

نقش پسماندهای غذایی و کنجاله‌های روغنی در حاصلخیزی خاک

صبا خلیج^۱ ، مهدی جلیلی قاضی‌زاده^{۲*} ، فاطمه‌سادات آقامیر محمدعلی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد آلودگی‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۲. استادیار گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۳. استادیار گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

*ایمیل نویسنده مسئول : ma_jalili@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت : ۹۹/۱۰/۰۷ تاریخ پذیرش : ۹۹/۱۱/۰۵

چکیده

با توجه به افت کیفیت خاک و نیز حجم بالای آلودگی خاک در ایران، ضروری است روش‌هایی که منجر به کاهش و یا حذف آلاینده‌های موجود در خاک می‌شوند در گستره وسیعی از ایران به کار برده شوند. خاک آلوده نیز از محل دفن پسماند واقع در مجتمع آرادکوه کهریزک برداشت شد. در آزمایشگاه با استفاده از روش گرماکافت، از پسماندهای غذایی و کنجاله‌های روغنی دو نوع بایوپچار با خصوصیات متفاوت تولید شد. با استفاده از نرم‌افزار R انحراف معیار و میانگین محاسبه و نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS - version 26 آزمون Shapiro-Wilk انجام و از صحت نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد. بایوپچارهای حاصل از کنجاله‌های روغنی و پسماندهای غذایی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش مقادیر فلزات سنگین خاک دارند و موجب اصلاح خاک می‌شوند. در صورتی که تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها ندارند. کاهش فلزات سنگین و افزایش حاصلخیزی خاک، علاوه بر زیست توده اولیه و شرایط پیرولیز، به نوع دانه‌بندی خاک نیز بستگی دارد.

واژگان کلیدی: "مولفه‌های حاصلخیزی خاک"، "فلزات سنگین"، "بایوپچار"، "پسماند غذایی"، "کنجاله روغنی".

The role of food wastes and oil Cakes in soil fertility

Saba Khalaj¹, Mahdi Jalili Ghazizade^{2,*}, Fatemeh –Sadat Aghamir Mohammadali³

1. M.Sc. student of environmental pollution, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University

2. Assistant Professor, Department of Environmental Technologies, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University

3. Assistant Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University

*Email Address: ma_jalili@sbu.ac.ir

Abstract

Due to the decline in soil quality and high volume of soil pollution in Iran, it is necessary to use methods that reduce or eliminate contaminants in the soil in a wide range of Iran. Contaminated soil was also removed from the landfill located in Aradkuh Kahrizak complex. Using thermocouple method, two types of biochar with different characteristics were produced from food waste and oil meal. The standard deviation and mean were calculated using R software and Shapiro-Wilk test was performed using SPSS software version 26 to ensure the normality of the data. Biochar from oil meal and food waste have a significant effect on reducing the amount of heavy metals in the soil and improve the soil. If they do not have a significant effect on improving the physical and chemical properties of soils. The reduction of heavy metals and the increase of soil fertility, in addition to the initial biomass and pyrolysis conditions, also depend on the type of soil granulation.

Keywords

"Soil fertility parameters", "heavy metals", "biochar", "food wastes", "oil cakes".

مقدمه

خاک به عنوان وسیله‌ای برای کاهش تغییرات آب و هوایی با استفاده از جداسازی کربن پیشنهاد شده است، در حالی که به طور همزمان انرژی و افزایش تولید محصول را فراهم می‌کند (۱۶).

مواد و روش کار

در برداشت‌های صحرائی توده‌های خاک آلوده از محل دفن پسماند^۱ واقع در مجتمع آرادکوه کهریزک که تنها مرکز دفن و بازیافت زباله در تهران است، برای تعیین نوع و میزان آلودگی‌ها و نیز اصلاح آن، برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه از پسماندهای غذایی شامل پوست بادمجان، لوبیا سبز، پوست گلابی و سبزی و نیز کنجاله‌های روغنی شامل کتان، نارگیل و کنجد، با استفاده از روش گرماکافت در دو درجه ۳۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد دو نوع بایوچار با خصوصیات متفاوت تولید شد. در این روش فرایند گرماکافت یا تجزیه-حرارتی شیمیایی موجب بازآیی در مولکول زیست توده شده و آن را تبدیل به بایوچار کرده است. پارامترهای خاک‌های آلوده برداشت شده از مجتمع آرادکوه واقع در کهریزک و همچنین پارامترهای بایوچارهای تولید شده در آزمایشگاه دانشگاه شهید بهشتی، در آزمایشگاه موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، واقع در شهر کرج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سرانجام نقش بایوچار در حذف و کاهش آلاینده‌ها و افزایش حاصلخیزی خاک بررسی شد. بعد از آماده‌سازی بایوچارها، تیمارهایی از لحاظ ماده اولیه، دما و مدت زمان، در سه سطح ۳، ۶ و ۱۲ تن در هکتار برای نسبت ۱ کیلوگرم خاک در هر گلدان بایوچار توزین شد و با خاک گلدان‌ها کاملاً مخلوط شد. با توجه به این که برای این تحقیق از محل دفن پسماند، ۳ نمونه خاک از سه محل متفاوت گردآوری شده بود، لذا هر نوع خاک در گلدان مجزا قرار داده شد و در نتیجه در مجموع ۹ گلدان با سه نوع خاک متفاوت از نظر مکانی آماده‌سازی شد.

نتایج و بحث

در این آزمایش خاک‌های تهیه شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با مشخصات مندرج در جدول ۱ آماده شد.

به منظور تعیین میزان مولفه‌های حاصلخیزی و میزان فلزات سنگین موجود در خاک‌های برداشت شده از محل دفن پسماندها و همچنین تعیین خصوصیات بایوچار، نمونه‌های آماده شده خاک و بایوچار در سه تکرار به آزمایشگاه ارسال شد و با استفاده از نرم‌افزار R انحراف معیار و میانگین محاسبه شد. نتایج آنالیز آن‌ها در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

با توجه به افزایش جمعیت جهان و از جمله ایران، یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های بشر امروز، تامین نیازهای غذایی است. به دلیل محدودیت سطح کشت در ایران برای افزایش تولید محصولات کشاورزی باید عملکرد خاک و محصولات را در واحد سطح افزایش داد. مصرف کودهای شیمیایی در کشور با رشدی روزافزون همراه است؛ استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی اگرچه در کوتاه مدت مواد غذایی مورد نیاز اراضی کشاورزی را تأمین و بهره‌برداری بیش از اندازه را ممکن می‌کند، ولی در بلندمدت باعث از بین رفتن کیفیت خاک، افت حاصلخیزی و در نتیجه فرسایش خاک می‌شود (۱). بایوچار^۱ یا زغال زیستی به عنوان یک ماده با منشأ آلی در سال‌های اخیر متداول شده و در ارتباط با مدیریت پایدار خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. بایوچار محصولی متخلخل و کربنه است که از گرماکافت^۲ مواد آلی به دست می‌آید، بایوچار را می‌توان از هر زیست توده^۳ از جمله پسماندهای غذایی، زراعی، جنگلی و کودهای حیوانی تولید کرد. بایوچار به علت بالا بودن سطح ویژه ذرات تشکیل دهنده خود، قابلیت زیادی در جذب ذرات آلاینده‌های موجود در خاک دارد. بایوچار می‌تواند با هدف بهبود خاک موجب کاهش گازهای گلخانه‌ای (۲)، ترسیب کربن در خاک (۳)، افزایش نگهداری ظرفیت آب (۴)، متعادل شدن pH خاک (۵)، اصلاح خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک (۶) و کاهش سمیت عناصر و فلزات سنگین در خاک شود (۷). بایوچار دارای پتانسیل بازیافت مواد غذایی (۸)، تهویه خاک (۹)، صرفه اقتصادی و مدیریت سیستم پسماند است (۱۰). با توجه به افت کیفیت خاک و نیز حجم بالای آلودگی خاک در ایران، ضروری است روش‌هایی که منجر به کاهش و یا حذف آلاینده‌های موجود در خاک می‌شوند در گستره وسیعی از ایران به کار برده شوند تا علاوه بر حفظ سلامت محیط زیست، موجب افزایش حاصلخیزی خاک نیز شوند. افزودن بایوچار در برخی از ویژگی‌های خاک مانند قابلیت هدایت الکتریکی، pH، و مقدار کربن آلی می‌شود و همچنین قابلیت استفاده از برخی از عناصر کم مصرف و پرمصرف به ویژه پتاسیم در خاک می‌شود (۱۱). استفاده از بایوچار در خاک‌های کشاورزی این قابلیت را دارد که تا حد زیادی شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را بهبود ببخشد (۱۲). ارتباط بین بهبود خاک و زیست توده با بایوچار در سطح بین‌المللی به عنوان راهی برای افزایش بهره‌وری خاک، باروری و همچنین کاهش تغییرات آب و هوایی پیشنهاد شده است و مدل‌های مختلفی از فرایندهای ترموشیمیایی و بیولوژیکی برای تبدیل زیست توده و مواد زائد به محصولات ارزش افزوده ارائه شده است (۱۳). استفاده از بایوچار به کار رفته در خاک به طور کلی بر تولید محصول تاثیر گذاشته که از نظر آماری قابل توجه است (۱۴). بیشترین اثر اصلاح کننده بایوچار بر ویژگی‌های خاک آن است که موجب افزایش در غلظت عناصر کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر به خصوص در پیرولیز با دماهای بالاتر و مقدار بایوچار کمتر خواهد شد (۱۵). بایوچار و ذخیره آن در

1. Biochar
2. Pyrolysis
3. Biomass
4. Landfill

جدول ۱- سه نمونه خاک بر اساس نوع پسماند، دمای پیرولیز، نوع خاک و مدت زمان پیرولیز

شماره کد	نوع پسماند	دمای پیرولیز (°C)	نوع خاک	میزان (هکتار)	ساعت پیرولیز
۱	کنجاله های روغنی	۳۰۰	Clay loam	۳	۲
۲	کنجاله های روغنی	۳۰۰	Sandy loam	۶	۲
۳	کنجاله های روغنی	۳۰۰	Sandy clay loam	۱۲	۲
۴	پسماند غذایی	۳۰۰	Clay loam	۳	۴
۵	پسماند غذایی	۳۰۰	Sandy loam	۶	۴
۶	پسماند غذایی	۳۰۰	Sandy clay loam	۱۲	۴
۷	پسماند غذایی	۴۵۰	Clay loam	۳	۲
۸	پسماند غذایی	۴۵۰	Sandy loam	۶	۲
۹	پسماند غذایی	۴۵۰	Sandy clay loam	۱۲	۲

جدول ۲- مشخصات خاکها

مشخصات نمونه	Mg (meq/lit)	Ca (meq/lit)	CEC (meq/100g)	BD (gr/Cm ³)	pH	EC (dS/m)	OC %	N%	K (mg/kg)	P (mg/kg)
Clay loam	۷/۸ ± ۱/۸۳	۲۷/۸ ± ۱/۶۵	۱۲/۳ ± ۰/۷	۱/۶ ± ۰/۸۷	۷/۷ ± ۰/۷	۱۲/۳ ± ۰/۶۰	۰/۶۱ ± ۰/۲۴	۰/۰۵ ± ۰/۰۴	۱۴۵/۵ ± ۴/۷۶	۲۴ ± ۲/۸۷
Sandy loam	۵/۲ ± ۰/۹۶	۱۰/۴ ± ۲/۲۵	۲/۳ ± ۰/۴۵	۱/۳ ± ۰/۶۰	۸/۱ ± ۱/۷۳	۲/۸ ± ۱/۹۱	۰/۴۰ ± ۰/۳۱	۰/۰۳ ± ۰/۰۳	۷۲/۷ ± ۵/۷۲	۳۰ ± ۵/۲۹
Sandy clay loam	۳/۶ ± ۰/۵۵	۸/۲ ± ۰/۲۶	۰/۶ ± ۰/۲۶	۱/۶ ± ۰/۲۶	۸/۲ ± ۱/۰۴	۱/۵ ± ۰/۶۲	۰/۴۰ ± ۰/۳۰	۰/۰۳ ± ۰/۰۲	۱۸۱/۹ ± ۵/۷۴	۳۴ ± ۲/۶۴

جدول ۳- مشخصات فلزات سنگین خاک

Cd (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	بافت خاک
۲/۲۲ ± ۰/۲۰	۴/۹۴ ± ۰/۰۵	۷/۱۲ ± ۰/۲۳	۱۰۴/۵ ± ۱/۳۲	۸/۰۱ ± ۰/۱۱	Clay Loam
۲/۶۲ ± ۰/۱۱	۴/۸۶ ± ۰/۶۱	۵/۶۲ ± ۰/۱۹	۵/۳۹ ± ۰/۲۵	۱/۹۳ ± ۰/۵۱	Sandy Loam
۲/۳۵ ± ۰/۳۲	۲/۷۲ ± ۰/۰۸	۵/۷۱ ± ۰/۱۷	۱۸/۵۸ ± ۰/۳۱	۴/۸۹ ± ۰/۳۳	Sandy Clay Loam

نتایج تاثیر بایوچار بر خاکها و تحلیل آماری

تاثیر بایوچار بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و فلزات سنگین خاکهای آماده شده با سه تکرار به شرح زیر می باشد. با تعیین مقادیر به دست آمده میانگین، انحراف معیار و سطح معنی داری هر داده محاسبه و از صحت نرمال

بودن داده ها اطمینان حاصل شد. در نتیجه آزمون Shapiro-Wilk آزمون SPSS - version 26 با استفاده از آزمایش t نمونه های زوجی انجام شد و سطح معناداری داده ها به دست آمد:

جدول ۴- مشخصات بایوچار

نمونه	%p	P (mg/kg)	CEC (meq/100g)	Ca(meq/lit)	Na meq/lit	%Na	Mg(meq/lit)	pH	EC(dS/m)	Ash%	N%	K (mg/kg)	%K
کنجاله های روغنی	۳/۱۳ ± ۰/۱۲	۱۵۸۰ ± ۸/۸۸	۲/۸ ± ۰/۵۲	۲۱۲۰ ± ۱۸/۰۲	۶/۴۹ ± ۰/۴۴	۰/۲ ± ۰/۰۸	۷۵۰ ± ۱۱/۱۳	۱۰/۱ ± ۰/۴	۱۷/۴ ± ۰/۷۸	۷۲ ± ۲/۶۴	۵/۹۹ ± ۱/۱۱	۳۷۱۱۵ ± ۹/۵۳	۸/۷ ± ۱/۱۳
پسماند های غذایی	۱/۵۹ ± ۰/۰۷	۱۰۰۰ ± ۷/۲۱	۱۴/۶ ± ۰/۵۵	۹۵۰ ± ۱۸/۰۲	۱۱۵/۴۳ ± ۰/۵۱	۰/۷ ± ۰/۲	۵۰۰ ± ۱۷/۳۴	۱۰/۴ ± ۰/۳۴	۴۷/۵ ± ۰/۵	۷۳ ± ۶/۵۵	۲/۷۵ ± ۰/۲۲	۸۹۰۰۸ ± ۲۱/۵۴	۱۳/۶ ± ۰/۶۲

نتایج تاثیر بایوچار و تحلیل آماری آن بر فلزات سنگین خاکها

نتایج تاثیر بایوچار و تحلیل آماری آن بر فلزات سنگین خاکها به شرح جدول زیر (۵) می باشد.

جدول ۵- نتایج تاثیر بایوچار بر مقادیر فلزات سنگین خاکها با سه تکرار {Mean± Sd (P- Value)}

کد خاک	Fe(mg kg ⁻¹)	Mn(mg kg ⁻¹)	Cu(mg kg ⁻¹)	Pb(mg kg ⁻¹)	Cd(mg kg ⁻¹)
۱	۴/۰۲ ± ۰/۳ (۰/۰۰۲)	۱۷/۸۲ ± ۰/۲۸ (۰/۰۰۱)	۱/۰۹ ± ۰/۰۸ (۰/۰۰۱)	۲/۴۹ ± ۰/۱۷ (۰/۰۰۳)	۱/۵ ± ۰/۲۱ (۰/۰۰۲)
۲	۴/۲۲ ± ۰/۲۵ (۰/۰۱۴)	۷/۴۴ ± ۰/۰۷ (۰/۰۰۳)	۱/۳۴ ± ۰/۰۴ (۰/۰۰۱)	۴/۴۵ ± ۰/۰۸ (۰/۳۳۵)	۰/۴ ± ۰/۱۵ (۰/۰۰۲)
۳	۳/۷۱ ± ۰/۱۰ (۰/۰۲۱)	۳/۴۲ ± ۰/۰۲ (۰/۰۰۱)	۱/۱۴ ± ۰/۱۲ (۰/۰۰۱)	۴/۳۲ ± ۰/۰۶ (۰/۰۰۲)	۱/۵۳ ± ۰/۰۳ (۰/۰۴۰)
۴	۶/۶۷ ± ۰/۱۳ (۰/۰۰۰۲)	۲۰/۸۵ ± ۰/۲۲ (۰/۰۰۱)	۰/۶۴ ± ۰/۰۳ (۰/۰۰۱)	۳/۳۸ ± ۰/۱۶ (۰/۰۰۳)	۰/۴۲ ± ۰/۰۴ (۰/۰۰۳)
۵	۴/۳۶ ± ۰/۰۶ (۰/۰۱۴)	۴/۹۰ ± ۰/۳۴ (۰/۰۱۰)	۱/۵۸ ± ۰/۰۱ (۰/۰۰۱)	۲/۱۶ ± ۰/۰۶ (۰/۰۱۵)	۰/۷۱ ± ۰/۱۹ (۰/۰۰۱)
۶	۱/۶۲ ± ۰/۰۲ (۰/۰۰۴)	۲/۵۹ ± ۰/۰۵ (۰/۰۰۴)	۰/۴۹ ± ۰/۰۲ (۰/۰۰۱)	۲/۴۹ ± ۰/۰۶ (۰/۰۱۰)	۰/۸۸ ± ۰/۰۲ (۰/۰۱۴)
۷	۴/۱۷ ± ۰/۰۵ (۰/۰۰۱)	۲۳/۲۴ ± ۰/۳۴ (۰/۰۰۱)	۱/۲۲ ± ۰/۱۶ (۰/۰۰۱)	۴/۷۱ ± ۰/۱۹ (۰/۱۵۸)	۰/۷۶ ± ۰/۱۸ (۰/۰۰۱)
۸	۳/۷۳ ± ۰/۰۳ (۰/۰۲۴)	۷/۰۹ ± ۰/۱۷ (۰/۰۰۹)	۱/۳۱ ± ۰/۱۱ (۰/۰۰۲)	۴/۵۱ ± ۰/۱۴ (۰/۴۹۹)	۰/۹ ± ۰/۱۹ (۰/۰۰۱)
۹	۲/۱۴ ± ۰/۰۷ (۰/۰۰۴)	۴/۸۸ ± ۰/۳۳ (۰/۰۰۱)	۱/۶۲ ± ۰/۱۲ (۰/۰۰۲)	۴/۹۴ ± ۰/۱۴ (۰/۰۰۳)	۰/۶۸ ± ۰/۰۷ (۰/۰۰۹)

P- Value < 0/05 نشان دهنده وجود اختلاف معناداری بین دادهها و وجود ۹۵٪ فاصله اطمینان است.

P- Value > 0/05 نشان دهنده عدم اختلاف معناداری بین دادهها و وجود ۹۵٪ فاصله اطمینان است (۱۷).

نتایج تاثیر بایوچار و تحلیل آماری آن بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکها

نتایج تاثیر بایوچار و تحلیل آماری آن بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاکها به شرح جدول زیر (۶) می باشد:

جدول ۶- نتایج تاثیر بایوجار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها با سه تکرار {Mean± Sd (P- Value)}

Bulk Density (gr/Cm ⁻³)	CEC(meq 100g ⁻¹)	Ca(meq lit ⁻¹)	Mg(meq lit ⁻¹)	P(mg kg ⁻¹)	کد خاک
۱/۵ ± ۰/۴۳(۰/۱۴۰)	۱۱/۳ ± ۰/۴۶(۰/۱۴۴)	۳۷ ± ۱/۳۲(۰/۰۰۵)	۲۷ ± ۱/۷۳(۰/۰۰۲)	۲۲ ± ۲(۰/۴۰۴)	۱
۱/۵ ± ۰/۵۲(۰/۱۶۵)	۱/۲ ± ۰/۳۶(۰/۰۵۵)	۲۸/۴ ± ۰/۴۳(۰/۰۰۵)	۱۴/۶ ± ۰/۴(۰/۰۰۴)	۳۴ ± ۵/۱(۰/۰۰۸)	۲
۱/۶ ± ۰/۵۲(۱/۰۰۰)	۱/۳ ± ۰/۳۰(۰/۰۷۸)	۲۴ ± ۱/۶۵(۰/۰۰۳)	۲۶ ± ۲/۲۹(۰/۰۰۲)	۳۶ ± ۱/۳۲(۰/۳۳۹)	۳
۱/۵ ± ۰/۲۸(۱/۰۰۰)	۱۲/۳ ± ۰/۳۶(۱/۰۰۰)	۳۳/۲ ± ۱/۶۵(۰/۰۰۱)	۲۶/۸ ± ۰/۷۲(۰/۰۰۲)	۲۴ ± ۳/۷۶(۱/۰۰۰)	۴
۱/۶ ± ۰/۶۲(۰/۱۶۶۰)	۱/۳ ± ۰/۲۶(۰/۰۸۲)	۲۷ ± ۲/۳۴(۰/۰۰۵)	۶ ± ۳/۱۲(۰/۰۰۳)	۳۸ ± ۶/۵۳(۰/۰۲۴)	۵
۱/۶ ± ۰/۲۶(۱/۰۰۰)	۱/۰ ± ۰/۲(۰/۲۵۳)	۲۱ ± ۰/۹۵(۰/۰۰۲)	۱۱ ± ۱/۹۹(۰/۰۲۳)	۳۲ ± ۱/۴۹(۰/۲۶۶)	۶
۱/۵ ± ۰/۵۶(۰/۱۸۸۳)	۱۲/۰ ± ۰/۲۰(۰/۴۴۹)	۳۱ ± ۱/۹۹(۰/۰۰۷)	۲۲ ± ۱/۱۷(۰/۰۱۳)	۲۴ ± ۱/۸(۱/۰۰۰)	۷
۱/۶ ± ۰/۳۴(۰/۴۴۹)	۰/۴ ± ۰/۲۶(۰/۰۶۰)	۳۲ ± ۱/۳۲(۰/۰۰۳)	۷/۲ ± ۰/۵۵(۰/۰۱۴)	۳۶ ± ۷/۵۴(۰/۰۵۰)	۸
۱/۳ ± ۰/۲۹(۰/۳۳۵)	۲/۰ ± ۰/۲۶(۰/۰۵۳)	۳۲ ± ۲(۰/۰۰۲)	۱۵ ± ۳/۱۲(۰/۰۲۰)	۳۰ ± ۲ (۰/۱۴۷)	۹

ادامه جدول ۶- نتایج تاثیر بایوجار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها با سه تکرار {Mean± Sd (P- Value)}

(mg kg ⁻¹)	N%	OC%	EC(dS m ⁻¹)	pH	کد خاک
۲۴۷/۳ ± ۵/۵۵(۰/۰۰۱)	۰/۰۷ ± ۰/۰۲(۰/۳۳۸)	۰/۷۶ ± ۰/۲۲(۰/۳۵۵)	۱۰ ± ۰/۴۳(۰/۰۱۷)	۱/۳۰ ± ۷/۹(۰/۶۲۶)	۱
۴۴۲/۳ ± ۵/۸۶(۰/۰۰۱)	۰/۰۶ ± ۰/۰۱(۰/۳۷۴)	۰/۶۶ ± ۰/۱۳(۰/۱۸۲)	۳/۵ ± ۰/۴۵(۰/۴۹۷)	۰/۴۳ ± ۸ (۰/۹۲۳)	۲
۲۴۳/۳ ± ۳/۵۶(۰/۰۰۳)	۰/۱۳ ± ۰/۰۲(۰/۰۳۸)	۱/۵ ± ۰/۴۵(۰/۱۲۰)	۵/۳ ± ۰/۶۵(۰/۰۲۹)	۰/۳۶ ± ۷/۹(۰/۶۷۱)	۳
۳۳۸/۳ ± ۷/۱۴(۰/۰۰۱)	۰/۰۷ ± ۰/۰۳(۰/۲۲۲)	۰/۷۸ ± ۰/۲۷(۰/۲۲۷)	۱۰/۲ ± ۰/۴۳(۰/۰۲۸)	۰/۴۳ ± ۷/۹ (۰/۵۶۰)	۴
۶۲۴/۴ ± ۳/۷۳(۰/۰۰۱)	۰/۱۲ ± ۰/۰۴(۰/۰۰۴)	۱/۳۸ ± ۰/۰۶(۰/۰۲۷)	۳/۳ ± ۰/۴۳(۰/۷۳۶)	۰/۴۵ ± ۸/۱(۱/۰۰۰)	۵
۳۱۸/۸ ± ۲/۴۲(۰/۰۰۱)	۰/۰۵ ± ۰/۰۳(۰/۰۷۴)	۰/۵۹ ± ۰/۲۰(۰/۲۲۰)	۳/۵ ± ۰/۹۷(۰/۰۱۱)	۱/۶۰ ± ۸(۰/۸۰۸)	۶
۲۴۷/۳ ± ۲/۶۹(۰/۰۰۱)	۰/۰۵ ± ۰/۰۲(۱/۰۰۰)	۰/۵۷ ± ۰/۱۳(۰/۵۸۷)	۹ ± ۰/۴۳(۰/۰۱۲)	۰/۹۸ ± ۸(۰/۷۷۶)	۷
۶۶۳/۴ ± ۲/۶۰(۰/۰۰۱)	۰/۰۹ ± ۰/۰۵(۰/۰۳۵)	۰/۹۹ ± ۰/۰۷(۰/۰۵۶)	۳/۴ ± ۰/۳۶(۰/۶۲۶)	۰/۲۶ ± ۸/۱(۱/۰۰۰)	۸
۳۷۷/۳ ± ۱۰/۷۷(۰/۰۰۱)	۰/۰۵ ± ۰/۰۱(۰/۳۶۸)	۰/۵۹ ± ۰/۰۸(۰/۲۹۷)	۴/۷ ± ۰/۲۶(۰/۰۲۰)	۰/۷۵ ± ۷/۹(۰/۵۳۵)	۹

P- Value<0/05 نشان دهنده وجود اختلاف معناداری بین داده‌ها و وجود ۹۵٪ فاصله اطمینان است.

P- Value>0/05 نشان دهنده عدم اختلاف معناداری بین داده‌ها و وجود ۹۵٪ فاصله اطمینان است.

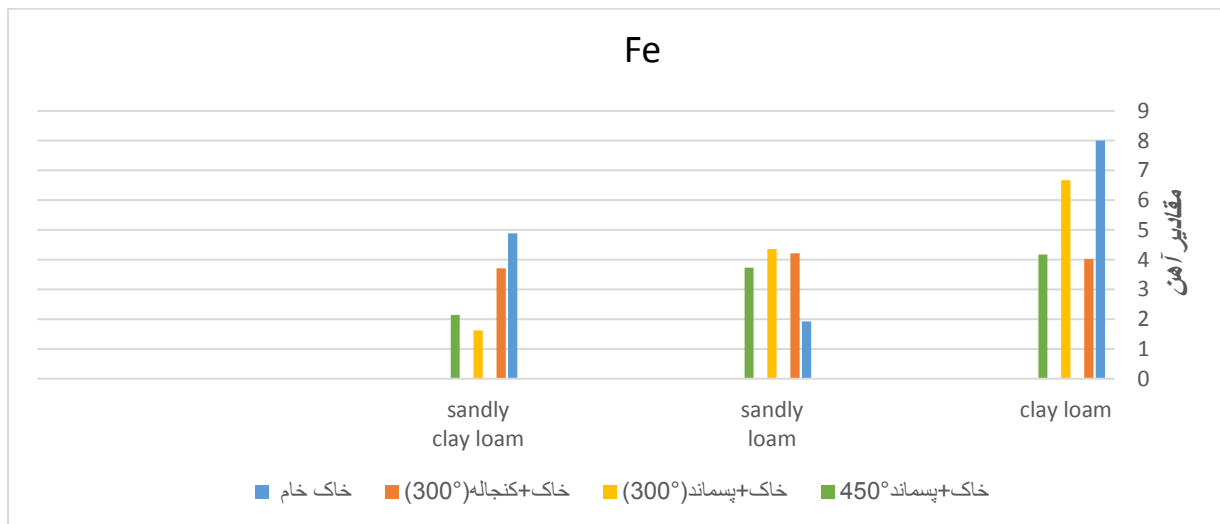
نمودار میله‌ای تحلیل آماری

جدول ۱ در فلزات سنگین به صورت شکل‌های ۱ تا ۶ است. در این نمودارها

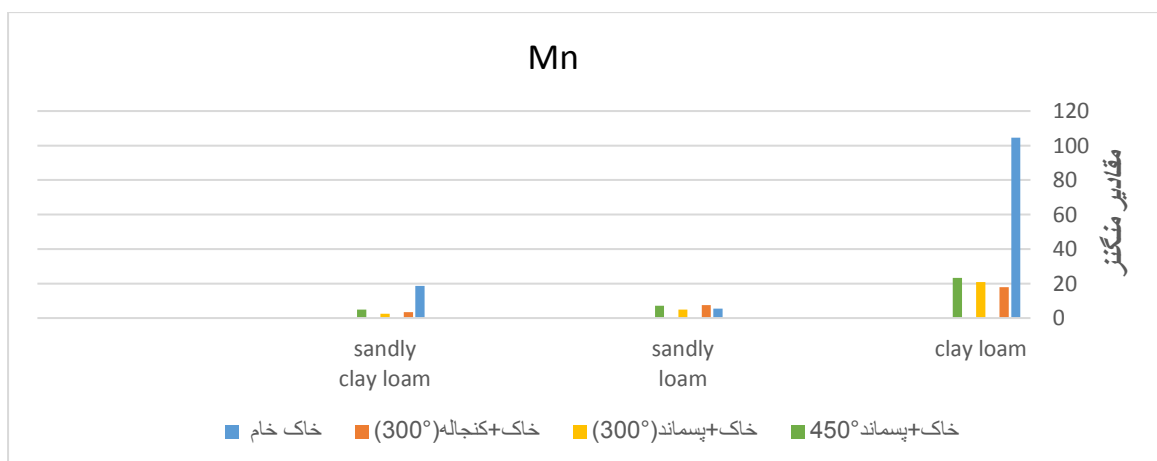
نمودارهای میله‌ای سه نوع خاک به همراه کدهای مربوط به خاک مطابق

توضیحات زیر نویس هر نمودار به شرح جدول زیر است (جدول ۷):

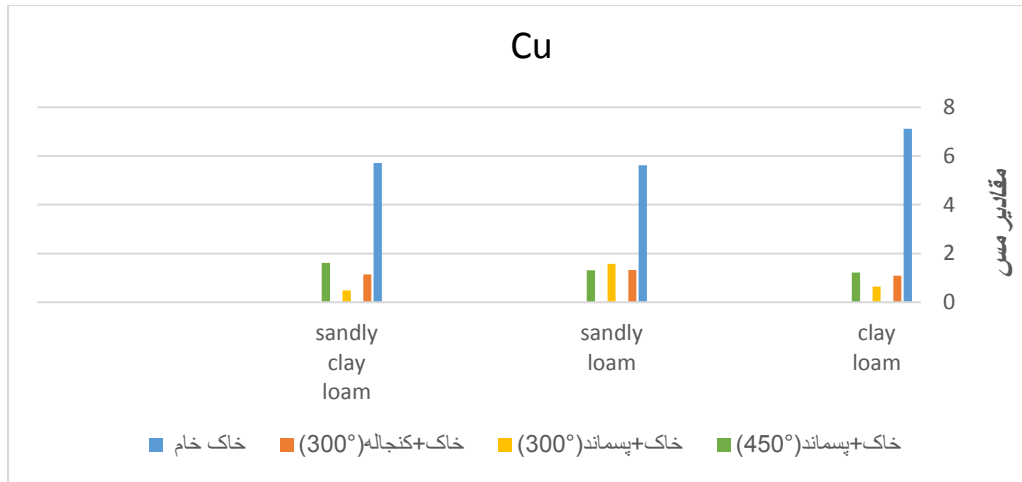
جدول ۷- مفاهیم مندرج در نمودارهای میله‌ای	
خاک Clay loam	Before type 1
گلدان کد ۱	After code 1
گلدان کد ۴	After code 4
گلدان کد ۷	After code 7
خاک Sandly loam	Before type 2
گلدان کد ۲	After code 2
گلدان کد ۵	After code 5
گلدان کد ۸	After code 8
خاک Sandly clay loam	Before type 3
گلدان کد ۳	After code 3
گلدان کد ۵	After code 6
گلدان کد ۹	After code 9



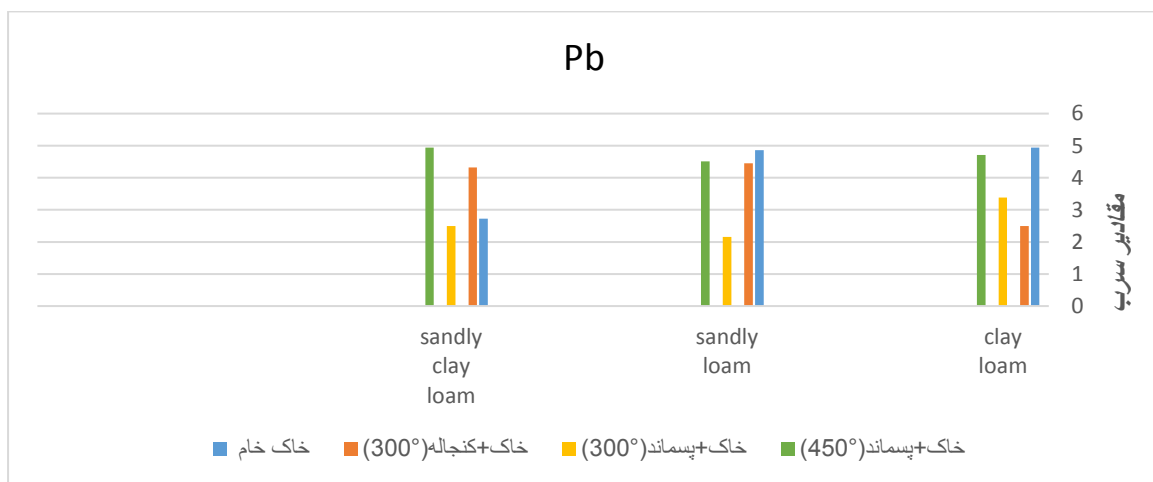
شکل ۱- نمودار میله‌ای مربوط به عنصر آهن.



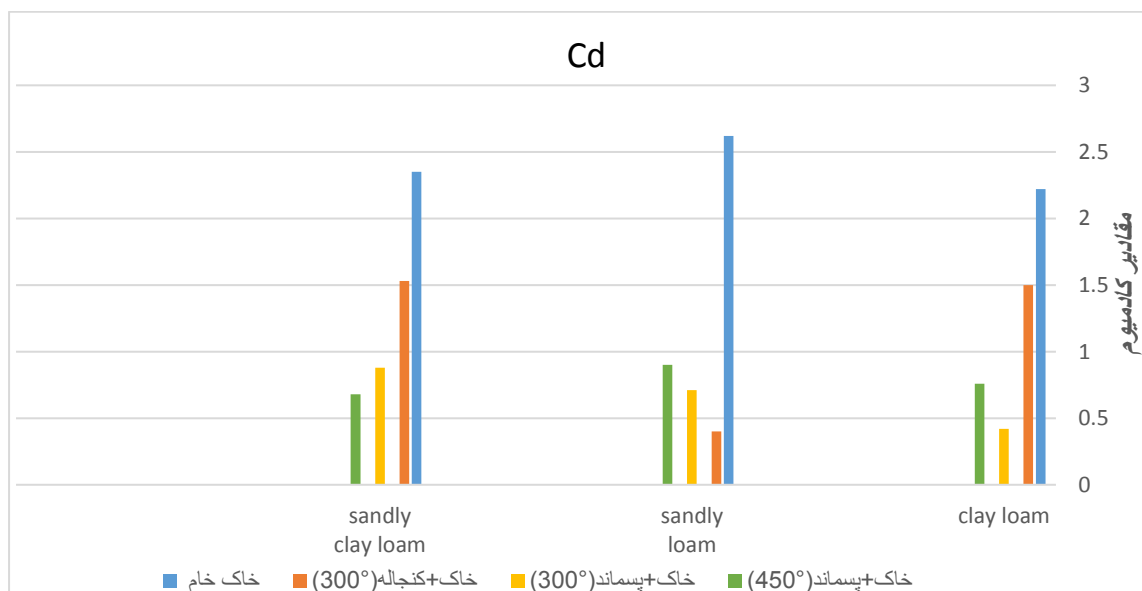
شکل ۲- نمودار میله‌ای مربوط به عنصر منگنز.



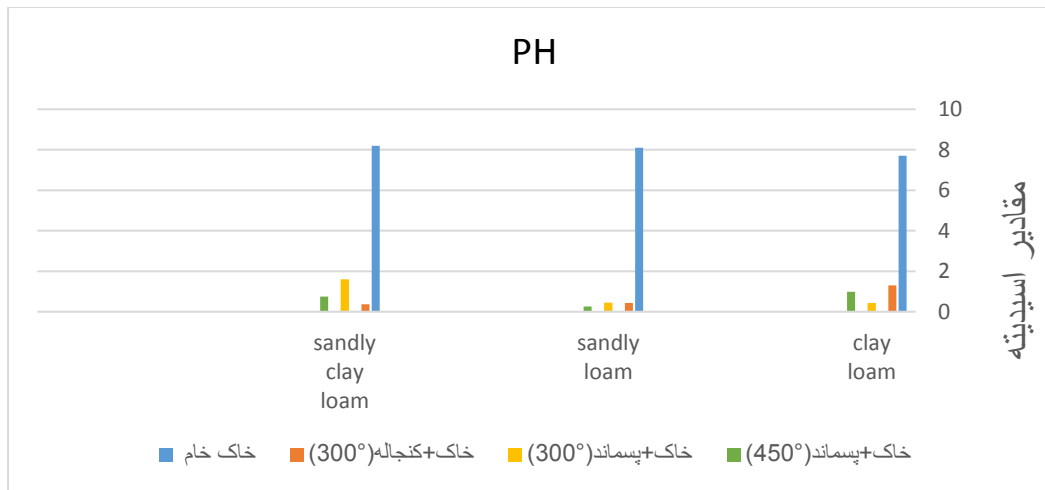
شکل ۳- نمودار میله‌ای مربوط به عنصر مس.



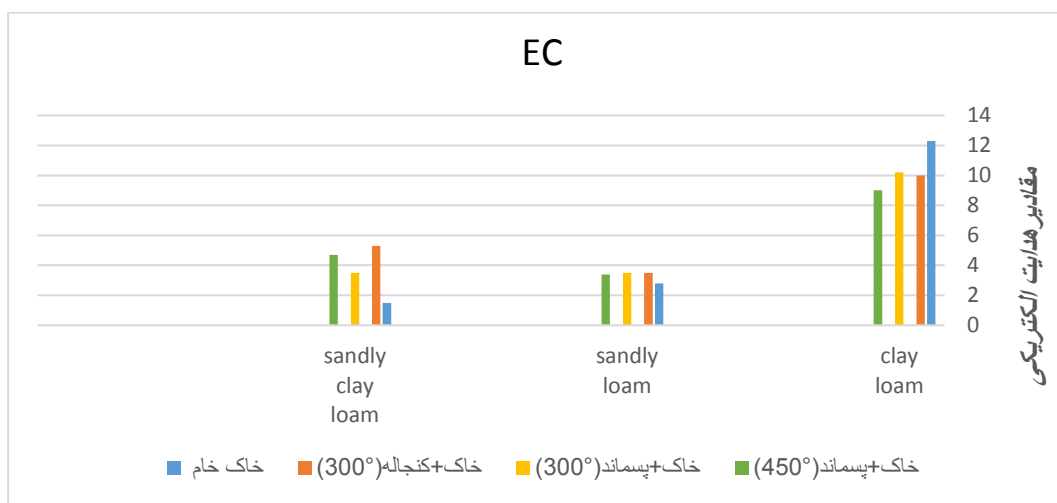
شکل ۴- نمودار میله‌ای مربوط به عنصر سرب.



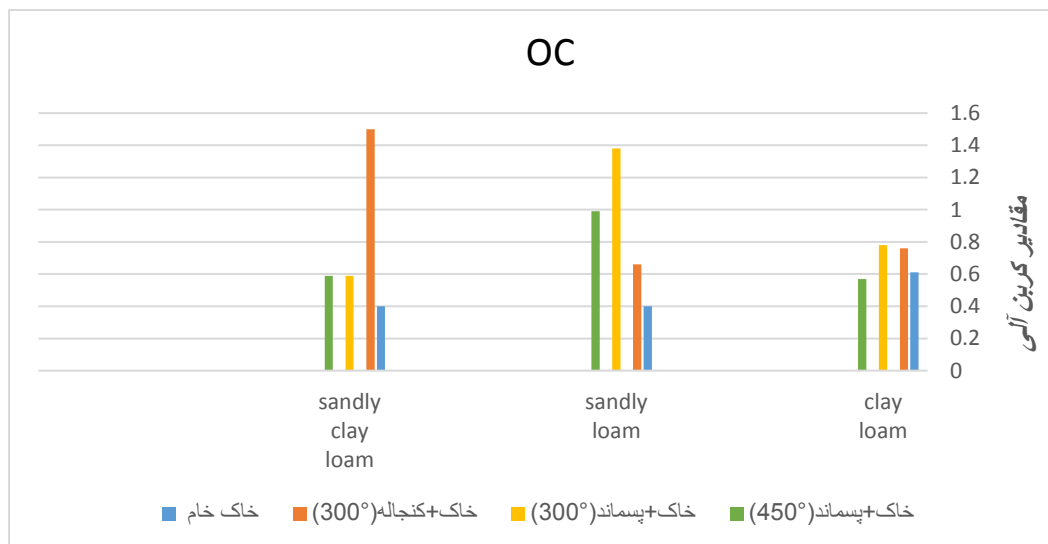
شکل ۵- نمودار میله‌ای مربوط به عنصر کادمیوم



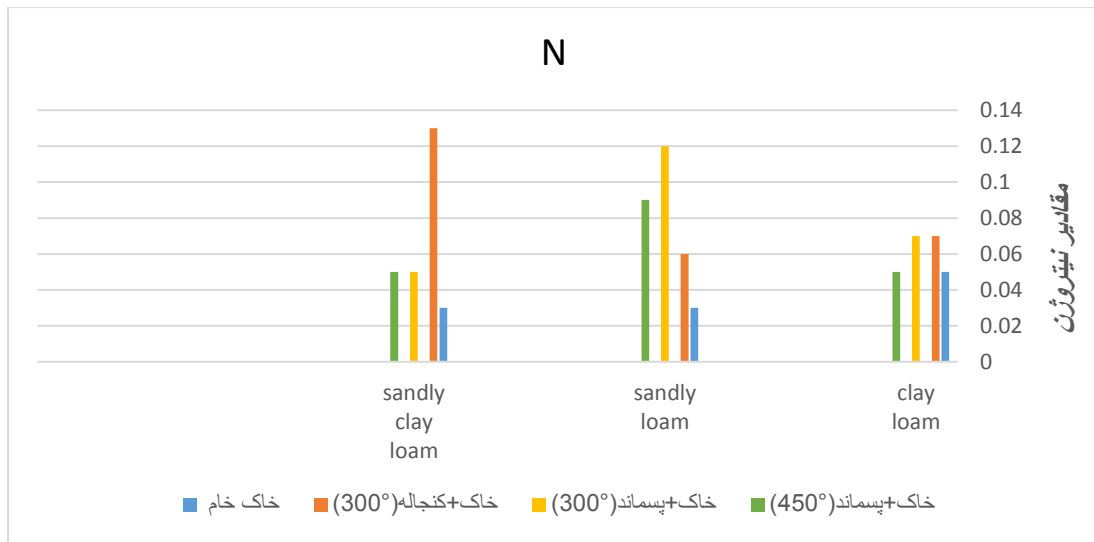
شکل ۶- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه PH



شکل ۷- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه EC



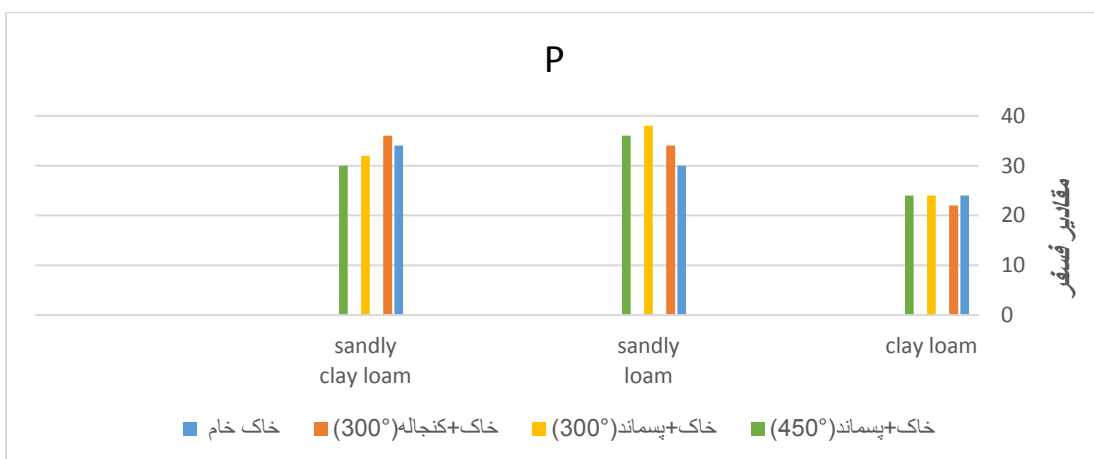
شکل ۸- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه OC



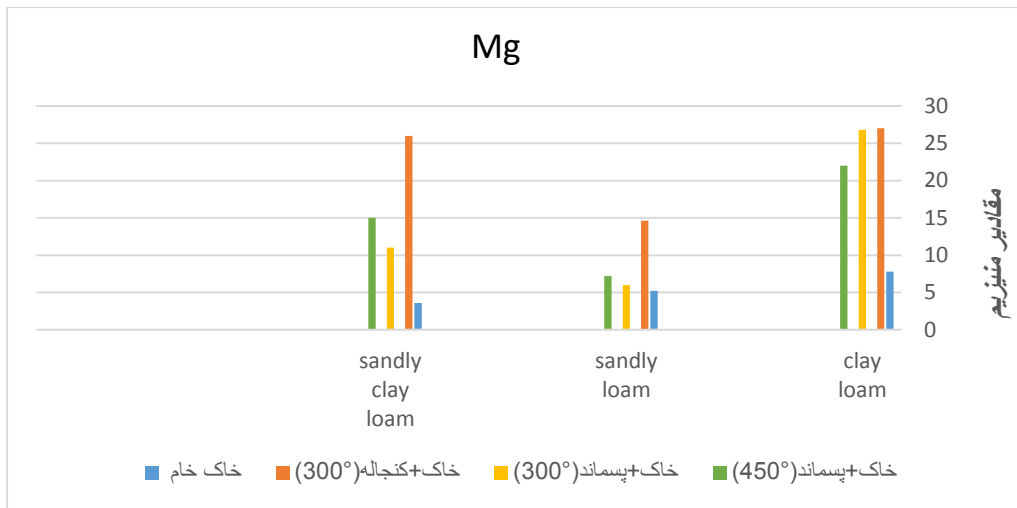
شکل ۹- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه N



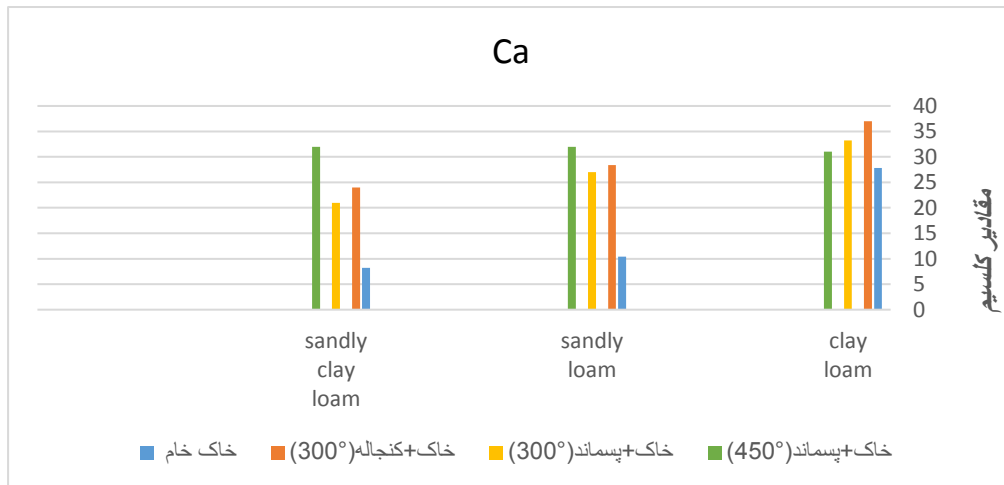
شکل ۱۰- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه K



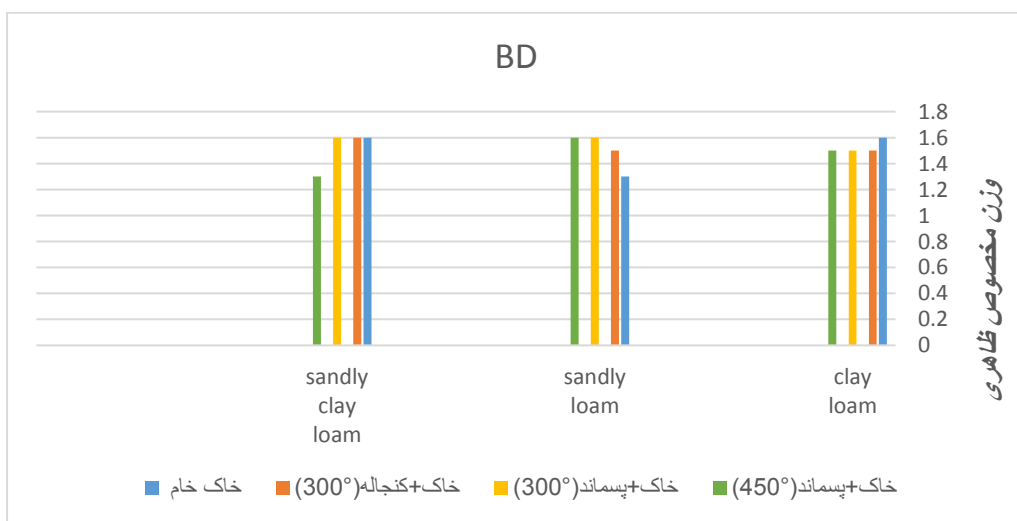
شکل ۱۱- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه P



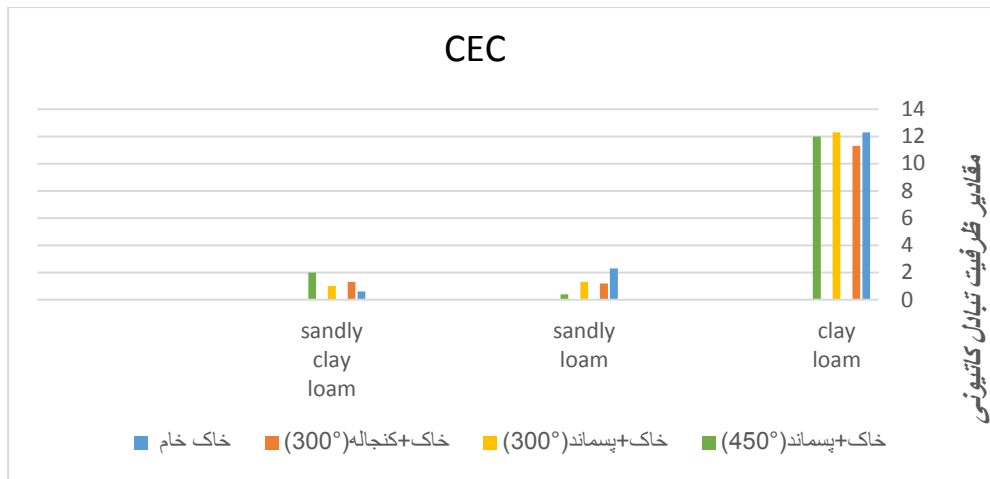
شکل ۱۲- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه Mg



شکل ۱۳- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه Ca



شکل ۱۴- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه Bulk Density



شکل ۱۵- نمودار میله‌ای مربوط به مولفه CEC

نتیجه‌گیری

تاثیر بایوچار بر مقادیر فلزات سنگین

با توجه به جدول‌های ۳ و ۵ که به ترتیب نشان دهنده مقادیر فلزات سنگین خاک قبل از بایوچار و نتایج تاثیر بایوچار بر مقادیر فلزات سنگین خاک‌ها است، حاکی از آن است که:

۱- در گلدان‌های دارای کد ۱، ۴ و ۷ (مطابق جدول ۷) در خاک Clay loam در هر دو بایوچار تولید شده از کنجاله‌های روغنی و پسماندهای غذایی و فارغ از شرایط پیرولیز (شامل دما و مدت زمان)، تمام عناصر سنگین شامل آهن، منگنز، مس، سرب و کادمیوم کاهش پیدا کرده‌اند. به نحوی که نتایج حاصل از نرم‌افزار SPSS و تحلیل آماری نتایج آن نشان دهنده اختلاف میانگین معنادار در داده‌های قبل و بعد از اضافه شدن بایوچار است (P- Value < 0/05).

۲- در گلدان‌های دارای کد ۳، ۶ و ۹ (مطابق جدول ۷) در خاک Clay loam : Sandily

۱-۲- در کد ۶ فقط در بایوچار حاصل از پسماند غذایی و شرایط پیرولیز ۴ ساعت موجب کاهش تمام فلزات سنگین شده است (P- Value < 0/05).
۲-۲- در کد ۳ با بایوچار حاصل از کنجاله‌های روغنی در شرایط پیرولیز دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲ ساعت فلز سنگین سرب افزایش پیدا کرد ولی فلزات سنگین آهن، منگنز، مس و کادمیوم کاهش یافتند.
۳-۲- در کد ۹ با بایوچار حاصل از پسماندهای غذایی در شرایط پیرولیز دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲ ساعت فلز سنگین سرب افزایش پیدا کرد ولی فلزات سنگین آهن، منگنز، مس و کادمیوم کاهش پیدا کردند.

۳- در گلدان‌های دارای کد ۲، ۵ و ۸ (مطابق جدول ۷) در خاک Sandily loam :

۱-۳- در کد ۲ با بایوچار حاصل از کنجاله‌های روغنی در شرایط پیرولیز دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲ ساعت فلزات سنگین آهن و منگنز افزایش پیدا کردند ولی فلزات سنگین مس، سرب و کادمیوم کاهش پیدا کردند.

۲-۳- در کد ۵ با بایوچار حاصل از پسماندهای غذایی در شرایط پیرولیز دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۴ ساعت فلز سنگین آهن افزایش پیدا کرد ولی فلزات سنگین منگنز، مس، سرب و کادمیوم کاهش یافتند.

۳-۳- در کد ۸ با بایوچار حاصل از پسماندهای غذایی در شرایط پیرولیز دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲ ساعت فلزات سنگین آهن و منگنز افزایش پیدا کرد ولی فلزات سنگین مس، سرب و کادمیوم کاهش پیدا کردند.

• با توجه به این که کدهای ۱، ۴ و ۷ هر سه دارای خاک Clay loam هستند و در این خاک فارغ از نوع بایوچار و شرایط متفاوت پیرولیز، مقادیر فلزات سنگین همگی کاهش یافته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که بافت ریز دانه خاک می‌تواند در کاهش مقادیر فلزات سنگین موثر باشد.

مقایسه مقادیر فلزات سنگین کاهش یافته با حد استاندارد

با توجه به این که در این تحقیق در اثر تاثیر بایوچار، مقادیر فلزات سنگین خاک‌ها کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده‌اند، لذا مقادیر این اصلاح با حد استاندارد فلزات سنگین سازمان بهداشت جهانی (W.H.O) مقایسه شده است تا بتوان بایوچارهای تولید شده برای اصلاح خاک مشخص شود (جدول ۸).

جدول ۸- حد استاندارد مقادیر فلزات سنگین سازمان بهداشت جهانی

منبع	حد استاندارد mg kg ⁻¹	بعد از اضافه شدن بایوچار		قبل از اضافه شدن بایوچار		نوع فلز سنگین
		حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	
Mcdonald, 2000	۲ - ۳	۶/۶۷	۱/۶۲	۸/۰۱	۱/۹۳	آهن
Pais et al., 1987	<۸۵۰	۲۳/۲۴	۲/۵۹	۱۰۴/۵	۵/۳۹	منگنز
Toze, 2006	۵ - ۵/۶	۱/۶۲	۰/۴۹	۷/۱۲	۵/۶۲	مس
Toze, 2006	۲ - ۱۳/۴	۴/۹۴	۲/۱۶	۴/۹۴	۲/۷۲	سرب
Toze, 2006	<۰/۱	۱/۵۳	۰/۴	۲/۶۲	۲/۲۲	کادمیوم

مواد آلی) و شیمیایی خاک (از جمله اسیدیته، هدایت هیدرولیکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، عناصر غذایی، کربن آلی و فلزات سنگین) را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در اغلب موارد باعث بهبود خصوصیات خاک می‌شود. از آن جا که حاصلخیزی خاک به کاهش یا حذف فلزات سنگین و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد، در این تحقیق ثابت شده است که بایوچارهای حاصل از کنجاله‌های روغنی و پسماندهای غذایی، مقادیر فلزات سنگین خاک را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهند. در صورتی که تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها ندارند. همچنین ثابت شده است که برای کاهش فلزات سنگین و افزایش حاصلخیزی خاک، علاوه بر زیست توده اولیه و شرایط پیرولیز، که سایر محققین بر آن تأکید دارند، نوع دانه‌بندی خاک هم تأثیر به سزایی در اصلاح خاک دارد. به نحوی که بایوچار در خاک‌های دانه‌ریز، فارغ از شرایط متفاوت پیرولیز، تمام فلزات سنگین خاک را کاهش می‌دهد؛ در حالی که با تغییر دانه‌بندی خاک از ریزدانه به درشت‌دانه، بایوچار فقط در شرایط خاص پیرولیز قادر است برخی از فلزات سنگین کاهش دهد و حتی ممکن است برخی از فلزات سنگین افزایش نیز پیدا کنند.

با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که اضافه شدن بایوچارهای حاصل از پسماندهای غذایی و کنجاله‌های روغنی به خاک‌های آلوده، گرچه نتوانسته دقیقاً مطابق حد استاندارد جهانی مقادیر فلزات سنگین خاک را کاهش دهد؛ اما به مقدار خیلی زیادی مقادیر فلزات سنگین را کاهش داده است.

تأثیر بایوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

با توجه به جدول‌های ۲ و ۶ که به ترتیب نشان دهنده میزان مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از بایوچار و نتایج تأثیر بایوچار بر مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها است، حاکی از آن است که:

۱- در تمامی گلدان‌ها، در هر دو بایوچار و در همه شرایط پیرولیز (دما و زمان) عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم بعد از افزایش بایوچار در همه نمونه‌ها افزایش داشته است ($P-Value < 0/05$).

۲- بقیه مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل PH، EC، OC، N، P، CEC، BD افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته‌اند ($P-Value > 0/05$).

در این تحقیق اثبات شده است که بایوچار خصوصیات مختلف فیزیکی خاک (از جمله بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان

منابع

- Salardini, A. 2005. Soil fertility, University of Tehran Press, p.434. (In Persian).
- Tripathi, M., Sahu, J.N. and Ganesan P. 2016. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. 467–481. DOI:10.1016/j.rser.2015.10.122.
- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J. and Joseph S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature communications. Vol. 1. 56. DOI:10.1038/ncomms1053.
- Major, J. 2009. Biochar application to a Colombia savanna Oxisol: fate and effect on soil fertility, crop production, nutrient leaching and soil hydrology. Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca NY USA. pp. 841. DOI:10.1016/j.geoderma.2010.05.012.
- Roberts, D.A., Paul, N.A., Cole, A.J. and denys, R. 2015. From waste water treatment to land management: conversion of aquatic biomass to biochar for soil amelioration and the fortification of crops with essential trace elements. Jul 1;157:60-8. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.04.016.
- Durenkamp, M., Luo, Y. and Brookes, P.C. 2019. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction. Soil Biology & Biochemistry 42(11):2026-2029. 154 Reads. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.07.016.
- Sohi, S., Krull, E., Lopez-Capel, E. and Bol, R. 2018. A review of biochar and its use and function in soil. Advances in agronomy. Vol. 105. 47-82. DOI:10.1016/S0065-2113(10)5002-9.
- Chan, K.Y. and Xu, Z.H. 2019. Biochar - Nutrient Properties and their Enhancement (Chapter 5). in: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, London, UK. pp. 67. Vol.6 Code 1. DOI: 10.4236/ahs.2009.32011.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T. and Horie, T. 2019. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research 111:81-84. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.10.008.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. 2018. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. Biology and fertility of soils. Vol. 35, 219-230. DOI: 10.1007/s00374-002-0466-4.
- Koohi, Z., Ferasati M, Seydyan S.M and Gholizadeh, A. 2018. Effects of biochar on nitrate absorption from soil. International Seminar of Science and Technology, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Gerdelidani, F, Arzhang M.S, Hosseini H. 2015. Various aspects of biochar effects on soil amendment, International Conference of Applied Research in Agriculture. (In Persian).
- Elkhalifa, S., Al-Ansari, T.R., Mackey, H. and McKay G. 2019. Food waste to Biochars through pyrolysis: A review. Resources, Conservation & Recycling 144 :310–320. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.01.024.
- Kwapinski, C., Byrne, E., Kryachko, P., Wolfram, C., Adley J.J., Leahy E.H. and Novotny M.H.B. 2010. Biochar from biomass and waste. Waste and Biomass Valorization .DOI: 10.1007/s12649-010-9024-8.

15. Jeffery, S., Verheijen, F.G.A. and Bastos, A.C. 2018. A quantitative review of the effects of Biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* Vol. 144, 175-187. DOI:10.1016/j.agee.2011.08.015.
16. Peng, X., Yel, L., Wang, C.H., Zhou, H. and Sun, B. 2011. Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research* 112(2):159-166 · April 2011 with 1,567 Reads. DOI: 10.1016/j.still.2011.01.002.
17. Afkari, F. 2019. Step by step guide of SPSS 25, Atinegar Publication, p.141. (In Persian).