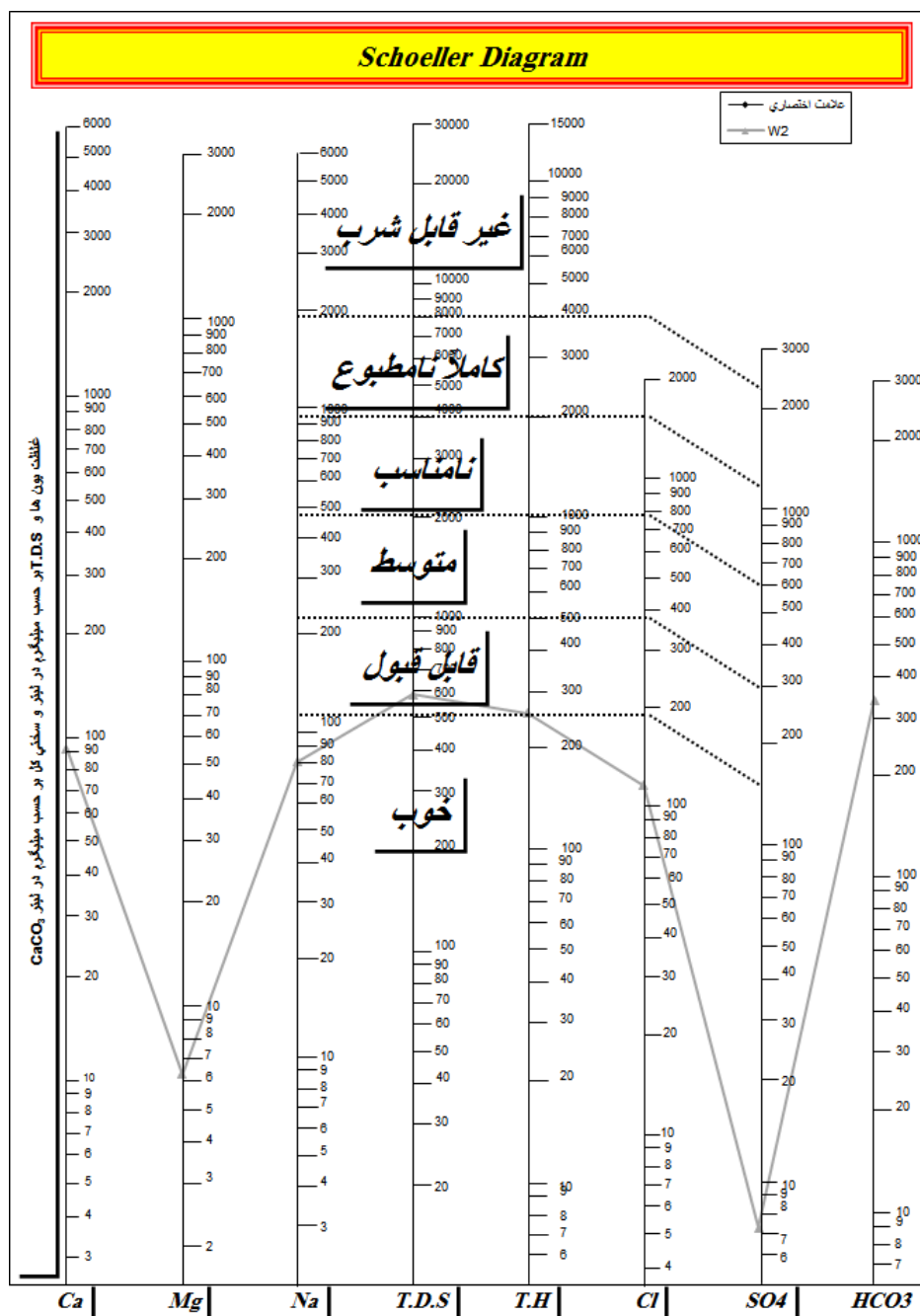
جهت بررسی دقیق کیفیت آب از منظر مصارف شرب از نمودار شولر استفاده می‌شود. نمودار شولر یک روش گرافیکی برای طبقه‌بندی کیفیت آب آشامیدنی است. نمودار شولر نموداری نیمه لوگاریتمی جهت نمایش یون‌های اصلی بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر است و برای نمایش اختلاف شیمیایی نمونه‌ها نیز به کار می‌رود. در این نمودار آب‌های مورد مطالعه به ۶ گروه خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب، عموماً نامطبوع و غیر قابل شرب تقسیم می‌شوند. به همین منظور با استفاده از نرم‌افزار رایگان و فارسی Chemistry تحت اکسل، اجزای اصلی یونی آب (HCO_3^- ، SO_4^{2-} ، کلر، منیزیم، کلسیم، سدیم و پتاسیم) در منطقه مورد مطالعه بر حسب (meq/L) بر روی نمودار شولر ترسیم شدند.

مطابق نتایج به دست آمده از نمودار شولر برای نمونه شماره ۱ شکل ۴-۲۸ مربوط به نهر آب جاری-
ورودی مزارع کشاورزی ذرت، یونجه و گندم، میزان یون‌های موجود در این نمونه از نظر شرب در حد
خوب و نیز کل جامدات محلول در آن در میزان قابل قبول قرار داشت.



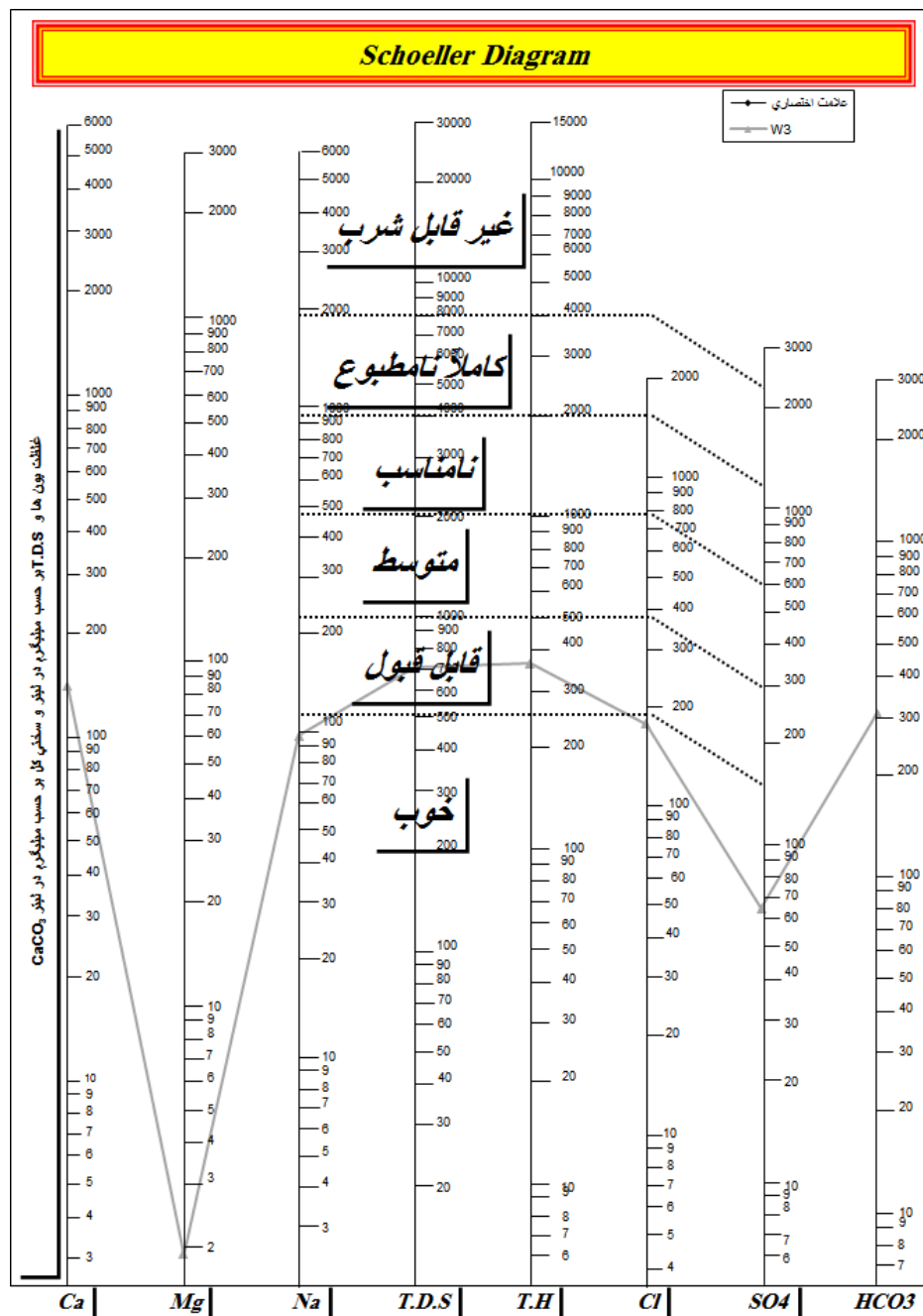
شکل ۴-۲۸. نمودار شولر برای نهر آب جاری-ورودی مزارع کشاورزی ذرت، یونجه و گندم

بر اساس شکل ۴-۲۹ رودخانه آب معروف به نهر فیروز آباد، میزان یون‌های موجود در این نمونه بر اساس معیار کیفی نمودار شولر در محدوده خوب قرار داشت و نیز میزان کل جامدات محلول در میزان قابل قبول قرار گرفت و از این نظر برای مصرف شرب نتایجی مانند نمونه شماره ۱ داشت.



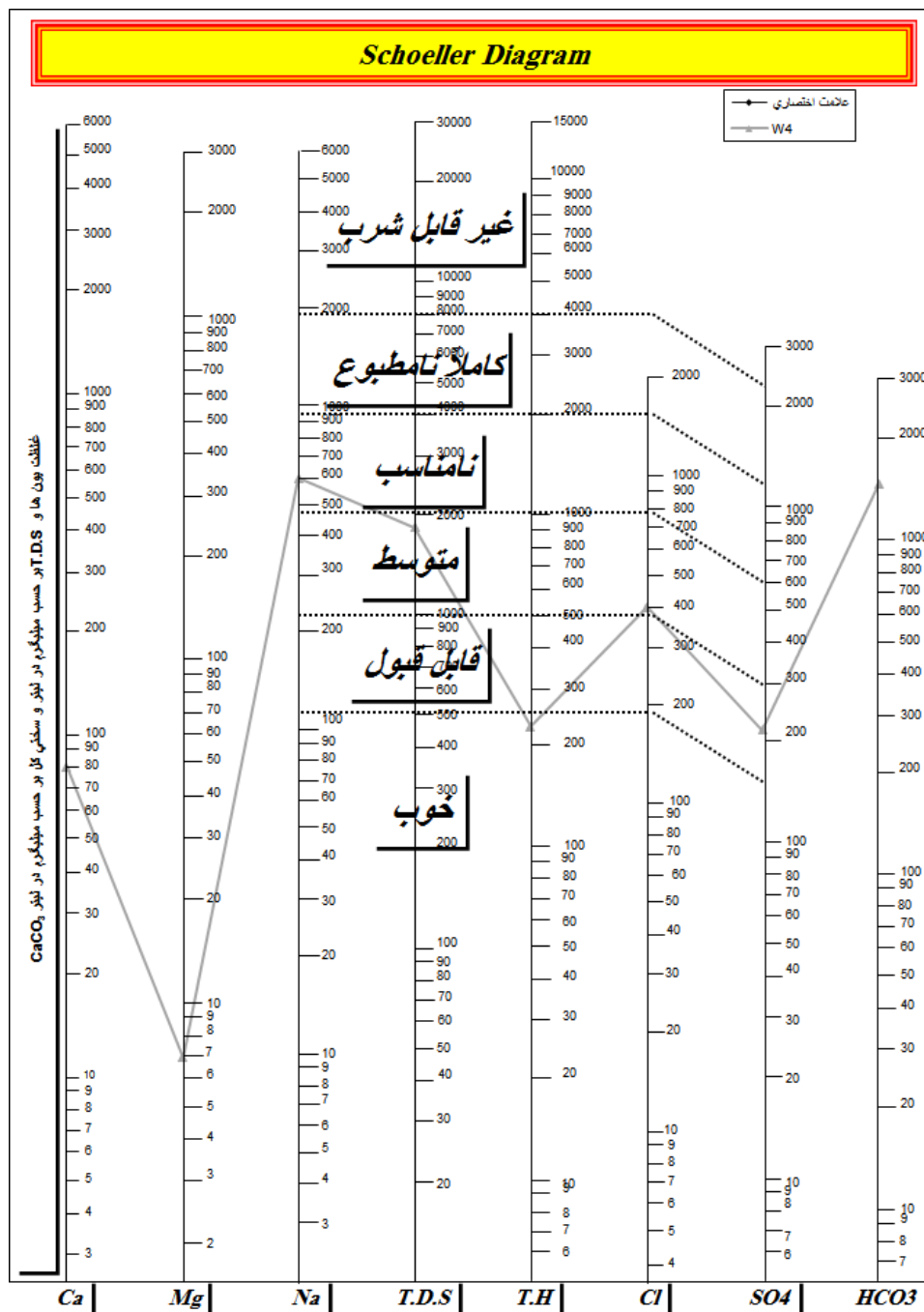
شکل ۴-۲۹. نمودار شولر برای رودخانه آب معروف به نهر فیروز آباد

شکل ۴-۳۰ نمودار نیمه لگاریتمی شولر برای نمونه شماره ۳، آب خروجی ماسه شویی که به نهر فیروز آباد تخلیه می‌شود را نشان می‌دهد. بر اساس نمودار میزان کل جامدات محلول و نیز میزان سختی کل در محدوده قابل قبول قرار گرفته است و میزان یون‌های محلول با وجود افزایش نسبت به نهر فیروزآباد در محدوده خوب قرار گرفته است. میزان یون سولفات نیز افزایش بیشتری داشته است.



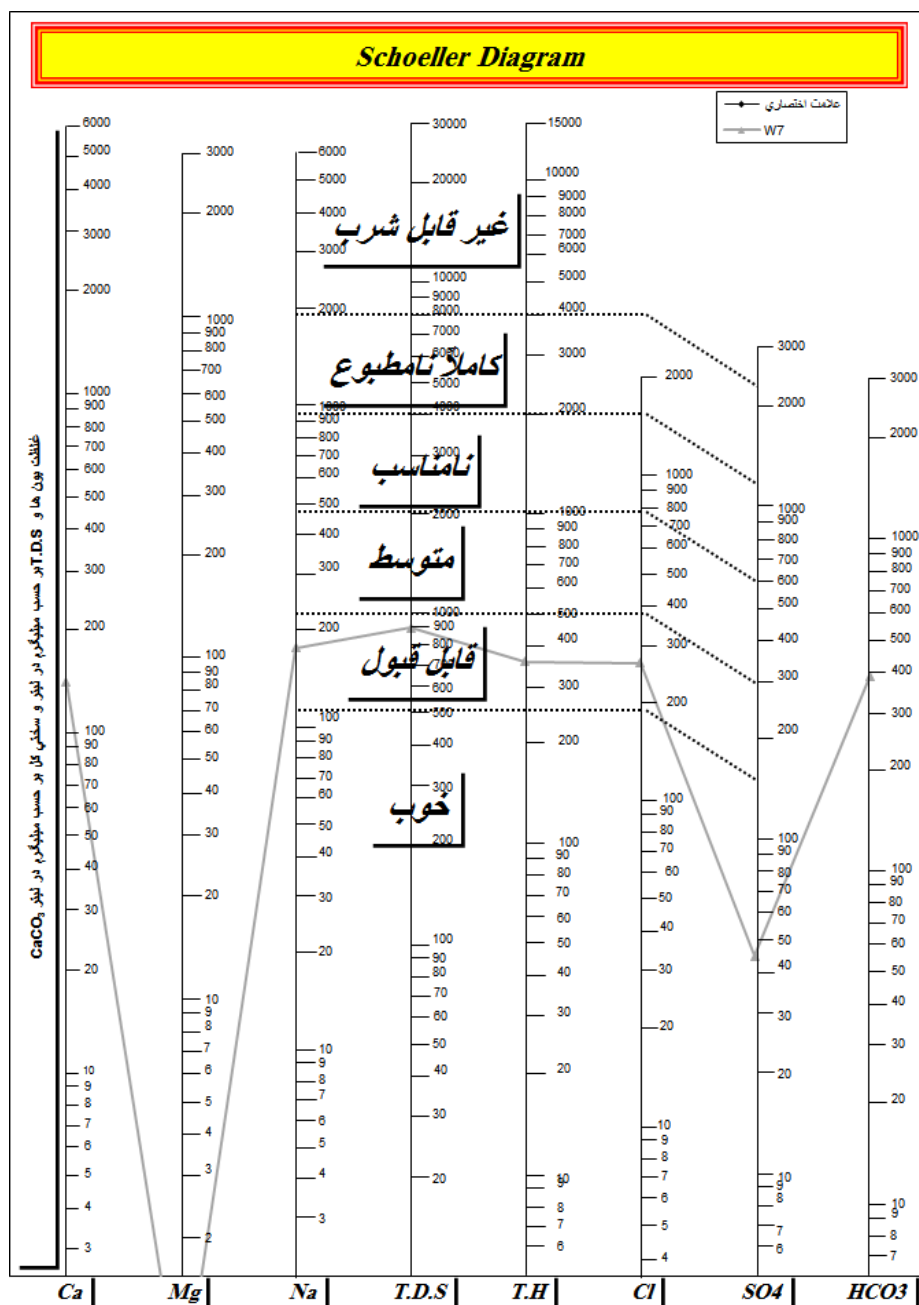
شکل ۴-۳۰. نمودار شولر برای آب خروجی ماسه شویی که به نهر فیروز آباد

نمودار شولر برای نمونه شماره ۴، لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماند پلاستیکی در
شکل ۴-۳۱ نشان داده شده است. بر اساس نمودار میزان یون سدیم در مقدار نامناسب قرار گرفته است.
همچنین میزان کل جامدات محلول و نیز یون کلرید در منطقه متوسط قرار دارد.



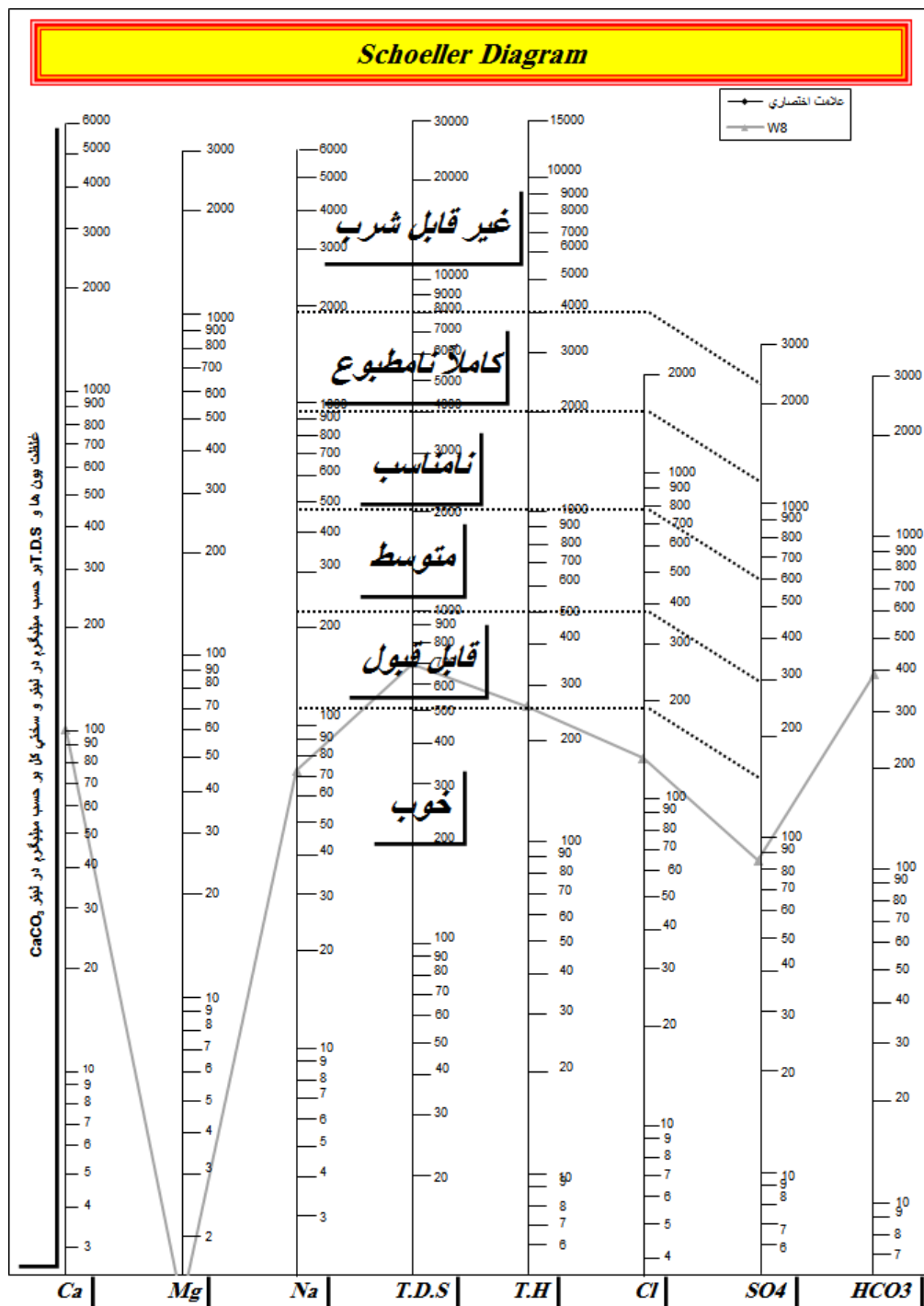
شکل ۴-۳۱. نمودار شولر برای لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماند پلاستیکی

شکل ۴-۳۲ نمودار نیمه لگاریتمی شولر برای نمونه شماره ۷، آب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد (قالی شویی، سنگ شور و دامداری) را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این نمودار، میزان کاتیون‌های سدیم و کلسیم در میزان بالایی قرار داشته و نیز میزان آنیون‌های بی‌کربنات و کلرید نیز بالا است. با این حال میزان یون‌ها و کل جامدات محلول و سختی کل در محدوده قابل قبول قرار گرفته است.



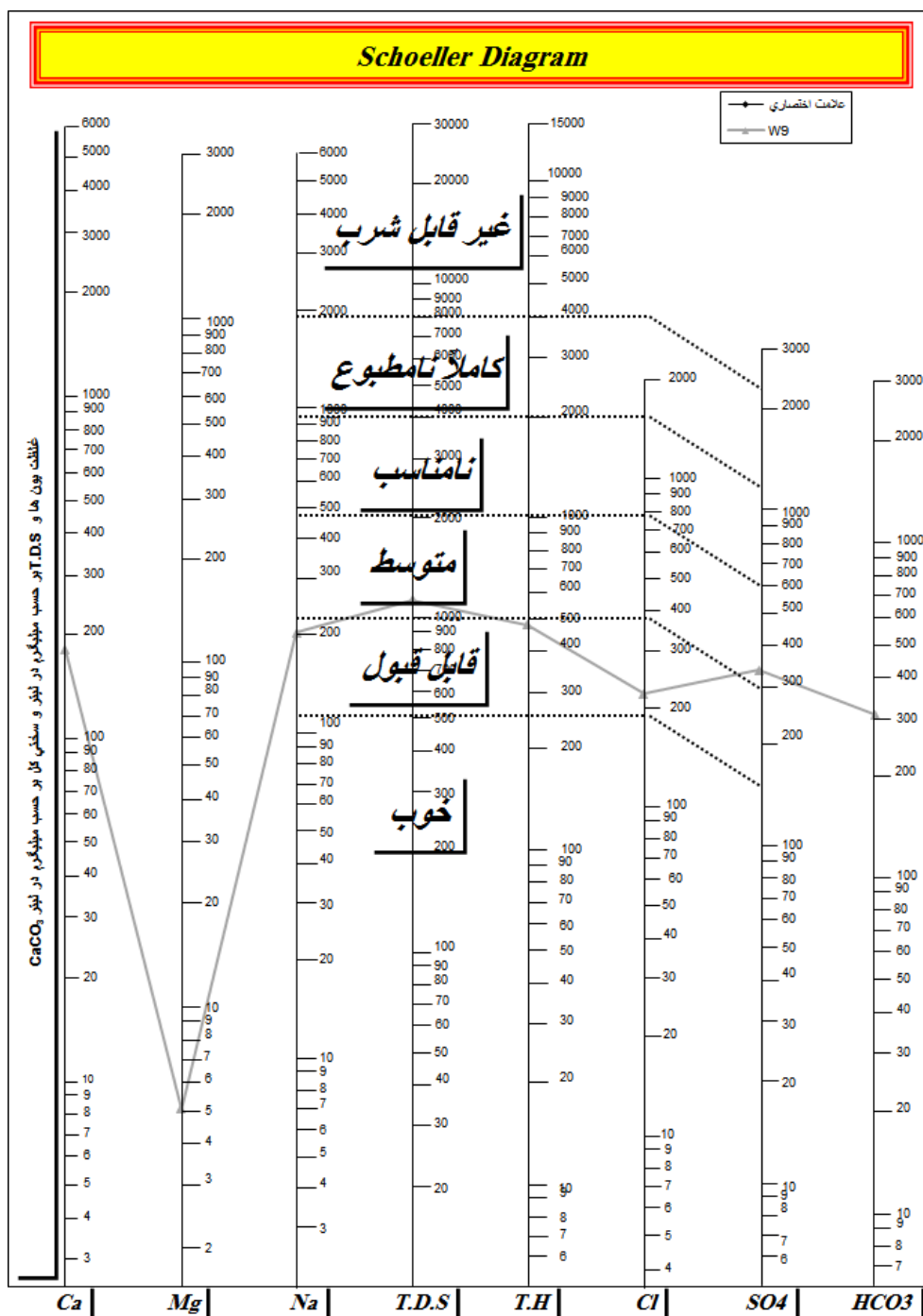
شکل ۴-۳۲. نمودار شولر برای آب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد (قالی شویی، سنگ شور و دامداری)

در شکل ۴-۳۳ نمودار شولر برای نمونه شماره ۸، آب کانال روستای ده خیر-فاضلاب نشان داده شده است. در این نمونه بر اساس نمودار شولر تنها میزان کل جامدات محلول در آب بالا و در محدوده قابل قبول قرار دارد و بقیه موارد در محدوده خوب قرار گرفته‌اند.



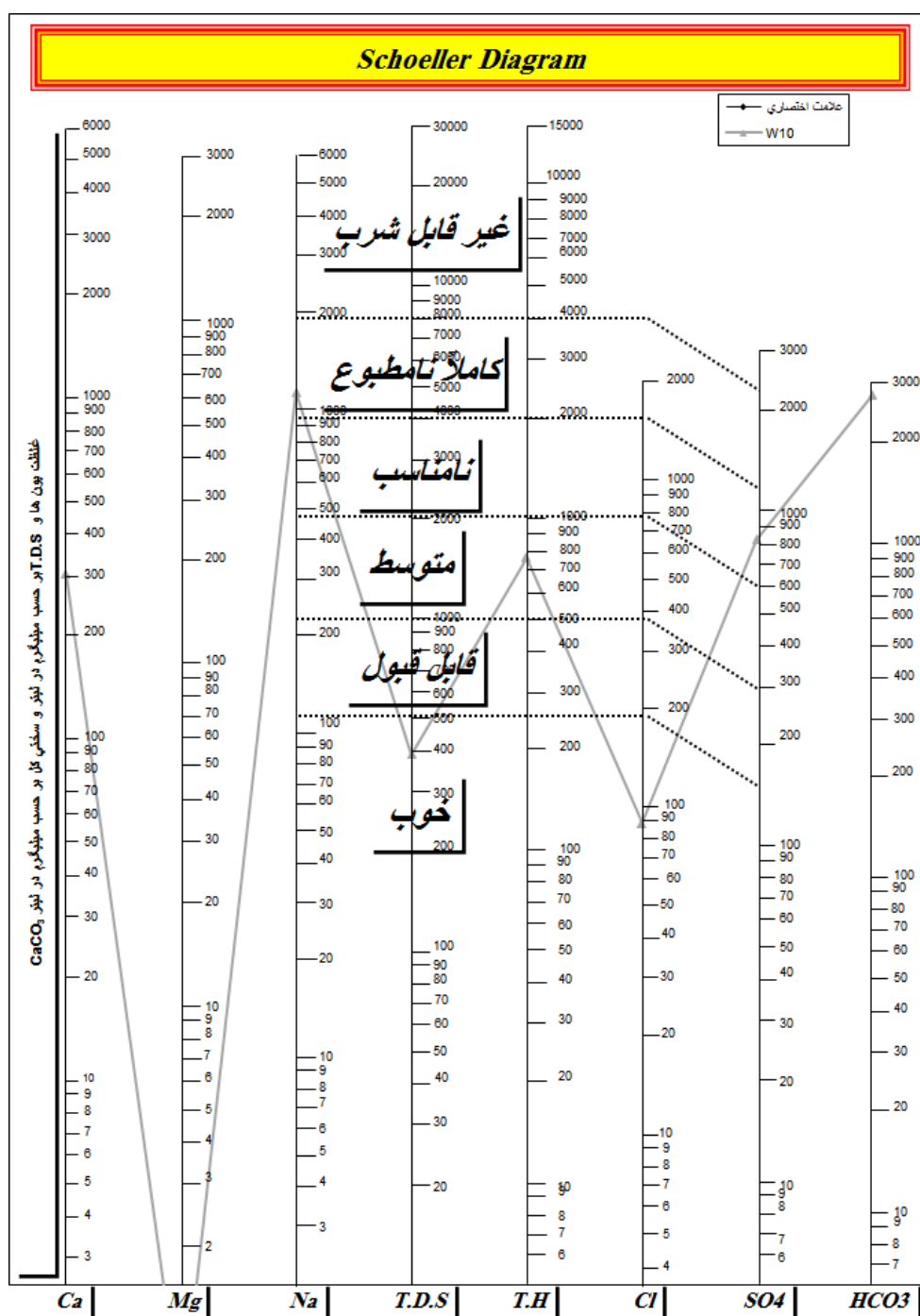
شکل ۴-۳۳. نمودار شولر برای آب کانال روستای ده خیر-فاضلاب

شکل ۴-۳۴ نمودار نیمه لگاریتمی شولر برای نمونه شماره ۹، آب روستای نظر آباد را نشان می‌دهد که بر اساس آن میزان کل جامدات محلول در این نمونه بالا بوده و در میزان متوسط قرار می‌گیرد. همچنین مقدار کاتیون‌های کلسیم و سدیم و نیز آنیون‌های کلرید، سولفات و بی‌کربنات نیز در این نمونه بالا می‌باشد که بر اساس معیار شولر در محدوده قابل قبول قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۳۴. نمودار شولر برای آب روستای نظر آباد

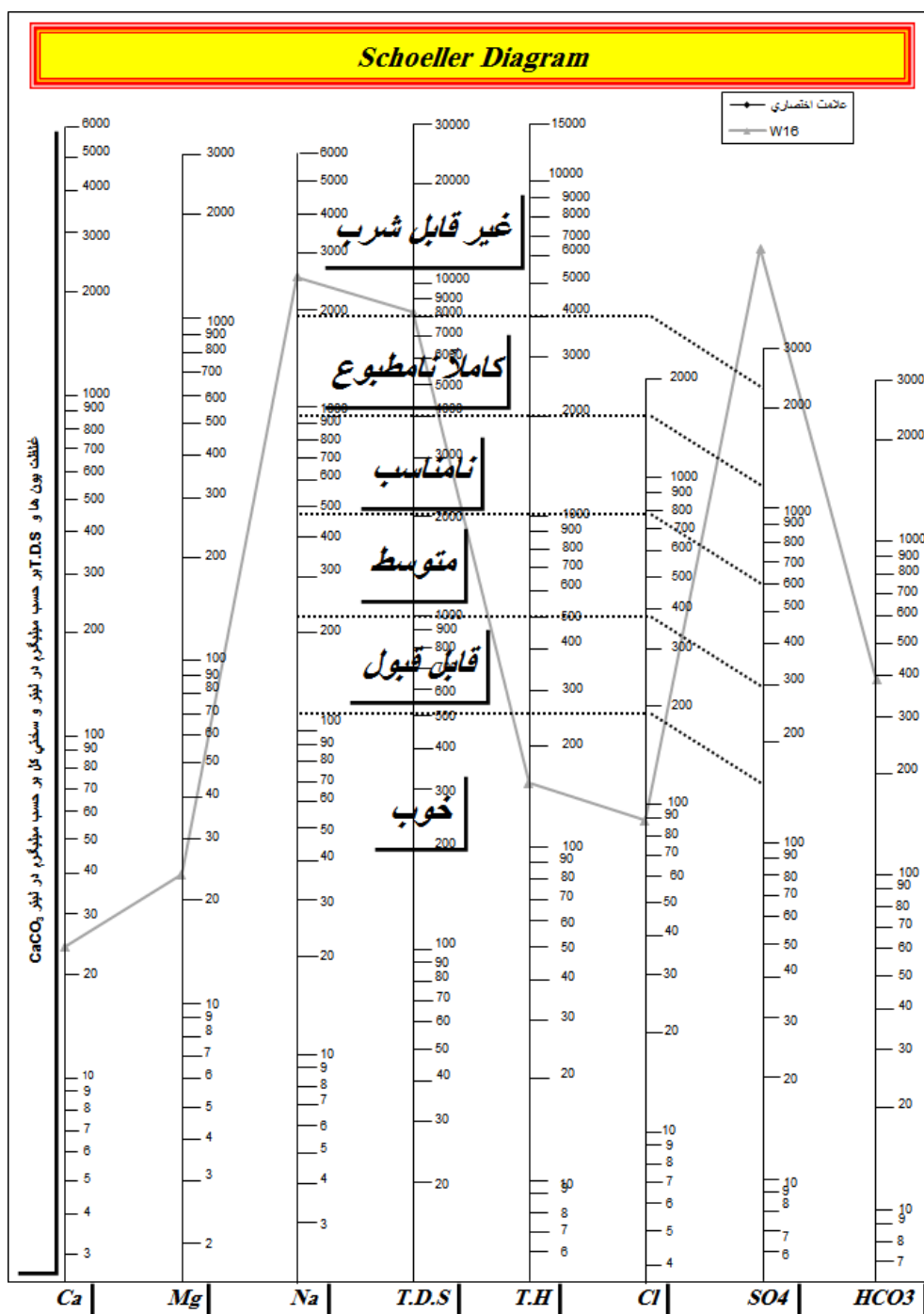
نمودار نیمه لگاریتمی شولر برای نمونه شماره ۱۰، آب شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی) در شکل ۴-۳۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج نمودار شولر میزان یون‌های سدیم و بی‌کربنات در این نمونه در مقدار زیاد و شرایط کاملاً نامطبوع قرار گرفته است. همچنین میزان سختی کل این نمونه در مقدار متوسط قرار دارد.



شکل ۴-۳۵. نمودار شولر برای آب شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی)

شکل ۴-۳۶، نمودار شولر نمونه شماره ۱۶، کانال آب فاضلاب با بوی بسیار نامطبوع فاضلاب را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج نمودار شولر، میزان یون‌های سدیم و سولفات موجود در این نمونه در میزان بالا و در محدوده غیر قابل شرب قرار دارد. همچنین میزان کل جامدات محلول نیز در منطقه غیر قابل شرب قرار گرفته است. میزان بالای یون سولفات می‌تواند یکی از دلایل بوی نامطبوع این کانال آب باشد.

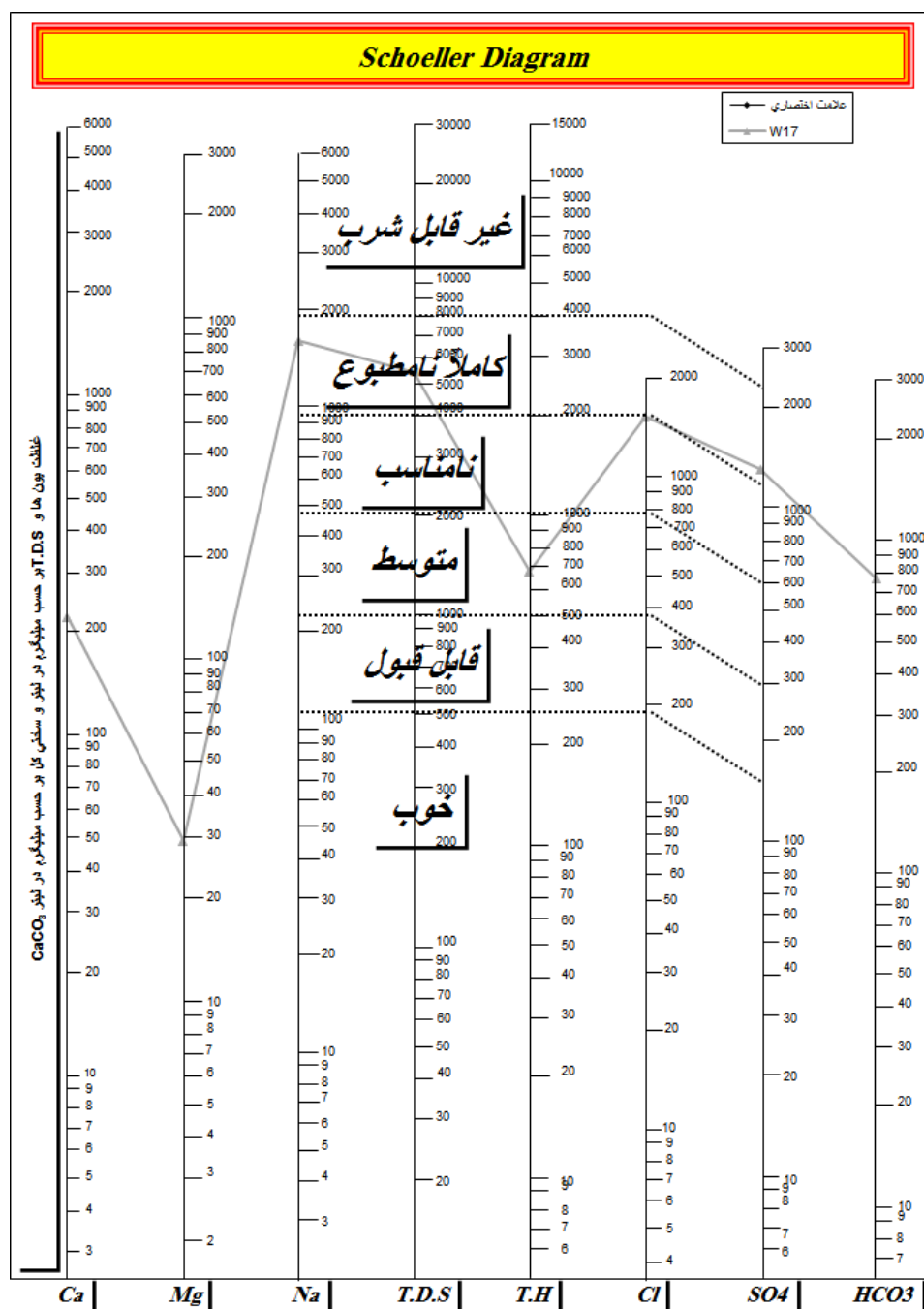
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۳۶. نمودار شولر برای کانال آب فاضلاب با بوی بسیار نامطبوع فاضلاب

نمودار شولر در شکل ۴-۳۷ مربوط به نمونه شماره ۱۷، آب جمع‌آوری شده در یک آب‌بند و آبیاری زمین‌های کشاورزی با بوی نامطبوع فاضلاب در روستای رحمت آباد ترسیم شده است. بر اساس این نمودار میزان یون‌های سدیم و کلر و سولفات در میزان کاملاً نامطبوع قرار گرفته است. همچنین میزان کل جامدات محلول نیز در میزان کاملاً نامطبوع قرار دارد.

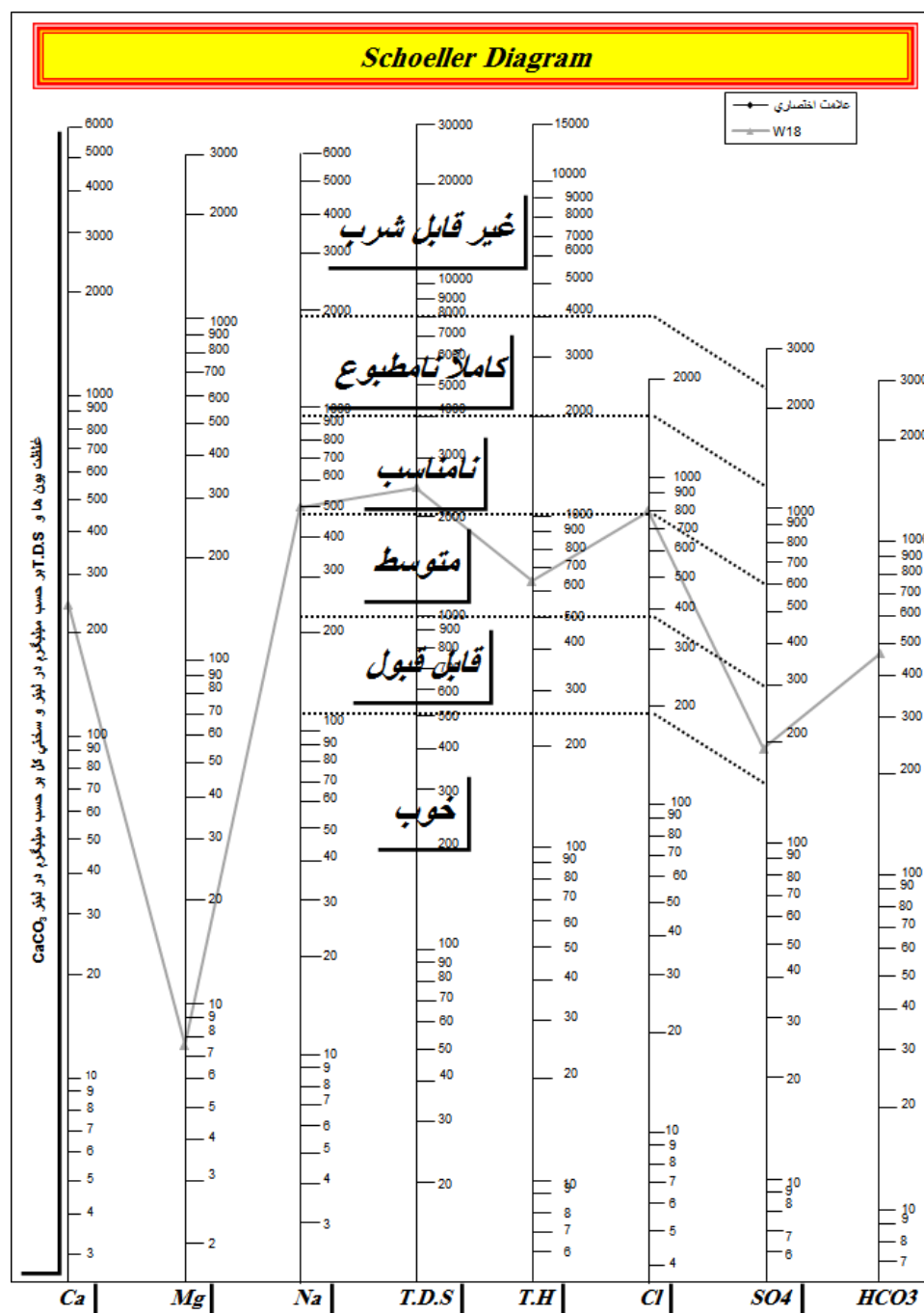
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۳۷. نمودار شولر برای آب جمع‌آوری شده در یک آب‌بند و آبیاری زمین‌های کشاورزی با بوی نامطبوع فاضلاب در روستای رحمت آباد

شکل ۴-۳۸. نمودار شولر برای نمونه شماره ۱۸، آب زهکشی‌شده و تصفیه‌نشده قرچک (کانال جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی اطراف) را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج نشان داده شده در نمودار میزان یون‌های کلرید و سدیم در محدوده نامناسب قرار گرفته است. همچنین میزان کل جامدات محلول نیز نامناسب بوده و سختی کل نیز در میزان متوسط قرار دارد.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

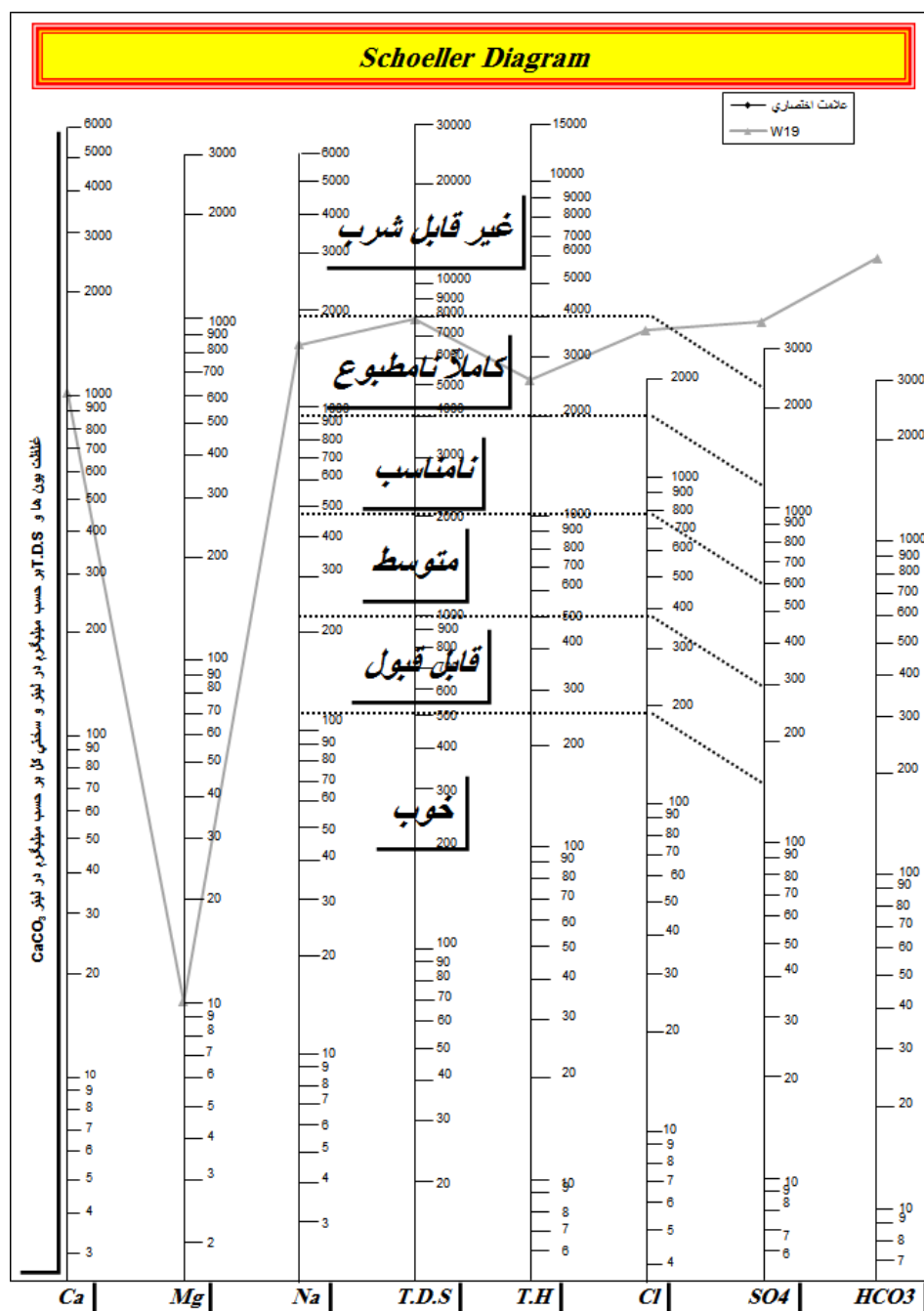


شکل ۴-۳۸. نمودار شولر برای آب زهکشی‌شده و تصفیه‌نشده قرچک (کانال جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی اطراف)

در شکل ۴-۳۹ نمودار نیمه لگاریتمی شولر برای نمونه شماره ۱۹، پساب خروجی دامداری-آبیاری زمین‌های گندم و یونجه-شرکت اشراق ترسیم شده است. بر اساس این نمودار میزان یون‌های کلرید و سدیم و نیز میزان کل جامدات محلول و سختی کل در محدوده کاملاً نامطبوع قرار دارد. همچنین میزان

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

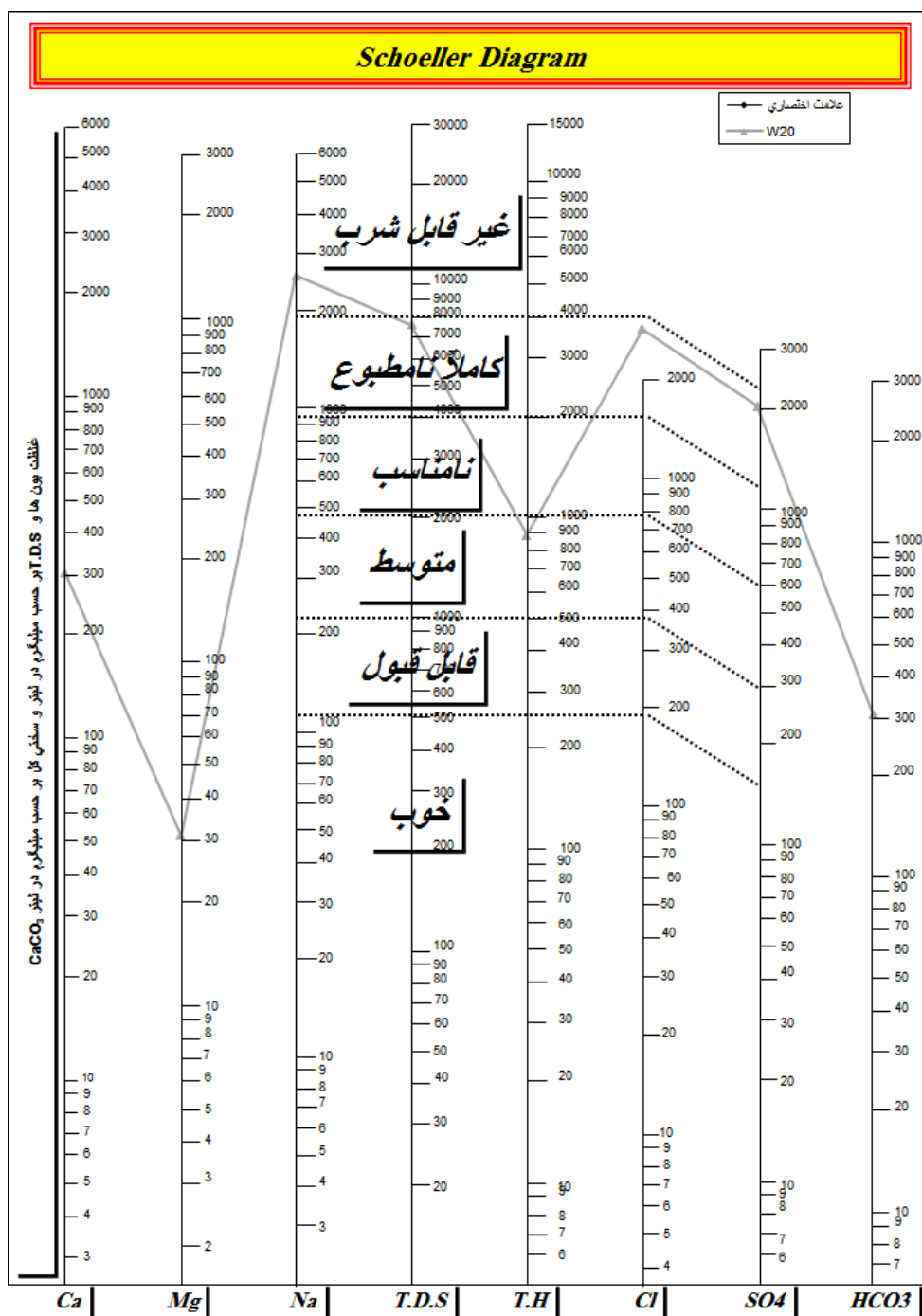
یون سولفات نیز در محدوده غیر قابل شرب بوده و نیز یون بی‌کربنات نیز به مقدار بسیار بالایی موجود است.



شکل ۴-۳۹. نمودار شولر برای پساب خروجی دامداری-آبیاری زمین‌های گندم و یونجه-شرکت اشراق
شکل ۴-۴۰. نمودار شولر برای نمونه شماره ۲۰، رودخانه آب تصفیه نشده (معروف به رودخانه شور و شیرین) - آبیاری زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار میزان یون سدیم در محدوده

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

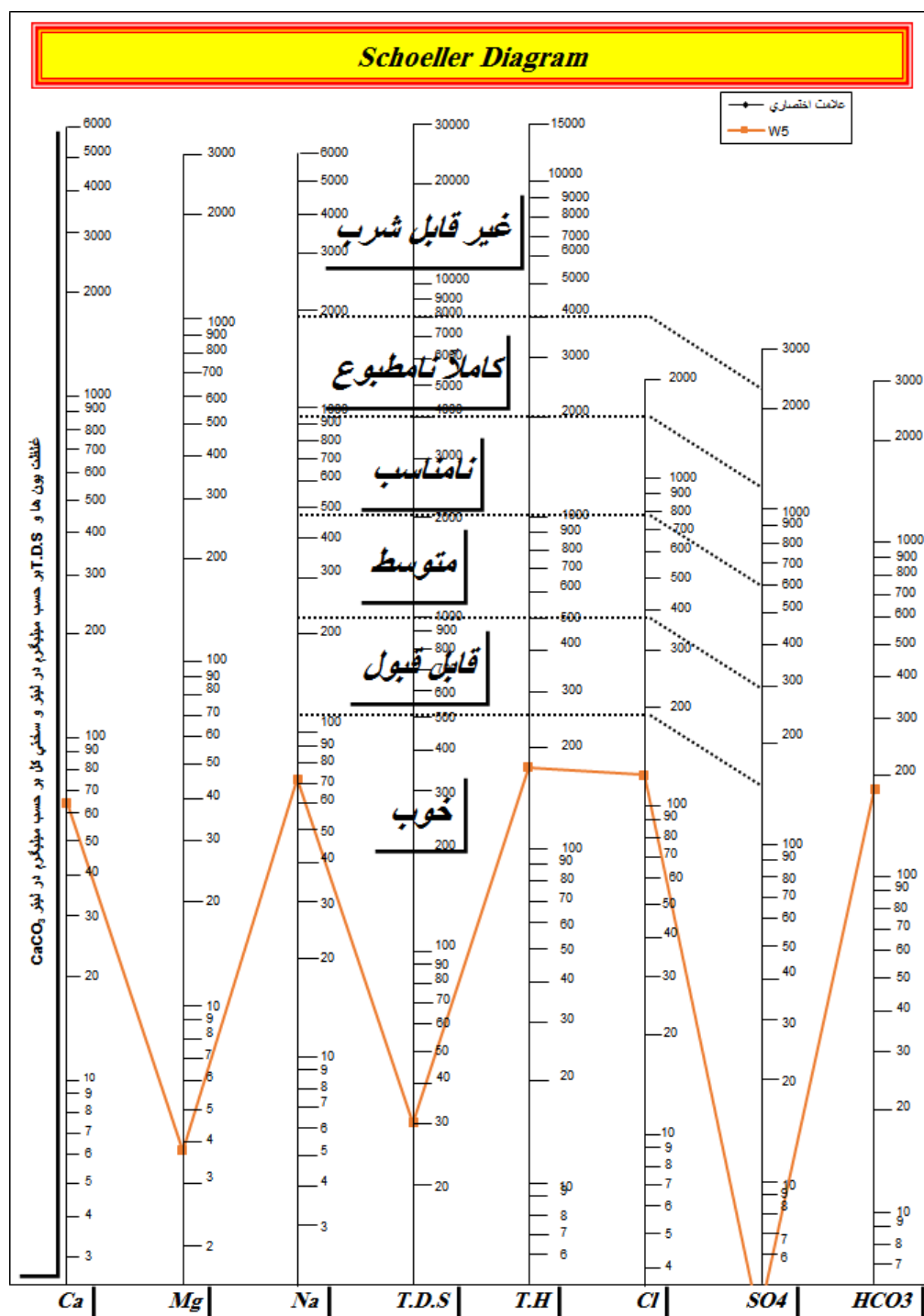
غیر قابل شرب بوده و نیز میزان یون های سولفات و کلرید در محدوده کاملاً نامطبوع و نیز میزان کل جامد محلول در محدوده کاملاً نامطبوع قرار دارد.



شکل ۴-۴۰. نمودار شولر برای رودخانه آب تصفیه نشده (معروف به رودخانه شور و شیرین) - آبیاری زمین-های کشاورزی

در شکل ۴-۴۱ نمودار نیمه لگاریتمی شولر برای نمونه شماره ۲۱ مربوط به نمونه آب چاه موجود در منطقه ترسیم شده است. بر اساس نمودار شولر میزان یون سدیم و میزان کل جامدات محلول در محدوده

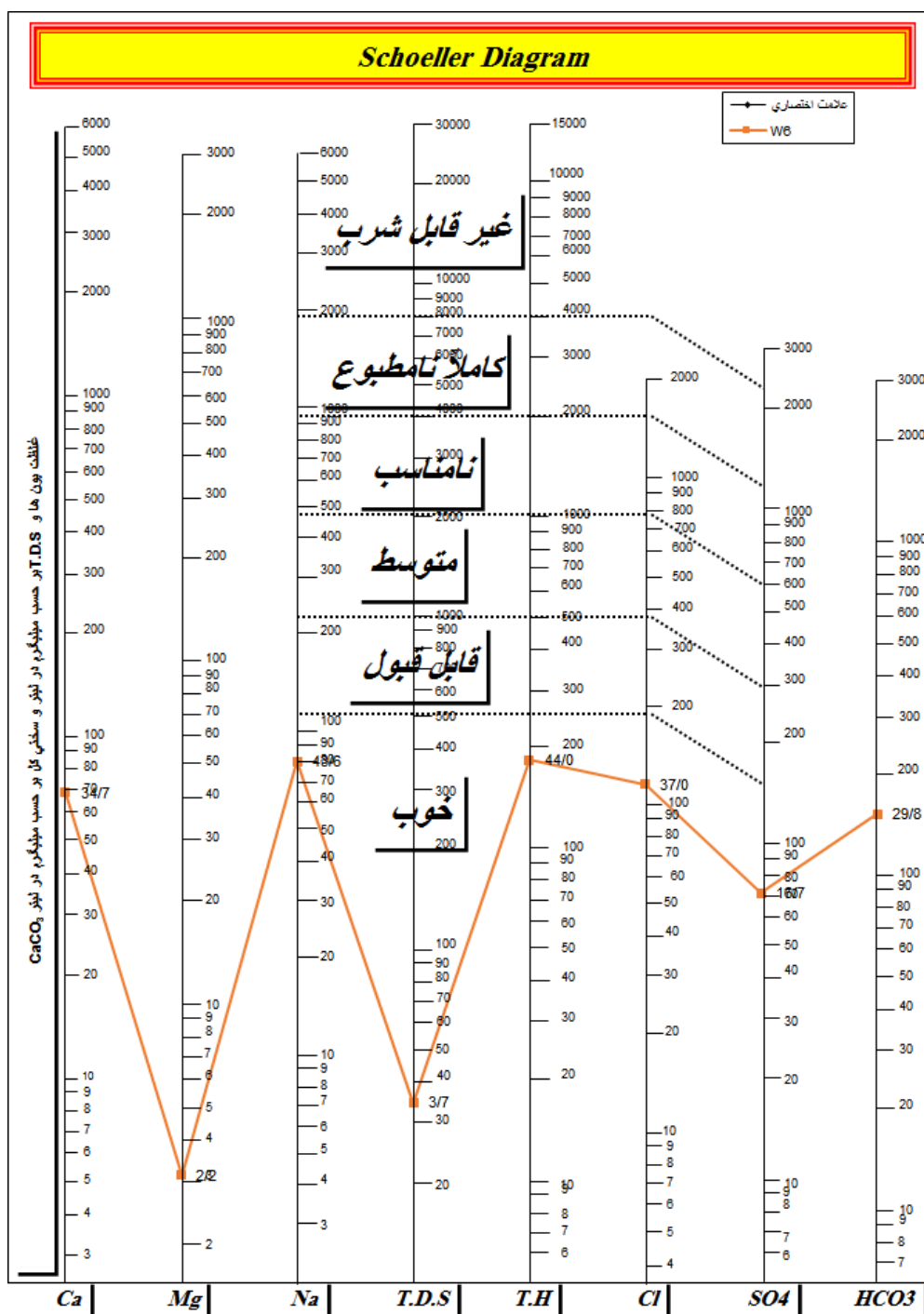
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۴۲. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران

شکل ۴-۴۳ نمودار لوگاریتمی شولر را برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۶، آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران نشان می‌دهد. بر اساس نتایج نمودار شولر همگی موارد از نظر شرب در حالت خوب قرار دارند.

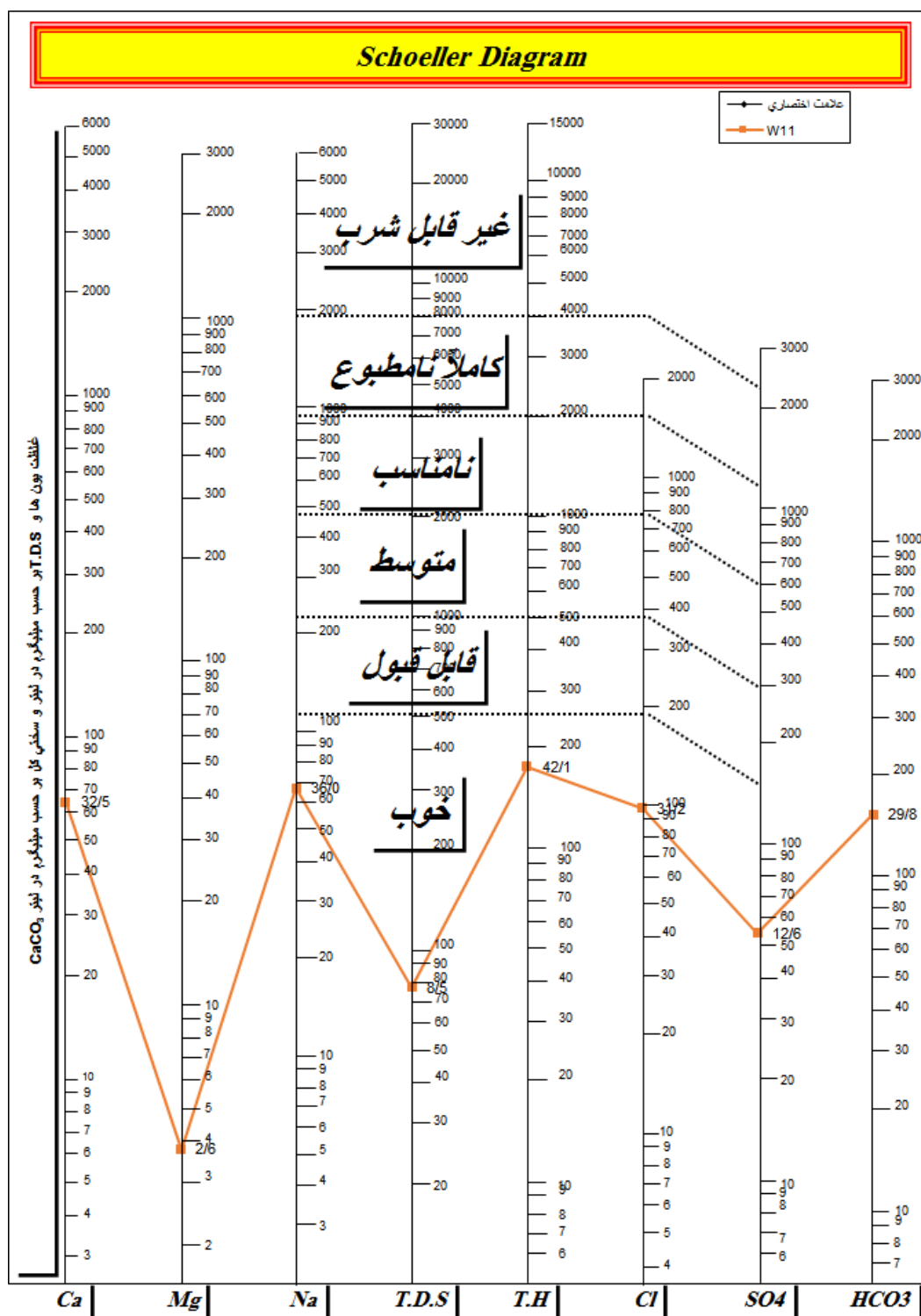
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۴۳. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌خانه جنوب تهران

در شکل ۴-۴۴ نمودار شولر برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۱۱، آب کانال تصفیه شده-ورودی پاکداشت-بوی بسیار نامطبوع ترسیم شده است. بر اساس نتایج نمودار همه موارد از نظر شرب در حالت خوب قرار دارند.

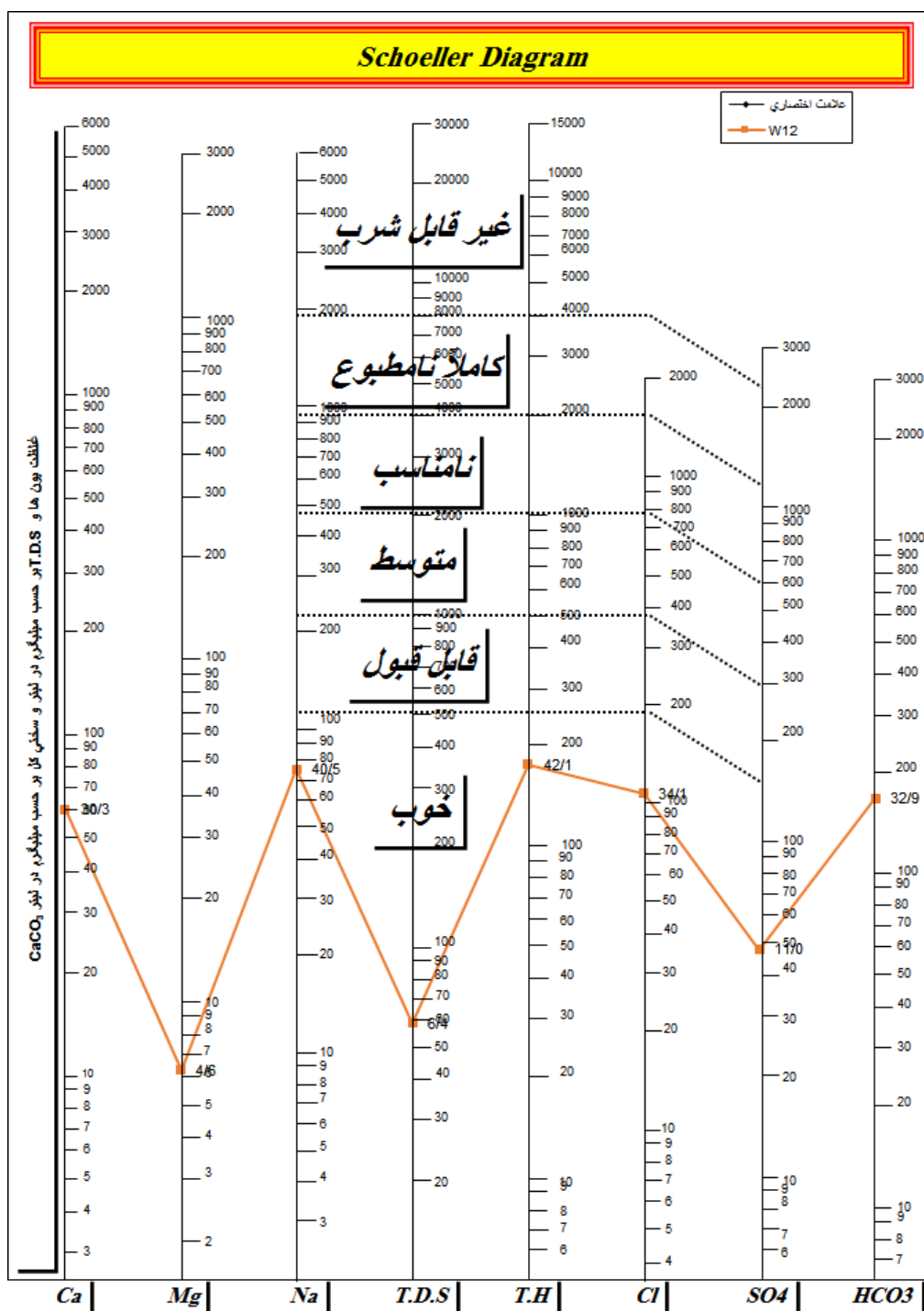
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۴۴. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه شده-ورودی پاکداشت-بوی بسیار نامطبوع

نمودار شولر برای نمونه تصفیه شده شماره ۱۲، آب کانال تصفیه شده-داخل شهر-بوی بسیار نامطبوع در شکل ۴-۴۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از نمودار همه موارد در محدوده خوب از لحاظ شرب قرار دارند.

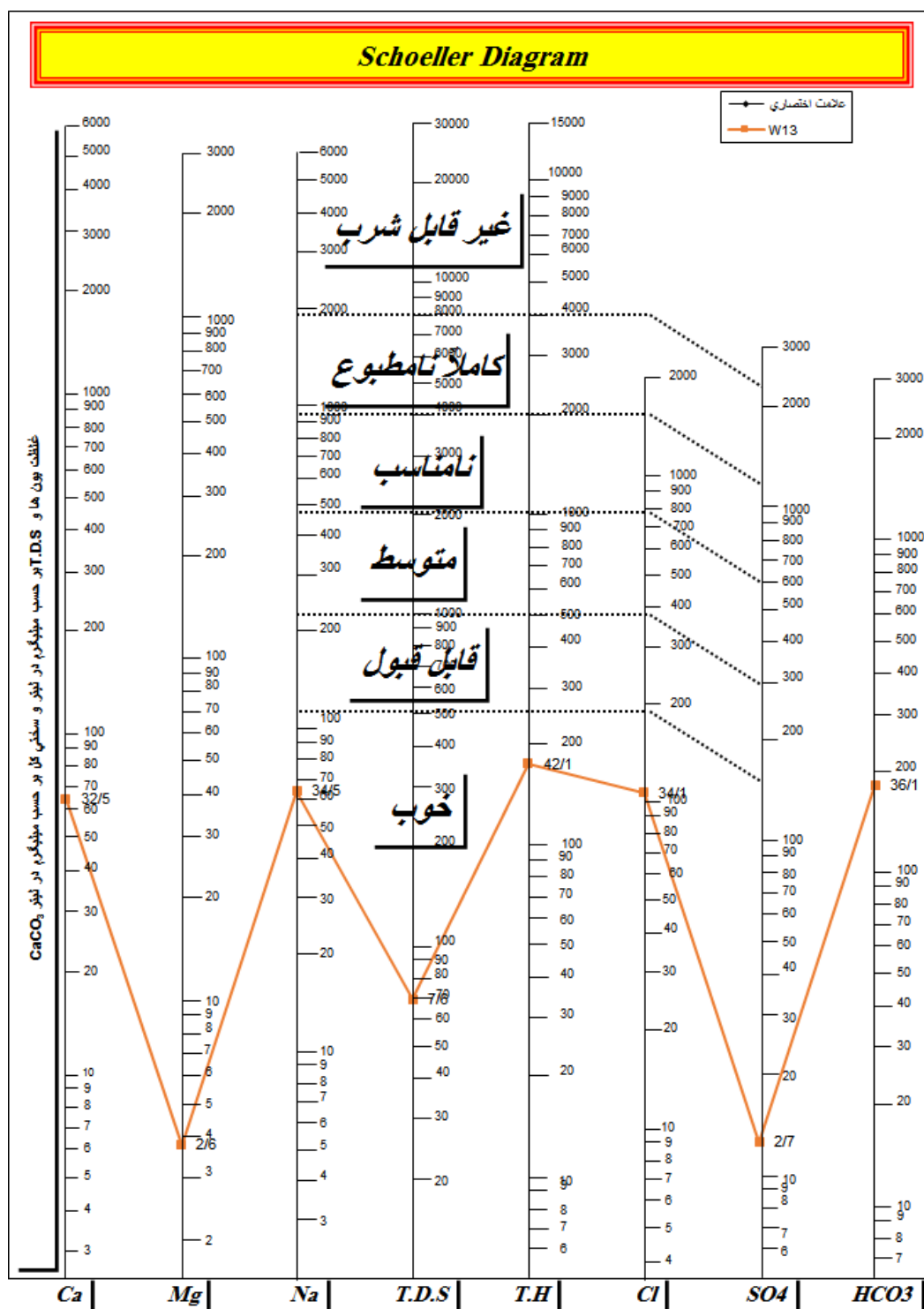
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۴۵. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده-داخل شهر-بوی بسیار نامطبوع

نمودار لگاریتمی شولر برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۱۳، آب کانال تصفیه‌شده-پاکدشت ورودی زمین‌های کشاورزی ذرت و یونجه در شکل ۴-۴۶ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل، همه موارد از لحاظ شرب در محدوده خوب قرار دارند.

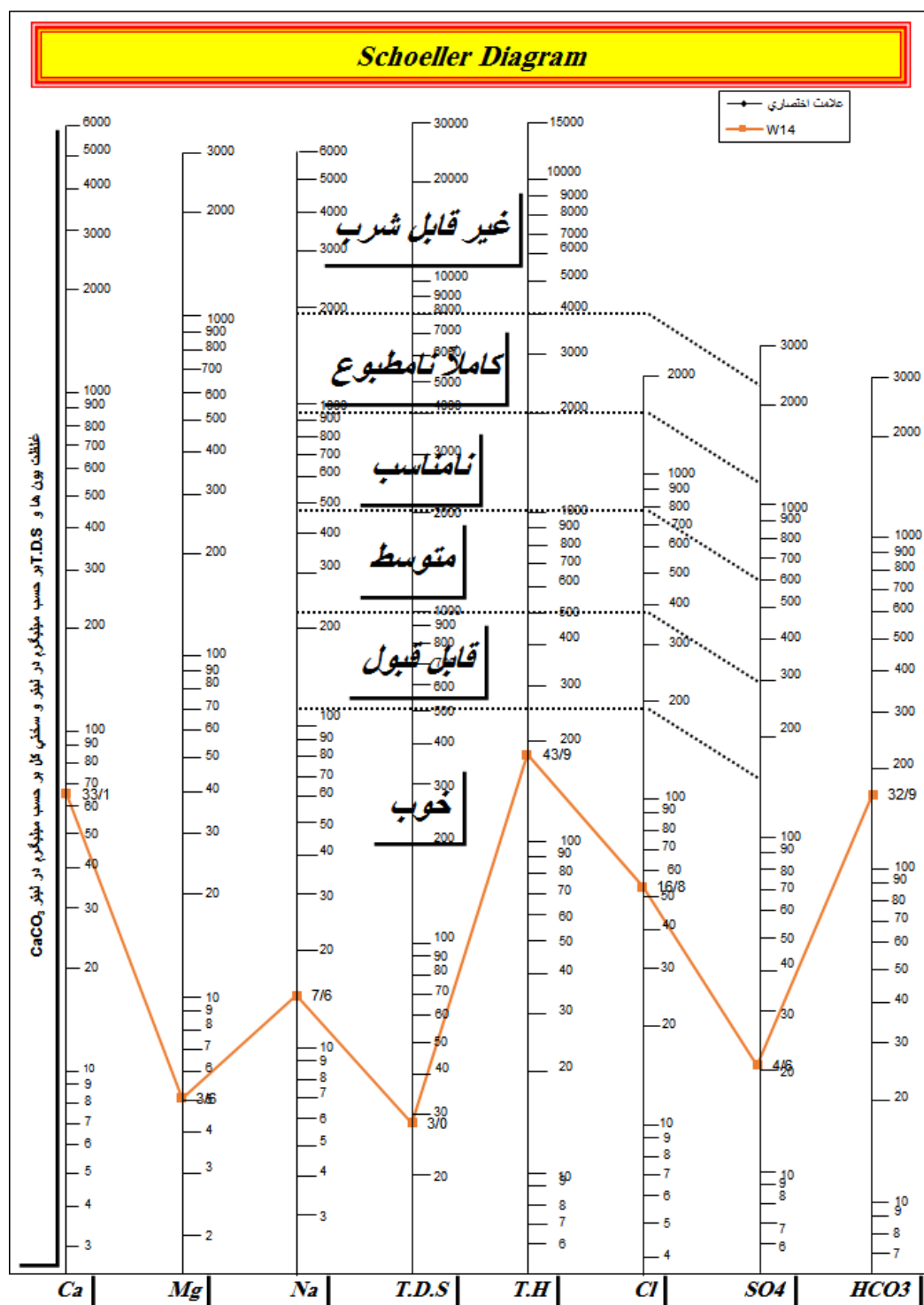
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۴۶. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده-پاکدشت ورودی زمین‌های کشاورزی ذرت و یونجه

شکل ۴-۴۷. نمودار لگاریتمی شولر را برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۱۴، آب کانال تصفیه‌شده پاکدشت به همراه آب چاه نشان می‌دهد. این نمونه نیز دارای محدوده خوب برای همه موارد است. با توجه به وجود آب چاه در این آب، سختی کل آن کمی بیشتر و کل جامد محلول آن کمی کمتر است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

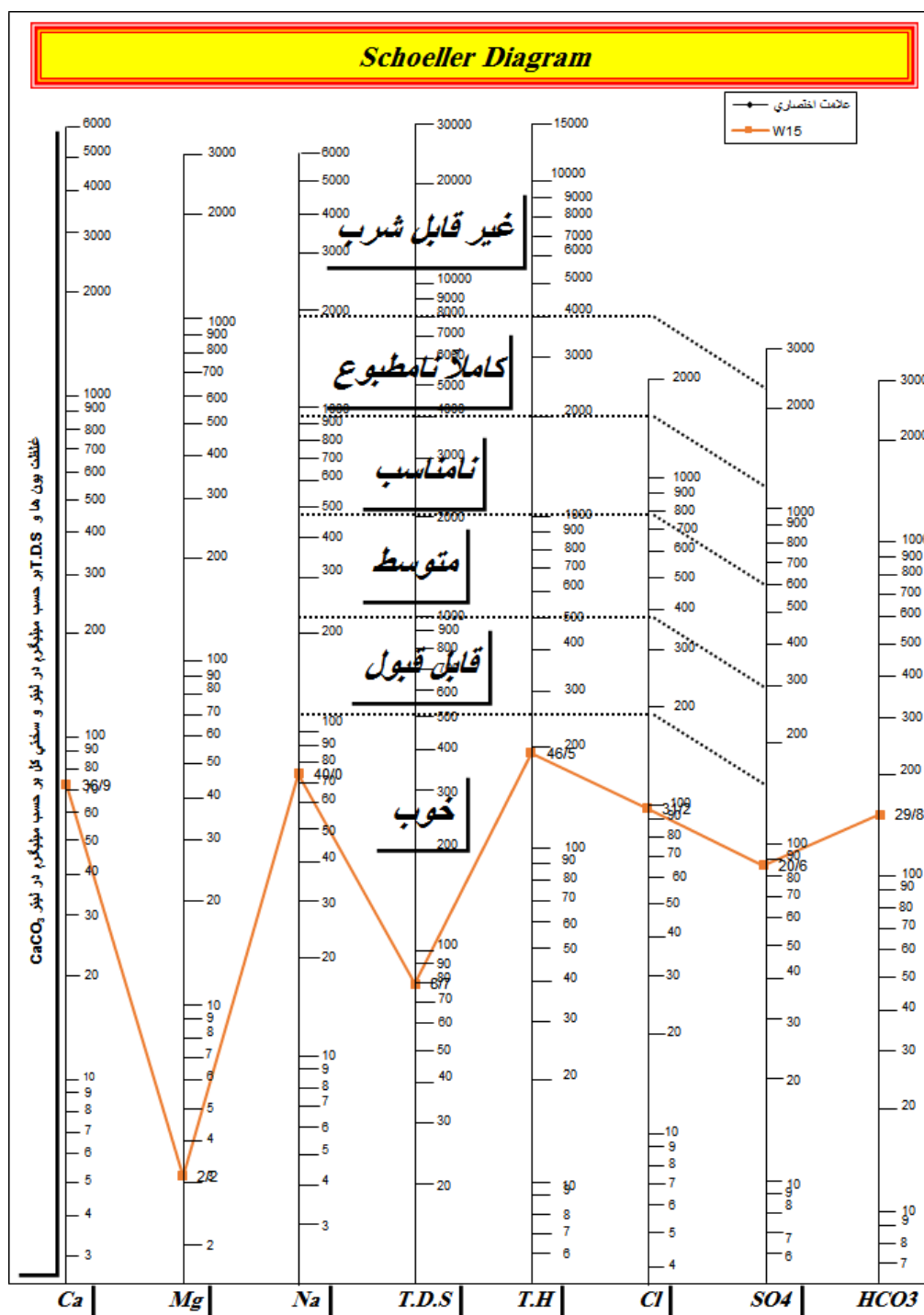


شکل ۴-۴۷. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده پاکدشت به همراه آب چاه

شکل ۴-۴۸. نمودار شولر را برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۱۵، آب کانال در نقطه O محل تقسیم آب

کانال تصفیه شده نشان می‌دهد. در این نمونه میزان همه موارد بررسی شده در محدوده خوب از نمودار قرار دارد.

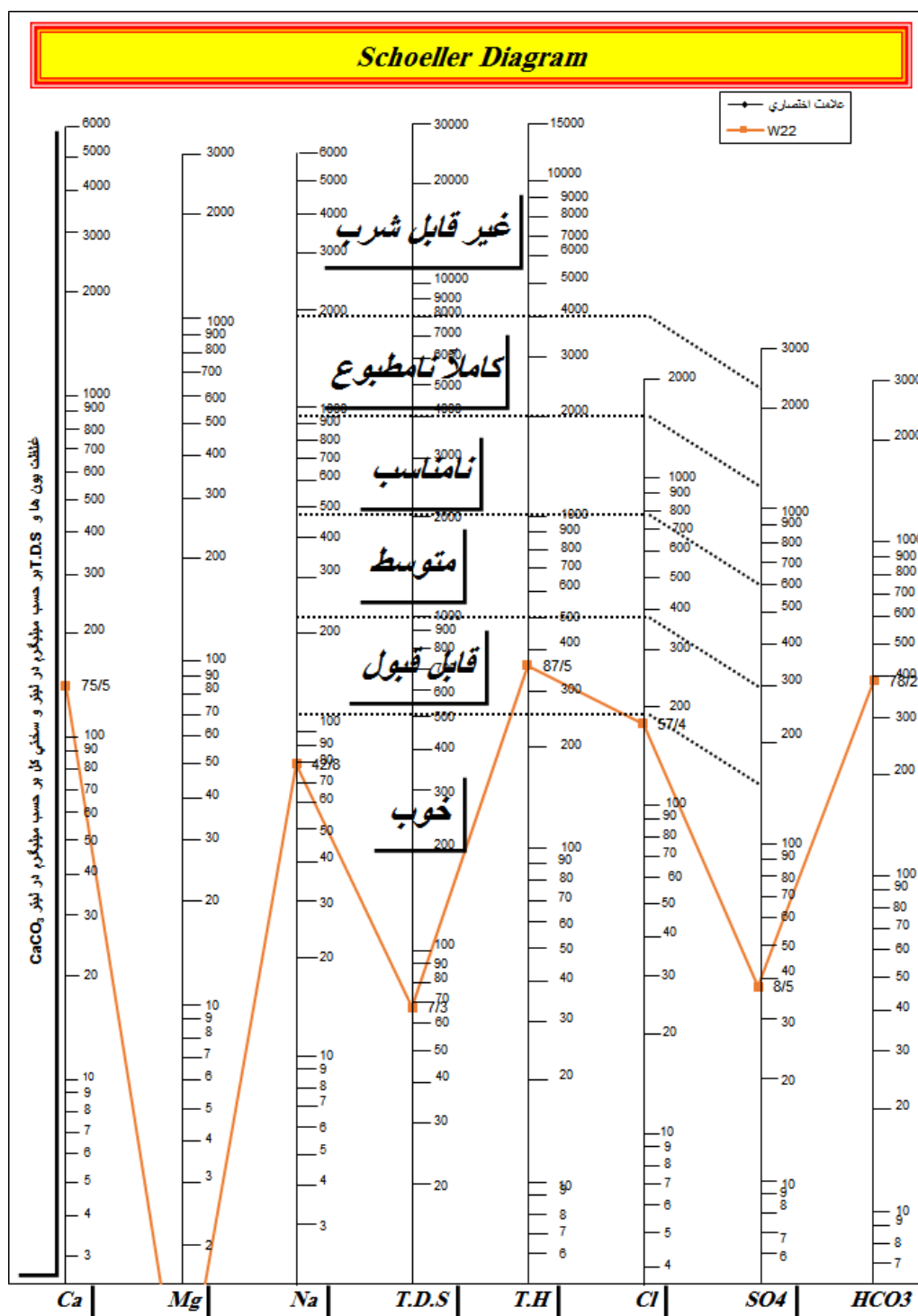
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۴۸. نمودار شولر برای آب کانال در نقطه O محل تقسیم آب کانال تصفیه شده

شکل ۴-۴۹ نمودار شولر را برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۲۲، آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران نشان می‌دهد. ویژگی بارز این نمونه کلسیم و سدیم و نیز کلرید و بی‌کربنات بیشتر و نیز سختی کل در محدوده قابل قبول است.

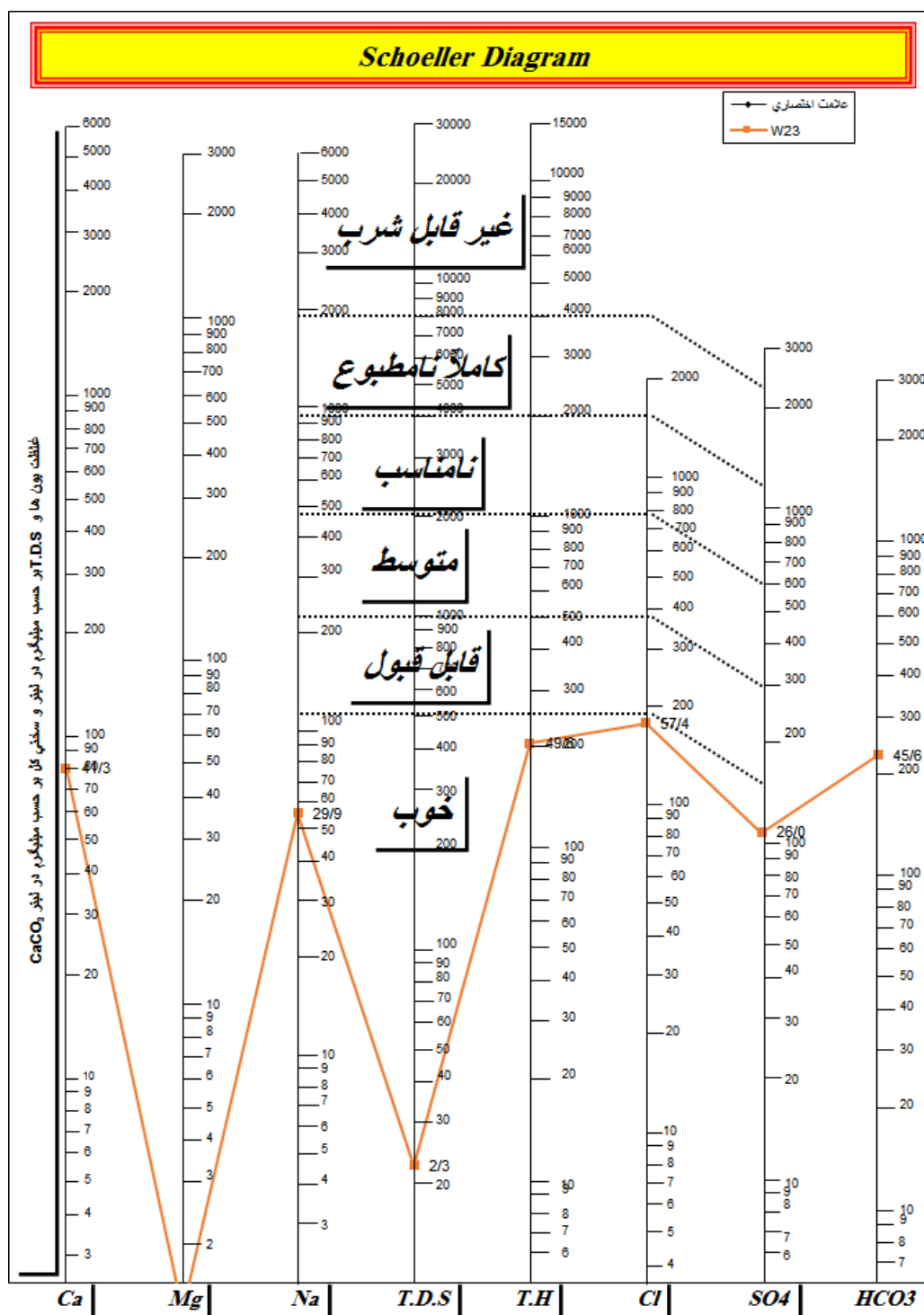
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۴۹. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران

شکل ۴-۵۰ نمودار شولر را برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۲۳، آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران نشان می‌دهد. ویژگی بارز این نمونه کلسیم و سدیم و نیز کلرید و بی‌کربنات بیشتر است. در این نمونه همه موارد در محدوده خوب قرار دارند.

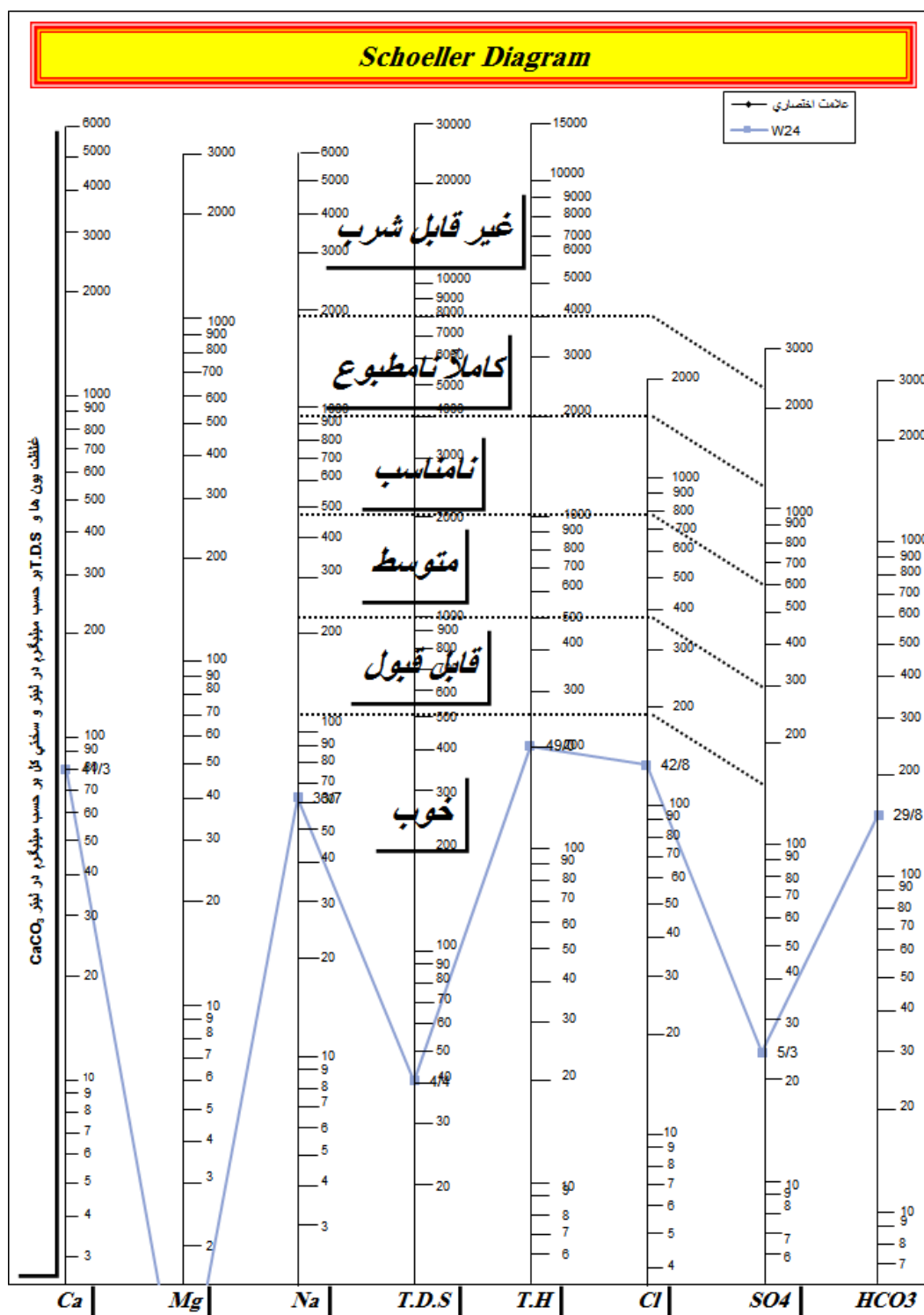
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۵۰. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران

در شکل ۴-۵۱ نمودار شولر برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۲۴، آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران نشان داده شده است. در این نمونه همه موارد مورد بررسی مطابق نمودار لگاریتمی شولر در محدوده خوب قرار گرفته‌اند.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۵۱. نمودار شولر برای آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران

در شکل ۴-۵۲ نمودار لگاریتمی شولر برای نمونه تصفیه‌شده شماره ۲۵، آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران ترسیم شده است. بر اساس نمودار کاتیون‌های کلسیم و سدیم و نیز آنیون‌های کلرید، سولفات و بی‌کربنات در مقدار بالاتری قرار گرفته‌اند. همچنین سختی کل در محدوده قابل قبول قرار دارد.

یساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



بایستی توجه داشت تایید نمودار شولر بر کیفیت شرب موارد مورد بررسی، به منظور تایید استفاده

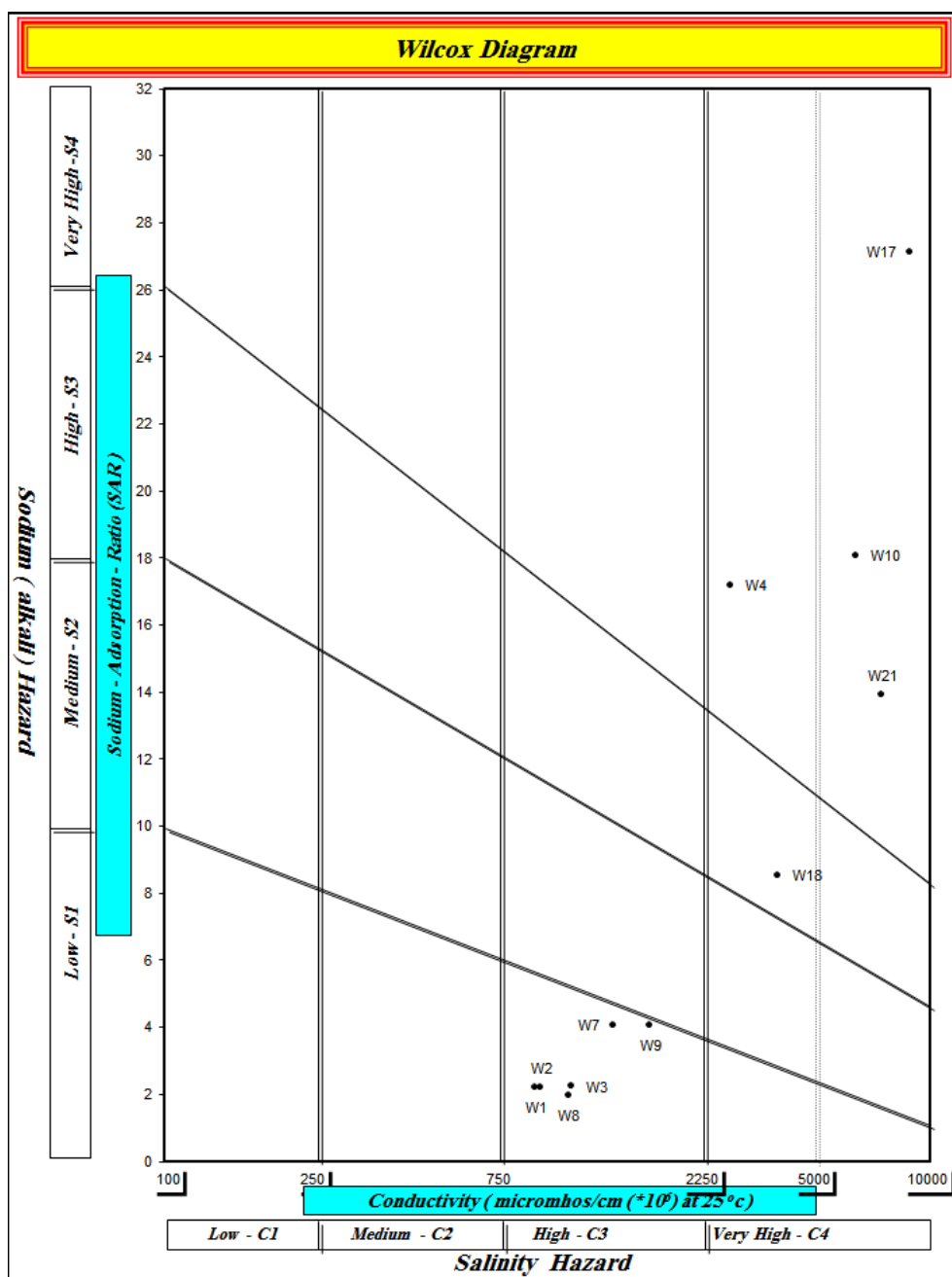
۴-۲-۱۱- بررسی استفاده از آب برای مصارف کشاورزی

روش طبقه‌بندی ویلکوکس (Wilcox) کاربردی‌ترین روش برای طبقه‌بندی آب از نظر مصرف کشاورزی در مطالعات هیدرولوژی است. بدین منظور به وسیله نرم‌افزار Chemistry نمودار ویلکوکس جهت استفاده از این روش ترسیم شد. در نمودار ویلکوکس محور افقی به شوری آب (بر حسب $10^6 \text{ micromhos/cm}$) و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. مختصات مربوط به هر آب در منطقه‌ای قرار می‌گیرد که با حروف C از نظر شوری و S از نظر سدیم مشخص می‌گردد. مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نشان‌دهنده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌باشد که به صورت زیر می‌توان بیان کرد:

۱. کلاس و طبقه C_1S_1 آب‌های خیلی خوب
۲. کلاس‌ها و طبقه‌های C_1S_2 ، C_2S_2 ، C_2S_1 آب‌های خوب
۳. کلاس‌ها و طبقه‌های C_1S_3 ، C_2S_3 ، C_3S_1 ، C_3S_2 آب‌های متوسط
۴. کلاس‌ها و طبقه‌های C_1S_4 ، C_2S_4 ، C_3S_4 ، C_4S_4 ، C_4S_1 ، C_4S_2 ، C_4S_3 آب‌های نامناسب برای زراعت.

در شکل ۴-۵۳ نمودار ویلکوکس برای فاضلاب تصفیه‌نشده ترسیم شده است. بر اساس نتایج حاصل هیچ یک از نمونه‌ها در محدوده طبقه‌بندی آب‌های خیلی خوب و آب‌های خوب قرار نداشتند. همچنین از آب‌های مورد مطالعه، نمونه‌های مربوط به نمونه شماره ۱ (نهر آب جاری- تصفیه نشده-ورودی مزارع کشاورزی ذرت، یونجه و گندم)، نمونه شماره ۲ (رودخانه آب معروف به نهر فیروز آباد- آب تصفیه نشده)، نمونه شماره ۳ (آب خروجی ماسه شویی که به نهر فیروز آباد ریخته می‌شود)، نمونه شماره ۷ (آب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد (قالی شویی، سنگ شور و دامداری))، نمونه شماره ۸ (آب کانال تصفیه نشده روستای ده خیر- فاضلاب) و نمونه شماره ۹ (آب تصفیه نشده- روستای نظر آباد) در محدوده متوسط قرار گرفتند.

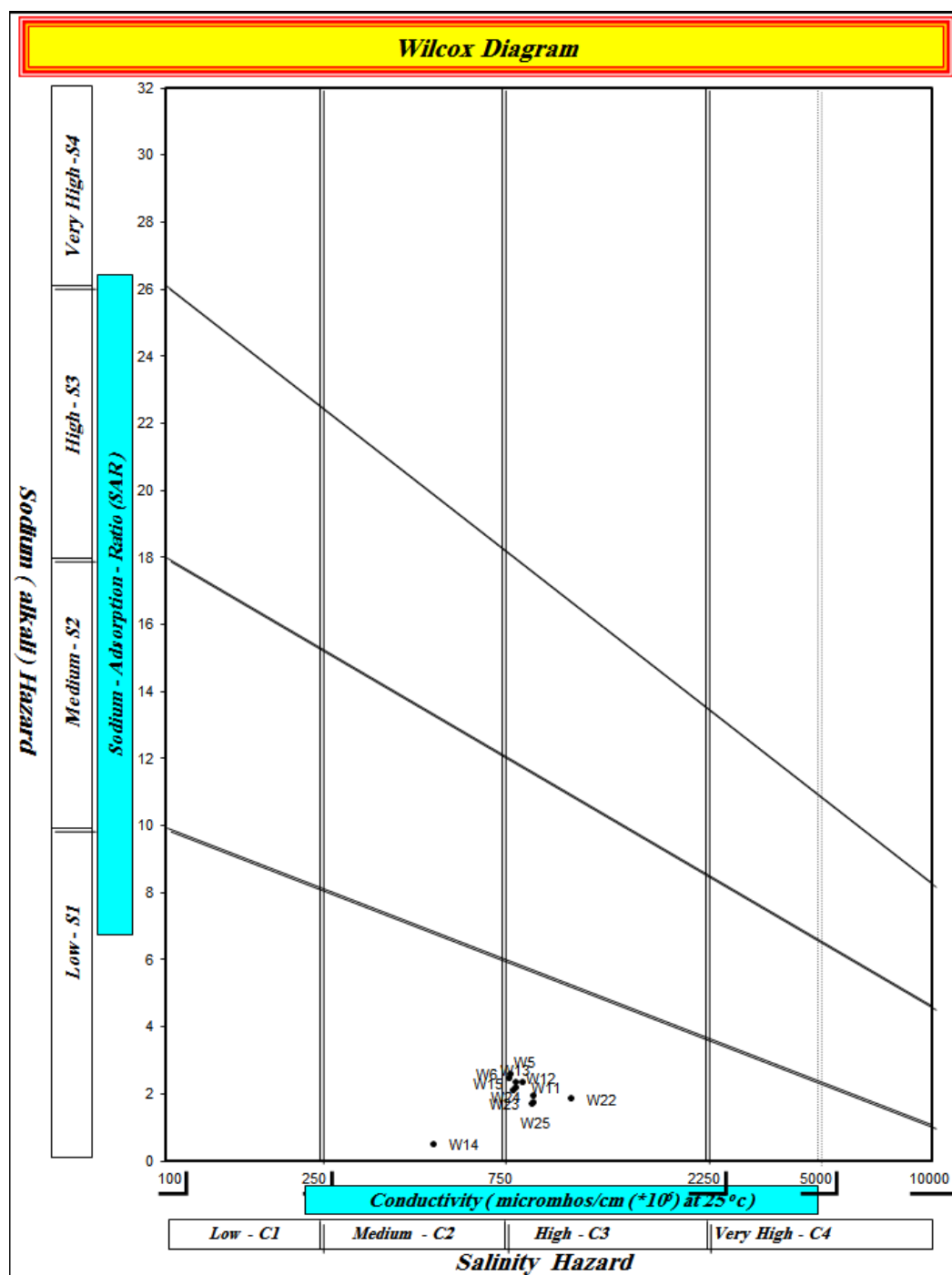
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۵۳. نمودار ویلکوکس برای نمونه آب‌های تصفیه‌نشده

همچنین در شکل ۴-۵۴، نمودار ویلکوکس برای آب‌های تصفیه‌شده نشان داده شده است. بر اساس این نمودار نمونه شماره ۱۴ (کانال آب تصفیه شده پاکدشت به همراه آب چاه) در محدوده خوب قرار گرفت. همچنین سایر نمونه‌های تهیه شده از آب‌های تصفیه‌شده در محدوده C_3S_1 یعنی محدوده متوسط برای استفاده زراعی قرار گرفتند.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۵۳. نمودار ویلکوکس برای نمونه آب‌های تصفیه‌نشده

بایستی توجه داشت که طبقه‌بندی ویلکوکس به تنهایی برای مجاز دانستن استفاده از این آب‌ها برای استفاده زراعی کافی نیست و نیاز به بررسی سایر پارامترهای موثر بر کیفیت آب وجود دارد.

۳-۴- جمع‌بندی

جدول ۲-۴ جمع‌بندی وضعیت آلودگی موجود در نقاط مختلف نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد که به دو بخش کانال‌ها و منابع آب تصفیه شده و تصفیه‌نشده تقسیم‌بندی شده‌اند. بررسی نتایج نمونه‌های کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌نشده مشخص کرد که در ۵ ایستگاه از ۱۴ ایستگاه نمونه‌برداری شده حاوی مقادیر بالاتر از حد مجاز BOD و COD هستند. غلظت غیر مجاز فلزات جیوه، سلنیم و آرسنیک در نتایج آنالیز فلزات سنگین کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌نشده قابل مشاهده است. مطابق نتایج بدست‌آمده در برخی از ایستگاه‌ها آلودگی‌های مربوط به فلزات مس و کروم نیز مشاهده می‌شود. مقادیر یون‌های Na، Cl، NO_3^- ، HCO_3^- و SO_4^{2-} در بیشتر ایستگاه‌های تصفیه‌نشده بیش از حد مجاز جهت آبیاری است و در یک ایستگاه (W۱۹) غلظت یون PO_4^{3-} نیز بیش از مقدار مجاز گزارش شده است. بررسی مقادیر EC این ایستگاه‌ها نشان داد که در تمامی نمونه‌های برداشت شده از کانال‌ها و منابع آب تصفیه نشده، مقدار EC بیشتر از حد مجاز جهت آبیاری بود که در برخی نقاط (W۱۶، W۱۹ و W۲۰) مقادیر بالاتر از ۱۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر نیز مشاهده شده است. همچنین مقدار کلی‌فرم در ۵ ایستگاه بیش از حد مجاز آبیاری بود. بررسی مقدار SAR و SSP نشان داد که در ۷ ایستگاه نمونه‌برداری شده مقادیر این فاکتورها بیش از حد مجاز قرار دارد.

جدول ۲-۴. وضعیت آلودگی نقاط مختلف نمونه‌برداری شده به تفکیک نقاط تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده

نقاط	توضیحات	وضعیت
کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌نشده		
W۱	نهر آب جاری- ورودی مزارع کشاورزی ذرت، یونجه و گندم	pH برابر با ۷/۴۲- مقدار BOD و COD در این نقطه در حد مجاز قرار دارد. در میان فلزات سنگین تنها غلظت سلنیم در این نقطه بیش از حد استاندارد بود. مشخص شد غلظت یون‌های Na، Cl، HCO_3^- و NO_3^- بیش از حد مجاز جهت آبیاری است. همچنین EC در این نقطه بالاتر از حد مجاز گزارش شده است.
W۲	رودخانه آب معروف به نهر فیروز آباد	pH این نقطه برابر با ۷/۲۸- غلظت فلزات جیوه و سلنیم بیش از حد مجاز جهت آبیاری گزارش شده است. غلظت یون‌های Na، Cl، HCO_3^- در این نقطه بیش از حد مجاز بود. همچنین EC در این نقطه بیش از حد مجاز است.
W۳	آب خروجی ماسه شویی که به نهر فیروز آباد تخلیه می‌شود.	pH برابر با ۶/۶۷- غلظت سلنیم بالاتر از حد مجاز- غلظت یون‌های Na، Cl، HCO_3^- و NO_3^- بیش از حد مجاز جهت آبیاری است. TSS این نقطه جهت آبیاری بالاتر از حد مجاز گزارش شده است. EC و کلیفرم هم در این نقطه بالاتر از حد مجاز بود.
W۴	لجن خروجی کارگاه شستشو و خردایش پسماند پلاستیکی	pH برابر با ۶/۵۹- BOD و COD به ترتیب بیش از ۴۰ و ۳۰ برابر حد مجاز جهت مصارف آبیاری بود. غلظت فلزات آرسنیک، مس، جیوه و سلنیم نیز بیش از حد مجاز گزارش شده است. مقدار یون‌های Na، Cl، HCO_3^- و NO_3^- به شدت بیش از حد مجاز آبیاری بود. مقدار فاکتورهای TSD و TSS نیز بالاتر از حد مجاز است. EC بالای ۳۰۰۰ میکروزیمنس بر

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

		سانتی‌متر که بالاتر از حد مجاز است. مقدار SAR نزدیک به حد استاندارد و SSP بالاتر از حد مجاز گزارش شده است. کلیفرم نیز با مقدار MPN/۱۰۰ml بیش از حد مجاز جهت آبیاری بود.
W۷	آب خروجی واحدهای صنعتی امین آباد (قالی شویی، سنگ شور و دامداری)	pH برابر ۷/۴۴- مقدار سولنیم بیش از حد مجاز بود. مقدار یون‌های Na ، Cl ، HCO_3 و NO_3 بیش از حد مجاز آبیاری بود. همچنین مقدار EC در این نقطه بیش از حد مجاز است.
W۸	آب کانال روستای ده خیر- فاضلاب	pH برابر ۷/۳۶- مقدار آرسنیک ۲ برابر حد مجاز بود. مقدار یون‌های Na ، Cl ، HCO_3 و NO_3 به شدت بیش از حد مجاز آبیاری گزارش شده است. همچنین مقدار EC و کلیفرم در این نقطه بیش از مقدار مجاز است.
W۹	آب روستای نظر آباد	pH برابر ۷/۲۲- مقدار فلزات آرسنیک و سولنیم بیش از حد مجاز بود. مقدار یون‌های Cl ، Na ، HCO_3 و NO_3 بیش از حد مجاز آبیاری بود. همچنین مقدار EC و کلیفرم در این نقطه بیش از مقدار مجاز است.
W۱۰	آب شهرک صنعتی عشق آباد (شهرک موزاییک سازی)	pH برابر ۷/۷۸- مقدار BOD و COD به شدت از مقدار مجاز جهت آبیاری بالاتر بود. مقدار جیوه، منگنز و سولنیم بسیار بیشتر از حد مجاز گزارش شده است. غلظت یون‌های Na ، SO_4 و HCO_3 از حد مجاز جهت آبیاری فراتر رفته است. مقدار TSS در این نقطه غیر مجاز بوده و EC بسیار بیشتر از حد مجاز گزارش شده است. همچنین مقدار SAR و SSP بالاتر از حد مجاز است. مقدار کلیفرم نیز بیش از حد مجاز بود.
W۱۶	کانال آب فاضلاب با بوی بسیار نامطبوع فاضلاب	pH برابر ۷/۴۸- مقدار BOD و COD بسیار بیشتر از حد مجاز بود. مقادیر فلزات آرسنیک، کروم، جیوه و سولنیم به شدت از حد مجاز بالاتر بود. غلظت یون‌های Na ، SO_4 و HCO_3 از حد مجاز جهت آبیاری فراتر رفته است. مقادیر TSS و TDS نیز بالاتر از حد مجاز گزارش شده است. مقدار EC در این نقطه برابر با ۱۳۵۵۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود که به شدت بالاتر از حد مجاز جهت مصارف آبیاری قرار دارد. مقدار SAR و SSP نیز بسیار بالاتر از حد مجاز گزارش شده است.
W۱۷	آب جمع آوری شده در یک آب‌بند و آبیاری زمین‌های کشاورزی با بوی نامطبوع فاضلاب در روستای رحمت آباد	pH برابر ۷/۵۷- مقدار جیوه و سولنیم بالاتر از حد مجاز است. مقدار یون‌های Na ، SO_4 ، Cl و HCO_3 بیش از حد مجاز گزارش شده است. مقدار TDS در این نقطه بیش از ۲ برابر حد مجاز است. مقادیر EC، SAR، SSP نیز از حد مجاز فراتر رفته است.
W۱۸	آب زهکشی شده و تصفیه نشده قرچک- کانال برای آبیاری زمین‌های کشاورزی اطراف استفاده می‌شود.	pH برابر ۷/۳۲- مقادیر آرسنیک، جیوه و سولنیم در این نقطه بالاتر از حد مجاز است. مقادیر یون‌های Na ، Cl و HCO_3 بیش از حد مجاز گزارش شده است. مقادیر TSS و TDS نیز بیش از حد مجاز است. همچنین مقادیر EC و SSP نیز فراتر از حد مجاز جهت آبیاری شده است.
W۱۹	پساب خروجی دامداری- آبیاری زمین‌های گندم و یونجه- شرکت اشراق	pH برابر ۷/۶۶- مقادیر BOD و COD بیش از ۲۰ برابر حد مجاز جهت آبیاری است. غلظت آرسنیک در این نقطه ۰/۵۷ میلی‌گرم بر لیتر بود که بیشتر مقدار آرسنیک در بین سایر نمونه‌های برداشت شده را دارد. مقادیر منگنز و سولنیم نیز در این نقطه بیش از حد مجاز آبیاری است. غلظت یون‌های Na ، SO_4 ، Cl ، PO_4 و HCO_3 نسبت به نقاط دیگر بسیار بالاتر و از حد مجاز فراتر رفته است. مقادیر TSS و TDS نیز بیشتر از حد مجاز است. مقدار EC برابر با ۱۲۹۱۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود که بسیار بالاتر از حد مجاز است. همچنین مقدار SAR بالاتر از حد مجاز گزارش شده است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

W ₂₀	رودخانه آب تصفیه نشده- به نام رودخانه شور و شیرین معروف است- آبیاری زمین‌های کشاورزی	pH برابر ۷/۵۵- مقدار آرسنیک بیش از حد مجاز است. غلظت یون‌های Na , SO_4 , Cl و HCO_3 نسبت به نقاط دیگر بسیار بالاتر و از حد مجاز فراتر رفته است. مقدار TDS در این نقطه بیش از دو برابر مقدار مجاز جهت آبیاری است. مقدار EC در این نقطه برابر با ۱۲۵۳۲ بود که بسیار بالاتر از حد مجاز آبیاری است. همچنین مقدار SAR و SSP نیز بالاتر از حد مجاز گزارش شده است.
W ₂₁	نمونه آب چاه موجود در منطقه	pH برابر ۷/۲۱- غلظت آرسنیک در این نقطه ۰/۵۶ میلی گرم بر لیتر است که بیش از ۵ برابر مقدار مجاز در آب آبیاری است. مقدار جیوه نیز در این نقطه بالاتر از حد مجاز است. غلظت یون‌های Na , SO_4 , Cl و فراتر از حد مجاز است. مقدار TDS نیز بیش از حد مجاز است. مقادیر EC و SSP نیز بالاتر از حد مجاز است.
کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌شده		
W ₅	آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران	pH برابر ۷/۴۹- غلظت‌های جیوه و سلنیم بالاتر از حد مجاز است. مقدار یون‌های Cl و NO_3 در این نقطه بیش از حد مجاز جهت آبیاری است.
W ₆	آب کانال تصفیه خانه جنوب تهران	pH برابر ۷/۵۴- غلظت‌های آرسنیک و جیوه بالاتر از حد مجاز آبیاری قرار دارد. مقدار یون‌های Cl و NO_3 نیز در این نقطه بیش از حد مجاز جهت آبیاری است.
W ₁₁	آب کانال تصفیه شده- ورودی پاکداشت- بوی بسیار نامطبوع	pH برابر ۷/۱۵- تنها مقدار سلنیم بیش از حد مجاز قرار دارد. مقدار یون NO_3 نیز در این نقطه بیش از حد مجاز جهت آبیاری است.
W ₁₂	آب کانال تصفیه شده- داخل شهر- بوی بسیار نامطبوع	pH برابر ۷/۱۱- تنها مقدار سلنیم بیش از حد مجاز قرار دارد. مقدار یون NO_3 نیز در این نقطه بیش از حد مجاز جهت آبیاری است.
W ₁₃	آب کانال تصفیه شده- پاکداشت ورودی زمین‌های کشاورزی ذرت و یونجه	pH برابر ۷/۳۳- غلظت آرسنیک در این نقطه بیش از ۲ برابر حد مجاز است. مقدار یون NO_3 نیز در این نقطه بیش از حد مجاز جهت آبیاری است.
W ₁₄	آب کانال تصفیه شده پاکداشت به همراه آب چاه	pH برابر ۷/۳۸- تنها مقدار سلنیم بیش از حد مجاز قرار دارد. مقدار کلیفرم بیش از حد مجاز جهت آبیاری است.
W ₁₅	آب کانال در نقطه O محل تقسیم آب کانال تصفیه شده	pH برابر ۷/۶۴- غلظت آرسنیک در این نقطه بیش از ۲ برابر حد مجاز است. مقدار یون NO_3 و کلیفرم نیز در این نقطه بیش از حد مجاز جهت آبیاری است.
W ₂₂	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران	pH برابر ۶/۹۵- تنها مقدار سلنیم بیش از حد مجاز قرار دارد. مقدار یون‌های Cl , HCO_3 و NO_3 بیش از حد مجاز آبیاری است.
W ₂₃	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران	pH برابر ۶/۶۷- مقدار سلنیم و جیوه بیش از حد مجاز قرار دارد. مقدار یون‌های Cl و NO_3 بیش از حد مجاز آبیاری است.
W ₂₄	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران	pH برابر ۶/۳۵- مقدار بیش حد جیوه و سلنیم در این نقطه قابل مشاهده است. مقدار یون‌های Cl و NO_3 بیش از حد مجاز آبیاری است.
W ₂₅	آب کانال تصفیه شده جنوب تهران	pH برابر ۶/۲۵- مقدار بیش حد جیوه و سلنیم در این نقطه قابل مشاهده است. مقدار یون‌های Cl و NO_3 بیش از حد مجاز آبیاری است.

بررسی وضعیت کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌شده نشان داد که بیشترین آلودگی مربوط به آرسنیک، جیوه و سلنیم بود که در تمامی نقاط قابل مشاهده بود. همچنین غلظت یون‌های Cl و NO_3 در تمامی ایستگاه‌ها تصفیه‌شده بیش از حد مجاز جهت مصارف آبیاری است.

نتایج این بررسی مشخص کرد که منابع آبی موجود در منطقه که جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی از جمله زمین‌های کشاورزی ذرت، گندم و یونجه استفاده می‌شود، کیفیت مناسبی ندارد. به ویژه منابع آب تصفیه‌نشده آلودگی‌های بسیار زیادی از منظر فلزات سنگین، COD، BOD، آنیون‌ها و کاتیون‌ها و ... را دارند که هم بر کیفیت محصول و زمین‌های کشاورزی و هم بر سلامت مصرف‌کنندگان اثرات منفی کوتاه‌مدت و بلند مدت ایجاد خواهد کرد.

۴-۴- نتایج آنالیز نمونه‌های خاک

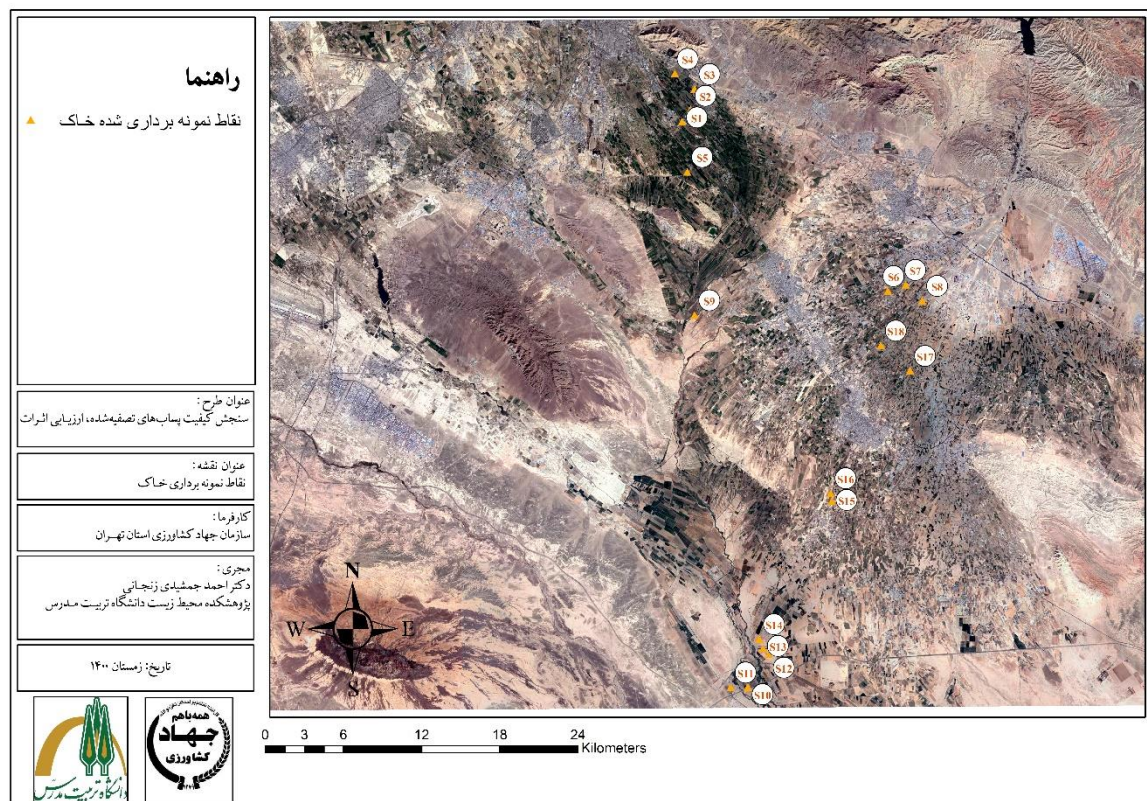
همانطور که در جدول ۳-۴ ارائه شده است، میانگین غلظت فلزات مس، روی، سرب، کادمیم، آرسنیک و آنتیموان از غلظت میانگین این عناصر در پوسته زمین فراتر رفته است. نتایج نشان می‌دهد در بیشتر موارد حداکثر غلظت عناصر از حد مجاز برخی کشورها نیز بیشتر است که به نظر می‌رسد عوامل انسانی در افزایش غلظت این عناصر در برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری تاثیر گذار است. غلظت حداکثر فلزات مس، روی، سرب و کروم به ترتیب ۲۲۴، ۸۲۳، ۱۶۵ و ۳۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که از حد مجاز این عناصر در خاک مطابق استاندارد کشورهای کانادا، استرالیا و انگلیس فراتر است.

جدول ۳-۴ مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه غلظت کل فلزات سنگین در ۱۸ ایستگاه نمونه‌برداری خاک

متغیرها	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین پوسته زمین	استاندارد در کانادا	استاندارد در استرالیا	استاندارد در انگلیس	استاندارد در ایران
Cu(mg/kg)	۵۵/۸	۲۲	۲۲۴	۵۰	۹۱	۹۲		۱۰۰
Zn(mg/kg)	۱۵۹/۹	۷۱	۸۲۳	۷۵	۳۶۰	۲۹۰		۲۰۰
Pb(mg/kg)	۳۹/۹	۱۵	۱۶۵	۱۴	۳۶۰	۱۲۰	۲۰۰	۵۰
Cd(mg/kg)	۰/۳	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۲	۲۲	۱/۲	۲۲	۱
Mn(mg/kg)	۷۵۳/۷	۳۹۳	۸۷۷	۹۵۰				
Fe(mg/kg)	۲۷۸۵۶	۱۶۶۶۴	۳۳۵۸۵	۴۱۰۰۰				
Cr(mg/kg)	۹۰/۸	۵۲	۳۱۸	۱۰۰	۸۷	۷۰	۱۳۰	۱۱۰
As(mg/kg)	۱۱	۸/۷	۱۵/۹	۱/۵	۲۶	۱۸	۳۷	۱۸
Sb(mg/kg)	۱	۰/۹۶	۱/۳۱	۰/۲	۳۰۰			۱۰
Ni(mg/kg)	۳۲/۲	۲۴	۴۸	۸۰				۵۰

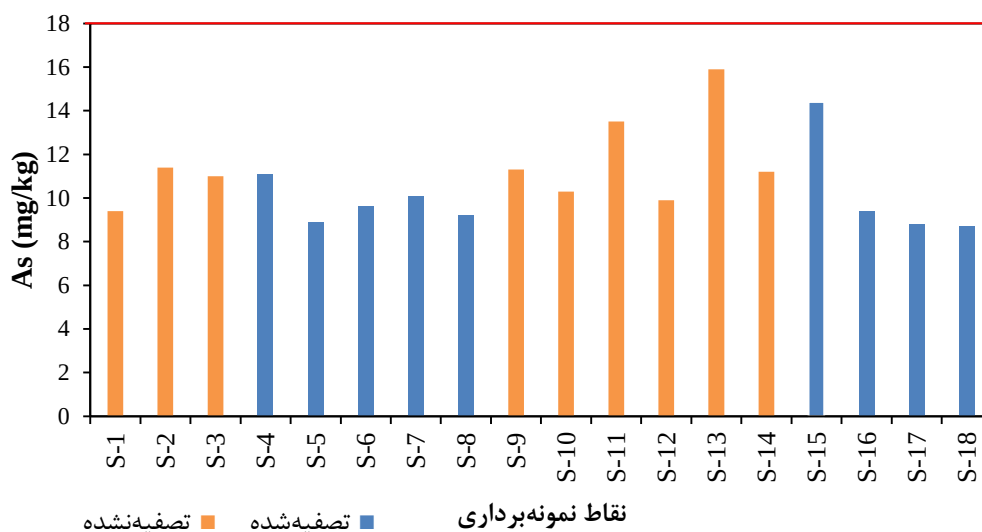
شکل ۴-۵۴. نقشه نقاط نمونه‌برداری خاک در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جهت بررسی بیشتر وضعیت خاک از لحاظ غلظت فلزات سنگین در ادامه نتایج آنالیز هر کدام از عناصر ارائه خواهد شد تا در کنار اطلاعات بدست آمده از ارزیابی‌های میدانی و نتایج حاصل از آنالیز فلزات سنگین در نمونه‌های

آب بتوان تحلیل و پیش‌بینی قابل اطمینان نسبت به وضعیت آلودگی احتمالی در محدوده مورد مطالعه ارائه داد.



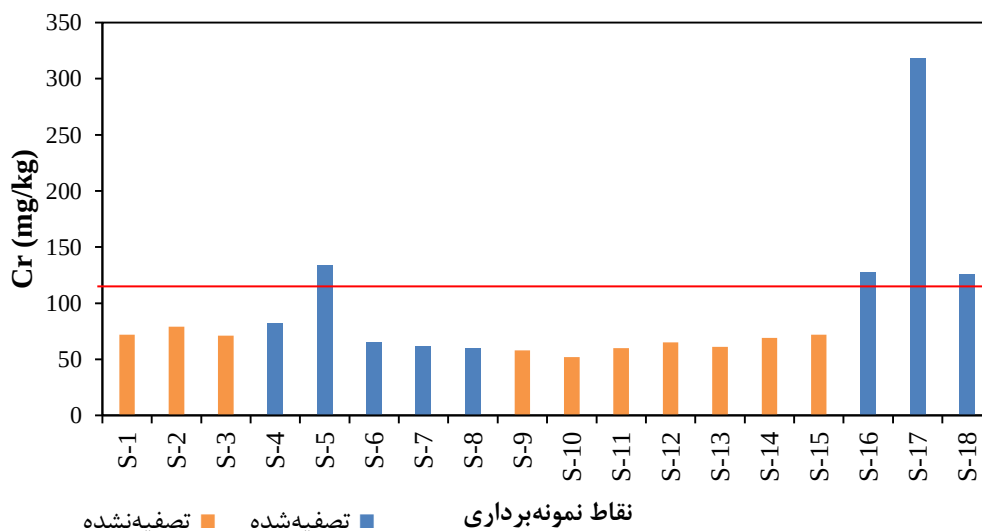
شکل ۴-۵۴. نقشه نقاط نمونه‌برداری خاک در محدوده مورد مطالعه

همانطور که در شکل ۴-۵۵ مشخص است غلظت آرسنیک در هیچکدام از ایستگاه‌های نمونه‌برداری از حد مجاز (۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) فراتر نرفته است. با این وجود غلظت این عنصر در ایستگاه‌های نمونه‌برداری مربوط به پساب‌های تصفیه نشده بیشتر از نمونه‌های مربوط به پساب‌های تصفیه شده است. نمونه‌های شماره ۱۳، ۱۵ و ۱۱ که به ترتیب مربوط به زمین کشاورزی گندم (آبیاری با پساب فاضلاب)، رسوبات کانال تصفیه‌شده تصفیه‌خانه جنوب تهران و زمین‌های کشاورزی کل‌زا در شهرستان ورامین بیشترین مقدار آرسنیک را به خود اختصاص داده‌اند.



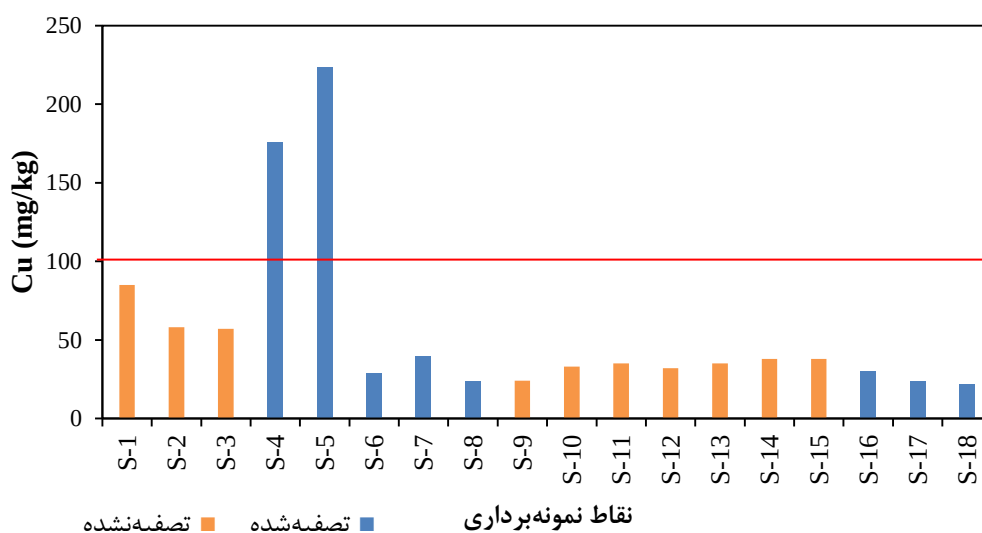
شکل ۴-۵۵. نتایج آنالیز آرسنیک موجود در نمونه‌های خاک

همانطور که در شکل ۴-۵۶ ارائه شده است، غلظت کروم در ۴ ایستگاه نمونه‌برداری شده بیشتر از حد مجاز (۱۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. این ۴ ایستگاه همگی مربوط به زمین‌های کشاورزی آبیاری شده با آب کانال تصفیه شده است. غلظت کروم در ایستگاه شماره ۱۷ بیشترین مقدار (۳۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داده است. نمونه‌های شماره ۱۷، ۵ و ۱۸ مربوط به زمین کشاورزی ذرت و نمونه شماره ۱۶ نمونه خاک برداشت شده از زمین یونجه است.



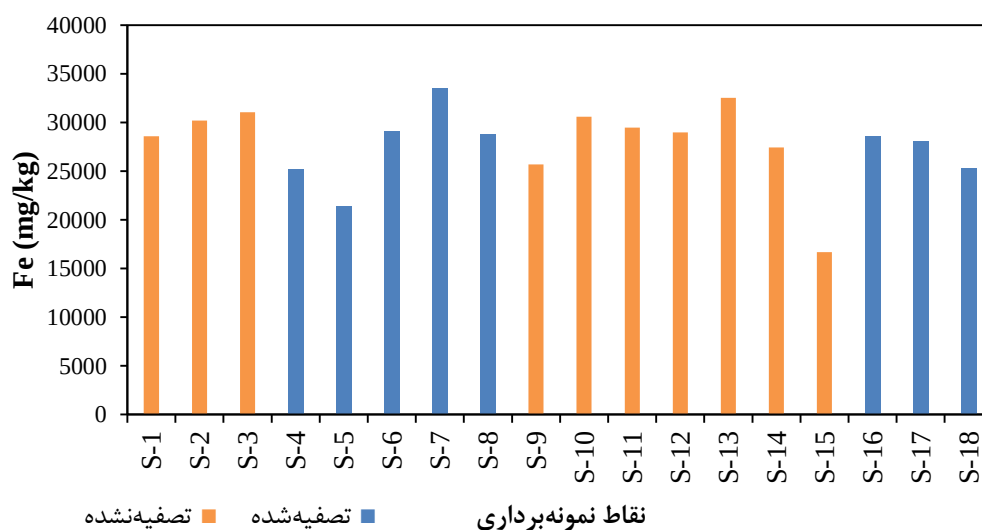
شکل ۴-۵۶. نتایج آنالیز کروم موجود در نمونه‌های خاک

بررسی نتایج آنالیز مس در نمونه‌های خاک که در شکل ۴-۵۷ ارائه شده است، نشان داد که دو نمونه ۴ و ۵ دارای غلظت مس بالاتر از حد مجاز ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم هستند. این نمونه‌ها به ترتیب مربوط به زمین کشاورزی خرفه و ذرت است که با آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران آبیاری شده‌اند.



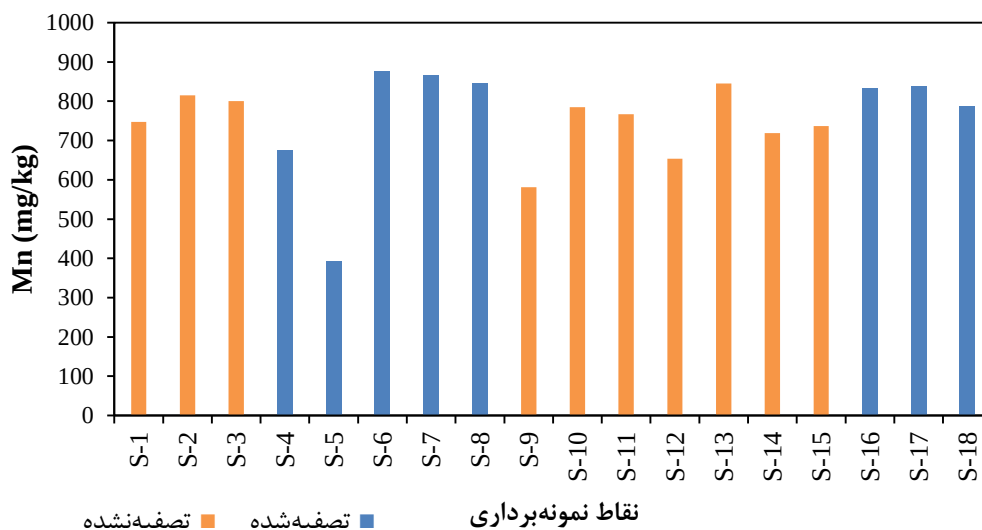
شکل ۴-۵۷. نتایج آنالیز مس موجود در نمونه‌های خاک

در شکل ۴-۵۸ نتایج آنالیز آهن در نمونه‌های خاک آورده شده است. خاک‌های مورد بررسی به طور متوسط دارای ۲۷۸۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن بودند. همچنین بیشترین میزان آهن مربوط به نمونه‌های ۷ و ۱۳ یعنی آب تصفیه‌شده-زمین گندم و آب تصفیه‌نشده-زمین گندم بود.



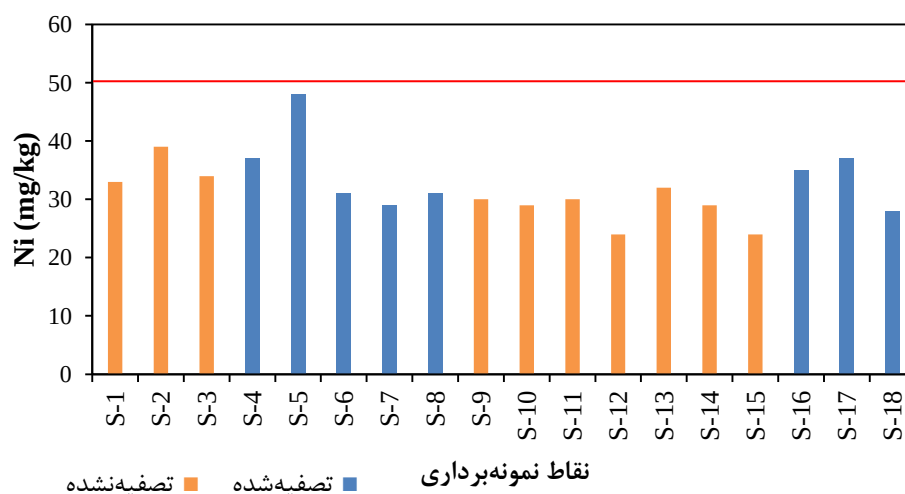
شکل ۴-۵۸. نتایج آنالیز آهن موجود در نمونه‌های خاک

شکل ۴-۵۹ نتایج آنالیز منگنز موجود در نمونه‌های خاک مورد بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آنالیز، میزان منگنز در نمونه‌های آب تصفیه شده ۵، ۶ و ۸ بیشتر بود. همچنین در نمونه ۱۳، ۱۶ و ۱۷ نیز منگنز بیشتری دیده شد.



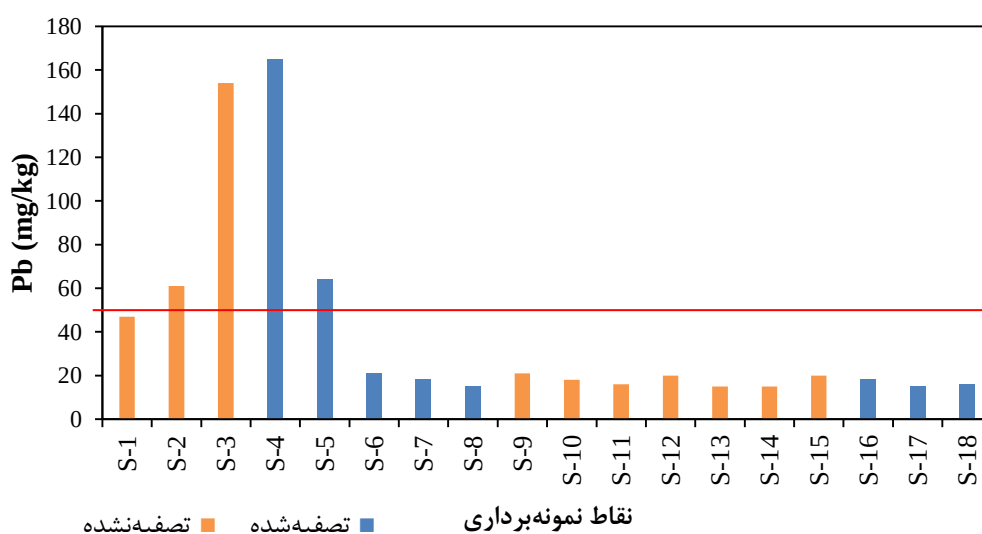
شکل ۴-۵۹. نتایج آنالیز منگنز موجود در نمونه‌های خاک

شکل ۴-۶۰ نتایج آنالیز نیکل در نمونه‌های خاک را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است هیچکدام از نمونه‌ها غلظت بالای حد مجاز برای نیکل را نشان نمی‌دهد. بیشترین مقدار نیکل در میان نمونه‌های خاک برداشت شده (۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به نمونه شماره ۵ است. این نمونه خاک از زمین کشاورزی ذرت برداشت شده است که با آب تصفیه شده کانال آبیاری شده است.



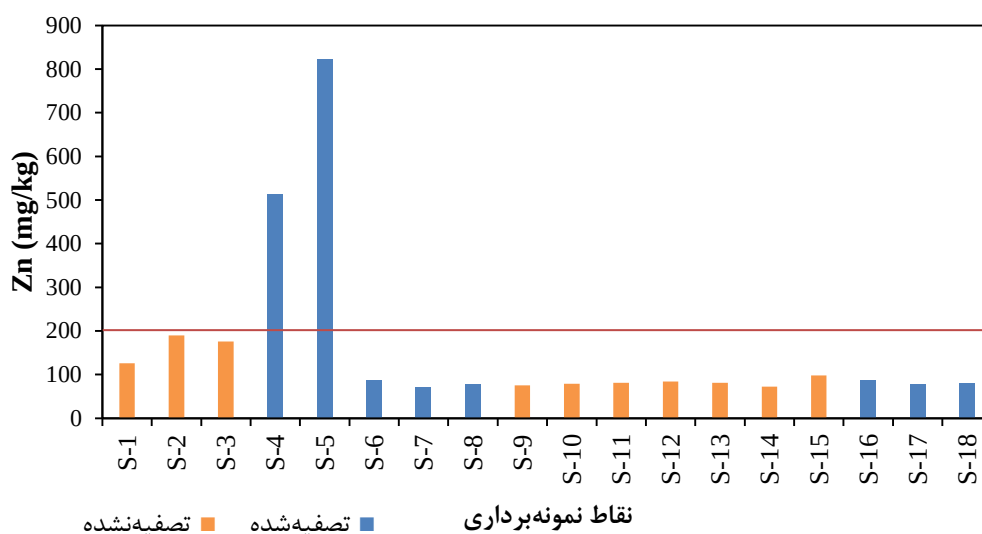
شکل ۴-۶۰. نتایج آنالیز نیکل موجود در نمونه‌های خاک

بررسی نتایج آنالیز سرب مشخص کرد که غلظت سرب در ۴ نمونه بیش از حد مجاز ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (شکل ۴-۶۱). نمونه‌های ۴ و ۳ به ترتیب با غلظت ۱۶۵ و ۱۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار سرب را داشته‌اند. همچنین نمونه‌های ۵ و ۲ نیز به ترتیب حاوی ۶۴ و ۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب بوده‌اند. لازم به ذکر است نمونه‌های ۴ و ۵ مربوط به زمین‌های کشاورزی خرفه و ذرت که با آب کانال تصفیه‌شده آبیاری شده بودند و نمونه‌های ۲ و ۳ مربوط به زمین‌های کشاورزی یونجه و ذرت که با آب تصفیه‌نشده آبیاری شده بودند. نمونه خاک شماره ۱ نیز با مقدار ۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مقدار سرب نزدیک به حد مجاز را داشته است.



شکل ۴-۶۱. نتایج آنالیز سرب موجود در نمونه‌های خاک

بررسی نتایج آنالیز غلظت روی موجود در نمونه‌های خاک در شکل ۴-۶۲ مشخص کرد که غلظت سرب در دو نمونه ۴ و ۵ به ترتیب با مقادیر ۵۱۳ و ۸۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار سرب را در بین نمونه‌های خاک برداشت شده از محدوده مورد مطالعه داشته‌اند که به شدت از حد مجاز روی (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در زمین‌های کشاورزی فراتر رفته است. این دو نمونه مربوط به زمین‌های کشاورزی خرفه و ذرت است که توسط آب کانال تصفیه‌شده جنوب تهران آبیاری شده‌اند.

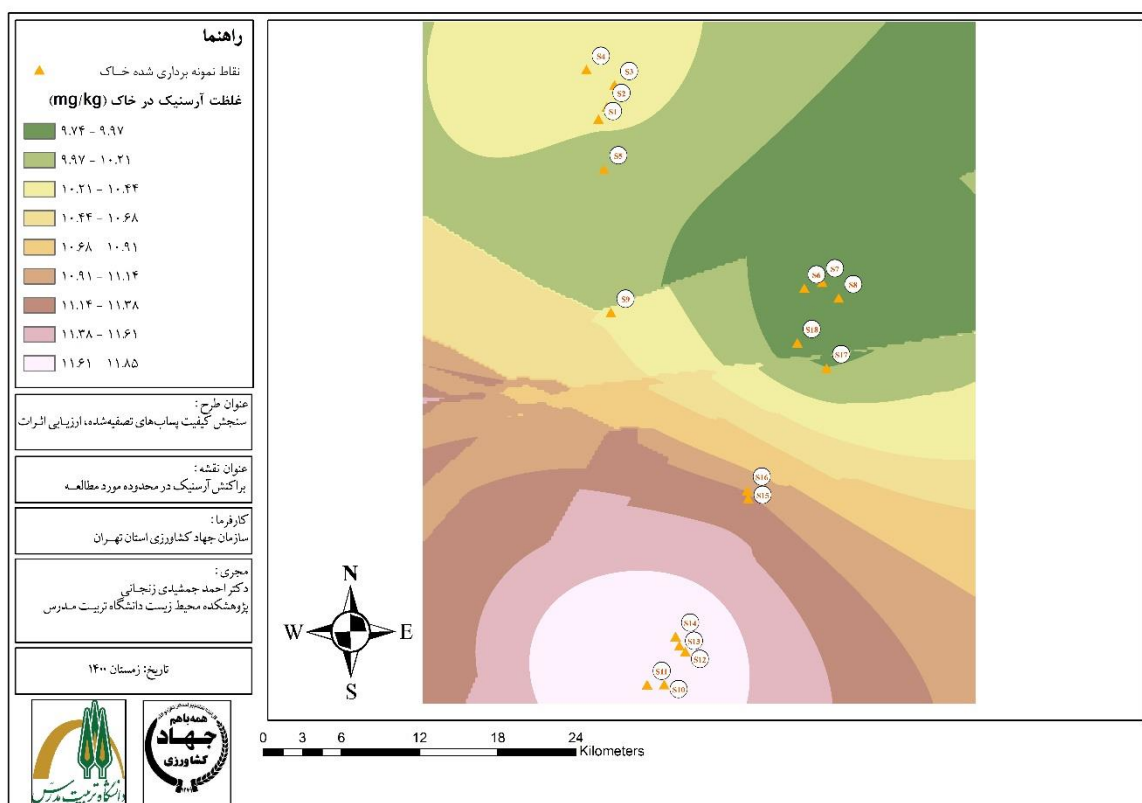


شکل ۴-۶۲. نتایج آنالیز روی موجود در نمونه‌های خاک

۴-۵- پهنه‌بندی توزیع و پراکنش عناصر موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش آرسنیک در محدوده مورد مطالعه که در شکل ۴-۶۳ ارائه شده است، نشان می‌دهد غلظت آرسنیک در بخش جنوبی محدوده یعنی مناطق شهرستان ورامین بیشتر از نواحی دیگر است. همچنین نواحی مربوط به شهرستان پاکدشت کمترین مقدار آرسنیک در خاک را نشان می‌دهد. زمین‌های کشاورزی موجود در منطقه قلعه‌نو و قرچک که حفاصل شهرستان‌های پاکدشت و ورامین قرار گرفته‌اند مقادیر متوسط آرسنیک را نشان می‌دهد.

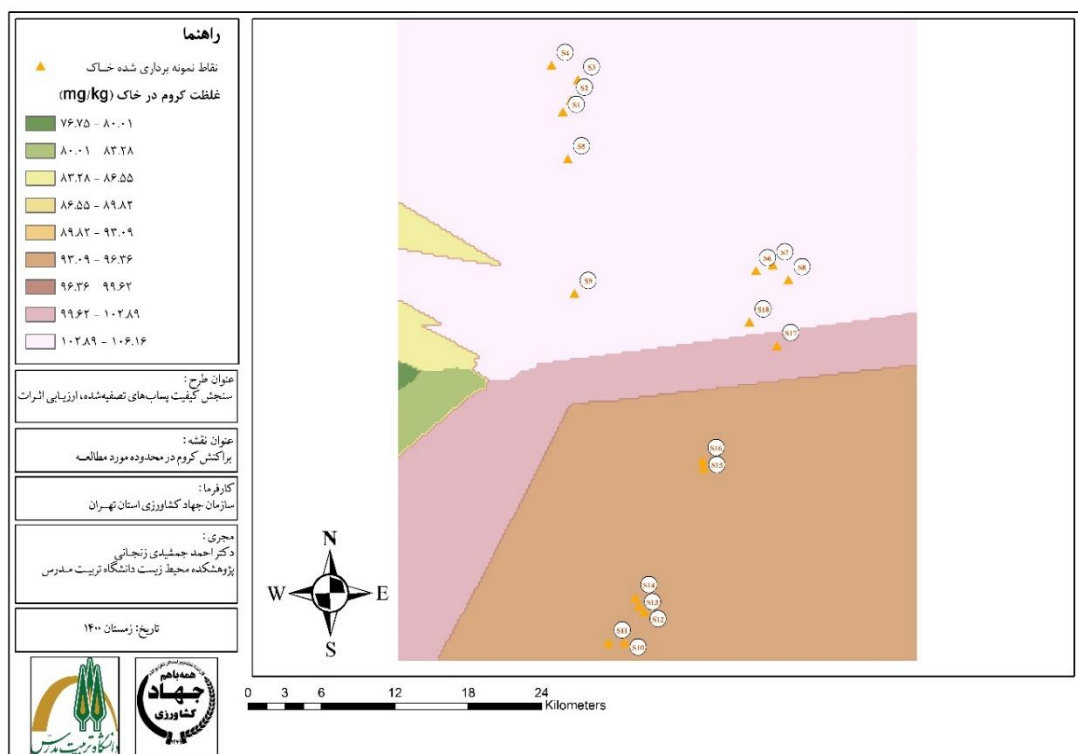
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



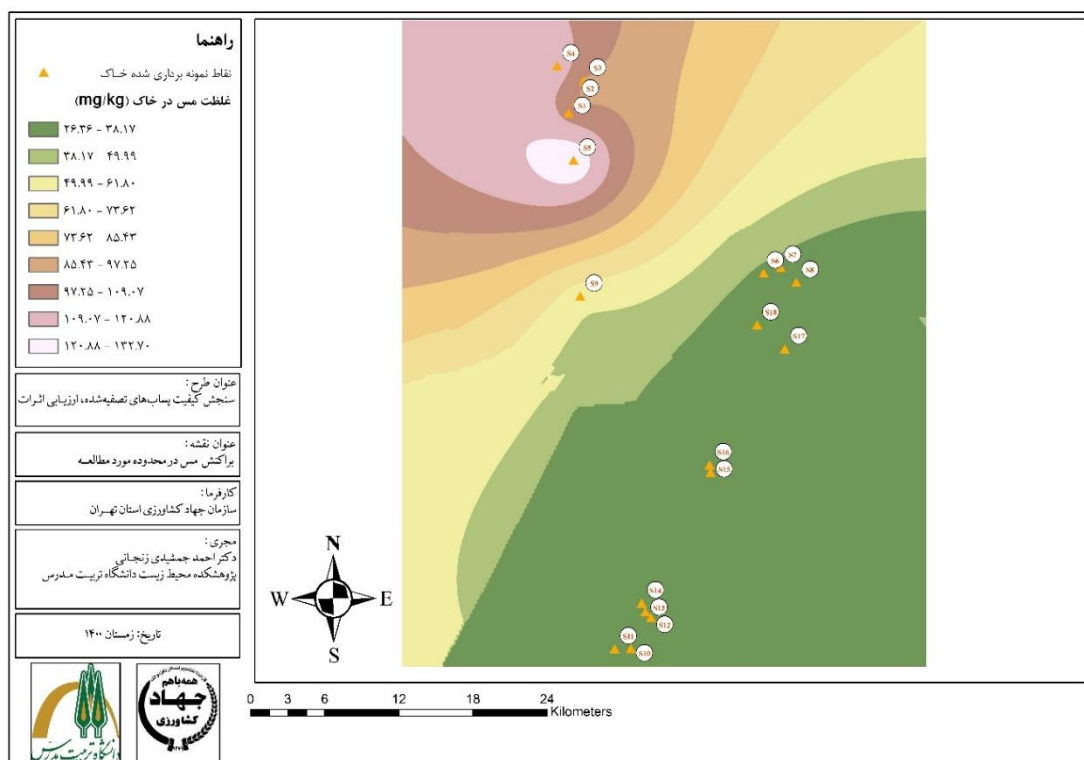
شکل ۴-۶۳. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش آرسنیک موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه
بررسی نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش کروم نیز مشخص کرد که غلظت کروم در مناطق کشاورزی
از قلعه‌نو گرفته تا پاکدشت، ورامین و پیشوا در گستره نزدیکی به همدیگر قرار دارند و توزیع یکسانی از
شمال تا جنوب برای این فلز وجود دارد (۴-۶۴).

نقشه پراکنش فلز مس در شکل ۴-۶۵ نشان داد که بیشترین غلظت مس مربوط به مناطق شمالی
محدوده مورد مطالعه یعنی اراضی قلعه‌نو است. مناطق مربوط به شهرستان‌های پاکدشت، ورامین و پیشوا
نیز مطابق شکل ... کمترین میزان غلظت مس را نشان می‌دهند.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

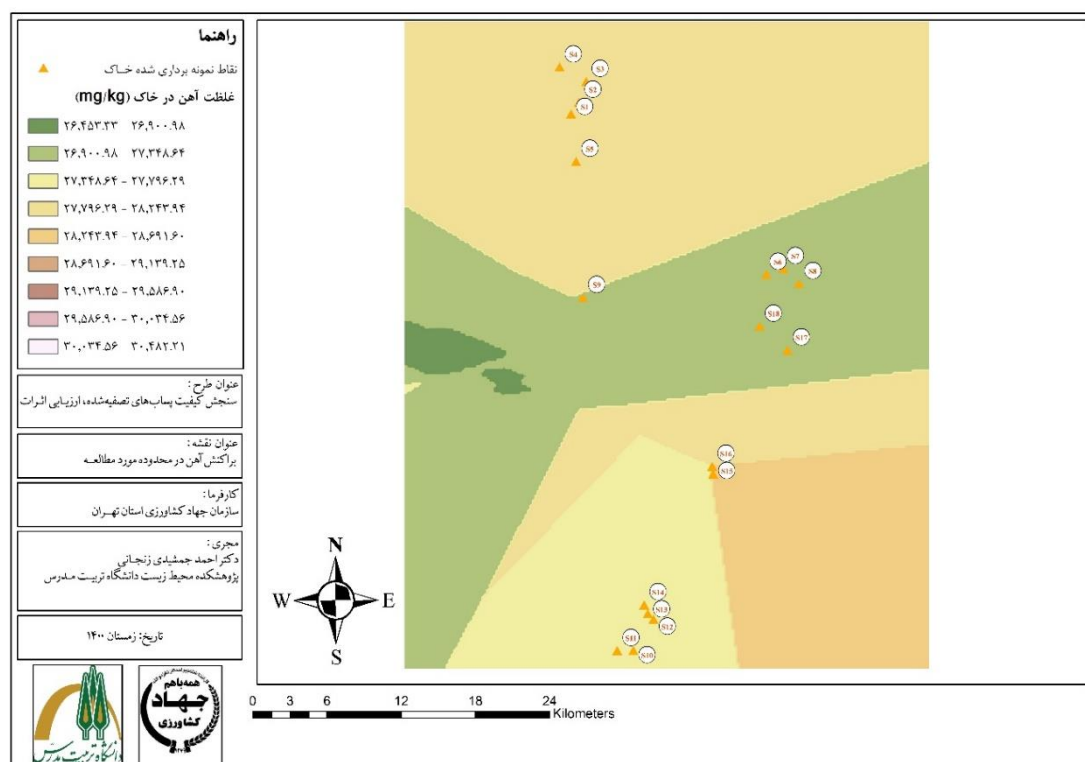


شکل ۴-۶۴. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش کروم موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۶۵. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش مس موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

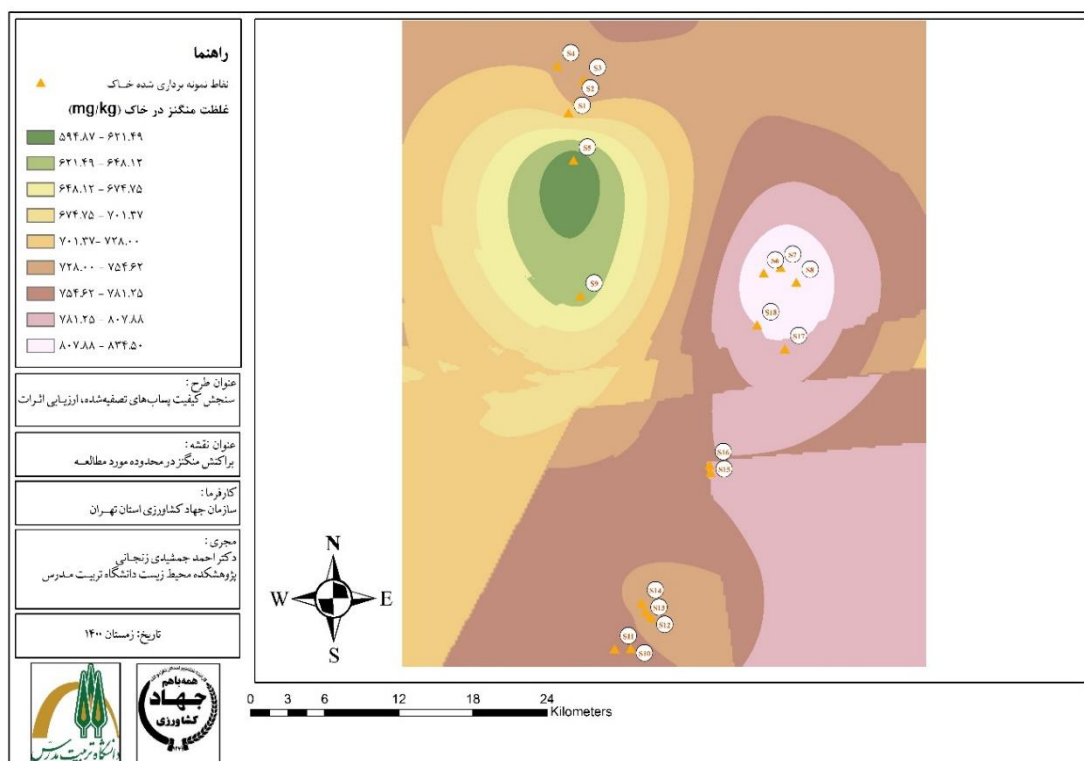
توزیع غلظت آهن در نمونه‌های خاک مطابق نقشه شکل ۴-۶۶ تقریباً یکسان بوده و در محدوده شهرستان پاکدشت به کمترین مقدار خود می‌رسد. مطابق نقشه شکل ۴-۶۶ مناطق شمالی (قلعه‌نو) و جنوبی (ورامین و پیشوا) پراکنش آهن یکسانی را نشان می‌دهند.



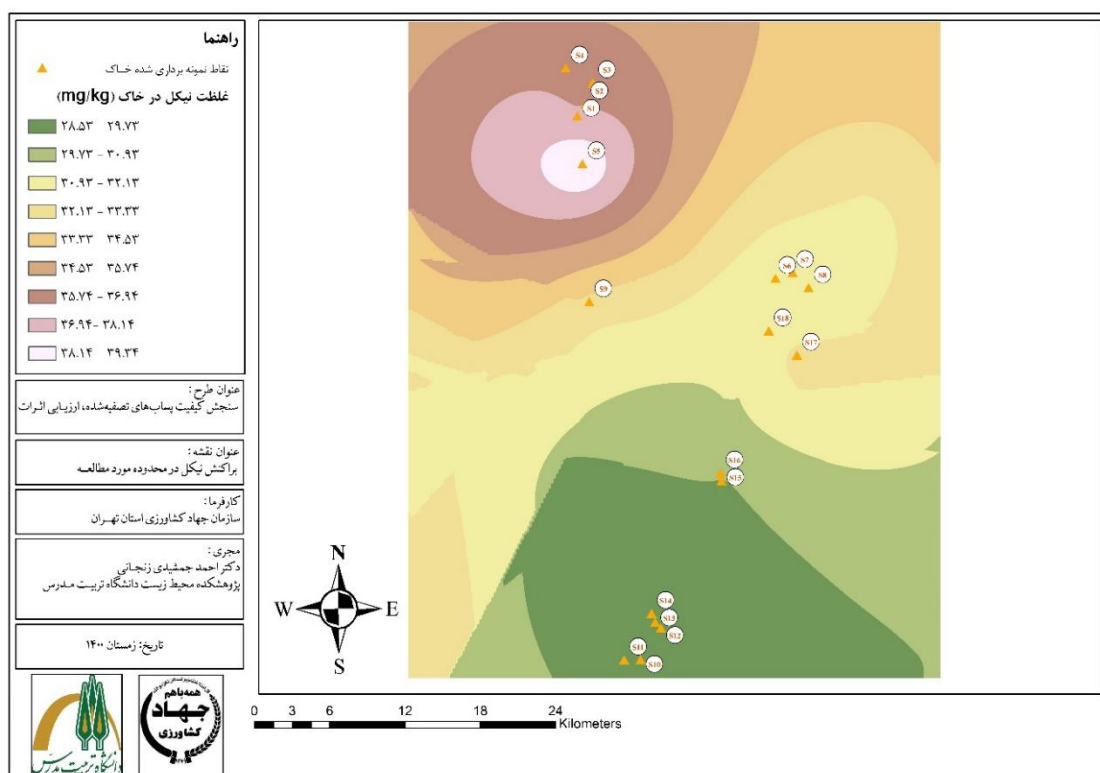
شکل ۴-۶۶. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش آهن در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه
بررسی نقشه شکل ۴-۶۷ که مربوط به توزیع و پراکنش منگنز در خاک محدوده مورد مطالعه است، نشان داد که منطقه شهرستان پاکدشت و پیشوا بیشترین مقدار منگنز را به خود اختصاص داده است. مناطق شمالی (قلعه‌نو) و جنوبی (ورامین) نیز توزیع یکسانی را نشان می‌دهد. کمترین مقدار منگنز در زمین‌های کشاورزی موجود در حدفاصل قلعه‌نو و قرچک (محدوده مابین نمونه شماره ۵ و ۹) قابل مشاهده است.

مطابق شکل ۴-۶۸ توزیع و پراکنش نیکل در بخش شمالی محدوده (قلعه‌نو) در بیشترین حالت قرار دارد در حالی که توزیع این فلز در محدوده جنوبی (ورامین و پیشوا) کمترین مقدار را نشان می‌دهد.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

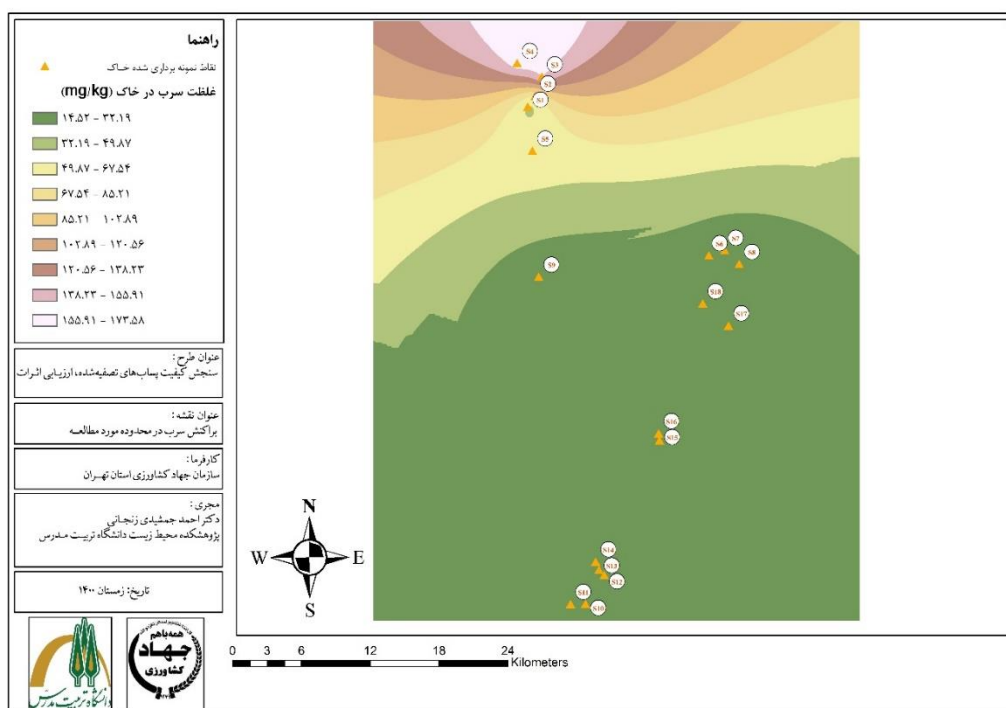


شکل ۴-۶۷. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش منگنز در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

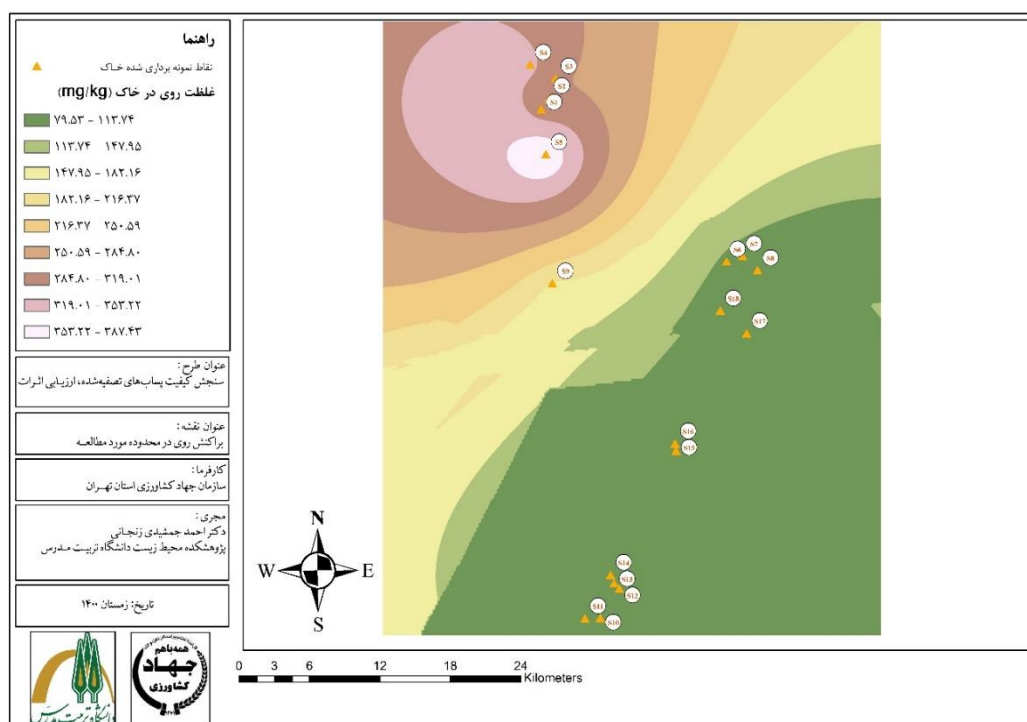


شکل ۴-۶۸. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش نیکل موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش سرب و روی نیز به ترتیب در شکل‌های ۴-۶۹ و ۴-۷۰ ارائه شده است که نشان می‌دهد بخش‌های شمالی محدوده (قلعه‌نو) بیشترین مقدار این فلزات را به خود اختصاص داده است. در صورتی که غلظت این فلزات در مناطق جنوبی و شرقی یعنی زمین‌های کشاورزی موجود در شهرستان‌های پاکدشت، ورامین و پیشوا در کمترین حالت خود نسبت به دیگر مناطق قرار دارد.



شکل ۴-۶۹. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش سرب موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه



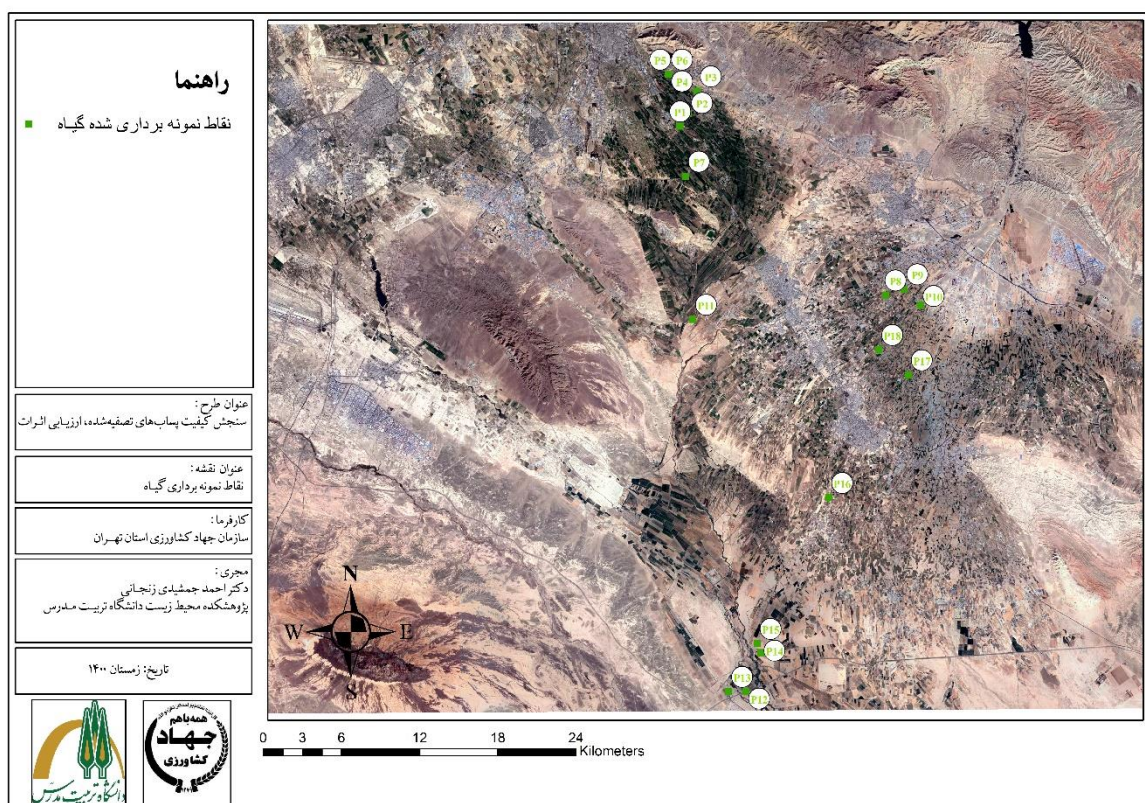
شکل ۴-۷۰. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش روی موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

۴-۶- نتایج آنالیز نمونه‌های گیاه

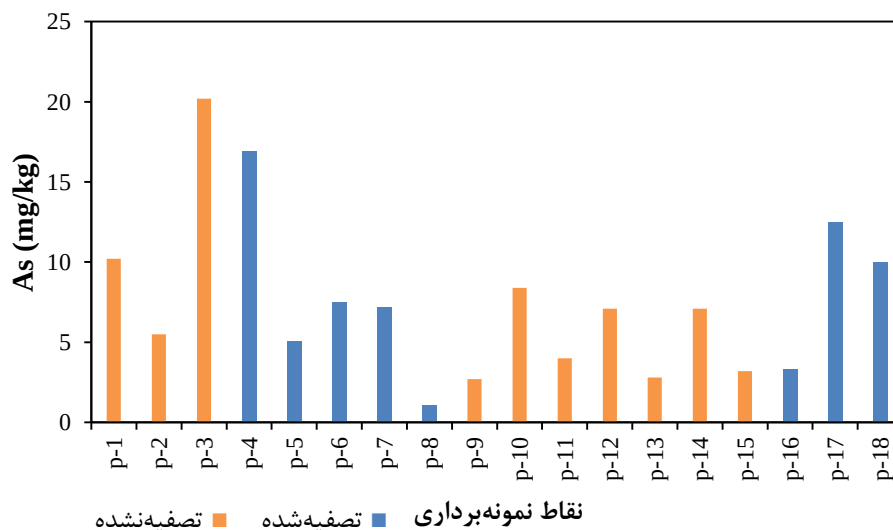
نقشه شکل ۴-۷۱ نقاط نمونه‌برداری گیاه را نشان می‌دهد. در این میان هفت نمونه از منطقه قلعه‌نو شهرستان ری، سه نمونه از محدوده شهرستان پاکدشت، یک نمونه قرچک، پنج نمونه ورامین و دو نمونه از محدوده شهرستان پیشوا برداشت شده است. در ادامه به بحث و بررسی نتایج آنالیز فلزات سنگین موجود در نمونه‌های گیاه در این ۱۸ نقطه پرداخته خواهد شد.

در شکل ۴-۷۲ نتایج آنالیز آرسنیک در نمونه‌های گیاه ارائه شده است. مطابق نتایج بدست آمده بیشترین مقدار آرسنیک موجود در گیاه (۲۰/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به نمونه شماره ۳ است. این نمونه مربوط به یک زمین کشاورزی ذرت بود که با استفاده از آب چاه موجود در منطقه قلعه‌نو آبیاری شده است. نمونه شماره ۴ نیز با مقدار ۱۶/۹ میلی گرم بر کیلوگرم یکی دیگر از نمونه‌هایی است که غلظت آرسنیک آن نسبت به دیگر نمونه‌ها بالاتر است. این نمونه از یک زمین کشاورزی خرفه که با آب کانال تصفیه شده آبیاری شده، برداشت شده است. نمونه‌های شماره ۱۷ و ۱ نیز به ترتیب حاوی ۱۲/۵ و ۱۰/۲ میلی گرم بر کیلوگرم آرسنیک بوده‌اند که نمونه ۱۷ از مزرعه ذرت آبیاری شده با پساب تصفیه شده و نمونه ۱ از مزرعه ذرت آبیاری شده با پساب تصفیه شده برداشت شده است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



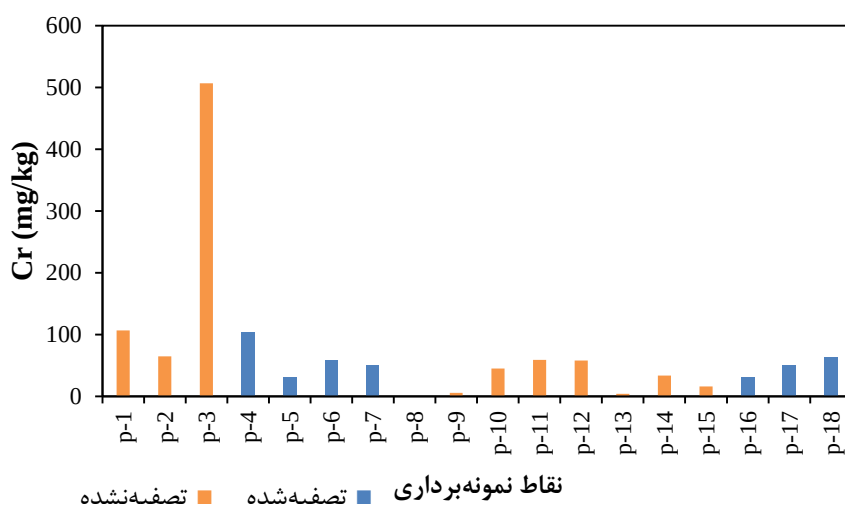
شکل ۴-۷۱. نقشه نقاط نمونه برداری گیاه در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۷۲. نتایج آنالیز آرسنیک در نمونه‌های گیاه

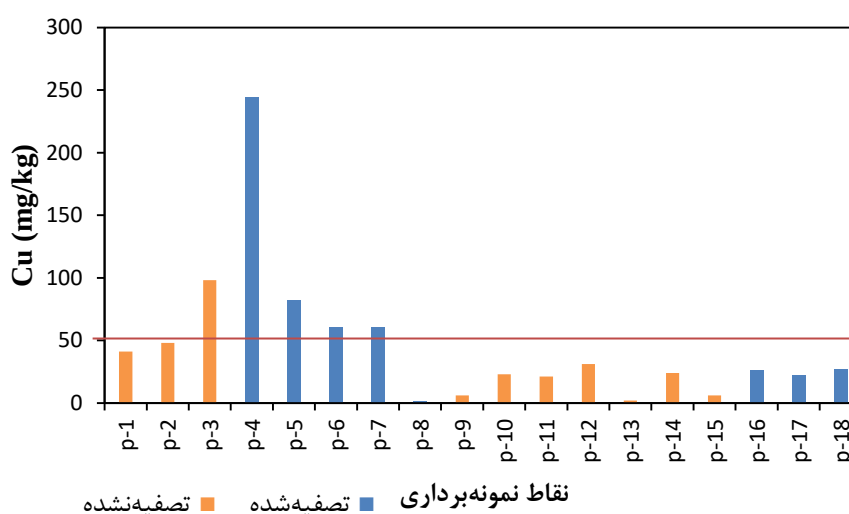
بررسی نتایج آنالیز کروم نمونه‌های گیاه مشخص کرد که نمونه شماره ۳ که مربوط به مزرعه ذرت آبیاری شده با آب تصفیه نشده است، حاوی ۵۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم کروم است که بیشترین غلظت کروم در بین نمونه‌های برداشت شده را دارد (شکل ۴-۷۳).

نمونه‌های شماره ۱ و ۴ نیز به ترتیب حاوی ۱۰۷ و ۱۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کروم بوده‌اند که به ترتیب از زمین‌های کشاورزی ذرت (آبیاری شده با آب تصفیه نشده) و خرفه (آبیاری شده با آب تصفیه شده) برداشت شده است.



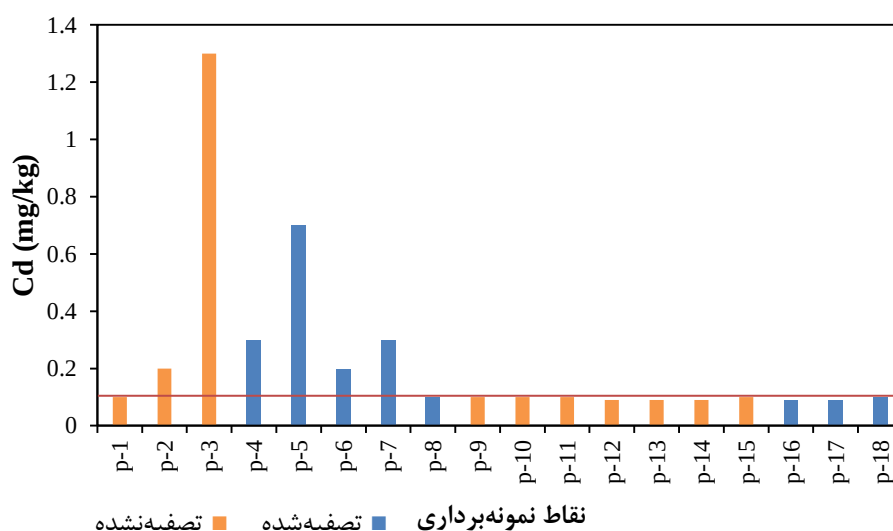
شکل ۴-۷۳. نتایج آنالیز کروم در نمونه‌های گیاه

مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۴-۷۴ مقدار مس موجود در نمونه‌های گیاه برداشت شده از محدوده مورد مطالعه در نقاط ۱ تا ۶ نسبت به سایر نقاط نمونه‌برداری شده بیشترین مقدار مس را دارند. به طوری که نمونه شماره ۴ با ۲۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار مس در بین نمونه‌های برداشت شده را دارد. این نمونه مربوط به گیاه خرفه آبیاری شده با آب تصفیه شده است.



شکل ۴-۷۴. نتایج آنالیز مس در نمونه‌های گیاه

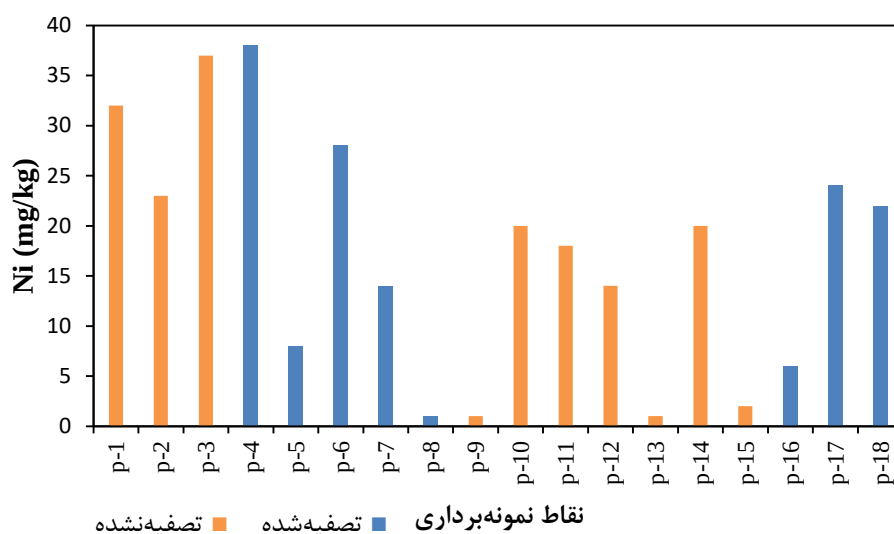
نتایج آنالیز کادمیم موجود در نمونه‌های گیاه نیز نشان داد که نمونه‌های ۲ الی ۷ بیشترین مقدار کادمیم در بین نمونه‌های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه را دارند (شکل ۴-۷۵). به طوری که نمونه شماره ۳ با مقدار $1/3$ میلی گرم بر کیلوگرم بیشتر مقدار کادمیم در بین سایر نمونه‌ها را دارد. تا به اینجا با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد نمونه‌های گیاه برداشت شده از منطقه قلعه‌نو نسبت به سایر مناطق از جمله پاکدشت، ورامین و پیشوا حاوی غلظت بالاتری از فلزات سنگین هستند که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی ورود برخی آلاینده‌ها به محیط آب و بطبع آن به ساختار گیاه است.



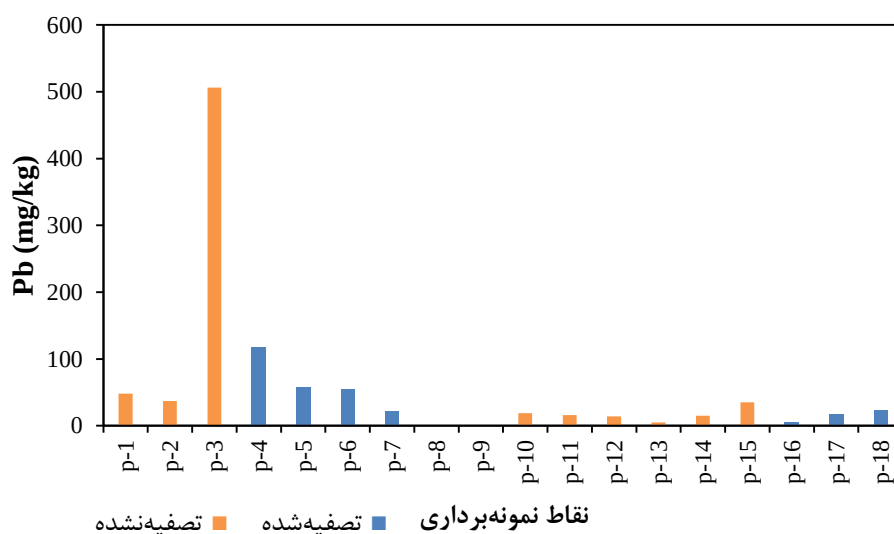
شکل ۴-۷۵. نتایج آنالیز کادمیم در نمونه‌های گیاه

بررسی نتایج ارائه شده در شکل ۴-۷۶ نشان داده که غلظت نیکل در نمونه‌های ۱، ۳، ۴ و ۶ نسبت به سایر نمونه‌های برداشت شده بالاتر است. به طوری که بیشترین غلظت نیکل مربوط به نمونه‌های ۴ و ۳ (به ترتیب ۳۸ و ۳۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بوده است. این نمونه‌ها از منطقه قلعه‌نو برداشت شده و به ترتیب مربوط به گیاه خرفه (آبیاری شده با آب تصفیه‌شده) و گیاه ذرت (آبیاری شده با آب تصفیه‌نشده) است.

بررسی غلظت سرب در نمونه‌های گیاه نشان داد که نمونه‌های ۳ و ۴ به ترتیب با مقادیر ۵۰۶ و ۱۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار سرب موجود در نمونه‌های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه را دارند (شکل ۴-۷۷).

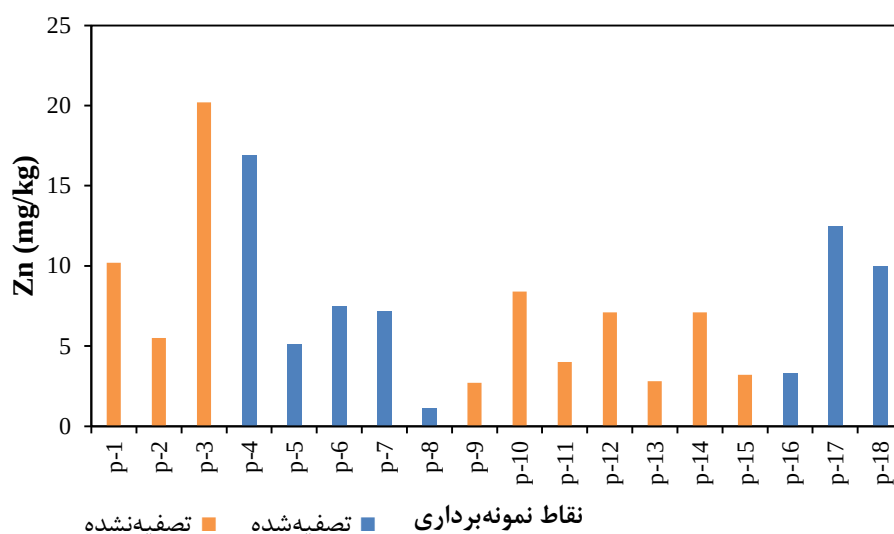


شکل ۴-۷۶. نتایج آنالیز نیکل در نمونه‌های گیاه



شکل ۴-۷۷. نتایج آنالیز سرب در نمونه‌های گیاه

نتایج بدست آمده از آنالیز روی موجود در نمونه‌های گیاه نیز نشان داد که ۷ نمونه برداشت شده از منطقه قلعه‌نو بیشترین مقدار روی در بین سایر نمونه‌ها را دارد (شکل ۴-۷۸). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که گیاهان موجود در منطقه قلعه‌نو نسبت به دیگر مناطق تحت پوشش این طرح (پاکدشت، قرچک، ورامین و پیشوا) حاوی غلظت بالاتر فلزات سنگین است.

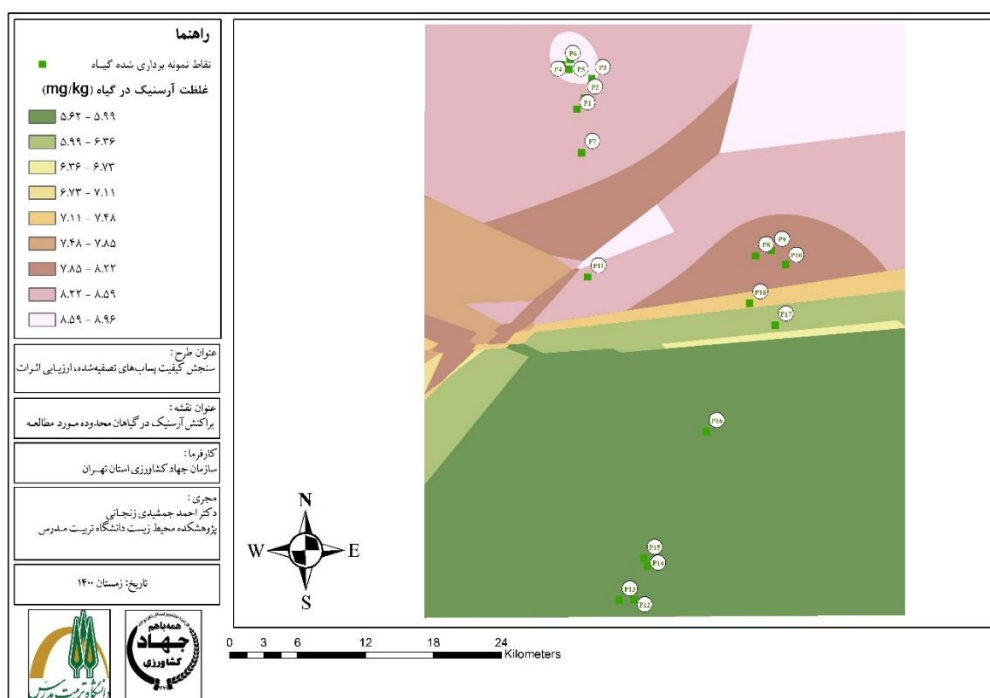


شکل ۴-۷۸. نتایج آنالیز روی در نمونه‌های گیاه

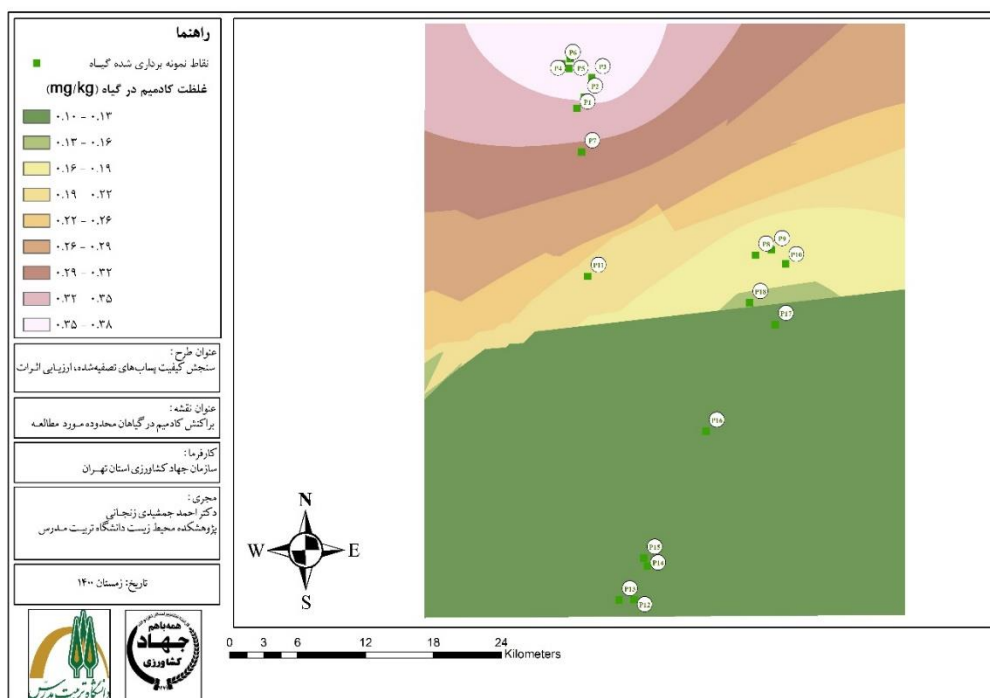
۴-۷- پهنه‌بندی توزیع و پراکنش عناصر موجود در گیاه در محدوده مورد مطالعه

بررسی پهنه‌بندی و پراکنش آرسنیک در گیاهان محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که غلظت آرسنیک در گیاهان مناطق بالادست (قلعه‌نو، قرچک و مناطق شمالی پاکدشت) نسبت به مناطق پایین‌دست (شهرستان ورامین، پیشوا و بخش جنوبی پاکدشت) بیشتر است (شکل ۴-۷۹). غلظت کادمیم نیز مطابق نقشه پراکنش شکل ۴-۸۰ در مناطق بالادست به ویژه در محدوده قلعه‌نو از غلظت بیشتری برخوردار است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

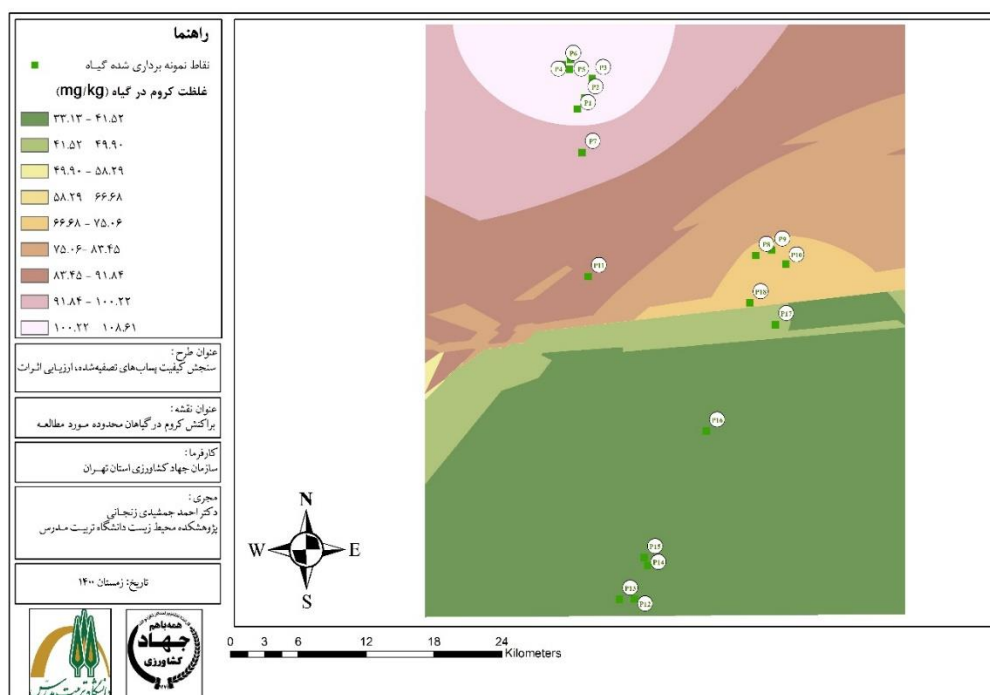


شکل ۴-۷۹. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش آرسنیک موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه

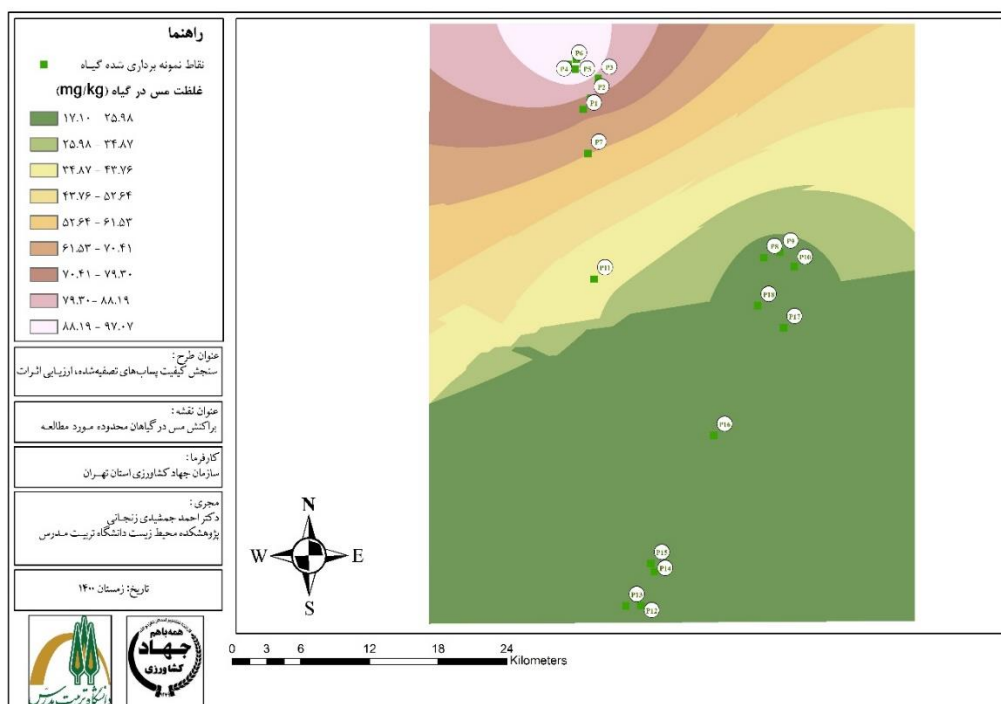


شکل ۴-۸۰. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش کادمیم موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه
توزیع و پراکنش کروم نیز مطابق نقشه شکل ۴-۸۱ در محدوده قلعه‌نو بیشتر از دیگر مناطق محدوده
مورد مطالعه است. به طوری که با حرکت به سمت مناطق جنوبی غلظت کروم در گیاهان کاهش می‌یابد.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



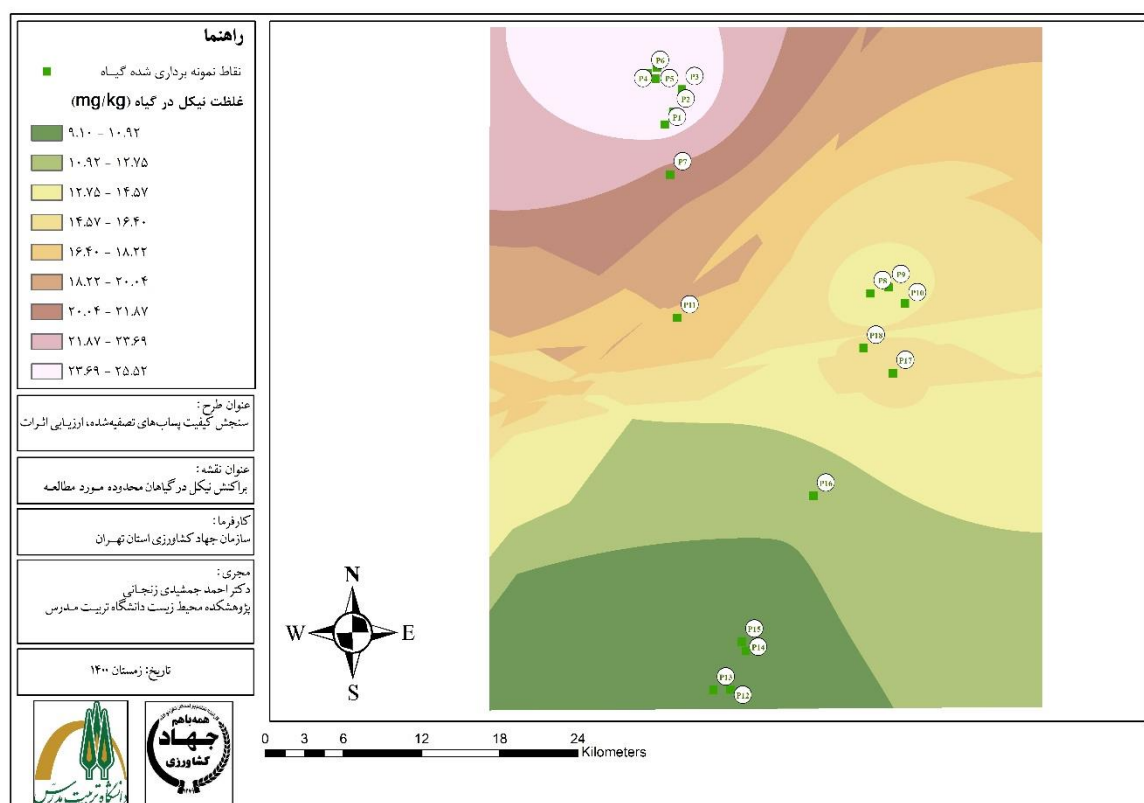
شکل ۴-۸۱. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش کروم موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۸۲. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش مس موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه

شکل ۴-۸۲ نیز که نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش مس را نشان می‌دهد، مشخص می‌کند که غلظت مس در گیاهان مناطق بالادست نسبت به گیاهان پایین‌دست بیشتر است و با حرکت به سمت جنوب محدوده از گسترده توزیع کاهش و یکنواخت‌تر می‌شود.

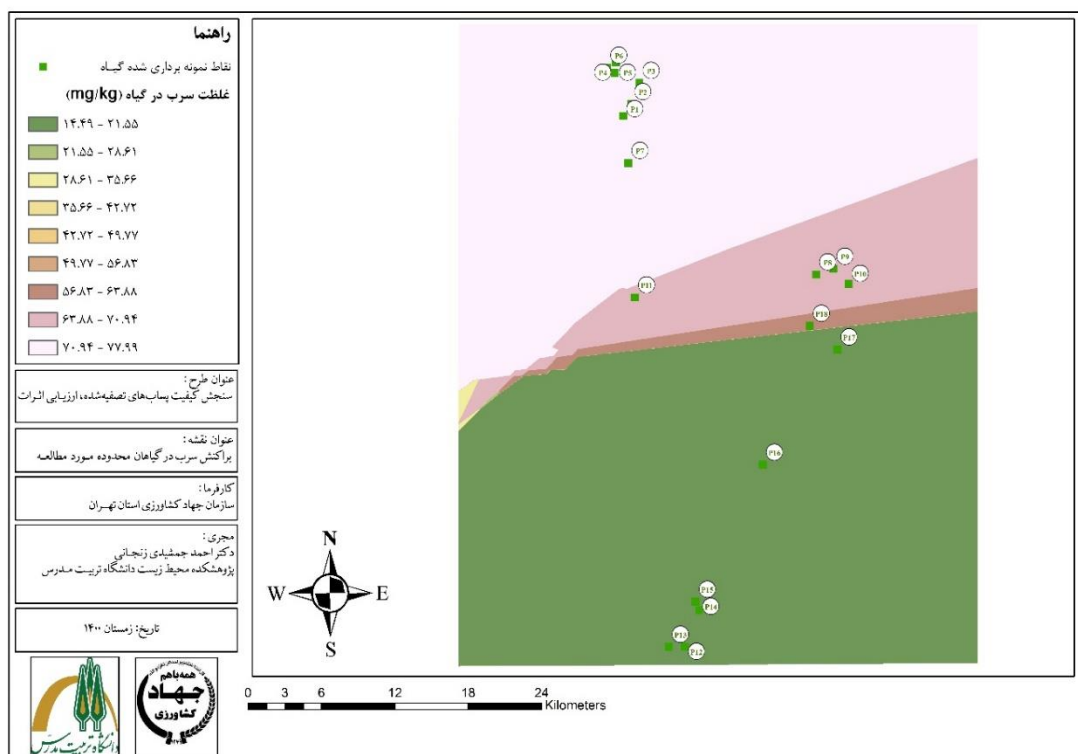
بررسی توزیع و پراکنش فلز نیکل نیز نشان می‌دهد در بخش شمالی محدوده مورد مطالعه (قلعه‌نو) غلظت این فلز در گیاهان بیشتر از دیگر مناطق است (۴-۸۳). غلظت نیکل در محدوده شهرستان‌های پاکدشت و قرچک نسبت به دیگر نقاط در حد متوسط قرار دارد و بخش‌های جنوبی (ورامین و پیشوا) از کمترین غلظت نیکل برخوردار هستند. با توجه به نقشه‌های پراکنش فلزات دیگر بنظر می‌رسد گیاهان بخش شمالی محدوده مورد مطالعه بیشتر در معرض این فلزات قرار گرفته‌اند به طوری که بیشترین غلظت را به خود اختصاص داده‌اند.



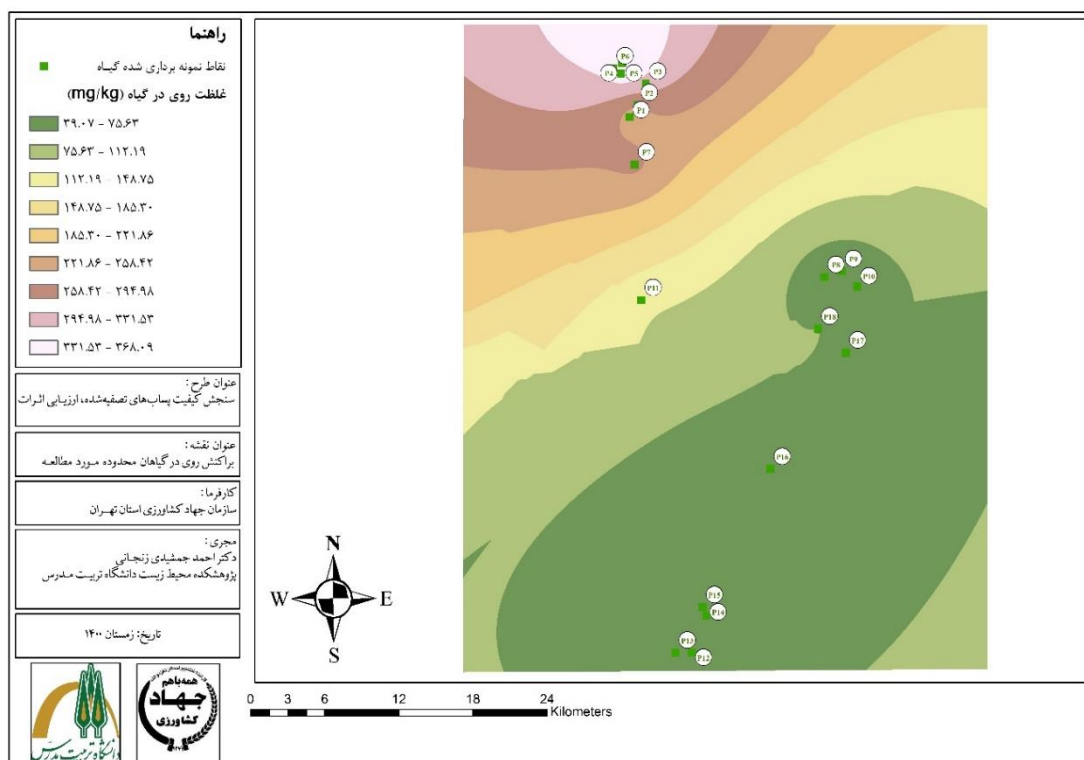
شکل ۴-۸۳. نقشه پراکنش نیکل موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه

بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی توزیع و پراکنش سرب و روی در شکل‌های ۴-۸۴ و ۴-۸۵ نیز تایید می‌کند که گیاهان در مناطق شمالی محدوده مورد مطالعه بیشتر در معرض فلزات سنگین قرار گرفته‌اند و غلظت بیشتری را نسبت به مناطق جنوبی محدوده نشان می‌دهند.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۸۴. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش سرب موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴-۸۵. نقشه پهنه‌بندی توزیع و پراکنش روی موجود در نمونه‌های گیاه در محدوده مورد مطالعه

۴-۸- نتایج آنالیز دسترسی زیستی فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه

۴-۸-۱- نتایج آنالیز استخراج متوالی

نتایج آنالیز استخراج متوالی فلزات سنگین ۹ نمونه خاک در جدول ۴-۴ ارائه شده است. بررسی دسترسی زیستی آرسنیک نشان داد که بیشتر نمونه‌ها بیش از ۲۵ درصد آرسنیک در فاز قابل مبادله و کربناته قرار دارد که جزء فازهای سست هستند. نمونه‌های شماره ۱، ۵، ۸، ۹ و ۱۶ بیشترین مقدار آرسنیک در پیوندهای سست را دارد (شکل ۴-۸۶). بررسی دسترسی زیستی کادمیم با استفاده از نتایج آزمون استخراج متوالی نیز مشخص کرد در تمامی موارد بیش از ۷۰ درصد کادمیم موجود در نمونه در پیوندهای سست (قابل مبادله و کربناته) قرار دارد که دسترسی زیستی بالای این فلز را نشان می‌دهد (۴-۸۷). نتایج استخراج متوالی برای فلز کبالت مشخص کرد که در بیشتر نمونه‌ها کمتر از ۲۰ کبالت موجود در خاک در پیوندهای سست حضور دارد و بخش وسیعی از آن در فاز آلی و باقی‌مانده قرار دارد که جزء پیوندهای سخت است (۴-۸۸).

کروم نیز همانند آرسنیک و کادمیم در بیشتر موارد بیش از ۴۰ درصد در فازهای قابل مبادله و کربناته حضور دارد که نشان از دسترسی زیستی بالای این عنصر است (۴-۸۹). بررسی نتایج استخراج متوالی مس نیز نشان داد که همانند آرسنیک، کروم و کادمیم بخش زیادی از این فلز (بیش از ۴۰ درصد) نیز در پیوندهای سست (فاز قابل مبادله و کربناته) قرار دارد که باعث می‌شود دسترسی زیستی این فلز بالا باشد (۴-۹۰).

در این میان مطابق نتایج بدست آمده بخش کمتری از فلز نیکل (کمتر از ۱۰ درصد) در پیوندهای سست حاضر و بطبع آن دسترسی زیستی این فلز نسبت به آرسنیک، کروم و کادمیم بسیار پایین است (۴-۹۱). نتایج نشان داد که دسترسی زیستی سرب بسیار بالا بوده و در برخی از موارد مجموع دو فاز قابل مبادله و کربناته به بیش از ۷۰ درصد می‌رسد (۴-۹۲).

بنظر می‌رسد فلز روی به جز در سه نمونه ۹، ۱۰ و ۱۷ در بقیه موارد کمتر از ۲۵ درصد در فازهای سست قرار دارد و بخش زیادی از این فلز در پیوندهای سخت قرار دارد (۴-۹۳). همین موضوع باعث می‌شود تا دسترسی زیستی این فلز نسبت به آرسنیک، کادمیم و کروم پایین باشد.

مطابق شکل ۴-۹۴ که مجموع فاز قابل مبادله و کربناته برای ۹ نمونه خاک را نشان می‌دهد، فلزات آرسنیک، کادمیم، کروم، مس و سرب بیشتر دسترسی زیستی را دارند و بدلیل پیوندهای سست احتمال انتشار آن به محیط بسیار زیاد است.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

جدول ۴-۴. نتایج آزمون استخراج متوالی فلزات سنگین ۹ نمونه خاک

باقیمانده	آلی	اکسید آهن و منگنز	کربناته	قابل مبادله	
(RS)	(OM)	(OX)	(CB)	(EX)	
As %					
۵۰/۱۱	۱/۹۱	۱/۰۶	۳۱/۹۱	۱۰/۶۴	S۰۱
۵۱/۹۱	۱۴/۵۵	۹/۰۹	۲/۳۶	۱۸/۱۸	S۰۳
۱۶/۲۰	۲۲/۴۷	۲۲/۴۷	۱۴/۶۱	۲۴/۷۲	S۰۵
۴۹/۹۰	۱۵/۸۴	۲۳/۷۶	۴/۹۵	۵/۵۴	S۰۷
۴۵/۱۷	۱۵/۲۲	۰/۶۵	۲۶/۰۹	۱۱/۹۶	S۰۸
۶۹/۶۹	۰/۳۵	۱/۷۷	۲۵/۶۶	۵/۸۴	S۰۹
۷۰/۲۱	۱/۳۶	۰/۱۹	۱۶/۳۱	۱۲/۶۲	S۱۰
۶۴/۳۴	۲/۷۷	۰/۴۳	۱۳/۸۳	۱۵/۹۶	S۱۶
۷۳/۴۳	۲/۹۵	۰/۲۳	۱۱/۶۱	۱۲/۵۰	S۱۷
Cd %					
۱/۲۴	۴/۳۳	۲۱/۶۷	۳۳/۸۰	۳۹/۰۰	S۰۱
۴/۲۹	۵/۷۸	۱۴/۴۴	۳۴/۶۷	۴۰/۴۴	S۰۳
۱۱/۱۸	۹/۲۹	۱۳/۰۰	۳۲/۰۴	۳۴/۸۲	S۰۵
۷/۵۲	۱۰/۸۳	۸/۱۳	۳۵/۲۱	۳۷/۹۲	S۰۷
۵/۲۳	۱۶/۲۵	۵/۹۶	۳۳/۵۸	۳۸/۴۶	S۰۸
۲/۳۷	۵/۴۲	۵/۴۲	۳۷/۹۲	۴۸/۷۵	S۰۹
۲/۴۷	۹/۶۳	۱۹/۲۶	۲۹/۸۵	۳۸/۵۲	S۱۰
۰/۹۹	۱۴/۰۰	۱۰/۰۰	۳۰/۰۰	۴۵/۰۰	S۱۶
۶/۶۳	۵/۰۰	۲۲/۵۰	۳۱/۰۰	۳۵/۰۰	S۱۷
Co %					
۶۳/۷۹	۵/۷۱	۲۱/۴۳	۳/۵۷	۱/۴۳	S۰۱
۳۵/۸۰	۳/۲۵	۵۲/۰۳	۵/۲۰	۲/۶۰	S۰۳
۴۵/۷۴	۶/۸۶	۲۸/۵۷	۱۱/۴۳	۳/۴۳	S۰۵
۱۴/۵۱	۵۲/۷۵	۲۶/۳۷	۳/۵۲	۱/۷۶	S۰۷
۳۳/۵۳	۲۳/۵۳	۲۳/۵۳	۱۷/۲۵	۳/۱۴	S۰۸
۱۸/۷۷	۷/۵۸	۶۷/۳۷	۳/۳۷	۲/۵۳	S۰۹
۵۵/۸۱	۷/۲۱	۱۴/۴۱	۷/۲۱	۱۸/۰۲	S۱۰
۷۱/۹۲	۴/۶۶	۴/۶۶	۳/۸۸	۷/۷۷	S۱۶
۵۳/۱۱	۲/۴۵	۳۲/۶۵	۴/۹۰	۱/۶۳	S۱۷
Cr %					
۲۳/۶۴	۶/۸۱	۳۳/۰۶	۲۳/۳۳	۲۴/۲۱	S۰۱
۳۷/۱۴	۶/۹۰	۹/۸۶	۲۳/۶۶	۲۶/۰۳	S۰۳
۴۸/۹۱	۳/۶۴	۳/۴۹	۱۹/۴۳	۲۲/۶۳	S۰۵

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این
پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

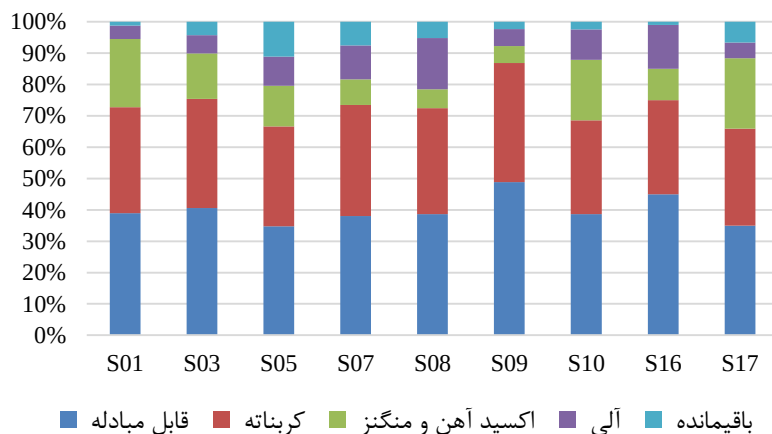
۳۰/۱۵	۲۴/۸۴	۷/۷۲	۲۱/۸۸	۲۲/۲۲	S۰۷
۴۱/۸۳	۱۱/۶۷	۹/۳۳	۲۲/۹۶	۲۲/۸۹	S۰۸
۳۶/۹۹	۸/۴۵	۸/۱۶	۲۴/۶۲	۲۸/۹۷	S۰۹
۲۸/۱۳	۱۸/۳۱	۹/۲۱	۲۵/۵۲	۲۵/۶۸	S۱۰
۲۴/۹۲	۱۴/۲۲	۱۵/۳۱	۲۹/۵۳	۲۲/۹۷	S۱۶
۴۰/۶۴	۶/۱۶	۷/۴۸	۲۳/۷۷	۲۸/۱۳	S۱۷
Cu %					
۲۱/۹۱	۱/۱۸	۲۳/۵۳	۲۶/۱۵	۲۸/۲۷	S۰۱
۱۹/۷۰	۱/۷۵	۸/۷۷	۳۶/۳۷	۳۳/۲۱	S۰۳
۳۰/۹۶	۵/۳۶	۵/۳۶	۲۹/۲۱	۳۰/۰۱	S۰۵
۱۸/۹۲	۳۵/۰۰	۱/۲۵	۲۱/۳۸	۲۲/۸۸	S۰۷
۳۳/۰۲	۱۶/۶۷	۸/۳۳	۱۱/۸۸	۳۱/۳۸	S۰۸
۱۲/۷۱	۲/۰۸	۴/۱۷	۲۶/۳۸	۵۴/۰۰	S۰۹
۵۱/۴۳	۹/۰۹	۳/۰۳	۱۸/۲۷	۱۹/۱۸	S۱۰
۳۷/۱۰	۲/۳۳	۲/۳۳	۳۶/۰۰	۲۴/۰۰	S۱۶
۹/۱۴	۴/۱۷	۴/۱۷	۵۲/۷۵	۲۸/۸۸	S۱۷
Ni %					
۴۶/۰۶	۳/۰۳	۳۶/۳۶	۶/۰۶	۶/۰۶	S۰۱
۶۲/۵۰	۵/۸۸	۱۴/۷۱	۲/۹۴	۲/۹۴	S۰۳
۸۰/۴۴	۸/۳۳	۲/۰۸	۴/۱۷	۴/۱۷	S۰۵
۳۵/۳۴	۵۱/۷۲	۰/۶۹	۱/۰۳	۳/۴۵	S۰۷
۸۵/۴۸	۶/۴۵	۳/۲۳	۳/۲۳	۱/۶۱	S۰۸
۶۵/۰۷	۳/۳۳	۱/۳۳	۱/۶۷	۱۳/۳۳	S۰۹
۷۴/۱۰	۶/۹۰	۱/۰۳	۳/۴۵	۳/۴۵	S۱۰
۶۶/۸۶	۲/۸۶	۲/۸۶	۲/۸۶	۵/۷۱	S۱۶
۹۴/۱۶	۲/۷۰	۲/۷۰	۱/۳۵	۲/۷۰	S۱۷
Pb %					
۴۰/۱۸	۰/۵۱	۵/۱۱	۲۷/۲۳	۲۴/۸۵	S۰۱
۴۳/۴۲	۰/۰۴	۰/۲۳	۳۴/۲۹	۲۲/۰۳	S۰۳
۲۷/۹۰	۰/۳۸	۴/۱۳	۳۷/۵۰	۲۸/۰۰	S۰۵
۵۵/۳۹	۸/۰۰	۱/۳۳	۱۳/۳۳	۱۷/۷۸	S۰۷
۳۳/۹۸	۲۸/۰۰	۵/۶۰	۱۴/۹۳	۱۴/۹۳	S۰۸
۶۳/۲۴	۲/۲۹	۱/۷۱	۱۹/۰۵	۱۳/۷۱	S۰۹
۱۵/۶۴	۲/۶۷	۲/۰۰	۳۵/۵۶	۴۴/۴۴	S۱۰
۱۸/۷۰	۱/۳۳	۰/۳۳	۳۵/۵۶	۴۴/۴۴	S۱۶
۵۹/۴۹	۱/۶۰	۰/۸۰	۱۴/۹۳	۲۱/۳۳	S۱۷
Zn %					
۲۰/۹۶	۲۰/۶۳	۴۶/۵۱	۵/۴۰	۴/۹۲	S۰۱
۷۱/۳۴	۹/۰۹	۲/۶۱	۶/۸۲	۴/۷۷	S۰۳

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

۵۴/۲۶	۲۴/۳۰	۸/۸۹	۵/۸۸	۱/۹۴	S۰۵
۵۳/۱۸	۱۳/۲۴	۵/۶۳	۶/۷۶	۱۷/۱۸	S۰۷
۱۴/۶۴	۴۳/۰۴	۲۷/۸۵	۹/۱۱	۵/۰۶	S۰۸
۳۸/۷۸	۵/۳۳	۱۸/۶۷	۱۳/۳۳	۲۴/۲۷	S۰۹
۲۴/۵۳	۲۵/۳۲	۱۷/۷۲	۲۰/۲۵	۱۲/۶۶	S۱۰
۵۹/۶۶	۱۶/۲۸	۱۱/۶۳	۸/۸۴	۴/۱۹	S۱۶
۴۷/۴۷	۱۲/۸۲	۱۳/۰۸	۱۵/۳۸	۱۰/۷۷	S۱۷

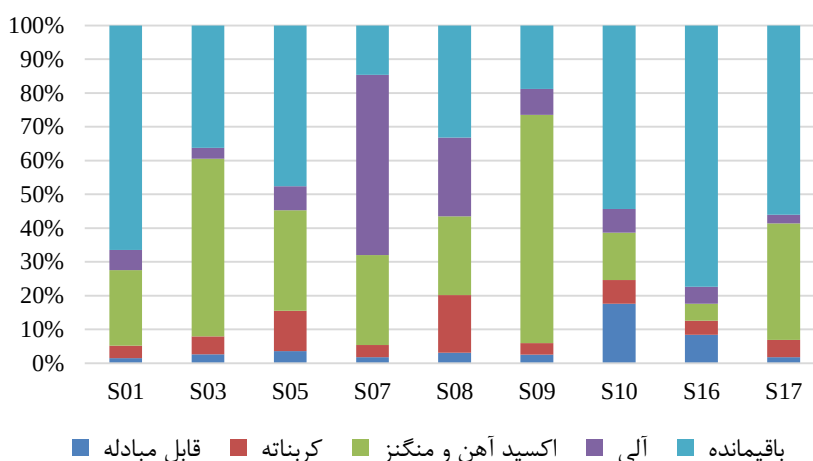


شکل ۴-۸۶. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای آرسنیک

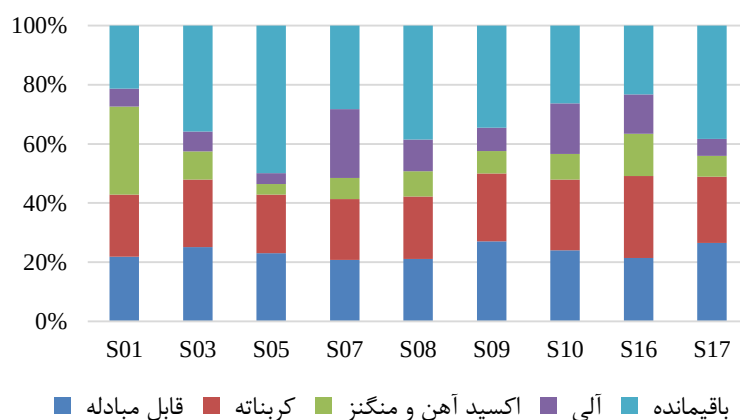


شکل ۴-۸۷. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای کادمیم

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۸۸. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای کبالت

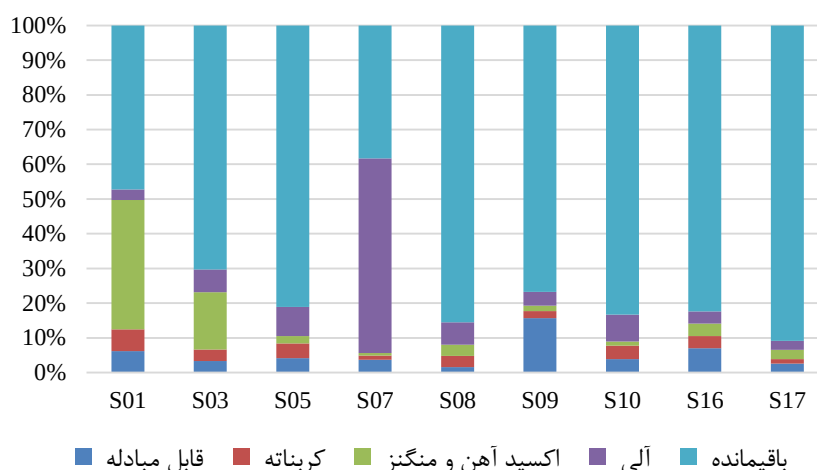


شکل ۴-۸۹. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای کروم

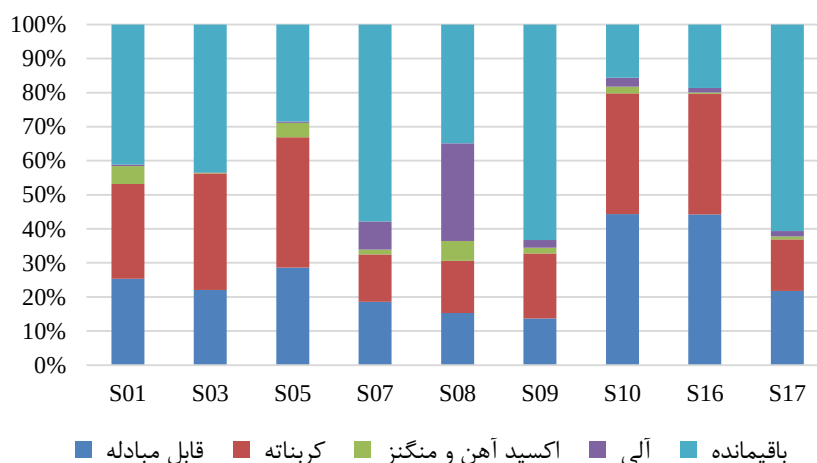


شکل ۴-۹۰. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای مس

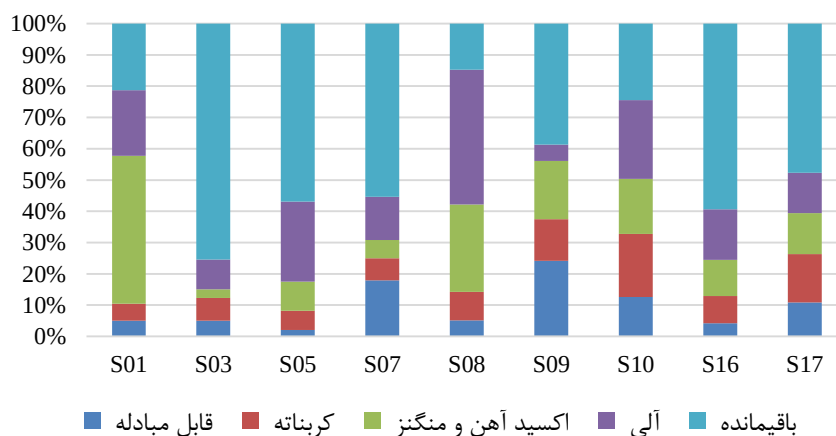
سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



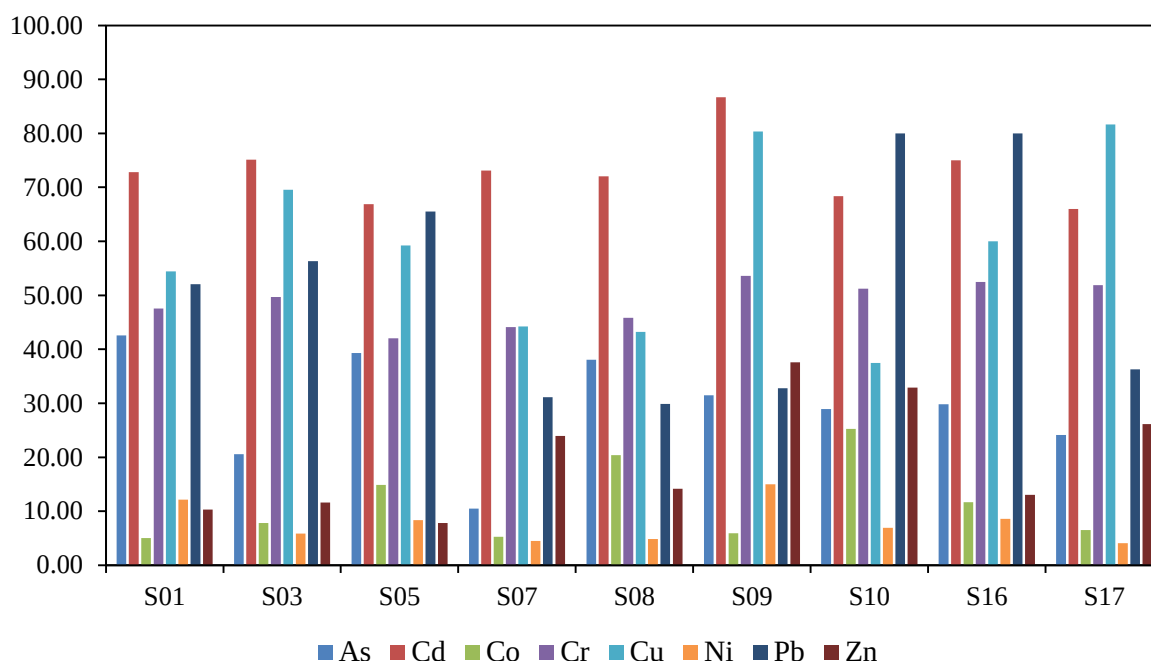
شکل ۴-۹۱. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای نیکل



شکل ۴-۹۲. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای سرب



شکل ۴-۹۳. درصد فازهای مختلف آزمون استخراج متوالی برای روی



شکل ۴-۹۴. نمودار مجموع فاز قابل مبادله و کربناته برای ۹ نمونه خاک

۴-۸-۲- تعیین غلظت دسترس‌پذیری زیستی فلزات سنگین برای گیاهان

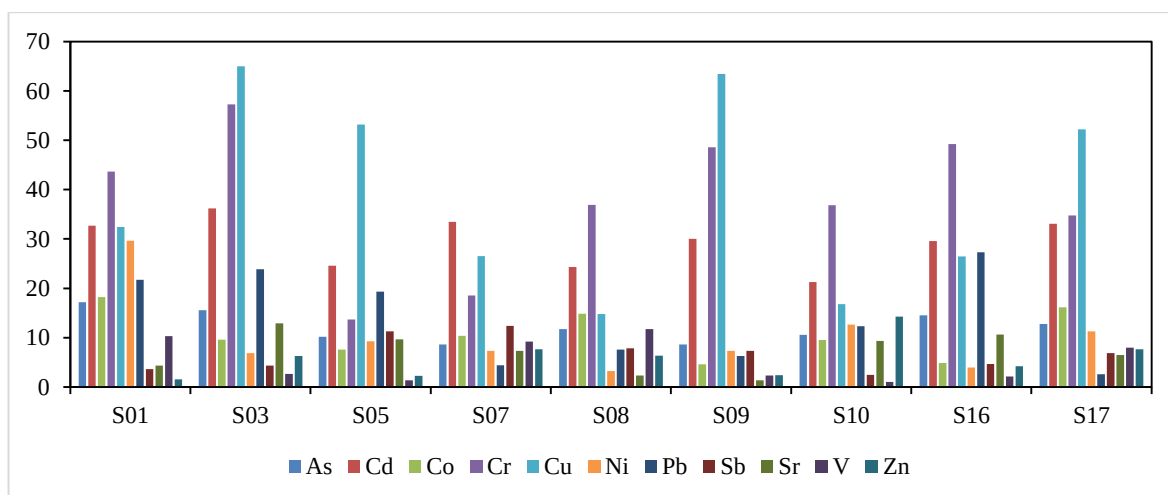
برای بررسی دسترس‌پذیری زیستی فلزات سنگین توسط گیاهان از شبیه‌سازی این عمل به کمک استخراج کننده EDTA استفاده شد. در روش استخراج تک مرحله‌ای توسط استخراج کننده اتیلن‌دی‌آمین‌تترااستیک اسید، فلزات سنگین شبیه به آنچه که توسط گیاه جذب خواهند شد، جذب می‌شوند. عامل مهم در جدا شدن فلزات سنگین از فاز اولیه خود نظیر کربناته، هیدروکسید و آلی، pH اسیدی EDTA است. برای این منظور ۹ نمونه خاک ۱، ۳، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۶ و ۱۷ انتخاب شدند. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی که در جدول ۴-۵ نشان داده شده است، بیشترین میزان استخراج آرسنیک ۱۷/۲ درصد بوده است که در نمونه ۱ اتفاق افتاد. در مورد فلز کادمیم نیز در محدوده ۲۰-۴۰٪ انحلال فلزات سنگین صورت گرفت که بیشترین میزان آن ۳۶/۱۸ به دست آمد. کبالت به نسبت به دو فلز قبلی انحلال کمتری از خود نشان داد که بیشترین میزان آن ۱۸/۲ درصد بود. مس بیشتر از سایر فلزات توسط استخراج کننده EDTA از فاز جامد وارد فاز محلول شد. بدین ترتیب که در نمونه S۰۳ میزان ۶۴/۹۸٪ و در نمونه S۰۹ به میزان ۶۳/۴۲٪ صورت گرفت. نیکل در نمونه S۰۱ به میزان ۲۹/۶۵٪ وارد فاز محلول شد. سرب تا ۲۷/۳۱٪ به کمک استخراج کننده EDTA از فاز اولیه خود خارج شد. آنتیموان و استراسیوم و وانادیوم از فلزات سنگینی بودند که کمتر وارد فاز محلول شدند. حداکثر میزان

انتقال این سه فلز به فاز محلول به ترتیب ۱۲/۳۶، ۱۲/۹ و ۱۱/۷۴ مشاهده شد. و فلز روی نیز فعالیت کمی از خود نشان داد به طوری که از میزان ۱/۵۸٪ در نمونه ۱ تا ۱۴/۲۶٪ در نمونه ۱۰ وارد فاز محلول شد.

جدول ۴-۵. نتایج حاصل از استخراج کننده‌های تک‌مرحله‌ای به کمک EDTA در ۹ ایستگاه نمونه‌برداری

Zn	V	Sr	Sb	Pb	Ni	Cu	Cr	Co	Cd	As	
۱/۵۸	۱۰/۳	۴/۳۶	۳/۶۵	۲۱/۷۴	۲۹/۶۵	۳۲/۴۵	۴۳/۶۴	۱۸/۲	۳۲/۶۹	۱۷/۲۱	S۰۱
۶/۳۲	۲/۶۷	۱۲/۹	۴/۳۶	۲۳/۸۹	۶/۸۷	۶۴/۹۸	۵۷/۲۵	۹/۶	۳۶/۱۸	۱۵/۶	S۰۳
۲/۳	۱/۳۶	۹/۶۸	۱۱/۲۸	۱۹/۳۵	۹/۳۱	۵۳/۲	۱۳/۶۸	۷/۶	۲۴/۵۸	۱۰/۲	S۰۵
۷/۶۸	۹/۲۱	۷/۳	۱۲/۳۶	۴/۴	۷/۳۱	۲۶/۵	۱۸/۵۶	۱۰/۳۶	۳۳/۵	۸/۶	S۰۷
۶/۳۷	۱۱/۷۴	۲/۳۶	۷/۸۷	۷/۶	۳/۲۵	۱۴/۸	۳۶/۹	۱۴/۸۷	۲۴/۳	۱۱/۷۲	S۰۸
۲/۳۹	۲/۳۶	۱/۳۹	۷/۳۶	۶/۳۲	۷/۳	۶۳/۴۲	۴۸/۶	۴/۶	۳۰/۰.۲	۸/۶	S۰۹
۱۴/۲۶	۱/۰.۷	۹/۳۵	۲/۴۷	۱۲/۳	۱۲/۶۸	۱۶/۸	۳۶/۸۷	۹/۵۴	۲۱/۳	۱۰/۵۶	S۱۰
۴/۲۵	۲/۱۴	۱۰/۶۵	۴/۶۹	۲۷/۳۱	۳/۹۴	۲۶/۴۸	۴۹/۲	۴/۹	۲۹/۶	۱۴/۵۲	S۱۶
۷/۶۸	۷/۹۸	۶/۴۹	۶/۸۷	۲/۵۸	۱۱/۳۲	۵۲/۱۹	۳۴/۷۹	۱۶/۱۴	۳۳/۱	۱۲/۸	S۱۷

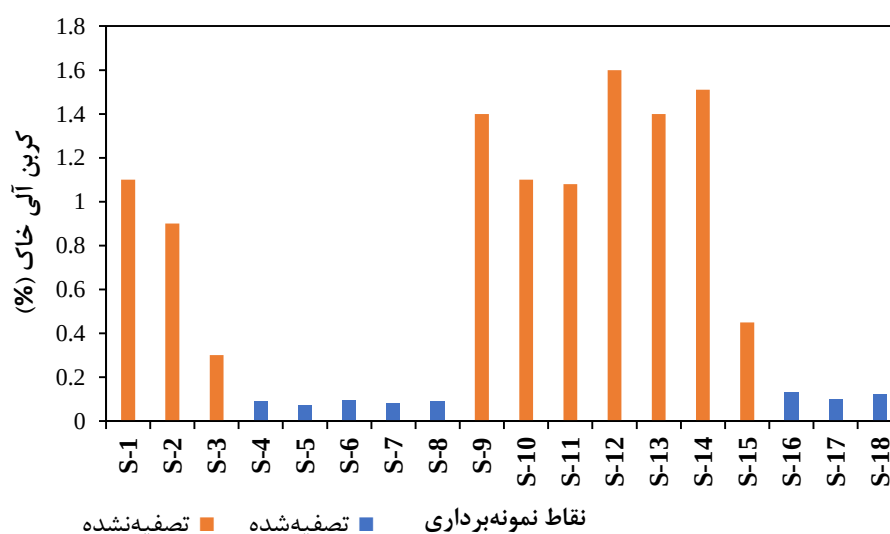
همانطور که در شکل ۴-۹۵ مشاهده می‌شود، فلزات سنگین مس و کروم از فعال ترین فلزات سنگین بودند و در این زمینه از فلزاتی همچون روی، آنتیموان، کبالت و آرسنیک انتقال بیشتری به فاز محلول داشتند. همچنین مشاهده شد که فلزات مس و کروم بیش از ۶۰٪ نیز از فاز اولیه خود جدا شده و وارد فاز محلول شدند.



شکل ۴-۹۵. نمودار وضعیت دسترسی زیستی فلزات سنگین با EDTA برای ۹ نمونه

۹-۴- نتایج آنالیز کربن آلی موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

بر اساس نتایج حاصل از بررسی کربن آلی در خاک، بیشترین میزان کربن آلی متعلق به نمونه‌های خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه‌نشده بود. به طوری که میانگین کربن آلی خاک ۰/۶۵ و در خاک آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌نشده ۱/۰۸ و در خاک آبیاری شده توسط پساب ۰/۰۹ بود. بدین ترتیب استفاده از فاضلاب تصفیه‌نشده تاثیر قابل توجهی بر میزان کربن آلی موجود در خاک داشت.



شکل ۹-۴. نتایج آنالیز کربن آلی موجود در نمونه‌های خاک در محدوده مورد مطالعه

۱۰-۴- نتایج حاصل از جدول ضریب همبستگی

از آنجایی که ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است، برای بررسی روابط بین فلزات سنگین می‌توان از آن بهره گرفت. ضریب همبستگی بالا بین دو فلز، نشان از منبع یکسان و رفتار شیمیایی همسان آن‌ها است. البته این بدین معنا نیست که بتواند شواهدی برای تعیین رابطه بین متغیرها باشد. در جدول ۴-۶ ضریب همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده (غلظت) آمده است. بر همین اساس روی همبستگی بالایی با نقره، کادمیم و مس و نیکل از خود نشان می‌دهد. همچنین سرب نیز با مس و کادمیم دارای همبستگی بالایی است. عنصر مس با نقره و کادمیم و نیز نیکل با مس در همبستگی قرار دارند. همچنین بر اساس این نمودار بیشترین همبستگی میان روی و مس، وانادیم با آهن و کبالت و آهن با کبالت وجود دارد.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران

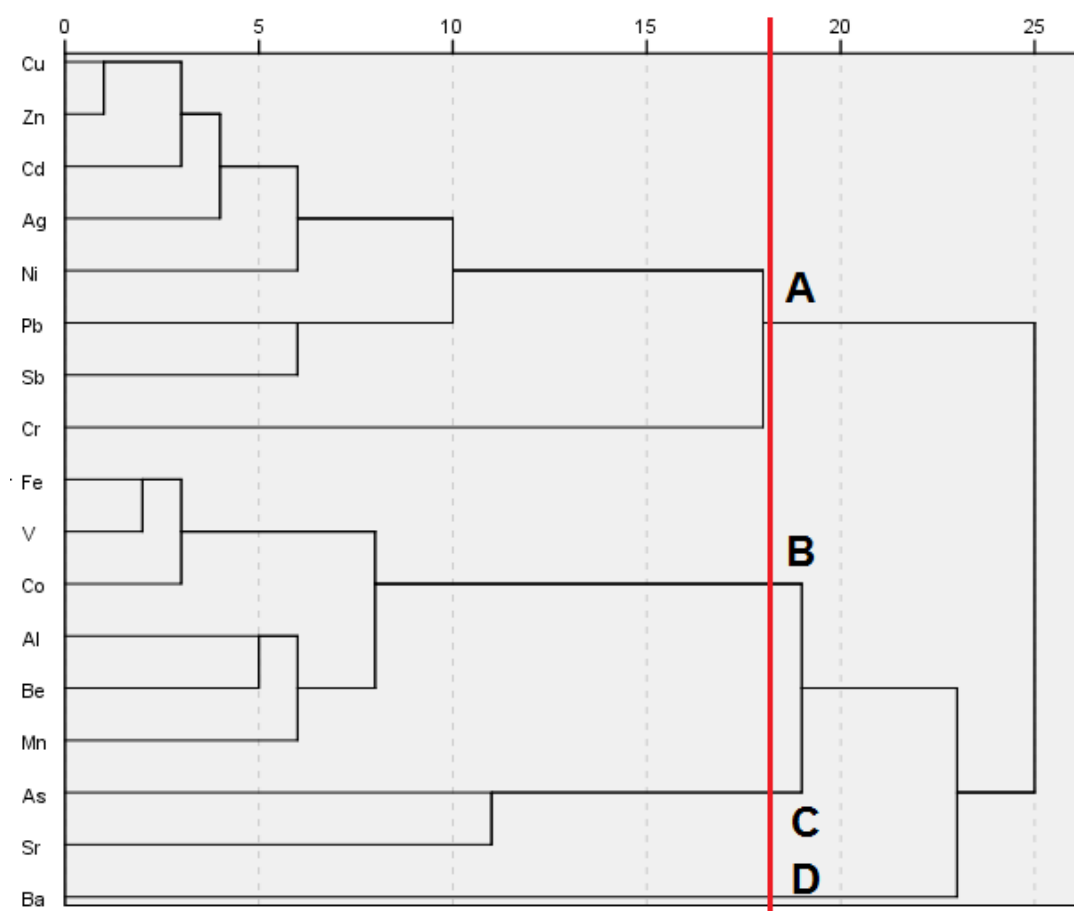
همچنین همبستگی‌های کمتر نیز در میان فلزات سنگین دیده می‌شود. در مورد نقره نیز با مس و کادمیم و روی و نیکل در همبستگی قرار گرفته است. همچنین فلز آلومینیوم با آهن، منگنز، کبالت و برلیم همبستگی دارد. در مورد آرسنیک می‌توان گفت دارای همبستگی بسیار پایین با بقیه عناصر بوده و عنصر باریم نیز فاقد همبستگی با دیگر عناصر است.

جدول ۴-۶. مقادیر ضریب همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۹ ایستگاه نمونه‌برداری

	Ag	Al	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Sr	V	Zn
Ag	۱	-/۵۳۴	-/۲۴۷	-/۰۸۳	-/۵۲۳	/۷۹۴	-/۳۹۶	/۱۶۰	/۷۵۹	-/۴۸۳	-/۷۶۰	/۶۲۰	/۲۸۷	/۴۱۵	-/۱۳۸	-/۳۷۷	/۸۳۹
Al		۱	/۱۸۰	/۰۷۷	/۷۵۴	-/۵۵۷	/۶۳۶	-/۰۸۱	-/۶۴۸	/۶۳۲	/۶۳۹	-/۴۰۹	-/۲۳۲	-/۴۸۱	/۰۶۳	/۸۰۳	-/۶۷۱
As			۱	/۰۷۴	-/۰۰۴	-/۰۶۶	/۰۰۲	-/۳۹۴	-/۱۴۵	-/۰۴۷	/۰۹۹	-/۲۷۹	-/۰۱۸	/۰۰۶	/۴۱۶	/۰۲۹	-/۱۷۶
Ba				۱	/۰۴۴	-/۱۴۵	-/۶۳۳	/۰۵۲	-/۳۷۸	-/۳۸۹	/۲۸۴	-/۵۶۱	-/۳۶۱	-/۲۵۷	-/۵۰۶	-/۴۱۴	-/۳۳۹
Be					۱	-/۵۶۴	/۵۳۴	/۰۸۰	-/۶۶۶	/۶۶۵	/۷۱۳	-/۲۳۸	-/۴۷۴	-/۶۴۸	/۰۲۶	/۶۴۱	-/۶۰۶
Cd						۱	-/۲۳۶	/۰۸۰	/۸۰۵	-/۴۳۰	-/۵۶۳	/۶۸۱	/۶۵۱	/۵۵۳	-/۲۴۰	-/۴۴۰	/۸۴۵
Co							۱	-/۱۴۲	-/۲۰۴	/۸۵۶	/۴۱۵	/۱۵۰	/۱۹۰	-/۱۷۶	/۲۱۳	/۸۶۵	-/۲۶۱
Cr								۱	/۰۴۹	-/۱۵۱	/۰۲۳	/۴۰۴	-/۰۷۷	-/۰۹۶	-/۲۸۸	-/۱۷۰	/۱۱۷
Cu									۱	-/۳۷۵	-/۶۹۴	۰/۷۳۱	۰/۶۱۴	/۵۴۰	-/۱۲۵	-/۳۲۷	/۹۷۲
Fe										۱	/۵۷۹	-/۰۶۲	-/۰۵۱	-/۲۶۳	/۰۷۰	/۸۷۶	-/۴۱۸
Mn											۱	-/۳۸۱	-/۲۱۹	-/۵۲۵	-/۳۶۸	/۳۹۲	-/۷۳۱
Ni												۱	/۴۳۷	/۲۷۰	-/۱۴۹	-/۰۸۴	/۷۷۵
Pb													۱	/۶۹۲	-/۲۳۱	-/۰۷۴	/۵۵۷
Sb														۱	/۰۵۱	-/۲۹۷	/۵۲۰
Sr															۱	/۲۳۶	-/۱۲۱
V																۱	-/۳۶۷
Zn																	۱

۴-۱۱- نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای

در شکل ۴-۹۷ نتایج تحلیل خوشه‌ای مربوط به ۱۸ نقطه نمونه‌برداری از آنالیز فلزات بر روی نمودار دندروگرام نشان داده شده است. برای تهیه این نمودار دندروگرام از روش تحلیل اتصال متوسط بین خوشه‌ها استفاده و فاصله بر اساس ضریب همبستگی پیرسون انتخاب شد.



شکل ۴-۹۷. نتایج تحلیل خوشه‌ای بین فلزات مورد بررسی در ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه

همانطور که از نتایج آنالیز خوشه‌ای قابل مشاهده است در فاصله بین ۱۵-۲۰، ۴ خوشه اصلی وجود دارد. در این خوشه‌ها فلزات مس، روی، کادمیم، نقره، نیکل، سرب، آنتیموان و کروم در گروه A قرار گرفتند. همچنین فلزات آهن، وانادیم، کبالت، آلومینیوم، برلیم و منگنز نیز در گروه B جای گرفتند. همبستگی بالای این فلزات نشان از منبع انتشار آلودگی همسان آن‌ها است. همچنین فلزات آرسنیک و استراسیوم در خوشه C و فلز باریم نیز به تنهایی در خوشه D قرار گرفت که این مسئله نشان از منبع انتشار متفاوت آن‌ها از سایر فلزات است.

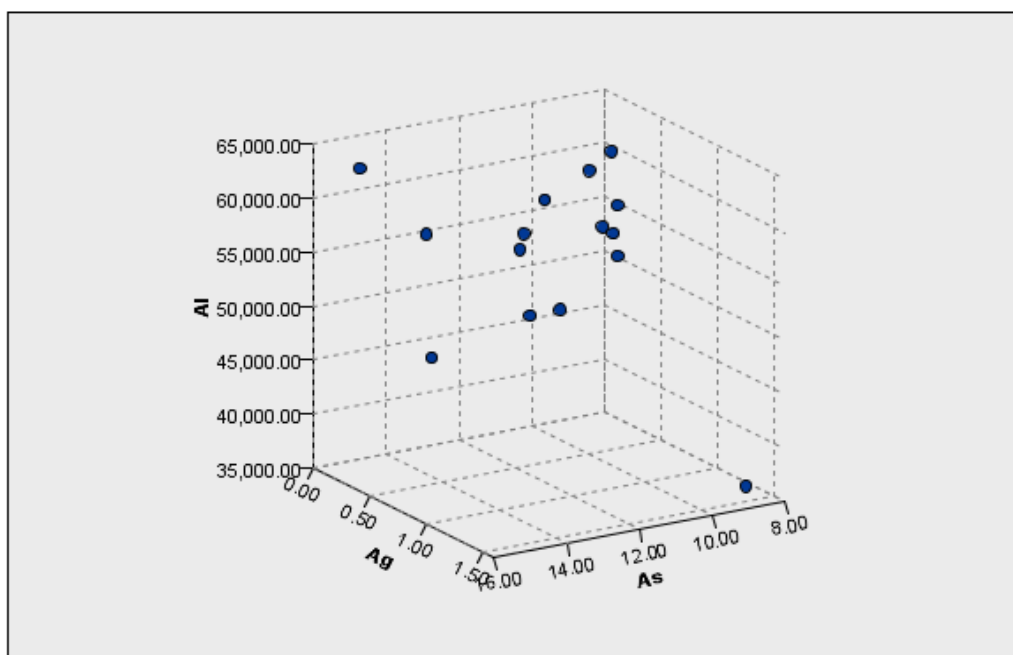
در جدول ۴-۷، مراکز خوشه نهایی نشان داده شده است. همانطور که در این خوشه قابل مشاهده است، بالاترین میزان فلزات نقره، کادمیم، کروم، مس، نیکل، سرب، آنتیموان و روی در یک ستون و نیز آلومینیوم، برلیم، کبالت، آهن، منگنز و وانادیوم در یک ستون دیگر قرار دارند. همچنین بر اساس نتایج مشاهده می‌شوند که این روند از ضریب همبستگی آن‌ها پیروی می‌کند. فلز باریم با توجه به عدم وجود همبستگی در جدول ۴-۶ با سایر عناصر، در خوشه خود با هیچ عنصر دیگری قرار نگرفت. همچنین

استراسیوم و آرسنیک با داشتن ضریب همبستگی $0/416$ با یکدیگر، در یک خوشه قرار گرفتند. همچنین روی و مس با داشتن ضریب همبستگی $0/972$ و مس و کادمیم با ضریب $0/805$ در جدول ضرایب همبستگی، در خوشه بندی نیز صاحب یک خوشه مشترک شدند.

جدول ۴-۷. مراکز خوشه نهایی در ۴ خوشه مورد مطالعه

	خوشه‌ها			
	۱	۲	۳	۴
Ag	۱,۵۴	۰,۳۶	۰,۴۱	۰,۵۳
Al	۳۶۷۵۴,۰۰	۴۹۵۸۳,۲۰	۵۸۱۸۷,۰۹	۴۶۹۴۹,۰۰
As	۸,۹۰	۱۰,۴۸	۱۰,۷۶	۱۴,۴۰
Ba	۴۵۰,۰۰	۵۲۱,۴۰	۵۵۹,۹۱	۹۷۱,۰۰
Be	۰,۹۰	۱,۰۶	۱,۱۷	۰,۹۰
Cd	۰,۵۶	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۳۵
Co	۷,۰۰	۹,۲۰	۱۰,۸۰	۴,۰۰
Cr	۱۳۴,۰۰	۷۹,۴۰	۹۳,۷۳	۷۲,۰۰
Cu	۲۲۴,۰۰	۶۰,۰۰	۴۰,۱۸	۳۸,۰۰
Fe	۲۱۴۰۶,۰۰	۲۷۴۶۰,۰۰	۲۹۶۳۹,۳۶	۱۶۶۶۴,۰۰
Mn	۳۹۳,۰۰	۷۲۵,۶۰	۸۰۰,۷۳	۷۳۷,۰۰
Ni	۴۸,۰۰	۳۰,۶۰	۳۲,۲۷	۲۴,۰۰
Pb	۶۴,۰۰	۴۷,۰۰	۳۶,۳۶	۲۰,۰۰
Sb	۱,۲۳	۱,۱۹	۱,۰۸	۱,۱۳
Sr	۳۸۹,۰۰	۴۴۶,۴۰	۳۷۲,۷۳	۲۲۵,۰۰
V	۵۹,۰۰	۷۳,۰۰	۸۳,۳۶	۴۳,۰۰
Zn	۸۲۳,۰۰	۱۶۲,۲۰	۱۰۴,۱۸	۹۸,۰۰

شکل ۴-۹ نیز نشان می‌دهد که فلزات نقره، کادمیم، کروم، مس، نیکل، سرب، آنتیموان و روی در یک منطقه و آلومینیوم، برلیم، کبالت، آهن، منگنز و وانادیوم در منطقه‌ای دیگر از فضای سه بعدی قرار گرفته‌اند. همچنین آرسنیک، استراسیوم و باریم نیز با توجه به همبستگی کم خود با بقیه، در فاصله بیشتری قرار دارند.



شکل ۴-۹۸. شماتیک اجزای اصلی به صورت سه بعدی

۴-۱۲- نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش آلودگی

برای نمایش بهتر شاخص‌های آلودگی از نمودار جعبه‌ای استفاده شده است. نمودار جعبه‌ای نموداری است که نشان می‌دهد چگونه مقادیر داده‌ها گسترش می‌یابد.

۴-۱۲-۱- نتایج بدست آمده از شاخص انباشت ژئوشیمیایی

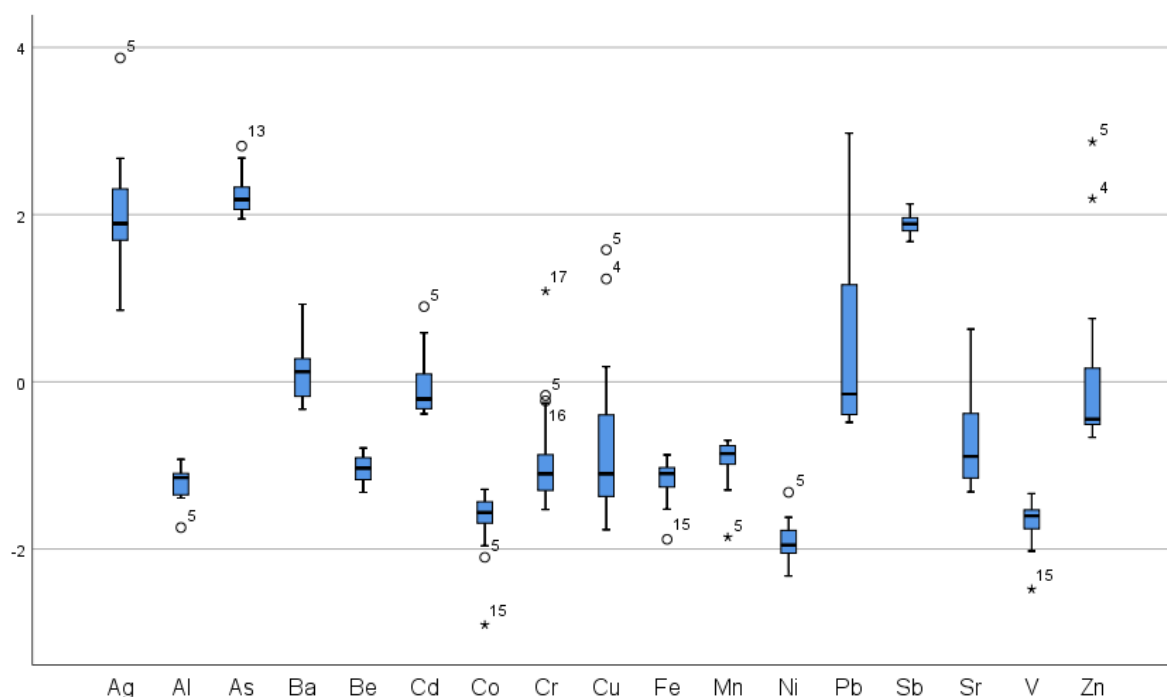
همانطور که در فصل قبل اشاره شد این شاخص نسبت غلظت فلز سنگین در رسوب به غلظت زمینه فلز را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. اعداد حاصله در این شاخص، یک طبقه بندی خاص از آلودگی را نشان می‌دهند که هر منطقه در یک طبقه قرار خواهد گرفت. بر اساس جدول ۴-۸ معیار آلودگی شاخص انباشت ژئوشیمیایی به ۷ سطح تقسیم می‌شود:

جدول ۴-۸. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص Igeo

وضعیت آلودگی رسوب یا ذرات معلق	رده Igeo	عدد بدست آمده برای Igeo
آلودگی بسیار شدید	۶	$5 >$
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۵	۴-۵
آلودگی شدید	۴	۳-۴
آلودگی متوسط تا شدید	۳	۲-۳
آلودگی متوسط	۲	۱-۲
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰-۱
کاملاً غیر آلوده	۰	$0 <$

شکل ۴-۹۹ نمودار جعبه‌ای نتایج حاصل از میانگین شاخص انباشت ژئوشیمیایی برای ۱۸ نقطه نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، غلظت فلز نقره در نمونه ۵ برابر با $3/8$ قرار گرفته است که بر اساس جدول میزان آلودگی انباشت ژئوشیمیایی در محدوده آلودگی شدید قرار گرفته است. همچنین آرسنیک نیز با مقدار $2/8$ در محدوده آلودگی متوسط تا شدید قرار دارد. میزان فلز سرب و آنتیموان و روی نیز زیاد بوده و بر اساس این شاخص در محدوده آلودگی متوسط تا شدید قرار گرفته‌اند. همچنین کروم و مس در محدوده آلودگی متوسط قرار دارند.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۹۹. نمودار جعبه‌ای میزان شاخص انباشت (Igeo)

۴-۱۲-۲- نتایج محاسبه شاخص غنی‌شدگی

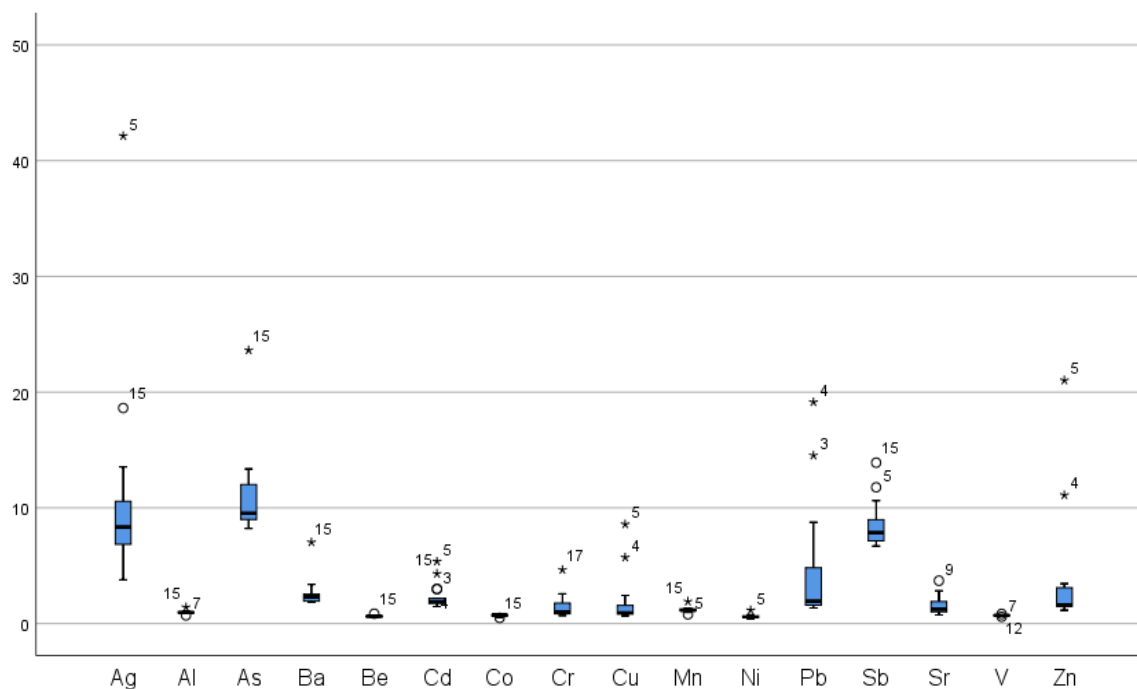
شاخص غنی‌شدگی، تجمع یا عدم تجمع فلز را در خاک نشان می‌دهد. این شاخص بر اساس غلظت کل فلزات و با استفاده از غلظت فلزات مرجع زمینی، میزان آلودگی خاک را تعیین می‌کند. در این طرح از فلزات آهن و منگنز به عنوان مراجع زمینی استفاده شده است. جدول ۴-۹ معیار آلودگی بر اساس شاخص غنی‌شدگی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۹. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص EF

EF < ۲	غنی‌شدگی در کمترین مقدار
EF = ۲-۵	غنی‌شدگی متوسط
EF = ۵-۲۰	غنی‌شدگی با اهمیت
EF = ۲۰-۴۰	غنی‌شدگی شدید
EF > ۴۰	غنی‌شدگی بسیار شدید

برای بررسی میزان غنی‌شدگی از نمودار جعبه‌ای استفاده شد. شکل ۴-۱۰۰ و ۴-۱۰۱ به ترتیب نمودار جعبه‌ای شاخص غنی‌شدگی بر اساس آهن و بر اساس منگنز را نشان می‌دهد. در بررسی بر اساس

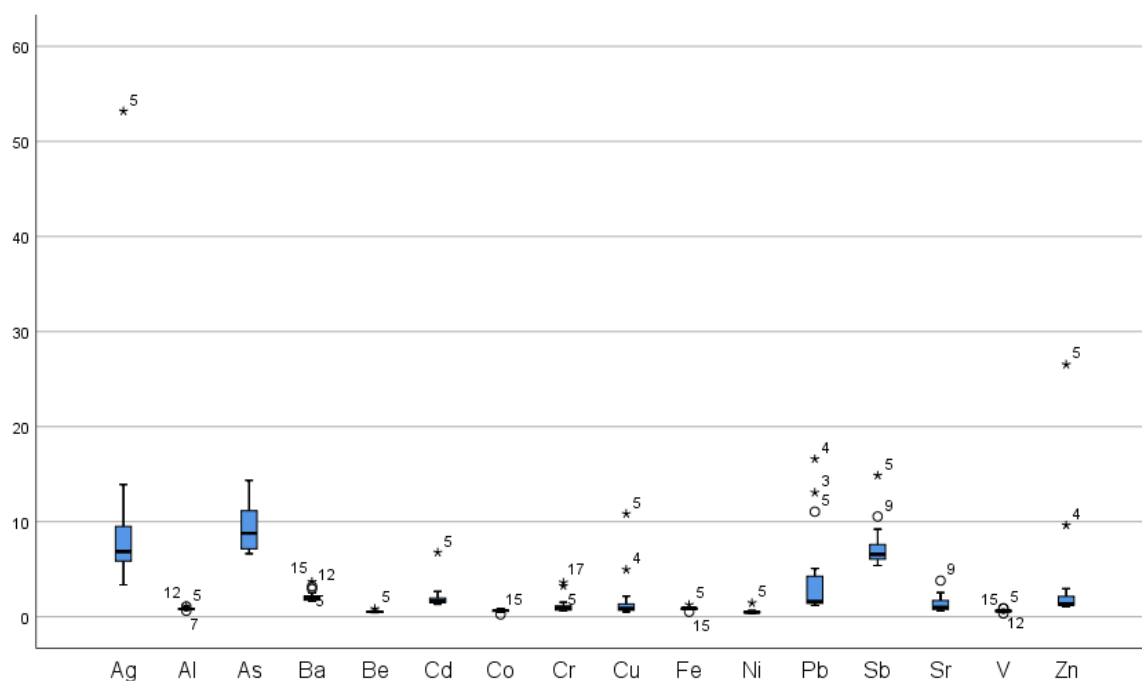
آهن، میزان نقره با مقدار شاخص غنی‌شدگی $42/13$ در محدوده بسیار شدید قرار گرفته است. همچنین آرسنیک نیز با شاخص $23/62$ و روی نیز با شاخص $21/01$ در محدوده شدید قرار دارند. همچنین عناصر آنتیموان، سرب، مس، کادمیم و باریم در محدوده با اهمیت قرار گرفته‌اند. عناصر دیگر نیز مانند آلومینیوم، کبالت، منگنز، نیکل و وانادیوم در محدوده بدون غنی‌شدگی قرار دارند. دو عنصر کروم و استراسیوم در محدوده غنی‌شدگی متوسط قرار دارند.



شکل ۴-۱۰۰. نمودار جعبه‌ای میزان شاخص غنی‌شدگی (EF) بر حسب آهن

در شاخص غنی‌شدگی بر اساس منگنز به عنوان فلز مرجع مطابق با شکل ۴-۱۰۱، میزان نقره با مقدار $53/18$ شاخص غنی‌شدگی در محدوده غنی‌شدگی بسیار شدید قرار دارد. همچنین روی نیز با $26/52$ در محدوده غنی‌شدگی شدید قرار گرفته است. وانادیوم، نیکل، آهن، کبالت، برلیوم و آلومینیوم در محدوده بدون غنی‌شدگی قرار دارند. همچنین عناصری مانند مس، کادمیم، آرسنیک، آنتیموان و سرب در غنی‌شدگی با اهمیت و نیز باریم، کروم و استراسیوم در غنی‌شدگی متوسط قرار گرفته‌اند.

سنجش کیفیت پساب‌های تصفیه‌شده، ارزیابی اثرات و ریسک سلامت استفاده از این پساب‌ها جهت مصارف کشاورزی در استان تهران



شکل ۴-۱۰۱. نمودار جعبه‌ای میزان شاخص غنی شدن (EF) بر حسب منگنز

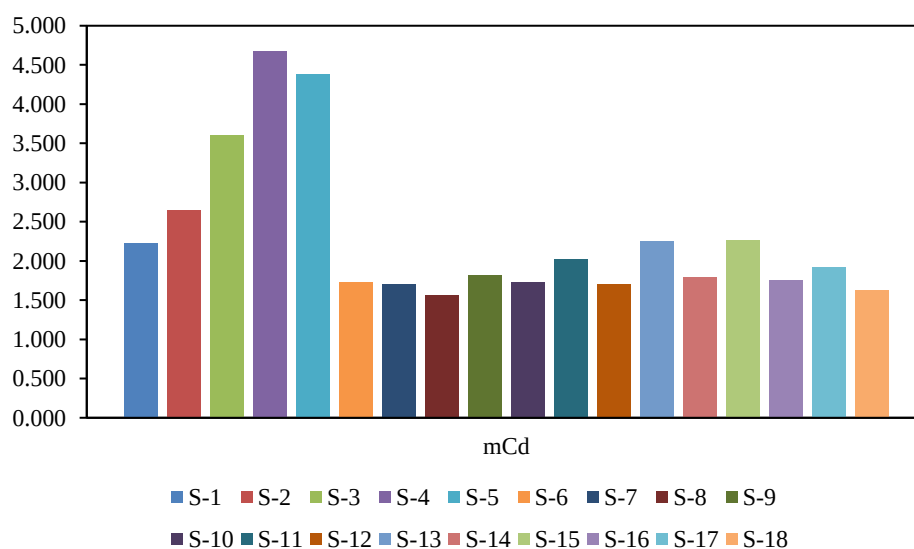
۴-۱۲-۳- شاخص درجه آلودگی اصلاح شده

شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) معیاری جامع جهت اندازه‌گیری آلودگی است. این شاخص نیازمند میانگین‌گیری از حداقل ۵ داده از رسوبات یا خاک سطحی در منطقه جهت برآورد میانگین غلظت آلاینده در هر منطقه است. بر اساس جدول ۴-۱۰، شاخص درجه آلودگی اصلاح شده از ۷ رده‌بندی تشکیل شده است:

جدول ۴-۱۰. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص mCd

ردیف	محدوده شاخص mCd	وضعیت آلودگی رسوب
۱	$mCd < 1/5$	درجه بسیار پایین از آلودگی
۲	$1/5 < mCd < 2$	درجه پایین از آلودگی
۳	$2 < mCd < 4$	درجه متوسط از آلودگی
۴	$4 < mCd < 8$	درجه بالا از آلودگی
۵	$8 < mCd < 16$	درجه بسیار بالا از آلودگی
۶	$16 < mCd < 32$	به شدت بسیار بالا آلوده
۷	$mCd \geq 32$	آلودگی با درجه مافوق زیاد

همانطور که در شکل ۴-۱۰۲ مشاهده می‌شود، بر اساس این شاخص آلودگی، نمونه S-۳ و S-۴ دارای بیشترین درجه آلودگی هستند. همچنین نمونه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ از نظر آلودگی در درجه متوسط قرار گرفته‌اند. سایر نمونه‌ها نیز در درجه آلودگی پایین قرار دارند.



شکل ۴-۱۰۲. نمودار میزان شاخص میزان آلودگی اصلاح شده (mCd)

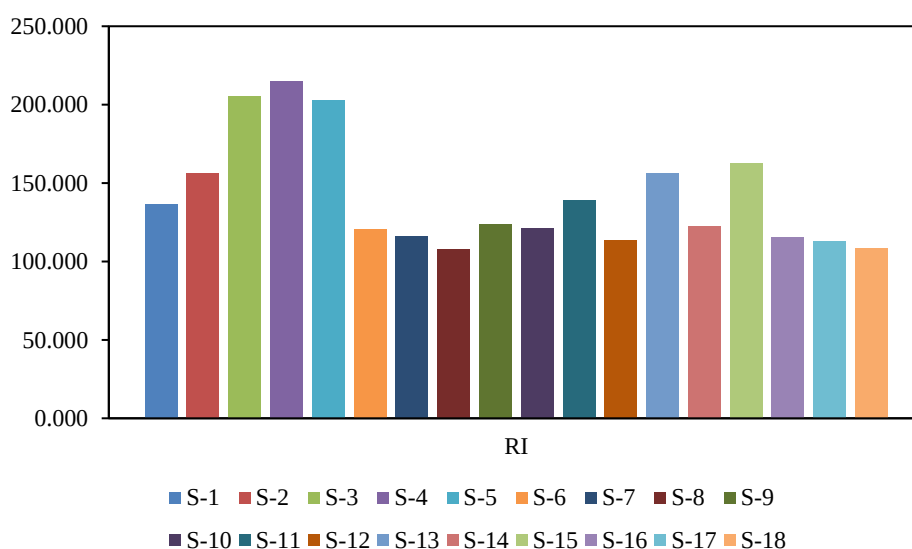
۴-۱۲-۴- نتایج شاخص ریسک اکولوژیک

پتانسیل شاخص ریسک اکولوژیک بر اساس فاکتور سمیت بیولوژیکی هر عنصر برای تعیین سطح آلودگی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۴-۱۱ طبقه‌بندی مربوط به این شاخص را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۱. درجه‌بندی سطح آلودگی خاک بر مبنای شاخص ریسک اکولوژیک

مقدار شاخص آلودگی اکولوژیک	سطح آلودگی (خطر اکولوژیکی)
≤ 150	کم
150-299	متوسط
300-600	شدید
> 600	خیلی شدید
-	وخیم

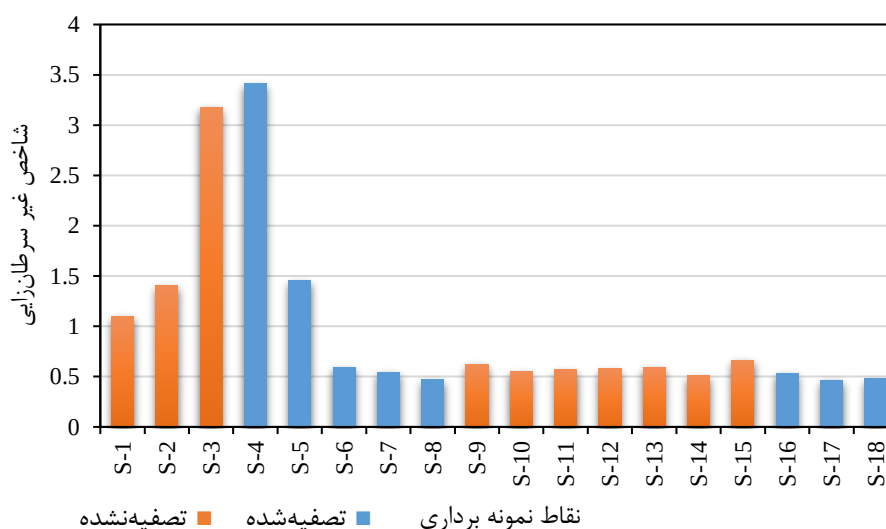
بر اساس محاسبات شاخص ریسک اکولوژیک مشاهده می‌شود که ریسک اکولوژیک در محدوده کم و متوسط قرار دارد. مقدار این شاخص در نقطه نمونه‌برداری ۵ در بیشترین میزان خود یعنی ۲۱۴/۹۷ (متوسط) و در نقطه نمونه برداری ۸ در کمترین میزان خود ۱۰۷/۷۳ (کم) قرار دارد. شکل ۴-۱۰۳ میزان آلودگی مناطق از نظر شاخص ریسک اکولوژیک را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۰۳. شاخص ریسک اکولوژیک در نقاط نمونه‌برداری

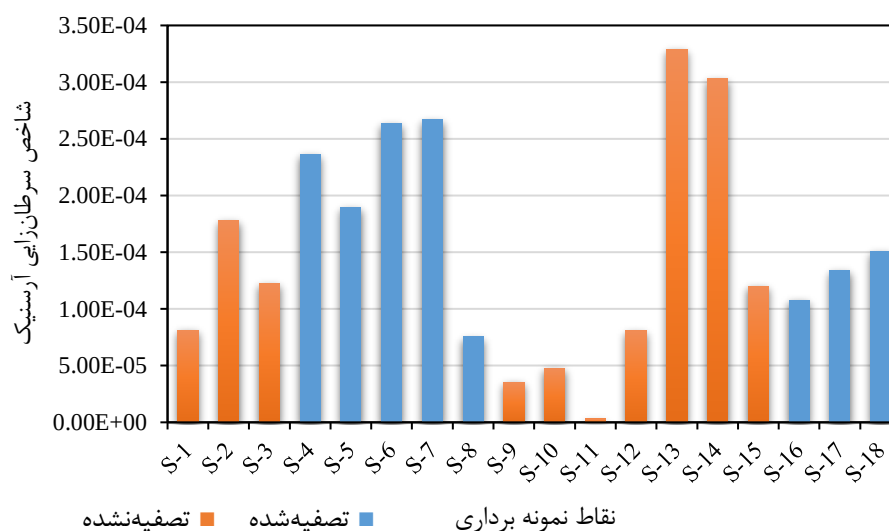
۴-۱۳- نتایج شاخص ارزیابی ریسک در معرض سلامتی انسان

شکل ۴-۱۰۴ نمودار شاخص غیر سرطان‌زایی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعه بر ۱۸ منطقه بالای ۱ و سایر مناطق محدوده ۰/۴ تا ۰/۶ را دریافت کرده‌اند. بر اساس نتایج حاصل، مناطق دارای شاخص غیر سرطان‌زایی بالای یک، دارای خطر بسیار بالا هستند. میانگین شاخص برای کل محدوده مورد مطالعه برابر با ۰/۹۸ بود که در واقع کمتر از مقدار میانگین استاندارد برای شاخص غیر سرطان‌زایی است.

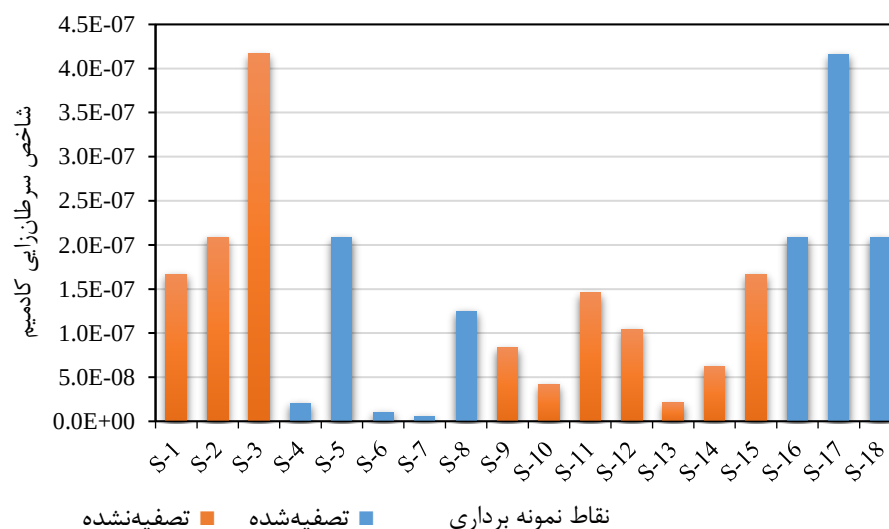


شکل ۴-۱۰۴. شاخص غیر سرطان‌زایی در نقاط نمونه‌برداری

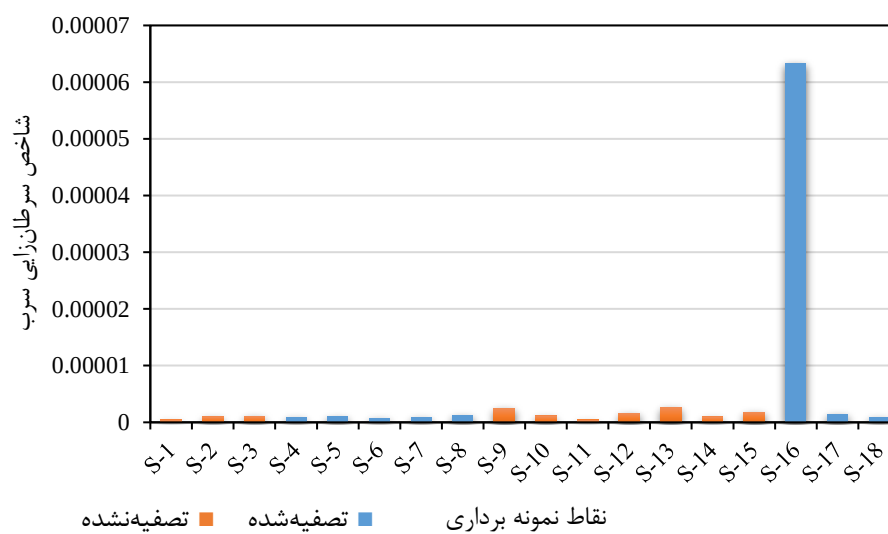
شکل ۴-۱۰۵، شکل ۴-۱۰۶ و شکل ۴-۱۰۷ به ترتیب ریسک سرطان‌زایی آرسنیک، کادمیم و سرب را در نقاط نمونه‌برداری در منطقه نشان می‌دهند. بر اساس نتایج ریسک سرطان‌زایی برای آرسنیک بین $10^{-6} \times 3/29$ تا $10^{-4} \times 3/29$ و به طور میانگین $10^{-4} \times 1/5$ قرار دارد که بیشتر از $0/0001 \times 10^{-4}$ (1×10^{-4}) است و در محدوده غیر قابل قبول قرار دارد. ریسک سرطان‌زایی برای کادمیم نیز بین $10^{-9} \times 6/25$ تا $10^{-7} \times 4/16$ و با میانگین $10^{-7} \times 1/46$ قرار داشته که کمتر از مقدار غیر قابل قبول است. همچنین برای سرب نیز ریسک سرطان‌زایی بین $10^{-7} \times 4/19$ تا $10^{-5} \times 6/33$ و به طور میانگین $10^{-6} \times 4/69$ قرار دارد که در منطقه غیر قابل قبول واقع نشده است. در مورد کادمیم و سرب میزان ریسک این دو عنصر قابل چشم‌پوشی بوده و در سطح قابل قبول قرار دارد.



شکل ۴-۱۰۵. شاخص سرطان‌زایی آرسنیک در نقاط نمونه‌برداری



شکل ۴-۱۰۶. شاخص سرطان‌زایی کادمیم در نقاط نمونه‌برداری



شکل ۴-۱۰۷. شاخص سرطان‌زایی سرب در نقاط نمونه‌برداری

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری

دو منبع اصلی تامین آب کشاورزی در جنوب تهران در شهرستان‌های شهرری، پاکدشت، قرچک، ورامین و پیشوا شامل منابع آب تصفیه‌شده (کانال آب تصفیه‌خانه جنوب تهران) و پساب‌های تصفیه نشده (نهرهای موجود در منطقه و کانال‌های فاضلاب) است که کیفیت این منابع در طول پروژه تحقیقاتی مورد سنجش قرار گرفته‌اند. بررسی نتایج نمونه‌های کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌نشده مشخص کرد که در ۴ ایستگاه از ۲۵ ایستگاه نمونه‌برداری شده حاوی مقادیر بالاتر از حد مجاز BOD (100 mg/L) و COD (mg/L) هستند. نمونه‌های شماره ۴، ۱۰، ۱۶ و ۱۹ به ترتیب ۴۳، ۱۱، ۱۷ و ۲۶ برابر حد مجاز BOD و ۳۲، ۵، ۱۳ و ۲۰ برابر حد مجاز COD است. غلظت غیر مجاز فلزات جیوه و آرسنیک در نتایج آنالیز فلزات سنگین کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌نشده قابل مشاهده است. حال بر اساس استانداردهای کشورهای مختلف از جمله ایتالیا، یونان، اردن، چین و... حد مجاز جیوه در آب جهت مصارف کشاورزی از $0/001$ تا $0/005$ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. نتایج حاصل از آنالیز غلظت جیوه نشان داد که ۱۳ نمونه آب برداشت شده مقدار بالاتر از استاندارد را دارند. در این میان نمونه شماره ۱۶ با مقدار $0/68$ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین مقدار جیوه را داشته و ۱۳۶ برابر بالاتر از مقدار مجاز جیوه جهت مصارف کشاورزی است. غلظت آرسنیک نیز در نمونه آب ۱۱ ایستگاه بیشتر از حد مجاز آرسنیک در آب آبیاری مطابق استاندارد سازمان جهانی بهداشت و کشور ایران ($0/1$ میلی‌گرم بر لیتر) است. غلظت آرسنیک در کل ایستگاه‌های نمونه برداری از صفر تا $0/57$ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. به طوری که در ایستگاه‌های ۱۹ و ۲۱ غلظت آرسنیک به بیش از ۵ برابر حد مجاز رسیده است.

مطابق نتایج بدست‌آمده در برخی از ایستگاه‌ها آلودگی‌های مربوط به فلزات مس ($0/2$ میلی‌گرم بر لیتر) و کروم ($0/1$ میلی‌گرم بر لیتر) نیز مشاهده می‌شود. ایستگاه‌های شماره ۷ و ۱۶ به ترتیب حاوی $3/4$ و $6/8$ برابر مقدار مجاز کروم جهت مصارف آبیاری است. ایستگاه شماره ۴ نیز حاوی $1/35$ برابر حد مجاز مس در نمونه‌ای آب جهت مصارف آبیاری است. مقادیر یون‌های Na ، Cl ، SO_4 ، HCO_3 و NO_3 در بیشتر ایستگاه‌های تصفیه‌نشده بیش از حد مجاز جهت آبیاری است و در یک ایستگاه ($W19$) مربوط به شهرستان ورامین غلظت یون PO_4 نیز بیش از مقدار مجاز گزارش شده است. مطابق استانداردهای موجود آب‌هایی که EC آنها در محدوده ۷۵۰ الی ۲۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است، آبهای کم شور و آب‌هایی که در محدوده ۲۵۰۰ الی ۸۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر قرار دارد جزء آبهای تقریباً شور هستند. آب با مقدار EC در محدوده ۸۰۰۰ الی ۱۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در گروه آب‌های شور قرار می‌گیرد.

مقدار EC بین ۱۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر نیز جزء آب‌های خیلی شور به حساب می‌آید. بررسی مقادیر EC این ایستگاه‌ها نشان داد که در تمامی نمونه‌های برداشت شده از کانال‌ها و منابع آب تصفیه نشده، مقدار EC بیشتر از حد مجاز جهت آبیاری بود که در برخی نقاط (W۱۶، W۱۹ و W۲۰) مربوط به شهرستان‌های قرچک و ورامین) مقادیر بالاتر از ۱۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر نیز مشاهده شده است. بررسی استانداردهای کشور ایران و سازمان جهانی بهداشت مشخص کرد که مقدار مجاز کلیفرم جهت مصارف کشاورزی ۱۰۰۰ MPN/۱۰۰ml است. نتایج آنالیز نشان داد که ۶ نمونه دارای مقدار کلیفرم بیش از حد مجاز هستند. نمونه‌های شماره ۳، ۴، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴ و ۱۵ نمونه‌هایی هستند که ۱/۱ الی ۱/۴۵ درصد مقدار کلیفرم بیش از حد مجاز را دارند. همچنین مقدار کلی‌فرم در ۵ ایستگاه بیش از حد مجاز آبیاری بود. بررسی مقدار SAR (حد استاندارد برابر ۱۰) و SSP (مقدار استاندارد برابر ۶۰ درصد) نشان داد که در ۷ ایستگاه نمونه‌برداری شده مقادیر این فاکتورها بیش از حد مجاز قرار دارد. در این میان نمونه شماره ۱۶ به ترتیب ۲/۲ و ۱/۶ درصد بیشتر از حد مجاز، حاوی SAR و SSP است.

بررسی وضعیت کانال‌ها و منابع آب تصفیه‌شده نشان داد که بیشترین آلودگی مربوط به آرسنیک و جیوه بود که در تمامی نقاط قابل مشاهده بود. همچنین غلظت یون‌های Cl و NO₃ در تمامی ایستگاه‌ها تصفیه‌شده بیش از حد مجاز جهت مصارف آبیاری است. نتایج این بررسی مشخص کرد که منابع آبی موجود در منطقه که جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی از جمله زمین‌های کشاورزی ذرت، گندم و یونجه استفاده می‌شود، کیفیت مناسبی ندارد. به ویژه منابع آب تصفیه‌نشده آلودگی‌های بسیار زیادی از منظر فلزات سنگین، BOD، COD، آنیون‌ها و کاتیون‌ها و ... را دارند که هم بر کیفیت محصول و زمین‌های کشاورزی و هم بر سلامت مصرف‌کنندگان اثرات منفی کوتاه‌مدت و بلند مدت ایجاد خواهد کرد. بررسی وضعیت منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده مورد مطالعه به تفکیک شهرستان‌ها در ادامه ارائه شده است.

۵-۱-۱- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان ری (قلعه نو)

بررسی نتایج در این محدوده نشان داد که نمونه‌های برداشت شده از خروجی و مناطق نزدیک به واحدهای صنعتی از جمله کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی، واحدهای صنعتی امین‌آباد و شهرک صنعتی عشق‌آباد حاوی مقادیر غیرمجاز آلاینده‌ها است. وجود واحدهای صنعتی در مسیر این کانال می‌تواند از دیگر منابع آلاینده باشد. نمونه شماره ۶ که از منطقه قلعه‌نو و از کانال انتقال آب تصفیه‌خانه تهران برداشت شده است، در ابتدای مسیر کانال قرار دارد و از خروجی تصفیه‌خانه تا این نقطه هیچ پساب

صنعتی به جزء واحدهای صنعتی امین‌آباد (قالی‌شویی، سنگ‌شوی، دامداری و صنایع فلزکاری) وارد کانال نمی‌شود. به همین دلیل به نظر می‌رسد یا آب کانال قبل از تصفیه، آلوده به آرسنیک بوده و سیستم تصفیه موجود در تصفیه‌خانه جنوب تهران کارایی مناسبی جهت حذف این آلاینده را ندارد و یا پساب واحدهای صنعتی امین‌آباد علت آلودگی ایجاد شده باشند.

بررسی منطقه نشان داد که در مسیر آب‌های تصفیه نشده که به نقاط ۸ (روستای ده‌خیر) و ۹ (روستای نظرآباد) منتهی می‌شود واحدهای صنعتی مختلفی فعالیت می‌کنند. به نظر می‌رسد پساب خروجی این واحدها به کانال آب تصفیه نشده تخلیه می‌شود که باعث ایجاد آلودگی در این آب‌ها شده است.

نتایج آنالیز نمونه‌های خاک نشان داد که غلظت فلزات سنگین کروم (110 mg/Kg)، مس (mg/Kg)، سرب (50 mg/Kg) و روی (200 mg/Kg) در برخی ایستگاه‌های موجود در این منطقه از جمله ایستگاه شماره ۲ و ۳ (آبیاری شده با پساب تصفیه‌نشده) و ۴ و ۵ (آبیاری شده با آب کانال تصفیه‌شده) حاوی بیشترین مقدار در بین سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری هستند. همچنین در برخی موارد غلظت‌های غیر مجاز فلزات سنگین در این ایستگاه‌ها ($1/34$ درصد بیش از حد مجاز کروم در ایستگاه شماره ۵) قابل مشاهده است.

با توجه به نتایج بدست آمده نمونه‌های گیاه برداشت شده از منطقه قلعه‌نو نسبت به سایر مناطق از جمله پاکدشت، ورامین و پیشوا حاوی غلظت بالاتری از فلزات سنگین هستند که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی ورود برخی آلاینده‌ها به محیط آب و بطبع آن به ساختار گیاه است. غلظت فلزات کروم، مس، کادمیم، نیکل، سرب و آرسنیک در ایستگاه‌های قرار گرفته در این منطقه (نمونه‌های شماره ۱ الی ۷) معمولاً بیشتر از سایر ایستگاه‌های موجود در مناطق دیگر است.

۵-۱-۲- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان قرچک

نمونه شماره ۱۶ که بیشترین مقدار کروم و جیوه در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری را دارد، مربوط به آب موجود در کانال‌های فاضلاب تصفیه‌نشده در شهرستان قرچک است. لازم به ذکر است مطابق گفته کارشناس محترم جهاد کشاورزی این کانال‌های آب جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد واحدهای صنعتی موجود در مسیر کانال‌های تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده می‌تواند بعنوان منبع اصلی آلودگی کروم باشد که نتایج آنالیزها هم نشان می‌دهد که در دو نقطه غلظت آلاینده کروم به بیش از مقدار مجاز جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی رسیده است. آب عبوری از شهرک موزاییک سازی

عشق‌آباد که آلوده به جیوه است بعد از گذر از زمین‌های کشاورزی به پایین دست (محل نمونه شماره ۱۶) می‌رسد.

۵-۱-۳- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان پاکدشت
نمونه شماره ۱۳ و ۱۵ که از کانال انتقال آب تصفیه‌خانه جنوب تهران و نقطه تقسیم آب کانال (نقطه O) در منطقه پاکدشت برداشت شده است، به ترتیب حاوی ۰/۲۷ و ۰/۲۲ میلی گرم بر لیتر آرسنیک بودند. این مقادیر ۲/۷ و ۲/۲ برابر بیش از حد مجاز آرسنیک در نمونه‌های آب جهت مصارف آبیاری است. منبع این آلودگی در این نقاط علاوه بر پساب‌های صنعتی ورودی به تصفیه‌خانه جنوب تهران، می‌تواند بر اثر تخلیه غیر مجاز پساب‌های صنعتی واحدهای مختلف موجود در مسیر کانال از جمله شهرک صنعتی خاوران و ثامن باشد.

۵-۱-۴- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان ورامین
نتایج آنالیز نمونه شماره نیز ۱۹ که مربوط به پساب خروجی دامداری اشراق است و به رود شور و شیرین تخلیه می‌شود، نشان داد که این نمونه حاوی بیشترین مقدار آرسنیک (۵/۷ برابر بیش از حد مجاز) است. بررسی نتایج نمونه‌های خاک نیز حاکی از آلودگی خاک به آرسنیک و کروم در نقاط نمونه‌برداری قرار گرفته در این منطقه است.

۵-۱-۵- وضعیت خاک، گیاه و منابع آب مصرفی کشاورزی در محدوده شهرستان پیشوا
وجود غلظت‌های بالای فلزات سنگین نسبت به سایر ایستگاه‌ها و در برخی موارد بالاتر از حد مجاز در این منطقه نیز حاکی از آلوده شدن منابع آب و خاک است. وجود غلظت غیر مجاز کروم در نمونه‌های خاک برداشت شده از این منطقه تایید کننده این مسئله است که ایجاد آلودگی در خاک زمین‌های کشاورزی از طریق آبیاری با منابع آب آلوده است.

در نهایت می‌توان بیان کرد که واحدهای صنعتی زیر از جمله منابع آلاینده در منطقه به حساب می‌آیند:

- کارگاه شستشو و خردایش پسماندهای پلاستیکی واقع در منطقه قلعه نو
- واحدهای صنعتی امین آباد واقع در منطقه قلعه نو
- شهرک‌های صنعتی خاوران و ثامن واقع در منطقه پاکدشت
- واحدهای صنعتی شهرک موزائیک‌سازی عشق‌آباد

- دامداری اشراق واقع در منطقه ورامین

با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز نمونه‌های آب، خاک و گیاه به نظر می‌رسد منطقه قلعه‌نو (شهرستان ری) نسبت به سایر مناطق آلودگی بیشتری دارد.

۵-۲- خلاصه نتایج

همانطور که پیش‌تر بیان شد آبیاری زمین‌های کشاورزی در محدوده مورد مطالعه از طریق دو منبع اصلی صورت می‌گیرد. منبع اول پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه جنوب تهران است که از طریق کانال اصلی انتقال می‌یابد و جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی پایین‌دست مورد استفاده قرار می‌گیرد که در متن با عنوان پساب تصفیه‌شده ارائه شده است. منبع دوم نیز پساب‌هایی هستند که بدون تصفیه (در متن با عنوان پساب تصفیه‌نشده) از طریق مسیرهای مختلف (رواناب، رودخانه، کانال‌های فاضلاب و ...) در دسترس کشاورزان محدوده قرار می‌گیرد و حاوی فاضلاب شهری و پساب‌های صنعتی است. در ادامه خلاصه‌ای از نتایج بررسی کیفیت این منابع ارائه شده است.

- ۴ ایستگاه از ۲۵ ایستگاه نمونه‌برداری شده حاوی مقادیر بالاتر از حد مجاز BOD (100 mg/L) و COD (200 mg/L) است. نمونه‌های شماره ۴ (ری-تصفیه‌نشده)، ۱۰ (ری-تصفیه‌نشده)، ۱۶ (قرچک-تصفیه‌نشده) و ۱۹ (ورامین-تصفیه‌نشده) به ترتیب ۴۳، ۱۱، ۱۷ و ۲۶ برابر حد مجاز BOD و ۳۲، ۵، ۱۳ و ۲۰ برابر حد مجاز COD
- نمونه شماره ۱۶ (قرچک) با مقدار $0/68$ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین مقدار جیوه را داشته و ۱۳۶ برابر بالاتر از مقدار مجاز جیوه جهت مصارف کشاورزی است.
- غلظت آرسنیک نیز در نمونه پساب ۱۱ (پاکدشت-تصفیه‌شده) ایستگاه بیشتر از حد مجاز آرسنیک در آب آبیاری مطابق استاندارد سازمان جهانی بهداشت و کشور ایران ($0/1$ میلی‌گرم بر لیتر)
- ایستگاه‌های شماره ۷ (ری-تصفیه‌نشده) و ۱۶ (قرچک-تصفیه‌نشده) به ترتیب حاوی $3/4$ و $6/8$ برابر مقدار مجاز کروم جهت مصارف آبیاری
- ایستگاه شماره ۴ (ری-تصفیه‌نشده) حاوی $1/35$ برابر حد مجاز مس در نمونه‌ای آب جهت مصارف آبیاری
- مقادیر یون‌های Cl ، Na ، SO_4 ، HCO_3 و NO_3 در بیشتر ایستگاه‌های تصفیه‌نشده بیش از حد مجاز جهت آبیاری

- مقدار EC بیشتر از حد مجاز جهت آبیاری بود که در برخی نقاط (W16، W19 و W20 مربوط به شهرستان‌های قرچک و ورامین-تصفیه‌نشده) مقادیر بالاتر از ۱۲۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر نیز مشاهده شده است.
- ۶ نمونه دارای مقدار کلیفرم بیش از حد مجاز هستند. نمونه‌های شماره ۳ (ری-تصفیه‌نشده)، ۴ (ری-تصفیه‌نشده)، ۸ (ری-تصفیه‌نشده)، ۹ (ری-تصفیه‌نشده)، ۱۰ (ری-تصفیه‌نشده)، ۱۴ (پاکدشت-تصفیه‌نشده) و ۱۵ (پاکدشت-تصفیه‌نشده) نمونه‌هایی هستند که ۱/۱ الی ۱/۴۵ درصد مقدار کلیفرم بیش از حد مجاز را دارند.
- نمونه شماره ۱۶ (قرچک-تصفیه‌نشده) به ترتیب ۲/۲ و ۱/۶ درصد بیشتر از حد مجاز، حاوی SAR و SSP است.
- منابع آبی موجود در منطقه که جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی از جمله زمین‌های کشاورزی ذرت، گندم و یونجه استفاده می‌شود، کیفیت مناسبی ندارد.
- غلظت فلزات سنگین کروم (۱۱۰ mg/Kg)، مس (۱۰۰ mg/Kg)، سرب (۵۰ mg/Kg) و روی (۲۰۰ mg/Kg) در برخی ایستگاه‌های موجود در منطقه شهرستان ری از جمله ایستگاه شماره ۲ و ۳ (آبیاری شده با پساب تصفیه‌نشده) و ۴ و ۵ (آبیاری شده با آب کانال تصفیه‌نشده) حاوی بیشترین مقدار در بین سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری هستند.
- نمونه‌های گیاه برداشت شده از منطقه قلعه‌نو نسبت به سایر مناطق از جمله پاکدشت، ورامین و پیشوا حاوی غلظت بالاتری از فلزات سنگین هستند که می‌تواند نشان‌دهنده ورود برخی آلاینده‌ها به محیط آب و بطبع آن به ساختار گیاه است.
- آب عبوری از شهرک موزاییک سازی عشق‌آباد که آلوده به جیوه است بعد از گذر از زمین‌های کشاورزی به پایین دست (محل نمونه شماره ۱۶) می‌رسد.

۵-۳- پیشنهادات

- در جهت تکمیل طرح پژوهشی حاضر می‌توان موارد زیر را برای مطالعه و بررسی بیشتر مورد نظر قرار داد:
- بررسی و مطالعه دقیق محل‌های ورود، نوع و غلظت آلاینده‌های خروجی صنایع موجود در محدوده مورد مطالعه
 - بررسی و مطالعه استفاده از روش‌های تصفیه موثر برای خروجی‌های صنایع موجود در منطقه

- بررسی و مطالعه کشت گیاهانی در زمین‌های کشاورزی که جذب حداقلی آلاینده‌ها را با توجه به وجود آلودگی در خاک و آب داشته باشند.
- بهسازی و محدودسازی دسترسی به کانال انتقال آب تصفیه‌شده به ویژه در مناطق صنعتی و شهری
- بررسی و مطالعه روش‌های بهینه‌سازی فرآیند تصفیه آب در تصفیه‌خانه جنوب تهران
- پایش و کنترل مستمر مسیرهای انتقال آب

منابع و مراجع

- خداکرمی، ل؛ و همکاران. (۱۳۹۰)، پهنه بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاکهای حوزه آبخیز استان همدان با استفاده از فناوریهای GIS و زمین آمار مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و خاک، شماره پنجاه و هشتم.
- سجادی س، پرداختی ع. (۱۳۹۹). "ارزیابی استفاده از پساب تصفیه شده برای کشاورزی مطالعه موردی تصفیه خانه جنوب تهران" سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، شیراز.
- عسگری ح، نجفی ن، (۱۳۹۳). " اثر آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین بر تولید گیاهان دارویی " نشریه مدیریت جلد دوم ارضی، ص ۱۱۵.
- مکاری یامچی ح، قشلاقی ا، (۱۳۹۴). " بررسی غلظت و منشا فلزات سنگین در خاک اطراف تصفیه خانه جنوب تهران " کنگره بین المللی تخصصی علوم و زمین، د ۳۴.
- ، قشلاقی، حامد، افشین. ۱۳۹۴. بررسی غلظت و منشا فلزات سنگین در خاک اطراف تصفیه خانه جنوب تهران. کنگره بین المللی تخصصی علوم و زمین
- وهابزاده کبریا، " اثرات زیست محیطی فرایندهای استخراج و فراوری معدن سرب و روی آهنگران"، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، ۱۳۸۴ ص ۵۵.
- Abouian Jahromi, M., Jamshidi-Zanjani, A., & Khodadadi Darban, A. ۲۰۲۰. Heavy metal pollution and human health risk assessment for exposure to surface soil of mining area: a comprehensive study. Environmental Earth Sciences, ۷۹(۱۴).
- Adriano, D.C., ۲۰۰۱. Introduction. In Trace elements in terrestrial environments (pp. ۱-۲۷). Springer New York.
- Bhuiyan, M.A., Parvez, L., Islam, M.A., Dampare, S.B. and Suzuki, S., ۲۰۱۰. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. Journal of hazardous materials, ۱۷۳(۱), pp.۳۸۴-۳۹۲.
- Bradl, H.B., ۲۰۰۴. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. Journal of Colloid and Interface Science, ۲۷۷(۱), pp.۱-۱۸.

Clemente, R., Walker, D.J., Roig, A. and Bernal, M.P., ۲۰۰۳. Heavy metal bioavailability in a soil affected by mineral sulphides contamination following the mine spillage at Aznalcóllar (Spain). *Biodegradation*, ۱۴(۳), pp.۱۹۹-۲۰۵.

Das, M. and Maiti, S.K., ۲۰۰۸. Comparison between availability of heavy metals in dry and wetland tailing of an abandoned copper tailing pond. *Environmental monitoring and assessment*, ۱۳۷(۱), pp.۳۴۳-۳۵۰.

Dudka, S. and Adriano, D.C., ۱۹۹۷. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *Journal of environmental quality*, ۲۶(۳), pp.۵۹۰-۶۰۲.

Fernandez-Turiel, J.L., Aceñolaza, P., Medina, M.E., Llorens, J.F. and Sardi, F., ۲۰۰۱. Assessment of a smelter impact area using surface soils and plants. *Environmental Geochemistry and Health*, ۲۳(۱), pp.۶۵-۷۸.

Greaney, K.M., ۲۰۰۵. An assessment of heavy metal contamination in the marine sediments of Las Perlas Archipelago, Gulf of Panama. School of Life Sciences Heriot-Watt University, Edinburgh.

Hakanson, L., ۱۹۸۰. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, ۱۴(۸), pp.۹۷۵-۱۰۰۱.

Heiri, O., Lotter, A.F. and Lemcke, G., ۲۰۰۱. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, ۲۵(۱), pp.۱۰۱-۱۱۰.

Jamshidi-Zanjani, A., Saeedi, M. and Li, L.Y., ۲۰۱۵. A risk assessment index for bioavailability of metals in sediments: Anzali International Wetland case study. *Environmental Earth Sciences*, ۷۳(۵), pp.۲۱۱۵-۲۱۲۶.

Kabata-Pendias, A., ۲۰۰۴. Soil-plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*, ۱۲۲(۲), pp.۱۴۳-۱۴۹.

Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B., ۲۰۰۷. Trace elements from soil to human. Springer Science & Business Media.

Keskin, T.E. and Toptaş, S., ۲۰۱۲. Heavy metal pollution in the surrounding ore deposits and mining activity: a case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey). *Environmental Earth Sciences*, ۶۷(۳), pp.۸۵۹-۸۶۶.

Kim, K.R., Owens, G. and Naidu, R., ۲۰۰۹. Heavy metal distribution, bioaccessibility, and phytoavailability in long-term contaminated soils from Lake Macquarie, Australia. *Soil Research*, ۴۷(۲), pp.۱۶۶-۱۷۶.

Leduc, G., Ruber, H. and Webb, M., ۱۹۷۳. Toxicity of Mine Flotation Reagents, Report ALUR ۱۹۷۲-۷۳, Dept. Indian Affairs and Northern Development: Ottawa.

Lee, C.H., ۲۰۰۳. Assessment of contamination load on water, soil and sediment affected by the Kongjujeil mine drainage, Republic of Korea. *Environmental geology*, ۴۴(۵), pp.۵۰۱-۵۱۵.

Lottermoser, B.G., ۲۰۰۷. Introduction to Mine Wastes. *Mine Wastes: Characterization, Treatment, Environmental Impacts*, pp.۱-۳۲.

Madrid, F., Diaz-Barrientos, E. and Madrid, L., ۲۰۰۸. Availability and bio-accessibility of metals in the clay fraction of urban soils of Sevilla. *Environmental Pollution*, ۱۵۶(۳), pp.۶۰۵-۶۱۰.

Micó, C., Recatalá, L., Peris, M. and Sánchez, J., ۲۰۰۶. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, ۶۵(۵), pp.۸۶۳-۸۷۲.

Myśliwa-Kurczel, B., Prasad, M.N.V. and Strzałka, K., ۲۰۰۴. Photosynthesis in heavy metal stressed plants. In *Heavy Metal Stress in Plants* (pp. ۱۴۶-۱۸۱). Springer Berlin Heidelberg.

Navarro, M.C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Vidal, J. and Marimón, J., ۲۰۰۶. Lead, cadmium and arsenic bioavailability in the abandoned mine site of Cabezo Rajao (Murcia, SE Spain). *Chemosphere*, ۶۳(۳), pp.۴۸۴-۴۸۹.

Ngole, V.M. and Ekosse, G.I.E., ۲۰۱۲. Copper, nickel and zinc contamination in soils within the precincts of mining and landfilling environments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, ۹(۳), pp.۴۸۵-۴۹۴.

Nuss, P. and Eckelman, M.J., ۲۰۱۴. Life cycle assessment of metals: A scientific synthesis. *PLoS One*, ۹(۷), p.e۱۰۱۲۹۸.

Obiora, S.C., Chukwu, A., Toteu, S.F. and Davies, T.C., ۲۰۱۶. Assessment of heavy metal contamination in soils around lead (Pb)-zinc (Zn) mining areas in

Enyigba, southeastern Nigeria. Journal of the Geological Society of India, ۸۷(۴), pp.۴۵۳-۴۶۲.

Paustenbach, D.J., ۲۰۰۰. The practice of exposure assessment: a state-of-the-art review. Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews, ۳(۳), pp.۱۷۹-۲۹۱.

Poggio, L., Vrščaj, B., Schulin, R., Hepperle, E. and Marsan, F.A., ۲۰۰۹. Metals pollution and human bioaccessibility of topsoils in Grugliasco (Italy). Environmental Pollution, ۱۵۷(۲), pp.۶۸۰-۶۸۹.

Saeedi, M., Li, L.Y., Karbassi, A.R. and Zanjani, A.J., ۲۰۱۳. Sorbed metals fractionation and risk assessment of release in river sediment and particulate matter. Environmental monitoring and assessment, ۱۸۵(۲), pp.۱۷۳۷-۱۷۵۴.

Sakan, S.M., Đorđević, D.S., Manojlović, D.D. and Predrag, P.S., ۲۰۰۹. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. Journal of Environmental Management, ۹۰(۱۱), pp.۳۳۸۲-۳۳۹۰.

Sengupta, A.K. ed., ۲۰۰۱. Environmental separation of heavy metals: engineering processes. CRC Press.

Traunfeld, J.H. and Clement, D.L., ۲۰۰۱. Lead in Garden Soils. Home and Garden. Maryland Cooperative Extension, University of Maryland.

Wang, X.S., Qin, Y. and Chen, Y.K., ۲۰۰۶. Heavy metals in urban roadside soils, part ۱: effect of particle size fractions on heavy metals partitioning. Environmental Geology, ۵۰(۷), pp.۱۰۶۱-۱۰۶۶.

Xu, D., Zhou, P., Zhan, J., Gao, Y., Dou, C. and Sun, Q., ۲۰۱۳. Assessment of trace metal bioavailability in garden soils and health risks via consumption of vegetables in the vicinity of Tongling mining area, China. Ecotoxicology and environmental safety, ۹۰, pp.۱۰۳-۱۱۱.

Ye, Z.H., Shu, W.S., Zhang, Z.Q., Lan, C.Y. and Wong, M.H., ۲۰۰۲. Evaluation of major constraints to revegetation of lead/zinc mine tailings using bioassay techniques. Chemosphere, ۴۷(۱۰), pp.۱۱۰۳-۱۱۱۱.

Yi-nuo, J.I., Zhi-zhong, Z.H.A.O., Dan, W.U. and Xiao-nuo, F.U., ۲۰۱۶. Distribution and bioavailability of seven heavy metals in mangrove wetland

sediments in Dongzhai Harbor, Hainan Island, China. Yingyong Shengtai Xuebao, ۲۷.(۲)

Zhang, M.K., Liu, Z.Y. and Wang, H., ۲۰۱۰. Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. Communications in Soil Science and Plant Analysis, ۴۱(۷), pp.۸۲۰-۸۳۱.