# Effects of Sewage Sludge on Soil Available Potassium as Compared to Other Organic Fertilizers

*Noorbakhsh, F. and Taslimi, L.*

*MSc. and BS, respectively, College of Agriculture, Isfahan University of Technology*

**Abstract**

This paper compares the effects of application of three organic fertilizers on soil available potassium. Natural potassium supply of soils are limited and long run availability of potassium specially in intensive agricultural soils requires proper fertilizer applications. The advantage of the chemical fertilizers is purity, but in recent years overfertilization and mismanagement of chemicals has caused many environmental problems. One of the most important principles of sustainable agriculture is decreasing in chemical inputs. In most cases, organic fertilizers are good substitutes for chemicals. In this laboratory study ( complete random design in a factorial experiment ), the effects of three organic fertilizers on temporal pattern of available potassium at seven days time intervals were studied. Results indicated that available potassium of soils significantly increases, but the rate of the increases were different depending on the organic fertilizer and soil type. Sewage sludge in comparison with compost and cattle manure had less effect and the cattle manure was the most effective one. Study of temporal trends indicated that the most parts of fertilizer potassium released and became available at the end of first week and the following changes to the end of fourth week are not considerable. It is also concluded that significant increase of available potassium due to application of sewage sludge, occured in coarse textured soils where original levels of potassium were not high. But the same treatment on the fine textured soils was not singificant. This is perhaps because of high quantity of potassium in exchange complex of the fine textured soils.

# بررسی اثر لجن فاضلاب بر تغییرات پتاسیم قابل جذب خاک

## در مقایسه با برخی کودهای آلی

فرشید نوربخش * لیلا تسلیمی **

**چکیده**

**منابع پتاسیم موجود در خاک محدود است. برای تداوم جذب پتاسیم به وسیله گیاه در کشاورزی متراکم، تأمین آن از منابع کود ضروری است. اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند نیاز پتاسیم گیاه را بر طرف کند، ولی مصرف بی‌رویه آنها در اکوسیستم‌های کشاورزی در سالهای اخیر مشکلات زیادی به همراه داشته است. یکی از اصول کشاورزی پایدار کاهش نهاده‌های شیمیایی است. کودهای آلی جایگزین مناسبی برای برخی کودهای شیمیایی می‌باشند. در این مطالعه که به صورت آزمایشگاهی در قالب یک طرح آماری و کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل ( با سه فاکتور نوع خاک، نوع کود و زمان نگهداری ) صورت گرفت، سه منبع کود آلی ( کود لجن فاضلاب، کود کمپوست و کود گاوی ) انتخاب گردید و به دو خاک مختلف ( خاک دانشگاه صنعتی و خاک مزرعه لورک ) اضافه گردید و روند تغییرات میزان پتاسیم قابل جذب خاک در فواصل زمانی هفت روز تا مدت یک ماه اندازه گیری شد. نتایج نشان می‌دهد که کلیه کودهای آلی مورد مطالعه باعث افزایش پتاسیم قابل جذب خاک می‌شوند، لیکن شدت افزایش پتاسیم قابل جذب خاک در اثر افزودن سه کود مختلف یکسان نیست به طوری که لجن فاضلاب کمترین افزایش و کود گاوی بیشترین افزایش را ایجاد می‌کند. همچنین مطالعه روند تغییرات زمانی پتاسیم قابل جذب خاک نشان می‌دهد که بخش عمدهٔ پتاسیم کودها در پایان هفته اول آزاد شده و به منابع پتاسیم خاک پیوسته و پس از آن تا پایان هفته چهارم تغییرات اندکی نموده است. دیگر نتیجه به دست آمده نشان می‌دهد که بافت خاک پس از افزودن مواد آلی بر تغییرات پتاسیم خاک تأثیر معنی‌دار می‌گذارد که ممکن است به خاطر متفاوت بودن ذخایر پتاسیم خاک بوده باشد.**

**مقدمه**

پتاسیم یکی از عناصر مورد نیاز گیاه است. در بین عناصر غذایی، پس از نیتروژن بیشترین جذب مربوط به پتاسیم است [ ۲ ]. معمولاً پتاسیم خاک به شکل‌های مختلف از جمله: پتاسیم محلول، تبادلی، غیرقابل تبادل و پتاسیم ساختمان کانیها وجود دارد، که از بین آنها پتاسیم محلول و تبادلی برای گیاه قابل جذب

* عضو هیأت علمی ( مربی ) دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
** دانشجوی کارشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان



است. در خاکهایی که در آنها کشاورزی به صورت متراکم انجام می‌گیرد و همچنین در خاکهای شنی، احتمال تخلیه ذخایر قابل جذب پتاسیم بیشتر است و این ممکن است باعث بروز کمبود در گیاه و کاهش عملکرد محصولات زراعی گردد [ ۱۳ ].

یکی از مؤثرترین راههای تأمین ذخایر پتاسیم خاک افزودن کودهای آلی است [ ۱۳ ]. کودهای آلی از زمان‌های قدیم به وسیله کشاورزان استفاده می‌شده‌اند [ ۱۵ ]. با احداث کارخانه‌های کود شیمیایی و تولید انبوه کودهای ارزان قیمت که حاوی درصد زیادی از عناصر غذایی هستند، استفاده از کودهای آلی مورد غفلت واقع گردید. تا قبل از دهه ۱۹۹۰ تمایل به تولید بیشتر در واحد سطح بدون توجه به آثار مخرب و عواقب زیست محیطی آن از جمله عوامل دیگری بود که باعث جایگزین شدن کودهای شیمیایی به عنوان منبع عناصر غذایی گردید. در ابتدای دهه پایانی قرن بیستم با پدیدار شدن آثار جانبی استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، اهداف اصلی سیستم‌های کشاورزی تغییر کرد به گونه‌ای که رسیدن به حالت پایدار یا خود پایا، جای تولید بیشتر در واحد سطح را گرفت [ ۵ ]. یکی از مشخصات سیستم‌های کشاورزی پایداری، این است که نهاده‌های سیستم ( از جمله مواد شیمیایی ) به حداقل برسد تا ضایعات ناشی از آب‌شویی، رواناب و تصاعد کاهش یابد. کاهش چنین ضایعاتی بدون استفاده از منابع مختلف کودهای آلی به جای منابع شیمیایی ممکن نیست. در این راستا نیز در کشور ما کوششهایی جهت نیل به کشاورزی پایدار از طریق بهینه سازی مصرف کود صورت گرفته است [ ۱۱ ]. چنین به نظر می‌رسد که عدم تعادل در استفاده از کود منجر به تجمع مقادیر زیادی فسفر در خاکهای کشاورزی شده و در مقابل مواد آلی، پتاسیم و عناصر کم مصرف مورد بی‌توجهی واقع گردیده‌اند [ ۱۱ ]. از طرف دیگر کودهای شیمیایی ترکیباتی به نسبت محلول بوده و افزودن آنها به خاک ممکن است غلظت یون‌ها را تا بیش از حد تحمل بسیاری از موجودات زنده خاک‌زی افزایش دهد و به تدریج فعالیت آنها را متوقف نماید [ ۲۲ و ۲۵ ]. استفاده بی‌رویه از منابع معدنی نیتروژن به صورت کودهای شیمیایی باعث کاهش فعالیت تثبیت نیتروژن به روشهای آزادزی ( به وسیله باکتریهای ازتوباکتر، بیجرینکیا، درکسیا )، همیاری ( به وسیله باکتری ازوسپریلوم ) و همزیستی ( به وسیله باکتری ریزوبیوم و برادی ریزوبیوم با گیاهان خانواده بقولات )، گردیده است [ ۷ ]. همچنین استفاده بی‌رویه از منابع فسفر معدنی به صورت کودهای شیمیایی، همزیستی قارچهای خاک‌زی میکوریز ( به ویژه میکوریز وسیکولار - آربوسکولار ) را **محدود کرده است [ ۱۴ ]. استفاده بی‌رویه از منابع معدنی پتاسیم در کشت گیاهانی چون سیب‌زمینی که نیاز زیادی به پتاسیم دارند** ممکن است از یک سو شرایط را برای مصرف لوکس مهیا نموده و از سوی دیگر باعث آب‌شویی این عنصر از خاکهای شنی گردد [ ۱۳ ]. برای جلوگیری از بروز چنین مسائل و مشکلات بیولوژیکی و یا زیست محیطی که منجر به کاهش پایداری سیستم خاک می‌شود، جایگزین نمودن منابع کود آلی، حداقل به جای بخشی از منابع معدنی عناصر غذایی، الزامی است.

از طرف دیگر کاهش مواد آلی باعث تخریب خواص فیزیکی و افزایش فرسایش خاک گردیده است و امروزه دشواریهای مربوط به تخریب فیزیکی خاکها مانند سلهٔ سطحی، فشردگی، نفوذ کند آب، مسائل زهکشی، شوری و قلیائیت، فرسایش و آلودگی، باروری خاکها را در همه جای دنیا به مقدار زیادی کاهش داده است. این پدیده مربوط به کاهش مواد آلی خاک می‌باشد [ ۴ ].

سالانه به طور طبیعی حدوداً ۳درصد از مواد آلی هوموسی شده خاک تجزیه می‌شود [ ۷ و ۲۲ ] و در صورتی که این مقدار به وسیله ماده آلی مناسب جایگزین نگردد، در درازمدت اثرات نامناسبی بر ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بر جای می‌نهد [ ۱۳ و ۲۷ ]. مقدار مواد آلی در بیش از ۶۰درصد خاکهای زیرکشت در ایران کمتر از یک درصد و در بخش قابل توجه از آن کمتر از ۰/۵ درصد است. منابع تأمین مواد آلی برای خاکهای زیرکشت در ایران بسیار محدود بوده و در حال حاضر حداکثر ۳۵درصد از نیاز اراضی زیرکشت آبی کشور را تأمین می‌کند [ ۱۰ ]. کودهای آلی علاوه بر بهبود وضع فیزیکی خاک با تأمین اغلب عناصر ضروری، باعث افزایش عملکرد گیاهان می‌شوند [ ۳ و ۱۷ ].

لجن فاضلاب یکی از مهمترین پس مانده‌های آلی است

که به عنوان کود مورد استفاده قرار می‌گیرد. چانگ ( ۱۹۸۱ ) نشان داد که مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در فاضلابهای شهری ایالات متحده آمریکا به ترتیب ۱۷/۶ - ۰/۱، ۱۴/۳ - ۰/۱ و ۲/۶۴ - ۰/۰۲ درصد است که نشان می‌دهد مقادیر پتاسیم لجن فاضلاب به طور قابل توجهی کمتر از نیتروژن و فسفر آن است [ ۱۶ ]. الیوت و استیونسن نیز مقدار پتاسیم لجن فاضلاب را در مقایسه با سایر عناصر پر نیاز اندک گزارش نمودند [ ۱۸ ]. از مقایسه نتایج تجزیه کودهای آلی مختلف چنین به نظر می‌رسد که پتاسیم کل در لجن فاضلاب اغلب کمتر از کودهای آلی چون کودگاوی و کود کمپوست است [ ۳، ۱۷، ۲۴ و ۲۵ ]. لجن فاضلاب و تأثیرات آن بر خاک بیشتر از جهت فلزات سنگین بررسی شده [ ۱، ۶ و ۸ ] و تغییرات عناصر ضروری گیاه کمتر مورد توجه قرار گرفته است به طوری که از تغییرات زمانی عناصر غذایی مانند پتاسیم، پس از افزودن کود آلی به خاک اطلاع چندانی در دست نیست.

دو خاک مورد مطالعه در این آزمایش ( خاک دانشگاه صنعتی اصفهان و خاک لورک )، خاکهای تحت کشت بوده و به هر دو آنها اغلب جهت افزایش حاصلخیزی، کودهای آلی اضافه می‌گردد. لیکن از تأثیر این کودها بر تغییرات پتاسیم خاک و الگوی زمانی تغییرات آن اطلاع چندانی در دست نیست.

هدف از انجام این مطالعه آزمایشگاهی، عبارت است از بررسی تغییرات پتاسیم قابل جذب خاک در اثر افزودن لجن فاضلاب در مقایسه با سایر کودهای آلی. همچنین الگوی تغییرات زمانی کوتاه مدت ( یک ماهه ) پتاسیم قابل جذب پس از اعمال کودهای آلی مختلف نیز بررسی گردید.

## مواد و روشها

در این تحقیق آزمایشگاهی، دو خاک مورد مطالعه قرار گرفتند. این دو خاک عبارت بودند از ۱- خاک دانشگاه صنعتی اصفهان ( توری اورتنت[1] ) و خاک مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی واقع در لورک ( هاپل آرجید[2] ). نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. درصد ذرات سیلت، رس و شن به روش هیدرومتر [ ۱۹ ]، مواد آلی خاکها به روش واکلی و بلاک [ ۲۱ ] و ظرفیت تبادل کاتیونی خاکها نیز به روش استات آمونیوم [ ۲۳ ] تعیین گردید. همچنین از کود لجن فاضلاب، کود کمپوست زباله و کودگاوی به عنوان منابع آلی تأمین کننده پتاسیم ( کود آلی ) استفاده گردید. این کودها قبل از آزمایش، درون آون مجهز به تهویه در دمای ۶۵درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس درصد کربن آلی آنها به روش واکلی و بلاک اندازه گیری شد. نمونه‌های یک گرمی کودها به روش سوزاندن خشک به خاکستر تبدیل شده و خاکستر حاصل در اسید کلریدریک ۲ نرمال حل شد و پتاسیم آن به روش فلیم فتومتری اندازه گیری گردید [ ۹ ].

تحقیق آزمایشگاهی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی به صورت آزمایش فاکتوریل با سه فاکتور مختلف: خاک ( در دو سطح )، کود آلی ( در چهار سطح ) و زمان نگهداری ( در پنج سطح ) و با سه تکرار در داخل ظروف پلی‌اتیلن و در دمای آزمایشگاه صورت گرفت. تیمارهای خاک شامل خاک دانشگاه صنعتی ( توری اورتنت ) و خاک لورک ( هاپل آرجید ) و چهار تیمار کودی شامل: شاهد ( بدون دریافت کود )، لجن فاضلاب، کمپوست و کودگاوی بودند که به میزان ۱/۵درصد با هر یک از خاکها مخلوط گردید. پنج زمان نگهداری نیز شامل ۰، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز در نظر گرفته شد.

بنابراین آزمایش به صورت فاکتوریل ( ۵×۴×۲ ) و با سه تکرار مجموعاً در ۱۲۰ ظرف پلی‌اتیلن صورت گرفت. در هر یک از ظرفها ۴۰۰گرم از خاکهای تیمار شده ریخته شد و رطوبت آن با آب مقطر به ظرفیت مزرعه ( FC ) رسانیده شد. ظرفیت مزرعه خاکها بر اساس معادلات تجربی موجود تخمین زده شده بودند [ ۱۲ ]. درب ظرفها جهت کاهش تبخیر کاملاً بسته شد و برای جلوگیری از وقوع شرایط بیهوازی و تسهیل تهویه خاک روی درب هر یک از ظروف سه سوراخ به قطر یک میلی‌متر تعبیه گردید. با وجود این در مدت نگهداری تیمارها هر سه روز یک بار محتوی ظروف به وسیله کاردک تمیز مخلوط شده، سپس توزین شده و در صورت نیاز، آب مقطر به آنها اضافه می‌گردید تا خاکها همچنان در رطوبت ظرفیت مزرعه باقی بمانند.

1- Torriorthent 2- Haplargid



پس از پایان مدت نگهداری از هر یک از ظروف یک نمونه ۵ گرمی انتخاب و به وسیله استات آمونیوم یک نرمال به کمک شیکر و سانتریفوژ [ ۲۶ ] پتاسیم قابل جذب آن عصاره گیری شده و مقدار آن به روش فلیم فتومتری [ ۲۰ ] اندازه گیری گردید.

## نتایج و بحث

نتایج برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی در خاک‌ها و کودهای آلی مورد مطالعه در جداول ۱ و ۲ مشاهده می‌شوند. از نظر شرایط تشکیل، خاک دانشگاه صنعتی بر روی دامنه‌های سنگریزه‌دار تشکیل شده و بافت آن لوم شنی سنگریزه‌دار است. مزرعه لورک بر روی تراسهای فوقانی زاینده‌رود تشکیل شده و بافت آن لوم سیلتی بوده و فاقد سنگریزه است. هر دو خاک تحت کشت محصولات زراعی مختلف قرار گرفته و کود آلی دریافت می‌کنند. درصد ماده آلی خاک لورک تقریباً چهار برابر خاک دانشگاه صنعتی است و ظرفیت تبادل کاتیونی آن نیز به دلیل وجود مقادیر بیشتر رس و ماده آلی بیش از ظرفیت تبادل کاتیونی خاک دانشگاه صنعتی است ( جدول ۱ ). در بین کودهای آلی مورد استفاده، لجن فاضلاب بیشترین درصد ماده آلی را به خود اختصاص می‌دهد، ولی میزان پتاسیم کل آن از دو کود آلی دیگر کمتر است ( جدول ۲ ).

روند تغییرات زمانی پتاسیم خاک برای خاک دانشگاه صنعتی پس از افزودن سه کود آلی ( شکل ۱ ) نشان می‌دهد که: الف - کلیهٔ کودهای آلی باعث افزایش پتاسیم خاک شده‌اند. ب - مقدار افزایش پتاسیم در اثر افزودن سه کود یکسان نبوده است به طوری که این تأثیر افزاینده برای کودگاوی از همه بیشتر و برای لجن فاضلاب از همه کمتر است. ج - در پایان هفته اول نگهداری، بخش عمده پتاسیم کودها آزاد شده است و به پتاسیم خاک پیوسته و پس از آن تا پایان هفته چهارم تغییرات چندانی نکرده است.

مشاهدات فوق تقریباً برای روند تغییرات زمانی پتاسیم خاک لورک ( شکل ۲ ) نیز صادق است با این تفاوت که سطح اولیه پتاسیم این خاک تقریباً دو برابر سطح اولیه پتاسیم خاک دانشگاه صنعتی است ( به تفاوت مقیاس در شکل‌های ۱ و ۲ توجه شود ). افزودن لجن فاضلاب، به میزان ۱/۵درصد افزایش قابل ملاحظه‌ای در پتاسیم قابل جذب خاک لورک در مقایسه با تیمار شاهد نداشته است ولی کود کمپوست و کودگاوی، پتاسیم قابل جذب این خاک را افزایش داده‌اند.

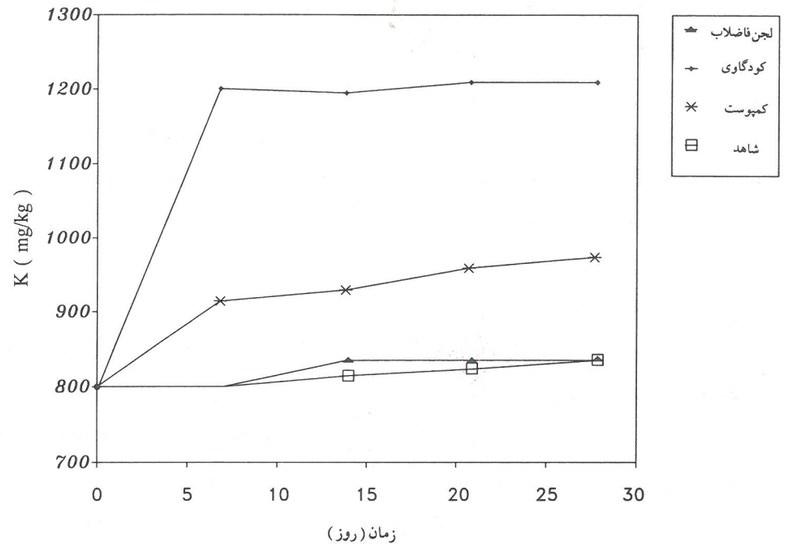
جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

| خاک | درصد | | | | CEC* | pH | EC | گروه بزرگ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | شن | سیلت | رس | مواد آلی | cmol/kg | | dS/m | |
| دانشگاه صنعتی | ۷۲ | ۱۸ | ۱۰ | ۰/۳ | ۴/۱ | ۷/۶ | ۴/۷ | توری اورتنت |
| لورک | ۲۹ | ۴۵ | ۲۶ | ۱/۲ | ۱۱/۳ | ۷/۹ | ۰/۸ | هاپل آرجید |

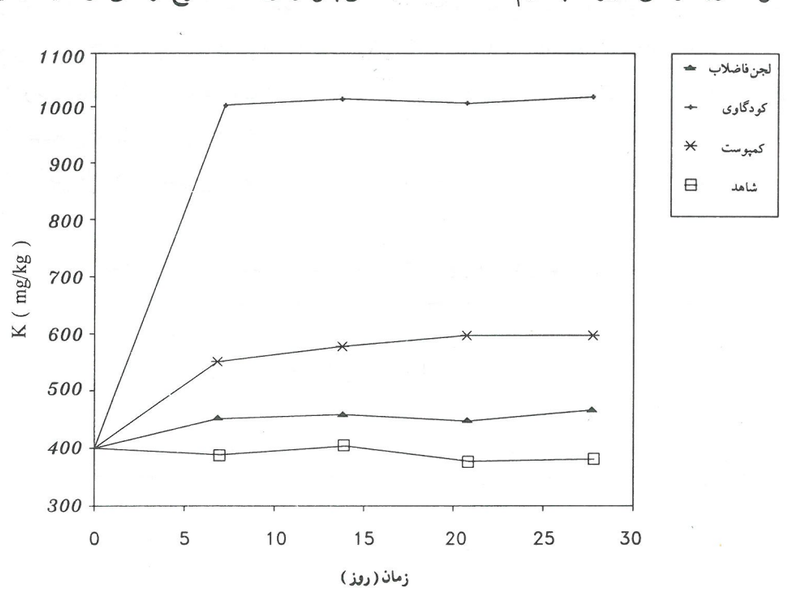
* Cationic Exchange Capacity

جدول ۲- درصد مواد آلی و پتاسیم کل کودهای آلی مورد مطالعه

| کود آلی | درصد | |
|---|---|---|
| | مواد آلی | پتاسیم کل |
| لجن فاضلاب | ۳۲/۷ | ۰/۳ |
| کمپوست | ۲۱/۱ | ۱/۱ |
| کودگاوی | ۱۷/۶ | ۲/۴ |




**شکل ۱- روند زمانی تغییرات پتاسیم خاک دانشگاه صنعتی پس از دریافت سه نوع کود آلی در مقایسه با تیمار شاهد**




**شکل ۲- روند زمانی تغییرات پتاسیم خاک مزرعه لورک پس از دریافت سه نوع کود آلی در مقایسه با تیمار شاهد**

جدول ۳، نتایج تجزیه واریانس تحقیق را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، تأثیر تمامی منابع تغییرات، در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. مقادیر پتاسیم اولیه در خاک‌های مورد آزمایش با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشته‌اند، به طوری‌که مقادیر اولیه پتاسیم در خاک‌های دانشگاه صنعتی و لورک به ترتیب ۴۰۹/۲ و ۷۹۹/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که این تفاوت فاحش باعث معنی‌دار شدن اثر تیمار خاک در جدول تجزیه واریانس گردیده است.



**جدول ۳- تجزیه واریانس تیمارها**

| منابع تغییر | درجه آزادی | MS | F |
|---|---|---|---|
| تیمار | ۳۹ | ۱۹۹۳۰۱/۰ | ۱۲۳۲/۳** |
| نوع خاک | ۱ | ۳۴۰۹۰۹۲/۳ | ۲۱۰۷۸/۵** |
| نوع کود | ۳ | ۹۶۱۸۶۲/۴ | ۵۹۴۷/۲** |
| زمان | ۴ | ۱۴۸۹۲۸/۴ | ۹۲۰/۸** |
| کود × خاک | ۳ | ۳۵۳۰۶/۹ | ۲۱۸/۳** |
| زمان × خاک | ۴ | ۵۴۵۲/۶ | ۳۳/۷** |
| زمان × کود | ۱۲ | ۶۰۵۰۷/۶ | ۳۷۴/۱** |
| زمان × خاک × کود | ۱۲ | ۲۳۷۷/۱ | ۱۴/۷** |
| خطا | ۸۰ | ۱۶۱/۷ | |
| کل | ۱۱۹ | ۷۷۸۵۶۷۹/۹ | |

** معنی‌دار در سطح ۱٪

**جدول ۴- مقایسه میانگین پتاسیم تیمارها ( میلی‌گرم بر کیلوگرم )**

| خاک دانشگاه صنعتی اصفهان | | | | |
|---|---|---|---|---|
| زمان ( روز ) | شاهد | لجن فاضلاب | کمپوست | کودگاوی |
| ۰ | ۴۰۹/۲a | ۴۰۹/۲d | ۴۰۹/۲d | ۴۰۹/۳d |
| ۷ | ۴۰۰/۰a | ۴۶۶/۶abc | ۵۷۰/۱c | ۹۹۰/۱abc |
| ۱۴ | ۴۱۰/۰a | ۴۷۰/۱ab | ۵۹۶/۷abc | ۱۰۰۳/۳ab |
| ۲۱ | ۴۰۱/۲a | ۴۶۳/۳abc | ۶۱۰/۲ab | ۹۹۱/۸abc |
| ۲۸ | ۴۰۱/۴a | ۴۷۶/۶a | ۶۱۶/۶a | ۱۰۰۵/۳a |
| خاک لورک | | | | |
| زمان ( روز ) | شاهد | لجن فاضلاب | کمپوست | کودگاوی |
| ۰ | ۷۹۹/۹bcd | ۷۹۹/۹b | ۷۹۹/۹d | ۷۹۹/۹b |
| ۷ | ۸۰۰/۱bcd | ۸۰۰/۴b | ۹۱۰/۲c | ۱۱۹۶/۶a |
| ۱۴ | ۸۱۳/۳abc | ۸۳۰/۲a | ۹۲۰/۵bc | ۱۱۹۲/۲a |
| ۲۱ | ۸۲۱/۴ab | ۸۰۳/۳ab | ۹۴۹/۳ab | ۱۲۰۸/۷a |
| ۲۸ | ۸۳۰/۱a | ۸۲۰/۴a | ۹۵۳/۳a | ۱۲۱۲/۱a |

اعداد مربوط به هریک از خاکها و در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشند.

چنانچه در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد، کودها نیز از نظر مقدار پتاسیم با یکدیگر تفاوت زیاد داشته‌اند، که این تفاوت اثر کود را نیز معنی‌دار کرده است. چنان‌که در شکل‌های ۱ و ۲ ملاحظه می‌گردد افزودن کود آلی، اغلب در هفته نخست نگهداری، پتاسیم قابل استفاده خاک را به طور قابل توجهی افزایش داده است. جدول مقایسه میانگین‌ها ( جدول ۴ ) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. چنان‌که در این جدول ملاحظه می‌شود با گذشت زمان تغییر معنی‌داری در مقدار پتاسیم تیمارهای شاهد هیچیک از خاکها اتفاق نیفتاده است که نشان می‌دهد در این مدت زمان بدون دریافت کود تغییری در پتاسیم قابل

استفاده خاک حاصل نمی‌شود. علت عدم تغییر پتاسیم در تیمار شاهد این است که از یک سو مواد آلی طبیعی خاک فاقد پتاسیمی هستند که با گذشت زمان رها شود، و از سوی دیگر این مدت زمان نگهداری برای رها سازی پتاسیم از کانیها نیز کافی نیست.

افزودن لجن فاضلاب به خاک لورک نیز تقریباً روندی چون روند تغییرات تیمار شاهد آن خاک را داشته است زیرا در پایان هفته اول تغییر معنی‌داری حاصل نشده ولی در پایان هفته چهارم نسبت به شرایط نخستین، تغییر مختصری ظاهر شده است.

جدول ۴ همچنین نشان می‌دهد که در سایر موارد یک تغییر ناگهانی معنی‌دار، در پتاسیم قابل جذب در هفته اول نگهداری اتفاق می‌افتد که برای خاک دانشگاه صنعتی در مورد تمام کودها و برای خاک لورک در مورد کود کمپوست و کود گاوی معنی‌دار بوده است.

بنابراین می‌توان چنین برداشت نمود که قسمت عمده پتاسیم کود آلی در هفته اول در خاک رها می‌شود. این وضعیت خاص با توجه به تمایلات شیمیایی پتاسیم قابل توجیه است [۲]، زیرا پتاسیم بر خلاف نیتروژن، فسفر و گوگرد تمایل چندانی جهت تشکیل پیوندهای قوی ( از قبیل کو والانسی ) با مواد آلی ندارد. لذا این پیوند حداکثر به صورت پیوندهای الکترو استاتیکی با گروههای عامل حاوی بار منفی ( از قبیل کربوکسیل و فنول ) در مواد آلی است که قدرت چندانی نداشته و به راحتی شکسته می‌شوند. بنابراین قسمت عمده پتاسیم در همان هفته اول نگهداری از مواد آلی خارج شده و به بخش محلول یا تبادلی خاک می‌پیوندد. به نظر می‌رسد، در این رهاسازی میکروارگانیسم‌ها نقش چندانی نداشته باشند زیرا فرایند تجزیه مواد آلی به وسیله میکروارگانیسم‌ها یک فرایند تدریجی است که روند آن با روند رهاسازی پتاسیم در خاکهای مورد مطالعه مطابقت ندارد. بنابراین معنی‌دار شدن تیمار زمان در جدول تجزیه واریانس ( جدول ۳ ) به دلیل رهاسازی ناگهانی پتاسیم در هفته نخست آزمایش است.

تأثیرات متقابل سه عامل مورد مطالعه و نیز تأثیر متقابل خاک و کود معنی‌دار گردیده است ( جدول ۳ ). به طوری که قبلاً نیز بیان گردید، لجن فاضلاب، پتاسیم خاک لورک را افزایش چندانی نداده است، حال آن که افزایش قابل توجهی در پتاسیم قابل جذب خاک دانشگاه صنعتی ایجاد نموده است، به گونه‌ای که این افزایش در همان هفته نخست نمایان شده است. همچنین کودگاوی، پتاسیم قابل جذب خاک لورک را تقریباً ۵۱درصد افزایش داده، حال آن که این افزایش برای خاک دانشگاه صنعتی ۱۴۵ درصد بوده است. تأثیر متقابل زمان نگهداری و خاک نیز معنی‌دار شده است ( جدول ۳ ). معنی‌دار شدن این تأثیر متقابل بدین معنی است که اگر چه بخش عمده رهاسازی پتاسیم کودها در همان هفته اول صورت گرفته است لیکن دو خاک مورد مطالعه از نظر تأثیر بر الگوی زمانی رهاسازی پتاسیم از کود تأثیر کاملاً یکسانی نداشته‌اند. به نظر می‌رسد مهمترین عامل معنی‌دار شدن این تأثیر متقابل تیمار لجن فاضلاب بوده است، زیرا روند رهاسازی پتاسیم از دو کود گاوی و کمپوست در دو خاک مورد مطالعه تقریباً یکسان است. ولی همان طور که مقایسه شکل‌های ۱ و ۲ و همچنین مطالعه جدول مقایسه میانگین‌ها ( جدول ۴ ) نشان می‌دهد، روند زمانی رها شدن پتاسیم از لجن فاضلاب در دو خاک یکسان نبوده است. زیرا پتاسیم خاک لورک پس از افزودن کود با سطح اولیه خود تفاوت چندانی نداشته است اما در خاک دانشگاه صنعتی در همان هفته نخست نگهداری افزایش یافته و تا پایان هفته چهارم تغییر عمده‌ای ننموده است.

تأثیر متقابل زمان نگهداری و کود نیز معنی‌دار شده است. مفهوم معنی‌دار شدن این تأثیر متقابل آن است که صرف نظر از تأثیر نوع خاک، کودها نیز بر الگوی زمانی رهاسازی پتاسیم تأثیر داشته‌اند و این الگوی رهاسازی برای هر سه کود مورد مطالعه یکسان نبوده است. بررسی مجدد شکل‌های ۱ و ۲ و جدول مقایسه میانگین‌ها ( جدول ۴ ) نشان می‌دهد که الگوی رهاسازی پتاسیم از کود کمپوست با کودگاوی متفاوت است.

**وجود روند افزایشی در پتاسیم خاک تیمار شده با کود کمپوست** بین پایان هفته اول تا پایان آزمایش بیانگر آن است که رهاسازی پتاسیم از این کود تدریجی‌تر از دو کود دیگر ( به ویژه کود گاوی ) بوده، به گونه‌ای که بین مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در پایان هفته اول و پایان آزمایش تفاوت معنی‌دار وجود دارد.



چنین تفاوت معنی‌داری برای دو کود دیگر مشاهده نمی‌شود. بنابراین علت معنی‌دار شدن تأثیر متقابل نوع کود و زمان نگهداری به علت تفاوت الگوی رهاسازی پتاسیم برای کود کمپوست است. تدریجی‌تر بودن آزاد سازی پتاسیم در کود کمپوست ممکن است مربوط به مقاومت بیشتر ترکیبات آلی آن باشد، که نشان می‌دهد ممکن است میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده بر این الگوی زمانی تأثیر بیشتری نسبت به سایر کودهای آلی مورد مطالعه داشته باشند. به هر حال ارائه دلیل قطعی در این مورد نیازمند تحقیقات بیشتری است.

معنی‌دار شدن اثر متقابل زمان نگهداری × نوع خاک × نوع کود ( اثر متقابل رده دوم ) نیز با توجه به معنی‌دار شدن تأثیرات متقابل فوق قابل انتظار است.

## نتیجه گیری

به طور کلی می‌توان چنین استنباط نمود که :

با افزودن کودهای آلی، ویژگیهای شیمیایی و تغذیه‌ای خاک نیز بهبود می‌یابد. یکی از ویژگیهای تغذیه‌ای خاکها وضعیت پتاسیم قابل جذب است که با افزودن این کودها افزایش یافته است. بخش عمده پتاسیم در نخستین روزها پس از افزودن کود آلی، در خاک رها می‌شود.

۲- خاکهای مختلف تأثیر یکسانی از افزودن کودهای آلی نمی‌پذیرند. این تأثیر به ویژه برای خاکهای سبک بافت که از سطح اولیه پتاسیم کمتری برخوردار هستند مهمتر و قابل توجه‌تر است.

۳- کودهای آلی مختلف تأثیر یکسانی بر پتاسیم قابل جذب خاک ندارند. لجن فاضلاب کمترین و کودگاوی بیشترین تأثیر را در افزایش پتاسیم قابل جذب خاک داشته است.

۴- به نظر می‌رسد برای کشت محصولاتی مانند سیب زمینی که از یک سو نیازمند خاکهای سبک بافت و از سوی دیگر نیازمند پتاسیم زیادی در مقایسه با غلات می‌باشند، افزودن کود آلی به خاک یک راه حل مدیریتی بسیار مناسب است زیرا از یک سو نیاز زیاد پتاسیم گیاه را برطرف کرده و از سوی دیگر با کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک توسعه غده سیب‌زمینی را بهبود می‌بخشد.

## سپاسگزاری

هزینه انجام این تحقیق به وسیله دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین گردیده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌گردد.

## منابع و مراجع

۱- افیونی، م. و ف. نوربخش. ۱۳۷۵، قابلیت جذب برخی عناصر سنگین در خاکهای آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب به وسیله گیاه سورگوم، مجله آب و فاضلاب، شماره ۲۰، صفحه ۹-۴.

۲- حق‌نیا، ع. و ع. ریاضی همدانی، ۱۳۶۸، اصول و دیدگاههای تغذیه معدنی گیاهان، مرکز نشر دانشگاهی، ۴۱۰ صفحه ( ترجمه ).

۳- حق‌نیا، ع.، ۱۳۷۰، خاک شناخت، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۶۳۰ صفحه ( ترجمه ).

۴- حق‌نیا، ع.، ۱۳۷۵، مدیریت پایدار خاک، مجموعه خلاصه مقالات کنگره پنجمین کنگره علوم خاک ایران، انجمن علوم خاک ایران، صفحه ۱۲-۱۱.

۵- خاتون آبادی، ا.، ۱۳۷۶، بررسی سیر تحول فلسفه و استراتژی توسعه کشاورزی در قرن بیستم میلادی و چشم انداز آن در قرن ۲۱، مجموعه مقالات نقش صنعت در کشاورزی، شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان، صفحه ۴۴۰-۴۰۷.

۶- خیامباشی، ب.، ۱۳۷۶، اثر استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود در آلایش و انباشت عناصر سنگین در خاک و گیاه، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷- صالح راستین، ن.، ۱۳۷۵، نقش ریزوبیوم ها در پایداری خاک، مجموعه خلاصه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران، انجمن علوم خاک ایران، صفحه ۱۰-۸.

۸- عرفان منش، م.، ۱۳۷۶، اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر برخی خصوصیات خاک و جذب و تراکم فلزات سنگین به وسیله اسفناج و گوجه فرنگی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۹- غازان شاهی، ج.، ۱۳۷۶، آنالیز خاک و گیاه، چاپ هما، ۳۱۱ صفحه.

۱۰-کلباسی،م.۱۳۷۵، وضعیت مواد آلی در خاکهای ایران و نقش کود کمپوست، مجموعه خلاصه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران، انجمن علوم خاک ایران، صفحه ۷.

۱۱-ملکوتی،م.ج.،۱۳۷۵، افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران در جهت نیل به کشاورزی پایدار، مجموعه خلاصه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران، انجمن علوم خاک ایران، صفحه ۳.

۱۲-نوربخش،ف.و.م.افیونی، ۱۳۷۵، تعیین آب قابل استفاده گیاه از روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، گزارش طرح تحقیقاتی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۳-نوربخش،ف.و.م.کریمیان اقبال، ۱۳۷۶، حاصلخیزی خاک، انتشارات غزل، ۳۲۸ صفحه (ترجمه).

14- Barea, J.M. ( 1991 ). " *Vesicular - Arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility* ", Adv. Soil Sci., Vol. 45:1-35.

15- Barady, N. C. ( 1990 ). " *The Nature and Properties of Solis* ", 10th edition, Mcmillan Publishing Company. N.Y.

16- Chang, A.C., Page, A.L. and F.T. Bingham.(1981)." *Chemical composition of wastewater and sludge* ", J. WPCF,53 (2):237-243.

17- Donahue, R.L., Miller, M. and J.C. Shickluna. ( 1987). " *Soils, An Introduction to Soils and Plant Growth* ",Prentice Hall, 677p.

18- Elliot, L.F. and F.J. Stevenson. ( 1997 ). " *Soil for Management of Organic Waste and Wastewater* ", ASA, Madison, WI, USA.

19- Gee, G. W. and J. W. Bauder. ( 1986 ). " *Particle size analysis* ", In A. Klute ( ed. ) Methods of Soil Analysis, Part 1, Am. Soc. Agron. 9: 383-411.

20- Kundson, D., Peterson, G.A. and P. F. Pratt. ( 1982 ). " *Lithum, sodium and potassium* ", In: A. C. Page ( ed. ) Methods of Soil Analysis, Part 2, Am. Soc. Agron. 9: 225-245.

21- Nelson, D.W. and L. E. Sommers. ( 1986 ). " *Total carbon, organic carbon and organic matter* ", In A. C. Page (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2, Am. Soc. Agron. 9. 539-579.

22- Paul, E. A. and F. E. Clarck. ( 1989 ). " *Soil Microbiology and Biochemistry* ", Academic Press, 275p.

23- Rhoades, J. D. ( 1986 ). " *Cation exchange capacity* ", In: A. C. Page ( ed. ) Methods of Soil Analysis, Part 2, Am. Soc. Agron. 9: 149-158.

24- Sommers, L. E., Nelson, D. W. and K. J. Yost. (1976). " *Variable nature of chemical composition of sewage sludge* ", J. Environ. Qual. 5 ( 3 ): 303-306.

25- Sommers, L. E. ( 1976 ). " *Chemical composition of sewage sludge & analysis of their potential use as fertilizers* " J. Environ. Qual. 6 ( 6 ): 225-231.

26- Thomas, G. W. ( 1990 ). " *Exchangeable cations* ", In A. C. Page ( ed. ) Methods of soil Analysis, Part 2, Am. Soc. Agron. 9: 159-168.

27- Wood, M. ( 1995 ). " *Environmental Soil Biology* ", Chapman and Hall, 150p.