

بررسی خصوصیات خاک تحت تأثیر آبیاری با آب‌های غیرمتمعارف در دو عمق سطحی و تحتانی

مینا ارست^۱، غلامرضا زهتابیان^۲، محمد جعفری^۲، حسن خسروی^{۲*}

۱. کاشان، دانشگاه کاشان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، گروه جغرافیا و اکوتوریسم

۲. تهران، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۲۵)

چکیده

بحران آب یکی از مسائل اساسی مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. این وضعیت در سال‌های اخیر به دلیل وقوع پدیده خشکسالی بحرانی‌تر شده است. این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه تأثیر پساب، آب شور و آب لب‌شور بر تغییرات درصد آهک، کلر محلول، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک انجام گرفت. بدین منظور، پنج مکان مطالعاتی شامل شاهد، آبیاری با آب‌های شور، لب‌شور، پساب و آبیاری تلفیقی پساب و آب شور در نظر گرفته شد. مزارع تعیین شده به مدت شش ماه با تیمارهای مورد نظر آبیاری شدند. در این مناطق، پنج پروفیل حفر شد و از هر پروفیل دو نمونه از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متر برداشت شد. نتایج میزان اسیدیته در بین تیمارهای اعمال شده، تغییرات معناداری را نشان نداد. در هدایت الکتریکی اختلاف بسیار زیاد بین دو عمق در تیمار آب شور نمایانگر روند کاهش هدایت الکتریکی از سطح به عمق است، اما این روند در تیمارهای آب لب‌شور و پساب ثابت بود. تجزیه واریانس نمونه‌ها در احتمال ۹۹ درصد نشان داد مقدار آهک و کلر محلول در خاک در نقاطی سطحی که با پساب آبیاری شده است، برخلاف نمونه‌های آب شور و لب‌شور، افزایش زیادی داشته است.

واژه‌های کلیدی: آب لب‌شور، آبیاری با آب شور، بحران آب، درصد آهک خاک، دشت قم، کلر محلول خاک.

۱. مقدمه و هدف

مترمکعب در بخش شرب و بهداشت و ۲/۱ میلیارد مترمکعب در بخش صنعت مصرف می‌شود. در نتیجه، بیشترین مصرف همواره در بخش کشاورزی است که حدود ۹۲ درصد آب استحصالی را تشکیل می‌دهد. بدیهی است با وجود این شرایط فشار بیش از اندازه‌ای به منابع آب موجود وارد می‌شود. در این شرایط، توجه محققان به دسترسی به منابع آب نامتمعارف، با کیفیت پایین، حاصل از فاضلاب بازیافتی و دارای برخی از عناصر غذایی اصلی گیاهی جلب می‌شود [۱]. پتانسیل فاضلاب خانگی تولیدی در ایران براساس آخرین سرشماری رسمی (سال ۱۳۸۵) به تفکیک شهری، روستایی و کل به ترتیب معادل ۴۴۰۰، ۷۲۷، ۳۶۷۰ میلیون مترمکعب در سال است. محاسبه‌ها نشان می‌دهند براساس سناریوی معمول، حجم پساب برگشتی در جوامع شهری و روستایی

اکثر کشورهای جهان در حال نزدیک شدن به اوج بهره‌برداری از منابع موجود آب سطحی خود هستند و بالطبع دسترسی به منابع آب مرغوب و با کیفیت مناسب برای کشاورزی در مناطق خشک رو به کاهش است و آنچه باقی مانده است آب‌هایی با کیفیت پایین مانند پساب‌ها، آب‌های شور زیرزمینی و زه‌آب‌هاست [۱].

بارندگی در ایران ۴۱۳ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۰ برآورد شده است که ۲۹۳ میلیارد مترمکعب آن در مزارع و زمین‌ها جذب و بخشی از این بارندگی‌ها تبخیر می‌شود. فقط ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آن قابل استحصال است. از کل منابع استحصالی آب که حدود ۹۸ میلیارد مترمکعب است، ۸۸ میلیارد مترمکعب آن در بخش کشاورزی، ۷/۵ میلیارد

کشور در سال ۱۴۰۰ به ترتیب معادل ۴۳۶۹ و ۸۲۳ میلیون مترمکعب و در مجموع معادل ۵۱۹۱ میلیون مترمکعب در سال و براساس سناریوی مطلوب حجم پساب برگشتی در سال هدف در شهرها و جوامع روستایی به ترتیب معادل ۴۷۰۹ و ۱۱۱۳ و در مجموع معادل ۵۸۲۲ میلیون مترمکعب است که این ارقام فقط مربوط به فاضلاب خانگی است و فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی در آن منظور نشده است [۲]. این حجم وسیع از فاضلاب هم‌اکنون به‌طور عمده در محل تولید از طریق چاه‌های کاذب بدون تصفیه دفع می‌شوند که ممکن است بخش عمده‌ای از نیازهای روبه‌رشد بخش‌های شهری، تفریحی و صنعتی باشند. در سال ۱۹۹۹، فقط حدود ۱۵۴ میلیون مترمکعب از طریق استفاده مجدد از آب باز یافتی تأمین شده است [۳].

در کل، آب‌های نامتعارف تأثیرهای مختلف بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی بر محیط‌زیست انسان دارد. این تأثیرها به‌طور عمده ناشی از کیفیت نامطلوب فیزیکوشیمیایی آن‌هاست که به‌صورت آثار سوء در شرایط فیزیکی خاک اراضی زیرکشت (بافت، نفوذپذیری و ساختمان) و میزان جذب عناصر (ماکرو، میکرو و نادر) ظاهر می‌شود، اما از زمان‌های دور فاضلاب به‌منظور تقویت زمین‌های زراعی استفاده می‌شد. با گذشت زمان و توسعه شهرها، مصرف آب به حدی رسیده است که دیگر فاضلاب به یکی از منابع تأمین‌کننده آب آبیاری تبدیل شده است. در ادامه، خلاصه‌ای از تجربه‌های علمی و تحقیقاتی استفاده از پساب‌ها و آب‌های برگشتی در سطح کشور بیان می‌شود.

سنجانی و حاج‌رسولی‌ها (۱۳۷۹) پیامد آبیاری با پساب بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های ناحیه برخوردار اصفهان و انباشتگی برخی از عناصر در گیاه یونجه را بررسی کردند. مشاهده‌های آن‌ها نشان داد هفت سال آبیاری با پساب موجب شده است زمین‌های شور و سدیمی منطقه بدون هیچ تیمار دیگری به خاکی مناسب برای کشاورزی تبدیل شود و شوری سدیم محلول و تبادل و همچنین سدیم کل خاک را به‌اندازه چشمگیری کاهش دهد [۴]. مسعودی آشتیانی و همکاران (۱۳۹۰) بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک آبیاری شده با فاضلاب را به دلیل وجود ترکیبات مختلف شیمیایی و آلی (از جمله غلظت بالای منیزیم) گزارش کردند [۵]. طبری و همکاران (۱۳۸۶) طی آبیاری درختان کاج با فاضلاب شهری و آب چاه به این نتیجه رسیدند که تحت این دو تیمار اختلاف معنی‌داری بین

غلظت عناصر غذایی برگ این درختان به‌وجود آمده است. همچنین، خاک و برگ گیاهان آبیاری شده با فاضلاب شهری نسبت به آبیاری با چاه، غلظت بالاتری از عناصر غذایی داشتند [۶]. همچنین، مجیری و همکاران (۲۰۱۱) افزایش میزان هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی، نیتروژن کل، کلر، سدیم، نیکل، آهن، منگنز و روی را در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک در منطقه آبیاری شده با پساب نسبت به منطقه شاهد گزارش کردند [۷]. به‌علاوه، حسین‌پور و همکاران (۱۳۸۷)، آفابراتی و همکاران (۱۳۸۸) و شارما و همکاران (۲۰۰۷) آزمایش‌هایی در مورد درخت زیتون و ذرت و گونه‌ای از کلم، در قالب طرح فاکتوریل به‌صورت تصادفی و با سه تکرار انجام دادند و ویژگی‌های شیمیایی خاک را بررسی کردند. نتایج بیانگر افزایش مقدار شوری، نسبت جذب سدیم (اس آ آر)، نیتروژن-نیتراتی، فسفر-فسفاتی، کربن آلی کل و همچنین افزایش اسیدیته در اعماق مختلف نیم‌رخ خاک به‌دنبال استمرار کاربرد فاضلاب‌ها بود. با بررسی تأثیر نوع فاضلاب‌ها بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز مشخص شد میانگین مقدار شوری در تیمار فاضلاب خام به‌طور معنی‌داری بیشتر از پساب است. در این آزمایش‌ها، بین فاضلاب‌ها تفاوت معنی‌داری در زمینه میانگین مقدار اسیدیته، کربن آلی کل و کادمیم مشاهده نشد [۸ و ۹].

استان قم با توجه به اقلیم گرم و خشک بیابانی، در معرض فرسایش بادی قرار دارد و نیازمند طرح‌های بیابان‌زدایی است؛ بنابراین، در این تحقیق نقش اصلاحی یا تخریبی فاضلاب تصفیه‌شده شهری در برخی خصوصیات مهم خاک در دشت قم بررسی و ارزیابی شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه دشت قم در موقعیت جغرافیایی ۳۹'، ۵۰° تا ۰۴'، ۵۱° طول شرقی و ۳۷'، ۳۴° تا ۴۹'، ۳۴° عرض شمالی قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۷۹/۹۳ کیلومتر مربع است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعه در استان قم، در ایران (مقیاس: ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

۱.۲.۲ نمونه برداری از خاک

بر اساس مطالعات انجام گرفته در زمینه خاک منطقه، مشخص شد خاک منطقه لوم رسی است و شوری بسیار زیادی دارد. به منظور ارزیابی تأثیر تیمارهای مورد نظر بر تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک، در مناطق یادشده پروفیل در پنج تکرار (بر اساس وسعت هر نقطه از زمین‌های مشخص شده در منطقه) حفر شد. از هر پروفیل سه نمونه از دو عمق سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) و تحت‌الارضی (۳۰-۶۰ سانتی‌متر) برداشت شد [۱۰].

۲.۲.۲ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و اسیدیته عصاره اشباع

پس از آماده کردن گل اشباع و تهیه عصاره اشباع خاک‌ها، هدایت الکتریکی آن‌ها با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی برحسب دسی زیمنس بر متر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و اسیدیته خاک با دستگاه پی‌اچ^۱ متر تعیین شد [۱۱].

۳.۲.۲ اندازه‌گیری درصد آهک و کلر خاک

آهک یکی از عامل‌های اصلاحی خاک است. برای محاسبه میزان درصد آهک موجود در نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه، از اسید کلریدریک نرمال و برای تیتراسیون آن از سود ۰/۵۵ نرمال استفاده شد. برای اندازه‌گیری کلر محلول خاک نیز از روش موهر استفاده شد.

منطقه موردنظر به‌طور متوسط ۹۳۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. متوسط حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداکثر گرم‌ترین ماه سال ۴۲/۵ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی آن ۱۰۱/۵ میلی‌متر است. بر اساس مطالعات انجام گرفته به روش دومارتن منطقه دارای اقلیم خشک، بر اساس روش آمبرژه خشک بیابانی سرد و بر اساس جداول بیوکلماتیک در اقلیم نسبتاً سرد و گرم طبقه‌بندی می‌شود و در کل اقلیم نیمه‌بیابانی شناخته می‌شود.

۲.۲ روش تحقیق

در این پژوهش، به منظور ارزیابی تأثیر آب‌های نامتعارف بر تغییرات کلر محلول، درصد آهک، کربنات و بی‌کربنات محلول، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک، پنج مکان مطالعاتی در نظر گرفته شد. این مکان‌ها شامل بدون آبیاری، آبیاری شده با آب شور، آب لب‌شور، پساب و آبیاری تلفیقی پساب و آب شور است. در مناطق یادشده، پروفیل حفر شد. مزارع تعیین شده در سال به مدت شش ماه با تیمارهای موردنظر آبیاری غرقابی می‌شدند، پس از این مدت نمونه برداری انجام گرفت. گیاهان کشت شده ذرت و یونجه بود. عمل کنترل بر مزارع انجام گرفت؛ به عبارتی سعی شد برای هر پنج نوع تیمار آبیاری با توجه به کشت‌های مورد مطالعه شرایط یکسانی در نظر گرفته شود. با توجه به صحبت با کشاورزان و کارشناسان محلی، سعی شد سایت‌ها و تیمارهایی برای مطالعه انتخاب شوند که شرایط اولیه آن‌ها یکسان باشد.

جدول ۱. ویژگی شیمیایی آب‌های مورد استفاده برای آبیاری

مقدار مجاز توصیه شده در استاندارد ایران	پساب تصفیه شده	لب شور	شور	واحد	معیار کیفی آب
۶-۸/۵	۷/۸۱	۷/۹	۸/۲	-	pH
۰/۷-۳	۱/۲	۶/۵	۸/۵	ds/m	EC
-	۱/۷۵	۲/۹	۱۹/۳	(mmol/Lit)/2	SAR
۱۰۰	۱۱۵	-	-	mg/Lit	BOD
۲۰۰	۱۴۰	-	-	mg/Lit	COD

هدایت الکتریکی کمتر از ۲ نسبت به سایر تیمارها و شاهد پایین ترین میزان EC را داشت.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه اسیدیته خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۳/۰۰۰ ^{NS}
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه اسیدیته خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۰/۰۲۳ ^{NS}
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه هدایت الکتریکی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۶۴۴/۹۴۵*
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه هدایت الکتریکی خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی متر

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۶۴۴/۹۴۵*
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

۳.۲. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در پژوهش حاضر از روش خطی استفاده شد (به دلیل گرادیان کمتر از ۳) [۱۲]. در نتیجه، پس از اعمال روش خطی، از تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس پی اس^۱ استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. ویژگی‌های پساب مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

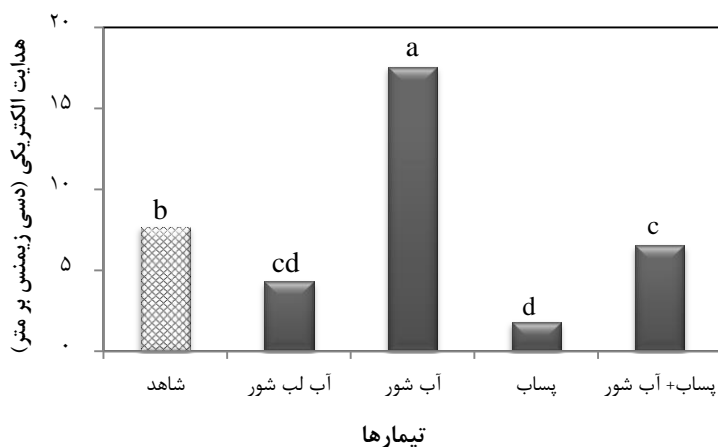
نتایج مقایسه ویژگی‌های آب‌های مورد مطالعه (پساب، شور و لب‌شور) با مقادیر استاندارد آب آبیاری در جدول ۱ ارائه شده است.

۳.۲. اسیدیته خاک

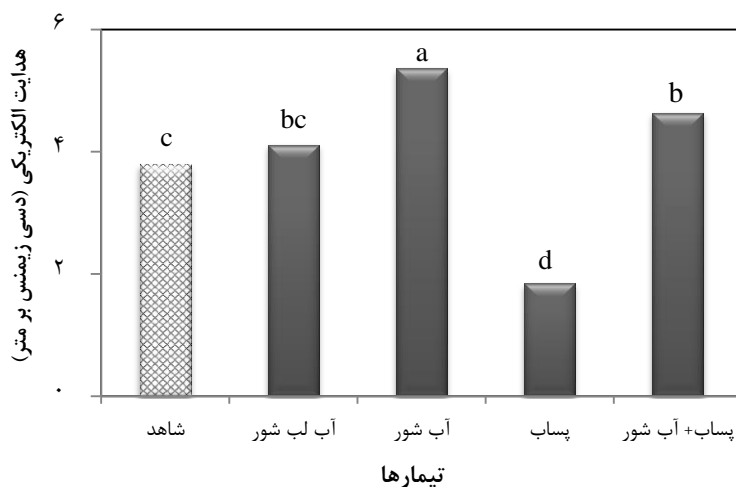
نتایج تجزیه واریانس یک طرفه در عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متر در تمام نقاط مورد بررسی از نظر مقدار اسیدیته خاک اختلاف معنی‌داری را به جز در تیمار آبیاری با پساب نشان ندادند (جدول‌های ۲ و ۳). مشخص است آبیاری‌های انجام گرفته تأثیر زیادی بر قلیابیت خاک نداشته، زیرا خاک منطقه مقداری شوری داشته است. در زمینه آبیاری با پساب، چون قلیابیت بیشتری داشته و این خصوصیت ضمن ترکیب شدن با آب شور تشدید شده است و نسبت به سایر تیمارها تغییر معنی‌داری از خود به جا گذاشته است، در کل تأثیر اندک بوده است.

۳.۳. هدایت الکتریکی

با توجه به آنالیز یک طرفه (جدول‌های ۴ و ۵) و مقایسه میانگین توکی (شکل‌های ۲ و ۳)، هدایت الکتریکی در تمام تیمارها به جز تیمار تلفیقی آب شور و پساب اختلاف معنی‌دار در لایه ۰-۳۰ سانتی متر وجود دارد. تیمار پساب با مقدار



شکل ۲. هدایت الکتریکی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر



شکل ۳. هدایت الکتریکی خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه کلر محلول خاک در عمق

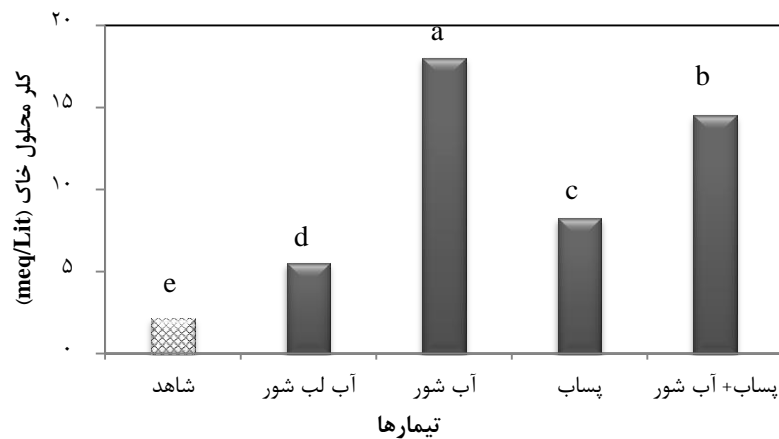
۰-۳۰ سانتی‌متر		
منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۴۰.۲/۶۱۰*
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه کلر محلول خاک در عمق

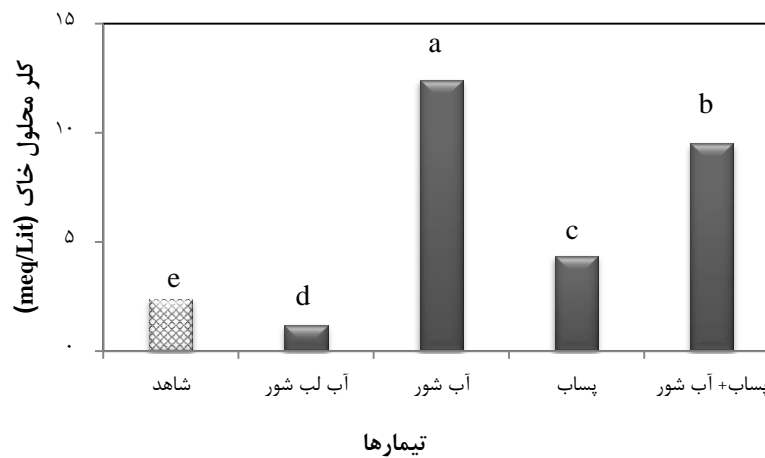
۳۰-۶۰ سانتی‌متر		
منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۴۰.۲/۶۱۰*
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

۴.۳. کلر محلول خاک

با توجه به آنالیز یک‌طرفه (جدول‌های ۶ و ۷) و مقایسه میانگین توکی (شکل‌های ۴ و ۵)، کلر محلول خاک در همه تیمارها در عمق ۰-۳۰ اختلاف معنی‌دار داشته است. در تیمار آب شور به میزان ۱۸/۰۶ میلی‌اکی‌والان در لیتر دارای بیشترین اختلاف در بین تیمارها در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ بوده است. به‌علاوه، میزان کلر در نمونه‌های تیمار تلفیقی نیز در درجه بعد از تیمار آب لب‌شور در هر دو عمق، بیشترین مقدار را داشته است. در عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ در بین همه تیمارها به‌استثنای تیمار آبیاری با آب لب‌شور اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در تیمار تلفیقی آب شور و پساب بین دو عمق اختلاف زیاد بوده است. نمونه‌های حاصل از تیمار آبیاری با پساب نیز نسبت به تیمارهای آب شور و تلفیق آب شور و پساب در هر دو عمق دارای کمترین میزان بود.



شکل ۴. کلر محلول خاک در ترکیب عمق‌های ۰-۳۰ سانتی‌متر



شکل ۵. کلر محلول خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه آهک محلول خاک در

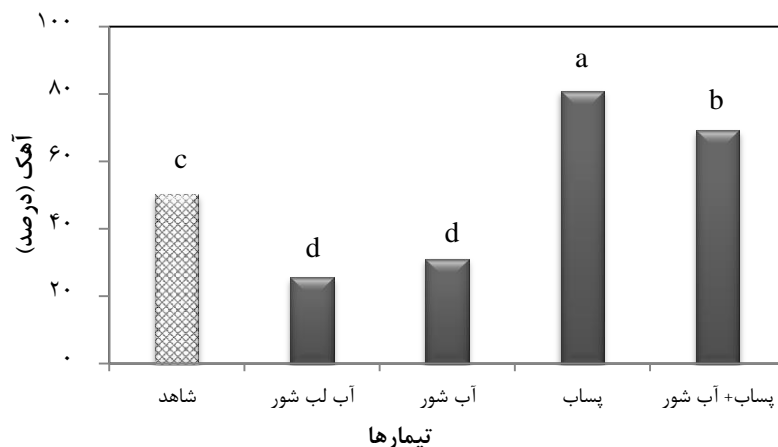
عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر		
منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۲۲۴/۱۱۵*
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه آهک محلول خاک در

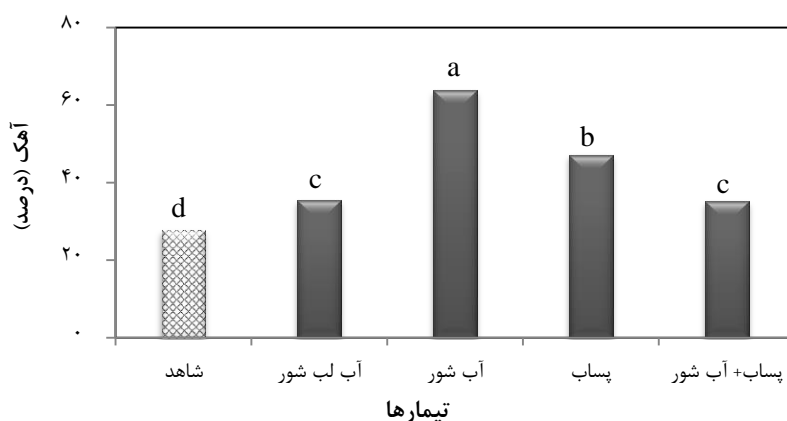
عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر		
منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	آماره (F)
تکرار	۴	۲۲۴/۱۱۵*
خطا	۳۰	-
مجموع	۳۴	-

۵.۳. درصد آهک خاک

با توجه به آنالیز یک‌طرفه (جدول‌های ۸ و ۹) و مقایسه میانگین توکی (شکل‌های ۶ و ۷)، آهک در همه تیمارها نسبت به شاهد در عمق ۰-۳۰ دارای اختلاف معنی‌دار است. در عمق ۳۰-۶۰ بین تیمارهای تلفیق آب شور و پساب به میزان ۳۸/۳۶ و در تیمار آب شور به میزان ۶۷/۱۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد و بین سایر تیمارها نسبت شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نمونه‌های حاصل از تیمارهای پساب و ترکیب پساب و آب شور از عمق به سطح روندی افزایشی داشته است و به‌طور تقریبی دوبرابر شده است، اما تیمارهای آب شور و لب‌شور اعمال‌شده بر نمونه‌های خاک از عمق به سطح روندی کاهشی داشته است.



شکل ۶. آهک خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر



شکل ۷. آهک خاک در عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

۴. جمع‌بندی

این مواد در زمین‌های کشاورزی، توصیه می‌شود مطالعات زیست‌محیطی، بررسی امکان آلودگی این مواد و جنبه شوری خاک نیز به صورت جداگانه انجام گیرد. میزان پی اچ خاک یکی از عوامل تأثیرگذار بر رشد و بقای گیاه در خاک است؛ بنابراین، یکی از ویژگی‌های شیمیایی برجسته خاک نیز به‌شمار می‌رود. براساس نتایج، تجزیه واریانس یک‌طرفه در اعماق تحت مطالعه از نظر مقدار اسیدیته خاک اختلاف معنی‌داری را به‌جز در تیمار آبیاری با پساب نشان نداد. ممکن است این مسئله به دلیل وجود اسیدهای آلی و ترکیبات اسیدزا در لجن فاضلاب باشد [۱۲]. با توجه به نمودار مقایسه‌ای تیمارها درباره اعماق مختلف، با افزایش عمق در همه تیمارها به‌جز آبیاری با آب لب‌شور میانگین اسیدیته افزایش یافته است. به نظر می‌رسد کاهش بیشتر اسیدیته در عمق سطحی با توجه به اینکه شرایط برای ورود هوا به خاک در این عمق (۰-۳۰ سانتی‌متر) مساعدتر

پساب مورد مطالعه حاوی مقادیر شایان توجهی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده است که کاربرد این مواد در زمین‌های کشاورزی علاوه بر تأمین آب کافی در راستای آبیاری گیاهان، برای تأمین نیاز گیاهان زراعی مفید است. تیمار پساب و تیمار تلفیقی پساب و آب شور، با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و حاصل‌خیزی خاک، سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه زیرکشت در اراضی مورد مطالعه می‌شود. هرچند کاربرد تیمار پساب چه به صورت تلفیقی و چه به صورت تنها، سبب بهبود ویژگی‌های خاک و نیز افزایش رشد و عملکرد گیاهان تحت کشت شده است، اما با توجه به مراحل تولید و تصفیه آن‌ها، ممکن است کاربرد این مواد در زمین‌های کشاورزی دارای پتانسیل آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز باشد و اضافه‌کردن مقادیر زیاد این مواد ممکن است خطر آلودگی زنجیره غذایی انسان را در پی داشته باشد. از این‌رو، با توجه به فواید کاربرد

تونس شرقی بررسی کردند. تیمارها در دوره‌های سه ماهه و دو تا چهارده سال در لایه‌های مختلف خاک اعمال شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش شوری خاک، ای سی در تمام دوره‌های آبیاری نسبت به مزارع بدون آبیاری بود. به علاوه، افزایش اسیدیته خاک را به‌ویژه در لایه‌های عمقی به‌همراه داشت.

در کل، پایش مقدار آنیون‌ها در فاضلاب ضروری است، زیرا مقادیر زیاد آن‌ها سبب کاهش کیفیت خاک و همچنین افت کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. انجام دادن آبیاری با پساب به افزایش مقادیر تقریباً بالایی از کلر محلول خاک نسبت به شاهد منجر شده است و دلیل این افزایش مقدار ممکن است به دلیل افزودن کلر در فاضلاب، هنگام تصفیه باشد. مقدار این آنیون در پروفیل‌های سطحی تیمار پساب افزایش و در نمونه‌های عمقی آن کاهش یافته است، اما تجمع کلر، در این تیمار نسبت به تیمارهای آب شور و تیمار تلفیقی شور و پساب مقدار کمتری بوده است و آن به دلیل وجود املاح فراوان در آب شور است. برخلاف سه تیمار یادشده، نمونه آب لب‌شور به مقدار کمی افزایش کلر را در عمق سطحی نسبت به شاهد به همراه داشت و در عمق تحتانی نیز آشوبی کمی داشت و به دلیل وجود املاح کمتر در آن، میزان آن کمتر از شاهد بود. در نتیجه، به دلیل نبود آبیاری در منطقه شاهد، دمای بالای محیط و افزایش تبخیر در سطح خاک، تجمع کلر در این منطقه افزایش یافته است. سنجانی و حاج‌رسولی‌ها (۱۳۷۹) براساس ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه شمال شهر اصفهان برای استفاده در کشاورزی، نتیجه گرفتند میزان کلر آن در مقایسه با استاندارد فائو^۲ بالاست و ممکن است با توجه به روش آبیاری و نوع گیاه زیان‌آور باشد.

مقدار آهک محلول در خاک در نقاط سطحی که با پساب آبیاری شده است، برخلاف نمونه‌های آب شور و لب‌شور، افزایش زیادی را نشان داد. تغییرات آهک در پروفیل‌های سطحی تحت آبیاری با پساب و تیمار تلفیقی آن، سبب تجمع آهک نسبت به شاهد شد. دلیل این تجمع وجود مقدار زیادی از آهک در پساب بود، اما در مقابل آبیاری با آب شور و لب‌شور سبب آشوبی آهک و انتقال آن شده است، به طوری که تجمع آهک در پروفیل عمقی بیشتر از پروفیل سطحی است.

است، موجب افزایش سرعت تجزیه مواد آلی از جمله فرایند نیتروافیکاسیون شده است و فرایند کاهش پی اچ خاک را به دنبال دارد. زمانی باب‌گه‌ری و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی اثر لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل بر ویژگی‌های خاک، با کاربرد ۴۵ تن در هکتار از لجن فاضلاب این کارخانه توانستند اسیدیته خاک را ۱/۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دهند، اما تفاوت به‌دست‌آمده معنی‌دار نبود [۱۳]. مقدار ماده آلی تقریباً زیاد فاضلاب اثر مطلوبی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گذارد و به‌ویژه بر خاک‌های مناطق خشک ایران - که از نظر مواد آلی فقیرند - این تأثیر بیش‌تر است [۱۴]. در پژوهش مورائیتیس و همکاران (۲۰۱۱)، تأثیر فاضلاب کارخانه زیتون بر خاک در مزارعی از پلوپونه‌سه (یونان) افزایش ای سی^۱، سدیم و کربن آلی را در اثر استفاده از فاضلاب به‌همراه داشت [۱۵].

زمین‌های شور بخش عظیمی از ایران را دربرگرفته‌اند، اما تاکنون پژوهشی درمورد شاخص‌های هدایت الکتریکی خاک این زمین‌ها و همچنین زمین‌های کشاورزی حاشیه‌ای آن‌ها انجام نگرفته است. براین‌اساس، تأثیر پساب و آب‌های شور بر زمین‌های دشت قم بررسی و مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار آبیاری با پساب بر منطقه، از نظر آماری در سطح یک درصد است به طوری که در مناطق آبیاری با این تیمار، هدایت الکتریکی خاک به میزان شایان توجهی نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافته است. این نتیجه مشابه با تحقیق زمانی باب‌گه‌ری و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی اثر لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل بر ویژگی‌های خاک بود. کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک بود. کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ممکن است به دلیل مسدود شدن خلل و فرج ریزخاک در اثر کاربرد لجن فاضلاب، حاصل شده باشد. این موضوع عاملی منفی در استفاده از لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک محسوب شده است [۱۶]، اما اپستین تأثیر لجن فاضلاب را بر برخی خواص فیزیکی خاک بررسی کرد و نتیجه گرفت کاربرد لجن، ابتدا هدایت الکتریکی خاک را افزایش می‌دهد [۱۷]، ولی ۵۰ تا ۸۰ روز پس از استفاده از لجن فاضلاب، هدایت الکتریکی کاهش می‌یابد و مقدار آن در خاک شاهد برابر می‌شود [۱۸]. کلی و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده را بر خواص ژئوشیمیایی خاک در

مراجع

- [۱]. ارست، م. (۱۳۹۳). "بررسی اثر آبیاری با آب‌های نامتعارف بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: دشت قمروند)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- [۲]. شرکت مهندسی مشاور جاماب، (۱۳۸۶). "طرح مطالعات برنامه سازگاری با اقلیم خشک و نیمه خشک". گزارش بررسی آب‌های غیر متعارف در کشور. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.
- [۳]. بوستانی، آ.، انصاری، ح.، خداشناس، س. (۱۳۸۹). "بررسی فرآیند اجرایی استفاده از پساب در شهر مشهد". چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
- [۴]. صفری سنجان، ع. ا.، حاج رسولی‌ها، ش. (۱۳۷۹). "ارزیابی کیفیت پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان برای کشاورزی". مجله آب و فاضلاب، ۳۳، ۲۶-۲۰.
- [۵]. مسعودی آشتیانی، س.، پارسى نژاد، م.، و عباسی، ف. (۱۳۹۰). "اثرات استفاده کوتاه مدت از فاضلاب خانگی بر تعدادی از خصوصیات فیزیکی مهم خاک"، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۵ (۳).
- [۶]. طبری، م.، صالحی، آ.، محمدی، ج.، علی‌عرب، ع. (۱۳۸۶). "استفاده مجدد از پساب فاضلاب شهری- پتانسیل پساب فاضلاب جهت استفاده در تولید جنگل کاری (کاج تهران)"، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، ص ۷، تهران.
- [7]. Mojiri, A. (2011). "Effects of municipal wastewater on physical and chemical properties of saline soil". *Journal of biological and environmental science.*, 5(14), 71-76.
- [۸]. حسین پور، ا.، حق‌نیا، غ. م.، علیزاده، ا.، فتوت، ا. (۱۳۸۷). "تأثیر آبیاری با فاضلاب و پساب شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب" مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱(۲)، ۷۳-۸۵.
- [9]. 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*, 258-266.
- [10]. Faizi, M. (2001). "Effect of tread wastewater on accumulation of heavy in plants and soil. ICID" International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID – ICID. September 19-20, Seoul, Korea. Pp: 137-146.
- [11]. Sparks, D. L., A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Leoppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, G. T. Johnston and M. E. Sumner. (1996). "Methods of soil analysis". soil science society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- [12]. Chitdeshwari, T., Savithri, P., Mahimairaja. S., 2002. "Effect of sewage biosolid composts on the yield of crops". *Indian Journal of Environmental Protection*. 21(10), 911-912.
- [۱۳]. زمانی باب‌گه‌ری، ج.، افیونی، م.، خوش‌گفتارمنش، ا.، عشقی‌زاده، ح. (۱۳۸۹). "اثر لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای". مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۴(۵۴)، ۱۶۳-۱۵۴.
- [۱۴]. هاشمی‌نیا، م.، کوچکی، ع.، قهرمان، ن. (۱۳۸۱). "استفاده از آب‌های شور در کشاورزی پایدار"، ترجمه و تدوین، جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۳۷ صفحه.
- [15]. Moraetis. D., Stamati, F.E., Nikolaidis, N.P., Kalogerakis. N. (2011). "Olive mill wastewater irrigation of maize: Impacts on soil and groundwater". *Agricultural Water Management*, 98, 1125-1132.
- [16]. Kelley, W.D., Martens, D.C., Reneau, Jr. R.B., Simpson, T.W., (1984), "Agricultural use of Wastewater sludge". Department of Agronomy virginia polytechnic institute and state university, Blacksburg, virginia. 2406-3397.
- [17]. Epstein, E. (1975). "Effect of sewage sludge on some soil physical properties". *Journal of Environmental Quality.*, 4 (2), 139-142.
- [۱۸]. خوش‌گفتارمنش، ا. ح. (۱۳۸۶). "ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کود". مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.