

## بررسی اثرات بیوشیمیایی کاربرد لجن بیولوژیک کارخانه پتروشیمی تبریز روی یک نمونه از خاک‌های منطقه اهر

\* رحیم کسرای،<sup>۱</sup> سیامک ساعدی<sup>۲</sup> و ناصر علی‌اصغرزاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، آستادیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز،

<sup>۲</sup>دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۸۶/۴/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱۲/۲۷

### چکیده

امروزه مصرف لجن فاضلاب شهری و صنعتی در خاک‌های کشاورزی از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی در بسیاری کشورها از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به‌منظور بررسی اثر لجن بیولوژیک بر ویژگی‌های بیولوژیکی و شیمیایی یک نمونه از خاک‌های Haplocambid منطقه اهر، یک سری آزمایش‌های گلدانی با گلدان‌های حاوی پنج کیلوگرم خاک و با هفت سطح مختلف از لجن بیولوژیک خشک در مقیاس تن بر هکتار با چهار تکرار انجام پذیرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که با افزایش مصرف لجن در خاک تعداد کل میکروارگانیسم‌ها، شدت تنفسی، هدایت الکتریکی، درصد مواد آلی و درصد ازت کل خاک به‌طور معنی‌داری افزایش حاصل نموده است. اثر لجن بر مقدار آهک خاک و نسبت کربن به نیتروژن معنی‌دار مشاهده نشد. در مورد اثر لجن بر تغییرات pH خاک، کاهش pH در کاربرد سطوح بالای لجن در مقایسه با تیمار ۲۰ تن لجن در هکتار در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده است.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های اهر، کاربرد کودی، لجن بیولوژیک

### مقدمه

اقتصادی با توجه به مصرف و نابودی زباله‌ها، برقراری چرخش مواد غذایی در خاک به نفع تغذیه گیاهان، افزایش مواد آلی، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش مقدار ازت و فسفر قابل جذب گیاهی و سایر عناصر غذایی بسیار مهم بوده و نقش عمده‌ای در روند روبه رشد حاصل‌خیزی خاک‌ها و نمو گیاهان ایفا می‌کند. کاربرد مخلوطی از خاک و لجن در خاک‌های کشاورزی بستگی به مقدار مصرف لجن موجب افزایش فسفر، ازت، EC، CEC، کاهش pH خاک و تغییرات عمده‌ای در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک گردیده است (دهرتوق، ۱۹۸۵). با وجود این گزارش‌هایی از محققین وجود دارد که نشان

مصرف لجن فاضلاب شهری و صنعتی در خاک‌های کشاورزی از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی در بسیاری کشورها از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. هزینه زیاد برای سوختن لجن فاضلاب، تجمع و افزایش روزافزون آن نسبت به مصرف و نابودی آن عاملی برای افزایش مصرف لجن در خاک‌های کشاورزی به حساب می‌آید. تنها در کشور بریتانیا سالیانه حدود ۱۸ میلیون تن لجن در خاک‌ها مصرف می‌گردد (چاندر و بروکس، ۱۹۹۱). مصرف لجن فاضلاب‌ها در کشاورزی از نظر

گزارش نمودند که در این مدت فسفر کل، فسفر قابل جذب گیاهی، ظرفیت نگهداری آب در حالت FC، کربن آلی و CEC خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده است. رینک (۱۹۹۲) نیز اثرات بلندمدت کاربرد لجن را بر روی میکروارگانیسم‌ها و خواص شیمیایی خاک‌ها مثبت اعلام نموده‌اند. مورنو و همکاران (۱۹۹۹) اثرات کمپوست لجن‌آلوده به کادمیوم را در تغییرات موادآلی خاک و فعالیت میکروبی آن پس از یک دوره آزمایش ۱۲۰ روزه مثبت گزارش نمودند. کارشناسان فائو (۱۹۹۲) اعلام داشته‌اند که افزودن لجن فاضلاب به خاک سبب می‌گردد با گذشت زمان اثرات منفی لجن کاهش پیدا کرده و به زیر آستانه خطر برسد.

با توجه به اینکه امروزه به‌علت غنی بودن لجن فاضلاب‌های شهری و صنعتی از نظر موادآلی و معدنی، استفاده از آن می‌تواند منبع غذایی مناسبی برای گیاهان در خاک باشد، اثر لجن بیولوژیک فاضلاب کارخانه پتروشیمی تبریز بر روی یک نمونه از خاک‌های کشاورزی منطقه اهر موضوع تحقیق حاضر است تا علاوه بر بررسی دقیق ویژگی‌های بیولوژیکی، شیمیایی و رادیواکتیویته آن، اثرات لجن بر فعالیت‌های تنفسی و بیوشیمیایی خاک مورد مطالعه قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

**تهیه و آماده‌سازی لجن بیولوژیک:** نمونه‌برداری از لجن تازه در مدت حدود ۶ ماه و هر دو ماه یکبار پس از سانتریفوژ در محل کارخانه انجام گردیده است. پس از هوا خشک شدن، لجن توسط آسیاب برقی پودر گردیده و تا زمان مصرف در ظروف پلاستیکی سربسته نگهداری شده است. برای تعیین مقدار درصد موادآلی و معدنی موجود در لجن خشک مقدار ۲۰ گرم از آن را به مدت ۱۲ ساعت در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرارداده و پس از تعیین وزن خشک مطلق این مقدار لجن در کوره الکتریکی جهت خاکستر شدن به مدت ۱۲ ساعت در ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر گردید و از روی تفاضل مقدار

می‌دهند لجن فاضلاب‌های شهری و صنعتی ممکن است حاوی مقادیری از آلودگی‌های سمی از قبیل فلزات سنگین، نمک، ترکیبات آلی سمی، ارگانیسم‌های بیماری‌زا و... باشد. بنابراین لجن فاضلاب‌های محتوی باکتری‌های بیماری‌زا، پرتوزوا و هلمینت‌های پارازیتی می‌توانند منشأ بیماری‌های خطرناک برای سلامتی انسان‌ها، حیوانات و گیاهان باشند. این گزارش‌ها نیز بیانگر آنست که تعدادی از موجودات پاتوژن و پارازیت‌های موجود در لجن می‌توانند قبل از مصرف لجن در مزارع با انجام اقدامات اختصاصی بر روی آن مثل کمپوست کردن به‌طور مطمئنی کاهش پیدا کنند. علاوه بر این، کاهش خطرات بیماری‌های موجود در لجن بعد از مصرف آن در خاک از طریق اثرات آب‌وهوایی بر روی آن و میکروارگانیسم‌های خاک با گذشت زمان امکان‌پذیر می‌باشد (هاروتا، ۲۰۰۲).

اصولاً لجن حاوی درصد قابل توجهی از فلزات سنگین است که در اندازه معمولی مصرف آنها در خاک‌های کشاورزی آسیبی به گیاهان نمی‌رساند ولی مصرف مقدار زیادی از آن موجب افزایش فلزات سنگین در خاک و از بین رفتن گیاهان می‌شود. بنابراین لازم است مصرف سالانه لجن در خاک‌های کشاورزی کنترل شود زیرا این فلزات سال به سال در خاک انباشته می‌گردند (بردفورد و همکاران، ۱۹۷۵؛ برمنر و کمپل، ۱۹۷۸؛ دهرتوق، ۱۹۸۵). تاساتار و هاک تانیر (۱۹۹۹) با مصرف لجن دو کارخانه چنین نتیجه گرفتند که هر دو لجن سبب افزایش حاصل‌خیزی خاک می‌شوند به شرط آنکه فلزات و عناصر کمیاب موجود در آن به خوبی کنترل و شناخته شده باشند. دین و ساس نیز اشاره نموده‌اند که عناصر فلزی سنگین و سمی موجود در لجن ممکن است در دراز مدت بر روی اکولوژی خاک و نهایتاً محیط زیست اثرات منفی بر جای بگذارد و علاوه بر این در لجن‌ها انواع میکرووب‌های بیماری‌زای انسانی، حیوانی و گیاهی وجود دارند که ممکن است سلامت آنها را به خطر اندازد. فریرا و کاسترو (۲۰۰۱) افزایش حاصل‌خیزی خاک را با کاربرد لجن فاضلاب در مدت چهار سال مورد تأیید قرار داده و

آزمایش‌های میکروبیولوژیکی لجن بر روی خاک: تأثیر مقادیر مختلف لجن مورد آزمایش بر روی خصوصیات بیولوژیکی خاک با اندازه‌گیری شاخص‌های فعالیت تنفسی خاک و شمارش تعداد کل میکروارگانیسم‌های خاک با انجام آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. فاکتور اول شامل شش زمان اندازه‌گیری از یک تا شش ماه با فواصل ماهانه و فاکتور دوم شامل ۷ سطح لجن بیولوژیکی و شاهد در مجموع در ۸ سطح ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ تن در هکتار انتخاب شدند. سطوح لجن کاربردی در مقیاس تن در هکتار و در گلدان‌های پلاستیکی محتوی ۵ کیلوگرم خاک محاسبه گردید. پودر لجن خشک آماده شده پس از عبور از غربال یک میلی‌متری با خاک به طور کامل مخلوط شد. با توجه به اینکه رطوبت مناسب فعالیت میکروارگانیسم‌ها در محدوده ۷۰FC درصد می‌باشد، از اینرو رطوبت خاک گلدان‌های آزمایشی به طور یکنواخت در همه تیمارها به ۷۰FC درصد رسانده شد و در طول دوره شش ماه آزمایش با فواصل دو روز از طریق توزین گلدان‌ها تنظیم گردید. گلدان‌ها در اتاق کشت با دمای روز- شب به ترتیب ۲۶-۱۸ درجه سانتی‌گراد و تنظیم طول دوره روز و شب با نور حاصل از لامپ فلورسنت بخار سدیم و جیوه قرار داده شد.

اندازه‌گیری فعالیت تنفسی خاک: در فواصل یک ماهه، فعالیت تنفسی خاک به‌طور مستقیم در هر گلدان مورد اندازه‌گیری قرار گرفت به این ترتیب که ۲۰ml سود ۰/۲ نرمال وارد لوله پلاستیکی شد و در سطح خاک تعبیه گردید. یک ظرف پلاستیکی یک لیتری را به‌طور وارونه بر روی لوله قرار داده و اطراف ظرف با خاک محکم بسته شد. پس از ۲۴ ساعت به سود داخل لوله ۵ml محلول  $BaCl_2$  ۲۰ درصد اضافه نموده و با اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال تیتیر شد و از رابطه ۱ شدت تنفسی خاک محاسبه گردید:

$$CO_2 = (B - V)NE \quad [1]$$

خاکستر باقی‌مانده از مقدار ماده خشک مطلق لجن مقدار درصد مواد آلی و معدنی در لجن محاسبه شد (گوپتا، ۲۰۰۴).

تعیین EC در عصاره اشباع لجن تازه و پودر لجن خشک و تعیین pH در لجن تازه و پودر لجن خشک در حالت اشباع به وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و pH متر انجام پذیرفت. تعیین بعضی از کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در پودر لجن خشک با استفاده از دستگاه طیف‌سنج شعله‌ای و جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری آهن، منگنز، روی و مس قابل تبادل پس از عصاره‌گیری مقدار معینی از پودر لجن خشک با EDTA ۰/۱ مولار به نسبت ۱:۵ با استفاده از دستگاه جذب اتمی و ازت موجود در لجن به روش کج‌لدال تعیین شدند (هینس و سویفت، ۱۹۸۳). تعیین عناصر معدنی موجود در لجن و تعیین میزان درجه رادیواکتیویته آن از طریق اکسایش خشک پس از خاکستر شدن مقدار یک گرم از پودر لجن در ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و حل کردن آن در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال و صاف کردن و به حجم رسانیدن آن به ۵۰ میلی‌لیتر، در فاز مایع توسط دستگاه جذب اتمی و ICP<sup>۱</sup> انجام گرفته است (هینس و سویفت، ۱۹۸۳).

تهیه و آماده‌سازی خاک: نمونه خاک Haplocambid برای آزمایش از مزرعه‌ای در کنار جاده اهر تهیه گردید و پس از هوا خشک کردن و عبور دادن از الک ۲ میلی‌متری تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی در آن اعمال گردیدند. اندازه‌گیری pH در گل اشباع و EC در عصاره گل اشباع (گوپتا، ۲۰۰۴)، تجزیه مکانیکی به روش هیدرومتری (گوپتا، ۲۰۰۴)، درصد ماده آلی به روش والکلی بلک، درصد مواد خثی شونده به روش خثی کردن توسط اسیدکلریدریک (گوپتا، ۲۰۰۴)، ازت به روش کج‌لدال و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC)<sup>۲</sup> جهت تنظیم رطوبت خاک گلدان‌های مورد آزمایش انجام پذیرفتند.

1- Inductively Coupled Plasma  
2- Field Capacity

که در آن:

$CO_2$ : مقدار میلی‌گرم گاز آزاد شده در مدت مزبور از سطح گلدان، B: حجم اسید کلریدریک مصرفی برای شاهد (میلی‌لیتر)، V: حجم اسید کلریدریک مصرفی برای نمونه (میلی‌لیتر)، N: نرمالیت اسید، E: اکی‌والان گرم  $CO_2$  که معادل ۲۲ می‌باشد.

شمارش تعداد کل میکروارگانیسم‌های خاک: شمارش میکروبی نیز با فواصل یک ماهه به تعداد شش بار انجام گرفت. به این ترتیب که تعداد واحدهای تشکیل‌دهنده کلنی (Cfu)<sup>۱</sup> در هر گرم خاک بر روی محیط کشت (NA)<sup>۲</sup> به روش Spread Plate شمارش گردیدند. ابتدا به روش استریل رقت‌های ده دهی از سوسپانسیون خاک تا رقت  $10^{-7}$  تهیه و از هر رقت به تعداد سه تکرار و به مقدار  $50 \mu$  در محیط کشت NA، کشت گردیدند. ظروف پتری به مدت یک هفته در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور نگهداری و سپس تعداد کلنی‌ها شمارش گردید و از رابطه ۲ تعداد Cfu در یک گرم خاک به دست آمد (آلف، ۱۹۹۵):

[۲]  $50/1000 \times \text{ضریب رقت} \times \text{تعداد کلنی} = \text{تعداد Cfu}$  در یک گرم خاک

در پایان دوره شش ماهه آزمایش شاخص‌های ذکر شده دوباره در خاک گلدان‌های شاهد و تیمارهای مختلف لجن اندازه‌گیری گردیدند. نتایج حاصل از کلیه آزمایش‌ها مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار MSTATC استفاده گردید و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

## نتایج و بحث

لجن بیولوژیک: آزمایش‌های مربوط به لجن بیولوژیک نشان داد برخلاف EC مقدار pH در لجن تازه و پودر

خشک اختلافی با یکدیگر ندارند و اصولاً مصرف این لجن در خاک با pH مشکلی ندارد بلکه انتظار می‌رود که مصرف آن در خاک‌های قلیایی و آهکی موجب کاهش pH این خاک‌ها گردد (جدول ۱).

همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود لجن بیولوژیک مورد آزمایش حاوی حدود ۷۰-۶۰ درصد ماده آلی و ۳/۵ درصد نیتروژن می‌باشد که از مزایای بسیار مطلوب این لجن است و می‌تواند نقش مهمی در اصلاح خاک از نظر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک ایفا نماید. ظرفیت نگهداری آب نیز توسط لجن در حد ظرفیت مزرعه‌ای با توجه به وجود مقدار قابل ملاحظه مواد آلی در آن دور از انتظار نمی‌باشد. وجود غلظت بالایی از یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و کلر که احتمالاً عامل شوری خاک و موجب افزایش غلظت املاح محلول گردیده در جدول ۱ ملاحظه می‌شود. وجود عناصر منگنز، روی، مس و به‌خصوص مقدار قابل ملاحظه آهن قابل جذب در پودر لجن نیز از موارد قابل توجه می‌باشد. میزان برخی از عناصر که در پودر لجن خشک اندازه‌گیری شده‌اند در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد. در این رابطه مشکلاتی از نظر وارد شدن این عناصر در خاک‌های کشاورزی توسط لجن وجود دارد که تا حدودی در بخش بحث به آن اشاره خواهد شد. آزمایش‌های لجن بیولوژیک در ارتباط با آلودگی مواد رادیواکتیو از نظر عناصر سزیم، رادیم، تالیوم، اورانیوم و اندازه‌گیری شاخص‌های فعالیت و LOD<sup>۳</sup> نشان می‌دهند که از این نظر مشکل خاصی در لجن وجود ندارد (انوارین، ۱۹۸۸). نتایج تجزیه خاک مورد آزمایش در جدول ۳ آمده است.

1- Colony forming units  
2- Nutrient Agar

3- Limit Of Detection

جدول ۱- نتایج تجزیه لجن بیولوژیک.

FC (درصد وزنی)	N (%)	درصد مواد معدنی	OM (%) پودر لجن خشک	EC(dS/m) عصاره اشباع پودر لجن خشک	(pH) عصاره اشباع پودر لجن خشک	EC(dS/m) لجن تازه	pH لجن تازه	آزمایش
۱۳۲	۳/۵	۳۰-۴۰	۶۰-۷۰	۶/۸	۶/۷	۱/۱۳	۶/۸	نتایج
		SO <sup>4</sup> (ppm)	Cl (Ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	آزمایش
		۴۰۰	۱۵۹۷	۱۲۳	۵۹۳	۹۷۰	۱۶۶۰	نتایج
				Cu (ppm)	(Zn ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	آزمایش
				۸	۲۶۰	۱۴۰	۲۳۰۰	نتایج

جدول ۲- نتایج تجزیه لجن بیولوژیک در مورد برخی عناصر در پودر لجن خشک.

Hg	V	K	Fe	Cu	Cr	Co	Cd	Ba	B	Ca	عنصر
۵۰۰	۵۰	۰/۹	۸/۴	۴۹۶	۹۶	۱۰	۱۰	۴۹۵	۰/۲	۱۴	غلظت (ppm)
	Sc	As	P	Zn	Pb	Ni	Mo	Mn	Mg	Li	عنصر
	۲۲	۸۶	۱۲۵/۵	۰/۲	۴۳۸	۸۴	۹	۳۱۵	۱۲	۱۵	غلظت (ppm)

جدول ۳- نتایج تجزیه خاک در ابتدای آزمایش‌های میکروبیولوژیک.

FC (درصد وزنی)	%Silt	%Sand	%Clay	C/N	%N	%OC	%TNV	EC (dS/m)	pH
۱۲/۲	۴۸/۳	۲۸/۶	۲۳	۴/۰۹	۰/۰۶۱	۰/۲۵	۱۳/۷	۱/۳	۷/۶

تجزیه واریانس اثر سطوح لجن و زمان بر فعالیت تنفسی و تعداد میکروارگانیسم‌های خاک (جدول ۴) نشان می‌دهد که اثرات متقابل سطوح لجن و زمان بر تعداد کل میکروارگانیسم‌های خاک Cfu کاملاً معنی‌دار ( $P < 0/001$ ) می‌باشد. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف لجن بر تعداد میکروارگانیسم‌ها نیز نشان می‌دهد که با افزایش مقدار لجن تا سطح ۵۰ تن در هکتار تعداد کل جمعیت میکروبی خاک به طور معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ افزایش یافته است ولی از این سطح به بعد کاهش پیدا کرده است (جدول ۶). از مقایسه فعالیت تنفسی و تعداد کل میکروارگانیسم‌های خاک چنین استنباط می‌گردد که رابطه مستقیمی بین این دو شاخص و همچنین بین مقدار لجن افزوده شده به خاک و دو شاخص وجود دارد، گرچه در مقادیر زیاد لجن (بیش از ۵۰ تن در هکتار) جمعیت کل میکروبی افزایش پیدا نکرده است ولی فعالیت تنفسی همچنان با ازدیاد لجن افزایش یافته است که این یافته را می‌توان دلیل بر شدت فعالیت متابولیک میکروارگانیسم‌ها دانست.

آزمایش‌های میکروبیولوژیک: به طوری که در جدول ۴ ملاحظه می‌گردد اثر سطوح لجن، اثر زمان و اثرات متقابل این دو فاکتور بر فعالیت تنفسی خاک معنی‌دار ( $P < 0/001$ ) می‌باشند. مقایسه میانگین زمانی میزان تیمارهای لجن کاربردی نیز نشان می‌دهد که فعالیت تنفسی خاک با افزایش مقدار لجن به طور معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ زیاد شده است و در سطح ۶۰ تن در هکتار به حداکثر خود رسیده است (جدول ۵). افزایش مقدار لجن به بیش از ۶۰ تن در هکتار اثر معنی‌داری بر روی فعالیت تنفسی خاک نشان نداده است. مقایسه میانگین اثرات سطوح لجن بر شدت تنفس خاک در مدت شش ماه (جدول ۵) نشان می‌دهد که با افزایش مقدار لجن فعالیت تنفسی در ماه‌های دوم و سوم معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) و به حداکثر رسیده است و از ماه چهارم به بعد فعالیت تنفسی به طور معنی‌داری به شدت کاهش پیدا کرده است. نتایج مشابهی توسط استنستورم و همکاران (۱۹۹۸) در ارتباط با اثرات لجن‌های زیستی بر فعالیت تنفسی خاک گزارش شده است.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات سطح لجن بیولوژیک (تن در هکتار) بر فعالیت تنفسی و تعداد میکروارگانیسم های خاک.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات فعالیت تنفسی خاک	میانگین مربعات تعداد میکروارگانیسم های خاک
زمان (A)	۵	۱۳۱۸/۰۴۳***	۴/۸۷۶***
سطوح لجن (B)	۷	۵۱۵/۰۱۸***	۳/۹۷۹***
A × B	۳۵	۵۳/۰۵۸***	۰/۴۶۱***
خطای آزمایش	۱۴۴	۷/۴۳۸	۰/۱۱۴
ضریب تغییرات	-	۲۰/۷	۴/۱۳

\*\*\*معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱ درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات سطوح لجن (تن بر هکتار) بر شدت تنفس خاک (میلی گرم دی اکسیدکربن در روز) در مدت شش ماه.

تیمار	شاهد	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
T1	۵/۷۷۵d	۷/۷d	۱۲/۱c	۱۴/۸۵bc	۱۵/۹۵b	۱۶/۷۷۵b	۲۰/۶۲۵a	۲۰/۰۷۵ab
T2	۶/۱۲f	۱۰/۴۵c	۱۷/۵۹d	۱۷/۴۹d	۲۵/۰۸c	۲۰/۶۸d	۳۳a	۲۹/۵۹b
T3	۹/۰۲d	۱۱/۸۸f	۱۶/۹۴c	۱۹/۵۸c	۲۵/۱۹b	۲۵/۱۹b	۲۹/۹۲ab	۳۳/۳۳a
T4	۴/۶۷۵b	۵/۸۸۵b	۷/۵۹ab	۸/۴۷ab	۱۰/۱۷۵a	۱۱/۳۳a	۱۱/۱۱a	۹/۱۳۵a
T5	۵/۱۱۵a	۵/۴۴۵a	۶/۳۸a	۶/۲۷a	۷/۲۶a	۷/۳۷a	۸/۰۳a	۸/۲۵a
T6	۴/۹۵c	۶/۲۷bc	۷/۴۸abc	۷/۸۱ab	۸/۴۷abc	۹/۰۷۵ab	۸/۹۴ab	۱۰/۵۶a
میانگین	۵/۸e	۷/۵d	۱۱c	۱۲c	۱۵b	۱۴/۷b	۱۸/۲a	۱۸/۲a

\* میانگین های با حروف غیرمشابه در هر سطر در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار دارند (LSD=۸/۳۱)

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات سطح لجن (تن در هکتار) بر تعداد میکروارگانیسم های خاک (واحدهای تشکیل دهنده کلنی) در مدت شش ماه.

تیمار	شاهد	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
T1	۷/۴۱۵d	۷/۹۵c	۸/۴۶۳b	۹/۴۶۵a	۹/۱۱ab	۹/۶۷۲a	۸/۴۶۷b	۹/۱۵a
T2	۸/۰۴۸bc	۷/۹۴c	۷/۹۷۵c	۸/۴۴۵b	۸/۵۱۸b	۹/۲۵۸a	۸/۲۰۵b	۸/۵۶۳b
T3	۷/۱۸۸c	۷/۴۲۵bc	۷/۶۲۲bc	۷/۷۹۸b	۷/۸۰۵b	۸/۵۱۷a	۸/۲۴۲a	۸/۱۰۷ab
T4	۷/۵۴d	۸/۲۸۸bc	۷/۸۹۵c	۸/۰۸۷c	۸/۸۱b	۸/۹۶۳ab	۹/۴۰۷a	۸/۹۲۷ab
T5	۷/۷۴۵bc	۷/۶۲۵c	۷/۷۷۳bc	۷/۷۶۵bc	۷/۹۳۳b	۷/۸۶۵b	۸/۴۵a	۸/۵۴a
T6	۷/۲۹b	۷/۵۱b	۷/۶۹ab	۷/۷۶۳ab	۷/۷۶۸ab	۷/۹۵۲ab	۷/۹۵ab	۸/۰۹a
میانگین	۷/۵f	۷/۷e	۷/۹e	۸/۲d	۸/۳cd	۸/۷a	۸/۴bc	۸/۵ab

\* میانگین های با حروف غیرمشابه در هر سطر در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار دارند (LSD=۰/۴۷۲)

جدول ۷- تجزیه واریانس اثرات سطوح لجن بیولوژیک (تن در هکتار) بر شاخص های خاک در پایان ماه ششم.

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC	CaCO <sub>3</sub>	OC	N	C/N
تکرار	۳	۰/۰۶۸	۰/۰۵۱	۰/۰۲۹	۰/۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۱۵۷
سطوح لجن	۷	۰/۱۸۵	۲/۰۳۸	۰/۵۷۳	۰/۲۱۱	۰/۰۲۱	۱/۷۶۶
خطای آزمایش	۲۱	۰/۱	۰/۰۹۹	۰/۴۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲	۲/۵۵۳
ضریب تغییرات (درصد)	۴/۱۶	۹/۶۹	۵/۳۶	۲۲/۶	۲۹/۸	۴۴/۲	

\*\*\*معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱ درصد، ns: غیرمعنی دار

اثر لجن بیولوژیک بر شاخص‌های مختلف خاک در پایان ماه ششم: اثر سطوح مختلف لجن کاربردی بر روی pH خاک در طول مدت شش ماه معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۷)، ولی در سطوح بالای لجن (۶۰ و ۷۰ تن در هکتار) کاهش pH خاک مشاهده می‌گردد که در مقایسه با تیمار ۲۰ تن لجن در هکتار در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۸).

کاربرد لجن بیولوژیک در ارتباط با افزایش EC خاک خالی از اشکال نمی‌باشد، به طوری که در جدول ۱ مشاهده می‌شود EC<sup>۱</sup> لجن تازه با EC عصاره اشباع پودر لجن خشک بیش از پنج واحد با هم اختلاف دارند. با توجه به اینکه در انجام آزمایش‌های گلدانی از پودر لجن خشک استفاده گردیده است و اصولاً کاربرد لجن در عمل به صورت خشک مناسب‌تر است از اینرو به نظر می‌رسد افزایش EC خاک از طریق مصرف پودر لجن در خاک‌های کشاورزی یکی از مشکلاتی است که در عمل محدودیت‌هایی برای رشد بسیاری از گیاهان زراعی حساس به EC به وجود می‌آورد. جدول ۷ نشان می‌دهد که اثر مقادیر مختلف لجن بر روی EC خاک کاملاً معنی‌دار می‌باشد ( $P < 0/001$ ). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۸) نشان می‌دهد که با افزایش مقدار لجن کاربردی EC خاک به طور معنی‌دار افزایش پیدا نموده است. با توجه به EC خاک که در ابتدای آزمایش  $4/18 \text{ dS/m}$  بوده است افزودن لجن تا سطح ۷۰ تن در هکتار موجب افزایش EC خاک تا سطح  $4/18 \text{ dS/m}$  گردیده است که این مقدار EC ممکن است برای رشد، نمو و محصول‌دهی اغلب گیاهان زراعی محدودیت ایجاد کند.

تجزیه واریانس اثر سطوح لجن بر روی آهک خاک اثر معنی‌داری را نشان نداده است (جدول ۷). مقایسه میانگین تیمارها نیز نشانگر عدم تغییر درصد آهک خاک با افزایش لجن در پایان ماه ششم آزمایش می‌باشد (جدول ۸). گرچه در سطوح بالای لجن کاهش جزئی در مقدار

آهک خاک ملاحظه می‌شود ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نیست. با توجه به عدم تغییر pH خاک در نتیجه کاربرد لجن چنین نتیجه‌ای در مورد تغییر درصد آهک خاک نیز دور از انتظار نمی‌باشد.

اثر سطوح لجن بر مقدار کربن آلی خاک در پایان ماه ششم کاملاً معنی‌دار ( $P < 0/001$ ) می‌باشد (جدول ۷). مقایسه میانگین تیمارها نیز نشان می‌دهد که افزودن لجن به مقدار ۱۰ تن در هکتار اثر معنی‌داری با شاهد از نظر کربن آلی نداشته است ولی در سطوح بالاتر کربن آلی خاک به طور معنی‌دار افزایش پیدا کرده است. حداکثر مقدار کربن آلی خاک در تیمار ۷۰ تن لجن در هکتار حاصل شده است. با توجه به درصد قابل ملاحظه مواد آلی در لجن بیولوژیک چنین افزایشی انتظار می‌رفت.

اثر سطوح لجن بر مقدار نیتروژن کل خاک در پایان ماه ششم کاملاً معنی‌دار ( $P < 0/001$ ) می‌باشد (جدول ۸). مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۸) نیز نشان می‌دهد که با افزایش مقدار لجن به خاک درصد نیتروژن خاک به طور معنی‌دار افزایش حاصل نموده است و در تیمار ۶۰ تن لجن در هکتار به حداکثر خود رسیده و از این سطح تفاوت معنی‌داری با تیمار ۷۰ تن لجن در هکتار نداشته است، با توجه به درصد نیتروژن کل در لجن بیولوژیک (۳/۴۷۲ درصد) چنین افزایشی دور از انتظار نمی‌باشد (جدول ۸).

جدول ۷ نشان می‌دهد که اثر سطوح لجن کاربردی بر نسبت C/N خاک معنی‌دار نمی‌باشد. مقایسه میانگین تیمارها غیرمعنی‌دار شدن اثر سطوح لجن بر C/N خاک را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد، گرچه افزایش غیرمعنی‌دار C/N در تیمار ۴۰ تن لجن در هکتار قابل ملاحظه می‌باشد (جدول ۸). توجه عدم تغییر C/N در پایان ماه ششم آن است که با افزایش سطح لجن اعمال شده به خاک درصد کربن آلی و درصد نیتروژن خاک افزایش پیدا کرده است، در نتیجه نسبت آنها تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته است.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات سطوح لجن (تن در هکتار) بر خصوصیات شیمیایی خاک در پایان شش ماه.

C/N	N (%)	OC (%)	TNV (%)	EC (dS/m)	pH	سطح لجن (تن در هکتار)
۲/۸۵۸a	۰/۰۶۷d	۰/۱۹۵d	۱۳/۱ab	۲/۰۶f	۷/۶۶ab	۰
۳/۴۷۱a	۰/۰۹۲cd	۰/۳۱۷cd	۱۳/۳۵a	۲/۵۶c	۷/۴۶ab	۱۰
۳/۴۳۷a	۰/۱۵۳bc	۰/۴۱۴c	۱۳/۲ab	۲/۸۷dc	۷/۹۶a	۲۰
۴/۱۱۴a	۰/۱۰۱cd	۰/۴۱۵c	۱۳/۲ab	۳/۲۷cd	۷/۶۷ab	۳۰
۴/۹۲۹a	۰/۱۴۰bc	۰/۶۰۹b	۱۲/۶۷ab	۳/۴۹c	۷/۴۸ab	۴۰
۳/۷۲۷a	۰/۲ab	۰/۶۵۹b	۱۲/۱۷b	۳/۵۴bc	۷/۷۹ab	۵۰
۲/۹۷۹a	۰/۲۴۶a	۰/۷۳۲ab	۱۲/۸ab	۳/۹۸ab	۷/۴۲b	۶۰
۳/۴۳۴a	۰/۲۶۵a	۰/۸۷۸a	۱۲/۹۵ab	۴/۱۸a	۷/۳۲b	۷۰

\* میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

متابولیک آنها در نتیجه استرس افزایش می‌یابد و منجر به تنفس و خروج CO<sub>2</sub> بیشتر می‌گردد. افزایش نسبت CO<sub>2</sub> دفع شده به بیوماس میکروبی، بیانگر شاخص استرس در میکروارگانیسم‌ها می‌باشد.

برخلاف EC که با افزایش لجن بیولوژیک به خاک افزایش معنی‌داری داشته است، pH و آهک خاک با افزودن لجن تغییرات عمده‌ای را نشان نداده‌اند (جدول ۸). با توجه به عدم تأثیر لجن بیولوژیک بر pH خاک، چنین نتیجه‌ای در مورد آهک خاک نیز دور از انتظار نمی‌باشد. دلیل عمده عدم تأثیر لجن بر روی pH و آهک خاک را می‌توان چنین توجیه نمود که احتمالاً در سیستم بسته گلدان حتی اگر تحرکی در آهک از سطح گلدان به طرف عمق صورت گرفته باشد، با فرآیند کاپیلاری آهک دوباره به جای اول برگشته است. بنابراین تصور می‌رود که در سیستم باز مزرعه نتایج اثرات لجن بر روی pH و آهک خاک متفاوت از آزمایش گلدانی می‌باشد. کماینکه تاساتار و هاکتانیر (۱۹۹۹) در آزمایشی با لجن صنعتی نشان دادند که بسته به مقدار مصرف لجن، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر یافته، به‌طوری‌که شدت تنفسی، فعالیت آنزیمی، مقدار فسفر قابل جذب گیاهی، EC و CEC افزایش یافته ولی pH خاک کاهش پیدا کرده است.

اصولاً کاهش pH و آهک خاک در جوار افزایش فعالیت بیولوژیک خاک در جهت بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن از اهداف کاربرد لجن در خاک‌های کشاورزی به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مثل

بررسی میانگین تیمارها بیانگر این است که با افزایش مقدار لجن از صفر تا ۷۰ تن در هکتار مقدار افزایش کربن آلی در خاک حدود ۰/۷ درصد بوده در حالی‌که نیتروژن کل فقط ۰/۲ درصد افزایش یافته است (جدول ۸). در چنین حالتی می‌بایست نسبت C/N از تیمار صفر تا ۷۰ تن لجن در هکتار به تدریج افزایش پیدا می‌کرد. علت این موضوع می‌تواند به نسبت متعادل افزایش کربن و نیتروژن مرتبط باشد.

نتایج آزمایش‌های میکروبیولوژیک با کاربرد لجن بیولوژیک در خاک نشان داد که میکروارگانیسم‌های خاک می‌توانند سطوح زیاد لجن را تحمل نموده و با افزایش فعالیت متابولیک آن را تجزیه کنند. به تدریج که مقدار لجن افزوده شده به خاک در اثر تجزیه میکروبی کاهش می‌یابد، تعداد و فعالیت میکروبی نیز کاهش می‌یابد.

افزایش فعالیت تنفسی و جمعیت کل میکروب‌های خاک (جدول‌های ۵ و ۶) روابط مستقیمی با مقدار لجن بیولوژیک افزوده شده به خاک دارند، تاساتار و هاکتانیر (۱۹۹۹)؛ برگمن (۲۰۰۵)؛ اپشتین و همکاران (۱۹۷۶)؛ مک کوی و همکاران (۱۹۸۳) این نتایج را تأیید کرده‌اند. به‌طوری‌که در جدول‌های ۵ و ۶ ملاحظه می‌گردد جمعیت میکروبی در مقادیر زیاد لجن (بیش از ۵۰ تن در هکتار) افزایش پیدا نکرده ولی فعالیت تنفسی خاک همچنان با ازدیاد لجن افزایش یافته است. مورنو و همکاران (۱۹۹۹) در این خصوص گزارش نموده‌اند که وجود مواد سمی یا باز دارنده رشد به‌صورت آلی یا معدنی در لجن فاضلاب به تدریج سبب کاهش جمعیت میکروبی شده ولی فعالیت



کارشناس ارشد سازمان جهاد کشاورزی تبریز، مهندس  
مطلبی آذر و مهندس ترابی اعضای هیات علمی دانشکده  
کشاورزی دانشگاه تبریز، مهندس بایوردی ریاست بخش  
آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی تبریز، دکتر خانچی  
رئیس آزمایشگاه‌های جابراین حیان سازمان انرژی اتمی  
در تهران و مدیریت اداره ارتباط با صنعت دانشگاه تبریز  
به‌علت همکاری در اجرای این طرح تشکر و قدردانی  
می‌شود.

آذربایجان است. افزایش کربن آلی خاک با افزایش لیجن  
بیولوژیک نیز با توجه به درصد قابل ملاحظه مواد آلی در  
لیجن دور از انتظار نمی‌باشد (جدول ۸). افزایش معنی‌دار  
مقدار نیتروژن کل خاک در نتیجه افزودن لیجن به خاک با  
توجه به مقدار قابل توجه نیتروژن کل در لیجن بیولوژیک  
(۳/۴۷۲ درصد) نیز قابل انتظار می‌باشد (جدول ۸).

### سپاسگزاری

از مدیریت شرکت پتروشیمی تبریز به‌ویژه مسئولین  
تحقیق و توسعه این شرکت، مهندس خوشنویس

### منابع

1. Alef, K. 1995. Enrichment, isolation and counting of soil microorganisms. P. 145-173, In: Alef, K., Nannipieri, P. (eds.), *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London,.
2. Anonymous. 1983. Land application of municipal sludge. EPA process design manual.
3. Anonymous. 2005. Agricultural use of sewage sludge. In: <http://www.fao.org/docrep/to551e/to551e08.htm>.
4. Bradford, G.R.A.L., Page, L.J., and Olmosted, W. 1975. Trace element concentration of sewage treatment plant effluents and sludges and their interaction with soils and uptake by plants. *J. Environ, Qual.* 4(1): 123-127.
5. Bremner, I., and Campbell, J.K. 1978. Effect of copper and zinc status on susceptibility to cadmium intoxication. *Environmental Health perspectives*, 25: 125-128.
6. Chander, K. and Brooks, P.C. 1991. Effects of heavy metals from past applications of sewage sludge on microbial organic matter accumulation in a sandy and silty loam U.K soil. *Soil. Bid. Biochem.* 23: 927-931.
7. Dehertogh, A. 1985. *Holland bulb forcer's guide*. International flower bulb center, Hilligon, Netherlands.
8. Environ, B. 1988. *Elements of toxicology and chemical risk assessment*. Environment Corporation, Washington, DC.
9. Epstein, E., Taylor, J.M., and Chaney, R.L. 1976. Effect of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some chemical properties. *J. Environ. Qual.* 5: 423-426.
10. FAO. 1992. Status of cadmium, lead, copper and selenium in soil and plant. *Soil Bulletin* (63), Rome, Italy. In: <http://www.fao.org/dorep/to551e/te08>.
11. Ferreira, E.M., and Castro, I.V. 2001. Residual effects of sewage sludge application on soil fertility. In: *Proceedings of 3<sup>rd</sup> international conference on land degradation and meeting of the IUSS sub omission soil and water conservation*, held at Riodejaneiro.
12. Gupta, P.K. 2004. *Soil, plant, water and fertilizer analysis*. Agrobios, India.
13. Haruta, S. 2002. Microbial community changes during organic solid waste treatment analyzed by doubled gradient denaturing gradient gel electrophoresis and fluorescence in situ hybridization. *Soil Bid. Biochem.* 53: 253-259.
14. Haynes, R.J. and Swift, R.S., 1983. An evaluation of the use of DTPA and EDTA as extractants for micronutrients in moderately acid soils. *J. Plant and Soil.* 74: 111-122.
15. Moreno, J.L., Hernandez, T., and Gracia, C. 1999. Effect of cadmium contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. *Biol. Fertil. Soils.* 28: 230-238.
16. Rynk. 1992. *On farm composting handbook* NRAES-54. 152 Riley-Robb. Extension service, Ithaca, Ny. 4853-5701.187pp.
17. Stenstorm, J., Stenberg, B., and Johansson, M. 1998. Kinetics of substrate induced respiration (STR): Theory. *Ambio.* 27: 35-39.
18. Tasatar, B., and Haktanir, K. 1999. Effect of industrial sewage sludge applied to soil. ISD Ana Sayfasi, Soil Science Department, University of Ankara.

---

---

## **The study of biochemical effects of Tabriz petrochemical factory biological sludge application on a sample of Ahar region soils**

**\*R. Kassray<sup>1</sup>, S. Saedi<sup>2</sup> and N. Aliasgharzadeh<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Iran,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Iran,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran

---

---

### **Abstract**

Nowadays, with regard to economical and environmental aspects of municipal and industrial uses of sewage sludge in agricultural soils has considerable importance in many countries. For purpose of biological sludge effects study on the biochemical properties of Ahar region Haplocambid soil, the experiments accomplished on pots containing 5 kg soil, 7 levels of biological sludge and four replications. The results indicated that with increase of sludge application, number of microorganisms, respiration rate, electrical conductivity, organic matter percent and the percentage of total nitrogen have increased significantly. The application of sludge on amount of soil carbonates and C/N ratio doesn't have significant effects; on the other hand the effect of sludge application on soil pH alterations has shown the decrease of pH in high levels applications in comparison to 20 ton/ha is been significant at 0.05 probability level.

**Keywords:** Ahar soils; Fertilizer sludge; Biological application