نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد پنجم، شماره دوم، ۱۳۹٤
http://ejsms.gau.ac.ir

اثرات لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر پرمصرف در خاک و گیاه و برخی صفات زراعی گندم

سولماز فتح‌العلومی[۱]، *شکراله اصغری[۲] و اسماعیل گلی‌کلانپا[۲]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، [۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان یک ماده زائد ارزان‌قیمت برای تأمین عناصر غذایی ضروری گیاه به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک رو به افزایش است. نتایج پژوهش‌ها مختلف نشان داده است که استفاده از لجن فاضلاب باعث افزایش مقدار ماده آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گیاه و عملکرد دانه و کاه و کلش در گیاهان گندم، جو و ذرت گردید. تأثیر لجن بر بهبود خصوصیات مذکور، اغلب تابع منشأ (شهری یا صنعتی بودن) و مقدار مصرفی لجن و نیز نوع گیاه می‌باشد بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات مقادیر مصرفی لجن فاضلاب شهری اردبیل بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و سنگین در خاک و گیاه و نیز برخی صفات زراعی گندم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: خاک مورد آزمایش از یک زمین بایر واقع در دشت اردبیل و لجن از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اردبیل تهیه گردید. آزمایش گلدانی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تیمار و چهار تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل مقادیر صفر (شاهد)، ۳۰، ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن هواخشک در هکتار بودند. گندم بهاره در گلدان‌ها (قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر) کاشته شد سپس خاک گلدان‌ها به‌مدت ۱۰۰ روز در دمای ^{o}C ٤±۲۲ و رطوبت ٦۰ تا ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه انکوبه شد. در انتهای فصل رشد، عملکرد دانه و کاه و کلش و نیز غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اجزای گندم تعیین گردید. همچنین مقادیر هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سرب، کروم، نیکل و کادمیوم در نمونه‌های خاک طبق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از لجن در مقادیر مصرفی ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی (۲۱/۹٤ تا ۱۷٦ درصد)، نیتروژن کل (۸۱ تا ۳۱۰/۳٤ درصد)، فسفر قابل استخراج (۱٦/۷ تا ۱۲۳ درصد) و پتاسیم قابل استخراج (۵/۳٤ تا ۱۱۷/۸ درصد) در خاک زیر کشت گندم گردید. کاربرد لجن به مقدار ۱۸۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه گندم به‌ترتیب به‌میزان ۳٦/۰٤، ۱۱۲/۳٤ و ۸٦/٦٤ درصد در مقایسه با شاهد گردید. تأثیر مقادیر مصرفی لجن بر غلظت نیکل، کادمیوم، سرب و کروم در خاک معنی‌دار نشد. همچنین استفاده از لجن باعث افزایش عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع، وزن هزار دانه و سطح برگ گردید.

* مسئول مکاتبه: shasghari@uma.ac.ir

نتیجه‌گیری: بهترین تأثیر لجن فاضلاب شهری اردبیل بر بهبود خصوصیات خاک و گیاه در تیمارهای ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار حاصل شد و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، با در نظر گرفتن شوری نسبتاً بالای لجن کاربردی، مقدار ۱۲۰ تن در هکتار لجن به‌عنوان تیمار مناسب جهت ارتقای کیفیت شیمیایی خاک می‌تواند انتخاب گردد. اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای به‌ویژه با گیاهان و خاک‌های مختلف جهت تأیید نتایج این پژوهش ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: عناصر پرمصرف، فلزات سنگین، گندم، کربن آلی، لجن فاضلاب

مقدمه

لجن فاضلاب نوعی از پسماندهای آلی است که علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک سبب افزایش غلظت عناصر غذایی ضروری پرمصرف و کم‌مصرف برای رشد گیاه می‌شود (٦). در سال‌های اخیر کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی، از یک طرف به‌عنوان یک کود آلی (غنی از کربن) و سرشار از عناصر غذایی مختلف مثل نیتروژن و فسفر و از طرف دیگر به‌عنوان یک روش نسبتاً ایمن برای دفن پسماند حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است (۱۰ و ١٦). کاربرد لجن فاضلاب به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که مواد آلی خاک معمولاً کم است باعث افزایش مواد آلی، حفظ رطوبت خاک و ارتقای حاصلخیزی آن شده و مفید می‌باشد (۱۰). در حالی‌که، در روش‌های حفظ حاصلخیزی خاک که عمدتاً مبتنی بر مصرف کودهای شیمیایی هستند، مقدار ماده آلی خاک کاهش یافته و خطر فرسایش خاک‌ها افزایش می‌یابد (٤٠).

پژوهش‌های مختلفی در زمینه اثر مصرف لجن فاضلاب بر شاخص‌های رشد گیاهان زراعی انجام شده است (۳، ۲۳ و ٣٤). آنجین و یاقان‌اوقلو (۲۰۱۱) تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد جو را بررسی نموده و گزارش کردند که کاربرد لجن نه تنها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشید بلکه عملکرد دانه جو را نیز افزایش داد (۳). سعادت و همکاران (۲۰۱۲) با کاربرد لجن فاضلاب، افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک، عملکرد، غلظت نیتروژن و فسفر را در ذرت گزارش کردند (٣٤). لاتار و همکاران (۲۰۱٤) اثرات مستقیم و باقی‌مانده کاربرد لجن فاضلاب را در مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ تن در هکتار بر عملکرد، غلظت فلزات سنگین و حاصلخیزی خاک در سیستم کشت برنج- گندم بررسی نمودند. نتایج نشان داد اگرچه همه مقادیر مصرفی لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد دانه و کاه و کلش در هر دو گیاه گردید ولی غلظت کادمیوم دانه برنج در مقادیر ۲۰ تن در هکتار و بالاتر لجن فاضلاب، بیش از حد مجاز سلامت کشور هندوستان تعیین گردید (۲۳). جمیل و همکاران (۲۰۰٤) با مطالعه گلخانه‌ای اثر مصرف لجن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در یک خاک آهکی، افزایش طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و تعداد پنجه را گزارش کردند (۱۷). کرمی و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر مقادیر صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب را طی چهار سال بر رشد گندم بررسی نمودند. نتایج نشان داد که تیمار ۱۰۰ تن در هکتار و ٤ سال کوددهی متوالی، بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی گندم را به خود اختصاص داد (۲۰).

از اثرات مفید مصرف لجن می‌توان به غنی‌سازی خاک و محصولات کشاورزی از نظر عناصر غذایی و بهبود کیفیت حاصلخیزی خاک اشاره کرد. پژوهش‌های مختلفی در زمینه اثر مصرف لجن فاضلاب بر غلظت عناصر عناصر غذایی در خاک و گیاه انجام شده است (۲، ۲۲، ۳۲ و ۳۸). رضایی‌نژاد و افیونی (۲۰۰۱) به‌منظور بررسی اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک از کود گاوی، لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود شیمیایی استفاده کردند. نتایج نشان داد که در تیمارهای لجن فاضلاب و کمپوست، مقدار پتاسیم و فسفر قابل استخراج به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. همچنین در مقایسه با کود شیمیایی، هر سه کود آلی منجر به افزایش غلظت پتاسیم و فسفر قابل استخراج شدند (۳۲). خورشید و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر فسفر قابل استفاده در ۱۰ خاک آهکی استان همدان طی ۵ ماه انکوباسیون، نشان دادند که بر اثر کاربرد ۱/۵ درصد لجن فاضلاب، فسفر قابل استفاده نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت به‌طوری‌که مقدار میانگین فسفر در خاک‌های تیمار شده نسبت به خاک شاهد ۳۷/٦ درصد افزایش یافت. آنان علت این افزایش را فسفر قابل استفاده موجود در لجن فاضلاب و همچنین معدنی‌شدن فسفر آلی در طی مدت انکوباسیون بیان کردند (۲۲). آنتولین و همکاران (۲۰۰۵) در یک پژوهش سه‌ساله، رشد و عملکرد گیاه جو را در شرایط مدیترانه‌ای نیمه‌خشک و با چهار تیمار کود شیمیایی، کاربرد یک‌ساله ۱۵ تن لجن در هکتار (فقط در سال ۱۹۹۸)، کاربرد مکرر و سه‌ساله ۱۵ تن لجن در هکتار (در هر سه سال از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱) و شاهد بررسی کردند. ایشان گزارش کردند که از بین تیمارهای ذکر شده، تیمار ۱۵ تن در هکتار لجن در هر سه سال، میزان کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را نسبت به شاهد افزایش داد (٤).

حجتی و همکاران (۲۰۰٦) افزایش ماده آلی خاک را با افزایش مقدار و دفعات کاربرد لجن فاضلاب در یک خاک آهکی با بافت لوم رسی سیلتی گزارش کردند (١٦). وانگ و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش‌های خود گزارش کردند که با افزایش مقادیر لجن مصرفی، کربن آلی خاک از ۳/٤٤ درصد در تیمار شاهد به ٦/۲۲ درصد در تیمار ۱۵۰ تن در هکتار افزایش یافت (۳۸). رویگ و همکاران (۲۰۱۲) در یک آزمایش مزرعه‌ای بر روی خاک لوم رسی زیر کشت گندم گزارش کردند که در اثر کاربرد ١٦ ساله لجن فاضلاب در مقادیر ٤۰ و ۸۰ تن در هکتار، ماده آلی و نیتروژن خاک با افزایش مقادیر لجن افزایش یافت (۳۳). حداقل نیمی از نیتروژن موجود در لجن فاضلاب به اشکال آلی بوده که به‌صورت تدریجی و پس از معدنی‌شدن در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. آزاد شدن تدریجی نیتروژن، هدرروی این عنصر به اشکال مختلف را کاهش می‌دهد که این پدیده نیز اهمیت کاربرد پساب و لجن فاضلاب در کشاورزی را بیش‌تر نمایان می‌سازد (۲۹). حجازی‌مهریزی و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد ۵ ساله مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب گزارش کردند که تیمارهای مذکور به‌ترتیب مقدار ماده آلی را از ۷/۱ گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ٤۰/۵ و ۵۱/۵ گرم بر کیلوگرم افزایش داد. همچنین میزان فسفر قابل‌جذب خاک نیز پس از کاربرد ۵ ساله لجن، از ۱۱/۹ در تیمار شاهد به ٤۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار ۱۰۰ تن لجن در هکتار افزایش یافت (١٤). قاسمیان‌سوربنی و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد مقادیر ۲۰ و ٤۰ تن در هکتار لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری به این نتیجه رسیدند که مصرف ٤۰ تن در هکتار لجن فاضلاب طی ۳ سال نامتوالی و ٤ سال متوالی بالاترین میزان کادمیوم و کاربرد ٤۰ تن در هکتار لجن فاضلاب طی ۳ سال نامتوالی بالاترین میزان نیکل

قابل‌جذب خاک را نشان داد (۱۳). الذوبی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تأثیر لجن فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین در گندم و ذرت گزارش نمودند که لجن فاضلاب تأثیری بر غلظت سرب در دانه و کاه و کلش گندم و ذرت نداشت (۲).

آکدنیز و همکاران (۲۰۰٦) اثرات کاربرد لجن فاضلاب و نیتروژن را بر رشد سورگوم دانه‌ای در ترکیه بررسی نمودند. نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در برگ و دانه، در نتیجه کاربرد لجن فاضلاب، کم‌تر از سطوح سمی برای انسان و دام بود و نامبردگان بیان کردند که می‌توان از لجن فاضلاب به‌عنوان کود نیتروژن در تولید سورگوم دانه‌ای استفاده نمود (۱).

گندم یکی از محصولات استراتژیک برای هر کشوری بوده و توجه به تغذیه آن، اهمیت بسیاری در تأمین سلامتی جامعه و امنیت غذایی آن دارد. در این راستا، استفاده از روش‌هایی مانند مصرف لجن فاضلاب به‌عنوان یک کود آلی، مناسب به‌نظر می‌رسد که علاوه بر داشتن برتری‌های اقتصادی، گزینه مناسبی نیز برای رفع مشکل مدیریت لجن فاضلاب بوده و موجب افزایش ماده آلی، بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش کیفیت و کمیت محصول می‌شود (۲۰، ۳۳ و ۳٤).

براساس اطلاعات موجود، اثر لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهر اردبیل به‌عنوان یک ماده زائد اصلاح‌کننده آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک‌های دشت اردبیل و نیز سمیت احتمالی فلزات سنگین موجود در آن برای گیاهان زراعی منطقه تاکنون بررسی نشده است بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات مقادیر مصرفی لجن مذکور بر غلظت برخی عناصر پرمصرف و سنگین در خاک و گیاه و نیز برخی صفات زراعی گندم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی خاک: خاک مورد آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری یک زمین بایر واقع در دشت اردبیل تهیه و به‌منظور ایجاد یکنواختی، از الک با قطر روزنه ٤/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد سپس در معرض هوا، خشک گردید. برخی خصوصیات اولیه خاک شامل بافت به روش هیدرومتری ٤ قرائته، جرم مخصوص ظاهری به روش استوانه دست‌نخورده و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر، pH و هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع، کربن آلی به روش والکلی و بلک (۳۰)، نیتروژن به روش کجلدال (۹)، فسفر قابل استخراج در عصاره حاصل از بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال با روش رنگ‌سنجی و پتاسیم قابل‌جذب در عصاره حاصل از استات آمونیوم یک نرمال با دستگاه فلیم‌فتومتر (۱۸)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن با اسید و تیتراسیون، غلظت قابل‌جذب فلزات سنگین با استفاده از عصاره‌گیر DTPA (۲٤)، تعیین گردید.

آماده‌سازی لجن: لجن مورد استفاده، از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اردبیل تهیه شد و پس از هوا خشک کردن، با استفاده از آسیاب برقی در اندازه کوچک‌تر از نیم میلی‌متر خرد گردید. برخی خصوصیات اولیه آن شامل pH و هدایت الکتریکی (EC) در عصاره ۱ به ۵ (لجن به آب)، کربن آلی و نیتروژن کل با روش‌های ذکر شده برای نمونه‌های خاک و غلظت عناصر پرمصرف و فلزات سنگین به روش اکسایش خشک (۱۸) اندازه‌گیری شد.

اختلاط خاک و لجن و کشت گیاه: گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد تقریبی قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت و براساس جرم مخصوص ظاهری مزرعه (۱/۳۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب) با خاک و لجن پر شد. تیمارهای

لجن فاضلاب شامل مقـادیر ۰، ۱۱/۵۳، ۲۳، ٤٦/۱۵ و ٦۹/۲۳ گرم در کیلوگرم خاک، معادل صـفر (شـاهد)، ۳۰، ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار بودند. دامنه مقادیر مصرفی لجن براساس منابع سورت و آلکانیز (۱۹۹۹) و بوستانی و رونقـی (۲۰۱۲) انتخـاب گردیدنـد (۷ و ۳٦). گندم بهاره، رقم آتیلا ٤ به تعداد ۲۰ بذر در هـر گلـدان کـشت گردیـد. بـذور قبـل از کـشت توسـط قارچ‌کش بنومیل و به نسبت یک در هـزار ضـدعفونی شدند (۳۵). پس از جوانه‌زنی، تعداد بذور به ۱۰ عـدد در هر گلدان کاسته شد. گلدان‌ها در داخل گلخانه بـا دمای ^{o}C ٤±۲۲ و به‌مدت ۱۰۰ روز نگهداری شـدند. کنترل رطوبت خاک گلدان‌هـا در طـی دوره رشـد در دامنه ٦۰ تا ۸۰ درصد رطوبت FC و بـه روش وزنـی (۱۵) صورت گرفت. لازم به ذکـر اسـت کـه در ایـن آزمایش از هیچ نوع کود شیمیایی استفاده نشد.

اندازه‌گیری خـصوصیات خـاک و گیـاه: در انتهـای فصل رشد، گیاه گندم از محل طوقه قطع، سپس دانـه، اندام هوایی و ریشه برداشت و بـه آزمایـشگاه منتقـل گردید. ارتفاع گیاه، طول سنبله و وزن سنبله در زمـان قطع کردن بوته‌ها و سطح برگ پرچم به‌وسیله دستگاه سطح برگ‌سنج اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکـرد، دانه‌ها از خوشه جدا و بعد از شـمارش، دانـه‌هـا وزن شده و وزن هزاردانه تعیین گردید. نمونه‌هـای گیـاهی برداشت شده بـا آب و ریکـا شـسته و بـا آب مقطـر آب‌کشی شدند سپس در مجاورت هوا در آزمایـشگاه خـشک و بـه‌مـدت ۷۲ سـاعت در آون و در دمـای ٦۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (۳۷). پس از این مدت، نمونه‌ها به‌منظور تعیین وزن خشک اندام هوایی توزین گردیدند سپس عصاره‌گیری نمونه‌های گیـاهی و لجن فاضلاب به‌وسیله اسـید کلریـدریک ۲ نرمـال انجام شد. فسفر به روش اسپکتروفتومتری و پتاسیم به روش فلیم‌فتومتری در عصاره‌های حاصل اندازه‌گیـری شد (۱۸). پس از برداشـت گیـاه، از عمـق ۱۰ تـا ۱۵ سانتی‌متری هر گلدان یک نمونه خاک به وزن حـدود یـک کیلـوگرم برداشـته شـد و برخـی خـصوصیات شیمیایی آن به روش‌های ذکر شده اندازه‌گیری گردید. برای عصاره‌گیری فلزات سنگین نیکل، کادمیوم، کروم و سرب در نمونه‌های گیاه از روش اکـسایش خـشک (۱۸) استفاده شد سپس غلظـت کـل عناصـر مـذکور با استفاده از دسـتگاه جـذب اتمـی Younglin مـدل AAS 8020 اندازه‌گیری شد.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵ تیمار لجن مـصرفی در ٤ تکـرار اجـرا شـد. علـت انتخـاب طـرح بلـوک، غیریکنـواختی در تـابش نـور دریافتی بـه گلخانـه بـود. تجزیـه واریـانس داده‌هـای حاصل از آزمـایش پـس از اطمینـان از نرمـال بـودن توزیع داده‌ها بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمـون چنددامنـه‌ای دانکـن صورت گرفت.

نتایج و بحث

خـصوصیات خـاک و لجـن: برخـی ویژگـی‌هـای شیمیایی و فیزیکی خـاک و لجـن مـورد آزمـایش در جدول ۱ ذکر شده است. بـا توجـه بـه مقـادیر pH و کربنات کلسیم معادل (جدول ۱)، خاک مورد مطالعـه یک خاک نـسبتاً قلیـایی و آهکـی بـه‌شـمار مـی‌رود. خاک‌های آهکی عموماً دارای ٦ درصد و یـا بـیش‌تـر کربنات کلسیم هستند (۲۵). براساس جدول ۱، لجـن فاضلاب مورد استفاده حاوی ۲۰/۵٤ درصد کربن آلی و ۳/۰۸ درصد نیتروژن کل می‌باشد که از خصوصیات مطلوب این لجن به شمار می‌رود. بنـابراین مـی‌توانـد نقش مهمی در اصلاح خاک از نظر خواص فیزیکـی، شیمیایی و بیولوژیکی ایفـا نمایـد. نـسبت کـربن بـه نیتروژن (C/N) از خصوصیات مهم مواد آلـی افـزوده شده به خاک است که باید مـورد توجـه قـرار گیـرد.

نسبت مذکور در مورد لجن فاضلاب به‌کار رفته در این پژوهش برابر ٦/٦٦ می‌باشد. زمانی‌که این نسبت کم‌تر از ۲۰ باشد از نظر معدنی شدن نیتروژن آلی مشکلی وجود ندارد. هر گاه این نسبت از ۳۰ تجاوز نماید عمل توقف نیتروژن یا غیرمتحرک شدن[1] یا آلی شدن اتفاق می‌افتد (۲٦). بنابراین لجن مورد استفاده از این نظر مشکلی ایجاد نمی‌کند بلکه به معدنی‌شدن بیش‌تر نیتروژن کمک خواهد کرد. هدایت الکتریکی (EC) نسبتاً بالای لجن شاید به‌دلیل غلظت بالای یون‌های کلسیم، پتاسیم و احتمالاً کلر در آن می‌باشد (۲۱). یکی از نگرانی‌ها در مورد استفاده از لجن در خاک‌های کشاورزی، وجود مقدار بالای فلزات سنگین سمی در آن می‌باشد. مقایسه مقادیر فلزات سنگین در لجن فاضلاب مورد استفاده با استانداردهای EPA[2] (۱۱) نشان می‌دهد که غلظت نیکل، کادمیوم، سرب و کروم در این لجن پایین‌تر از حد مجاز بوده و از نظر فلزات سنگین مورد بررسی، لجن حاضر از پتانسیل آلودگی کمی برخوردار است (جدول ۱).

اثر لجن فاضلاب بر کربن آلی (OC)[3]، هدایت الکتریکی (EC)[4] و غلظت عناصر غذایی پرمصرف در خاک: تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که مصرف لجن باعث تغییر معنی‌دار کربن آلی، EC، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استخراج در خاک گردید.

کربن آلی و هدایت الکتریکی: مقایسه میانگین‌ها در شکل ۱ (الف) نشان می‌دهد که با افزایش مقدار لجن مصرفی، کربن آلی خاک زیر کشت گندم در تیمارهای ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت و بین مقادیر مصرفی لجن با یکدیگر نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. میزان افزایش نسبت به شاهد در تیمارهای مذکور به‌ترتیب حدود ٥٦، ۱۳٤/۹۷ و ۱۷٦ درصد بود. لجن استفاده شده در این پژوهش دارای ۲۰/٥٤ درصد کربن آلی می‌باشد بنابراین با توجه به مقدار قابل ملاحظه کربن آلی در لجن، به‌کارگیری مقادیر مختلف آن باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک شده است. این تأثیر در ابتدا کم بوده و بعداً شیب اثر مصرف لجن بر کربن آلی خاک زیاد شده است یعنی افزایش مقدار کربن آلی خاک در نتیجه مصرف لجن فاضلاب در این پژوهش غیرخطی است. حجتی و همکاران (۲۰۰٦) افزایش معنی‌دار کربن آلی یک خاک آهکی را در اثر کاربرد مقادیر ۲٥ تا ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب گزارش نمودند (۱٦). وانگ و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که استفاده از لجن فاضلاب در مقادیر ۱٥ تا ۱٥۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک گردید (۳۸). حجازی‌مهریزی و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند با دو برابر شدن مقدار لجن فاضلاب مصرفی، کربن آلی خاک در حدود ۲۷ درصد افزایش نشان داد (۱٤).

کاربرد لجن فاضلاب در همه مقادیر باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک شد (شکل ۱، ب). با توجه به EC اولیه خاک (۲/٤٥ دسی‌زیمنس در متر)، افزودن لجن تا سطح ۱۸۰ تن در هکتار موجب افزایش EC خاک تا مقدار ٦/٦ دسی‌زیمنس در متر گردید که این مقدار EC ممکن است برای رشد، نمو و محصول‌دهی برخی گیاهان زراعی محدودیت ایجاد کند اما با توجه به مقاوم بودن گندم به شوری (۱۹)، این شوری حتی در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار اثر منفی بر رشد گیاه گندم نداشت.

1- Immobilization
2- Environmental Protection Agency
3- Organic carbon
4- Electerical Conductivity

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و لجن مورد مطالعه.

Table 1. Some chemical and physical properties of studied soil and sludge.

غلظت مجاز استاندارد در لجن Standard concentration limit (EPA, 1994) in sludge	لجن Sludge	خاک Soil	واحد Unit	ویژگی Property
-	7.04	7.74	-	pH*
-	3.4	2.45	$dS\ m^{-1}$	*هدایت الکتریکی (EC)
-	-	لوم شنی Sandy loam	-	کلاس بافت Soil texture
-	-	1.39	$g\ cm^{-3}$	جرم مخصوص ظاهری Bulk density
-	-	2.45	$g\ cm^{-3}$	جرم مخصوص حقیقی Particle density
-	20.54	1.17	%	کربن آلی Organic carbon (C)
-	-	7.25	%	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent
-	3.08	0.058	%	نیتروژن کل Total nitrogen (N)
-	6.66	-	-	C/N
-	8340	52.51	$mg\ kg^{-1}$	فسفر (P)
-	4700	771.63	$mg\ kg^{-1}$	پتاسیم (K)
420	0.553	0.43	$mg\ kg^{-1}$	نیکل (Ni)
85	0.2	0.019	$mg\ kg^{-1}$	کادمیوم (Cd)
840	0.869	0.71	$mg\ kg^{-1}$	سرب (Pb)
3000	0.159	0.29	$mg\ kg^{-1}$	کروم (Cr)

* pH و EC خاک و لجن به‌ترتیب در عصاره گل اشباع و عصاره ۱ به ۵ (لجن به آب) اندازه‌گیری شد.

pH and EC of soil and sludge were measured at saturated paste extra and 1:5 (sludge:water) extra, respectively.

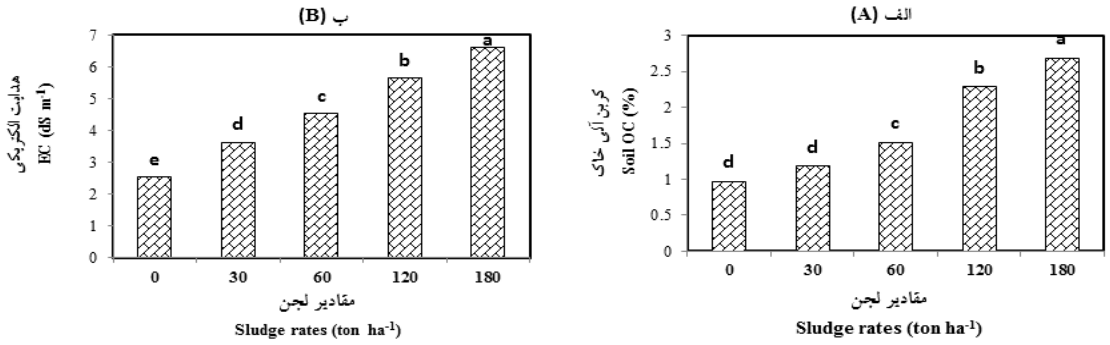
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر لجن بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک.

Table 2. Analysis of variance (mean squars) of sludge effect on some soil chemical properties.

منابع تغییر Sources of variations	درجه آزادی Degree of fredom	میانگین مربعات Mean squares				
		کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل استخراج Extractable P	پتاسیم قابل استخراج Extractable K
تکرار (Replication)	3	0.035^{ns}	0.083^{ns}	0.0004^{ns}	30.648^{ns}	10030.104*
مقادیر لجن (Sludge rates)	4	2.144**	10.350**	0.019**	3343.752**	16296.996**
اشتباه (Error)	12	0.014	0.078	0.0003	40.089	1844.925
ضریب تغییرات (CV)	-	6.81	6.11	13.84	7.50	4.39

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, *, ** non significant, significant at 5 and 1 percent probability level, respectively.

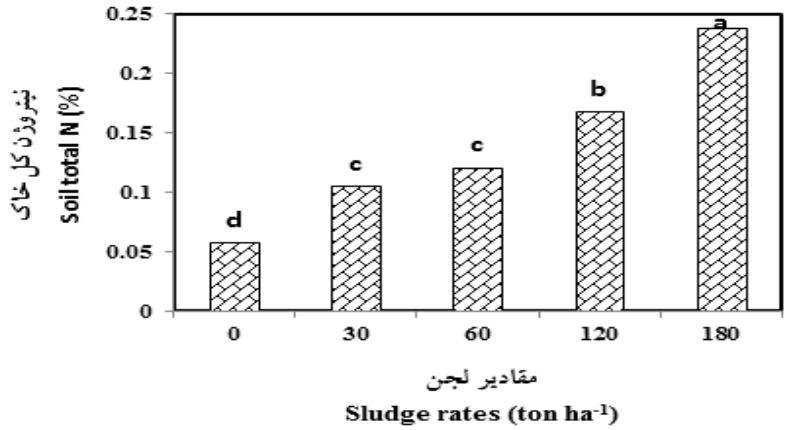


شکل ۱- اثر لجن فاضلاب بر کربن آلی (الف) و هدایت الکتریکی خاک (ب).

Figure 1. Effect of sewage sludge on soil OC (A) and EC (B).

نیتروژن کل: کاربرد لجن فاضلاب در همه مقادیر باعث افزایش نیتروژن کل خاک شد (شکل ۲). بیش‌ترین مقدار نیتروژن در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن حاصل شد به‌طوری‌که نیتروژن کل از ۰/۰۵۸ درصد در تیمار شاهد به ۰/۲۳۸ درصد در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن افزایش یافت (افزایش ٤ برابری نیتروژن کل). دلیل افزایش نیتروژن کل، درصد بالای نیتروژن لجن فاضلاب (۳/۰۸ درصد) می‌باشد. افزایش ماده آلی خاک در نتیجه کاربرد لجن فاضلاب عامل دیگری در جهت افزایش نیتروژن کل خاک می‌باشد چرا که ماده آلی اساساً از بقایای موجودات زنده می‌باشد و چون نیتروژن از اجزای بدن موجودات زنده است بنابراین ماده آلی منبع مهمی برای نیتروژن خاک محسوب می‌شود (۲٦). بوستانی و رونقی (۲۰۱۲) در آزمایش گلخانه‌ای خود بر روی سه بافت (شنی، لوم شنی و لوم رسی) یک خاک آهکی پس از برداشت ذرت، با افزودن پنج سطح لجن (۰، ۱۰، ۲۰، ٤۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم) افزایش

معنی‌دار نیتروژن کل خاک را در هر سه بافت خاک تحت‌تأثیر کاربرد لجن فاضلاب، گزارش نمودند. به‌طوری‌که افزودن ۸۰ گرم لجن سبب افزایش نیتروژن کل در بافت‌های مورد مطالعه به‌ترتیب شنی، لوم شنی و لوم رسی به‌میزان ۱۱۷۵، ۱۳۰ و ۱۵۲ درصد گردید (۷).

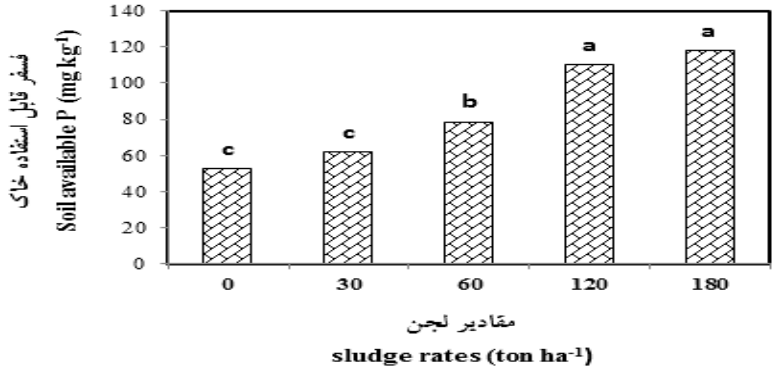


شکل ۲- اثر لجن فاضلاب بر نیتروژن کل خاک.

Figure 2. Effect of sewage sludge on soil total N.

فسفر قابل استفاده گیاه: کاربرد لجن فاضلاب در همه مقادیر به استثنای تیمار ۳۰ تن لجن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار مقدار فسفر قابل استفاده خاک در مقایسه با شاهد گردید (شکل ۳). بیش‌ترین میزان فسفر در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن و به‌میزان ۱۱۸/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم حاصل شد ولی بین تیمار ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. علت احتمالی این افزایش را می‌توان به فسفر بالای موجود در لجن فاضلاب و کربن آلی و اسیدهای آلی موجود در لجن نسبت داد. میزان حلالیت فسفات با حضور اسیدهای آلی مثل مالات، سیترات و اگزالات بسته به نوع خاک و غلظت اسید آلی می‌تواند بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ واحد افزایش یابد (۲۷). از طرفی اسیدهای آلی حاصل از لجن فاضلاب به‌صورت تبادل لیگاندی، جذب سطحی شده و برای محل‌هایی که جذب صورت می‌گیرد با فسفر رقابت می‌کنند که در نهایت منجر به افزایش قابلیت استفاده فسفات می‌گردد. همچنین ترکیب گاز کربنیک تولید شده از تجزیه مواد آلی با آب، تولید اسید کربنیک می‌نماید و این اسید در خاک‌های آهکی، حلالیت ترکیبات فسفره را افزایش می‌دهد و بدین ترتیب قابلیت جذب آن‌ها فزونی می‌یابد (۲۲). والن و چانگ (۲۰۰۲) در آزمایش‌های خود دریافتند که کاربرد درازمدت مواد آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم‌انرژی‌تر نگهداری شده و قابلیت استفاده آن افزایش پیدا کند (۳۹). از آن‌جا که در ایران بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت، به درجات مختلف آهکی هستند (۲۵) و ابقای فسفر در خاک‌های آهکی بسیار مشکل‌ساز است بنابراین کاربرد لجن فاضلاب برای خاک‌های ایران مناسب به‌نظر می‌رسد. بوستانی و رونقی (۲۰۱۲) گزارش کردند که با کاربرد ۸۰ گرم لجن در کیلوگرم خاک، میزان فسفر قابل استفاده گیاه در بافت‌های شنی، لوم شنی و لوم رسی به‌ترتیب معادل ۱۱۲٤، ۳۷۸ و ۲۳۳ درصد نسبت به تیمار شاهد

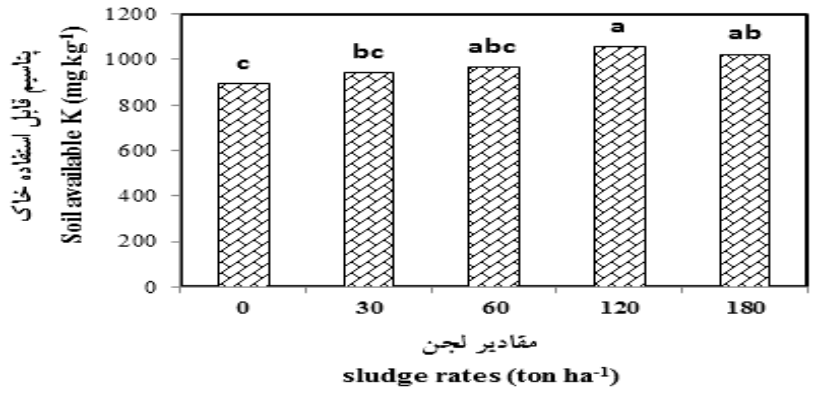
افزایش نشان داد (۷). نتایج پژوهش لاتار و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب به مقدار ٤۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار فسفر قابل استفاده خاک زیر کشت گندم گردید (۲۳). نظری و همکاران (۲۰۰٦) در یک پژوهش گلخانه‌ای، با کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی، تأمین نیاز گندم به فسفر در همه تیمارها را گزارش کردند (۲۹). حجازی‌مهریزی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که فسفر قابل‌جذب خاک تحت‌تأثیر سطح و دفعات کوددهی با لجن فاضلاب به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (۱٤). رضایی‌نژاد و افیونی (۲۰۰۱) در بررسی اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، از کود گاوی، لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود شیمیایی استفاده کردند و نشان دادند که در تیمارهای لجن فاضلاب و کمپوست، مقدار فسفر قابل استخراج به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (۳۲).



شکل ۳- اثر لجن فاضلاب بر فسفر قابل استفاده خاک.

Figure 3. Effect of sewage sludge on soil available P.

پتاسیم قابل استفاده گیاه: کاربرد لجن فاضلاب از ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار، غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک را به‌میزان ٥/۳٤ تا ۱۱۷/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ٤). البته این افزایش فقط در تیمارهای ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار بود. افزایش پتاسیم خاک در اثر کاربرد لجن فاضلاب نسبت به افزایشی که در مورد فسفر و نیتروژن دیده شد، کم‌تر بود که این نتیجه را می‌توان به محتوای کم پتاسیم در مقایسه با فسفر و نیتروژن موجود در لجن ارتباط داد. دلیل اصلی این پدیده احتمالاً حلالیت بالای املاح پتاسیم می‌باشد که باعث می‌شود پس از جدا شدن لجن از فاضلاب، پتاسیم به‌صورت محلول در پساب باقی‌مانده و در نتیجه بخش لجن از پتاسیم فقیر شود. البته در این پژوهش پتاسیم اولیه خاک، برای تأمین نیاز گیاه کفایت می‌کند که احتمالاً به‌دلیل برخورداری این خاک از کانی‌های پتاسیم‌دار است (۵). نتایج پژوهش رضایی‌نژاد و افیونی (۲۰۰۱) نشان داد که در تیمارهای لجن فاضلاب و کمپوست، مقدار پتاسیم قابل استخراج به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (۳۲). قمری و دانش (۲۰۰۷) نیز با بررسی اثرات کاربرد لجن بر خصوصیات خاک دریافتند که کاربرد لجن موجب افزایش مقدار پتاسیم قابل دسترس خاک گردید (۱۲).



شکل ٤- اثر لجن فاضلاب بر پتاسیم قابل استفاده خاک.

Figure 4. Effect of sewage sludge on soil available K.

اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و برخی صفات زراعی گندم: تجزیه واریانس اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و برخی صفات زراعی گندم در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس جدول، مصرف لجن در سطح احتمال ۱ درصد روی صفات زراعی و عملکرد گندم تأثیر معنی‌دار داشته است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و برخی صفات زراعی گندم.

Table 3. Analysis of variance (mean squars) of sludge effect on yield and some agronomic traits of wheat.

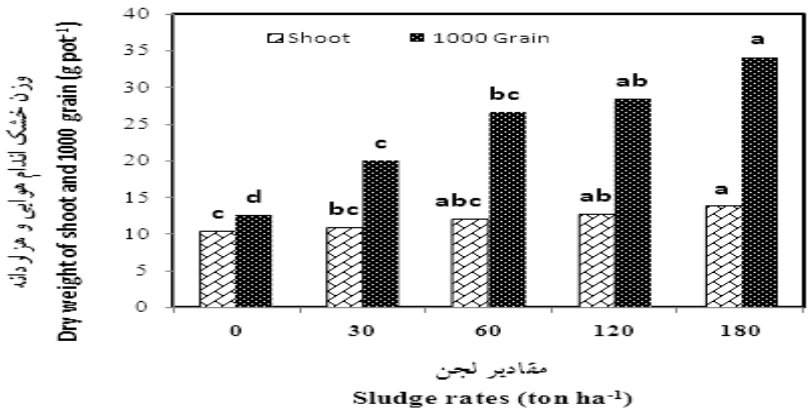
تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	سطح برگ Leaf area	وزن هزاردانه 1000 Grain weight	ارتفاع گیاه Plant height	طول سنبله Spike length	وزن خشک اندام هوایی Dry weight of shoot	درجه آزادی Degree of fredom	منابع تغییرات Sources of variations
8.74^{ns}	556.549^{ns}	8.513^{ns}	3.546^{ns}	0.322^{ns}	1.512^{ns}	3	تکرار (Replication)
39.444**	21910.971**	276.269**	26.550**	3.480**	7.322**	4	مقادیر لجن (Sludge rates)
7.154	1479.062	10.835	1.281	0.225	0.916	12	اشتباه (Error)
11.76	7.61	13.53	3.37	3.86	8.01	-	ضریب تغییرات (CV)

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, *, ** non significant, significant at 5 and 1 percent probability level, respectively.

وزن خشک اندام هوایی و وزن هزاردانه: مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی (مجموع وزن ساقه و برگ) در شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش میزان لجن فاضلاب مصرفی، وزن خشک اندام هوایی گندم روند افزایشی داشت. میزان این افزایش فقط در تیمارهای ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۱۸۰ تن لجن در هکتار حاصل شد. کاربرد

۱۸۰ تن لجن در هکتار، باعث افـزایش معنـی‌دار وزن خشک اندام هوایی به‌میزان ۳۲/۳۸ درصـد نـسبت بـه شاهد شد. این افزایش را می‌توان به بالا بـودن میـزان ماده آلی در لجن و نقش مثبت لجن در افزایش غلظت برخی عناصر غذایی همچون نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک (شکل‌هـای ۲، ۳ و ٤) و نیـز بهبـود شـرایط فیزیکی خاک از طریق افزایش پایداری خاکدانـه‌هـا و نیز آب قابل استفاده گیاه نسبت داد. به‌نظر می‌رسد این عوامل منجر به افزایش باروری خاک و در نتیجه بهبود رشد گیاه گردید. با توجه به این‌که در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌علت محدودیت منابع آبـی بـرای تولیـد علوفه، استفاده از کاه و کلش گندم برای تغذیه دام‌هـا رایج است بنـابراین از ایـن نظـر نیـز نقـش لجـن در افزایش وزن خشک اندام هوایی گندم یک نکته مثبت تلقی می‌شود. کرمی و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهـشی که با سه سطح لجن فاضلاب (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تـن در هکتار) و تیمار شاهد و در چهـار زمـان (۱، ۲، ۳ و ٤ سال کوددهی) انجام شد افـزایش وزن خـشک انـدام هوایی گندم را در اثر افزودن لجن فاضـلاب گـزارش نمودند به‌طوری‌که بیش‌تـرین مقـدار وزن خـشک در بین سـطوح کـودی در تیمـار ۱۰۰ تـن و بـین تعـداد سال‌های کوددهی در تیمار ٤ سال کـوددهی گـزارش شـد (۲۰). الـذوبی و همکـاران (۲۰۰۸) تـأثیر لجـن فاضلاب را بر عملکرد گندم، ذرت و ماشـک بررسـی نموده و افزایش عملکرد ذرت و ماشـک را در نتیجـه افزودن لجن فاضلاب، گزارش نمودند (۲).



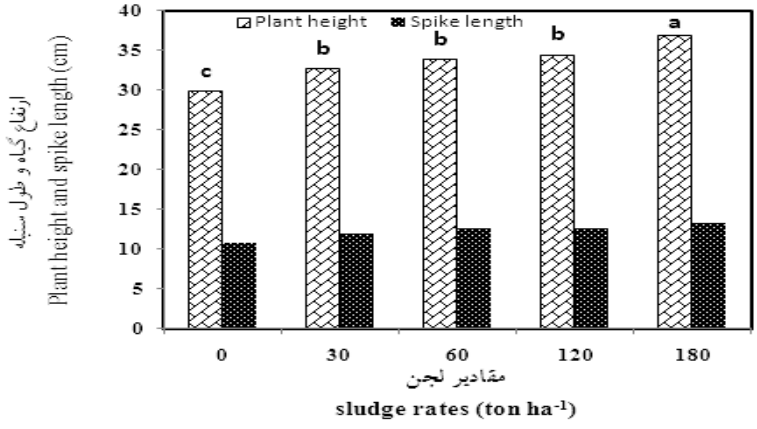
شکل ۵- اثر لجن فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی و وزن هزاردانه.

Figure 5. Effect of sewage sludge on dry weight of shoot and 1000 Grain.

کاربرد لجن فاضلاب در همه مقادیر سبب افزایش معنی‌دار وزن هزاردانه گندم به‌میزان ٦۰ تا ۱۷۳ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۵). بـیش‌تـرین مقـدار برای این صفت (۳٤/۱۲ گرم در گلدان) در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن فاضلاب حاصل شد کـه بـا تیمـار ۱۲۰ تن در هکتار تفاوت معنی‌دار نداشت. دلیـل ایـن افزایش، تأثیر معنی‌دار مقادیر مصرفی لجن بـر کـربن آلی (شکل ۱، الف)، نیتروژن (شکل ۲) و فسفر خاک (شکل ۳) می‌باشد. فسفر، تحریک‌کننده رشـد و نمـو ریـشه، گلـدهی زودتـر و رسـیدن محـصول بـوده، پنجه‌زنی را فعال‌تر کرده و در نتیجه تعـداد خوشـه را افزایش داده و موجب نمو بهتر دانه می‌شـود (۲٦). از سوی دیگر افزایش سطح برگ گیاه (شکل ۷) باعـث افزایش تولید مـواد فتوسـنتزی و در نتیجـه پرشـدگی

بیش‌تر دانه‌های گندم گردید. آنتولین و همکاران (۲۰۰۵) نیز در یک پژوهش سه‌ساله بر روی رشد و عملکرد گیاه جو در شرایط مدیترانه‌ای نیمه‌خشک با چهار تیمار شامل کود شیمیایی، ۱۵ تن در هکتار لجن، کاربرد مکرر ۱۵ تن در هکتار لجن در هر سال و خاک شاهد، افزایش معنی‌دار عملکرد دانه جو و میزان ماده خشک را در اثر کاربرد ۱۵ تن در هکتار لجن در هر سال گزارش نمودند (٤). لاتار و همکاران (۲۰۱٤) با کاربرد مقادیر ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ تن در هکتار لجن گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب در مقادیر ۱۰ تا ٤۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و کاه و کلش گندم گردید. همچنین عملکرد دانه برنج در تیمار ٤۰ تن به‌میزان ٤٥ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (۲۳).

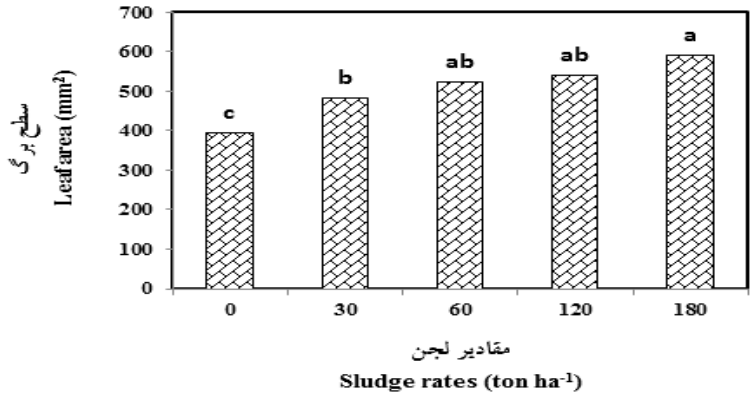
ارتفاع گیاه و طول سنبله: مقایسه میانگین‌ها در شکل ٦ نشان می‌دهد که بیش‌ترین ارتفاع گندم (۳٦/۹۸ سانتی‌متر) در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن و کم‌ترین آن (۲۹/۹۳ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین کاربرد لجن فاضلاب در همه مقادیر، باعث افزایش معنی‌دار طول سنبله به‌میزان ۹/٦ تا ۲۲/٥ درصد نسبت به شاهد شد. بیش‌ترین طول سنبله (۱۳/۳٥ سانتی‌متر) در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن حاصل شد. بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک برای رشد گندم در نتیجه افزودن لجن فاضلاب به خاک، می‌تواند یکی از عواملی باشد که باعث افزایش ارتفاع گیاه و طول سنبله گردید. در این زمینه می‌توان به غلظت زیاد نیتروژن موجود در لجن و همچنین فسفر و سایر عناصر مفید موجود در آن (جدول ۱) اشاره کرد که باعث افزایش رشد رویشی گیاه شده‌اند. افزایش ارتفاع گیاه باعث بهبود عملکرد شده و در رقابت با علف‌های هرز برای دریافت نور به گیاه زراعی کمک می‌کند. جمیل و همکاران (۲۰۰٤) در بررسی اثر کاربرد مقادیر ۱۰، ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب به همراه دوز پایه عناصر N، P و K به‌ترتیب به مقدار ۱۲۰، ۹۰ و ٦۰ کیلوگرم بر هکتار در یک خاک آهکی و با کشت گندم، بیش‌ترین طول سنبله را در تیمار ٤۰ تن در هکتار لجن فاضلاب گزارش کردند در حالی‌که بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار ۸۰ تن لجن حاصل شد (۱۷). آنجین و یاقان‌اوقلو (۲۰۱۱) در پژوهش‌های خود افزایش ارتفاع گیاه و طول سنبله و نیز عملکرد جو را با کاربرد لجن فاضلاب گزارش کردند (۳).



شکل ٦- اثر لجن فاضلاب بر ارتفاع گیاه و طول سنبله.

Figure 6. Effect of sewage sludge on plant height and spike length.

سطح برگ: با افزایش سطوح کاربرد لجن فاضلاب از ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار، شاخص سطح برگ پرچم به‌میزان ۲۲/۳ تا ۵۰ درصد و به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۷). سطح برگ در تیمار شاهد ۳۹۳/۳۵ میلی‌مترمربع بود که در تیمار ۱۸۰ تن لجن در هکتار به ۵۹۰/٤۷۵ میلی‌مترمربع رسید. با توجه به نقش برگ پرچم در انتقال مواد غذایی از برگ به دانه، این افزایش دارای اهمیت است و می‌تواند نقش مثبتی در افزایش عملکرد گیاه داشته باشد. دلیل این امر را می‌توان به اثر معنی‌دار مقادیر مصرفی لجن بر غلظت فسفر خاک (شکل ۳) نسبت داد. پین و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند که با افزایش میزان فسفر، پنجه‌زنی گیاه تحریک می‌شود و این امر ارتباط مستقیم با افزایش ظهور برگ بر روی ساقه اصلی در نتیجه فراهمی فسفر دارد. این پژوهشگران با اشاره به نقش فسفر در سرعت ظهور برگ و سطح برگ، گزارش نمودند که کمبود فسفر، سرعت ظهور برگ را در گندم کاهش می‌دهد و از طریق ممانعت از توسعه سلول‌ها، سطح برگ را نیز کاهش می‌دهد (۳۱). از دیگر دلایل افزایش سطح برگ، می‌توان به اثر معنی‌دار مقادیر مصرفی لجن بر غلظت نیتروژن خاک (شکل ۲) اشاره کرد. براساس گزارش بوما (۱۹۷۰) افزایش غلظت نیتروژن خاک در نتیجه کاربرد لجن باعث افزایش فتوسنتز و به‌دنبال آن افزایش سطح برگ گیاه شد (۸). سعادت و همکاران (۲۰۱۲) افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد ذرت از جمله پهنای آخرین برگ را در نتیجه کاربرد لجن فاضلاب گزارش کردند (۳٤).



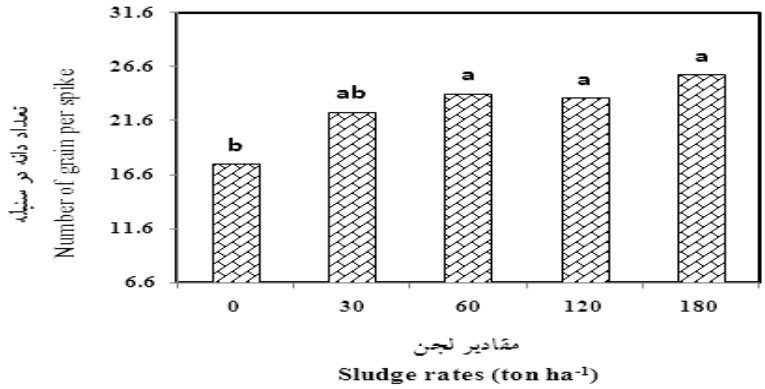
شکل ۷- اثر لجن فاضلاب بر شاخص سطح برگ.

Figure 7. Effect of sewage sludge on leaf area index.

تعداد دانه در سنبله: شکل ۸ نشان می‌دهد که کاربرد لجن فاضلاب از ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار، تعداد دانه در سنبله را نسبت به شاهد به‌میزان ۲۷/٦ تا ٤۷/۲ درصد افزایش داد که این افزایش در تیمارهای ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار بود. بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله ۲۵/۸۷ بود که در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار حاصل شد که اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۳۰، ٦۰ و ۱۲۰ تن در هکتار نداشت. این نتیجه احتمالاً به‌دلیل افزایش حاصلخیزی خاک و تغذیه مناسب گیاه در نتیجه کاربرد لجن فاضلاب می‌باشد. همچنین مقادیر زیاد نیتروژن نیتراتی موجود در لجن فاضلاب باعث افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود. جمیل و همکاران (۲۰۰٤) در بررسی اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و اجزای عملکرد

گندم در یک خاک آهکی افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد گندم در مقایسه با شاهد در نتیجه کاربرد لجن را گزارش کردند. به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله در تیمار ٤٠ تن در هکتار لجن فاضلاب حاصل شد (١٧).

اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف در گندم: جدول ٤ تجزیه واریانس اثر لجن فاضلاب بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در قسمت‌های مختلف گندم را نشان می‌دهد.



شکل ٨- اثر لجن فاضلاب بر تعداد دانه در سنبله.

Figure 8. Effect of sewage sludge on the number of grain per spike.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف در گیاه گندم.

Table 4. Analysis of variance (mean squars) of sludge effect on the concentration of macronutrients in wheat.

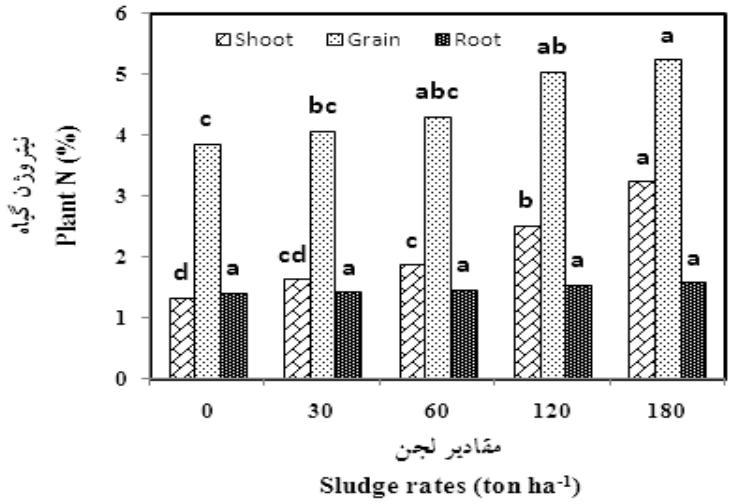
منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of fredom	نیتروژن (N)			فسفر (P)			پتاسیم (K)		
		اندام هوایی Shoot	دانه Grain	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	دانه Grain	ریشه Root	اندام هوایی Shoot	دانه Grain	ریشه Root
تکرار (Replication)	3	0.063^{ns}	0.145^{ns}	0.003^{ns}	0.001^{ns}	0.002^{ns}	0.0002^{ns}	0.090^{ns}	0.008^{ns}	0.0006^{ns}
مقادیر لجن (Sludge rates)	4	2.320**	1.488**	0.021^{ns}	0.055**	0.050**	0.025**	0.743^{ns}	0.372**	0.002^{ns}
اشتباه (Error)	12	0.022	0.188	0.008	0.001	0.005	0.001	0.384	0.023	0.001
ضریب تغییرات (CV)	-	7.01	9.61	5.97	13.32	19.11	11.84	11.33	13.84	7.68

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ١ درصد.

^{ns}, *, ** non significant, significant at 5 and 1 percent probability level, respectively.

نیتروژن: کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت نیتروژن در بخش‌های مختلف گندم شد. کم‌ترین غلظت نیتروژن اندام هوایی ١/٣٣ درصد (تیمار شاهد) و بیش‌ترین غلظت آن ٣/٢٤ درصد (تیمار ١٨٠ تن در هکتار لجن فاضلاب) بود (شکل ٩). میزان افزایش غلظت نیتروژن نسبت به شاهد در تیمارهای ٣٠، ٦٠،

۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار به‌ترتیب حدود ۲۲/۱۸، ٤۰/۷، ۸۸/۲۰ و ۱٤۲/۱۹ درصد بود. شکل ۹ نشان می‌دهد که این افزایش فقط در تیمارهای ٦۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار لجن فاضلاب نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بود. افزایش غلظت نیتروژن در بخش هوایی گیاه گندم، یک نکته مثبت تلقی می‌شود چرا که افزایش غلظت نیتروژن گیاه منجر به افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد گیاه خواهد شد. نتایج مطالعات رضایی‌نژاد و افیونی (۲۰۰۱) نیز نشان داد لجن فاضلاب موجب افزایش میزان نیتروژن در دانه و اندام هوایی گیاه ذرت گردید (۳۲). در پژوهشی که توسط نظری و همکاران (۲۰۰٦) انجام شد، افزایش میزان نیتروژن کل در دو گیاه گندم و جو توسط پساب و لجن گزارش شد (۲۹). سعادت و همکاران (۲۰۱۲) با کاربرد سطوح مختلف لجن افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن را در ذرت گزارش کردند (۳٤). اکدنیز و همکاران (۲۰۰٦) اثرات کاربرد لجن فاضلاب و نیتروژن را بر رشد سورگوم دانه‌ای بررسی و گزارش کردند که لجن فاضلاب باعث افزایش میزان نیتروژن برگ و کل گیاه و کل نیتروژن جذب شده گردید (۱).



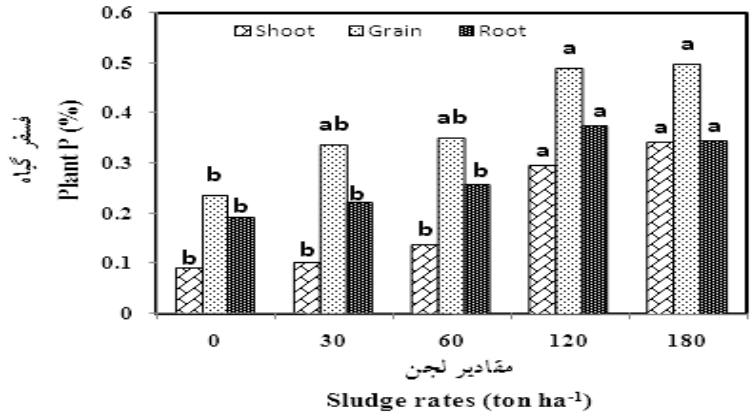
شکل ۹- اثر لجن فاضلاب بر غلظت نیتروژن گیاه.

Figure 9. Effect of sewage sludge on the concentration of plant N.

غلظت نیتروژن دانه با کاربرد لجن فاضلاب در مقادیر ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار به‌میزان ۵/٦۷ تا ۳٦ درصد افزایش یافت. این افزایش فقط در تیمارهای ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار گردید (شکل ۹). با توجه به تحرک نیتروژن در گیاه، بالاترین میزان آن در دانه گیاه دیده شد. این موضوع با توجه به نقش مهم دانه در تغذیه انسان، دارای اهمیت می‌باشد چرا که افزایش مقدار این عنصر در دانه سبب بالا رفتن پروتئین آن می‌گردد که این امر کیفیتی مطلوب‌تر را برای دانه و پخت نان فراهم می‌آورد. اثر لجن فاضلاب در تیمارهای اعمال شده بر غلظت نیتروژن کل ماده خشک ریشه با وجود روند افزایشی معنی‌دار نبود (جدول ٤).

فسفر: کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت فسفر در بخش‌های مختلف گندم شد (شکل ۱۰). فسفر کل ماده خشک اندام هوایی فقط در تیمارهای

۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان ۲۲۲/۸۲ و ۲۷۲/۸۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. ملکوتی و همکاران (۲۰۰٦) حد بحرانی فسفر در برگ گندم را حدود ۰/۱۵ درصد پیشنهاد کرده‌اند (۲۸) که با توجه به مقدار پیشنهاد شده، ملاحظه می‌شود که مصرف لجن در مقادیر ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار، نیاز فسفر گیاه را تأمین نموده و در تیمارهای مذکور غلظت فسفر اندام هوایی به بالاتر از حد بحرانی رسیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از لجن فاضلاب می‌توان استفاده از کودهای شیمیایی فسفره را به‌ویژه در شرایط خاک‌های آهکی کاهش داد.



شکل ۱۰- اثر لجن فاضلاب بر غلظت فسفر گیاه.

Figure 10. Effect of sewage sludge on the concentration of plant P.

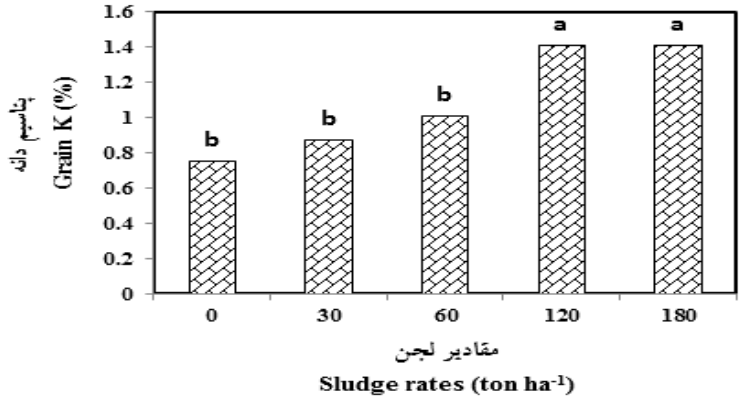
بیش‌ترین غلظت فسفر دانه مربوط به تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن و حدود ۰/٤۹۹ درصد بود که با تیمارهای ۳۰، ٦۰ و ۱۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب اختلاف معنی‌دار نداشت. افزایش فسفر دانه گندم که به مصرف تغذیه انسان می‌رسد از مزایای کاربرد لجن فاضلاب به‌حساب می‌آید. ملکوتی و همکاران (۲۰۰٦) حد کفایت فسفر دانه گندم را حدود ۰/۳۰ درصد پیشنهاد نموده‌اند (۲۸). با توجه به مقدار پیشنهاد شده و براساس نتایج حاصل از این پژوهش، غلظت فسفر دانه در تیمار شاهد کم‌تر از حد کفایت بود که با مصرف لجن فاضلاب در همه تیمارها این غلظت افزایش و به حد کفایت رسید.

مصرف لجن فاضلاب، غلظت فسفر ریشه را نیز به‌طور معنی‌دار افزایش داد (شکل ۱۰). اختلاف غلظت فسفر ریشه در تیمارهای ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هکتار نسبت به یکدیگر غیرمعنی‌دار اما نسبت به شاهد معنی‌دار بود. با وجود عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار، میزان فسفر ریشه در تیمار ۱۸۰ تن نسبت به ۱۲۰ تن کم‌تر بود که به‌نظر می‌رسد دلیل آن افزایش عملکرد گیاه در تیمار ۱۸۰ تن (شکل ۵) و در نتیجه جذب بیش‌تر فسفر توسط اندام هوایی و دانه در تیمار مذکور بود که باعث رقیق شدن فسفر در ریشه و همچنین انتقال آن به بخش هوایی گیاه شد. فسفات کافی، عمق نفوذ ریشه را افزایش داده و بدین ترتیب جذب آب از اعماق خاک را تسهیل کرده (۲۷) و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد که از مزایای کاربرد لجن فاضلاب در خاک است.

پتاسیم: جدول ٤ نشان می‌دهد که اثر کاربرد لجن فاضلاب فقط بر غلظت پتاسیم دانه گندم معنی‌دار و

در سایر بخش‌های گیاه غیرمعنی‌دار بود. کاربرد لجن فاضلاب در مقادیر ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم دانه به‌ترتیب به‌میزان ۸٦/۹ و ۸٦/٦ درصد نسبت به شاهد شد که اختلاف معنی‌دار با هم نداشتند (شکل ۱۱). سعادت و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود گزارش نمودند که کاربرد لجن تأثیری بر غلظت پتاسیم اندام هوایی ذرت نداشت (۳٤). همچنین نظری و همکاران (۲۰۰٦) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر در گندم و جو و ذرت دریافتند که کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در گندم، جو و ذرت نگردید (۲۹). در حالی‌که براساس نتایج پژوهش رضایی‌نژاد و افیونی (۲۰۰۱) کاربرد ۵۰ تن لجن فاضلاب در هکتار موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در ذرت گردید (۳۲).

حد کفایت پتاسیم در دانه گندم حدود ۰/٦-۰/٤ درصد پیشنهاد شده است (۲۸). در این پژوهش در تمام تیمارها غلظت پتاسیم گیاه بالاتر از حد کفایت بود. به‌نظر می‌رسد غلظت اولیه پتاسیم قابل استفاده در خاک (جدول ۱) برای تامین پتاسیم گیاه کافی بوده است.



شکل ۱۱- اثر لجن فاضلاب بر غلظت پتاسیم دانه.

Figure 11. Effect of sewage sludge on the concentration of plant K.

اثر مصرف لجن بر غلظت عناصر سنگین در خاک:
تجزیه خاک و گیاه نشان داد که اثر لجن فاضلاب مصرفی بر غلظت فلزات سنگین نیکل، کروم، سرب و کادمیوم معنی‌دار نشد. تجزیه واریانس اثر لجن بر غلظت عناصر مذکور فقط برای خاک در جدول ۵ نشان داده شد. عدم تأثیر معنی‌دار لجن مصرفی حتی در مقادیر بالا (۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار) بر غلظت فلزات سنگین خاک مورد بررسی در این پژوهش را می‌توان به غلظت پایین این عناصر در لجن نسبت (جدول ۱) داد که از ویژگی‌های مثبت لجن مورد استفاده به‌شمار می‌آید. الذوبی و همکاران (۲۰۰۸) نیز در پژوهشی که در خصوص اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گندم و ذرت انجام دادند، گزارش نمودند که لجن فاضلاب تأثیری بر غلظت این فلزات در دانه و کاه و کلش گندم و ذرت نداشت (۲). این نتایج مغایر نتایج پژوهش کرمی و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد که در بررسی اثر تجمعی و باقی‌مانده لجن فاضلاب شهری اصفهان بر غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه گندم، افزایش غلظت این فلزات در خاک و گیاه را در نتیجه کاربرد مقادیر زیاد لجن در فواصل زمانی کم گزارش کردند (۲۰).

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر لجن فاضلاب بر غلظت قابل استخراج فلزات سنگین در خاک.

Table 5. Analysis of variance (mean squars) of sludge effect on the extractable concentration of heavy metals in soil.

سرب (Pb)	نیکل (Ni)	کروم (Cr)	کادمیوم (Cd)	درجه آزادی Degree of fredom	منابع تغییرات Sources of variations
0.0006^{ns}	0.001^{ns}	0.001^{ns}	0.167^{ns}	3	تکرار (Replication)
0.001^{ns}	0.005^{ns}	0.0007^{ns}	1.110^{ns}	4	مقادیر لجن (Sludge rates)
0.001	0.003	0.0003	0.764	12	اشتباه (Error)
3.12	11.23	4.81	4.13	-	ضریب تغییرات (CV)

^{ns} غیرمعنی‌دار.

^{ns} non significant.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش کاربرد لجن فاضلاب شهری اردبیل در مقادیر ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار، علاوه بر افزودن ماده آلی خاک باعث افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف (N، P و K) در خاک و گیاه گندم گردید ولی تأثیری در افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک نداشت. همچنین کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد دانه و برخی صفات گندم از جمله وزن خشک اندام هوایی گردید. با توجه به این‌که در بیش‌تر صفات اندازه‌گیری شده، بهترین نتیجه در تیمارهای ۱۲۰ و ۱۸۰ تن در هکتار حاصل شد و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد بنابراین با در نظر گرفتن شوری نسبتاً بالای لجن فاضلاب و برای کاهش خطرات افزایش شوری خاک، به‌نظر می‌رسد تیمار ۱۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب برای افزایش محصول گندم در خاک آهکی مورد آزمایش، با احتیاط و پس از تأیید نتایج توسط آزمایش‌های مزرعه‌ای مناسب باشد.

منابع

1.Akdeniz, H., Yilmaz, I., Bozkurt, M.A., and Keskin, B. 2006. The effect of sewage sludge and nitrogen applications on grain sorghum grown (*Sorghum vulgare* L.) in Van-Turkey. J. Environ. Stud. 15: 19-26.

2.Al Zoubi, M.M., Arsalan, A., Abdegawad, G.N., Pejon, N., Tabbaa, M., and Jouzdan, O. 2008. The effect of sewage sludge on productivity of a crop rotation of wheat, maize and vetch and heavy metals accumulation in soil and plant Aleppo governorate. Amer.-Euras. J. Agric. Environ. Sci. 3: 4. 618-625.

3.Angin, I., and Yaganoglu, V. 2011. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. J. Agric. Sci. Technol. 13: 757-768.

4.Antolin, M.C., Pascual, I., Garcia, C., Polo, A., and Sanches-Diaz, M. 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. Field Crops Reasearch. 94: 224-237.

5.Barahimi, N., Afyuni, M., Karami, M., and Rezaee Nejad, Y. 2009. Cumulative and residual effects of organic amendments on nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in soil and wheat. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 12: 46. 803-812. (In Persian)
6.Baran, A., Cayci, G., Kutak, C., and Hartmann, R. 2001. The effect of grape mare as growing medium on growth of hypostases plant. Bioresource Technology. 78: 103-106.
7.Boostani, H.R., and Ronaghi, A. 2012. Bioavailability of nutrients in three textural classes of a calcareous soil affected by addition of sewage sludge and fertilizer after harvesting corn. J. Water Soil. 26: 2. 272-281. (In Persian)
8.Bouma, D. 1970. Effects of nitrogen nutrition on leaf expansion and photosynthesis of *Trifolium Subterraneum* L. 1. Comparison between different levels of nitrogen supply. Annals of Botany. 34: 1131-1142.
9.Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total, P 1085-1122. In: D.L. Sparks et al., (Eds.), Methods of soil analysis. Part 3, 3rd, Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI.
10.Casado-vela, J., Selles, S., Dias-Crespo, C., Navarro-Pedreno, J., Mataix-Beneyto, J., and Grmez, I. 2007. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*capsicum annuum var. annuum*) grown under two explotation regimes. Waste Management. 27: 1509-1518.
11.EPA (Environmental Protection Agency). 1994. Land application of sewage sludge. Available from, http://www.epa.gov.
12.Ghamari, N., and Danesh, Sh. 2007. Effect of sewage sludge application and leaching on soil chemical properties, yield and quality of barley. J. Agric. Engin. Res. 8: 3. 65-80. (In Persian)
13.Ghasemian Sorboni, A., Bahmanyar, M.A., and Ghajar Sepanlou, M. 2013. Effect of different periods of application of sewage sludge and municipal solid wastes compost on the amount of cadmium and nickel content of soil and borage (*borago officinadis*). Water and Wastewater. 24: 4. 80-89. (In Persian)
14.Hejazi Mehrizi, M., Shariatmadari, H., and Afyuni, M. 2013. Cumulative and residual effect of sewage sludge on inorganic P fractions and availability in a calcareous soil. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science. 17: 64. 33-43. (In Persian)
15.Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. USA. 770p.
16.Hojjati, S., Nourbakhsh, F., and Khavazi, K. 2006. Microbial biomass index, enzyme activities and corn yield in a soil amended with sewage sludge. J. Soil Water Sci. 20: 1. 84-93. (In Persian)
17.Jamil, M., Qasim, M., Umar, M., and Rehman, K. 2004. Impact of organic wastes (sewage sludge) on the yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a calcareous soil. Inter. J. Agric. Biol. 3: 465-467.
18.Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conduction soil tests and plant analysis. CRC Press, 256p.
19.Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Mashhad University Jehad Press, 502p.
20.Karami, M., Rezainajad, Y., Afyuni, M., and Shariatmadari, H. 2007. Cumulative and residual effects of sewage sludge on lead and cadmium concentration in soil and wheat. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 11: 1. 79-95. (In Persian)
21.Kasraei, R., Saedi, S., and Aliasgharzadeh, N. 2008. The study of biochemical of Tabriz petrochemical factory biological sludge application on a sample of Ahar region soils. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15: 2. 67-75. (In Persian)
22.Khorshid, M., Hosseinpur, A., and Oustan, Sh. 2009. Impacts of sewage sludge on phosphorus sorption characteristics and its availability in some calcareous soils. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 12: 46. 791-802. (In Persian)
23.Latare, A.M., Kumar, O., Singh, S.K., and Gupta, A. 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.

24.Lindsay, W.L., and Norwell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46: 260-264.
25.Mahmoudi, Sh., and Hakimian, M. 2001. Founamentals of soil science. University of Tehran Publication, Seventh Edition, 700p. (In Persian)
26.Malakouti, M.J., and Homaee, V.M. 2004. Fertility of arid region soils, problems and solutions. Tarbiat Modarres University Press, Second Edition, 494p. (In Persian)
27.Malakouti, M.J., Khougar, Z., and Khademi, Z. 2004. Innovative approach to balanced nutrition of wheat, (A complication of papers). Ministry of Jihad-e-Agriculture, Wheat Department, 851p. (In Persian)
28.Malakouti, M.J., Karimian, N., and Keshavarz, P. 2006. Diagnosis and recommendation integrated system for balanced fertilization, Sixth Edition with complete revision. Tarbiat Modarres University Press, 220p. (In Persian)
29.Nazari, M.A., Shariatmadari, H., Afyuni, M., Mobli, M., and Rahili, Sh. 2006. Effect of industrial sewage sludge and effluents application on concentration of some elements and dry matter yield of wheat, barley and corn. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 10: 3. 97-111. (In Persian)
30.Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, P 539-579. In: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keey, (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Methods, ASA and SSSA, Madison, WI.
31.Payne, W.A., Lascano, R.J., Hossner, L.R., Wendt, C.W., and Onken, A.B. 1991. Pearl millet growth as affected by phosphorus and water. Agron. J. 83: 942-948.
32.Rezaenejad, Y., and Afyuni, M. 2001. Effect of organic matter on soil chemical properties and corn yield and elemental uptake. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. 4: 4. 19-29. (In Persian)
33.Roig, N., Sierra, J., Mart, E., Nadal, E., Schuhmacher, M., and Domingo, J.L. 2012. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: effects on soil functioning. J. Agric. Ecosyst. Environ. 158: 41-48.
34.Saadat, K., Barani Motlagh, M., Dordipour, E., and Ghasemnezhad, A. 2012. 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)
35.Sadeghzadeh Ahari, D., Bahrami, S., and Pashapour, H. 2006. Evaluation of durum wheat germplasm growth habit and its relationship with some agronomic traits and grain yield in cold dryland conditions. J. Agric. Sci. 12: 3. 601-612. (In Persian)
36.Sort, X., and Alcaniz, J.M. 1999. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. Land Degradation & Development. 10: 3-12.
37.Tu, C., and Ma, L.Q. 2005. Effects of arsenic on concentration and distribution of nutrients in the fronds of the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. Environmental Pollution. 135: 333-340.
38.Wang, X., Chen, T., Ge, Y., and Jia, Y. 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. J. Hazardous Mater. 160: 554-558.
39.Whalen, J.K., and Chang, C. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soil receiving cattle manure application for 25 years. Communication of Soil Science and Plant Analysis. 23: 1011-1026.
40.Yongjie, W., and Yangsheng, L. 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. Chemosphere. 59: 1257-1265.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 5(2), 2015
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of municipal sewage sludge on the concentration of macronutrients in soil and plant and some agronomic traits of wheat

S. Fathololomi[1], *Sh. Asghari[2] and E. Goli Kalanpal[2]
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Mohaghegh Ardabili,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili
Received: 03/01/2014; Accepted: 01/12/2015

Abstract

Background and Objectives: Application of sewage sludge as a cheap and waste material is increasing for supporting plant essential elements especially in the soils of arid and semiarid regions. The results of various researches have shown that application of sewage sludge increased the content of organic carbon (OC), N, P and K in soil and plant and the yield of grain and straw in wheat, barley and corn plants. The effect of sludge on the improvement of above cited attributes mostly depends on the origin (urban or industrial) and used rate of sludge and also plant type. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of Ardabil municipal sewage sludge at the used rates on some macronutrients and heavy metal concentrations in soil and plant and also some agronomic traits of wheat.

Materials and Methods: The examined soil and sludge were prepared from a bare land in Ardabil plain and waste-water refinery of Ardabil city, respectively. The pot study was carried out as a randomized complete block design with 5 treatments and 4 replications. Treatments were: zero (control), 30, 60, 120 and 180 tons of air-dry sludge/ha. Spring wheat was sown in pots (diameter 20 cm and height 25 cm) then the soils were incubated at the temperature of 22±4 °C and moisture of 60 to 80 percent of field capacity for 100 days. The yield of grain and straw and also the concentration of N, P and K were determined in wheat components at the end of growth season. Also, the values of soil electrical conductivity (EC), OC, N, P, K, Pb, Cr, Ni and Cd were measured according to the standard methods.

Results: The results showed that application of sludge at the rates of 30 to 180 tons/ha significantly increased OC (21.94 to 176 percent), total N (81 to 310.34 percent), extractable P (16.7 to 123 percent) and extractable K (5.34 to 117.8 percent) in the soil under growth of wheat. The concentration of N, P and K in grain increased significantly in 180 tons/ha treatment about 36.04, 112.34 and 86.64 percent compared with control, respectively. Sewage application increased grain yield and wheat growth indices such as shoot dry weight, height and grain weight and leaf area. The effect of sludge application rates on the concentration of Pb, Cr, Ni and Cd was not significant in soil.

Conclusion: The best improving effect of sludge on soil and plant attributes was obtained for 120 and 180 tons/ha treatments and significant difference was not observed between these treatments. Therefore, with consideration of the high EC of used sludge, the 120 tons/ha treatment can be recommended as suitable application rate for improving chemical quality of the soil. Conducting field experiments is necessary for confirming the results of this study especially with different soils and plants.

Keywords: Heavy metals, Macronutrients, Organic carbon, Sewage sludge, Wheat

* Corresponding Authors; Email: shasghari@uma.ac.ir