



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تاثیر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

مینا شایان جزی

استاد راهنما:

دکتر هادی قربانی

آبان ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

گروه آب و خاک

بررسی تاثیر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

مینا شایان جزی

استاد راهنما:

دکتر هادی قربانی

استاد مشاور:

مهندس محمد فیضی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

آبان ۱۳۸۹



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

شماره :
تاریخ :
ویرایش :

بسمه تعالی

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه خانم مینا شایان جزئی دانشجوی

کارشناسی ارشد رشته علوم خاک تحت عنوان "بررسی تاثیر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک"

که در تاریخ ۸۹/۸/۲۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : <u>۱۵</u>)	امتیاز : <u>۱۹,۸</u>	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input type="checkbox"/> مردود
-----------------------------	----------------------	------------------------------------	--------------------------------

۲- بسیار خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۱- عالی (۱۸ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۲ - ۱۳/۹۹)

۳- خوب (۱۴ - ۱۵/۹۹)

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران (a)
	استادیار	هادی قربانی	۱- استاد راهنما
	مریی	محمد فیضی	۳- استاد مشاور
	مریی	مهدی رحیمی	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	خلیل ازدری	۵- اسناد ممتحن
	استادیار	علی عباسپور	۶- اسناد ممتحن

تأیید رئیس دانشکده

سپاس خدای را که حق ستایشش بالاتر از حد ستایشگران است و نعمت هایش فوق اندیشه شمارشگران. بساط هستی را بی ماده پیشین بگسترانید و نخستین بنیاد خلقت را بی سابقه هستی بنا نهاد. در امر آفرینش نه اندیشه و تدبیری به جولان آورد و نه تجربه و آزمایشی او را در خور بود. کاخ مجلل هستی را بدون حرکت و تحولی در ذات پاکش برافراشت و بی نیاز از آن که قوای مضطربی در درونش متمرکز شود، چراغ هستی را برافروخت.

(فرازی از سخنان امام علی(ع)، نهج البلاغه)

سپاس خدای را که در طول زندگی لحظه به لحظه یاری ام کرد و توفیق کسب علم و دانش را در محضر اساتید گران قدر عطایم فرمود. بر من واجب است قدردانی و تشکر از همه کسانی که تا این مرحله از زندگی پشتیبان و یاورم بودند؛ از جمله خانواده و در رأس آن پدر و مادرم، اساتید عزیز و گرامی در دانشگاه صنعتی شاهرود به ویژه استاد راهنما آقای دکتر هادی قربانی، پرسنل محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان به خصوص آقای مهندس محمد فیضی و همه دوستان خوب و همراهم. از خداوند برای همه این عزیزان سلامتی، سعادت‌مندی و توفیق تشرّف به مکه مکرمه را مسألت دارم. در پایان از آقایان دکتر اژدری و دکتر عباسپور اساتید داور و آقای مهندس رحیمی نماینده تحصیلات تکمیلی تشکر و سپاسگزاری می نمایم.

آبان ماه ۱۳۸۹

تعهد نامه

اینجانب حیات بان جزیری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه / رساله بررسی سببهای آلودگی آب و خاک در مناطق کشاورزی تحت راهنمایی دکتر محمدعلی جریانی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

۱۹/۱۱/۲۹

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد.

چکیده

به کارگیری فاضلاب ها و پساب حاصل از تصفیه آنها در امر آبیاری محصولات کشاورزی، از جمله راهکارهای روبرویی با مسأله بحران آب در مناطق خشک و نیمه خشک است. به منظور بررسی تأثیر آبیاری با پساب بر برخی ویژگی‌های خاک، آزمایشی در سال زراعی ۸۸-۸۷ در منطقه شمال اصفهان انجام شد. آزمایش در نه مزرعه که پنج مزرعه با پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب و چهار مزرعه با آب چاه آبیاری می شد، صورت گرفت. در هر مزرعه ۳ یا ۴ نمونه مرکب خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری (در مجموع ۶۲ نمونه خاک) تهیه شد و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌ها مورد سنجش قرار گرفت. همچنین میزان انتقال برخی عناصر غذایی و عناصر سنگین به گندم، ذرت، یونجه و گرمک (در مجموع ۵۲ نمونه گیاه) اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز پساب نشان می‌دهد که بر طبق استانداردهای WHO، FAO و سازمان محیط زیست ایران، پساب تصفیه‌خانه شمال اصفهان از نظر پارامترهای pH، کلرید، بور، نترات، فلزات سنگین از جمله آهن، منگنز، روی، مس، سرب و کادمیوم، محدودیتی برای آبیاری ندارد.

آبیاری با پساب، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو عمق ۰-۳۰ سانتی متری و ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک شده است. آبیاری با پساب باعث افزایش پایداری خاکدانه شد که در عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک معنی‌دار بود. هدایت هیدرولیکی، سرعت نفوذ نهایی و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در اثر آبیاری با پساب، افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار نیست. هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) در خاکهای آبیاری شده با پساب، به صورت معنی داری کمتر از خاکهای آبیاری شده با آب چاه است. استفاده از پساب جهت آبیاری خاکها، تأثیری بر مقدار موادآلی و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک نداشته است. آبیاری با پساب تأثیری بر غلظت نیتروژن، آهن، مس، سرب و کادمیوم خاک نداشته است. استفاده از پساب برای آبیاری، باعث کاهش معنی‌دار منیزیم و سدیم خاک شده است. فسفر قابل دسترس در هر دو عمق نمونه‌برداری در اثر آبیاری با پساب افزایش معنی‌داری داشته است. کلسیم، روی و منگنز خاک در اثر آبیاری با پساب به صورت غیر معنی‌داری افزایش یافته است. در دانه گندم آبیاری شده با پساب، نیتروژن، پتاسیم، آهن،

منگنز، مس و سرب بیشتر از دانه گندم آبیاری شده با آب چاه بود؛ هرچند هیچ یک از این اختلاف ها معنی دار نبوده است. در کاه گندم آبیاری شده با پساب نیتروژن، آهن، مس و سرب بیشتر از کاه گندم آبیاری شده با آب چاه بود. آبیاری گندم با پساب موجب افزایش معنی دار عناصر غذایی و عناصر سنگین مورد آزمایش در مقایسه با آبیاری با آب چاه نمی شود.

میزان نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و مس در یونجه آبیاری شده با پساب بیشتر از یونجه آبیاری شده با آب چاه بود. ولی این تفاوت معنی دار نبود. آهن و منگنز یونجه آبیاری شده با آب چاه به طرز معنی داری بیشتر از آب چاه بود.

آبیاری با پساب باعث افزایش معنی دار نیتروژن و فسفر در بوته و دانه ذرت و نیز افزایش معنی دار منگنز در دانه ذرت در مقایسه با آبیاری با آب چاه شده است. پتاسیم، آهن و مس در دانه ذرت و روی و مس در بوته ذرت آبیاری شده با پساب بیشتر از ذرت آبیاری شده با آب چاه بود. ولی این افزایش معنی دار نبود.

در میوه گرمک، آبیاری با پساب باعث افزایش عناصر نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز، روی و مس در مقایسه با آبیاری با آب چاه شده است که در مورد نیتروژن و منگنز این افزایش معنی دار است. آبیاری با پساب باعث افزایش منگنز و سرب در بوته گرمک شده است، البته این تفاوت معنی دار نمی باشد. آبیاری با پساب باعث افزایش تجمع کادمیوم تا $1-0.4 \text{ mg/kg}$ و وزن خشک در گرمک در مقابل عدم تجمع این عنصر در آبیاری با آب چاه شده است.

به طور کلی نتایج نشان داد که در مورد پارامترهای اندازه گیری شده، استفاده از پساب نه تنها تأثیر نامطلوبی بر خاک نداشته است، بلکه برخی خواص خاک را بهبود داده است. بنابراین در شرایطی مشابه این مطالعه بدون اینکه غلظت بالایی از عناصر غذایی و عناصر سنگین در گیاه تجمع یابد، می توان از پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان برای آبیاری زمین های کشاورزی استفاده نمود.

واژگان کلیدی: پساب، آبیاری، عناصر غذایی، فلزات سنگین، محصولات کشاورزی

فهرست مطالب

فصل اول: مروری بر فاضلاب‌ها و فرآیندهای تصفیه آنها

۲	..... مقدمه
۴	..... ۱-۱- تعریف فاضلاب
۴	..... ۲-۱- ترکیب فاضلاب
۵	..... ۳-۱- انواع و خواص فاضلاب‌ها
۶	..... ۱-۳-۱- فاضلابهای خانگی
۶	..... ۱-۱-۳-۱- رنگ فاضلاب
۶	..... ۲-۱-۳-۱- بوی فاضلاب
۷	..... ۴-۱-۳-۱- درجه اسیدی فاضلاب
۷	..... ۵-۱-۳-۱- مواد خارجی در فاضلاب
۸	..... ۶-۱-۳-۱- موجودات زنده در فاضلاب
۹	..... ۲-۳-۱- فاضلاب‌های صنعتی
۱۰	..... ۳-۳-۱- فاضلاب‌های سطحی
۱۱	..... ۴-۱- جمع‌آوری فاضلاب
۱۱	..... ۱-۴-۱- تاریخچه جمع‌آوری فاضلاب
۱۲	..... ۲-۴-۱- اهمیت جمع‌آوری فاضلاب در جهان امروز
۱۴	..... ۵-۱- تصفیه فاضلاب
۱۴	..... ۱-۵-۱- تاریخچه تصفیه فاضلاب
۱۵	..... ۲-۵-۱- هدف از تصفیه فاضلاب
۱۶	..... ۳-۵-۱- مراحل تصفیه فاضلاب
۱۷	..... ۱-۳-۵-۱- تصفیه اولیه
۱۸	..... ۲-۳-۵-۱- تصفیه ثانویه
۲۰	..... ۳-۳-۵-۱- تصفیه پیشرفته

فصل دوم: کاربرد فاضلاب‌ها در کشاورزی و اثرات زیست محیطی آن

۲۴	..... ۱-۲- دلایل استفاده از پساب در کشاورزی
۲۴	..... ۱-۱-۲- خشکسالی و کمبود آب شیرین
۲۵	..... ۲-۱-۲- رشد جمعیت و افزایش تولید فاضلاب
۲۶	..... ۳-۱-۲- وجود مواد و عناصر غذایی در فاضلاب
۲۶	..... ۲-۲- تاریخچه استفاده مجدد از فاضلاب

- ۳-۲- سابقه تدوین استانداردهای پساب مورد استفاده در کشاورزی ۲۷
- ۴-۲- پیامدهای استفاده از پساب در کشاورزی ۳۱
- ۱-۴-۲- اثرات استفاده از پساب بر خواص شیمیایی و تغذیه‌ای خاک ۳۱
- ۲-۴-۲- اثرات استفاده از پساب بر خواص فیزیکی خاک ۳۷
- ۳-۴-۲- اثرات استفاده از پساب بر گیاه ۴۰

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۱-۳- مشخصات جغرافیایی و اقلیم منطقه مورد مطالعه ۴۴
- ۲-۳- مشخصات تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان ۴۴
- ۳-۳- روش انجام آزمایش ۴۶
- ۱-۳-۳- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک ۴۶
- ۲-۳-۳- اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی خاک ۴۸
- ۳-۳-۳- تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب و پساب ۵۱
- ۴-۳-۳- اندازه‌گیری عناصر در گیاهان ۵۱
- ۵-۳-۳- محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری ۵۲

فصل چهارم: نتایج و بحث

- ۱-۴- ویژگی‌های پساب و آب مورد استفاده ۵۴
- ۱-۱-۴- اسیدیته ۵۴
- ۲-۱-۴- هدایت الکتریکی ۵۴
- ۳-۱-۴- نسبت جذب سدیم (SAR) ۵۷
- ۴-۱-۴- آنیون‌ها ۵۷
- ۵-۱-۴- کاتیون‌ها ۵۸
- ۶-۱-۴- فلزات سنگین ۵۸
- ۲-۴- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ۵۸
- ۳-۴- اثرات پساب بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک ۵۹
- ۱-۳-۴- جرم مخصوص ظاهری (ρ_b) ۵۹
- ۲-۳-۴- پایداری خاکدانه (MWD) ۵۹
- ۳-۳-۴- هدایت هیدرولیکی (K_s) ۶۰
- ۴-۳-۴- نفوذ نهایی خاک (I) ۶۰

۶۱	..... ۵-۳-۴- ظرفیت نگهداری رطوبت
۶۲	..... ۴-۴- اثرات پساب بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک
۶۲	..... ۱-۴-۴- اسیدیته خاک
۶۲	..... ۲-۴-۴- هدایت الکتریکی خاک (EC)
۶۴	..... ۳-۴-۴- آنیون‌های خاک
۶۴	..... ۴-۴-۴- کربن آلی خاک
۶۵	..... ۵-۴-۴- ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC)
۶۵	..... ۶-۴-۴- سدیم تبدالی خاک (Na_{ex})
۶۵	..... ۷-۴-۴- نسبت جذب سدیم (SAR)
۶۷	..... ۸-۴-۴- درصد سدیم تبدالی (ESP)
۶۷	..... ۹-۴-۴- عناصر غذایی
۷۰	..... ۱۰-۴-۴- فلزات سنگین
۷۲	..... ۵-۴- اثرات پساب بر تجمع عناصر در گیاهان و محصولات کشاورزی

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۸۱	..... ۱-۵- نتیجه گیری
۸۳	..... ۲-۵- پیشنهادات
۸۴	..... منابع

فهرست جداول

- جدول ۱-۱-۱- مقادیر مواد خارجی معمول در فاضلاب خانگی ۵
- جدول ۱-۲-۱- مقادیر احتمالی باکتری‌ها در فاضلاب شهری ۸
- جدول ۱-۳-۱- اطلاعات پساب اولیه در کالیفرنیا ۱۹
- جدول ۱-۴-۱- کیفیت پساب پیشرفته در مناطقی از کالیفرنیا ۲۱
- جدول ۱-۵-۱- استانداردهای کیفی فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری ۲۹
- جدول ۱-۴-۱- مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب چاه و پساب با برخی استانداردهای موجود ۵۵
- جدول ۲-۴-۲- راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO برای تولید محصول ۵۶
- جدول ۳-۴-۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ۵۹
- جدول ۴-۴-۴- مقایسه پارامترهای فیزیکی خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری ۶۱
- جدول ۵-۴-۵- مقایسه ظرفیت نگهداری رطوبت خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری ۶۲
- جدول ۶-۴-۶- مقایسه میانگین خواص شیمیایی خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر ۶۳
- جدول ۷-۴-۷- مقایسه میانگین خواص شیمیایی خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر ۶۳
- جدول ۸-۴-۸- گروه‌بندی شوری خاک ۶۶
- جدول ۹-۴-۹- گروه‌بندی درصد سدیم تبادلی و خطر سدیم ۶۶
- جدول ۱۰-۴-۱۰- مقایسه میانگین غلظت عناصر پرمصرف و سدیم خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر ۶۸
- جدول ۱۱-۴-۱۱- مقایسه میانگین غلظت عناصر پرمصرف و سدیم خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر ۶۸
- جدول ۱۲-۴-۱۲- مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر ۷۱
- جدول ۱۳-۴-۱۳- مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر ۷۱
- جدول ۱۴-۴-۱۴- غلظت طبیعی و غیر معمول برخی عناصر کمیاب در خاک ۷۱
- جدول ۱۵-۴-۱۵- مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین در گیاهان آبیاری شده با آب چاه و پساب ۷۵
- جدول ۱۶-۴-۱۶- میانگین غلظت مناسب عناصر معدنی در وزن خشک گیاهان برای رشد طبیعی ۷۹
- جدول ۱۷-۴-۱۷- میانگین برخی فلزات در گیاهان بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک ۷۹

فهرست اشکال

- شکل ۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران ۴۵
- شکل ۳-۲- تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان و مزارع اطراف آن ۴۵
- شکل ۴-۱- غلظت نیتروژن در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۶
- شکل ۴-۲- غلظت فسفر در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۶
- شکل ۴-۳- غلظت پتاسیم در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۶
- شکل ۴-۴- غلظت آهن در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۶
- شکل ۴-۵- غلظت منگنز در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۶
- شکل ۴-۶- غلظت روی در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۶
- شکل ۴-۷- غلظت مس در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۷
- شکل ۴-۸- غلظت سرب در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۷
- شکل ۴-۹- غلظت کادمیوم در گیاهان در دو عرصه آبیاری ۷۷

فصل اول

مروری بر فاضلاب ها و فرآیندهای تصفیه آنها

مقدمه

رشد جمعیت در دهه های اخیر، گسترش نیازهای انسان و بالا رفتن سطح بهداشت مردم، باعث گردیده که منابع آب شیرین سطحی و زیرزمینی بیش از حد مصرف شده و در حالت های بحرانی قرار گیرند. این مسأله در دوره های خشکسالی بسیار تشدید می گردد و برای کشورهایی چون ایران که بر روی کمربند خشک زمین قرار دارد محسوس تر و نیاز به توجه بیشتری می باشد [۷].

به کارگیری فاضلاب ها و پساب حاصل از تصفیه آنها در امر آبیاری محصولات کشاورزی، از جمله راه کارهای رویارویی با مسأله بحران آب به شمار آمده که در سطح وسیعی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک و درگیر با مشکل کم آبی مورد توجه خاص قرار گرفته است. فاضلاب های شهری و خانگی با ترکیبی مشتمل بر ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد مخلوطی از انواع مواد آلی، معدنی و گازها جزء آب های نامتعارف یا آب ها با کیفیت پایین به شمار می آیند. البته این امر دلیلی بر غیر قابل مصرف بودن این نوع آب ها نبوده، بلکه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها موجب می شود تا ضمن کاربرد، عملیات مدیریتی ویژه ای مورد نیاز باشد که در استفاده از آب های با کیفیت مناسب معمول نیست [۱۱، ۱۳ و ۷۴].

فاضلاب ها یکی از عوامل آلاینده محیط زیست می باشند که لازم است آنها را به طریق بهداشتی جمع آوری، تصفیه و مجدداً به گردش آب در طبیعت بازگرداند. لذا در جهت توسعه و بهره برداری از منابع آبی جدید به خصوص در بخش کشاورزی، استفاده مجدد از پساب های صنعتی، شهری و روستایی می تواند به عنوان منابع آب مورد توجه قرار گیرد تا نه تنها کسری از میزان کمبود آب کشاورزی را جبران نماید، بلکه از اثرات سوء تخلیه بی رویه فاضلاب و خسارات وارده آن به محیط زیست نیز جلوگیری به عمل آید [۱۷].

استفاده از فاضلاب در کشاورزی از دو جهت حائز اهمیت می باشد: اول از جهت کنترل آلودگی های آن (عدم رهاسازی در رودخانه ها) و دوم از جهت منبع غذایی موجود در آن برای گیاه [۷].

در نواحی خشک و نیمه خشک، احیاء و استفاده مجدد از فاضلاب یک عنصر مهم در برنامه ریزی منابع آب است [۵۲]، که در نتیجه کمیابی آب شیرین، قیمت بالای کود های شیمیایی، مقدار زیاد مواد غذایی در فاضلاب، قیمت بالای تصفیه پیشرفته مورد نیاز برای سایر کاربردها و در دسترسی به منابع فاضلاب در مناطق نزدیک به اراضی کشاورزی است [۵۳].

افزایش جمعیت نه تنها تقاضا برای آب شیرین را افزایش داده است، بلکه تولید فاضلاب را نیز افزایش می دهد. فاضلاب تصفیه شده و باز چرخ شده تنها منبع آبی است که با رشد جمعیت افزایش می یابد، در حالیکه سایر منابع کاهش می یابد [۱۱۱ و ۸۰].

کشور ایران در میان کشورهای خاورمیانه تا سال ۲۰۵۰، ۲۰ تا ۲۵ درصد کاهش بارندگی سالانه را در مقایسه با متوسط بارندگی سالانه در سال های ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تجربه خواهد کرد [۳۰]. به علاوه ایران از جمله کشورهایی است که مصرف آب در آن فراتر از استانداردهای بین المللی است [۱۰۲]. حجم آب های نامتعارف از جمله پساب فاضلاب شهری و صنعتی در ایران (آمار سال ۱۳۷۵) ض/۳ میلیارد متر مکعب (۲/۵ میلیارد متر مکعب پساب فاضلاب شهری) در سال است. مقدار این پساب ها در سال ۱۳۸۰ به رقم ۴/۵ میلیارد متر مکعب در سال رسیده است و پیش بینی می شود که حجم پساب ها در سال ۱۳۹۰ به ۷ میلیارد متر مکعب در سال برسد [۱۸ و ۱۲۲].

استفاده از فاضلاب در آبیاری، بسته به منطقه جغرافیایی می تواند سودمند یا زیان بار باشد، که در این راستا تحقیقات زیادی انجام گرفته است [۲۲]. امروزه تحقیقات محلی در زمینه انواع آب های نامتعارف (از جمله فاضلاب ها) در آبیاری اراضی کشاورزی و مشاهده جنبه های مختلف آن از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. نتایج به دست آمده از تحقیقات انجام شده در مناطق مختلف نشان داده است که به دلیل وجود برخی تفاوت ها در شرایط اقلیمی، گیاهی، اجتماعی، فرهنگی، کیفیت خاک و سایر عوامل و متغیر بودن خصوصیات فاضلاب از منطقه ای به منطقه دیگر و حتی در طول زمان در یک محل [۹۹] در هر منطقه باید بررسی، تحقیق و کنترل در اراضی کشاورزی تحت آبیاری فاضلاب صورت گیرد [۳۹].

۱-۱- تعریف فاضلاب

فاضلاب عبارت است از آب استفاده شده ای که برای مصرف خاص خود قابل استفاده مجدد نیست، یا به عبارتی کیفیت آن پایین تر از قبل از استفاده از آن می باشد. این آب دارای مقادیری فضولات جامد و مایع است که از خانه ها، خیابان ها، شستشوی زمین ها و در مجموع ناشی از فعالیت های انسانی نظیر سرویس های بهداشتی، کارخانه ها، صنایع و کشاورزی است. چون این آب اغلب ناپاک و دارای بوی ناخوشایند است، "گنداب" نیز نامیده می شود. فاضلاب یا گنداب ممکن است خانگی یا ترکیبی از فاضلاب خانگی، فاضلاب صنعتی و کشاورزی نیز باشد. فاضلاب خانگی، آبی است که مواد زائد بدن انسان و فاضلاب حاصل از اقدامات بهداشتی مانند استحمام، شستشوی لباس، پخت و پز و دیگر مصارف آشپزخانه را تشکیل می دهد. حجم فاضلاب تولیدی در اجتماعات به موارد زیر بستگی دارد [۳]:

۱. عادات فردی: هر چه میزان مصرف آب مردم بیشتر باشد، فاضلاب تولیدی آن ها بیشتر خواهد بود.

۲. نوع شبکه گردآوری فاضلاب (ترکیبی یا مجزا): در نوع ترکیبی حجم فاضلاب بیشتر خواهد شد.

۳. تغییرات فاضلاب در زمان.

۱-۲- ترکیب فاضلاب

فاضلاب تقریباً ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد مواد جامد دربردارد که بخشی از آن مواد آلی و بخشی دیگر مواد معنی جامد به حالت محلول یا معلق در آب می باشند. بوی بد فاضلاب اغلب به علت مواد آلی موجود در آن می باشد. این مواد بیشتر قابل تجزیه میکروبی هستند و بعضاً تجزیه میکروبی منجر به تولید بوی نامطبوع می شود. علاوه بر مشکل بو، فاضلاب های دریافت کننده مدفوع

انسانی و حیوانات زنده در بردارنده میکروارگانیسم‌های بیماریزا هستند که از نظر آلودگی محیط به ویژه آلودگی های آب و خاک فوق العاده اهمیت دارند [۳].

از جمله مواد آلی موجود در فاضلاب می توان کربوهیدرات ها، لیگنین ها، چربی ها، قلیاها، مواد پاک کننده صنعتی، پروتئین ها و محصولات حاصل از تجزیه آنها و نیز سایر ترکیبات شیمیایی آلی طبیعی و مصنوعی حاصل از فرآیندهای صنعتی را نام برد. جدول ۱-۱ مقدار معمول تشکیل دهنده های فاضلاب خانگی را در سه گروه شدید، متوسط و ضعیف نشان می دهد [۳۰].

جدول ۱-۱- مقادیر مواد خارجی معمول در فاضلاب خانگی
(بخش همکاری های فنی در جهت توسعه، سازمان ملل متحد، ۱۹۸۵) [۳۰]

غلظت بر حسب mg/L			
ضعیف	متوسط	شدید	
۳۵۰	۷۰۰	۱۲۰۰	کل نمک ها
۲۵۰	۵۰۰	۸۵۰	نمک های محلول (TDS)
۱۰۰	۲۰۰	۳۵۰	نمک های معلق
۲۰	۴۰	۸۵	نیتروژن (N)
۶	۱۰	۲۰	فسفر (P)
۳۰	۵۰	۱۰۰	کلرید
۵۰	۱۰۰	۲۰۰	کربنات کلسیم (CaCO ₃)
۵۰	۱۰۰	۱۵۰	چربی
۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	BOD ₅ ^۱

در کشورهای خشک و نیمه خشک که مصرف آب سرانه کمتر است، طبیعتاً مواد موجود در فاضلاب خیلی بزرگتر از شرایط عادی می باشد. همچنین از مواد معدنی موجود در فاضلاب شهری می توان برخی از عناصر بالقوه سمی از قبیل آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب، جیوه، روی و غیره را نام برد که منشاء آنها مصارف خانگی و کارگاه های صنعتی می باشد [۳۰].

۱-۳- انواع و خواص فاضلاب ها

۱. BOD مخفف Biological Oxygen Demand و نشان دهنده ی درجه ی آلودگی فاضلاب است و BOD₅ بنا به تعریف عبارت است از مقدار میلی گرم اکسیژن که لازم است تا پنج روز نخست، باکتری های هوازی، مواد آلی موجود در یک لیتر فاضلاب را در گرمای ۲۰ درجه سانتی گراد اکسید نماید.

فاضلاب‌ها بسته به شکل پیدایش و خواص آنها به سه گروه تقسیم می‌گردند:

۱. فاضلاب‌های خانگی

۲. فاضلاب‌های صنعتی

۳. فاضلاب‌های سطحی

۱-۳-۱- فاضلاب‌های خانگی (Domestic Wastewater):

فاضلاب‌های خانگی خالص تشکیل شده اند از فاضلاب‌های سرویس‌های بهداشتی خانه‌ها مانند توالت‌ها، دستشویی‌ها، حمام‌ها، ماشین‌های لباسشویی و ظرفشویی، پساب آشپزخانه‌ها و یا فاضلاب‌ها به دست آمده از شستشوی قسمت‌های گوناگون منازل. خواص این فاضلاب‌ها در سطح کشور تقریباً یکسان و تنها غلظت آنها بسته به مقدار مصرف سرانه آب در شهرها تغییر می‌کند. در شبکه‌های فاضلاب شهری آنچه به نام فاضلاب خانگی نامیده می‌شود، به جز فاضلاب‌های خانگی دارای مقادیری فاضلاب‌های به دست آمده از مغازه‌ها، فروشگاه‌ها، تعمیرگاه‌ها، کارگاه‌ها، رستوران‌ها و مؤسسه‌هایی مانند آنها نیز می‌باشد که اجباراً در سطح شهر و به طور پراکنده وارد کانال‌های فاضلاب می‌گردند. بنابراین با توجه به نوع و تعداد این گونه مؤسسه‌ها ممکن است نوع فاضلاب خانگی در شهر تغییر کند.

۱-۱-۳-۱- رنگ فاضلاب (Color of Wastewater)

رنگ فاضلاب معمولاً نشان دهنده عمر آن است. فاضلاب تازه، رنگ خاکستری دارد و پس از مدتی که فاضلاب گندید و کهنه شد رنگ آن تیره و سیاه می‌گردد.

۱-۳-۱-۲- بوی فاضلاب (Odor of Wastewater)

بوی فاضلاب ناشی از گازهایی است که در اثر متلاشی شدن مواد آلی به وجود می‌آید. بوی فاضلاب تازه قابل تحمل تر از فاضلاب کهنه است. بوی فاضلاب کهنه، بیشتر ناشی از گاز سولفید هیدروژن (Hydrogen Sulfide) می‌باشد که در اثر فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی و در فرآیند

احیای سولفات‌ها تولید می‌گردد. در صورتی که به فاضلاب هوا و اکسیژن کافی برسد، باکتری‌های بی‌هوازی از فعالیت باز ایستاده و به جای آنها باکتری‌های هوازی مواد آلی فاضلاب را تجزیه می‌کنند و گازکربنیک مهمترین گازی است که از کار این باکتری‌ها تولید می‌شود. از این رو مانند آنچه در تصفیه خانه‌های فاضلاب رخ می‌دهد، اگر اکسیژن کافی به فاضلاب دمیده شود، فاضلاب بی‌بو می‌گردد [۴۶ و ۴۷].

۱-۳-۱-۳- درجه اسیدی فاضلاب (Acidity of wastewater)

فاضلابهای خانگی خالص و تازه معمولاً حالتی خنثی و یا متمایل به قلیایی دارند و تنها در اثر ماندن و گندیدگی گازهای اسیدی نظیر سولفید هیدروژن تولید می‌کنند [۴۶، ۴۷ و ۱۰۳].

۱-۳-۱-۴- دمای فاضلاب

درجه گرمای فاضلاب معمولاً بیشتر از درجه گرمای آب در همان محیط است. درجه گرمای فاضلاب در سردترین روزهای زمستان غالباً از ۱۰ درجه سانتی‌گراد کمتر نمی‌گردد. در روزهای معمولی درجه گرمای فاضلاب حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد است [۸۴].

۱-۳-۱-۵- مواد خارجی در فاضلاب (Constituents in Wastewater)

مواد خارجی موجود در فاضلاب به صورت‌های آلی و معدنی می‌باشند. نسبت مواد آلی به مواد معدنی در فاضلاب‌های شهری پیرامون ۵۰ درصد می‌باشد. از نقطه نظر آمیختگی آنها، پیرامون ۷۰ درصد مواد خارجی به صورت محلول و ۳۰ درصد به صورت مواد معلق در فاضلاب ظاهر می‌گردند. مقدار مواد خارجی تولید شده به ازای هر نفر در یک شبانه‌روز با افزایش مصرف آب زیاد می‌گردد. در حالیکه غلظت فاضلاب نسبت به مواد خارجی با افزایش مصرف آب کاسته می‌شود. زیرا مواد خارجی نامبرده به جز آنچه از سرویس‌های بهداشتی ساختمان‌ها حاصل می‌شود، شامل موادی مانند ماسه، چوب، کاغذ و پارچه نیز می‌باشند که در ضمن شستشوی زمین‌ها، در شبکه مجزا وارد کانال‌های جمع‌آوری فاضلاب خانگی می‌گردد [۴۶ و ۴۷].

۱-۳-۱-۶- موجودات زنده در فاضلاب

به جز مواد خارجی آلی و معدنی، همیشه فاضلاب مقدار زیادی موجودات زنده ذره بینی مانند ویروس ها و میکروب ها (باکتری ها) به همراه دارد. تنها بخش کمی از این موجودات زنده ممکن است بیماری زا باشند، مانند باسیل حصبه، اسهال و وبا که جزء باکتری های انگلی هستند. دو گروه از این موجودات زنده به نام باکتری های هوازی و باکتری های بی هوازی حتی در تصفیه فاضلاب نقشی مثبت و کمک کننده دارند. شمار موجودات زنده در یک سانتی متر مکعب از فاضلاب شهری به یک میلیون عدد نیز می رسد [۴۶ و ۴۷].

ارگانسیم های بیماری زای موجود در فاضلاب بسیار با اهمیت هستند. ویروس های بیماری زا، باکتری ها، تک سلولی ها و کرمها احتمال دارد در سطحی که در جدول ۱-۲ ارائه شده است، در فاضلاب خام شهری یافت شوند [۳۰].

جدول ۱-۲- مقادیر احتمالی باکتری ها در فاضلاب شهری [۷۳]

نوع پاتوژن	غلظت احتمالی در لیتر فاضلاب شهری
ویروس: روده ریش ^۱	۵۰۰
باکتری: کلیفرم های مدفوعی بیماری زا ^۲	نامشخص
سالمونلا ^۳	۷۰۰۰
باسیل شیگلا ^۴	۷۰۰۰
ویبریوی وبا	۱۰۰۰
تک سلولی: در آمیب بافتی ^۵	۴۵۰۰
کرم های انگلی: کرم گرد روده ای	۶۰۰
کرم قلاب دار	۳۲
شیستوزما ^۶	۱
کرم کدو	۱۰
تریشوریس تریشورا ^۱	۱۲۰

۱. روده ریش: ویروس روده که موجب بیماری های زیادی می شود شامل Polioviruses, Echoviruses, Coxsackieviruses می باشد.
۲. کلیفرم های مدفوعی بیماری زا: شامل Enteropathogenic E. coli, Enteroinvasive, Enterotoxigenic.
۳. سالمونلا (ترکیزه ها): ترکیزه ها که در انسان و حیوان موجب تیفوئید و مسمومیت می شوند.
۴. باسیل شیگلا: موجب اسهال می شود.
۵. در آمیب: در آمیب مخصوص مهره داران که موجب اسهال خونی می شود.
۶. شیستوزما: کرمک های ریز که انگل خون انسان، پرندگان و پرندگان هستند.

باکتری های بیماری زا که در فاضلاب موجود هستند، تعدادشان به مراتب از گروه های باکتری های کلیفری^۲ که به آسانی شناخته و شمرده می شوند (بر حسب کل کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر)، کمتر است [۳۰].

۱-۳-۱-۷- وزن مخصوص فاضلاب

با توجه به سبک بودن مواد خارجی موجود در فاضلاب و نیز وجود برخی گازهای محلول در آن، وزن مخصوص فاضلاب کمی کمتر از وزن مخصوص آب است و به حدود ۰/۹۹ تن بر متر مکعب می رسد. در عمل معمولاً وزن مخصوص فاضلاب برابر وزن مخصوص آب فرض می شود [۴۶].

۱-۳-۲- فاضلاب های صنعتی (Industrial Wastewater)

خواص فاضلاب های صنعتی و پساب کارخانه ها معمولاً بستگی به نوع فرآورده های کارخانه دارد. با توجه به این موضوع مهم ترین تفاوتی که فاضلاب صنعتی می توانند با فاضلاب های خانگی داشته باشند، عبارتند از:

۱. امکان وجود مواد و ترکیب های شیمیایی سمی در فاضلاب صنعتی بیشتر است.

۲. فاضلاب صنعتی خاصیت خورندگی و درجه اسیدی بیشتری دارند.

۳. امکان وجود موجودات زنده در فاضلاب صنعتی کمتر است.

تنها بخشی از فاضلاب صنعتی که تقریباً در تمام کارخانه ها خاصیتی یکسان دارند، فاضلاب به دست آمده از تشکیلات خنک کننده آنهاست. آلودگی این فاضلاب ها بسته به تعداد دفعه ای که آب برای خنک کردن کارخانه ها به کار برده شود و یا شیوه خنک کردن، یعنی به صورت سیکل باز یا سیکل بسته انجام گیرد متفاوت است. معمولاً آلودگی این گونه پساب ها از انواع دیگر کمتر می باشد و بیشتر به صورت وجود مواد نفتی و روغنی در آنها نمایان می شود [۴۶ و ۴۷].

۷. تریشوریس تریشورا: از نمونه های انگلی روده که در انسان و بسیاری از پستانداران یافت می شوند.

۱. Coliform Bacteria گروهی از باکتریها هستند که در روده و مدفوع بیشتر حیوانات یافت می شوند و در خاک گیاهان نیز وجود دارند، شکل آنها میله ای بوده و از طریق توانایی رشد در محیط کشت و تخمیر لاکتوز و تولید اسید باز شناخته می شوند.

در پساب برخی از کارخانه ها مانند کارخانه های بهره برداری از معادن، کارخانه های فولاد سازی و کارخانه های شیمیایی، بیشتر مواد خارجی را مواد معدنی تشکیل می دهند. در صورتی که در برخی دیگر از کارخانه های تهیه مواد غذایی و کارخانه های نشاسته سازی بیشتر مواد خارجی در فاضلاب، مواد آلی هستند. بنابراین بررسی در مقدار مواد خارجی موجود در فاضلاب های صنعتی باید در هر مورد با توجه به مشخصات کارخانه به عمل آید. درجه آلودگی این گونه فاضلاب ها می تواند از چند گرم تا چند هزار گرم BOD_5 در متر مکعب تغییر کند [۴۶ و ۴۷].

با توجه به ویژگی های نامبرده، برای وارد نمودن فاضلاب های صنعتی به شبکه جمع آوری فاضلاب شهری، ضوابط و شرایطی وجود دارند که کاملاً به نوع فرآیندهای کارخانه بستگی دارد. توجه نکردن به این شرایط ممکن است موجب فرسایش، خوردگی و سرانجام خراب شدن شبکه های جمع-آوری و انتقال فاضلاب گردد. به جز آن آمیختن فاضلاب های صنعتی با فاضلاب های شهری بسته به نوع کارخانه ممکن است در فرآیند تصفیه اثر منفی گذارد. با توجه به این مشکلات در بسیاری از کشورهای صنعتی شبکه جمع آوری مجرای برای فاضلاب های صنعتی پیش بینی می شود و فاضلاب-های صنعتی را به وسیله این شبکه ها برای تصفیه خانه های ویژه ای ارسال می کند [۴۶ و ۴۷].

۱-۳-۳- فاضلاب های سطحی (Surface Water)

فاضلاب های سطحی در حقیقت آب های سطحی ناشی از بارندگی و ذوب یخ ها و برف های نقاط بلند هستند. این آب ها به علت جریان در سطح زمین و تماس با آشغال های روی زمین و شستن سطح خیابان ها و پشت بام ها، آلوده شده و مقداری مواد آلی و معدنی در آنها وارد می گردد. از این رو در آغاز بارندگی درجه آلودگی آب های سطحی زیاد بوده و می توان آنها را فاضلاب سطحی نامید. پس از پاک شدن سطح های بارش مقدار آلودگی آنها کاسته می شود. بیشترین قسمت مواد خارجی را در آب های سطحی مواد معدنی مانند ماسه و شن تشکیل می دهند که در اثر شستشوی خیابان ها وارد آب های سطحی می شوند. به جز آن ها پس مانده ذرات گیاهی و حیوانی و مواد نفتی و دوده، بخشی دیگر از مواد خارجی آب های سطحی را تشکیل می دهند [۴۶ و ۴۷].

۱-۴- جمع آوری فاضلاب

۱-۴-۱- تاریخچه جمع آوری فاضلاب

مسئله بیرون راندن فاضلاب از محیط زیست انسان از زمانی به وجود آمد که مردم به زندگی عمومی روی آوردند. با پیدایش شهرها و گسترش شبکه آبرسانی، انسان برای پاک سازی و پاک نگهداری زندگی خویش، بیرون راندن پساب های به دست آمده را پسندیده و لازم دید. پس از پیشرفت تکنیک شبکه های آبرسانی، ساختن شبکه های دفع فاضلاب نیز مورد توجه قرار گرفت [۴۷].

قدیمی ترین شبکه های جمع آوری فاضلاب (Sewerage) را می توان در آثار تمدن هندیان مشاهده نمود. در این آثار که تاریخ آنها به حدود ۷۰۰۰ سال پیش نسبت داده می شود، باقی مانده شبکه های فاضلاب با دیواره آجری و یا سفالی برای هدایت فاضلاب های خانگی دیده می شود [۴۷].

در خرابه های شهر بابل و نینوا و نیز در جزیره کرت آثاری از مجراهای فاضلاب و آبریزگاه های همگانی دیده شده اند. در شهر های یونان و روم قدیم آثار کانال های فاضلاب به قطرهای ۲ تا ۳ متر مشاهده می شوند که ساختمان آنها را به ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد نسبت می دهند، در فلسطین اشغالی آثار کانال های هدایت فاضلاب به بیرون شهر و جمع آوری آن در دریاچه های فاضلاب و حتی استفاده از فاضلاب به عنوان کود در کشاورزی دیده شده است که در تاریخ ایجاد آنها به پیرامون ۳۰۰۰ سال پیش می رسد. همچنین در شهر بمبئی باقی مانده کانال های فاضلاب مشاهده می شود که ساختمان آنها را به حدود ۱۹۰۰ سال پیش مربوط می دانند [۴۷].

کانال های اصلی شبکه فاضلاب شهر پاریس به درازای ۳۶ کیلومتر در سال ۱۷۸۹ میلادی ساخته شدند [۴۷]. شهر لندن، پس از کشتاری که بیماری وبا در آن انجام داده و طی آن ۲۵۰۰۰ نفر تلف شدند، در سال های ۱۸۳۲ تا ۱۸۴۸ دارای شبکه زیرزمینی جمع آوری فاضلاب شد [۸۴]. هامبورگ در سال ۱۸۴۲، برلین در سال ۱۸۵۲ و فرانکفورت در سال ۱۸۶۶ دارای شبکه کانالیزاسیون شدند [۴۷].

تا نزدیک یکصد سال پیش بیشتر کانال‌های فاضلاب و به ویژه کانال‌های فرعی آن به صورت روباز ساخته می‌شدند. آشکار شدن اثر این قبیل کانال‌ها در پخش بیماری‌های واگیر باعث شد تا عمده شبکه‌های فاضلاب به بخش‌های زیرزمینی انتقال یابند [۴۷].

در ایران تا گذشته ای نزدیک مسأله دفع فاضلاب بسته به وضعیت سطح آب زیرزمینی به دو گونه حل می‌شد:

۱. در شهرهایی که عمق سطح آب زیرزمینی و نفوذپذیری زمین نسبتاً زیاد بود، از چاه‌های جذب کننده فاضلاب استفاده می‌شد. این روش سنتی تا کنون نیز در بسیاری از شهرهای ایران کاربرد دارد [۴۷].

۲. در شهرهایی که سطح آب زیرزمینی بالا یا زمین از نفوذپذیری کمی برخوردار است مسأله دفع فاضلاب بدین گونه حل می‌شده است که اگر شهر دارای شیب کافی و یا زهکش‌های طبیعی مانند رودخانه در مجاورت آن بوده، با ساختن کانال‌های موضعی و کوتاه فاضلاب‌های خانگی و سطحی را بدون تصفیه به بیرون شهر منتقل می‌ساختند. در این مورد می‌توان برای نمونه از کانال‌های قدیمی شهرهای ساحلی جنوب ایران مانند اهواز و بوشهر نام برد. اما در صورتی که شهر شیب کافی برای هدایت فاضلاب نداشته، با کمک لجن‌کش‌ها چاه‌های جمع‌آوری فاضلاب را خالی و به بیرون شهر منتقل می‌کردند. از اینگونه شهرها می‌توان زابل را به عنوان نمونه نام برد [۴۷].

در طی ۳۰ تا ۴۰ سال اخیر در برخی از شهرها مانند اصفهان، اهواز و برخی نواحی تهران اقدام به ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب گردید. به ویژه در سال‌های اخیر با تأسیس شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در بسیاری از شهرها که در این مورد با مشکلات حادی روبرو بودند، شبکه‌های جمع‌آوری و تأسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب به وجود آمد [۴۷].

۱-۴-۲- اهمیت جمع‌آوری فاضلاب در جهان امروز

وجود فاضلاب ها یکی از عوامل آلودگی محیط زیست است. بنابراین بایستی آنها را جمع آوری و از شهرها بیرون آورد. نخست آنها را پالایش و تصفیه نمود و سپس به گردش آب در طبیعت برگرداند. جمع آوری گنداب و پساب ها از محیط زیست در شهرها از دیدگاه های زیر لازم و ضروری است:

۱. بهداشت همگانی: فاضلاب ها همیشه دارای مقدار مواد خارجی هستند که به صورت های گوناگون برای زندگی موجودات زنده زیان آور می باشند. وجود باکتری ها و میکروب های بیماری زا در فاضلاب عاملی است که از یکصد سال گذشته زیان آن برای مردم آشکار گشته است. به جز باکتری های بیماری زا که تنها جزء کوچکی از موجودات زنده پساب ها را تشکیل می دهند، هزاران نوع باکتری دیگر نیز در فاضلاب ها وجود دارند. در صورت ورود فاضلاب تصفیه نشده به منبع های طبیعی آب باکتری های هوازی موجود در آن اکسیژن محلول در آب را مصرف کرده، مواد آلی فاضلاب را تجزیه می کنند. مصرف اکسیژن بسته به نوع منبع طبیعی دریافت کننده فاضلاب چند ساعت تا چند روز پس از وارد شدن فاضلاب به منبع طبیعی آب رخ می دهد. این پدیده را پالایش خودبه خودی و یا تصفیه طبیعی فاضلاب می نامند و مقدار آن محدود است [۱۶].

مواد شیمیایی سمی که در اثر گسترش صنایع در کشور، روز به روز بیشتر وارد پساب ها و به ویژه پساب کارخانه ها می گردد، می تواند یکی از عوامل مهم مسمومیت انسان یا حیوان گردد. نمک های سمی برخی از فلزها مثل آرسنیک و سرب و نیز ترکیب های شیمیایی ویژه ای مانند دترجنت ها را می توان جزء این گروه دانست. همچنین باید در اینجا از آب های آلوده به مواد رادیواکتیو نام برد که با تشعشع امواج رادیواکتیو سلامتی موجودات زنده را به خطر می اندازند [۱۳۰].

۲. نظم محیط زیست: بر هم خوردن نظم محیط زیست بیشتر ناشی از ایجاد آب های سطحی است. در نتیجه بارندگی های شدید و به علت کمتر بودن درجه نفوذپذیری سطح خیابان ها و پشت بام ها در شهرها نسبت به زمین های بیرون آنها، آب های ناشی از بارندگی پس از شستشوی خیابان ها و آلوده شدن به مواد آلی و معدنی موجود در سطح آنها به صورت فاضلاب سطحی، خیابان ها را می-

پوشاند [۱۸]، که علاوه بر ایجاد آلودگی، بر تردد ساکنین و ترافیک شهری نیز اثر منفی قابل توجهی دارد.

۳. کاربرد دوباره فاضلاب: موضوع کاربرد دوباره فاضلاب ها به علت نیاز روزافزون به آب، روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می گیرد. به ویژه در ایران به علت کمی آب و گرانی آب آشامیدنی، استفاده از فاضلاب های پالایش شده برای مصرف های غیر خانگی مانند آبیاری فضاهای سبز درون شهرها، پارک ها، جنگل کاری و شستشوی خیابان ها و کانال های فاضلاب اهمیت ویژه ای را پیدا می کند [۴۷].

۴. تأثیر بر سفره های آب زیرزمینی: جمع آوری فاضلاب های شهری توسط شبکه کانالیزاسیون در پایین بردن سطح آب زیرزمینی و پاک نگهداشتن منابع های طبیعی آب زیرزمینی اثر چشمگیری دارد. موضوع آلوده نکردن آب های زیرزمینی در کشور ما که سیستم بیرون راندن فاضلاب در آن به صورت سنتی خود و با استفاده از چاه های جذب کننده انجام می گیرد، اهمیت بیشتری می یابد. به جز آلوده کردن سفره های آب زیرزمینی، کاربرد چاه های جذب کننده فاضلاب بیشتر وقت ها بر روی سطح آب زیرزمینی نیز موثر بوده و مشکلاتی را در نقاط پست و گود شهر به وجود می آورد. همچنین بالا آمدن سطح آب زیرزمینی ممکن است زیان های مادی فراوانی به تأسیسات شهری برساند [۴۷].

۱-۵- تصفیه فاضلاب

۱-۵-۱- تاریخچه تصفیه فاضلاب

بر خلاف فن های آبرسانی و جمع آوری فاضلاب که تاریخچه ای نسبتاً طولانی و چند هزار ساله دارند [۴۷ و ۱۳۰]، پالایش و تصفیه فاضلاب به صورت امروزی خود دارای سابقه تاریخی کوتاهی می باشد. تنها در نوشته های تاریخی از گفته ها و فرمان هایی در پرهیز از آلوده سازی منابع طبیعی آب به ویژه رودخانه ها یاد شده است. نخست از حدود یکصد سال پیش که رابطه بین اثر باکتری ها و میکروب های بیماری زا در واگیری و شیوع بیماری ها آشکار گشت، انسان به فکر پاکسازی آب های

آلوده افتاد. به عبارت دیگر فن تصفیه آب و فاضلاب در روند امروزی خود بیشتر در اثر پیشرفت علم زیست شناسی و پزشکی به وجود آمده است. پرداختن و توجه به این فن از آنجا شروع گشت که به تدریج برای جلوگیری از آلوده شدن منابع طبیعی آب و به ویژه رودخانه‌ها، ورود فاضلاب به این منابع ممنوع اعلام گردید. این جلوگیری‌ها نیاز به تصفیه فاضلاب و تکامل روش‌های آن را ایجاب نمود. با گذشت زمان و به ویژه پس از جنگ جهانی دوم، در نتیجه توسعه شهرها و صنایع، خطر آلودگی محیط زیست و در نتیجه نیاز به تصفیه فاضلاب با شدت بی سابقه‌ای افزایش یافت. و هم زمان با آن روش‌های بسیاری برای تصفیه فاضلاب پیشنهاد و به کار گرفته شد [۴۶].

در تکامل فن تصفیه فاضلاب از نظر زمانی روش‌های طبیعی تصفیه جزء قدیمی ترین روش‌هایی هستند که برای تصفیه به کار گرفته شده‌اند. به ویژه استفاده از فاضلاب برای آبیاری در کشاورزی به علت خاصیت کودی آن از یکصد سال پیش تا کنون در کشورهای اروپایی متداول بوده است [۴۶]. در ایران از زمان های بسیار دور لجن به دست آمده از چاه های جذب کننده فاضلاب به عنوان کود کشاورزی به کار گرفته می شده است. ولی در تمام این روش ها بیشتر تکیه بر بازیابی مواد کودی فاضلاب بوده است و نه تصفیه آن. از دهها سال پیش تا کنون حوضچه‌های تثبیت و تصفیه فاضلاب در کشورهای اروپایی مورد استفاده قرار گرفته اند [۴۶].

۱-۵-۲- هدف از تصفیه فاضلاب

در تصفیه فاضلاب اهداف زیر مدنظر می‌باشند:

۱. **تأمین شرایط بهداشتی برای زندگی مردم:** فاضلاب‌های شهری همیشه دارای میکروب‌های گوناگونی می‌باشند که قسمتی از آنها را میکروب‌های بیماری زا تشکیل می‌دهند. ورود فاضلاب تصفیه نشده به محیط زیست و منبع‌های طبیعی آب چه آنهایی که در روی زمین و چه آنهایی که در زیر زمین قرار دارند، موجب آلوده شدن این منبع ها به میکروب‌های بیماری‌زا می‌گردد و در اثر تماس انسان با این منبع ها خطر گسترش این بیماری ها بین مردم به وجود می‌آید [۳ و ۴۶].

۲. **پاک نگه داشتن محیط زیست:** وارد نمودن فاضلاب‌های تصفیه نشده به محیط زیست موجب آلودگی این محیط شده که علاوه بر خطر های مستقیمی که برای بهداشت مردم دارد، نتایجی دیگر از قبیل ایجاد مناظر زشت، بوی ناخوشایند و سرانجام تولید حشرات به خصوص مگس و پشه به همراه دارد. این حشرات خود وسیله ای برای جابجا شدن میکروب های بیماری‌زا و آلوده‌سازی محیط زیست با این میکروب‌ها می‌باشند [۳ و ۴۶].

۳. **بازیابی فاضلاب:** با توجه به اینکه مقدار نمک های معدنی محلول در فاضلاب به مراتب کمتر از آب دریا های آزاد می‌باشد و فاضلاب جزء آب های شیرین ولی آلوده به حساب می آید، استفاده دوباره از فاضلاب تصفیه شده به جای شیرین جهت آبیاری کشاورزی به مراتب ارزان تر از شیرین سازی آب دریا های شور می‌باشد. این مسأله در ایران که در بسیاری از نقاط آن مردم با کمبود آب شیرین مواجه هستند، می‌تواند در مصرف آب شیرین مورد استفاده در آبیاری و کشاورزی به مقدار قابل توجهی صرفه جویی نماید [۳ و ۴۶].

۱-۵-۳- مراحل تصفیه فاضلاب

تفاوت اصلی فاضلاب با آب تمیز فراوانی مواد خارجی و به ویژه مواد آلی در آن است. لذا هدف از تصفیه فاضلاب عبارت است از:

۱. گرفتن مواد معلق شناور از فاضلاب
۲. اکسیداسیون مواد ناپایدار آلی موجود در فاضلاب و تبدیل آنها به موادی پایدار مانند نیترات‌ها، سولفات‌ها و فسفات‌ها و سپس ته نشین ساختن و جدا سازی آن مواد.
۳. جداسازی مواد سمی (Toxic Compounds) محلول و نامحلول از فاضلاب نظیر ترکیبات فلزات سنگین.
۴. گندزدایی و از بین بردن میکروب‌ها در فاضلاب.

هدف از ساختن تأسیسات تصفیه‌خانه فاضلاب و تکامل دادن آن از یک سو سرعت بخشیدن به کارهای فوق و کوتاه نمودن مدت زمان پالایش تا حدود چند ساعت است و از سوی دیگر جلوگیری از آلوده شدن منبع های طبیعی آب و محیط زیست می‌باشد [۴۶].

تصفیه فاضلاب که منجر به حذف محلول‌ها و مواد آلی و بعضی از مواد مغذی از فاضلاب می‌گردد، شامل تصفیه اولیه، ثانویه و پیشرفته می‌باشد. در بعضی از کشورها گندزدایی جهت حذف پاتوژن‌ها به عنوان آخرین مرحله تصفیه تعقیب می‌شود [۳۰].

۱-۵-۳-۱- تصفیه اولیه

هدف از تصفیه اولیه حذف مواد درشت است که غالباً در فاضلاب خام یافت می‌شود. خارج کردن این مواد برای بهبود عملیات تصفیه و مراقبت از تأسیسات تصفیه‌خانه الزامی است. عملیات معمول در مرحله اولیه عمدتاً شامل پمپاژ فاضلاب ورودی، آشغالگیری، شن گیری و در بعضی از حالت‌ها خرد کردن مواد درشت است [۳۰].

تصفیه اولیه یا تصفیه مکانیکی (فیزیکی) از یک رشته فرآیندهایی تشکیل شده است که در آن‌ها تنها از خواص مکانیکی و فیزیکی برای جداسازی مواد خارجی معلق در فاضلاب استفاده می‌شود. مهم ترین روش‌های مکانیکی متداول در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عبارتند از:

۱. گذرانیدن فاضلاب از صافی‌ها و گرفتن مواد معلق موجود در آن (Filtration).
۲. ته نشین کردن مواد معلق در فاضلاب و جداسازی آن‌ها (Sedimentation).
۳. شناور نمودن مواد معلق و گرفتن آن‌ها از سطح فاضلاب (Skimming) [۴۶].

هدف از تصفیه اولیه، خارج ساختن ترکیبات جامد آلی یا غیر آلی از طریق رسوب دادن آنها و نیز کفگیری نمودن موادی است که در سطح آب شناور می‌باشند. حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد از نیاز بیوشیمیایی اکسیژن (BOD_5) وارد شده، ۵۰ تا ۷۰ درصد کل مواد معلق (نامحلول) و ۶۵ درصد از روغن و چربی موجود در پساب طی این مرحله از عملیات آماده سازی از پساب جدا می‌شوند. قسمتی از ازت آلی، فسفر آلی و فلزات سنگین همراه با مواد جامد به غیر از اجزاء محلول و مواد

کلوئیدی نیز طی عملیات رسوبگیری خارج می‌شود. به پساب حاصله در اولین واحدهای رسوبگیر، پساب اولیه می‌گویند. جدول ۱-۳ اطلاعاتی در مورد پساب بعد از عملیات اولیه سه محل در کالیفرنیا در مقایسه با پساب خام آنها را ارائه می‌کند [۳۰].

۱-۵-۳-۲- تصفیه ثانویه

در یک تصفیه‌خانه فاضلاب هرگاه تصفیه مکانیکی برای کاهش آلودگی فاضلاب کافی نباشد، از باکتری‌های هوازی برای ادامه تصفیه فاضلاب یاری می‌گیرند. کار یگان‌های تصفیه زیستی در تصفیه‌خانه همانا تشدید عملی است که به طور خود به خودی در طبیعت رخ می‌دهد. یعنی با ایجاد محیطی مناسب برای رشد و افزایش تعداد باکتری‌های نامبرده، مدت زمان تصفیه طبیعی را که ممکن است به چندین روز برسد به چند ساعت کاهش می‌دهند. دو گروه باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی جزء گروه باکتری‌های ساپروفیت (Saprophytic Bacteria) هستند که مواد غذایی خود را بر خلاف باکتری‌های انگلی (Parasitic Bacteria) از اجساد و پس مانده موجودات زنده تأمین می‌کنند و به همین دلیل این دسته از باکتری‌ها کارگران تصفیه‌خانه فاضلاب نامیده می‌شوند [۴۶].

هدف از تصفیه ثانویه، اصلاح بیشتر پساب اولیه از جهت حذف باقی‌مانده‌های مواد آلی و مواد معلق می‌باشد. در بیشتر حالات، تصفیه ثانویه به دنبال تصفیه اولیه و به منظور حذف بیولوژیکی نمک‌های محلول و کلوئیدهای آلی از طریق استفاده از فرآیند بیولوژیکی هوازی می‌باشد. بنابراین تصفیه اولیه، تصفیه مکانیکی و تصفیه ثانویه، تصفیه زیستی است [۳۰].

اساس کار در این روش تصفیه، رساندن اکسیژن به فاضلاب است. با اکسیژن محلول در فاضلاب تکثیر باکتری‌های هوازی شدت یافته و این باکتری‌ها بر اطراف ذرات و قطعات کوچک تشکیل شده از مواد آلی موجود در فاضلاب نشست و تولید لخته‌هایی را می‌نمایند. این لخته‌ها که هزاران باکتری هوازی را با خود حمل می‌کنند، در روش‌های گوناگون تصفیه زیستی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در صورت هوارسانی کامل و رسیدن اکسیژن کافی به فاضلاب، تکثیر و افزایش تعداد این باکتری‌ها تا حدی فزونی می‌یابد که مواد آلی موجود در فاضلاب کفاف تغذیه آنها را نداده، و مرگ و میر در آنها

جدول ۱-۳- اطلاعات پساب اولیه در کالیفرنیا [۶۰]

لوس آنجلس		سانتیاگو		شهر دیویس		پارامترهای کیفیت بر حسب mg/l (مگر در مواردی که واحد دیگری ذکر شود)	
پساب اولیه	فاضلاب خروجی	پساب اولیه	فاضلاب خروجی	پساب اولیه	فاضلاب خروجی		
۲۰۴	-	۱۳۴	۱۸۴	۷۳	۱۱۲	BOD ₅	
-	-	۵۲/۳	۶۴/۸	۴۰/۶	۶۳/۸	(TOC)	
۱۱۹	-	۱۰۹	۲۰۰	۷۲	۱۸۵	SS	
-	-	-	-	۳۴/۷	۴۲/۴	کل نیتروژن	
۳۹/۵	-	۲۰	۲۱/۰	۲۶/۲	۳۵/۶	NH ₃ -N	
-	-	-	-	۰	۰	NO ₃ -N	
۱۴/۹	-	-	-	۸/۵	۷/۸	Org-N	
۱۱/۲	-	۱۰/۲	-	۷/۵	-	کل فسفر	
-	-	-	۱۱/۲	۷/۵	-	Ortho-P	
-	-	۷/۳	۷/۳	-	۷/۷	pH	
-	۷۸/۸	-	-	-	-	Ca ²⁺	کاتیون ها
-	۲۵/۶	-	-	-	-	Mg ²⁺	
۳۵۹	۳۵۷	-	-	-	-	Na ⁺	
۱۹	۱۹	-	-	-	-	K ⁺	
-	۲۷۰	-	۱۶۰	-	-	SO ₄ ²⁻	آنیون ها
-	۳۹۸	-	۱۲۰	-	-	Cl ⁻	
-	۲/۱۹	-	-	۲/۲۴	۲/۵۲	EC(dS/m)	
۱۴۰۶	۱۴۰۴	۸۲۱	۸۲۹	-	-	کل نمک محلول	
۶/۸	۸/۸۵	-	-	-	-	SAR	
۱/۵	۱/۶۸	-	-	-	-	B	
۲۳۲	۳۲۲	-	-	-	-	قلیائیت (CaCO ₃)	
-	۲۶۵	-	-	-	-	سختی (CaCO ₃)	

بروز کرده و تعداد آنها بسته به مقدار مواد آلی در فاضلاب تقریباً ثابت مانده و یک نوع حالت تعادلی به وجود می‌آید. برای اینکه تمام مواد آلی موجود در فاضلاب به مصرف تغذیهٔ باکتری‌ها رسیده و تعداد آنها به حداکثر ممکن برسد، لازم است که کمبود اکسیژن محلول در فاضلاب مرتباً برطرف و بازیابی اکسیژن توسط فاضلاب در مدتی کوتاه امکان پذیر باشد. برای رسیدن به این هدف باید سطح تماس فاضلاب با هوا افزایش یابد. این کار ممکن است با کمک دمیدن هوا در فاضلاب و یا ایجاد تلاطم در سطح آن رخ دهد [۴۶].

در فرآیند تصفیهٔ بیولوژیکی هوازی مواد آلی موجود در فاضلاب دگرگون شده و به این ترتیب باعث تولید بیشتر محصولات غیرآلی و نهایی خصوصاً دی‌اکسیدکربن، آمونیاک و آب می‌شوند. چندین فرآیند بیولوژیکی هوازی در تصفیه ثانویه مورد استفاده قرار می‌گیرد که تفاوت آنها در طریقه فراهم شدن اکسیژن جهت میکروارگانیسم‌ها و سرعت دگرگونی ساختار مواد آلی می‌باشد [۳۰].

در صورتی که به فاضلاب اکسیژن نرسد باکتری‌های هوازی فعالیت و رشد و نمو خود را از دست داده و در عوض باکتری‌های بی‌هوازی فعالیت خود را شروع می‌کنند. کار این باکتری‌ها بر این اساس است که اکسیژن مورد نیاز خود را از تجزیهٔ مواد آلی و معدنی موجود در فاضلاب به دست آورند و به عبارت دیگر این باکتری‌ها بر خلاف باکتری‌های هوازی، مواد نامبرده را احیاء می‌کنند. نتیجهٔ این فعالیت تجزیهٔ مواد آلی ناپایدار و تبدیل آنها به نمک‌های معدنی پایدار و نیز گازهایی از قبیل گاز هیدروژن سولفور، گاز متان، گاز کربنیک و گاز ازت می‌باشد. تولید گازهای نامبرده به ویژه گاز هیدروژن سولفور موجب می‌شود که بوی ناخوشایند آنها محیط زیست را به شدت آلوده سازد. به همین جهت موارد استفاده از باکتری‌های بی‌هوازی برای تصفیهٔ فاضلاب برای جلوگیری از آلوده شدن محیط زیست تصفیه‌خانه‌ها محدود است [۴۶]. اطلاعاتی در زمینه خصوصیات کیفی پساب ثانویه کالیفرنیا در جدول ۱-۴ ارائه شده است [۳۰].

۱-۵-۳- تصفیه پیشرفته:

تصفیه پیشرفته هنگامی به کار می‌رود که مواد تشکیل‌دهنده خاصی که باید از پساب حذف شوند،

جدول ۱-۴- کیفیت پساب پیشرفته در مناطقی از کالیفرنیا [۶۰]

محل های تصفیه خانه						پارامترهای کیفیت بر حسب mg/l (مگر در مواردی که واحد دیگری ذکر شود)	
Simivalley CSD	City of Livermore	Dubline San Ramon	Pomon	Los Coyotes	Long Beach		
۴	۳	۲	۴	۹	۵	BOD ₅	
-	-	۱	-	۵	-	SS	
۱۹	-	-	-	-	-	کل نیتروژن	
۱۶/۶	۱	۰/۱	۱۱/۴	۱۳/۶	۳/۳	NH ₃ -N	
۰/۴	۲۱/۳	۱۹	۳	۱/۱	۱۵/۴	NO ₃ -N	
۲/۳	۲/۶	۰/۲	۱/۳	۲/۵	۲/۲	Org-N	
-	-	-	-	-	-	کل فسفر	
-	۱۶/۵	۲۸/۵	۲۱/۷	۲۳/۹	۳۰/۸	Ortho-P	
-	۷/۱	۶/۸	-	-	-	pH	
۳/۱	-	-	-	-	-	چربی و روغن	
-	۴	۲	-	-	-	کل کلیفرم های مدفوعی MPN/100ml	
-	-	-	۵۸	۶۵	۵۴	Ca	کاتیون ها
-	-	-	۱۴	۱۸	۱۷	Mg	
-	۱۷۸	۱۶۸	۱۰۹	۱۷۷	۱۸۶	Na	
-	-	-	۱۲	۱۸	۱۶	K	
۲۰۲	-	-	۱۲۳	۱۸۱	۲۱۲	SO ₄ ²⁻	آنیون ها
۱۱۰	۱۷۸	۱۴۷	۱۰۵	۱۸۴	۱۵۵	Cl ⁻	
-	۱/۲۵	۱/۲۷	۱/۰۲	۱/۴۴	۱/۳۵	EC(dS/m)	
-	-	-	۵۷۰	۸۲۷	۸۶۷	کل نمک های محلول	
-	۵/۷	۴/۶	۳/۳۷	۴/۹۴	۵/۵۳	SAR	
۰/۶	۱/۳۳	-	۰/۶۶	۰/۹۵	۰/۹۵	B	
-	-	۱۵۰	۱۹۷	۲۵۶	-	قلیائیت (CaCO ₃)	
-	۱۸۴	۲۵۶	۲۰۶	۲۴۲	۲۱۲	CaCO ₂	

در اثر تصفیه پیشرفته ثانویه نتوانند حذف شوند. فرآیند تصفیه پیشرفته بعضی مواقع با تصفیه اولیه یا تصفیه ثانویه ترکیب می‌شوند (نظیر اضافه کردن مواد شیمیایی به مخزن ته نشینی اولیه یا استخر هوازی برای حذف فسفر) [۳۰].

اساس کار در تصفیه پیشرفته یا تصفیه شیمیایی بر کاربرد مواد شیمیایی در تصفیه فاضلاب قرار دارد. در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مواد شیمیایی را می‌توان برای تأثیر گذاردن روی مواد خارجی نامحلول و کلوئیدی و یا مواد محلول در فاضلاب به کار برد. علاوه بر این می‌توان از مواد شیمیایی برای گندزدایی و از بین بردن میکروب‌های موجود در فاضلاب استفاده نمود [۴۶].

داده‌های کیفیت پساب حاصل از تصفیه پیشرفته تصفیه خانه کالیفرنیا در جدول ۱-۴ ارائه گردیده است.

فصل دوم

کاربرد فاضلابها در کشاورزی و اثرات زیست

محیطی آنها

فاضلاب شهری متداول ترین منبع قابل احیاء برای جبران کمبود آب محسوب می شود و از دیرباز به ویژه برای آبیاری در بخش کشاورزی مورد استفاده بوده است. امروزه استفاده مجدد از این منبع آب به عنوان یکی از منابع غیر متعارف آب و کود برای توسعه کشاورزی در بسیاری از مناطق جهان به خصوص نواحی خشک و نیمه خشک مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۱- دلایل لزوم استفاده از پساب در کشاورزی

۲-۱-۱- خشکسالی و کمبود آب شیرین

در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه خشک، منابع آب به طور فزاینده‌ای در حال کمیاب شدن است و همین امر طراحان را واداشته که در اندیشه فراهم کردن منابع آب جدید باشند. منابعی که هم اقتصادی و هم در توسعه کشاورزی مؤثر باشد. سرعت افزایش جمعیت، نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی را گوشزد می‌کند. کشاورزی آبی در مقایسه با کشاورزی دیم، پتانسیل تولید را به نحو قابل توجهی بالا می‌برد. آبیاری زمین‌های کشاورزی تقریباً ۱۷ درصد از کل زمین‌های قابل کشت دنیا را در بر گرفته است. لیکن تولید حاصل از این مزارع، ۳۴ درصد از کل تولیدات جهان را شامل می‌شود. این پتانسیل در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر مناطقی از خاورمیانه، جایی که ۳۰ درصد از اراضی فاریاب بوده و تقریباً ۷۵ درصد از کل تولیدات کشاورزی را فراهم می‌کند، به طور کامل مشخص می‌شود. در همین مناطق همواره میزان تقاضا برای غذا به مراتب فراتر از مقدار محصولات کشاورزی است که در داخل این کشورها تولید می‌گردد [۳۰].

آب به عنوان عنصر حیاتی، کارساز و تعیین کننده می تواند پدیده‌های دیگر را در عرصه‌های مختلف زندگی متأثر سازد. حتی می تواند حیات و زندگی را مخاطره جدی مواجه سازد. کاهش تولید، وخامت اوضاع اقتصادی کشاورزان و دامداران، افزایش نرخ محصولات و انتقال اثرات ناخوشایند آن به مصرف کنندگان، از ملموس ترین نشانه های خشکسالی است [۳۸].

خشکسالی عبارت است از کاهش غیر منتظره بارش در مدتی معین در منطقه ای که لزوماً خشک نیست. میزان این کاهش آن قدر است که روند عادی رشد را مختل می‌کند. بنابراین خشکسالی ویژگی دائمی منطقه نیست و در هر رژیم آب و هوایی می‌توان اتفاق بیفتد [۳۴].

این پدیده در تمام نقاط جهان به طور نامنظم ایجاد می‌شود و هر نوع آب و هوایی ممکن است با این پدیده اقلیمی مواجه گردد و خصوصاً در استان اصفهان که یکی از مناطق خشک ایران به حساب می‌آید. بارش سالانه در این استان بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی متر است و در واقع اگر ارتفاعات غربی و جنوبی استان وجود نمی‌داشت، بارش از این مقدار هم کمتر می‌شد [۲۶].

در استان اصفهان، کشت بیشتر به صورت آبی انجام می‌گیرد، به طوری که از ۳۵۹۰۶۹ هکتار زمین زیر کشت این استان در سال ۱۳۷۷ در حدود ۳۳۳۲۹۱ هکتار آبی بوده است که نشان دهنده وابستگی شدید کشاورزی در این استان به آب های زیرزمینی و آب رودخانه زاینده رود می‌باشد. در چند سال اخیر به دلیل اثر خشکسالی و کاهش نزولات جوی و افزایش گرمای هوا از یک طرف و همچنین وجود صنایع پر مصرف آبی در استان از طرف دیگر، موجب کاهش میزان آب قابل استحصال برای کشاورزی شده است [۳۸].

در مناطق خشک و نیمه خشک بهره برداری از پساب فاضلاب برای آبیاری بسیار با اهمیت است. هر چند پساب فاضلاب در مقایسه با حجم آب آبیاری مورد نیاز، مقدار کمی را شامل می‌شود، ولی بهره‌برداری از همین مقدار، باعث می‌شود که آب های با کیفیت بالاتر را بتوان در مصارف با اهمیت تر به کار برد [۳۰].

۲-۱-۲ - رشد جمعیت و افزایش تولید فاضلاب

رشد جمعیت از سویی و بالا رفتن سطح بهداشت و آگاهی مردم از سویی دیگر، میزان مصرف آب را افزایش داده است. مصرف بالای آب، صعود میزان فاضلاب را به همراه خواهد داشت. رهاسازی فاضلاب خام در طبیعت باعث آلوده کردن محیط زیست می‌شود و تأثیر بدی در کیفیت جریان‌های سطحی و زیرزمینی می‌گذارد. تصفیه فاضلاب شهرها، ضمن حفظ محیط زیست، باعث بهره‌برداری از

فاضلاب و استحصال و بازیافت آب مصرف شده می‌شود. خصوصاً در مناطق پر جمعیت شهری که بخش اعظم آب موجود، به مصرف آب آشامیدنی می‌رسد، این موضوع یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. بهره برداری صحیح از فاضلاب شهری، مشکل آلودگی آب های سطحی را برطرف می‌کند و باعث حفظ منابع آب می‌گردد [۳۰].

۲-۱-۳- وجود مواد و عناصر غذایی در فاضلاب

بهره‌برداری صحیح از فاضلاب شهری، به علت وجود مواد غذایی در آن، برای رشد گیاهان بسیار سودمند است. موجود بودن این پساب در نزدیکی مراکز شهری، امکان افزایش محصولات کشاورزی، در اطراف این مناطق را فراهم می‌سازد. همچنین وجود نیتروژن و فسفر در فاضلاب، به حذف یا کاهش کودهای تجارتي مورد نیاز محصولات کشاورزی می‌انجامد [۳۰]. فاضلاب غیر از تأمین آب جهت گیاهان و صرفه جویی در منابع آبی، به عنوان یک منبع کودی نیز به حساب می‌آید [۷۴، ۹۸، ۱۱۳ و ۱۱۹].

به طور عمومی استفاده فاضلاب در کشاورزی مورد پذیرش قرار گرفته و فواید زراعتی و اقتصادی فراوان آن، این موضوع را به طور کلی تصدیق می‌کند اما در هر حال این بهره برداری باید حداقل مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی را به همراه داشته باشد [۳۰].

۲-۲- تاریخچه استفاده مجدد از فاضلاب

کاربرد فاضلاب‌های تصفیه شده برای مصرف مستقیم آشامیدنی به علل اقتصادی و روانی هنوز در جهان جنبه عملی به خود نگرفته است. در صورتی که استفاده دوباره از فاضلاب تصفیه شده و فرستادن آن در شبکه شهری ویژه برای آبیاری فضای سبز و مصرف های صنعتی از سال ۱۹۲۸ در آمریکا آغاز شده است. برای نمونه در سال ۱۹۹۶ مقدار ۱۴ درصد فاضلاب تصفیه شده در ۱۱ تصفیه خانه شهر لوس آنجلس برای مصرف آبیاری فضای سبز درون شهر و یا مصرف صنایع مورد استفاده قرار می‌گرفته است. همچنین در کشورهایی همانند ژاپن، کشورهای عربی کرانه خلیج فارس،

فلسطین اشغالی و برزیل که با مشکل کم آبی روبرو هستند، روز به روز استفاده دوباره از فاضلاب برای مصرف های شهری و کشاورزی افزایش می یابد [۱۴].

استفاده از فاضلاب انسانی در کشاورزی با هدف آبیاری محصولات و حاصلخیز کردن خاک ها از قدیم در کشورهای آسیایی رواج داشته است. در عصر معاصر و در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، در کشورهایی مانند آلمان، انگلیس و آمریکا مهم ترین روش دفع فاضلاب، تخلیه آن به زمین های کشاورزی بوده است. در کشور ایران نیز در عهد صفویه از فضولات انسانی اصفهان به عنوان کود در زمین های حاشیه شهر استفاده می شده است. فاضلاب بسیاری از خانه های قدیمی شهر به نهلهایی موسوم به "مادی" تخلیه می شد که این نهرها برای آبیاری زمین های کشاورزی به کار می رفته اند [۴۰].

در کشور چین نیز آبیاری با پساب تصفیه شده از سال ۱۹۸۵ به سرعت گسترش یافته و در حال حاضر بیشتر از ۱/۳۳ میلیون هکتار از اراضی آن با این پساب آبیاری می شود [۴۷].

در کشور ژاپن در سال ۱۹۹۶ نزدیک به ۱۳ میلیون متر مکعب فاضلاب تصفیه شده در آبیاری مصرف شده است. در کشورهای خاورمیانه که اکثر آنها در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار دارند و از قدیم با معضل کم آبی آشنا بوده اند، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی هر روز اهمیت بیشتری می یابد، زیرا در اغلب این کشورها، بخش کشاورزی مهم ترین مصرف کننده آب است. مراکش، اردن، عربستان، عمان، پاکستان و امارات متحده عربی، هر کدام طرح هایی را برای کاربرد دوباره فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی در دست اجرا دارند. در حال حاضر در بسیاری از شهرهای ایران، فاضلاب های خانگی و رواناب های سطحی و بعضاً پساب های صنعتی پس از خروج از شهر، در زمین های کشاورزی پایین دست استفاده می شود [۴۰].

۲-۳- سابقه تدوین استانداردهای پساب مورد استفاده در کشاورزی

گرچه از قرن نوزده استفاده از فاضلاب در کشاورزی رایج شده است، ولی تا اوایل قرن بیستم این کار تابع هیچ مقرراتی نبوده است. از آن زمان به علت مشخص شدن علت بیماری زائی فاضلاب،

استفاده از آن در کشاورزی طبق دستورالعمل های محدود کننده ای صورت گرفته است، تا از این طریق سلامت مردم تضمین شود. برای اجتناب از خطرات و مضرات زیست محیطی، فاضلاب باید قبل از مصرف برای کشاورزی و آبیاری فضای سبز، تصفیه شود [۱۰۹]. فاضلاب برای مصرف مجدد جهت حداقل کردن خطرات سلامتی و محیطی باید با استانداردها مطابقت داشته باشد [۱۳۷].

اولین استاندارد تصفیه و استفاده مجدد از پساب در ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۱۸ وضع شد و طبق آن استفاده از پساب حاصل از تصفیه اولیه جهت کشاورزی مجاز شمرده شد. بعداً سازمان بهداشت جهانی (WHO) پس از سالها مطالعه و تحقیق، گزارشی در این رابطه منتشر کرد و برای مصارف مختلف پساب حداقل تصفیه لازم را تعیین نمود. در سال ۱۹۸۹ میلادی استانداردهای بازبینی شده سازمان بهداشت جهانی تحت عنوان "راهنمای بهداشتی کاربرد فاضلاب در کشاورزی و آبیاری پرووری" منتشر شد. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) نیز به عنوان یک سازمان مطرح در اقدامات بهداشتی و زیست محیطی، در اقصی نقاط جهان می باشد. در ایران نیز سازمان حفاظت محیط زیست (IRANDOE) در سال ۱۳۷۳ مجموعه استاندارد خروجی فاضلاب ها را بر اساس سه محیط پذیرنده (آب سطحی، کشاورزی و آب های زیرزمینی) منتشر کرده است. آکادمی ملی علوم آمریکا (NAS) و سازمان کشاورزی و خوار و بار جهانی (FAO) نیز در این مورد مطالعاتی انجام داده و استانداردهایی را برای استفاده از فاضلاب های تصفیه شده جهت آبیاری در کشاورزی تدوین و منتشر نموده اند. استانداردهای مورد قبول سازمان های مذکور در رابطه با کیفیت فاضلاب های تصفیه شده برای استفاده در آبیاری در جدول ۱-۵ آورده شده است [۴۰].

جدول ۱-۵- استانداردهای کیفی فاضلاب های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری [۴۰]

پارامتر	واحد	مقدار حد مجاز WHO	مقدار حد مجاز EPA	مقدار حد مجاز IRANDOE	مقدار حد مجاز NAS	مقدار حد مجاز FAO
نقره	mg/L	-	۰/۰۵	۰/۱	-	-
آلومینیوم	mg/L	۵/۰	۱/۰	۵/۰	۵/۰	۵/۰
آرسنیک	mg/L	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
بر	mg/L	۰/۷	۱/۰	۱/۰	-	۰/۷
باريوم	mg/L	-	۱/۰	۱/۰	-	-
بريليوم	mg/L	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۱	۰/۱
كلسيم	mg/L	-	۲۰۰	-	-	-
كادميم	mg/L	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱
كلر آزاد	meq/L	-	۰/۲۸	۰/۲	-	-
كلرايد	meq/L	۳/۰	۲/۸	۶/۰	۲/۸	۴/۰
فرم آلديد	mg/L	-	-	۱/۰	-	-
فنل	mg/L	-	-	۱/۰	-	-
سيانور	mg/L	-	-	۰/۱	-	-
كبات	mg/L	-	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
كروم (Cr ⁺⁶)	mg/L	۰/۱	۰/۱	۱/۰	۰/۱	۰/۱
كروم (Cr ⁺³)	mg/L	-	-	۲/۰	-	-
مس	mg/L	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
فلورايد	mg/L	۱/۰	-	۲/۰	۱/۰	۱/۰
آهن	mg/L	۵/۰	۵/۰	۳/۰	۵/۰	۵/۰
جيوه	mg/L	-	۰/۰۱	ناچيز	-	-
ليتيوم	mg/L	۲/۵	۵/۰	۲/۵	۲/۵	۲/۵

ادامه جدول ۱-۵- استانداردهای کیفی فاضلاب های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری [۴۰]

پارامتر	واحد	مقدار حد مجاز WHO	مقدار حد مجاز EPA	مقدار حد مجاز IRANDOE	مقدار حد مجاز NAS	مقدار حد مجاز FAO
منیزیم	mg/L	-	۲۵	۱۰۰	-	-
منگنز	mg/L	۰/۲	۰/۲	۱/۰	۰/۲	۰/۲
مولیبدن	mg/L	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
نیکل	mg/L	۰/۲	۰/۲	۲/۰	۰/۲	۰/۲
آمونیم-N	mg/L	-	-	-	-	-
نیتريت	mg/L	-	-	-	-	-
نیترات	mg/L	۵/۰	TN= ۳۰	-	-	۵/۰
فسفات-P	mg/L	-	۱۰	-	-	-
سرب	mg/L	۵/۰	۵/۰	۱/۰	۵/۰	۵/۰
سدیم	meq/l	۳/۰	۳/۰	-	-	-
سلنیم	mg/L	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۲
سولفید	mg/L	-	-	۳/۰	-	-
سولفیت	mg/L	-	-	۱/۰	-	-
وانادیم	mg/L	۰/۱	۱۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱
روی	mg/L	۲/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰
روغن	mg/L	-	-	۱۰	-	-
پاک کننده ها	mg/L	-	-	۰/۵	-	-
EC	dS/m	۰/۷	۰/۷	-	-	۰/۷
BOD ₅	mg/L	-	۳۰	۱۰۰	-	-
COD	mg/L	-	۱۲۰	۲۰۰	-	-
DO	mg/L	-	-	۲/۰	-	-

ادامه جدول ۱-۵- استانداردهای کیفی فاضلاب های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری [۴۰]

پارامتر	واحد	مقدار حد مجاز WHO	مقدار حد مجاز EPA	مقدار حد مجاز IRANDOE	مقدار حد مجاز NAS	مقدار حد مجاز FAO
TDS	mg/L	۴۵۰	-	-	-	۴۵۰
TSS	mg/L	-	۵	۱۰۰	-	-
SS	mg/L	-	۳۰	-	-	-
SAR		۳/۰	-	-	-	۳/۰
pH		۶-۸/۵	۶/۵-۸/۴	۶-۸/۵	-	۶/۵-۸
مواد رادیو اکتیو		۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
کدورت	NTU	-	۲/۰	۵۰	-	-
رنگ		-	-	۷۵	-	-
کلیرم گوارشی	تعداد در ۱۰۰ml	۱۰۰۰	-	۴۰۰	-	۱۰۰۰
کل کلیرم	تعداد در ۱۰۰ml	۱۰۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰	-	-
تخم انگل (نماتد روده ای)		۱/۰	۱/۰	۱/۰	-	۱

۲-۴- پیامدهای استفاده از پساب در کشاورزی

۲-۴-۱- اثرات استفاده از پساب بر روی خواص شیمیایی و تغذیه ای خاک

استفاده از پساب جهت آبیاری به علت بالا بودن غلظت فلزات سنگین، عناصر غذایی [۶۵ و ۱۳۹] و بار میکروبی آن می‌تواند به عنوان بر هم زنده‌کننده اکوسیستم عمل کند [۴۹]. بنابراین، استفاده از فاضلاب در امر آبیاری باید در چارچوب برنامه های پایش و کنترل مستمر و بر اساس ویژگی‌های آب، خاک، گیاه و محیط هر محل صورت گیرد. در برخی موارد بی توجهی به مسائل زیست محیطی

استفاده از فاضلاب حاوی عناصر سرب، کادمیوم، نیکل و سایر آلاینده‌های مشابه ناشی از فعالیت های صنعتی، موجب تخریب محیط خاک و منابع آبی می‌گردد [۴۹].

علاوه بر این که پساب یک منبع آب برای آبیاری است، محتوی مقادیر محسوس مواد غذایی برای گیاهان نیز است. همچنین پساب ها دارای مقادیر قابل ارزیابی فلزات سنگین کمیاب هستند [۶۵، ۷۴، ۷۹، ۱۱۰، ۱۲۱ و ۱۳۹]. غلظت فلزات سنگین در پساب فاضلاب شهری از شهری به شهر دیگر متفاوت است [۱۱۴]. اگرچه غلظت فلزات سنگین در پساب فاضلاب شهری پایین است، ولی استفاده طولانی مدت از این پساب‌ها برای آبیاری زمین‌های کشاورزی، اغلب در افزایش مقدار این فلزات در خاک ها اثر دارد [۱۱۴]. مقدارافزایش فلزات در خاک‌های آبیاری شده با پساب به دوره کاربرد آن بستگی دارد [۶۲ و ۱۰۵].

در خاک های متأثر از پساب شهری، میزان سرب در خاک $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{7}$ برابر خاک‌های غیر آلوده گزارش شده است و ضمناً در مناطقی که تحت تأثیر پساب های صنعتی قرار می‌گیرد، عنصر سرب، کروم و مس افزایش می‌یابد [۷۸]. در خاک هایی که از لجن فاضلاب استفاده می نمایند، میزان کروم به ۳ تا ۴ برابر افزایش یافته است [۸۱ و ۹۲].

استیوارت و همکاران (۱۹۹۰) در آزمایشی، تجمع عناصر غذایی موجود در پساب و تغییرات شیمیایی خاک را اندازه‌گیری نمودند. بر اساس گزارش آنها طی ۴ سال کاربرد پساب اثرات منفی در عمق ۰ تا ۱۵۰ سانتی متری بر ویژگی های شیمیایی خاک مشاهده شد [۱۲۴].

عرفانی و همکاران (۱۳۸۱) تأثیر کاربرد پساب شهری را با ۵ تیمار آبیاری بر عملکرد و کیفیت کاهو و ویژگی‌های خاک بررسی کردند. در این تحقیق، گزارش شد که کاربرد پساب اثر سوئی بر خاک نداشت [۳۲].

در بررسی اثرات تغذیه ای پساب فاضلاب شهری در کشت ذرت علوفه‌ای مشخص گردید در لایه سطحی اراضی کشاورزی درصد ماده آلی، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب و عناصر سنگین از جمله مس و روی افزایش یافته است [۳۵].

بررسی اثرات باقیمانده کاربرد طولانی مدت فاضلاب در اراضی نگیور هند نشان داد که فاضلاب بر حاصلخیزی خاک تأثیر گذاشته و مواد غذایی محصولات مختلف را بسته به نیاز آنها تأمین کرده است [۶۶]. نتایج آزمایش مزرعه‌ای روی خاک لوم رسی نشان داد که آبیاری با پساب به طور قابل ملاحظه‌ای غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب و به مقدار کمتری عناصر ریز مغذی را افزایش داده است [۱۴۱].

بررسی نتایج اثر استفاده از فاضلاب در منطقه قزوین و جنوب تهران نشان داد که استفاده از فاضلاب جهت آبیاری مزارع نه تنها غلظت بعضی از عناصر سنگین را در خاک افزایش داده، بلکه باعث افزایش غلظت بعضی از عناصر غذایی نظیر ازت، پتاسیم، فسفر و روی در خاکها شده است [۴۱ و ۴۳]. بررسی مشابه در اراضی شمال و شمال شرق اصفهان نشان داده است که غلظت روی، منگنز، مس و آهن در خاکهای تحت آبیاری با فاضلاب افزایش یافته است [۳۵].

پتانسیل حضور مواد غذایی معدنی در آب های بازچرخ شده باعث استفاده از آنها به عنوان کود می‌شود [۸۰]. تأمین عناصر کودی توسط فاضلاب از آنجا اهمیت می‌یابد که اصلاح اراضی کشاورزی و افزایش حاصلخیزی آنها، از عمده ترین هزینه‌های جاری در تمامی فعالیت‌های کشاورزی به شمار می‌آید [۹ و ۲۵]. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد استفاده از فاضلاب شهری در کشاورزی باعث افزایش درصد مواد آلی و بهبود حاصلخیزی خاک می‌گردد [۱۲، ۵۸، ۸۳ و ۱۲۳].

برخی از پژوهش‌ها حاکی از کاهش شوری خاک‌های شور در اثر آبیاری با فاضلاب می‌باشد [۲۹، ۳۰ و ۵۸]. عابدی کویایی و همکاران [۳۱] در پژوهش خود نشان دادند که آبیاری با فاضلاب (dS/m $EC < 1/8$) باعث کاهش شوری خاک گردیده است، به طوری که خاک‌های شور سدیمی منطقه مورد آزمایش به یک خاک با شوری $1/25$ تا $2/45$ دسی زیمنس بر متر تغییر یافته است.

صابر [۱۱۸] با انجام آزمایشی روی خاک‌های آبیاری شده با پساب به این نتیجه رسید که در یک دوره ۶۰ ساله هر یک از فلزات سنگین می‌توانند به اندازه قابل توجه در خاک انباشته شوند. حسین و

همکاران، افزایش عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر، افزایش مقدار نمک ها و نیز فلزات سنگین را در خاک پس از کاربرد فاضلاب گزارش کردند [۸۲].

پروان نیز گزارش کرد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده (پساب)، کاهش اسیدیته، افزایش شوری، افزایش عناصری چون سدیم، کلسیم، منیزم، کلر در بخش محلول خاک و افزایش نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و افزایش عناصر سنگین مانند نیکل، کادمیم و کروم را به دنبال داشته است [۸].

باقری نیز در بررسی اثرات پساب بر برخی خواص شیمیایی خاک زیر کشت چند محصول زراعی، تغییر اسیدیته، افزایش شوری و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و همچنین افزایش برخی عناصر فلزی سنگین را گزارش کرد [۵].

محمد روسان و همکاران در گزارش دیگری بیان کردند که کاربرد دراز مدت پساب، افزایش مقدار نمک‌ها، مواد آلی و عناصر غذایی را به دنبال داشته است. در پژوهش آنان تغییری در مقدار اسیدیته خاک مشاهده نشد [۱۰۰].

پاترسون و مکلود، تغییر اسیدیته خاک، تغییر تعادل عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و نسبت کلسیم به منیزیم و همچنین افزایش شوری را از جمله مهم ترین اثرات کاربرد پساب بر خاک ها بیان کردند [۱۰۷].

بررسی اثر آبیاری با پساب روی غلظت بعضی از عناصر غذایی میکرو و عناصر سنگین در خاک های آهکی جنوب شهر موصل نشان داد که غلظت عناصر میکرو شامل آهن، روی، منگنز و مس و عناصر سنگین شامل سرب، نیکل و کادمیوم افزایش یافته است [۹۷].

در اراضی کم بازده و فقیر با کاربرد کوتاه مدت پساب، فلزات سنگین ضروری برای گیاه نظیر مس و روی، به مقدار کافی تأمین می‌شوند. ولی با کاربرد طولانی مدت پساب، عناصر سنگین تا سطح سمی در خاک تجمع یافته و باعث کاهش رشد گیاهان و یا افزایش غلظت این عناصر در گیاهان خصوصاً در شرایط کمی اسیدی می‌شوند و با مصرف دام از آنها وارد چرخه غذایی می‌شوند [۶۷].

فیضی (۱۳۸۰) در مقایسه تأثیر پساب فاضلاب و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی، pH و نسبت جذب سدیم با شوری آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. غلظت عناصری از قبیل سرب، روی، منگنز، مس و آهن در خاک (عمق صفر تا ۴۰ سانتی متری) آبیاری شده با پساب فاضلاب بیشتر از خاک های آبیاری شده با آب چاه بود. اگر چه این تفاوت معنی دار نبود [۳۶].

بول و همکاران در خاک های آبیاری شده با پساب در آلمان مشاهده نمودند که با گذشت ۱۶ تا ۲۵ سال، میزان تجمع هیچ یک از فلزات سنگین در خاک به مرز زیان آور نرسید و تنها عناصر نیکل، کادمیوم و روی به مرز زیان آور نزدیک شدند [۶۴].

استرک و ریچتر (۱۹۹۷) گزارش کردند که حرکت فلزات در خاک آبیاری شده با پساب خیلی آرام است و بیش از ۹۰ درصد کادمیوم، نیکل و سرب در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری خاک تجمع می یابند [۱۲۵].

سیلور و سامرز (۱۹۷۷) نشان دادند که کاربرد فاضلاب با pH کم باعث حرکت سریع تر کادمیوم و سرب به اعماق پایین تر می شود. نتایج همچنین نشان داد که غلظت سرب و کادمیوم در خاک آبیاری شده با پساب و آب چاه تقریباً مشابه بودند [۱۲۰]. برخی دیگر از محققین در آزمایش مزرعه ای در منطقه برخوار اصفهان با دو تیمار آب چاه و پساب به این نتیجه رسیدند که تجمع سرب، منگنز، نیکل، کبالت، مس و روی با عمق کاهش می یابد [۵۳].

قیان و مچام بعد از آزمایش و مقایسه خاک زمین های گلف آبیاری شده با پساب و آب چاه گزارش کردند که خاک های آبیاری شده با پساب نسبت به خاک های آبیاری شده با آب چاه، دارای ۰/۳ واحد pH بالاتر و ۲۰۰، ۴۰ و ۳۰ درصد غلظت بیشتر سدیم، بر و فسفر قابل عصاره گیری بود. در مقایسه با خاک های آبیاری شده با آب سطحی، مکان های آبیاری شده با پساب ۱۸۷ درصد EC بیشتر و ۴۸۱ درصد نسبت سدیم تبدالی (SAR) بالاتر را نشان داد. مقایسه خواص شیمیایی خاک قبل و ۴ یا ۵

سال بعد از آبیاری زمین گلف با پساب، ۸۹ تا ۹۵ درصد افزایش سدیم، ۲۸ تا ۵۰ درصد افزایش بر و ۸۹ تا ۱۱۷ درصد افزایش در مقدار فسفر در عمق سطحی را نشان داد [۱۱۱].

هنگامی که پساب برای آبیاری استفاده می‌شود، فعالیت متابولیک میکروارگانیسم‌های خاک افزایش می‌یابد [۹۸ و ۱۱۳]. حیدرپور و همکاران (۲۰۰۷) با مقایسه خاک‌های آبیاری شده با پساب و آب چاه نتیجه گرفتند که EC، کلسیم و منیزیم لایه ۳۰-۱۵ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک آبیاری شده با پساب کمتر از خاک آبیاری شده با آب چاه بود. مقدار پتاسیم در لایه ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک آبیاری شده با پساب به صورت معنی‌داری بیشتر از خاک آبیاری شده با آب چاه بود. آبیاری با پساب اثر معنی‌داری روی مقدار سدیم، فسفر و نیتروژن کل خاک نداشت [۸۰].

صفری‌سنجایی و حاج‌رسولیه (۱۳۷۴) نشان دادند که ۷ سال آبیاری با پساب، سدیمی و شور بودن خاک را کاهش داد و به صورت معنی‌داری نیتروژن و کربن آلی، فسفر قابل دسترس، نیتروژن کل و فسفر کل و ظرفیت تبادل کاتیونی سطح خاک را افزایش داد. هر چند، pH، $\text{NH}_4\text{-N}$ ، $(\text{NO}_3+\text{NO}_2)\text{-N}$ ، پتاسیم قابل دسترس، پتاسیم کل و عناصر سنگین تغییر محسوسی در خاک آبیاری شده با پساب نداشتند [۲۷ و ۲۸].

در مطالعه آثار آبیاری با پساب، آب چاه و سیستم آبیاری نتایج نشان داد که در تیمار آبیاری با پساب pH ، منگنز و کبالت قابل دسترس و وزن مخصوص ظاهری خاک افزایش یافت. ECE و تخلخل کل به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد. همچنین فسفر، پتاسیم، منگنز، سرب و نیکل قابل دسترس به صورت معنی‌داری در تیمار پساب در مقایسه با شاهد افزایش یافت [۵ و ۵۱].

در همدان، کاربرد پساب فاضلاب شهری، مواد آلی سطح خاک، فسفر قابل دسترس و پتاسیم و غلظت روی و مس را افزایش داده است. کاربرد پساب فاضلاب شهری برای تولید سبزیجات غلظت مس و روی را تا حد بحرانی افزایش داد [۱].

رحمانی (۲۰۰۷) در آزمایش و مقایسه پساب شهری و پساب صنعتی و آثار آن بر خاک و گیاه گزارش کرد که برای پساب شهری، COD، BOD، TSS و برای پساب صنعتی HCO_3^- ، Cl^- ، SO_4^{2-}

BOD, COD, NO₃-N, TSS, SAR و غلظت فلزات سنگین مس، منگنز، کروم، کبالت، کادمیوم و روی فاکتورهای محدود کننده هستند. در خاک آبیاری شده با پساب شهری مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس و فلزات سنگین مورد آزمایش بیشتر از خاک آبیاری شده با آب چاه بود. در خاک های آبیاری شده با پساب صنعتی، غلظت منگنز، روی، کادمیوم و مس بیشتر از سطح نرمال و در حد بحرانی بوده است [۱۱۲].

نتایج آزمایش راتان و همکاران (۲۰۰۵) در هندوستان نشان داد که پساب دارای مقادیر بسیار بیشتر فسفر، پتاسیم، گوگرد، روی، مس، آهن، منگنز و نیکل در مقایسه با آب زیر زمینی بود. در حالیکه تفاوت معنی داری در غلظت سرب و کادمیوم بین این دو منبع آب وجود نداشت. کربن آلی در خاک های آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب چاه از ۳۸ درصد به ۷۹ درصد افزایش یافت. میانگین pH خاک در نتیجه آبیاری با پساب ۰/۴ واحد کاهش پیدا کرد. این محققان گزارش کردند که در اثر ۲۰ سال آبیاری با پساب افزایش معنی داری در عناصر قابل عصاره گیری با DTPA مانند روی (۲۰۸٪)، مس (۱۷۰٪)، آهن (۱۷۰٪)، نیکل (۶۳٪) و سرب (۲۹٪) مشاهده شد. در حالیکه در همین شرایط منگنز تا ۳۱ درصد کاهش یافت [۱۱۵].

۲-۴-۲- اثرات استفاده از پساب بر خواص فیزیکی خاک

آبیاری با پساب بدون خطر برای تولید محصول و محیط خاک نیست. از جمله خطرات بالقوه ناشی از آبیاری با فاضلاب تصفیه شده، تخریب ساختمان خاک، زوال پایداری خاکدانه، کاهش هدایت هیدرولیکی خاک، سله بندی سطح، افزایش فرسایش خاک و رواناب، تراکم خاک و کاهش تهویه خاک است [۶۳].

مطالعات زیادی نشان داده است که وجود مواد آلی محلول در پساب، همراه با سدیمی بودن آن که پراکندگی رس خاک را افزایش داده، منجر به فلوکوله شدن بیشتر رس های منفرد می شود [۷۲، ۷۶، ۱۲۸ و ۱۲۹].

تأثیر آبیاری با پساب بر هدایت هیدرولیکی اشباع، در آزمایشگاه با دو نوع آزمایش بررسی شده است. آزمایش نوع اول، تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک طی آبیاری با پساب را ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که وقتی پساب محتوی مقدار زیاد مواد آلی استفاده شود، کاهش هدایت هیدرولیکی قابل توجه است که به انسداد خلل و فرج توسط جامدات معلق موجود در پساب [۹۴، ۱۱۶ و ۱۳۵] و رشد بیش از حد میکروارگانیسم‌ها، ناشی از وجود مواد غذایی در پساب [۹۳] نسبت داده شده است. در سایر مطالعات با سطوح بالاتر تیمار، نتایج متناقض بوده است. در برخی از مطالعات پساب اثر قابل مقایسه ای با آب شیرین بر هدایت هیدرولیکی داشت [۹۱]. در حالیکه سایرین گزارش کردند که آبیاری با پساب باعث کاهش بیشتر هدایت هیدرولیکی در مقایسه با آبیاری با محلول نمک با غلظت و ترکیب مشابه با پساب شده است [۱۲۹].

در آزمایشات نوع دوم، تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک‌هایی که طولانی مدت با پساب آبیاری شده بودند، توسط آبیاری با آب دیونیزه بررسی شد. نتایج به دست آمده مختلف بوده و به بافت و شرایط خاک بستگی داشته است. برای مثال، لوی و همکارانش (۲۰۰۵) گزارش کردند که آبیاری با پساب در مقایسه با آب شیرین، اثر مضر بر روی هدایت هیدرولیکی خاک رسی داشت، اما در خاک لوم شنی اینگونه نبود [۹۰].

محققان در فلسطین اشغالی با بررسی آثار کیفیت آب و سیستم آبیاری بر روی هدایت هیدرولیکی خاک به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب و سیستم آبیاری بسته به روش آزمایش آثار متفاوتی بر روی هدایت هیدرولیکی خاک دارد. بدین صورت که وقتی نمونه‌های دست نخورده مورد آزمایش قرار می‌گیرد، کیفیت آب اثر بیشتری بر روی هدایت هیدرولیکی خاک دارد. ولی هنگامی که خاک به هم زده شده مورد آزمایش قرار می‌گیرد، روش آبیاری اثر بیشتری بر روی هدایت هیدرولیکی خاک دارد. کیفیت آب آبیاری و روش آبیاری اثر قطعی بر روی پایداری خاکدانه نداشت [۶۳].

نفوذ پساب از میان پروفیل خاک هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را کاهش می‌دهد که این کاهش به کیفیت پساب، خواص شیمیایی خاک و توزیع اندازه خلل و فرج در خاک بستگی دارد. پساب،

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک رسی و لومی را به دلیل انسداد منافذ توسط مواد معلق کاهش می‌دهد، در حالی که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شنی به دلیل وجود منافذ درشت تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد [۸۹].

صابر (۱۹۸۶) از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های قاهره مصر تنها گنجایش نگهداری آب را در خاک آزمایش کرده است و نشان داد که با افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب شهری این ویژگی افزایش یافته است [۱۱۸]. مهیدا (۱۹۸۱) نشان داده است که بهره‌گیری از فاضلاب به جای آب کانال، سبب بهبود بیشتر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل و پیدایش ساختمان اسفنجی خاک شده است [۹۵].

محققین نشان دادند که جریان فاضلاب به داخل خاک، سبب گرفتگی سطحی خاک شده است و این مسأله را با تغییرات شیمیایی و میکروبی، کل مواد جامد (TS)، پلی ساکاریدها و سولفید آهن مرتبط می‌داند [۱۱۷].

چانگ و همکارانش استفاده از فاضلاب را به عنوان یک ماده مناسب اصلاح‌کننده خاک معرفی می‌کنند. نتایج مطالعه چندین ساله آنان نشان می‌دهد که به کارگیری فاضلاب منجر به تغییر خواص فیزیکی خاک شده و بر اثر آن، ظرفیت نگهداری آب افزایش یافته است. در حالیکه وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد [۶۸]. زانتولاگیس و والندر (۱۹۹۱) گزارش کردند که سرعت نفوذ نهایی خاک در اثر آبیاری با پساب یک کارخانه تولید رب گوجه‌فرنگی کاهش یافت [۱۳۸]. در آزمایشی که پساب از ستون شن عبور داده شد، گزارش شد که باکتری‌های هوازی هدایت هیدرولیکی اشباع را بیش از ۴ برابر، به خصوص در ناحیه بالاتر نزدیک به سطح خاک کاهش می‌دهند [۱۳۴].

وینتن و همکاران (۱۹۸۳) اثر مواد جامد معلق پساب را بر هدایت هیدرولیکی سه نوع خاک مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که کاهش در نفوذپذیری خاک سیلتی لوم به مراتب بیشتر از خاک‌های شنی و لوم شنی می‌باشد. این محققین همچنین گزارش کردند که آبیاری با پساب، ESP را افزایش داده و خلل و فرج خاک را مسدود می‌کند. آن‌ها معتقدند که کاهش هدایت هیدرولیکی خاک

در اثر آبیاری با پساب، به علت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بوده است. آنها مشاهده کردند که مواد آلی حل شده در پساب حتی با ESP پایین، اثر منفی روی هدایت هیدرولیکی دارد. کاهش هدایت هیدرولیکی ناشی از باقی ماندن مواد آلی طی نفوذ و تغییر توزیع اندازه منافذ در نتیجه انبساط و دیسپرس شدن ذرات خاک است [۱۳۵].

۲-۴-۳- اثرات استفاده از پساب بر گیاه

محصولات رشد یافته در خاک های آلوده، فلزات را در مقادیر زیاد در خود تجمع می‌دهند و باعث ایجاد مشکلاتی برای سلامتی حیوان و انسان مصرف کننده این گیاهان غنی از فلزات سنگین می‌شوند [۱۳۱]. کاربرد پساب فاضلاب شهری در اراضی سبزی کاری شهر همدان نشان داد که غلظت عناصر سنگین به استثنای مس و روی در سبزی ها کمتر از حد مجاز بود [۱].

استفاده از پساب برای آبیاری ذرت شیرین نشان داد که درصد قابل جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم افزایش یافته است به طوری که غلظت این عناصر در گیاهان تحت آبیاری با پساب به ترتیب ۲/۳۵، ۰/۲ و ۲/۲ درصد و در گیاهان تحت آبیاری با آب کنترل شده به ترتیب ۱/۹۳، ۰/۲۵ و ۱/۶۹ درصد بود [۸۶].

اثرات به کارگیری فاضلاب خام به مدت ۶ سال بر روی گیاه ذرت نشان داد که در سال اول مقدار تجمع مس، روی، سرب و از سال دوم مقدار تجمع کروم بیشتر از شاهد بود. مقدار تجمع عناصر در گیاه برای تیمارهای به کارگیری فاضلاب از نظر عنصر سرب تا ۳ برابر و برای دیگر عناصر تا دو برابر مقدار تیمار شاهد که از آب پاک جهت آبیاری بوته ها استفاده شده بود، افزایش یافت [۷۷].

آبیاری طولانی مدت اراضی جنوب تهران با فاضلاب شهری باعث افزایش فلزات سنگین نظیر سرب، روی و مس در اراضی و گیاهان تحت آبیاری با فاضلاب نسبت به اراضی و گیاهان شاهد تحت آبیاری با آب قنات شده است [۴۳]. در این اراضی بدون کاهش معنی‌داری در عملکرد گندم و ذرت، می توان مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم را به میزان ۷۵ درصد توصیه بر اساس آزمون خاک مصرف نمود [۴۴].

علیزاده و همکاران [۵۵] گزارش کردند تیمار آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد گیاه منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گیاه شد. در این آزمایش ترکیب شیمیایی گیاه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد غلظت نیتروژن در تیمار آبیاری با فاضلاب در تمام مراحل رشد گیاه بیشتر از سایر تیمارها می‌باشد. این محققین گزارش کردند میزان پروتئین دانه در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نشان نداده است. تجزیه شیمیایی دانه نشان داد از نظر غلظت عناصر سنگین بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

پارامسواران [۱۰۶] گزارش کرد آبیاری با فاضلاب نیاز بالای کنگرفرنگی (*Helianthus tuberosus*) به کود را تأمین می‌کند، به طوری که هیچ کدام از علائمی ناشی از کمبود عناصر غذایی و همچنین علائم مسمومیت ناشی از غلظت بالای برخی عناصر غذایی در گیاه مشاهده نشد. در این آزمایش مشخص شد، غلظت عناصر غذایی در اندام‌های هوایی بیشتر از غده و عملکرد نیز در تیمار آبیاری با فاضلاب بیشتر از سایر تیمارها بوده است.

فیضی [۷۵] در پژوهشی در زمینه تأثیر آبیاری با پساب بر تجمع برخی عناصر در خاک و گیاه در مدت ۸ سال گزارش کرد، مقدار آهن و منیزیم در گیاه ذرت در مزارعی که با پساب آبیاری شده بودند، بیشتر بود. همچنین میزان منگنز و روی در کاه و دانه گندم بیشتر بود، در حالی که در مورد شاخ و برگ یونجه افزایش نشان نداد. غلظت منگنز، روی و مس در برگ و ساقه گوجه‌فرنگی و غلظت آهن، روی و مس در میوه گوجه‌فرنگی کاشته شده در این مزارع نسبت به مزارع آبیاری شده معمولی افزایش معنی‌داری نشان داد.

از جمله مهم‌ترین مواد موجود در فاضلاب‌ها می‌توان به عناصر کودی مورد نیاز گیاه شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم اشاره نمود. این عناصر علاوه بر تأمین نیاز غذایی محصول، در صورت حضور در غلظت‌های بالا و مازاد بر احتیاج گیاه می‌توانند آثار منفی از خود بر جای گذارند. مواردی مانند افزایش بیش از حد رشد سبزینه‌ای، تأخیر در تولید محصول و یا توقف رشد زایشی گیاه و کاهش کیفیت محصول از آن جمله است [۳۷].

کلاپ و همکاران اثر کاربرد پساب فاضلاب شهری را در چند ایالت مختلف امریکا بر عملکرد گیاه ذرت و نیز تعدادی از گیاهان علوفه‌ای مطالعه نموده و به این نتیجه رسیدند که تأثیر پساب با کاربرد کود شیمیایی به صورت آمونیوم از نظر تأمین عملکرد گیاه کاملاً قابل مقایسه بوده است [۷۱].

آسانو و پتی‌گرو در سال ۱۹۸۷ در کالیفرنیا، با بررسی اثرات پخش پساب تصفیه شده فاضلاب بر روی اراضی کشاورزی نتیجه گرفتند که چه از نظر کشاورزی و چه از نظر بهداشتی، پخش پساب هیچ گونه اثرات سوئی بر آب‌های زیرزمینی و یا محصولات زراعی نداشت [۵۹]. صفری‌سنجانی و حاج‌رسولیه (۱۹۹۵) نیز نشان دادند که پس از ۷ سال آبیاری با پساب، آلودگی فلزات سنگین در بافت یونجه صفر بوده است [۲۸].

در مطالعه آثار آبیاری با پساب، آب چاه و انواع سیستم آبیاری روی چغندر قند، ذرت و آفتابگردان و آلودگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نتایج نشان داد که جذب عناصری از قبیل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، سدیم، آهن، مس، روی، نیکل و کادمیوم تفاوت معنی‌داری در محصولات آبیاری شده با پساب و آب چاه و نوع سیستم آبیاری وجود نداشت. محصول آفتابگردان و ذرت در تیمار آبیاری با پساب بیشتر از آبیاری با آب چاه بود، اما این تفاوت معنی‌دار نبود [۵ و ۵۱].

وفا بخش و خرقانی (۲۰۰۰) آثار فاضلاب شهری تصفیه شده را روی کیفیت و محصول خیار و هویج مقایسه کردند. آنها نتیجه گرفتند که عناصر غذایی ماکرو و میکرو در ساقه، برگ و میوه در تیمار آبیاری با پساب در مقایسه با آب چاه افزایش یافته است [۱۳۳].

رحمانی (۲۰۰۰) در آزمایش و مقایسه پساب شهری و پساب صنعتی و آثار آن بر خاک و گیاه گزارش کرد که غلظت آهن، مس و روی در ریشه‌های گندم آبیاری شده با پساب بیشتر از ریشه گندم آبیاری شده با آب چاه و غلظت منگنز و روی در دانه گندم آبیاری شده با پساب بیشتر از دانه گندم در مزارع شاهد آبیاری شده با آب چاه بود [۱۱۲].

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیم منطقه مورد آزمایش

آزمایش در منطقه برخوار اصفهان در اراضی اطراف تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان انجام شد. دشت برخوار در شمال اصفهان واقع شده است و از شمال به ارتفاعات جعفرآباد، از جنوب به شهر اصفهان و از غرب به کوه محمدآباد، کوه خان و کوه سنگاریت محدود می‌شود. وسعت منطقه ۲۲۳۵ کیلومترمربع است که ۱۸۱۴ کیلومتر آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد [۴۲].

ارضی این منطقه هموار و خاک آن در سری حاجی‌آباد که جزء خاکهای قهوه‌ای بیابانی است، طبقه‌بندی شده است. در حالت خشکی در لایه سطحی این خاکها شکافی که تا عمق ۳۰ سانتی‌متری ادامه می‌یابد، دیده می‌شود [۵۰]. این خاکها به صورت Typic Haplocambids رده‌بندی می‌شوند [۷۵].

منطقه برخوار دارای آب و هوای خشک و میانگین بارندگی و دمای سالانه آن به ترتیب ۱۳۱ میلی‌متر و ۱۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. کمترین و بیشترین دمای سالیانه در این منطقه به ترتیب ۱۰/۴- و ۴۲ درجه سانتیگراد است [۵۰]. میانگین ارتفاع این اراضی از سطح دریاهای آزاد ۱۵۶۱/۵ متر و با مختصات ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی است [۵۰].

۳-۲- مشخصات تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان

تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان در شمال شرقی شهر اصفهان در ۴/۵ کیلومتری میدان زینبیه در منطقه برخوار با قابلیت تصفیه فاضلاب مناطق شمالی و شرقی شهر اصفهان و همچنین شهرهای خمینی‌شهر، فلاورجان، درچه، رهنان، گز، دولت‌آباد، خورزوق و دستگرد در زمینی به وسعت ۶۵ هکتار در سال ۱۳۶۶ احداث شده است (تصاویر ۱-۲ و ۲-۲). در این تصفیه‌خانه، فاضلاب به روش بیولوژیکی از نوع لجن فعال تصفیه می‌شود.



شکل ۳-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران - A: تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان



شکل ۳-۲- تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان و مزارع اطراف آن

با بهره‌برداری از طرح توسعه تصفیه‌خانه در سال ۱۳۸۵، ظرفیت این تصفیه‌خانه از ۴۰۰ هزار نفر به یک میلیون و ۲۰۰ هزار نفر افزایش یافته و این تصفیه‌خانه به بزرگترین تصفیه‌خانه فاضلاب کشور از نظر ظرفیت مبدل شده است که در هر شبانه‌روز ۱۳۰ هزار مترمکعب فاضلاب را تصفیه می‌کند [۲۱].

۳-۳- روش انجام آزمایش

برای انجام آزمایش ۹ مزرعه در این منطقه انتخاب گردید که ۵ مزرعه از بدو تأسیس تصفیه‌خانه در سال ۱۳۶۶ تا کنون با پساب و ۴ مزرعه با آب چاه آبیاری می‌شد. در هر مزرعه ۳ یا ۴ نمونه مرکب خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتیمتری تهیه شد. نمونه‌ها پس از انتقال از محل نمونه‌برداری، هوا خشک شده و با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد.

در هر مزرعه به جز نمونه خاک، در فصل برداشت، از گیاهان کاشته شده نیز در ۳ تکرار نمونه برداری شد. گیاهان نمونه برداری شده شامل گندم، یونجه، میوه و بوته گرمک و بلال و اندام هوایی ذرت بود. در مجموع ۶۲ نمونه خاک و ۵۲ نمونه گیاه تهیه شد. همچنین از پساب و آب شش چاه منطقه نیز نمونه‌برداری شد.

۳-۳-۱- اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک

وزن مخصوص ظاهری: جهت تعیین وزن مخصوص ظاهری، نمونه‌های خاک دست نخورده به قطر ۷/۵ سانتیمتر و ارتفاع ۴ سانتیمتر تهیه گردید. پس از خشک شدن نمونه‌ها در حرارت ۱۰۵ درجه سانتیگراد و اندازه‌گیری وزن آنها، با استفاده از رابطه زیر جرم مخصوص ظاهری محاسبه شد [۸۷].

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t}$$

که در آن:

ρ_b : وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب

M_s : جرم خاک خشک بر حسب گرم

V_t : حجم کل نمونه دست‌نخورده بر حسب سانتیمتر مکعب می‌باشد.

تعیین بافت خاک: برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده شد که با استفاده از قانون استوک اجرا می‌شود و بدین صورت بیان می‌شود که سرعت اجسام کروی که ته‌نشین می‌شوند بستگی مستقیم با اندازه ذره و همچنین دانسیته مایع معلق (سوسپانسیون) دارد. در این روش پس از دیسپرس کردن ذرات خاک و به تعادل رسیدن سوسپانسون، عدد هیدرومتر در دو زمان ۴۰ ثانیه و ۲ ساعت که به ترتیب نشان دهنده مجموع وزن رس و سیلت و نیز وزن رس است، قرائت شد. پس از به دست آوردن درصد اجزای خاک با استفاده از مثلث بافت خاک، بافت نمونه مورد آزمایش تعیین گردید [۱۰].

تعیین سرعت نفوذ آب: برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک از روش استوانه‌های مضاعف فلزی استفاده شد. در این روش استوانه‌ها در ناحیه مرکزی هر پلات با کمک ضربات یکنواخت چکشی که بر لبه استوانه وارد گردید، در عمق ۱۵ سانتیمتری خاک قرار گرفت. پس از نصب استوانه‌ها، برای جلوگیری از به هم خوردن لایه سطحی خاک، کف استوانه با لایه‌ای از جنس پلاستیک پوشانده شد. پس ریختن آب درون استوانه، به آرامی پلاستیک کف استوانه کنار کشیده شد و در همین لحظه کروномتر به کار افتاد. پس از گذشت زمان‌های مشخص از شروع آزمایش ارتفاع ستون آب از روی نوار مدرج نصب شده روی استوانه قرائت گردید. سپس با استفاده از معادله کوستیاکوف سرعت نفوذ آب در خاک محاسبه شد.

تعیین هدایت هیدرولیکی: اساس اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی، قانون داری می باشد که در آزمایشگاه بر روی نمونه‌های دست‌نخورده خاک، با استفاده از روش بار افتان اندازه‌گیری شد [۲۳].

تعیین پایداری خاکدانه: برای تعیین پایداری خاکدانه^۱، نمونه خاک روی یک سری الک قرار گرفت و الک‌ها با استفاده از دستگاه غربال مکانیکی با سرعتی مشخص و برای مدتی معین در داخل آب به طرف بالا و پایین به طور عمودی حرکت کرد. سپس مقدار خاک باقیمانده روی هر الک و میانگین قطر خاکدانه‌ها تعیین شد [۱۰].

¹. Aggregate Stability

تعیین ظرفیت نگهداری آب: به منظور تعیین ظرفیت رطوبت، نمونه‌های اشباع خاک را بر روی صفحه فشاری^۱ و تحت فشار ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال جهت تعیین رطوبت به ترتیب در دو نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم قرار گرفت و درصد رطوبت در حال تعادل هر فشار تعیین شد [۱۰۸].

۳-۲- اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی خاک

اندازه‌گیری واکنش خاک (pH): برای اندازه‌گیری واکنش خاک، بعد از تنظیم دستگاه pH متر، الکتروود دستگاه در ظرف محتوی گل اشباع قرار گرفت، به نحوی که تماس کامل بین گل اشباع و الکتروود دستگاه، برقرار شد. چند ثانیه بعد از فشار دادن دکمه مخصوص pH، عدد نمایان شده یادداشت شد [۳۳].

اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC): هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. هدف از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع اندازه‌گیری املاح محلول در آن می‌باشد. مقدار عبور جریان الکتریکی نسبت مستقیم با مقدار یونهای موجود دارد، لذا با عبور جریان الکتریکی از یک الکتروولیت یا عصاره می‌توان به میزان املاح محلول در آن پی برد [۳۳].

اندازه‌گیری کلسیم + منیزیم: ۵ میلی‌لیتر از عصاره گل اشباع به ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد و به آن تا ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر، ۲ میلی‌لیتر تامپون و چند قطره معرف اریوکروم‌بلک‌تی اضافه و با ورسین (EDTA) تیترا شد. بعد از تغییر رنگ محلول از ارغوانی به آبی تیتراسیون پایان یافت [۱۹].

اندازه‌گیری کلسیم: به ۵ میلی‌لیتر از عصاره گل اشباع تا ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر، ۱ میلی‌لیتر سود و مقدار بسیار کمی پودر مورکسید اضافه شد. این محلول تا تغییر رنگ از صورتی به ارغوانی با ورسین (EDTA) تیترا شد [۱۹].

¹ . Pressure plate

اندازه‌گیری سدیم محلول خاک: سدیم محلول در عصاره گل اشباع، با استفاده از دستگاه فلیم- فوتومتر اندازه‌گیری شد [۱۹].

اندازه‌گیری پتاسیم قابل جذب خاک: مقدار ۵ گرم خاک رد شده از الک ۲ میلی‌متری توزین و در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر استات آمونیوم نرمال به آن افزوده شد و بعد از یک شبانه‌روز، با کاغذ صافی، صاف گردید. مقدار پتاسیم محلول با دستگاه فلیم‌فوتومتر بعد از قرائت استانداردها مورد سنجش قرار گرفت [۳۳].

اندازه‌گیری یون بیکربنات محلول خاک: ۵ میلی‌لیتر از عصاره گل اشباع داخل ارلن مایر ریخته شد و به آن چند قطره معرف متیل‌ورانژ اضافه گردید. سپس محلول تا تغییر رنگ از نارنجی به پوست پیازی با اسیدسولفوریک ۰/۵ نرمال تیتیر شد [۱۹].

اندازه‌گیری کلر محلول خاک: ۲ میلی‌لیتر از عصاره گل اشباع با کمی آب مقطر و چند قطره کرومات پتاسیم مخلوط و با نیترات نقره ۰/۵ نرمال تیتیر شد. با تغییر رنگ محلول از زرد به آجری رنگ، تیتراسیون پایان پذیرفت [۱۹].

اندازه‌گیری فسفر قابل جذب خاک: ۲/۵ گرم از نمونه خاک توزین و در ارلن ریخته شد. دو نمونه بلانک نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس ۵۰ میلی‌لیتر از محلول بیکربنات سدیم به نمونه‌ها اضافه و بعد از نیم ساعت شیکر، بلافاصله محلول با کاغذ صافی صاف شد. سپس ۲۵ میلی‌لیتر از عصاره و بلانک و استانداردها داخل ارلن ریخته و ۲۵ میلی‌لیتر از محلول مخلوط به آن افزوده و مجدداً ۱۵ دقیقه شیکر شد. بعد از گذشت حداقل یک ساعت، رنگ آبی کامل شده با دستگاه اسپکتروفوتومتر روی طول موج ۸۸۰ یا ۷۲۰ نانومتر قرائت شد [۳۳].

اندازه‌گیری کربن آلی خاک: ۰/۵ گرم خاک داخل ارلن ریخته شده و به آن ۵ میلی‌لیتر بی- کرومات پتاسیم افزوده شد. سپس در زیر هود به ارلن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ اضافه گردید. بعد از گذشت مدت زمان ۱ ساعت، ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و کمی معرف ارتوفنانترولین در

ارلن‌ها ریخته و با فروآمونیم‌سولفات ۰/۵ نرمال تیترا شد. در انتهای تیتراسیون رنگ نمونه از سبز کدر به قرمز تغییر یافت [۳۳].

اندازه‌گیری آهک خاک: آهک خاک به روش تیتراسیون برگشتی اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که پس از افزودن ۲۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک مولار با یک گرم خاک الک شده و کامل شدن واکنش، اسید باقیمانده با سود نرمال تیترا شده و درصد آهک (درصد کربنات کلسیم معادل) خاک برآورد گردید [۷۰].

اندازه‌گیری گچ خاک: گچ موجود در خاک در آب حل شده و بعد از صاف نمودن، با اضافه نمودن استون به عصاره، گچ رسوب کرد. این رسوب در آب مقطر حل و مقدار هدایت الکتریکی عصاره یا مقدار کلسیم موجود در محیط مورد سنجش قرار گرفت که معادل با میزان گچ در نمونه است [۳۳].

اندازه‌گیری میکروالمنتهای: ۱۰ گرم خاک الک شده، توزین و در ارنل مایر ریخته و به آن ۲۰ میلی‌لیتر از محلول DTPA افزوده شد. بعد از ۲ ساعت شیکر، محلول از کاغذ صافی عبور داده شد. در این عصاره عناصر روی، آهن، منگنز، مس، کادمیوم و سرب با دستگاه اتمیک ابزوربشن اسپکترومتری (AAS) قرائت شد [۳۳].

اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC): برای اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، در مرحله اول با استفاده از استات سدیم، ذرات خاک با یون سدیم اشباع شد. در مرحله دوم خاک با الکل شسته شد تا تمام کاتیون‌ها به جز سدیم از روی سطح ذرات خاک خارج گردد. در مرحله سوم با استفاده از استات آمونیوم، یون‌های سدیم با آمونیوم جایگزین شدند، و در مرحله بعد میزان سدیم خارج شده به وسیله دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شد که معادل ظرفیت تبادل کاتیونی بود [۱۵].

اندازه‌گیری سدیم تبادلی خاک: جهت اندازه‌گیری سدیم تبادلی خاک، در ابتدا با استفاده از استات آمونیوم از خاک عصاره‌گیری به عمل آمد. سپس در عصاره مذکور سدیم تبادلی خاک توسط دستگاه فلیم فوتومتر اندازه‌گیری شد [۱۳۶].

۳-۳-۳- تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب و پساب

در تجزیه آب و پساب، pH، هدایت الکتریکی، ازت کل، فسفر و پتاسیم به روش‌های ذکر شده قبلی و سدیم توسط دستگاه فلیم فوتومتر، کاتیون‌های کلسیم و منیزیم توسط تیتراسیون با محلول ورسین، یون کلر توسط تیتراسیون با محلول ۰/۵ نرمال نیترات نقره و یون بیکربنات توسط تیتراسیون با اسیدسولفوریک و سولفات به روش تیره‌سنجی و نیترات و آمونیاک به وسیله الکتروکود انتخابگر یونی و عناصر سنگین به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد [۵۷، ۷۰، ۱۳۲ و ۱۰۴].

۳-۳-۴- اندازه‌گیری عناصر در گیاهان

گیاهان پس از انتقال به آزمایشگاه و شستشو، در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک و سپس آسیاب شد. به منظور عصاره‌گیری از گیاهان از روش هضم تر استفاده شد. در این روش، هضم در لوله‌های مخصوص با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم انجام می‌شود. بدین صورت که قسمت اعظم مواد آلی در حرارت تقریباً پایین توسط آب اکسیژنه اکسید می‌شود. بعد از، از بین رفتن زیادی آب اکسیژنه و با تبخیر آب، عمل هضم در حرارت بالا به وسیله اسید سولفوریک و با حضور سلنیم به عنوان کاتالیزور کامل می‌گردد. اضافه کردن اسید سالیسیلیک جهت احیای نیترات می‌باشد [۴].

در عصاره به دست آمده می‌توان ازت کل را با استفاده از سیستم کجل تک اتوانالایزر، فسفر را به روش کالریمتری، پتاسیم را با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر و عناصر میکرو و سنگین را با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری کرد [۴].

۳-۳-۵- محاسبات و تجزیه و تحلیل آماری

بعد از انجام آزمایشات مذکور بر روی نمونه‌های آب، گیاه و خاک، داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Minitab در قالب آزمون t تجزیه و تحلیل شدند.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- ویژگی‌های پساب و آب مورد استفاده

جهت بررسی کیفیت پساب و درجه پالایش آن از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران، استفاده گردید. از آنجایی که این پساب در کشاورزی استفاده می‌شود، سایر ویژگی‌های بنیادی مانند pH، هدایت الکتریکی (EC)، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول، نسبت جذب سدیم و عناصر غذایی را نیز باید در نظر گرفت. به همین منظور از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و سازمان کشاورزی و خوار و بار جهانی که مربوط به استانداردهای کیفی فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری است [۴۰] نیز، استفاده شده است (جدول ۴-۱).

۴-۱-۱- اسیدیته:

بیشترین میزان pH مربوط به پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشد که مقدار آن ۸/۵ است. بالا بودن مقدار pH در پساب می‌تواند به دلیل بالا بودن غلظت یون بی‌کربنات در پساب باشد. pH مربوط به آب‌چاه بر اساس استاندارد FAO (جدول ۴-۲) بین ۶/۵ تا ۸/۴ می‌باشد. که pH آب‌چاه مصرفی در این محدوده قرار دارد. بر اساس استانداردهای WHO، FAO و سازمان حفاظت محیط زیست ایران، در مورد پساب مورد استفاده در کشاورزی، pH پساب تصفیه‌خانه محدودیتی ایجاد نمی‌کند.

۴-۱-۲- هدایت الکتریکی

بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به آب چاه و ۱۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر است. علت EC زیاد در آب چاه، بالا بودن یون‌های مختلف از جمله کلسیم و منیزیم و مخصوصاً سدیم، کلرید و سولفات است (جدول ۴-۱).

از نظر استاندارد FAO، هدایت الکتریکی در آب چاه دارای محدودیت شدید برای آبیاری است.

بنابراین استفاده از این آبها با مشکلات تجمع املاح در خاک و شور شدن آن همراه خواهد بود که

جدول ۴-۱ - مقایسه پارامترهای اندازه‌گیری شده در آب چاه و پساب با برخی استانداردهای موجود

استانداردهای کیفی پساب مورد استفاده در آبیاری [۴۰]			پساب		آب چاه		واحد	پارامترها
IRANDOE ¹	FAO ²	WHO ³	میانگین	دامنه تغییرات	میانگین	دامنه تغییرات		
۶-۸/۵	۶/۵-۸	۶-۸/۵	۸/۳۹	۸/۳-۸/۵	۷/۴۳	۷/۱-۸	-	pH
-	۰/۷	۰/۷	۱/۲۹	۱/۱۵-۱/۵۵	۶/۱۴	۱/۳۷-۱۱/۹	dS/m	EC
-	-	-	۵/۹۷	۵/۷-۶/۴	۵/۲۸	۴-۶/۶	meq/l	HCO₃⁻
۶/۰	۴/۰	۳/۰	۲/۳۳	۱/۷-۲/۶	۴۲/۵	۸-۸۲	meq/l	Cl⁻
-	-	-	۴/۲۴	۳-۶/۳	۱۹/۱۸	۲/۸-۴/۱/۵	meq/l	SO₄²⁻
-	-	-	۵/۹۳	۵-۷/۶	۲۵/۱	۶/۴-۳۷	meq/l	Ca + Mg
-	-	۳/۰	۶/۳۹	۵/۹-۷/۱	۴۲/۷	۹/۴-۹۲/۷	meq/l	Na
-	۳/۰	۳/۰	۳/۷۱	۳/۷۳-۳/۶۵	۱۲/۰۵	۵/۱۶-۲۱/۵۵	-	SAR
۱/۰	۰/۷	۰/۷	۰/۱۹۶	۰/۱۳-۰/۲۸	-	-	mg/l	B
-	۵/۰	۵/۰	۴/۳۱	۳/۱-۵/۲	-	-	mg/l	N-NO₃
۱/۰	۵/۰	۵/۰	۰/۰۰۲	۰-۰/۰۱	ND	ND [†]	mg/l	Pb
۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	ND	ND	ND	ND	mg/l	Cd
۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۰۰۳	۰-۰/۰۱	ND	ND	mg/l	Cu
۲/۰	۲/۰	۲/۰	ND	ND	ND	ND	mg/l	Zn
۳/۰	۵/۰	۵/۰	۰/۰۴۷	۰/۰۳-۰/۱۲	ND	ND	mg/l	Fe
۱/۰	۰/۲	۰/۲	۰/۰۳	۰/۰۱-۰/۰۶	ND	ND	mg/l	Mn

† کمتر از حد تشخیص دستگاه

۱. سازمان حفاظت محیط زیست ایران
 ۲. سازمان کشاورزی و خوار و بار جهانی
 ۳. سازمان بهداشت جهانی

جدول ۴-۲- راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO برای تولید محصول [۶۱]

شدت محدودیت کاربرد			واحد	مشکل ایجاد شده و فاکتورهای تشخیص
شدید	ضعیف تا متوسط	هیچ		
شوری (موثر بر آب قابل استفاده)				
>۳	۰/۷-۳	<۰/۷	dS/m	EC _w
>۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	<۴۵۰	mg/l	TDS ¹
نفوذپذیری (موثر بر میزان نفوذ آب در خاک) (با به کار بردن SAR و EC _w)				
<۰/۲	۰/۲-۰/۷	>۰/۷	EC	SAR= ۰ - ۳
<۰/۳	۰/۳-۱/۲	>۱/۲		SAR= ۳ - ۶
<۰/۵	۰/۵-۱/۹	>۱/۹		SAR= ۶ - ۱۲
<۱/۳	۱/۳-۲/۹	>۲/۹		SAR= ۱۲-۲۰
<۲/۹	۲/۹-۵	>۵		SAR= ۲۰-۴۰
سمیت ویژه (موثر در گیاهان حساس)				
سدیم				
>۹	۳-۹	<۳	meq/l	آبیاری سطحی
	>۳	<۳	meq/l	آبیاری بارانی
کلرید				
>۱۰	۴-۱۰	<۴	meq/l	آبیاری سطحی
	>۳	<۳	meq/l	آبیاری بارانی
>۳۰	۵-۳۰	<۵	meq/l	ازت (به صورت نیترات یا آمونیوم)
>۸/۵	۱/۵-۸/۵	<۱/۵	meq/l	بی کربنات
محدوده معمول ۶/۵-۸/۴				pH

¹. Total Dissolved Solids

می‌بایست به آن توجه کرد. برای آبیاری با این آبها می‌توان از گیاهان مقاوم به شوری استفاده کرد. هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه به صورت میانگین در حد $1/29$ dS/m می‌باشد که این مقدار از میزان استاندارد WHO و FAO برای پساب مورد استفاده در کشاورزی بیشتر است (جدول ۴-۱). همچنین با توجه به راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO (جدول ۴-۲)، پساب از نظر هدایت الکتریکی دارای محدودیت ضعیف تا متوسط است.

۴-۱-۳- نسبت جذب سدیم (SAR)

بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم مربوط به آب چاه و برابر با $21/55$ است که با توجه به راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO باعث ایجاد محدودیت شدید می‌شود. بالا بودن مقدار سدیم در خاک باعث پراکندگی ذرات خاک و متلاشی شدن ساختمان خاک و در نهایت موجب کاهش نفوذپذیری، اشباع خاک و کاهش تنفس ریشه‌ای می‌شود.

متوسط میزان نسبت جذب سدیم پساب تصفیه‌خانه $3/71$ می‌باشد که این مقدار از میزان استاندارد WHO و FAO برای پساب مورد استفاده در کشاورزی بیشتر است (جدول ۴-۱) و بر طبق راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO، دارای محدودیت کم تا متوسط است (جدول ۴-۲).

۴-۱-۴- آنیون‌ها

بی‌کربنات: متوسط غلظت بی‌کربنات در آب چاه و پساب به ترتیب $5/28$ و $5/97$ meq/l می‌باشد که با توجه به راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO، هر دو منبع آب دارای محدودیت ضعیف تا متوسط است (جدول ۴-۲).

کلرید: میانگین غلظت کلرید پساب $2/33$ meq/l است که از میزان استاندارد WHO و FAO سازمان محیط زیست ایران برای پساب مورد استفاده در کشاورزی (جدول ۴-۱) کمتر است. درحالی‌که در مورد آب چاه متوسط غلظت کلرید $42/5$ meq/l است که بر اساس راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO، دارای محدودیت شدید می‌باشد.

سولفات: بیشترین مقدار سولفات مربوط به آب چاه و برابر با $41/5 \text{ meq/l}$ است. متوسط غلظت سولفات در پساب برابر با $4/24 \text{ meq/l}$ می‌باشد.

۴-۱-۵- کاتیون‌ها

کلسیم و منیزیم: بیشترین غلظت کلسیم و منیزیم مربوط به آب چاه و برابر با 33 meq/l است. متوسط غلظت کلسیم و منیزیم پساب، $5/93 \text{ meq/l}$ می‌باشد.

سدیم: حداکثر میزان سدیم اندازه‌گیری شده مربوط به آب چاه و برابر با $92/7 \text{ meq/l}$ است. متوسط غلظت سدیم در پساب برابر با $6/39 \text{ meq/l}$ می‌باشد که از میزان استاندارد WHO برای پساب مورد استفاده در کشاورزی (جدول ۴-۱) بیشتر است. با توجه به راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO، پساب دارای محدودیت کم تا متوسط و آب چاه دارای محدودیت شدید برای مصرف می‌باشد.

۴-۱-۶- فلزات سنگین

غلظت فلزات سنگین شامل آهن، منگنز، روی، مس، کادمیوم و سرب در آب چاه کمتر از حد تشخیص دستگاه بوده است. غلظت روی و کادمیوم در پساب نیز از حد تشخیص دستگاه کمتر می‌باشد. غلظت‌های اندازه‌گیری شده آهن، منگنز، مس و سرب از میزان استاندارد WHO و FAO و سازمان محیط زیست ایران برای پساب مورد استفاده در کشاورزی (جدول ۴-۱) کمتر است.

۴-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

جدول ۴-۳ نشان دهنده برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو عمق و دو عرصه آبیاری است. گچ و آهک در هر دو عرصه مقادیری نزدیک به هم دارد. مقادیر آهک در دو عمق تا حدی یکسان است، اما مقادیر گچ در عمق $30-0$ سانتی‌متری کمتر از عمق $30-60$ سانتی‌متری است، که این به دلیل آبشویی گچ از لایه‌های سطحی به لایه‌های عمقی است.

جدول ۴-۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

CaCO ₃	CaSO ₄	بافت	رس	سیلت	شن	عمق	منبع آبیاری
%	meq/100g			%			
۲۹/۸۸	۲۱/۵۷	clay loam	۳۴/۸	۳۳/۹۲	۳۱/۲۸	۰-۳۰	پساب
۳۰/۶۰	۸۰/۲۳	clay loam	۳۳/۶	۳۵/۹۲	۳۰/۴۸	۳۰-۶۰	
۳۴/۸۹	۱۸	clay	۵۱	۳۶/۱۵	۱۲/۸۵	۰-۳۰	آب چاه
۳۴/۲۸	۷۷/۸۲	clay	۵۳	۳۵/۱۵	۱۱/۸۵	۳۰-۶۰	

۴-۳- اثرات پساب بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک

۴-۳-۱- جرم مخصوص ظاهری (ρ_b)

با مقایسه جرم مخصوص ظاهری خاکهای آبیاری شده با پساب تصفیه‌خانه و آب چاه (جدول ۴-۴) می‌توان نتیجه گرفت، آبیاری با پساب باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو عمق شده است. گرچه تفاوت معنی‌دار نیست. بررسی خصوصیات دیگر مانند پایداری خاکدانه نشان می‌دهد که تشکیل خاکدانه نقش مهمی را در کاهش جرم مخصوص ظاهری در این تحقیق ایفا می‌کند. نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات محققین دیگر مطابقت دارد [۶۸، ۹۶].

۴-۳-۲- پایداری خاکدانه (MWD)^۱

اثر منبع آبیاری و عمق نمونه‌برداری بر پایداری خاکدانه در جدول ۴-۴ نشان داده شده است. استفاده از پساب جهت آبیاری در مقایسه با آب چاه، باعث افزایش پایداری خاکدانه در هر دو عمق شده است که این افزایش در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک معنی‌دار می‌باشد. کاهش پایداری خاکدانه در خاکهای آبیاری شده با آب چاه، احتمالاً به دلیل بالا بودن میزان سدیم در آب چاه و اثر پراکندگی سدیم بر خاک است. افزایش پایداری خاکدانه در خاکهای آبیاری شده با پساب باعث بهبود خواص فیزیکی و افزایش نفوذپذیری خاک می‌گردد.

¹. Mean Weighted Diameter

رضایی و فیضی (۱۳۸۶) نیز با دست یافتن به نتیجه‌ای مشابه با این تحقیق، علت افزایش پایداری خاکدانه در خاکهای آبیاری شده با پساب را کاهش شوری و افزایش موادآلی خاک بیان کردند [۲۰].

۴-۳-۳- هدایت هیدرولیکی (K_s)

هدایت هیدرولیکی خاکهای آبیاری شده با پساب نسبت به خاکهای آبیاری شده با آب چاه در هر دو عمق نمونه‌برداری بیشتر است. البته این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. افزایش هدایت هیدرولیکی در اثر آبیاری با پساب می‌تواند به علت بهبود خواص فیزیکی خاک، افزایش دانه‌بندی خاک و در نتیجه افزایش اندازه منافذ خاک باشد.

بسیاری از محققین [۱۳۸] کاهش هدایت هیدرولیکی خاک در اثر استفاده از پساب به عنوان منبع آبیاری را گزارش کردند و علت این کاهش را باقی ماندن مواد آلی طی نفوذ و تغییر توزیع اندازه منافذ [۷]، انسداد خلل و فرج توسط جامدات معلق موجود در پساب [۹۴، ۱۱۶ و ۱۳۵] و رشد بیش از حد میکروارگانسیم‌ها، ناشی از وجود موادغذایی در پساب [۹۳] دانسته‌اند. لادو و بنهور (۲۰۰۹) بیان کردند که این کاهش به کیفیت پساب، خواص شیمیایی خاک و توزیع اندازه خلل و فرج در خاک بستگی دارد [۸۹].

در این تحقیق به دلیل عدم افزایش چشمگیر موادآلی در خاکهای آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاکهای آبیاری شده با آب چاه، منافذ توسط موادآلی مسدود نشده و هدایت هیدرولیکی کاهش نیافته است.

۴-۳-۴- سرعت نفوذ آب در خاک (I)

آبیاری با پساب تصفیه‌خانه باعث افزایش سرعت نفوذ آب نسبت به آبیاری با آب چاه شده است (جدول ۴-۴). البته این افزایش از دید آماری معنی‌دار نبوده است. باقری نیز در پژوهش خود در این زمینه نتیجه گرفت که استفاده از پساب باعث افزایش غیر معنی‌دار سرعت نفوذ شده است [۵].

مهیدا(۱۹۸۱) نشان داده است که بهره گیری از فاضلاب به جای آب کانال، سبب بهبود بیشتر ویژگی های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل و پیدایش ساختمان اسفنجی خاک شده است [۹۵].

کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاکدانه و ایجاد خلل و فرج در خاکهای آبیاری شده با پساب موجب بهبود نفوذپذیری خاک گردیده است. همچنین نفوذپذیری خاک بستگی زیادی به درصد سدیم تبادلی خاک دارد. نفوذپذیری خاک با افزایش سدیم کاهش می یابد [۲].

جدول ۴-۴ - مقایسه پارامترهای فیزیکی خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری

عمق ۳۰-۶۰ سانتیمتری		عمق ۰-۳۰ سانتیمتری				منبع آبیاری	
K_s	MWD	ρ_b	I	K_s	MWD		
cm/h		g/cm ³	cm/h				
۵/۷۳ a	۲/۶۳ b	۱/۲۳ a	۷/۰۵ a	۱/۱۱ a	۲/۷۵ a	۱/۱۷ a	پساب
۳/۶۰ a	۱/۱۹ a	۱/۳۱ a	۲/۲۱ a	۰/۲۹ a	۲/۴۴ a	۱/۲۵ a	آب چاه

* میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

۴-۳-۵- ظرفیت نگهداری رطوبت:

آبیاری با پساب باعث افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی خاک و نقطه پژمردگی دائم در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری شده است (جدول ۴-۵). هر چند این تفاوتها از نظر آماری معنی دار نبوده است.

سایر محققین نیز به نتایج مشابه نتایج این تحقیق دست یافته اند. صابر(۱۹۸۶) از ویژگی های فیزیکی خاک های قاهره مصر تنها گنجایش نگهداری آب را در خاک آزمایش کرده است و نشان داد که با افزایش سال های آبیاری با فاضلاب شهری این ویژگی افزایش یافته است [۱۱۸]. چانک و همکارانش استفاده از فاضلاب را به عنوان یک ماده مناسب اصلاح کننده خاک معرفی می کنند.

نتایج مطالعه چندین ساله آنان نشان می دهد که به کارگیری فاضلاب منجر به تغییر خواص فیزیکی خاک شده و بر اثر آن، ظرفیت نگهداری آب افزایش یافته است [۶۸].

جدول ۴-۵ - مقایسه ظرفیت نگهداری رطوبت خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری

منبع آبیاری	عمق ۰-۳۰ سانتیمتری		عمق ۳۰-۶۰ سانتیمتری	
	PWP	FC	PWP	FC
	%		%	
پساب	۱۷/۷۱ a	۲۸/۵ a	۱۷/۴۶ a	۲۸/۲۵ a
آب چاه	۱۶/۱۷ a	۲۸/۲۹ a	۱۶/۵۱ a	۲۷/۲۶ a

* میانگین هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

۴-۴-۴- اثرات پساب بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

۴-۴-۴-۱- اسیدیته خاک (pH)

آبیاری با پساب باعث افزایش اسیدیته خاک در هر دو عمق شده است (جدول ۳-۶ و ۳-۷). البته این افزایش معنی دار نمی باشد. علت افزایش pH خاک در اثر استفاده از پساب را می توان بالا بودن غلظت بی کربنات در پساب نسبت به آب چاه دانست (جدول ۴-۱). اگرچه ظرفیت بافری خاکها اجازه تغییرات شدید pH را نمی دهد، ولی تغییرات جزئی و گذرا در pH خاکها مشاهده می شود [۱۰۱]. در پژوهش محمد روسان و همکاران (۲۰۰۷) تغییری در مقدار اسیدیته خاک در اثر استفاده از پساب مشاهده نشد [۱۰۰]. نتایج دیگر محققین کاهش اسیدیته خاک در اثر استفاده از پساب را نشان می دهد [۸].

۴-۴-۴-۲- هدایت الکتریکی خاک (EC)

استفاده از پساب تصفیه خانه به عنوان منبع آبیاری اثر معنی داری بر کاهش هدایت الکتریکی خاک در مقایسه با خاکهای آبیاری شده با آب چاه داشته است (جدول ۴-۶ و ۴-۷). بالا بودن شوری در خاکهای تحت آبیاری با آب چاه به بیشتر بودن هدایت الکتریکی این آبها نسبت به پساب مربوط می شود (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۶- مقایسه میانگین خواص شیمیایی خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر

ESP %	SAR	Na _{ex}	CEC	OC	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	EC	pH	آب آبیاری
		meq/100g		%	meq/l			dS/m		
۱۴/۲۷ a	۶/۵۳ a	۲/۳۹ a	۲۰/۶۴ a	۰/۷۶ a	۲۲/۶۲ a	۳/۶۵ a	۱۵/۷۶ a	۳/۶۶ a	۷/۸۶ a*	پساب
۱۸/۷۷ a	۱۳/۱۶ b	۳/۷۸ b	۱۸/۵۵ a	۰/۶۲ a	۳۴/۷۹ a	۳/۰۷ a	۵۱/۵ b	۷/۹۸ b	۷/۷۱ a	آب چاه

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴-۷- مقایسه میانگین خواص شیمیایی خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر

ESP %	SAR	Na _{ex}	CEC	OC	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	EC	PH	آب آبیاری
		meq/100g		%	meq/l			dS/m		
۱۲/۸۶ a	۶/۷۹ a	۲/۱۵ a	۱۹/۱۶ a	۰/۵۱ a	۲۱/۵۱ a	۳/۳۲ a	۱۲/۶۴ a	۳/۳۷ a	۷/۸۴ a*	پساب
۱۹/۸۳ a	۱۱/۱۰ b	۳/۷ b	۱۹/۲۵ a	۰/۵۲ a	۳۰/۵۷ a	۳/۰۷ a	۳۵/۸۵ b	۶/۲۵ b	۷/۸۰ a	آب چاه

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

با توجه به طبقه‌بندی خاکهای شور (جدول ۴-۸)، خاکهای آبیاری شده با آب چاه در طبقه تقریباً شور یا شوری متوسط و خاکهای آبیاری شده با پساب در طبقه کمی شور قرار می‌گیرند. بنابراین یکی از مهم‌ترین مزیت‌های آبیاری با پساب تصفیه‌خانه در این منطقه، کاهش شوری خاک و خطرات ناشی از آن است.

عابدی کوپایی و همکاران [۳۱] در پژوهش خود نشان دادند که آبیاری با فاضلاب باعث کاهش شوری خاک گردیده است. برخی از پژوهش‌های دیگر محققین نیز حاکی از کاهش شوری خاکهای شور در اثر آبیاری با فاضلاب می‌باشد [۳۰، ۲۹ و ۵۸].

۴-۴-۳- آنیون‌های خاک

آبیاری با آب چاه در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک باعث افزایش میزان کلر و سولفات شده است که این افزایش در مورد کلر در هر دو عمق معنی‌دار می‌باشد. علت این افزایش را می‌توان بالا بودن مقدار این دو یون در آب چاه نسبت به پساب دانست. در مقابل به دلیل بالا بودن غلظت یون بی‌کربنات در پساب، خاکهای تحت آبیاری با این منبع دارای بی‌کربنات بیشتری نسبت به خاکهای آبیاری شده با آب چاه می‌باشد. هرچند این اختلاف معنی‌دار نیست.

پروان نیز گزارش کرد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده (پساب)، افزایش غلظت کلر در بخش محلول خاک را به دنبال داشته است [۸].

۴-۴-۴- کربن آلی خاک

میزان کربن آلی خاکهای آبیاری شده با پساب و خاکهای آبیاری شده با آب چاه تفاوت زیادی ندارد. عدم افزایش کربن آلی خاک احتمالاً به دلیل کم بودن مواد آلی موجود در پساب است. معمولاً مواد آلی فاضلاب در لجن، تجمع می‌یابد و پساب خروجی تصفیه‌خانه محتوی مواد آلی کمی است [۴۸]. به همین جهت فقط در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری کمی افزایش مواد آلی در خاک آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه مشاهده می‌شود که این اختلاف معنی‌دار نیست (جدول ۴-۶).

باقری نیز با بررسی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شاهین‌شهر در منطقه اصفهان بیان کرد که پساب تأثیر معنی‌داری بر مواد آلی خاک در مقایسه با آب چاه نداشته‌است [۵]. هر چند دیگر محققین نشان دادند که کاربرد پساب فاضلاب شهری، مواد آلی سطح خاک را افزایش داده است [۱]. لیکن به نظر می‌رسد تأثیر پساب بر مواد آلی خاک متأثر از ماهیت و نوع پساب است.

۴-۴-۵- ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC)

داده‌های ارائه شده در جداول ۴-۶ و ۴-۷ تفاوت چشمگیری در میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاکهای آبیاری شده با پساب و آب چاه را نشان نمی‌دهد. فقط در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک به دلیل کمی افزایش مقدار مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی نیز کمی افزایش یافته است که البته به مرز معنی‌دار بودن نرسیده است. دیگر پژوهش‌ها در این زمینه نیز افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در اثر آبیاری با پساب را نشان می‌دهد [۲۷].

۴-۴-۶- سدیم تبادلی خاک (Na_{ex})

به دلیل کم بودن غلظت سدیم در پساب تصفیه‌خانه نسبت به آب چاه (جدول ۴-۱)، آبیاری با پساب باعث کاهش معنی‌دار سدیم تبادلی خاک در هر دو عمق در مقایسه با آب چاه شده است (جدول ۴-۶ و ۴-۷).

۴-۴-۷- نسبت جذب سدیم (SAR)

بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم مربوط به خاکهای آبیاری شده با آب چاه و برابر با ۱۳/۱۶ در مقایسه با پساب است (جدول ۴-۶ و ۴-۷). نتایج نشان می‌دهد که آبیاری با پساب باعث کاهش معنی‌دار نسبت جذب سدیم در هر دو عمق خاک نسبت به آبیاری با آب چاه شده است. در حقیقت نسبت جذب سدیم با شوری آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد [۳۶]. در این تحقیق با توجه به بالا بودن SAR در آب چاه نسبت به پساب مورد استفاده، افزایش SAR در خاکهای تحت آبیاری با آب چاه طبیعی به نظر می‌رسد.

جدول ۴-۸- گروه‌بندی شوری خاک [۶]

تأثیر بر گیاه	میزان هدایت الکتریکی dS/m	گروه شوری خاک
اثر شوری در میزان محصول ناچیز است.	۰-۲	غیر شور (شیرین)
محصول گیاهان حساس به شوری کاهش می‌یابد.	۲-۴	کمی شور
محصول بسیاری از گیاهان کاهش می‌یابد. فقط گیاهان مقاوم به شوری محصول قابل قبولی می‌دهند.	۴-۸	تقریباً شور (شوری متوسط)
فقط تعداد محدودی از گیاهان کاملاً مقاوم به شوری محصول قابل قبولی دارند.	۸-۱۶	شور
	>۱۶	شوری بسیار زیاد

جدول ۴-۹- گروه‌بندی درصد سدیم تبادلی و خطر سدیم [۶]

ملاحظات	خطر سدیم	ESP
اثر سوء تبادلی در رشد و میزان محصول گیاهان در کلاسهای مختلف، تابع مقاومت گیاهان می‌باشد و فقط رشد گیاهان بسیار حساس در ESP کمتر از ۱۵ تحت تأثیر قرار می‌گیرد	بدون خطر تا خطر کم سدیم	<۱۵
و در ESP بین ۷۰ تا ۸۰ فقط علف‌های بسیار مقاوم به درصد سدیم تبادلی می‌توانند رشد کنند.	کم تا متوسط	۱۵-۳۰
	متوسط تا زیاد	۳۰-۵۰
	زیاد تا خیلی زیاد	۵۰-۷۰
	خیلی زیاد	>۷۰

۴-۴-۸- درصد سدیم تبادلی (ESP)

درصد سدیم تبادلی در خاکهای آبیاری شده با آب چاه در هر دو عمق نمونه‌برداری بیشتر از خاکهای آبیاری شده با پساب تصفیه‌خانه است. البته این اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد. با توجه به گروه بندی درصد سدیم تبادلی و خطر سدیم (جدول ۴-۹)، خاکهای تحت آبیاری با پساب بدون خطر سدیم و خاکهای تحت آبیاری با آب چاه، دارای خطر سدیم کم تا متوسط برای رشد گیاه می‌باشد. بنابراین کاهش درصد سدیم تبادلی و کاهش خطر سدیم زیاد، از دیگر مزیت‌های استفاده از پساب به عنوان منبع آبیاری در این منطقه است.

۴-۴-۹- عناصر غذایی

نیتروژن: آبیاری با پساب اثر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن خاک در مقایسه با آبیاری با آب چاه نداشته است (جدول ۴-۱۰ و ۴-۱۱). حیدرپور و همکاران با مقایسه خاک های آبیاری شده با پساب و آب چاه نتیجه گرفتند که آبیاری با پساب اثر معنی داری بر نیتروژن کل خاک نداشت [۸۰]. البته برخی محققین نتایجی متناقض با این تحقیق را گزارش کرده‌اند [۸، ۲۷، ۶۴ و ۸۲] که این بستگی به ماهیت پساب مورد آزمایش در هر تحقیق دارد.

فسفر: با توجه به داده‌های موجود در جداول ۴-۱۰ و ۴-۱۱ آبیاری با پساب باعث افزایش معنی‌دار فسفر در هر دو عمق نمونه‌برداری شده است. پژوهش‌های دیگر محققین در این زمینه نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد [۳۵، ۴۱، ۴۳، ۸۲، ۱۱۱، ۱۱۲ و ۱۴۱]. علت کاهش غلظت فسفر در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک را می‌توان به تحرک کمتر فسفر در خاک و تثبیت توسط ترکیبات کلسیمی مخصوصاً در خاکهای آهنی دانست [۲۴ و ۴۵].

الهند و همکاران گزارش کردند که ترکیبات فسفر معمولاً در خاک پایدار بوده و مقدار ناچیزی از آنها در نتیجه آبشویی به عمق‌های پایین‌تر خاک حرکت می‌کنند. این محققین تثبیت فسفر به وسیله هیدروکسیدهای فلزی آهن و آلومینیومی، کانی‌های رسی و یون کلسیم را در تحرک کم ترکیبات

فسفر موثر دانسته و معتقدند که فسفر محلول فوراً به شکل غیر محلول در آمده و از تحرک آن در خاک کاسته می‌شود [۵۶].

جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین غلظت عناصر پرمصرف و سدیم خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۳۰-۳۰ سانتی‌متر

منبع آبیاری	N %	P mg/kg	K mg/kg	Ca meq/l	Mg meq/l	Na meq/l
پساب	۰/۰۷ a*	۴۸/۳ b	۳۳۲/۹ a	۲۳/۲ a	۴/۸۹ a	۱۸/۹ a
آب چاه	۰/۰۶ a	۳۲/۷۵ a	۳۴۷/۰ a	۱۸/۱ a	۱۷/۴ b	۵۵/۱ b

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴-۱۱- مقایسه میانگین غلظت عناصر پرمصرف و سدیم خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

منبع آبیاری	N %	P mg/kg	K mg/kg	Ca meq/l	Mg meq/l	Na meq/l
پساب	۰/۰۵ a*	۲۸/۷ b	۲۹۵/۳ a	۱۹/۳ a	۲/۷۵ a	۱۷/۳ a
آب چاه	۰/۰۵ a	۱۹/۱۱ a	۳۳۴/۳ a	۱۶/۵۴ a	۱۴/۸۶ b	۴۲/۱ b

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

سوزوکی و همکاران [۱۲۷]، کاردوس و هوک [۸۸]، و یامایورا و همکاران [۱۴۰] گزارش کرده‌اند که خاکهای زراعی توانایی بالایی در تصفیه و نگهداری فسفر پساب‌ها را دارند و بیشتر فسفر پساب‌ها و

فاضلاب‌ها در لایه‌های بالایی خاک نگهداشته شده‌است. این یافته‌ها با نتایج این تحقیق همخوانی خوبی را نشان می‌دهد.

پتاسیم قابل دسترس: آبیاری با آب چاه در هر دو عمق باعث افزایش غلظت پتاسیم در خاک نسبت به آبیاری با پساب شده است (جداول ۴-۱۰ و ۴-۱۱). البته این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. صفری‌سنجانی و حاج‌رسولیه‌ها نیز گزارش کردند که هفت سال آبیاری با پساب، تغییر محسوسی در میزان پتاسیم قابل دسترس خاک ایجاد نکرد [۲۷]. هرچند برخی تحقیقات در این زمینه در موقعیت‌های متفاوت، نتایج متناقضی با این تحقیق را نشان می‌دهد [۱، ۵، ۳۵، ۴۱، ۵۱، ۸۰ و ۱۴۱].

کلسیم: آبیاری با پساب باعث افزایش کلسیم خاک در مقایسه با آبیاری با آب چاه شده است. ولی این تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد (جداول ۴-۱۰ و ۴-۱۱). افزایش کلسیم در خاک باعث فلوکوله شدن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه و به تبع آن بهبود خواص فیزیکی و افزایش نفوذپذیری و تهویه در خاک می‌شود. پروان نیز گزارش کرد که آبیاری با پساب افزایش عناصری مانند کلسیم در محلول خاک را به دنبال داشته است [۸].

منیزیم: داده‌های موجود در جداول ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نشان می‌دهد که آبیاری با پساب منجر به کاهش معنی‌دار غلظت منیزیم در هر دو عمق خاک گردیده‌است. علت افزایش میزان منیزیم در خاکهای آبیاری شده با آب چاه، به دلیل بالا بودن غلظت این عنصر در آب چاه مورد استفاده جهت آبیاری است (جدول ۴-۱). حیدرپور و همکاران نیز به نتایج مشابهی با این تحقیق دست یافتند [۸۰].

سدیم: آبیاری با پساب باعث کاهش معنی‌دار سدیم در خاک در هر دو عمق نمونه‌برداری در مقایسه با آبیاری با آب چاه شده است (جداول ۴-۱۰ و ۴-۱۱). علت افزایش معنی‌دار سدیم در محلول خاک آبیاری شده با آب چاه، بالا بودن غلظت سدیم در آب چاه نسبت به پساب مورد استفاده است

(جدول ۴-۱). صفری سنجانی و حاجرسولیهها نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که سدیمی بودن خاک، در اثر آبیاری با پساب کاهش می‌یابد [۲۷].

۴-۴-۱۰- فلزات سنگین

آهن: میانگین غلظت برخی عناصر سنگین در خاکهای آبیاری شده با پساب و آب چاه در جدول ۴-۱۲ (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری) و جدول ۴-۱۳ (عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری) ارائه شده است. میانگین غلظت آهن در پساب ۰/۰۴۷ میلی‌گرم بر لیتر بوده است (جدول ۴-۱). بنابراین استفاده از پساب به دلیل ناچیز بودن مقدار آن در پساب، هیچ گونه افزایش معنی‌داری بر میزان آهن خاک نداشته است. میزان آهن در سطح خاک بیشتر از عمق است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، آهن به لایه‌های بالایی خاک افزوده شده است. برخی محققین نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند از جمله صفری [۲۷] گزارش کرده است که هفت سال آبیاری با پساب نتوانسته است آهن کل خاک را دگرگون کند.

منگنز: میزان منگنز در خاک با افزایش عمق کاهش یافته است (جدول ۴-۱۲ و ۴-۱۳). افزایش منگنز در لایه‌های بالایی خاک نشان دهنده افزایش منگنز خاک از طریق پساب و حرکت کند و ناچیز آن به لایه‌های عمقی خاک می‌باشد. غلظت منگنز در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک آبیاری شده با پساب بیشتر از خاک آبیاری شده با آب چاه است، اما این تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد.

روی: بهره‌گیری از پساب هیچ گونه تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی در خاک نداشته است و تنها توانسته است مقدار روی خاک را به میزان ناچیزی در مقایسه با آب چاه افزایش دهد (جدول ۴-۱۲ و ۴-۱۳). همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان پخش روی در خاک غالباً با افزایش عمق خاک کاهش یافته است.

مس: آبیاری با پساب با غلظت ۰/۰۰۳ میلی‌گرم بر لیتر مس، تأثیر معنی‌داری بر افزایش مس خاک نداشته است (جدول ۴-۱۲ و ۴-۱۳). غلظت بیشتر مس در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری حاکی از افزوده شدن مس به لایه‌های بالایی خاک است.

جدول ۴-۱۲- مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر

Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	منبع آبیاری
mg/kg						
۰/۰۵ a	۱/۵۳ a	۱/۴۴ a	۱/۲۲ a	۱۱/۱۱ a	۷/۸۱ a*	پساب
۰/۰۴ a	۱/۷۵ a	۱/۶۴ a	۱/۴۳ a	۱۰/۱۴ a	۷/۵۶ a	آب چاه

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴-۱۳- مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین خاک تحت تأثیر دو منبع آب آبیاری در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر

Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	منبع آبیاری
mg/kg						
۰/۰۴ a	۱/۳۳ a	۱/۱۹ a	۰/۷۰ a	۸/۰۶ a	۵/۹۹ a*	پساب
۰/۰۴ a	۱/۶۵ b	۱/۴۱ a	۰/۸۱ a	۸/۳۹ a	۶/۸۹ a	آب چاه

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف یکسان هستند در سطح ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴-۱۴- غلظت طبیعی و غیر معمول برخی عناصر کمیاب در خاک [۱۲۶]

عنصر	طبیعی (mg/kg)	غیر معمول (mg/kg)
As	<۵-۴۰	تا ۲۵۰۰
Cd	<۱-۲	تا ۳۰
Cu	<۲-۶۰	۲۰۰۰
Mo	<۱-۵	۱۰-۱۰۰
Ni	۲-۱۰۰	تا ۸۰۰۰
Pb	۱۰-۱۵۰	۱۰۰۰۰ یا بیشتر
Se	<۱-۲	تا ۵۰۰
Zn	۲۵-۲۰۰	۱۰۰۰۰ یا بیشتر

صفری [۲۷] گزارش کرده است که هفت سال آبیاری با پساب نتوانسته است مس کل خاک را دگرگون کند. آدرینو [۱۵۴] گزارش کرده است که مس به شدت توسط موادآلی، اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز و کانی‌های رسی تثبیت و در خاک باقی می‌ماند. بنابراین از این جهت مس یکی از کم جنبش‌ترین عناصر کمیاب می‌باشد و توزیع یکنواختی را در پروفیل خاک ارائه می‌کند. این نتیجه با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

سرب: استفاده از پساب اثر افزایشی بر میزان سرب خاک نداشته است (جدول ۴-۱۲ و ۴-۱۳). در هر دو عرصه آبیاری، غلظت سرب در عمق ۰-۳۰ سانتی متری بیشتر از عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک است که بیانگر تثبیت سرب در بخش‌های سطحی خاک توسط کلوئیدهای موجود در آن است. **کادمیوم:** غلظت کادمیوم پساب کمتر از حد تشخیص دستگاه بوده است (جدول ۴-۱). بنابراین آبیاری با چنین پسابی هیچ گونه تأثیری بر افزایش میزان کادمیوم خاک نداشته است. باقری نیز در بررسی اثر پساب بر خاک به نتیجه مشابهی با این تحقیق دست یافت [۵].

بول و همکاران در خاک‌های آبیاری شده با پساب در آلمان مشاهده نمودند که با گذشت ۱۶ تا ۲۵ سال، میزان تجمع هیچ یک از فلزات سنگین در خاک به مرز زیان آور نرسید [۶۴]. بررسی‌های دیگر محققین افزایش این عناصر را در اثر آبیاری با پساب نشان می‌دهد [۳۶، ۹۷ و ۱۴۱]. محققین در آزمایش مزرعه‌ای در منطقه برخوردار اصفهان با دو تیمار آب چاه و پساب به این نتیجه رسیدند که تجمع سرب، منگنز، نیکل، کبالت، مس و روی با عمق کاهش می‌یابد [۵۳]. در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت هیچ یک از عناصر سنگین اندازه‌گیری شده در خاک از حدود طبیعی (جدول ۴-۱۴) تجاوز نکرده است.

۴-۵- اثرات پساب بر تجمع عناصر در گیاهان و محصولات کشاورزی

نیتروژن: آبیاری با پساب تصفیه‌خانه باعث افزایش درصد نیتروژن در دانه و بوته ذرت، میوه گرمک، دانه و کاه گندم و یونجه در مقایسه با آبیاری با آب چاه شده است (جدول ۴-۱۵) که در بوته

و دانه ذرت و میوه گرمک به مرز معنی‌دار بودن از نظر آماری رسیده است. دیگر محققین نیز افزایش نیتروژن در گیاهان آبیاری شده با پساب را نسبت به آب چاه گزارش نموده‌اند [۵۵، ۸۶]. افزایش نیتروژن گیاه در اثر آبیاری با پساب به دلیل بالا بودن میزان اوره در فاضلاب شهری طبیعی به نظر می‌رسد.

یونجه آبیاری شده با پساب نسبت به سایر گیاهان، بیشترین غلظت نیتروژن را برابر با ۳/۶۱ درصد دارد. کمترین غلظت نیتروژن در کاه گندم آبیاری شده با آب چاه برابر با ۰/۴۵ درصد مشاهده می‌شود (شکل ۴-۱). همه نمونه‌های گیاهی به جز کاه گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه که دارای غلظت کم نیتروژن است، دارای غلظت مناسب نیتروژن (جدول ۴-۱۶) می‌باشند.

فسفر: در اثر آبیاری با پساب غلظت فسفر در بوته و دانه ذرت، میوه گرمک و یونجه نسبت به آبیاری با آب چاه، افزایش یافته است (جدول ۴-۱۵). هرچند این افزایش فقط در دانه ذرت معنی‌دار می‌باشد. تحقیقات دیگران نیز افزایش فسفر را در گیاه آبیاری شده با پساب نشان می‌دهد [۸۶].

در بین گیاهان، دانه گندم آبیاری شده با آب چاه بیشترین جذب فسفر را برابر با ۰/۲۹ درصد دارا می‌باشد. همچنین کمترین غلظت فسفر متعلق به کاه گندم آبیاری شده با پساب، برابر با ۰/۰۵ درصد است (شکل ۴-۲). همه نمونه‌های گیاهی به غیر از دانه گندم و دانه ذرت آبیاری شده با آب چاه و پساب دارای غلظت مناسب فسفر (جدول ۴-۱۶) هستند. در دانه گندم و دانه ذرت آبیاری شده با آب چاه و پساب غلظت فسفر کمتر از غلظت استاندارد می‌باشد.

پتاسیم: بیشترین غلظت پتاسیم در میوه گرمک آبیاری شده با آب چاه برابر با ۳/۷۲ درصد وجود دارد. کمترین غلظت پتاسیم هم مربوط به کاه گندم آبیاری شده با پساب برابر با ۰/۸۸ درصد می‌باشد (شکل ۴-۳). آبیاری با پساب تنها منجر به افزایش غیر معنی‌دار پتاسیم در دانه ذرت، دانه گندم و یونجه نسبت به آبیاری با آب چاه شده است (جدول ۴-۱۵). برخی از محققین نیز عدم تفاوت معنی‌دار در غلظت پتاسیم محصولات آبیاری شده با آب چاه و پساب را گزارش کرده‌اند [۵۱ و ۵۱]. در بین

نمونه‌های گیاهی کاه گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه داری غلظت کمتر پتاسیم نسبت به حد استاندارد (جدول ۴-۱۶) بودند.

آهن: داده‌های جدول ۴-۱۵ نشان می‌دهد که آبیاری با پساب باعث افزایش غلظت آهن در دانه ذرت، میوه گرمک، دانه و کاه گندم در مقایسه با آب چاه شده است. البته این تفاوت‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. در یونجه آبیاری شده با آب چاه غلظت آهن به صورت معنی‌داری نسبت به آبیاری با پساب افزایش یافته است. بوته و میوه گرمک آبیاری شده با آب چاه به ترتیب بیشترین ($416/06 \text{ mg/kg}$) و کمترین ($9/32 \text{ mg/kg}$) میزان آهن را در خود تجمع داده‌اند (شکل ۴-۴). در یونجه آبیاری شده با آب چاه، بوته ذرت و بوته گرمک آبیاری شده با آب چاه و پساب غلظت آهن بیشتر از حد استاندارد (جدول ۴-۱۶) است.

باقری و یاریان نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که جذب عناصری از قبیل آهن تفاوت معنی‌داری در محصولات آبیاری شده با پساب و آب چاه و نوع سیستم آبیاری نداشت [۵ و ۵۱].

منگنز: بوته ذرت آبیاری شده با آب چاه بیشترین تجمع منگنز را برابر با $128/93 \text{ mg/kg}$ و میوه گرمک آبیاری شده با آب چاه کمترین غلظت منگنز، برابر با $5/95 \text{ mg/kg}$ دارا می‌باشند (شکل ۴-۵). آبیاری با پساب باعث افزایش غلظت منگنز در دانه ذرت، بوته و میوه گرمک و دانه گندم شده‌است که این افزایش در دانه ذرت و میوه گرمک معنی‌دار است. یونجه آبیاری شده با آب چاه به صورت معنی‌داری افزایش غلظت منگنز را نسبت به آبیاری با پساب نشان می‌دهد (جدول ۴-۱۵). با توجه به حدود استاندارد عنصر منگنز در گیاهان (جدول ۴-۱۷)، در هیچ یک از نمونه‌های گیاهی منگنز در حد سمیت تجمع پیدا نکرده است.

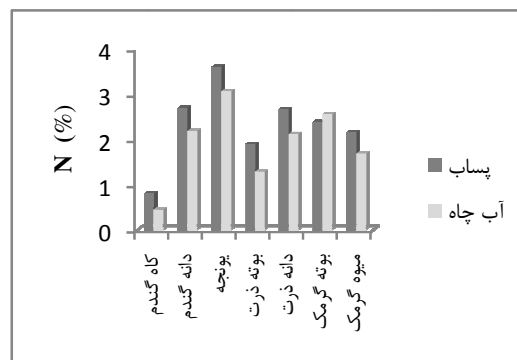
جدول ۴-۱۵- مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین در گیاهان آبیاری شده با پساب و آب چاه

گیاه عنصر	بوته ذرت		دانه ذرت		بوته گرمک		میوه گرمک		دانه گندم		بوته گندم		یونجه	
	آب چاه	پساب	آب چاه	پساب	آب چاه	پساب	آب چاه	پساب	آب چاه	پساب	آب چاه	پساب	آب چاه	پساب
N(%)	۱/۲۹ a	۱/۹۰ b	۲/۱۲ a	۲/۳۹ a	۲/۵۶ a	۲/۱۶ b	۱/۶۹ a	۲/۷۰ a	۲/۱۹ a	۰/۸۱ a	۰/۴۵ a	۳/۶۱ a	۳/۰۷ a	
P(%)	۰/۱۱ a	۰/۱۲۷ a	۰/۲۳۶ a	۰/۲۸ b	۰/۱۴۶ a	۰/۱۰ a	۰/۱۷ a	۰/۱۱ a	۰/۲۷ a	۰/۲۹ a	۰/۰۵ a	۰/۱۶ a	۰/۱۳ a	
K(%)	۱/۱۴ a	۱/۱۲ a	۱/۱۲ a	۱/۶۶ a	۲/۰۴ a	۲/۴۹ a	۳/۷۲ a	۲/۰۰۸ a	۱/۷۸ a	۰/۸۸ a	۰/۹۶ a	۱/۶۳ a	۱/۵۴ a	
Fe(mg/kg)	۱۸۵/۹۳ a	۲۵۲/۶۶ a	۲۷/۳۳ a	۲۳/۴۶ a	۴۱۶/۰۶ a	۱۹/۲۸ a	۹/۳۲ a	۵۳ a	۴۴/۰۵ a	۷۹/۸۴ a	۷۵/۶۵ a	۷۴/۷۳ a	۱۵۳/۲ b	
Mn(mg/kg)	۱۲۳/۴ a	۱۲۸/۹۳ a	۱۷/۸۶ b	۱۴/۶ a	۵۴/۴ a	۳۵/۵۳ a	۱۵/۷۸ b	۵/۹۵ a	۳۷/۷۵ a	۲۷/۳۸ a	۳۶/۳۵ a	۲۰/۶۶ a	۳۷ b	
Zn(mg/kg)	۲۷/۸۶ a	۲۱/۳۳ a	۸/۴ a	۱۰/۴۶ a	۹/۷۳ a	۲۲/۶ a	۱۱/۵۵ a	۹/۳ a	۲۶/۲۴ a	۳۳/۶ a	۹/۵۶ a	۲۹/۰۶ a	۱۹/۴۶ a	
Cu(mg/kg)	۸/۰۶ a	۶/۶۶ a	۶/۶ a	۵/۷۳ a	۶/۰۸ a	۲/۸۲ a	۲/۲۹ a	۷/۸ a	۶/۲۵ a	۶/۰۸ a	۳/۹۵ a	۱۰/۶۶ a	۹/۱۳ a	
Pb(mg/kg)	۰ a	۰ a	۰ a	۰ a	۰/۰۳ a	۰ a	۰	۰/۰۸ a	۰ a	۰/۰۸ a	۰ a	۰ a	۰	
Cd(mg/kg)	۰/۰۰۱۶ a	۰/۰۰۲ a	۰/۰۰۰۳ a	۰/۰۰۱ a	۰	۰/۵۶ a	۰ a	۰	۰ a	۰	۰	۰	۰	

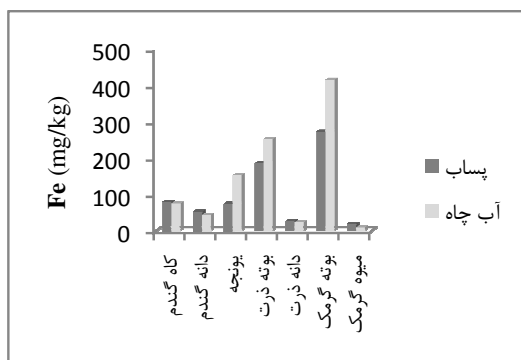
* میانگین ردیفهایی که در هر گیاه دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



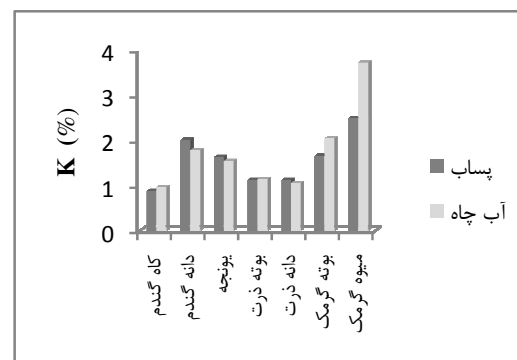
شکل ۲-۴- غلظت فسفر در گیاهان در دو عرصه آبیاری



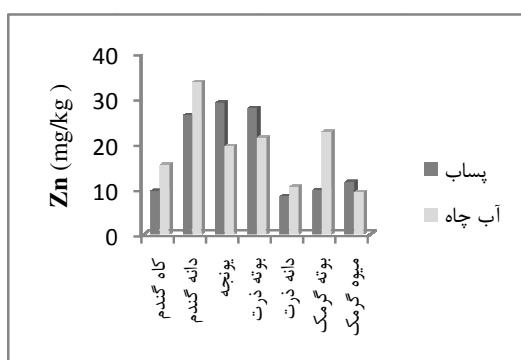
شکل ۱-۴- غلظت نیتروژن در گیاهان در دو عرصه آبیاری



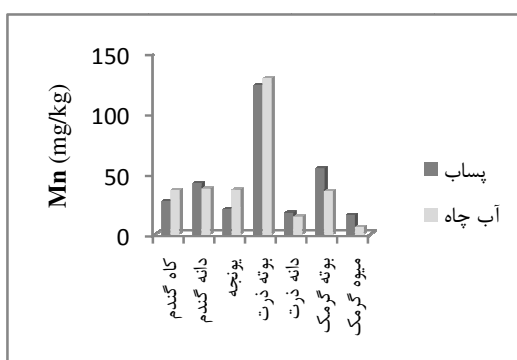
شکل ۴-۴- غلظت آهن در گیاهان در دو عرصه آبیاری



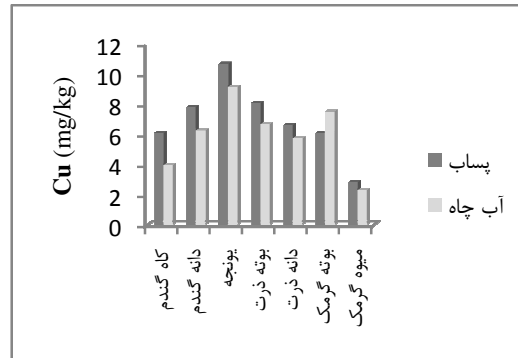
شکل ۳-۴- غلظت پتاسیم در گیاهان در دو عرصه آبیاری



شکل ۶-۴- غلظت روی در گیاهان در دو عرصه آبیاری



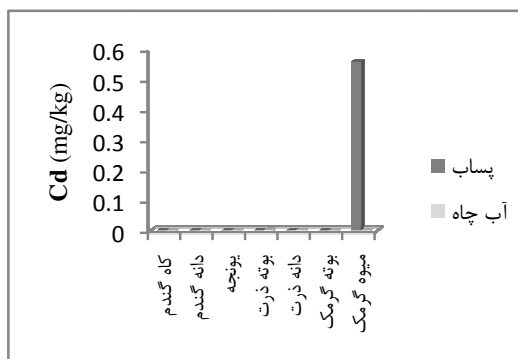
شکل ۵-۴- غلظت منگنز در گیاهان در دو عرصه آبیاری



شکل ۴-۷- غلظت مس در گیاهان در دو عرصه آبیاری



شکل ۴-۸- غلظت سرب در گیاهان در دو عرصه آبیاری



شکل ۴-۹- غلظت کادمیوم در گیاهان در دو عرصه آبیاری

روی: جدول ۴-۱۵ نشان می‌دهد که آبیاری با پساب منجر به افزایش غلظت روی در بوته ذرت، میوه گرمک و یونجه نسبت به آبیاری با آب چاه شده است. بیشترین غلظت روی متعلق به دانه گندم آبیاری شده با آب چاه ($33/6 \text{ mg/kg}$) و کمترین غلظت روی متعلق به دانه ذرت آبیاری شده با پساب ($8/4 \text{ mg/kg}$) است (شکل ۴-۶). غلظت روی نیز در گیاهان نمونه‌برداری شده از حد استاندارد (جدول ۴-۱۷) تجاوز نکرده است.

مس: یونجه آبیاری شده با پساب، بیشترین غلظت مس برابر با $10/66 \text{ mg/kg}$ و میوه گرمک آبیاری شده با آب چاه، کمترین غلظت مس برابر با $2/29 \text{ mg/kg}$ را در خود تجمع داده‌اند (شکل ۴-۷). آبیاری با پساب باعث افزایش غلظت مس در بوته و دانه ذرت، میوه گرمک، دانه و کاه گندم و یونجه در مقایسه با آب چاه شده است که هیچ یک از این تفاوت‌ها از دید آماری معنی‌دار نمی‌باشند (جدول ۴-۱۵) و از حدود استاندارد غلظت این عنصر در گیاه (جدول ۴-۱۷) تجاوز نکرده است.

سرب: غلظت سرب تنها در بوته گرمک، دانه و کاه گندم آبیاری شده با پساب قابل اندازه‌گیری بوده است که در این سه نمونه دانه و کاه گندم دارای حداکثر تجمع سرب برابر با $0/08 \text{ mg/kg}$ می‌باشد (جدول ۴-۱۵ و شکل ۴-۸). غلظت این عنصر نیز به حد سمیت در گیاه نرسیده است (جدول ۴-۱۷).

کادمیوم: کادمیوم تنها در بوته و دانه ذرت و میوه گرمک دارای غلظت قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه بوده است. بیشترین غلظت کادمیوم در میوه گرمک آبیاری شده با پساب برابر با $0/56 \text{ mg/kg}$ می‌باشد (جدول ۴-۱۵ و شکل ۴-۹). با توجه به حدود استاندارد عناصر در گیاه (جدول ۴-۱۷)، غلظت کادمیوم در میوه گرمک از حد استاندارد بیشتر است اما هنوز به حد سمی نرسیده است.

جدول ۴-۱۶- میانگین غلظت مناسب عناصر معدنی در وزن خشک گیاهان برای رشد طبیعی [۶۹]

عنصر	میکرو مول برگرم	درصد	میلی گرم بر کیلوگرم
N	۱۰۰۰	۱/۵	-
P	۶۰	۰/۲	-
K	۲۵۰	۱	-
Ca	۱۲۵	۰/۵	-
Mg	۸۰	۰/۲	-
Fe	۲	-	۱۰۰

جدول ۴-۱۷- مقادیر برخی از فلزات در گیاهان بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک [۸۵]

عنصر	سمی	استاندارد	کمبود
Ag	۵-۱۰	<۰/۵	-
As	۵-۲۰	۱-۱/۷	-
B	۵۰-۲۰۰	۱۰-۱۰۰	۵-۳۰
Ba	۵۰۰	-	-
Be	۱۰-۵۰	<۱-۷	-
Cd	۵-۳۰	۰/۰۵-۰/۲	-
Co	۱۵-۲۰	۰/۰۲-۱	-
Cr	۵-۳۰	۰/۱-۰/۵	-
Cu	۲۰-۱۰۰	۵-۳۰	۲-۵
Hg	۱-۳	-	-
Mn	۴۰۰-۱۰۰۰	۳۰-۳۰۰	۱۰-۳۰
Mo	۱۰-۵۰	۰/۲-۵	۰/۱-۰/۳
Ni	۱۰-۱۰۰	۰/۱-۵	-
Pb	۳۰-۳۰۰	۵-۱۰	-
Se	۵-۳۰	۰/۰۱-۲	-
Zn	۱۰۰-۴۰۰	۲۷-۱۵۰	۱۰-۲۰

فصل پنجم
نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- خلاصه نتایج و بحث:

- ۱- بر طبق استانداردهای WHO، FAO و سازمان محیط زیست ایران، پساب تصفیه‌خانه شمال اصفهان از نظر پارامترهای pH، کلرید، بور، نیترات، فلزات سنگین از جمله آهن، منگنز، روی، مس، سرب و کادمیوم، محدودیتی برای آبیاری ندارد.
- ۲- بر طبق راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO، پساب تصفیه‌خانه شمال اصفهان دارای محدودیت ضعیف تا متوسط از نظر هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، بی‌کربنات و سدیم است.
- ۳- با توجه به راهنمای کیفیت آب آبیاری FAO، آب چاه‌های منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت شدید از نظر شوری (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کلرید، غلظت سدیم محلول و دارای محدودیت ضعیف تا متوسط از نظر بی‌کربنات می‌باشد.
- ۴- آبیاری با پساب، باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک شده است.
- ۵- آبیاری با پساب باعث افزایش پایداری خاکدانه شد که در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک معنی‌دار بود.
- ۶- هدایت هیدرولیکی، سرعت نفوذ آب و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در اثر آبیاری با پساب، افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار نیست.
- ۷- پساب تصفیه‌خانه فاضلاب باعث افزایش اسیدیته خاک در هر دو عمق شد که البته این افزایش معنی‌دار نبوده است.
- ۸- استفاده از پساب جهت آبیاری خاکها، تأثیری بر مقدار مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک نداشته است.
- ۹- خاکهای تحت آبیاری با پساب بدون خطر سدیم و خاکهای تحت آبیاری با آب چاه دارای خطر سدیم کم تا متوسط برای رشد گیاه است.

- ۱۰- آبیاری با پساب تأثیری بر غلظت نیتروژن، آهن، مس، سرب و کادمیوم خاک نداشته است.
- ۱۱- استفاده از پساب برای آبیاری، باعث کاهش معنی‌دار منیزیم و سدیم خاک شده است.
- ۱۲- فسفر قابل دسترس در هر دو عمق نمونه‌برداری در اثر آبیاری با پساب افزایش معنی‌داری داشته است.
- ۱۳- کلسیم، روی و منگنز خاک در اثر آبیاری با پساب به صورت غیر معنی‌داری افزایش یافته است.
- ۱۴- در دانه و بوته ذرت، میوه گرمک، یونجه، دانه و کاه گندم آبیاری شده با پساب افزایش نیتروژن نسبت به آبیاری با آب چاه مشاهده شد که در دانه و بوته ذرت و میوه گرمک معنی‌دار بوده است.
- ۱۵- غلظت فسفر در بوته و دانه ذرت، میوه گرمک و یونجه افزایش یافته است که فقط در دانه ذرت این افزایش معنی‌دار بوده است.
- ۱۶- آبیاری با پساب باعث افزایش غیر معنی‌دار غلظت آهن در دانه ذرت، میوه گرمک و کاه گندم شده است.
- ۱۷- غلظت منگنز در دانه ذرت، بوته و میوه گرمک و دانه گندم آبیاری شده با پساب افزایش یافته است که این افزایش تنها در دانه ذرت و میوه گرمک معنی‌دار می‌باشد.
- ۱۸- افزایش غیر معنی‌دار عنصر روی در بوته ذرت، میوه گرمک و یونجه آبیاری شده با پساب مشاهده شد.
- ۱۹- غلظت فلز مس در بوته و دانه ذرت، میوه گرمک، دانه و کاه گندم و یونجه در اثر آبیاری با پساب افزایش یافته است که این افزایش معنی‌دار نبوده است.
- ۲۰- بوته گرمک، دانه و کاه گندم آبیاری شده با پساب تنها دارای سرب قابل تشخیص توسط دستگاه بودند و میزان سرب دیگر نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه قابل قرائت نبود.

- ۲۱- غلظت کادمیوم فقط در بوته و دانه ذرت و میوه گرمک آبیاری شده با پساب به حد تشخیص دستگاه رسید که در این میان، میوه گرمک بیشترین میزان کادمیوم را در خود تجمع داد.
- ۲۲- استفاده از پساب نه تنها مشکلی برای خاکهای تحت آبیاری به وجود نیاورده، بلکه باعث کاهش شوری و سدیمی بودن خاکهای منطقه شده است.

۵-۲- پیشنهادات:

- ۱- سطح آگاهی و دانش کشاورزان در مورد استفاده از پساب و چگونگی استفاده از آن از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشی افزایش یابد.
- ۲- استفاده از پساب حاصل از تصفیه بر حسب نوع محصولات کشاورزی اولویت بندی شود.
- ۳- علاوه بر فلزات سنگین، غلظت سایر عناصر مثل آلومینیوم و بور که ممکن است کیفیت پساب-ها را تحت تأثیر قرار دهد نیز مورد مطالعه قرار گیرند.
- ۴- از آنجا که ماهیت پساب ها ممکن است تا حدود زیادی با یکدیگر متفاوت باشد، ضروری است مخاطرات بیولوژیکی و بهداشتی استفاده مجدد از فاضلاب شامل میکروارگانیسم های بیماریزا ، انگلها و مواد سمی شیمیایی موجود در فاضلاب ها همواره مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. این موضوع در مورد محصولاتی مانند صیفی جات و سبزیجات که در تماس مستقیم با پساب قرار دارند، اهمیت بیشتری پیدا می کند.
- ۵- مطالعه آبهای زیرزمینی در محل هایی که پساب استفاده می شود، ضروری است.
- ۶- می توان از پساب در فعالیتهای بیابانزدایی و احیاء اراضی بیابانی استفاده نمود.

منابع:

۱. اسدی، م. و ک. آذری. ۱۳۸۲. "بررسی شدت و گستردگی آلودگی خاک ها و گیاهان به عناصر و تعیین مقدار آنها در سبزیکاری شهرستان همدان"، هشتمین کنگره علوم خاک ایران.
۲. افیونی، م.، مجتبی پور، ر. و نوربخش، ف. ۱۳۷۶. خاکهای شور و سدیمی. نشر ارکان اصفهان. ۲۱۷ صفحه.
۳. الماسی، ع. "کتاب جامع بهداشت عمومی"، صفحات ۳۰۱.
۴. امامی، ع. ۱۳۷۵. "روش های تجزیه گیاه"، جلد اول، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۹۸۲.
۵. باقری، م. ۱۳۷۹. "اثرات پساب و سیستم های آبیاری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و آلودگی خاک تحت کشت چند محصول زراعی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶. برزگر، ع.، ۱۳۷۹. خاکهای شور و سدیمی: شناخت و بهره‌وری، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۷۳ صفحه.
۷. بهروز، ر. و لیاقت، ع. ۱۳۸۲. "مدیریت استفاده از پساب در کشاورزی"، مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران. صفحات ۳۴۱-۳۳۵.
۸. پروان، م. ۱۳۸۳. "اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
۹. توکلی، م. و م. طباطبایی. ۱۳۷۸. "آبیاری با فاضلاب تصفیه شده"، مجموعه مقالات همایش جنبه های زیست محیطی استفاده از پساب ها در آبیاری. وزارت نیرو، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱ آذر ماه ۱۳۷۸، تهران. صفحات: ۲۶-۱.
۱۰. حاج‌عباسی، م. ع.، "دستورالعمل فیزیک خاک. دانشکده کشاورزی"، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۱. حسن اقلی، ع. ۱۳۸۲. "استفاده از فاضلاب های خانگی و پساب تصفیه خانه ها در آبیاری محصولات کشاورزی". گزارش پژوهشی نهایی طرح تحقیقاتی مصوب، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت ۸۳/۸۰۶، ۲۳۱ صفحه.
۱۲. حسن اقلی، ع.، ع. لیاقت و م. میراب زاده. ۱۳۸۱. "تغییرات میزان مواد آلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب های خانگی و خودپالایی آن". مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۲ صفحات ۲-۱۱.

۱۳. حسن اقلی، ع.، ع. لیاقت، م. میراب زاده، م. وثوقی و ح. فرداد. ۱۳۸۲. "بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب های خانگی بر انتقال مواد به عمق خاک و کیفیت زه آب های خروجی از لایسیمتر". مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۳ و ۴ دی ماه ۱۳۸۲، صفحات ۳۳۴-۳۱۷، تهران.
۱۴. حسینیان، م.، ۱۳۶۰. "شناسایی فاضلاب و مصرف مجدد پساب، فاضلاب و آبهای آلوده".
۱۵. حق نیا، غ.ح. (مترجم)، ۱۳۷۵. "خاک شناخت". انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۳۰ صفحه.
۱۶. خلدانی، آ. ۱۳۷۵. "تصفیه فاضلاب"، چاپ دوم، مهندسان مشاور سانو، ۲۵۷ صفحه.
۱۷. ذوالفقاران، ا. و س.ا. حقایقی مقدم. ۱۳۸۷. "تأثیر پساب خانگی بر عملکرد کلزا و ویژگی های خاک در آبیاری سطحی". دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه های آبیاری سطحی. صفحات ۱۶۶-۱۵۹.
۱۸. رحمانی ح. ر. ۱۳۸۴. "بررسی کیفیت پساب های فاضلاب شهری و صنعتی و اثرات آنها بر خاک و آب و گیاه در ایران". نهمین کنگره علوم خاک ایران. صفحات ۴۰۰-۳۹۸، تهران.
۱۹. رضایی، ح.، بهران، ش.، مشاری، ا.، ۱۳۷۲. "دستورالعمل آزمایشات خاکشناسی در درس خاکهای شور و قلیا و اصلاح آنها". دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲۰. رضایی، م.، فیضی، م. ۱۳۸۶. مطالعه اثر استفاده از فاضلاب شهری بر خصوصیات فیزیکی خاکهای زراعی تحت کشت گندم در اراضی مجاور تصفیه خانه فاضلاب جنوب اصفهان. مجموعه مقالات دومین همایش کمیته منطقه ای آبیاری و زهکشی اصفهان، صفحات ۸۲-۷۲.
۲۱. روابط عمومی شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان.
۲۲. روحانی شهرکی، ف.، ر. مهدوی و م. رضایی. ۱۳۸۴. "اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۳: ص ۲۹-۲۳.
۲۳. زرین کفش، م.، ۱۳۷۲. "خاکشناسی کاربردی، ارزیابی و مورفولوژی تجزیه های کمی خاک، آب، گیاه". چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۲ صفحه.
۲۴. سالاردینی، ع. ۱۳۸۷. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۳۴ صفحه.
۲۵. شریعتی، م. ۱۳۷۵. "ارزیابی کیفیت شیمیایی فاضلاب و استفاده از آن در آبیاری". آب و خاک و محیط زیست ۱۰: ص ۵۵-۵۱.
۲۶. شیروانی، ن.، ۱۳۷۸. "بررسی گستره، بزرگی، فراوانی خشکسالی ها در استان اصفهان"، گروه مطالعات و هماهنگی امور ایمن و بازسازی استان (طرح تهیه مناطق امن استان).

۲۷. صفری سنجانی، ع. ۱۳۷۴. "پیامد آبیاری با پساب بر برخی از ویژگی های شیمیایی خاک ناحیه برخوار اصفهان و انباشتگی برخی عناصر در گیاه یونجه". پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲۸. صفری سنجانی، ع. و حاج رسولیها، ا. ۱۳۷۴. تأثیر پساب فاضلاب شمال اصفهان بر روی منطقه برخوار و یونجه. **اولین کنگره علوم خاک**، کرج، دانشکده کشاورزی کرج.
۲۹. طایی سمیرمی، ج. ۱۳۸۴. "بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری زابل بر عملکرد کمی و کیفی خاک و ویژگی های شیمیایی خاک". دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.
۳۰. عابدی، م. ج. و پ. نجفی. (مترجمان). ۱۳۸۰. **استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی**. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ۲۴۸ صفحه.
۳۱. عابدی کوپایی، ج.، م. افیونی، ب. مصطفی زاده، س.ف. موسوی و م.ر. باقری. ۱۳۸۲. "تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با پساب تصفیه شده بر شوری خاک". **مجله آب و فاضلاب**، ۲: ۴۵-۱۱.
۳۲. عرفانی، ع.، حق نیا، خ. و علیزاده، ا. ۱۳۸۱. "تأثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد و کیفیت کاهو و برخی ویژگی های خاک"، **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، جلدششم، شماره اول، ص ۹۰-۷۱.
۳۳. علی‌احیایی، م.، بهبهانی‌زاده، ا. ا.، ۱۳۷۲. "شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک". چاپ اول. نشریه شماره ۸۹۳، موسسه تحقیقات خاک و آب.
۳۴. علیجانی، ب.، کاویانی، م.، ۱۳۷۱. "مبانی آب و هواشناسی"، انتشارات سمت.
۳۵. فیضی، م. ۱۳۸۰. "اثر کاربرد فاضلاب شهری بر خاک و گیاه منطقه شمال اصفهان"، **مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران**.
۳۶. فیضی، م. ۱۳۸۰. "مقایسه تأثیر مصرف پساب فاضلاب و آب چاه بر روی خاک و گیاه در شمال اصفهان". گزارش نهایی طرح، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.
۳۷. قنبری، ا.، ج. عابدی کوپایی و ج. طایی سمیرمی. ۱۳۸۵. "اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی های خاک در منطقه سیستان". **مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی**، سال دهم، شماره چهارم(الف)، صفحات ۵۹-۷۵.
۳۸. کلباسی، پ.، "اثرات اقتصادی، اجتماعی خشکسالی بر کشاورزی استان اصفهان". **اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب**، زابل، دانشگاه زابل.

۳۹. محمدزاده ا. ۱۳۸۵. "بررسی اثر مصرف پسابهای تصفیه شده خانگی بر رشد و عملکرد گندم و ویژگی های خاک". **همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار**. صفحات ۱۳۱-۱۳۲، کرج.
۴۰. محمدی، پ.، "مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب ها برای آبیاری"، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
۴۱. مستشاری، م. ۱۳۸۰. "بررسی شدت و گستردگی آلودگی خاک ها به عناصر سنگین و گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در قزوین"، **مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک**.
۴۲. مطالعات آب های زیرزمینی اصفهان. ۱۳۵۱. گزارش نیمه تفصیلی آب های زیر زمینی دشت برخوار.
۴۳. ملاحسینی، ح. ۱۳۸۱. "بررسی شدت و گستردگی آلودگی خاک ها به عناصر سنگین و گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در جاده ورامین"، گزارش نهایی ۸۱/۳۶۵.
۴۴. ملاحسینی، ح. ۱۳۸۵. "بررسی نقش کیفیت فاضلاب در تأمین ازت، فسفر و پتاس در زراعت گندم، مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین"، گزارش نهایی ۸۵/۱۲۹۰، ۱۶ صفحه.
۴۵. ملکوتی، م. ج. ۱۳۷۳. حاصلخیزی خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک، مشکلات و راه حل ها، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۹۴ صفحه.
۴۶. منزوی، م. ت.، ۱۳۷۲. "فاضلاب شهری جلد دوم: تصفیه فاضلاب"، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۶۶ صفحه.
۴۷. منزوی، م. ت.، ۱۳۷۸. "فاضلاب شهری جلد اول: جمع آوری فاضلاب"، چاپ یازدهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۴۹ صفحه.
۴۸. موحدیان، ف.، ۱۳۸۱. اثر پساب و لجن کارخانه پلی اکریل ایران روی برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک تحت شرایط مزرعه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۹۳ صفحه.
۴۹. نقشینه پور، ب. ۱۳۷۳. "کاربرد فاضلاب ها در امر تولیدات کشاورزی و اصلاح خاک ها". اولین کنگره برنامه ریزی و امور زیر بنایی (آب و خاک)، وزارت کشاورزی، تهران، ص ۱۳۵-۱۴۴.
۵۰. وزارت کشاورزی. ۱۳۴۷. "گزارش خاکشناسی و طبقه بندی اراضی حوزه زاینده رود اصفهان". **مطالعات جامع تفصیلی**. نشریه شماره ۱۵۸. ۹۲ صفحه.
۵۱. یاریان، ک. م. ۱۳۷۹. "اثرات پساب و سیستم های آبیاری بر عملکرد چند محصول زراعی". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

52. Abedi-Koupai J., Bakhtiarifar A. 2003. "Investigation of the effect of treated wastewater on hydraulic properties of emitters in trickle irrigation system". **In: 20th Eur. Region. Conf., CD Int.** Workshop, Irrigation technologies and method: Research, development and testing, Montpellier, France.
53. Abedi Koupai, J., B. Mostafazadeh Fard, M. Afyni, and M.R. Bagheri. 2006. "Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region". **Plant Soil Environ.**, 52, 2006 (8): 335–344.
54. Adriano, D. C., 1988. "Trace elements in the terrestrial environ", Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, 250p.
55. Alizadeh, A., M. E. Bazari, S. Velayati, M. Hasheminia and A. Yaghmaei. 2001. "Irrigation of corn with wastewater". pp. 147-154. **In: R. Ragab, G. Pearce, J. Chagkim, S. Nairizi and A. Hamdy (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management.** Seoul, Korea.
56. Allhands, M. N., Allicks, S. A., Overman, A. R. Leseman, W. G. and Vidak, W., 1995. "Municipal water reuse at Tallahassee". Florida, Transaction of the ASAE, Vol. 38, No. 2, PP. 411-418.
57. APHA, 1995. "Standards methods for the examination of water and wastewater", 19th ed. APHA, Washington, D.C.
58. Asano, T. and A. D. Levine. 1996. "Wastewater reclamation and reuse: Past, present and future". **J. Water. Sci. Technol.** 33(10-11): 1-14.
59. Asano, T., and G. S. Pettygrove. 1987. "Using reclaimed municipal wastewater for irrigation". **California Agric.** Vol.41.
60. Asano T., R. G. Smith and Tchobanoglous G., 1985. "Municipal Wastewater: Treatment and reclaimed water characteristic. Irrigation with Reclaimed Municipal wastewater – A Guidance Manual", **G.S. Pettygrove and T. Asano(eds). Lewis Publishes Inc.,** Chelsea Mississippi.
61. Ayers. R. S., D. W. Wescot. 1985. "Water quality for Agriculture". FAO, Irrigation and Drainage Paper. 29 Rev. I. FAO, Rome. 174P.
62. Bansal, R.L., Nayyar, V.K., Takkar, P.N., 1992. "Accumulation and bioavailability of Zn, Cu, Mn and Fe in soils polluted with industrial waste water". **J. Indian Soc. Soil Sci.** 40, 796–799.
63. Bhardwaj, A.K., D. Goldstein, A. Azenkot and G.J. Levy. 2007. "Irrigation with treated wastewater under two different irrigation methods: Effects on hydraulic conductivity of a clay soil". **Geoderma**, 140: 199–206.
64. Boll, R., H. Dernbach, and R. Kayser. 1986. "Aspects of land disposal of waste water as experienced in Germany". **Sci. Tech.** 18: 383- 390.
65. Brar, M.S., Mahli, S.S., Singh, A.P., Arora, C.L., and Gill, K.S., 2000. "Sewer Water Irrigation Effects on Some Potentially Toxic Trace Elements in Soil and Potato Plants in Northwestern India". **Can. J. Soil Sci.**, 80: 465–471.
66. Chacrabarti. 1995. "Residual effects of long-term land application of domestic wastewater". **Environmental International.** 21(3), 333-339.

67. Chaney RL. 1994. "Trace metal movement in soil – plant systems and bioavailability of biosolids. In: Clapp CE, Larson WE, editors. Sewage land utilization and the environment". Madison, WI: **Soil Sci Soc Amer Publ**: P. 27-31.
68. Chang, A. C., A. L. page, and J. E. Warneke. 1983. "Soil conditioning effects of municipal sludge compost". **J. Environm. Eng.** Vol. 109.
69. Chang, A. C., Page, A. L., Warneke, J. E., Pesketo, M. R. and Jones, T. E., 1983. "Accumulation of cadmium and zinc in barely growth on sludge treated soil: A long field study", *J. Environ. Quality*. 12(3) : 391-379.
70. Chapman, H. D. and Pratt, P. F., 1961. "Methods of analysis for soil, plant and water", University of California, Division of Agricultural Sciences.
71. Clapp, C. E., A. J. palazzo, W. E. Larson, G. C. Marten, and D.R. Lindem. 1987. "Uptake of nutrients by plants irrigated with municipal wastewater effluent". P. 395- 404 in **state of knowledge in land treatment of wastewater**. Vol. I.U.S. Army Corps of Engineers. CRREL. Hanover. N.H.
72. Durgin, P.B., Chaney, J.G., 1984. "Dispersion of kaolinite by dissolved organic matter from Douglas-fir roots". **Can. J. Soil Sci.** 64, 445–455.
73. Feachem R. G., Bradley D. j., Garelick H. and Mara D. D. 1983. "Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management". John Wiley, Chichester.
74. Feigin, A., I. Ravina and J. Shalhevet. 1991. "Irrigation with Treated Sewage Effluent: Management for Environmental Protection". **Springer- Verlag Pub.**, Berlin.
75. Feizi, M. 2001. "Effect of Treated wastewater on Accumulation of Heavy metals in plants and soil". **International workshop on wastewater Reuse Management**. ICID International workshop on wastewater Reuses management. 19-20 sept. Seoul; Rep.Korea. PP: 137-146.
76. Frenkel, H., Fey, M.V., Levy, G.J., 1992. "Organic and inorganic anion effects on reference and soil clay critical flocculation concentration". **Soil Sci. Soc. Am. J.** 56, 1762–1766.
77. Gigiotti, G., B. Daniela, and P.L. Giusquiani. 1996. "Trace metals uptake and distribution in crop plants grown on a 6 years urban waste compost amended soil."
78. Golovatiy, S., and S. Savchenk. 2002. "Heavy metal as contaminants of agricultural lands of Belarus". **17th Word Cngress of Soil Science**. 14-21 August 2002, Thailand.
79. Gupta, A.P., Narwal, R.P., Antil, R.S., 1998. "Sewer water composition and its effect on soil properties. Bioresour". **Technol.** 65, 171–173.
80. Heidarpour, M., B. Mostafazadeh-Fard, J. Abedi Koupai, R. Malekian. 2007. "The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods". **Agricultural Water Management**. 90:87-94.

81. Hemkes, O. J., A. Kemp, and L. W. Broekhoven. 1980. "Accumulation of heavy metals in the soil due to annual dressing with sewage sludge". **Netherland Journal of Agricultural Science**, 28: 228-237.
82. Hussain, I. L. Raschid, M.A. Hanjra, and W. Vander Hoek. 2002. "Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts". (With an extended list of bibliographical references). Working Paper 37. **Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute**.
83. Jenkins, C. R., I. Papadopoulos and Y. Stylianou. 1994. "Pathogens and wastewater use of irrigation in Cyprus". In: **Proceeding of Int. Conf. on Land and Water**. Valenzano, Bari, Italy, 4-8 Sep. 1994.
84. Joint Committee of Water Pollution Control Federation and American Society of Civil Engineers. 1977. "Wastewater Treatment Plant Design". 1. Edition-Lancaster Press- USA- New York.
85. Kabata, P. and Pendias, A. H. 1992. "Trace element in soil and plants", 2nd Edition, pp. 365.
86. Khataris, S. and K. Jamajum. 1988. "The effect of treated wastewater on the concentration of nutrients and Some., heavy metals in different parts of Sweetcorn plants and on some soil chemical properties", **Dirasat**. 15: 11-29.
87. Klute, A., 1986. "Methods of Soil analysis Part 1: physical and mineralogical methods", Madison Wisconsin, USA.
88. Kordos, L. T. and Hook, J. E., 1974. "Phosphorus balance in sewage effluent treated soil". *J. Environ. Qual.*, Vol. 5, No. 1, pp. 87-90.
89. Lado, M. , M. Ben-Hur. 2009. "Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review". **Soil & Tillage Research**.
90. Levy, G.J., Goldstein, D., Mamedov, A.I., 2005. "Saturated hydraulic conductivity of semi-arid soils: combined effects of salinity sodicity and rate of wetting". **Soil Sci. Soc. Am. J.** 69, 653–662.
91. Levy, G.J., Rosenthal, A., Shainberg, I., Tarchitzky, J., Chen, Y., 1999. "Soil hydraulic conductivity changes caused by irrigation with reclaimed waste water". **J. Environ. Qual.** 28, 1658–1664.
92. Lowvey, Y. W., M. V. Ruby, G. C. Hook, and R. Nelsan. 1998. "Biological intraction: Human health consideration in metal-contaminated soils". **Vangrosveld, J., and Cunningham, S. D. (eds), Springer**, Berline.
93. Magesan, G.N., Williamson, J.C., Sparling, G.P., Schipper, L.A., Lloyd-Jones, A.R.H., 1999. "Hydraulic conductivity in soils irrigated with wastewaters of differing strengths: field and laboratory studies". **Aust. J. Soil Res.** 37, 391–402.
94. Magesan, G.N., Williamson, J.C., Yeates, G.W., Lloyd-Jones, A.R.H., 2000. "Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery". **Bioresour. Technol.** 71, 21–27.
95. Mahida. N.U. 1981. "Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land". Tata McGraw – Hill Puplicing Company limited, New Delhi, 325.

96. Mays, D. A. and W. T. Frankenberg. 1992. "Effect of organic amendment on water infiltration and soil properties of an irrigation soil". *Agron. J.* 82:707-717.
97. Meani, A.T: AL- Juburi, J. S. : AL hamadany,-R.H. 1993. "Effect of irrigation with wastewater on some micronutrients and heavy metals Levels in calcareous soil Mij alat –Ziro: 3at>-al-ra:fidi:n(Iraq)". **Mesopotamia Journal of Agriculture**.(1993). V.25(no.4) P.27-35.
98. Meli, S., Porto, M., Belligno, A., Bufo, S.A., Mazzatura, A. and Scopa, A., 2002. "Influence of Irrigation with Lagooned Urban Wastewater on Chemical and Microbiological Soil Parameters in a Citrus Orchard under Mediterranean Condition". **The Science of the Total Environment**, 285: 69-77.
99. Metcalf and Eddu Inc. 1991. "Wastewater engineering: treatment disposal, reuse". 3rd edition. ISBN 0-07-041677-X.
100. Mohammad Rusan, M.J., S. Hinnawi, and L. Rousan. 2007. "Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters". **Journal of Desalination** 215: 143-152.
101. Monte, H. M., and M. S. Esousa. 1992. "Effects on crop of Irrigation with facultative pond effluent. *Wat. Sci. Tech*, 26, No.7-8 :1603-1613.
102. Najafi, p., S. F. Mousavi, M. Feizi and M. J. Abedi. 2003. "The effect of using treated municipal wastewater in Irrigation of potato". **Second International Conference on Water Resources Management**.
103. Okun D. A. and G. 1975. Ponghis. Community Wastewater Collection and Disposal. Word Health Organization- Geneve.
104. Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. 1982. "Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and Microbiological properties". Second Edition, **Siol Sci Soc. Am.**, Inc. Publisher, pp. 1159.
105. Palaniswami, C., Sree Ramulu, U.S., 1994. "Effects of continuous irrigation with paper factory effluent on soil properties". **J. Indian Soc. Soil Sci.** 42, 139–140.
106. Parameswaran, M. 1999. "Urban wastewater use in plant biomass production". **Resour. Conserv. And Recycling** . 27 (1-2): 39-56.
107. Patterson. R.A., and D.A. Macleod. 1997. "Soils and effects on effluent. What do we measure?" Proceedings Production and Environmental Monitoring Workshop. University of New England, Armidale. 9-11 December. Paper PEM007, pp: 69-74.
108. Pepin, S. N., Living stene, J., and Hook, W. R., 1995. "Temperature-dependent measurement errors in time-Domain Reflectometry determination of soil water ". **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, Vol. 59, PP. 38-43.
109. Pereira, L., Oweis, S.T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. **Agric. Water Manage.** 57, 175–206.
110. Pescod, M., 1992. "Wastewater treatment and use in agriculture". Bull. **FAO** 47 (125) (Rome).
111. Qian, Y.L., and B. Mecham. 2005. "Long-Term Effects of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties on Golf Course Fairways". **Journal of Agronomy**. 97:717-721.

112. Rahmani, H. R. 2007. "Use of industrial and municipal effluent water in Esfahan province –Iran". **Scientific Research and Essay**, Vol. 2 (3), pp. 084-088.
113. Ramirez-Fuentes, E., Lucho-Constantino, C., Escamilla-Silva, E., and Dendooven, L., 2002. "Characteristics, and Carbon and Nitrogen Dynamics in Soil Irrigated with Wastewater for Different Lengths of Time". **Bioresource Technology**, 85: 179–187.
114. Rattan, R.K., Datta, S.P., Chandra, S., Saharan, N., 2002. "Heavy metals and environmental quality: Indian scenario". **Fertil. News** 47 (11), 21–40.
115. Rattan, R.K., S.P. Datta, P.K. Chhonkar, K. Suribabu and A.K. Singh. 2005. "Long term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study". **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 109 (2005) 310–322.
116. Rice, R.C., 1974. "Soil clogging during infiltration of secondary effluent". **J. Water Pollut. Control. Fed.** 46, 708–716.
117. Robert, L., Soegrist. 1987. "Soil Clogging During Subsurface Wastewater Infiltration as Affected by Effluent Composition and Loading Rate". **J. Environ. Qual.**, 16(2).
118. Saber, M. S. M. 1986. "Prolonged effect land disposal of human waste on soil condition". **Water Sci. Technol.** (18): 371-374.
119. Sharma, R., Agrawal, M., and Marshall, F., 2007. "Heavy Metal Contamination of Soil and Vegetables in Suburban Areas of Varanasi, India". **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 66:258–266.
120. Silver D.J., Sommers L.E. 1977. "Extractability of Cu, Zn, Cd and Pb in soils incubated with sewage sludge". **J. Environ. Qual.**, 6: 47–52.
121. Som, S., Gupta, S.K., Banerjee, S.K., 1994. "Assessment of quality of sewage effluents from Howrah sewage treatment plant". **J. Indian Soc. Soil Sci.** 42, 571–575.
122. Statistical handbook 1997. "Statistical handbook of Iran", Programming and Management Organization of Iran.
123. Stevenson, F. J. 1982. "Nitrogen in Agriculture Soils". **American Society of Agronomy**, Madison, WI.
124. Stewart H.T.L., P. Hopmans, & D.W. Flinn, 1990. "Nutrient Accumulation in trees and soil Following Irrigation with Municipal Effluent in Australia". **J. Env. pollution**, 63: 155-177.
125. Streck T., Richter J. 1997. "Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption". **J. Environ. Qual.**, 26: 49–56.
126. Su, D.C., J.W.C. Wong and H. Jagadesan. 2004. Implication of rhizospheric heavy metal and nutrients for the growth of alfalfa in sludge amended soil. **Chemosphere**. 56: 957-965.
127. Suzuki, T., Katsuno, K. and Ramaura, G., 1992. "Land Lysimeters and its mass balance of nitrogen", *Wat. Res.*, Vol. 26, No. 11 pp. 1433-1444.

128. Tarchitzky, J., Chen, Y., Banin, A., 1993. "Humic substances and pH effects on sodium and calcium–montmorillonite flocculation and dispersion". **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57, 367–372.
129. Tarchitzky, J., Golobati, Y., Keren, R., Chen, Y., 1999. "Wastewater effects on montmorillonite suspensions and hydraulic properties of sandy soils". **Soil Sci. Soc. Am. J.** 63, 554–560.
130. Tchobanoglous, G., Metcalf and Eddy. 1991. "Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse". 3. Edition- McCraw- Hill- New York.
131. Tiller, K.G., 1986. "Essential and toxic heavy metals in soils and their ecological relevance". Trans. XIII Congr. Intern. **Soc. Soil Sci.** 1, 29–44.
132. USDA, 1954. "Diagnosis and improvement of saline and alkaline soil", Agriculture Handbook, No. 50, US. Department of Agriculture Washington, D. C., 160p.
133. Vafabakhsh, K and K. Kharghani, 2000. "Effects of treated Municipal wastewater on quality and yield of cucumber and carrot". Agricultural resource recycling Symp., Isfahan. Khorasgan Azad University. Agricultural College, Iran.
134. Vandevivere P., Baveye P. 1992. "Saturated hydraulic conductivity reduction caused by aerobic bacteria in sand columns". **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56: 1–13.
135. Vinten, A.J.A., Mingelgrin, U., Yaron, B., 1983. "The effect of suspended solids in wastewater on soil hydraulic conductivity: II. Vertical distribution of suspended solids". **Soil Sci. Soc. Am. J.** 47, 408–412.
136. Westerman, RE. L., "Soil testing and plant analysis" SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 1990.
137. WHO, 1989. "Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture". Technical report series no. 778. World Health Organization, Geneva.
138. Xantholagis D., Wallender W.W. 1991. "Furrow infiltration and design with cannery wastewater". **Trans. ASAE**, 36: 2390–2396.
139. Yadav, R.K., Goyal, B., Sharma, R.K., Dubey, S.K., and Minhas, P.S., 2002. "Post-Irrigation Impact of Domestic Sewage Effluent on Composition of Soils, Crops and Ground Water-a Case Study". **Environ. Int.**, 28:481- 486.
140. Yamaura, G., Suzuki, T., Kobayashi, M., Katsuna, T., Ogiwara, K. and Taguchi, Y., 1986. "Use of soil for disposal of domestic sewage", Wat. Sci. Tech., Vol. 18, pp. 375-381.
141. Zalawadia. N. M. and S. Raman. 1994. "Effects of distillery wastewater With graded fertilizer Levels on Sorghum yield and soil properties. Journals of the India". **Society of Soil Science**, 42(4), 575-579.

The effect of wastewater application on certain soil physical and chemical properties

Abstract

The use of treated domestic sewage for irrigation is becoming a common practice, because of the shortage of freshwater resources. Irrigation with wastewater plant effluent can be either beneficial or harmful. In order to study the effect of irrigation with treated wastewater on some soil properties, an experiment was conducted at north Isfahan province in 2009. In this study five agricultural fields which have been irrigation with treated wastewater were compared to four fields irrigated with wells water. Composite soil samples were taken from the fields from 0 to 60 cm of soil depth with 30 cm intervals (62 composite soil samples). All soil samples were prepared and analyzed for some properties using standard frequently used methods. Also the plant samples were collected and analyzed for transport some nutrients and heavy metals to wheat, corn, alfalfa and cantaloupe (52 plants samples).

The results showed that the amount of bulk density (D_b) in soils were lower in wastewater irrigated soils compared to other fields in both depths. Electrical conductivity (EC) and sodium absorption ratio (SAR) in soil were significantly lower in wastewater irrigated soils than well water irrigated. Hydraulic conductivity (K_s) and water hold capacity in soils irrigated with wastewater was higher than wells, but was not significant. The amount of nitrogen (N) in soils were higher in wastewater irrigated soils compared to other fields. Phosphorous (P) concentrations in soil were significantly higher in wastewater irrigated fields than well water irrigated. Potassium (K) concentrations in soil irrigated with both source of irrigations were almost similar. In the depth of 30-60 cm, nutrients showed lower concentrations than 0-30 cm in soils. The amount of cadmium (Cd), manganese (Mn) and iron (Fe) in soils were higher in wastewater irrigated soils compared to other fields. Zinc (Zn), lead (Pb) and copper (Cu) concentrations in soil irrigated with both source of irrigations were almost similar. However, in the depth of 30-60 cm, many metals have showed lower concentrations than 0-30 cm in soils indicating greater metals accumulations in the surface soil layer. Irrigation of wheat and alfalfa with wastewater had not significant effect on the accumulation of elements. Irrigation with wastewater caused significant increase N and P in shrub of corn and nitrogen (N) in cantaloupes fruits. Irrigation of wheat and alfalfa with wastewater had not significant effect on the accumulation of elements. Irrigation of corn with wastewater caused significant increase Mn in grain, but these concentrations were lower than recommended maximum concentration. Using treated wastewater to irrigate cantaloupes increased cadmium (Cd) accumulation in cantaloupes fruits to the range of 0.4 to 1 mg/kg dry weight indicating possible potential risk while the corresponding data for wells water was found no any detectable cadmium (Cd) in the fruits.

In general, the results showed that the heavy metals concentration in crop has not significant different in irrigation with wastewater and wells water, there appears to be no significant risk associated with the irrigation of these crops with treated wastewater.

Key words: Wastewater, Irrigation, Heavy metals, Nutrients, Agricultural products



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

**The effect of wastewater application on certain soil physical and
chemical properties**

Mina Shayan Jazi

Supervisor:

Dr. Hadi Ghorbani

Nov. 2010