دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

اثر بنتونیت و پساب فاضلاب شهری بر برخی ویژگی‌های خاک و گیاه یونجه و شبدر

عاطفه خانلری[۱]، رضا تمرتاش[۲]، کاکا شاهدی[۳] و محمدرضا طاطیان[۴]

۱- دانشجوی دکتری مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۲- دانشیار، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران (نویسنده مسوول: reza_tamartash@yahoo.com)
۳- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشیار، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱
صفحه: ۱۹۱ تا ۲۰۱

چکیده

ایران یکی از کشورهای خاورمیانه است که با کمبود منابع آب تجدیدشونده مواجه است. به‌عنوان یکی از سیاست‌های اقتصادی- اجتماعی دولت بر استفاده بهینه از منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه استفاده مجدد از فاضلاب‌های انسانی و صنعتی تصفیه شده تأکید شده است. از عوامل محدودکننده استفاده از این پساب‌ها وجود عناصر سنگین در آن‌ها می‌باشد. از این‌رو اصلاح خاک برای کاهش این آلودگی یا غیرمتحرک‌سازی فلزات سنگین از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. تحقیق حاضر به بررسی اثر اصلاح‌کننده بنتونیت بر غلظت عناصر موجود در خاک تحت کشت یونجه و شبدر از طریق آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه شده پرداخته است. در این بررسی عناصر ضروری و سمّی موجود در خاک با رقّت‌های مختلف پساب (۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) بررسی شد. همچنین به‌دلیل وجود مقادیر فلزات سنگین در پساب فاضلاب از اصلاح‌کننده بنتونیت به‌عنوان تثبیت‌کننده عناصر سنگین در خاک در دو سطح ۱٪و ۳٪ استفاده گردید. نتایج نشان داد که تیمار ۱۰۰٪ پساب-۳٪ بنتونیت به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار کربن آلی، ماده آلی، آهک، pH و EC خاک را رقم زده است ($p<0.05$). همچنین افزایش سطح کاربرد پساب به‌طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت عناصر ضروری (NPK) در خاک شده است. از طرفی کاربرد سطح ۳٪ بنتونیت نیز منجر به کاهش معنی‌دار فلزات سرب و کادمیم در خاک شده است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد تیمار مناسب فاضلاب می‌تواند به عنوان یک منبع بالقوه آب برای افزایش رشد و عملکرد گیاه و همچنین کاربرد بنتونیت به‌عنوان یک عامل غیرمتحرک‌سازی فلزات سنگین موجود در فاضلاب در روش‌های تولید علوفه مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بنتونیت، پساب، جوانه‌زنی، عملکرد گیاه، فلز سنگین

مقدمه

با توجه به محدود بودن منابع آب شیرین در دسترس با کیفیت مطلوب و عدم توزیع یکنواخت این منابع در نقاط مختلف و تفاوت قابل توجه بارش در فصول مختلف دسترسی به منابع آبی در کشورهای مختلف با محدودیت‌های بیشتری نیز مواجه است (۲). از طرفی مصارف مختلف آب به‌شدت رو به افزایش است که مسئله تأمین آب را با مشکلات جدی مواجه ساخته است (۱۲). استفاده از آب‌های نامتعارف مانند آب‌های شور، فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌عنوان یک منبع با ارزش در جهت افزایش میزان تولیدات بخش کشاورزی محسوب می‌گردد. آب‌های نامتعارف مخلوطی از مواد معلق معدنی و آلی هستند که بالطبع برای گیاه مناسب می‌باشد (۲۸،۱۱). با توجه به افزایش تدریجی فاضلاب‌های شهری، جایگزینی آب مورد نیاز کشاورزی با پساب تصفیه‌شده حاصل از فاضلاب‌های شهری، به‌عنوان منبع آبی مطمئن و ارزان قیمت، تا حدودی می‌تواند از مشکلات ناشی از تأمین آب شیرین و معضلات بهداشتی دفع نامناسب این فاضلاب‌ها بکاهد (۵،۱،۲۴،۱۵).

پساب را می‌توان به‌عنوان یک منبع آبی مطمئن برای آبیاری در نظر گرفت که در این صورت در مصرف کودها نیز صرفه‌جویی خواهد شد (۱۱). این درحالی است که وجود برخی آلاینده‌ها یا عناصر سنگین و پیامدهای بسیار مضر آنها، استفاده از این پساب‌ها را در کشاورزی با تردید روبه‌رو می‌کند. تعدادی از این عناصر مانند مس، منگنز و روی در غلظت‌های کم برای زنجیره غذایی انسان و دیگر موجودات ضروری و به‌عنوان عناصر کم نیاز شناخته شده‌اند. اما مقادیر زیاد این عناصر می تواند خطرات جدی را برای کل چرخه حیات طبیعی به دنبال داشته باشد (۲۴،۲۲،۴). فاضلاب اغلب دارای مقادیر نسبتاً زیادی فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب، و نیکل می‌باشد. کاربرد مکرر فاضلاب بدون رعایت اصول زیست‌محیطی باعث تجمع این عناصر در خاک شده و می‌تواند مسائلی از قبیل سمیّت گیاهان و صدمه به ریزجانداران خاک و یا انتقال عناصر سمّی به زنجیره غذایی انسان را موجب گردد (۲۵،۱۵،۲۰). بنابراین ورود عناصر این‌چنینی به محیط‌های رشد گیاهان به‌ویژه در مرحله استقرار گیاه خطرآفرین بوده و باعث بروز مشکل برای ادامه رشد آن‌ها خواهد شد. به‌منظور جلوگیری از ورود آلودگی ناشی از تجمع فلزات سنگین در خاک، به داخل گیاهان و نیز آب‌های زیرزمینی، که می‌تواند خطرات جبران‌ناپذیری را به بار آورد، روش‌های متعددی در دنیا بررسی و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. از جمله این روش‌ها که زیاد در ایران مورد بررسی و آزمایش قرار نگرفته است، بررسی و عملکرد تثبیت و ناپویا کردن فلزات سنگین توسط خاک رس در خاک‌های آلوده می‌باشد، که یکی از روش‌های اقتصادی پاک‌سازی فلزات سنگین خاک است. این روش‌ها نه تنها به هزینه کمتری نیاز دارند بلکه با محیط‌زیست سازگارتر بوده و احتمالاً موجب

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

تخریب آن نمی‌شوند. خاک‌های رس به دلیل خاصیت هیدراته‌شدن می‌توانند مواد آلی و غیرآلی را در ساختمان خود جذب نمایند (۱۸). مواد اصلاح‌گر مانند مواد آلی، اکسیدهای آهن و مواد قلیایی این توانایی را دارند که از تحرک و فراهمی فلزات در خاک به‌وسیله فرآیندهایی مانند جذب سطحی، رسوب، تشکیل کمپلکس یا ترکیبی از این فرآیندها بکاهند. در نتیجه این کار، اثرات زیان‌بار فلزات سنگین بر پذیرنده‌های محیط‌زیست مانند ریزجانداران، گیاهان، حیوانات و منابع آب کاهش می‌یابد (۲۰). کانی‌های رسی مونتموریلونیت، ورمیکولیت، آلوفان، کائولینیت، بنتونیت و ایلیت به‌علت دارا بودن بار الکتریکی منفی و ظرفیت تبادل کاتیونی، به‌عنوان جاذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند و قادرند عناصر سنگین را جذب و از دسترس گیاه خارج سازند (۹،۳). بنتونیت نوعی رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد رس مونت موریلونیت داشته باشد. بنتونیت یک ماده از دسته رس‌ها و از کانی‌های متورم‌شونده تشکیل شده است که عمدتاً مونت موریلونیت و به‌مقدار کمی بیدلیت هستند. بنتونیت فرآوری شده کشاورزی دارای خواص فیزیکی مانند خاصیت جذب و نگهداری آب برای مدت طولانی، خاصیت تبادل کاتیونی فوق‌العاده (CEC)، جذب عناصر فلزی سنگین و فیلتر یا غربال مولکولی می‌باشد (۲۱).

به‌طور کلی بنتونیت در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و بهره‌وری خاک و همچنین صرفه‌جوئی در مصرف کود شیمیائی، آب و استفاده بهینه از کودهای حیوانی بسیار مؤثر می‌باشد. در سال ۱۹۹۳ نیز در آمریکا برای حذف فلزات سنگین در خاک از سه روش استفاده از مواد احیاءکننده، استفاده از خاک رس (بنتونیت) و شستشوی خاک توسط اسید به‌صورت جداگانه و نیز تواماً استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که از بین روش‌های فوق استفاده از خاک رس (بنتونیت) به‌طور جداگانه، برای تثبیت فلزات سنگین کارایی بالایی را نسبت به دو روش دیگر دارد (۱۸،۱۴). با توجه به اینکه آب فاضلاب غنی از مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن است، افزایش ارتفاع بوته در گیاهان مورد مطالعه در نسبت‌های بالاتر فاضلاب دور از انتظار نیست. برکی و رضوانی (۷) با بررسی تأثیر پساب بر کمیّت و کیفیت محصول ارزن علوفه‌ای در مشهد، با درصدهای مختلف آب معمولی و پساب شامل (۱۰۰ و۰)، (۷۵ و ۲۵)، (۵۰ و ۵۰)، (۲۵ و ۷۵)، (۰ و ۱۰۰) به این نتیجه رسیدند که عملکرد علوفه تر و عملکرد ماده خشک ارزن علوفه‌ای تحت تأثیر تیمار پساب افزایش معنی‌دار پیدا کرده است. همچنین درصد و عملکرد پروتئین علوفه آبیاری شده با پساب (۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب معمولی) بیش از دیگر تیمارها بود. از اثرات مفید مصرف فاضلاب می‌توان به غنی‌سازی خاک و محصولات کشاورزی از نظر عناصر غذایی و بهبود کیفیت حاصل‌خیزی خاک اشاره کرد. با افزایش سطح کاربرد فاضلاب میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک افزایش می‌یابد. پساب‌ها با توجه به مواد مغذی که دارند باعث بهبود وضعیت خاک‌ها و افزایش عملکرد محصول می‌شوند (۲۷،۱۹،۱۳). در بسیاری از پژوهش‌ها اشاره شده که علاوه بر اضافه‌شدن عناصر غذایی خاک توسط آبیاری با پساب‌ها و فاضلاب‌ها، مواد آلی موجود در آن‌ها نیز پس از ورود به‌وسیله میکروارگانیزم‌ها تجزیه شده و باعث افزایش هوموس خاک و در نهایت بهبود خواص فیزیکی- شیمیایی و حاصل‌خیزی خاک می‌شود (۸،۷،۳).

بنابراین بر اساس موارد ذکر شده و اثرات مطلوب پساب بر گیاه و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه جامعی در مورد اثرات فاضلاب بر جوانه‌زنی بذر یونجه و شبدر برسیم در حد جزئیات انجام نشده است، پژوهش حاضر به بررسی اثرات فاضلاب شهری تصفیه‌شده بر جوانه‌زنی بذر و خصوصیات گیاهچه یونجه و شبدر برسیم در رقت‌های مختلف پرداخت و سعی شد تا تاثیر سوء پساب هر چند جزئی و در حد استانداردها، توسط تثبیت آن در خاک کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه دانشکده منابع طبیعی ساری واقع در حاشیه‌ی جنوبی دریای خزر در محدوده شهرستان ساری انجام شده است. منطقه در طول جغرافیایی ′۱۲ °۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ′۳۳ °۳۶ شمالی در دامنه ارتفاعی ۳۰ تا ۳۱ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۷/۵ درجه سلسیوس می‌باشد. خاک منطقه در ردیف دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای است که دارای خاک خیلی عمیق (عمق بیش از ۱/۵ متر) به رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری خیلی تیره، رس غالب ایلیت، ساختمان دانه‌ای یا مکعبی و با بافت لومی می‌باشد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک این دانشکده اندازه‌گیری شدند که در جدول (۱) قابل مشاهده است. در آذر ماه سال ۱۳۹۶ بذرپاشی برای دو گیاه شبدر و یونجه به صورت گلدانی از طریق طرح آماری کاملاً تصادفی با ۱۱ تیمار و ۴ تکرار، در گلخانه انجام شد. تیمارها شامل آبیاری با پنج غلظت مختلف پساب فاضلاب: ٪۰ (آب چاه بدون پساب)، ٪۲۵ (۲۵ درصد پساب و ۷۵ درصدآب چاه)، ٪۵۰ (۵۰ درصد پساب و ۵۰ درصد آب چاه)، ٪۷۵ (۷۵ درصد پساب و ۲۵ درصد آب چاه) و ٪۱۰۰ (پساب خالص)، خاک بدون ماده اصلاحی و دارای ماده اصلاحی خاک رس بنتونیت در سطوح ۰، ۱ و ۳ درصد وزنی برای بررسی عدم تحرک و تثبیت فلزات سرب و کادمیوم در خاک بودند. جدول ۲ تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی فاضلاب شهری را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمارها
Table 1. Physical and chemical properties of soil before adding treatments

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
N (ppm)	۰/۰۸	pH	۶/۷۱
P (ppm)	۲۳/۳۱	EC (dS/m)	۰/۵۵
K (ppm)	۵۴۳/۴	$CaCO_3$ (%)	۹/۴۱
شن (٪)	۳۷/۶۲	OC (%)	۱/۱۹
سیلت (٪)	۴۷/۲۷	OM (%)	۲/۰۵
رس(٪)	۱۵/۱	CEC ($cmol^{-1}$)	۱۲/۴

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی فاضلاب تصفیه‌شده مورد استفاده در آزمایش
Table 2. Chemical properties of the treated wastewater used in the experiment

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
EC	µs/cm	۱۲۵۲	BOD	mg/l	۱۱/۸
TDS	mg/l	۷۵۵/۸	COD	mg/l	۱۶/۹
پتاسیم	mg/l	۴۶/۴	TS	mg/l	۷۵۵/۵
سدیم	mg/l	۹۷/۵	TA	mg/l	۲۷۶/۴
کلسیم	mg/l	۱۲۴/۱	آرسنیک	mg/l	۰/۳
منیزیم	mg/l	۲۸/۱	مس	mg/l	۱/۷
فسفر	mg/l	۱/۰۳	کادمیم	mg/l	۵/۷
نیتروژن	mg/l	۱۲/۲	کروم	mg/l	۰/۰۲
کربن	%	۲۰/۳۲	سرب	mg/l	۳/۶

خاک مورد استفاده در گلدان‌ها از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شد. مقدار آب آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه شامل تبخیر و تعرق، نفوذ و نشت عمقی تعیین شد. با استفاده از آبیاری سطحی رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت زراعی تأمین شد. حد ظرفیت زراعی مقدار آب باقیمانده در خاک بعد از آن که آبی که تحت تأثیر نیروی ثقل قرار دارد از آن خارج شده باشد که این حالت معمولاً بسته به نوع خاک بین یک تا سه روز بعد از انجام عمل آبیاری به وقوع می‌پیوندد. با توجه به افزایش و کاهش دما این میزان آب آبیاری تغییر می‌کند. برای بررسی تأثیر ماده اصلاحی در تحرک‌گیری و تثبیت فلزات سنگین در خاک و کاهش انتقال آن به گیاه، با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه (۱۱،۹،۶،۱) از خاک رس بنتونیت استفاده شد.

کانی بنتونیت با نسبت ۱ و ۳ درصد وزنی با ۳ کیلوگرم خاک (۱ درصد: ۳۰ گرم بنتونیت با ۲۹۷۰ گرم خاک- ۳ درصد: ۹۰ گرم بنتونیت با ۲۹۱۰ گرم خاک) در گلدان‌های مورد نظر به‌صورت یکنواخت مخلوط گردید.

قبل از شروع آزمایش از هر گلدان یک نمونه خاک به وزن حدود یک کیلوگرم برداشته شد و برخی خصوصیات شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید. پس از آماده‌سازی بستر گلدان‌ها، آبیاری و اعمال تیمارها، در نهایت مقادیر عناصر سرب و کادمیوم و NPK در نمونه‌ها، pH، EC و همچنین NPK و فلزات سنگین خاک، اندازه‌گیری شدند. pH و EC در عصاره گل اشباع، کربن آلی به‌روش والکلی و بلک، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر قابل استخراج در عصاره حاصل از بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال با روش رنگ سنجی، پتاسیم قابل جذب در عصاره حاصل از استات آمونیوم یک نرمال با دستگاه فلیم فتومتر و کربنات کلسیم معادل به‌روش خنثی‌کردن با اسید و تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (۱۷). به‌منظور اندازه‌گیری غلظت قابل جذب سرب و کادمیم در خاک، نمونه‌های تهیه شده از هرگلدان به‌روش استخراج با EDTA و توسط دستگاه جذب اتمی (Analytic Jena Contra AA ساخت آلمان) بررسی شدند (۱۰). داده‌های حاصل از آزمایش و تعیین رابطه همبستگی بین خصوصیات خاک و هر یک از تیمارها توسط نرم‌افزار آماری SPSS v21 بر اساس طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شدند. مشخصات اندازه‌گیری شده به‌وسیله آنالیز واریانس و میانگین آن‌ها با آزمون چند دامنه‌ای توکی مقایسه شد. همچنین برای مقایسه اثر متقابل تیمارهای اعمال شده بر خصوصیات خاک از آنالیز واریانس دو طرفه استفاده گردید. رسم نمودارهای این پژوهش نیز به کمک نرم‌افزار Excel 2018 صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک

مطابق جدول (۳) خصوصیات خاک شامل کربن آلی، ماده آلی، آهک، pH و EC خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر در انتهای فصل رویش، در خاک‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب و بنتونیت اختلاف معنی‌دار داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که کربن آلی در خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۱). بیشترین مقدار کربن آلی خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب-٪۳ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ٪۲۶/۴ و ٪۳۵/۴ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که ماده آلی خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۲). بیشترین مقدار ماده آلی خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب-٪۳ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ٪۲۱/۷ و

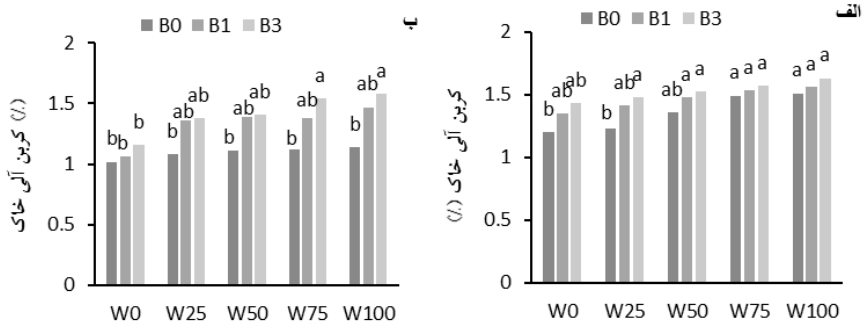
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

۴۰٪ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که آهک خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۳). بیشترین مقدار آهک خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب-٪۳ بنتونیت بود که به ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۴۶٪ و ٪۵۷/۵ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که pH خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۴). بیشترین مقدار pH خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب-٪۳ بنتونیت بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۱۰/٪۰۵ و ٪۷/۶ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که EC خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۵). بیشترین مقدار EC خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰پساب-٪۳ بنتونیت بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ۴۹/٪۵ و ٪۳۶/۰۷ افزایش داشته‌اند.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس تیمارهای مختلف پساب فاضلاب شهری، بنتونیت و اثرات متقابل آن‌ها بر خصوصیات خاک یونجه و شبدر
Table 3. Results of analysis of variance of different wastewater, bentonite treatments and their interaction effects on soil properties of alfalfa and clover seedlings

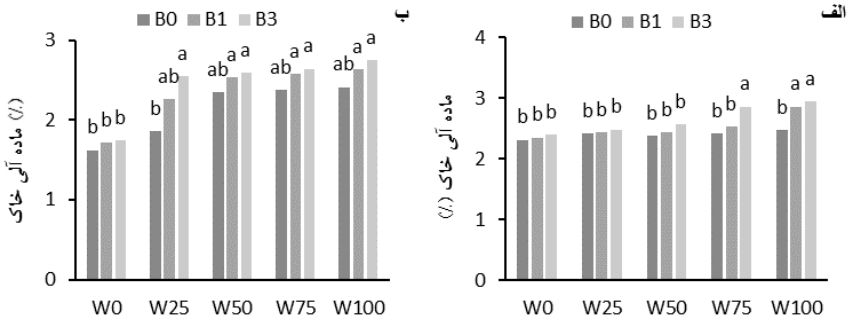
خصوصیات خاک	یونجه				شبدر			
	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F
کربن آلی	پساب	۴	۰/۰۲۵	۲۵۸/۲۵۵**	پساب	۴	۰/۳۶	۶۳۵/۱۲**
	بنتونیت	۲	۰/۰۲۳	۱۹۸/۱۲۳**	بنتونیت	۲	۰/۲۱	۵۲۴/۰۵**
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۰۱	۱/۱۲۵**	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۰۶	۶/۴۳*
	خطا	۴۵	۰/۰۰۱		خطا	۴۵	۰/۰۰۱	
ماده آلی	پساب	۴	۰/۰۲	۱۵۸/۴۲۵**	پساب	۴	۰/۲۵	۲۴۶/۲۵**
	بنتونیت	۲	۰/۲۳۵	۱۷۸/۶۳۲**	بنتونیت	۲	۰/۵۶	۲۰۳/۳۷**
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۴۲	۱/۲۵۸*	پساب × بنتونیت	۸	۰/۷۸	۲/۱۶**
	خطا	۴۵	۰/۰۰۴		خطا	۴۵	۰/۳۵	
آهک	پساب	۴	۰/۱۱۲۹	۱۵۲/۷۵۳**	پساب	۴	۱۲۵/۸۵	۶۸/۲۸**
	بنتونیت	۲	۰/۳۵	۱۲۳/۴۵۸**	بنتونیت	۲	۹۸/۷۴	۳۴/۶۳*
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۲۵	۱/۶۳۵**	پساب × بنتونیت	۸	۷/۱۴	۱/۱۸*
	خطا	۴۵	۰/۲۳		خطا	۴۵	۱/۲۵	
pH	پساب	۴	۱۲۳/۱۲	۱۴۲/۲۵۸**	پساب	۴	۱۵۸/۳۶	۳۸/۷۲**
	بنتونیت	۲	۱۱۱/۱۵	۹۶/۸۹۶**	بنتونیت	۲	۱۱۷/۵۲	۱۷/۳۵*
	پساب × بنتونیت	۸	۶/۶۳	۱/۷۵**	پساب × بنتونیت	۸	۶/۸۵	۱/۴۶*
	خطا	۴۵	۱/۰۰۵		خطا	۴۵	۳/۷۴	
EC	پساب	۴	۲۱۴/۲۳	۲۰۳/۳۵۸**	پساب	۴	۱۴۳/۴۹	۴۸/۲۸**
	بنتونیت	۲	۱۳۲/۰۲۵	۸۷/۴۵۳**	بنتونیت	۲	۱۲۳/۵۶	۳۲/۲۹*
	پساب × بنتونیت	۸	۲/۲۷	۱/۶۲۵**	پساب × بنتونیت	۸	۶/۲۶	۱/۵۶*
	خطا	۴۵	۱/۲۷		خطا	۴۵	۳/۲۸	

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار



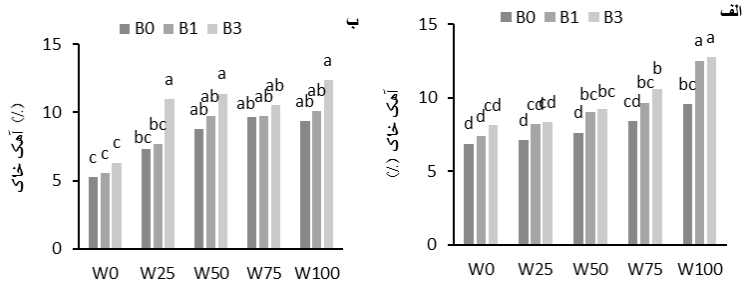
شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر کربن آلی خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.
Figure 1- Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil organic carbon of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]



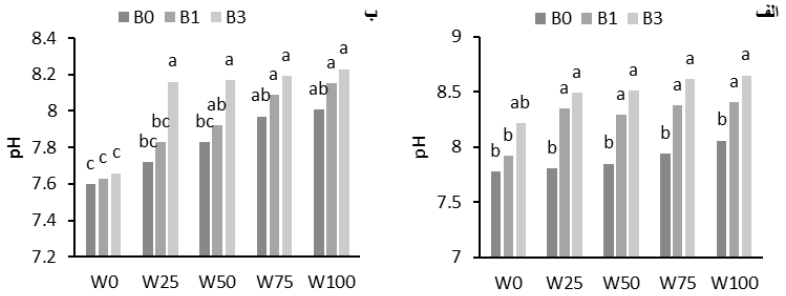
شکل ۲– اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر ماده آلی خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 2. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil organic matter of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



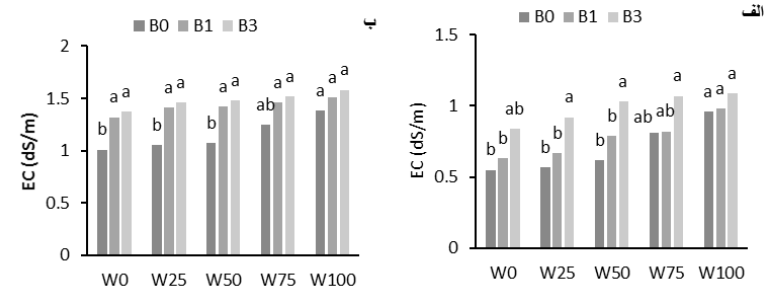
شکل ۳– اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر آهک خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 3. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil lime of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۴– اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر pH خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 4. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil pH of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۵– اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر EC خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 5. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil EC of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

نتایج نشان داد که با افزایش سطح کاربرد پساب فاضلاب میزان کربن و ماده آلی خاک نیز افزایش یافت. این امر را می‌توان به محتوای آلی بالای پساب فاضلاب نسبت داد. برخی از محققین افزایش ماده آلی خاک را با افزایش مقدار و دفعات کاربرد لجن فاضلاب در یک خاک آهکی با بافت لوم رسی سیلتی گزارش کردند (۲۰،۱۵). کاربرد پساب فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک، عملکرد، غلظت نیتروژن و فسفر در ذرت می‌شود (۲۵). در پژوهشی سه ساله کاربرد ۱۵ تن در هکتار فاضلاب در هر سه سال، میزان کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را نسبت به شاهد افزایش داد (۵). ویژگی‌های شیمیایی مستقیماً روی قابلیت انحلال مواد غذایی و حفظ و نگهداری آنها تأثیر دارند. دو ویژگی مهم شیمیایی بستر کشت، pH و EC می‌باشد (۱۳). بررسی خصوصیات خاک بستر نشان داد که با افزایش مقدار پساب و بنتونیت در بستر کشت یونجه و شبدر، pH روند افزایشی داشت. این امر می‌تواند به‌دلیل قرار گرفتن یون کلسیم در نتیجه افزودن پساب که خاصیتی بازی به بستر می‌بخشد باشد (۳). از طرفی بنتونیت نیز در ساختار خود مقدار زیادی کلسیم دارد که به همراه کلسیم موجود در فاضلاب سبب افزایش pH بستر خواهد شد (۱۶). شاید دلیل افزایش آهک موجود در خاک (شکل ۳) نیز واکنش کلسیم تجمع‌یافته در خاک با اکسیژن موجود در خلل و فرج بنتونیت و اکسید کلسیم باشد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح فاضلاب EC خاک به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد در هر دو گونه یونجه و شبدر افزایش یافته است (شکل ۵). با افزایش شوری، گیاه برای جذب معینی از آب باید انرژی حیاتی بیشتری مصرف کند. همان انرژی که گیاه برای فعالیت‌های متابولیکی خود و فرآیندهایی مانند توسعه سلولی نیازمند آن است، بدیهی است در چنین شرایطی به جهت صرف بخشی از انرژی حیاتی در جای دیگر (برای جذب آب از محلول شور) رشد و نمو گیاه محدود شده و نهایتاً از میزان محصول و عملکرد گیاه کاسته می‌شود (۴).

عناصر موجود در خاک

مطابق جدول (۴) عناصر موجود در خاک شامل فسفر، پتاسیم، نیتروژن، سرب و کادمیم در هر دو گیاه یونجه و شبدر در انتهای فصل رویش، در خاک‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب و بنتونیت اختلاف معنی‌دار داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که فسفر خاک در خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۶). بیشترین مقدار فسفر خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب–٪۳ بنتونیت بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ٪۵۰/۸ و ٪۱۵/۸ افزایش داشته‌اند.

نتایج نشان داد که پتاسیم خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۷). بیشترین مقدار پتاسیم خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب–٪۳ بنتونیت بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ٪۳۵/۳ و ٪۲۶/۷ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که نیتروژن خاک حاوی پساب فاضلاب و بنتونیت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) در هر دو گیاه یونجه و شبدر داشت (شکل ۸). بیشترین مقدار نیتروژن خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب–٪۳ بنتونیت بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ٪۴۳/۶ و ٪۵۱/۲ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که سرب خاک در خاک‌های حاوی پساب فاضلاب به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک فاقد پساب در هر دو گیاه یونجه و شبدر بود. همچنین با افزایش غلظت پساب فاضلاب میزان سرب خاک افزایش یافته است اما این افزایش بین تیمارهای حاوی پساب از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (شکل ۹). همچنین بنتونیت نیز سبب کاهش سمیّت سرب در خاک‌های حاوی پساب شده است. این کاهش در تیمارهای حاوی پساب ٪۵۰، ٪۷۵ و ٪۱۰۰ برای یونجه و تیمارهای حاوی پساب ٪۲۵، ٪۵۰، ٪۷۵ و ٪۱۰۰ برای شبدر معنی‌دار بوده است. به‌طور کلی بیشترین مقدار سمیّت سرب خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب–٪۰ بنتونیت بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ٪۵۳/۵ و ٪۶۷/۶ افزایش داشته‌اند. نتایج نشان داد که کادمیم خاک در خاک‌های حاوی پساب فاضلاب به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک فاقد پساب در هر دو گیاه یونجه و شبدر بود. همچنین با افزایش غلظت پساب فاضلاب میزان کادمیم خاک افزایش یافته است اما این افزایش بین تیمارهای حاوی پساب از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (شکل ۱۰). همچنین بنتونیت نیز سبب کاهش سمیّت کادمیم در خاک‌های حاوی پساب شده است. این کاهش در تیمارهای حاوی پساب ٪۲۵، ٪۵۰، ٪۷۵ و ٪۱۰۰ برای یونجه و تیمارهای حاوی پساب ٪۷۵ و ٪۱۰۰ برای شبدر معنی‌دار بوده است. به‌طور کلی بیشترین مقدار کادمیم خاک در هر دو گیاه یونجه و شبدر مربوط به تیمار ٪۱۰۰ پساب–٪۳ بنتونیت بود که به‌ترتیب نسبت به شاهد (فاقد پساب و بنتونیت) ٪۴۵/۷ و ٪۵۵/۱ افزایش داشته‌اند.

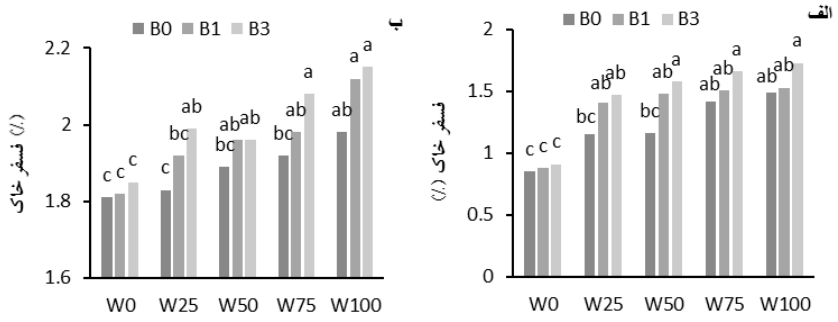
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس تیمارهای مختلف پساب فاضلاب شهری، بنتونیت و اثرات متقابل آن‌ها بر عناصر خاک یونجه و شبدر

Table 4. Results of analysis of variance of different wastewater, bentonite treatments and their interaction effects on soil elements of alfalfa and clover seedlings

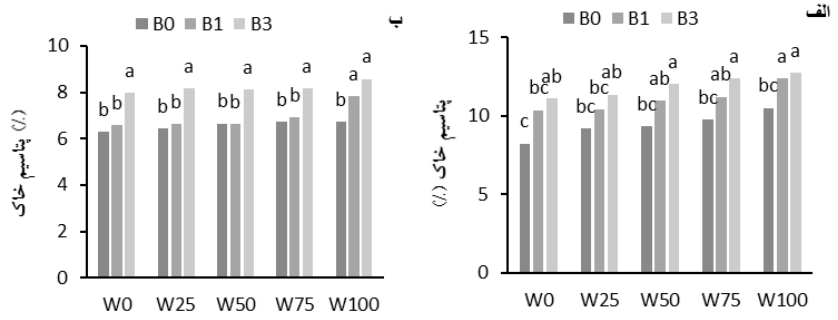
عناصر خاک	یونجه				شبدر			
	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F
فسفر	پساب	۴	۰/۷۸	۲۱۴/۶۲۴**	پساب	۴	۳۵۲/۲۶۰	۱۳۵/۳۶۵**
	بنتونیت	۲	۰/۲۳۹	۲۱۳/۰۲۴**	بنتونیت	۲	۴۶۹/۸۵۲	۸۲/۶۴۲**
	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۰۴	۳/۵۲۴**	پساب × بنتونیت	۸	۲/۸۹۴	۱/۶۷۴**
	خطا	۴۵	۰/۰۰۲		خطا	۴۵	۲/۰۰۶	
پتاسیم	پساب	۴	۲۴۳/۱۹	۲۵۸/۳۲۴**	پساب	۴	۰/۰۴۶	۲۵۸/۴۸**
	بنتونیت	۲	۱۴۸/۴۷	۲۱۱/۲۸۵**	بنتونیت	۲	۰/۱۲۷	۱۶۸/۶۳**
	پساب × بنتونیت	۸	۳/۰۰۸	۱/۱۲۴*	پساب × بنتونیت	۸	۰/۰۰۴	۲/۲۵۸**
	خطا	۴۵	۲/۰۰۶		خطا	۴۵	۰/۰۰۱	
نیتروژن	پساب	۴	۲۴۳/۱۹	۵۷/۵۲**	پساب	۴	۲۹۸/۴۵۶	۱۷۵/۶۲۶**
	بنتونیت	۲	۱۴۸/۴۷	۲۲/۶۶۳*	بنتونیت	۲	۱۱۷/۵۹۲	۲۳۴/۲۶۷**
	پساب × بنتونیت	۸	۳/۰۰۸	۱/۴۱۳*	پساب × بنتونیت	۸	۷/۳۳۳	۱/۴۴۳*
	خطا	۴۵	۱/۷۹۷		خطا	۴۵	۵/۱۸۹	
سرب	پساب	۴	۲۵۳/۱۲	۱۴۵/۲۳**	پساب	۴	۲۵۶/۱۲۸	۶۸/۲۵۸**
	بنتونیت	۲	۱۸۴/۱۴	۱۵۲/۲۸**	بنتونیت	۲	۲۴۳/۲۴۵	۳۵/۳۵۳*
	پساب × بنتونیت	۸	۳/۲۰۳	۱/۷۵**	پساب × بنتونیت	۸	۶/۸۶۲	۱/۱۲۴*
	خطا	۴۵	۱/۰۰۱		خطا	۴۵	۲/۷۵۳	
کادمیم	پساب	۴	۱۶۸/۲۱	۱۲۹/۲۸**	پساب	۴	۲۳۸/۲۸	۸۹/۲۵**
	بنتونیت	۲	۱۳۵/۳۴۵	۶۸/۲۴**	بنتونیت	۲	۱۱۳/۷۵	۲۶/۳۶۸*
	پساب × بنتونیت	۸	۴/۰۲۷	۱/۳۶**	پساب × بنتونیت	۸	۶/۶۲۵	۱/۲۴۵*
	خطا	۴۵	۱/۰۰۳		خطا	۴۵	۳/۳۲	

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار



شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر فسفر خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

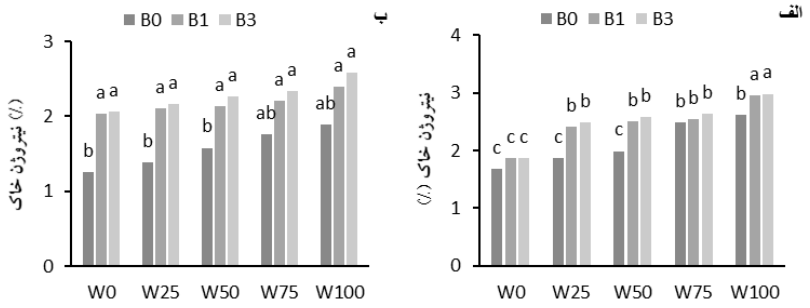
Figure 6. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil phosphorus of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر پتاسیم خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

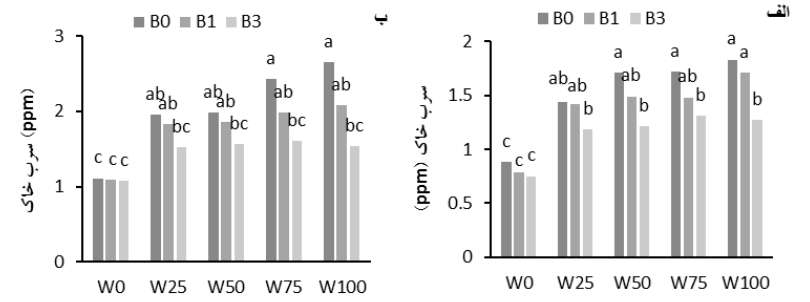
Figure 7- Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil potassium of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]



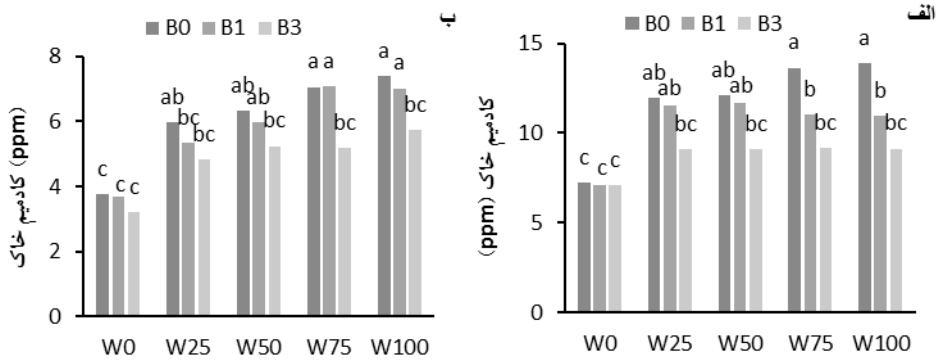
شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر نیتروژن خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 8. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil nitrogen of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۹- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر سرب خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 9. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil lead of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.



شکل ۱۰- اثر غلظت‌های مختلف پساب فاضلاب (W) و بنتونیت (B) بر کادمیم خاک یونجه (الف) و شبدر (ب). حروف لاتین مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 10. Effect of different concentrations of wastewater (W) and bentonite (B) on soil cadmium of alfalfa seedlings (a) and clover (b). The different Latin letters indicate a significant difference at the 5% level.

از اثرات مفید مصرف پساب می‌توان به غنی‌سازی خاک و محصولات کشاورزی از نظر عناصر غذایی و بهبود کیفیت حاصل‌خیزی خاک اشاره کرد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح کاربرد فاضلاب میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک افزایش یافت. پساب با توجه به مواد مغذی که دارد باعث بهبود وضعیت خاک‌ها و افزایش عملکرد محصول شد (۲۷ ، ۱۳،۱۱، ۲،۹). وجود فلزات سنگین مانند سرب، کادمیوم و مس در فاضلاب امری بدیهی است (۲۰). اگرچه با افزایش پساب میزان فلزات سنگین در خاک افزایش داشت اما این میزان حد استانداردهای داخلی و خارجی پایین‌تر است و استفاده از آن در جهت آبیاری مشکلی ندارد. در عین حال نتایج نشان داد که افزایش سطح کاربرد بنتونیت سبب کاهش غلظت قابل جذب سرب و کادمیم در خاک شده است. دلیل آن را می‌توان سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای بنتونیت عنوان کرد که عامل اصلی برهم‌کنش فلزات سنگین با بنتونیت معرفی شده است (۲۰، ۲۲). مهم‌ترین مکانیسم جذب فلزات سنگین توسط بنتونیت تبادل یونی و در درجه بعد رسوب فازهای نامحلول است (۲۵). فلزات سنگین به فرم تبادلی متحرک و قابل دسترس برای گیاهان هستند و قسمت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

اعظم کادمیم و سرب جذب شده در سطح بنتونیت به شکل تبادلی است (۲۱،۱۴).

به‌طور کلی با توجه به بحران کمبود آب در ایران و ارزش بالای فاضلاب در بخش کشاورزی، ضروری است که از این سرمایه بزرگ به بهترین نحو استفاده شود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از بنتونیت موجب غیرمتحرک‌سازی عناصر سرب و کادمیم و کنترل آنها و همچنین تغییر و تحول در خصوصیات فیزیکی خاک و همچنین بهبود نسبی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گردیده که این امر به نوبه خود باعث افزایش ارتفاع و زی‌توده گیاه می‌شود. از طرفی فاضلاب مورد استفاده به عنوان منبع غنی از مواد آلی و عناصر ضروری برای رشد گیاه با در اختیار گذاشتن این مواد برای ریشه گیاه افزایش فاکتورهای رشدی گیاه را سبب می‌شود. در مطالعه حاضر اطلاعات مهمی در مورد استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده ارائه شده است که می‌تواند منبع آب آبیاری مناسب برای محصولات علوفه‌ای باشد. با توجه به این موضوع و همچنین وجود بحران آب و خشکسالی در کشور، به‌نظر می‌رسد که فاضلاب یک جایگزین خوب برای آب شیرین است. در حال حاضر، پساب فاضلاب شهر ساری، به رودخانه تجن منتقل می‌شود که از طریق رودخانه‌های اصلی شهر جریان دارد، در حالی که به‌راحتی می‌تواند برای تولید علوفه مانند یونجه و شبدر استفاده شود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از فاضلاب ۱۰۰٪ توامان با بنتونیت ۳٪ به‌طور بسیار مؤثری برای کشت یونجه و شبدر مناسب است. با توجه به اثربخشی تیمارهای آلی و ارزان قیمت بودن آن‌ها می‌توان برای کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاه و وارد نشدن آن‌ها به زنجیره غذایی استفاده نمود. با این حال، تحقیقات بیشتری برای به دست آوردن تغذیه متعادل‌تر از محصولات علوفه‌ای و انجام پژوهش‌های تکمیلی در شرایط مزرعه، توصیه می‌شود.

منابع

1. Akhter, J., K. Mahmood, K.A. Malik, A. Mardan, M. Ahmad and M.M. Igbal. 2005. Effect of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soil and seedling growth of barley, wheat and chickpea. Plant and Soil Environment, 50(10): 463-469.
2. Ali, H.M., M.H. Siddiqui, M.H. Khamis, F.A. Hassan, M.Z. Salem and E.S.M. El-Mahrouk. 2013. Performance of forest tree Khaya senegalensis (Desr.) A. Juss. under sewage effluent irrigation. Ecological Engineering, 61: 117-126.
3. Alves, W.W., C.V. Azevedo, C.B. Rogaciano, D.N. Jose and E.M. Napoleao. 2018. Effect of treated wastewater, nitrogen and phosphorus on quality of the Brown Fiber Cotton. In: Proceedings of American society of agricultural and biological engineers, ASABE Meeting, 9-12 July., Oregon Convention Center, Portland. Paper Number. 062095
4. Anbuselvam, J., A. Sridhar, M. Anbuselvam and S. Periyasamy. 2016. Effect of textile waste water irrigation on seed germination, plant growth, biomass, and crop yield in green gram seeds (Vigna radiate (L) Wilczez) under plating technique and pot experiment. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 10(5): 86-9.
5. Antolin, M.C., I. Pascual, C. Garcia, A. Polo and M. Sanches-Diaz. 2019. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. Field Crops Reasearch, 94: 224-237.
6. Augusthy, P.O. and A.S. Mani. 2001. Effect of rubber factory effluent on seed germination and seedling growth of Vigna radiatus L." Journal of Environmental Biology, 22(2): 137-139.
7. Baraki, H. and A. Rezvani. 2016. Investigating the effects of irrigation water from treated domestic wastewater on the quality and quantity of forage millet. Fourth National Conference on Water Crisis Management, Zabul University, 455-468.
8. Davies, F.T. and Y. Castro-Jimenez. 1989. Water relations of Lagerstromia indica growth in amended media under drought stress. Scientia Horticulturae, 41: 97-104.
9. Divya, L., J. George, G. Midhun, S.B. Magesh and S. Suriyanarayanan. 2015. Impacts of treated sewage effluent on seed germination and vigour index of monocots and dicot seeds. Russian Agricultural Sciences, 41(4): 252-257.
10. El-Hady, O.A., M.Y. Tayel and A.A. Lofty. 2006. Super gel as a soil conditioner. II- Its effect on plant growth, enzymes activity, water use efficiency and nutrient uptake. Acta Horticulturae, 119: 257-265.
11. Gupta, S.S. and G.B. Krishna. 2019. Removal of Cd(Π) from aqueous solution by kaolinite, montmorillonite and their poly (oxozirconium) and tetrabutylammonium derivatives. J ournal of hazardous materials, 128: 247-254.
12. Hamidpour, M., M. Kalbasi, M. Afyuni, H. Shariatmadari, P.E. Holm and H.C.B. Hansen. 2010. Sorption hysteresis of Cd (II) and Pb (II) on natural zeolite and bentonite. Journal of Hazardous Materials, 181(1-3): 686-691.
13. Khan, M.D. 2011. Impact of textile waste water on seed germination and some physiological parameters in pea (*Pisum sativum* L.), Lentil (*Lens esculentum* L.) and gram (*Cicer arietinum* L.). Asian Journal of Plant Science, 10: 269-273.
14. Latare, A.M., O. Kumar, S.K. Singh and A. Gupta. 2014. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice–wheat system. Ecological Engineering, 69: 17-24.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

15. McBride, M.B. 2018. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, Inc., New York.
16. Mc Grath, S., L. Postma, R.J. McCormack and C. Dowdall. 2002. Analysis of Irish sewage sludge: suitability of sludge for use in agriculture. Irish Journal of Agricultural and Food Research, 39(1): 73-78.
17. Mehregan, I., M. Moussavi and N. Nasrabadi. 2007. The genus medicago in iran: biodiversity and variation centers. Rostaniha, 4(1): 11-12.
18. Metcalf, L., H.P. Eddy and G. Tchobanoglous. 2000. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. New York: McGraw-Hill.
19. 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. Desalination, 215: 143-152.
20. Moreno, N., X. Querol, A. Alastuey, A. Garcia-Sanchez, Á. Lopez Soler and C. Ayora. 2001. Immobilization of Heavy Metals in Polluted Soils by the Addition of Zeolitic Material Synthesized from Coal Fly Ash.
21. Nithya, R. and P.N. Sudha. 2017. Removal of heavy metals from tannery effluent using chitosan-g-poly (butyl acrylate)/bentonite nanocomposite as an adsorbent. Nithya and Sudha Textiles and Clothing Sustainabili, 2(1): 7.
22. Oron, G., J. DeMalach, Z. Hoffman and Y. Manor. 2005. Effect of effluent quality and application method on agriculture productivity and environmental control. Water Science and Technology, 26(7-8): 1593-1601.
23. Tamartash, R., M. Jafari, H. Heidari Sharifabad, Q. Zahedi Amiri and Gh. Zehtabian. 2013. Investigating the relationship between soil nutrients and vegetation in Lar watershed. Research Journal of Watershed Management, 4(7): 42-56.
24. Saadat, K., M. Barani Motlagh, E. Dordipour and A. Ghasemnezhad. 2010. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. J. Soil Manage. Sust. Prod, 2(2): 27-48 (In Persian).
25. Safi-naz, S.Z. and M.M. Shaaban. 2015. Impact of treated sewage water irrigation on some growth parameters, yield and chemical composition of sunflower, Helianthus annuus L. plants. International Journal of ChemTech Research, 8(9): 114-122.
26. Wahhabzadeh Kebria, Gh., Y. Bersan and M. Masoodi. 2014. Investigating the effect of geological units on the distribution of heavy metals in river sediments of the watershed of Sardabrood. Research Journal of Watershed Management, 5(9): 107-118.
27. Zaki, S.N. and M. Shaaban. 2015. Impact of treated sewage water irrigation on some growth parameters, yield and chemical composition of sunflower, helianthus annuus. Plants, 8: 114-122.
28. Zhang, W., N. Grimi, M.Y. Jaffrin, L. Ding, B. Tang and Z. Zhang. 2018. Optimization of RDM-UF for alfalfa wastewater treatment using RSM. Environmental Science and Pollution Research, 25(2): 1439-1447.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]

The Effect of Bentonite and Municipal Wastewater Effluent on Some Soil and Alfalfa and Clover Plant Characteristics

Atefeh Khanlari[1], Reza Tamartash[2], Kaka Shahedi[3] and Mohammedreza Tatian[4]

1- Ph.D Student in Range Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
2- Asociate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran (Corresponding Author: reza_tamartash@yahoo.com)
3- Asociate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
4- Asociate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
Received: March 21, 2019 Accepted: June 21, 2020

Abstract

Iran is one of the countries in the Middle East that is facing a shortage of renewable water resources. As one of the government's socio-economic policies, the emphasis has been on the optimal use of renewable resources, in particular refined human and industrial wastewater. One of the limiting factors of using these wastewater is the presence of heavy metals in them. Therefore, soil remediation is important to reduce this pollution or to deactivate heavy metals. This study was conducted to investigate the effect of bentonite modification on soil elements concentration irrigated with municipal wastewater under cultivation of Alfalfa and clover in a completely randomized design. In this study, essential and toxic elements of the plant, soil properties and elements in soil under different effluent ratios (0%, 25%, 50%, 75% and 100%) were investigated. Also, due to the presence of heavy metals in wastewater, bentonite modifier was used as immobilizer of heavy metals in soil at two levels of 1% and 3%. The results showed that 100% effluent-3% bentonite treatment had the highest amount of soil organic carbon, organic matter, lime, pH and EC for both alfalfa and clover species ($p<0.05$). Also, increasing the level of effluent application significantly increased the concentration of essential elements (NPK) in soil and plants. On the other hand, application of 3% bentonite resulted in a significant decrease in the toxicity of lead and cadmium in plants and soils. In general, it can be concluded that application of proper wastewater treatment can be used as a potential source of water to enhance plant growth and yield, as well as the use of bentonite as an immobilizing agent of heavy metals in wastewater in forage production methods.

Keywords: Bentonite, Germination, Heavy metal, Plant productivity, Wastewater

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.8.3]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.191]