برآورد ماده آلی خاک به روش سوزاندن در کوره در چهار دشت مهم استان چهار محال و بختیاری

امه‌کلثوم هاشمی بنی، محمدحسن صالحی* و حبیب اله بیگی هرچگانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۷/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۹)

چکیده

اگر چه ماده آلی بخش کمی از وزن خاک را تشکیل می‌دهد ولی تأثیر زیادی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد و از شاخص‌های مهم کیفیت و توان تولید خاک به‌شمار می‌رود. تعیین مقدار ماده آلی خاک در مطالعات حاصل‌خیزی خاک و آلودگی محیط خاک، ضروری است. روش اکسایش تر واکلی- بلک یکی از روش‌های متداول تعیین ماده آلی است. این روش علی‌رغم دقت و تبعیت از استانداردها، پرهزینه و با مصرف ترکیب کرومیوم‌دار انجام می‌شود. سوزاندن در کوره (Loss On Ignition, LOI) روش دیگری است که به دلیل عدم تمایل به استفاده از اسید کرومیک، هزینه کم و آسانی بیشتر مورد توجه قرارگرفته است. اهداف این پژوهش، تعیین روابط بین روش‌های اکسایش تر و LOI در خاک‌های چهار دشت مهم استان چهار محال و بختیاری و تعیین مناسب‌ترین دمای سوزاندن در کوره برای برآورد ماده آلی خاک است. بدین منظور، نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی صفر تا ۲۵ سانتی‌متری چهار دشت شهرکرد، فارسان، کوهرنگ و لردگان به طور تصادفی انجام گردید و در مجموع ۲۰۵ نمونه خاک برداشت شد. ماده آلی خاک به روش‌های اکسایش تر و LOI در پنج دمای ۳۰۰، ۳۶۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۵۵۰ درجه سیلسیوس به مدت دو ساعت تعیین گردید. به منظور تعیین بهترین دمای سوزاندن خاک، ۴۰ نمونه خاک، انتخاب و ماده آلی و کربنات کلسیم معادل آنها، قبل و بعد از سوزاندن در دماهای مذکور اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد در هر دشت بین روش‌های اکسایش تر و LOI در دماهای مختلف یک رابطه خطی، مثبت و معنی‌دار وجود دارد. تفاوت در دشت‌ها موجب گردید معادله به دست آمده برای هر دشت از معادله کلی متفاوت باشد و تفکیک داده‌ها بر اساس دشت، موجب افزایش R^2 معادلات شد. با افزایش دمای سوزاندن، R^2 و شیب معادلات کاهش و مجذور میانگین مربعات خطای باقی‌مانده (RMSE) افزایش یافت. در مقادیر بالاتر کربنات کلسیم معادل، کاهش شیب خطوط رگرسیون با افزایش دما قابل توجه بود که می‌تواند ناشی از تخریب بیشتر کربنات‌ها در دمای بالاتر باشد. در این پژوهش، دمایی حدود ۳۶۰ درجه سیلسیوس بهترین دمای سوزاندن خاک در کوره تشخیص داده شد زیرا در این دما تمام کربن آلی سوزانده شده، حداقل تخریب کربن معدنی و از دست دادن آب ساختمانی از کانی‌های رسی صورت گرفته و هزینه انرژی مصرفی کمتر است.

واژه‌های کلیدی: ماده آلی خاک، اکسایش تر، سوزاندن در کوره (LOI)

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیاران خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mehsalehi@yahoo.com

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

مقدمه

ماده آلی خاک شامل مانده‌های گیاهی و جانوری در مراحل گوناگون تجزیه، سلول‌ها و بافت‌های ریزجانداران خاک و هوموس است (۶). این ویژگی یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های کیفیت و توان تولید خاک به‌شمار می‌رود. با توجه به این که کشت و کار متمرکز و مداوم، موجب از دست رفتن و یا کاهش کربن آلی خاک می‌شود (۱۰) ضروری است ماده آلی خاک‌ها حفظ شود تا توان تولیدی خاک، تقویت گردد. مقدار ماده آلی در بیشتر از ۶۰ درصد خاک‌های زیر کشت ایران کمتر از یک درصد و در بخش قابل توجهی از آنها کمتر از ۰/۵ درصد است (۱).

تعیین مقدار ماده آلی در مطالعات حاصل‌خیزی خاک و آلودگی محیط خاک مورد نیاز است. هم‌چنین، برآورد دقیق مقدار ماده آلی خاک در ارزیابی قابلیت جذب و نگه‌داری کربن در شرایط مختلف خاک و جذب CO_2 برای کاهش گرم شدن زمین ضروری است (۲۱). وجود ماده آلی حتی به مقدار کم بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک تأثیر زیادی دارد (۸). ماده آلی با تشکیل خاکدانه‌های پایدار ساختمان خاک را بهبود می‌بخشد و از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند. ماده آلی به خاطر ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، عناصر غذایی را در خاک ذخیره می‌کند و باعث افزایش حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاه می‌شود (۱۰). ماده آلی، منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران خاک است. هم‌چنین، مقدار ماده آلی خاک بر نیتروژن قابل دسترس گیاه و جذب آفت‌کش‌ها تأثیر دارد. تعیین ماده آلی خاک به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد. بیشتر روش‌ها مبتنی بر برآورد کربن آلی خاک (Soil Organic Carbon, SOC) هستند. روش‌های متداول شامل اکسایش تر، سوزاندن خشک و سوزاندن در کوره (Loss On Ignition, LOI) است (۸).

اکسایش تر واکلی- بلک از متداول‌ترین روش‌های تعیین ماده آلی خاک (Soil Organic Matter, SOM) است (۲۲). در این روش، مقدار کربن اکسید شده اندازه‌گیری می‌شود. سوزاندن خشک به عنوان روش مرجع در اندازه‌گیری کربن با به‌کارگیری دستگاه تجزیه کننده کربن انجام می‌شود. سوزاندن در کوره (LOI) روش دیگری است که در سال‌های اخیر به دلیل عدم تمایل به استفاده از اسید کرومیک، هزینه کم، سهولت و سرعت، مورد توجه قرار گرفته است (۱۸). روش LOI بر اساس از دست دادن وزن نمونه خاک به وسیله توزین نمونه قبل و بعد از حرارت دادن در دمای خاص انجام می‌شود.

هر کدام از روش‌های اندازه‌گیری ماده آلی مزایا و معایبی از نظر دقت روش، هزینه و سهولت انجام دارند. روش اکسایش تر برای خاک‌های معدنی و خاک‌های که ماده آلی کمی دارند مناسب است (۱۷). این روش علی‌رغم دقت و تبعیت از استانداردها، زمان بر و پرهزینه است و مصرف ترکیب کرومیوم‌دار نیز آلایندگی محیط و خطر سلامتی را در پی دارد. در این روش، اکسایش ناقص ماده آلی و ترکیبات غیر آلی اتفاق می‌افتد. در خاک‌های مورد مطالعه در دشت‌های استان چهار محال و بختیاری به دلیل مقادیر کم شوری و کلرید و گچی نبودن نیازی به تصحیح برای این ترکیبات نخواهد بود. یون آهن در خاک نیز می‌تواند موجب خطای مثبت در نمونه شود اما در طول آماده‌سازی نمونه برای تجزیه، اکسید می‌شود. ماده آلی خاک با استفاده از ضریب تبدیل کربن آلی خاک (۱/۷۲۴) محاسبه می‌شود. در کاربرد این ضریب فرض می‌شود که در ماده آلی خاک ۵۸ درصد کربن آلی وجود دارد (۱۷).

سوزاندن خشک روشی بسیار دقیق، ولی گران قیمت بوده و در صورت وجود دستگاه تجزیه کننده بهترین روش است. با این حال، در اغلب آزمایشگاه‌ها، دستگاه تجزیه کننده وجود ندارد (۸). LOI روشی سریع، ارزان قیمت و قابل انجام در بیشتر آزمایشگاه‌ها برای برآورد ماده آلی خاک است. دما و زمان سوزاندن در روش LOI دو عامل مهم هستند (۱۴). دما و زمان سوزاندن باید به دقت انتخاب شوند تا حداقل تبخیر آب ساختمانی از کانی‌های رسی و دیگر ترکیبات معدنی، تجزیه کربنات‌های معدنی و نمک‌های هیدراته و اکسایش آهن در آزمایش رخ دهد (۱۸). در اغلب پژوهش‌ها، مقدار خطای

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

ناشی از دست دادن آب ساختمانی کانی‌ها گزارش نشده است. سان و همکاران (۲۱) اقدام به محاسبه مقدار از دست دادن آب ساختمانی در کانی‌های رسی نمودند. آنان گزارش کردند که در کانی‌های ایلایت، اسمکتایت و ورمی‌کولایت آب ساختمانی یک فرآیند تدریجی است و می‌تواند در هر دمایی رخ دهد در حالی که در کانی‌های کلرایت و کائولینایت از دست دادن آب ساختمانی در دماهای ۴۵۰ تا ۶۰۰ درجه سیلسیوس رخ می‌دهد. آنان بیان کردند با به دست آوردن مقدار آب ساختمانی و خطای ناشی از آن می‌توان روش LOI را با دقت بهتری به کار برد. در مطالعات کانی‌شناسی خاک‌های استان چهار محال و بختیاری نیز وجود کانی‌های ایلایت، اسمکتایت، ورمی‌کولایت، میکا، کلرایت و کائولینایت به اثبات رسیده است (۲ و ۴).

در مطالعات اسکولت و همکاران (۱۹)، کونین و همکاران (۱۵)، برانتو و همکاران (۷)، اسکوستگوی و همکاران (۱۲)، یروکان و همکاران (۲۳) دمای ۳۶۰ درجه سیلسیوس و در مطالعات ابلا و زیمر (۵) دماهای ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ درجه سیلسیوس و به مدت دو ساعت بررسی شد. اسکوستگوی و همکاران (۱۲) در ادامه تحقیقات برانتو و همکاران (۷) دریافتند LOI هم‌بستگی معنی‌داری با روش اکسایش تر دارد و برای تعیین ماده آلی خاک‌های برزیل LOI روشی مناسب است. اهداف این پژوهش، بررسی روابط روش‌های بین اکسایش تر و LOI در خاک‌های چهار دشت مهم استان چهار محال و بختیاری و تعیین مناسب‌ترین دمای سوزاندن در کوره برای برآورد ماده آلی خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، نواحی مختلف از دشت‌های شهرکرد، فارسان، کوهرنگ و لردگان در استان چهار محال و بختیاری را شامل می‌شود. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک همه دشت‌ها به ترتیب، زریک و مزیک می‌باشد. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی چهار دشت مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است (۳). کاربری اراضی در این دشت‌ها کشاورزی آبی و دیم گندم و یونجه است.

نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی صفر تا ۲۵ سانتی‌متری دشت‌های شهرکرد، فارسان، کوهرنگ و لردگان به طور تصادفی انجام گرفت و در مجموع تعداد ۲۰۵ نمونه خاک جمع‌آوری شد. ابتدا نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از کوبیده شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند.

برای تمامی نمونه‌ها (n=۲۰۵)، ماده آلی خاک به روش‌های اکسایش تر (۱۷) و LOI در دماهای ۳۰۰، ۳۶۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۵۵۰ درجه سیلسیوس به مدت دو ساعت در کوره الکتریکی (مدل Exation ۱۲۰۰-۳۰L) با دقت ۵ ± درجه سیلسیوس اندازه‌گیری شد (۱۸). برخی از ویژگی‌های دیگر خاک شامل کربنات کلسیم معادل (Calcium Carbonate Equivalent, CCE) به روش تیتراسیون برگشتی (۱۶) و بافت خاک به روش پی‌پت (۱۳) نیز اندازه‌گیری شدند.

با توجه به این‌که یکی از اهداف پژوهش، تعیین بهترین دمای سوزاندن خاک در کوره بود و بهترین دمای سوزاندن خاک، دمایی است که تمام کربن آلی سوزانده شده و حداقل تخریب کربن معدنی را موجب شود به همین منظور، تعداد ۴۰ نمونه خاک بر اساس مقادیر کم تا زیاد ماده آلی و کربنات کلسیم معادل، انتخاب و LOI این نمونه‌ها در پنج دمای مورد مطالعه تعیین گردید. سپس، نمونه‌های سوزانده شده برای بررسی میزان تخریب کربنات کلسیم معادل و ماده آلی مانده، تیتر شدند.

پس از تعیین ماده آلی خاک به روش‌های اکسایش تر واکلی- بلک (WB) و LOI، معادله رگرسیون به صورت زیر برای داده‌های هر دشت به دست آمد:

$$SOM_{WB}=b_0+b_1LOI \quad [۱]$$

که در آن: LOI به مدت دو ساعت در دماهای ۳۰۰، ۳۶۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۵۵۰ درجه سیلسیوس، b_0 عرض از مبدأ و b_1 شیب معادلات برآورد ماده آلی خاک است. میانگین مجذور مربعات خطای باقی‌مانده (Root Mean Square Error, RMSE) از رابطه زیر محاسبه شد:

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی چهار دشت مورد مطالعه

نام دشت	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)	میانگین دمای سالانه (درجه سیلسیوس)
شهرکرد	۵۰-۵۱ E	۳۲-۱۹ N	۲۰۶۰	۳۲۰	۱۱/۸
فارسان	۳۵-۵۰ E	۱۵-۳۲ N	۲۲۵۰	۳۵۰	۱۲/۵
کوهرنگ	۵۰-۰۷ E	۳۲-۲۶ N	۲۲۸۵	۱۴۴۰	۹/۴
لردگان	۵۰-۴۹ E	۳۰-۳۱ N	۱۸۰۰	۵۷۰	۱۵/۵

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[P(x_i) - M(x_i)]^2}{n}} \quad [2]$$

که در آن: $P(x_i)$ مقدار ماده آلی برآورد شده، $M(x_i)$ مقدار ماده آلی اندازه‌گیری شده و n تعداد نمونه‌ها می‌باشد. خلاصه آماری داده‌ها، نمودارهای پراکنش، معادلات رگرسیون خطی و آزمون t ناپارامتریک، برای کل داده‌ها و سپس تفکیک آنها بر اساس هر یک از دشت‌ها و برآورد دمای مناسب سوزاندن در کوره با استفاده از نرم افزار STATISTICA 6.0 به دست آمد. ضرایب هم‌بستگی خطی بین LOIها در دماهای مختلف، محاسبه و سطح معنی‌داری آنها تعیین گردید. هم‌چنین، ضرایب هم‌بستگی خطی بین LOIها و ویژگی‌های خاک به دست آمد. برای بررسی تخریب کربنات‌ها بعد از سوزاندن نمونه‌ها، میانگین کربنات کلسیم معادل ۴۰ نمونه خاک در هر دما با میانگین آن قبل از سوزاندن و برای بررسی وجود ماده آلی بعد از حرارت دادن نمونه‌ها میانگین ماده آلی مانده بعد از سوزاندن نمونه‌ها، با میانگین آن قبل از سوزاندن از آزمون ویلکاکسون استفاده شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک در هر دشت در جدول ۲ آورده شده است. گستره هر ویژگی خاک در این پژوهش نسبتاً وسیع است. این دامنه برای ماده آلی به روش اکسایش تر ۰/۰۵ تا ۳/۸ درصد و برای کربنات کلسیم معادل، ۱ تا ۶۵ درصد است. میانگین درصد ماده آلی و رس در دشت کوهرنگ از دیگر دشت‌ها بیشتر است. در دشت شهرکرد میانگین درصد کربنات کلسیم معادل، بیشترین و در دشت کوهرنگ کمترین بوده و ظاهراً بیانگر این است که متوسط کربنات کلسیم معادل، در دشت‌های مورد مطالعه با مقدار بارندگی آنها رابطه معکوس دارد. دامنه تغییرات درصد رس، شن و سیلت در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب ۸ تا ۶۱، ۲ تا ۶۷ و ۲۱ تا ۷۹ درصد است. بافت نمونه‌های خاک بیشتر در سه گروه بافت لومی رسی سیلتی، رسی سیلتی و لومی سیلتی قرار می‌گیرد. روی هم رفته خاک‌های مورد مطالعه بیشتر دارای رس و سیلت بوده و شن کمتری دارند. تغییرات LOI در کل داده‌ها از تغییرات اکسایش تر بیشتر است (جدول‌های ۲ و ۳).

برای مقایسه و بررسی رابطه بین اکسایش تر و LOI، نمودارهای پراکنش SOM_{WB} در برابر LOI در پنج دما برای کل نمونه‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. نمودارهای پراکنش نشان می‌دهند رابطه SOM_{WB} با LOI خطی و مثبت است. با افزایش دمای سوزاندن، شیب و R^2 معادلات کاهش و RMSE آنها افزایش یافته است. در دماهای ۵۰۰ و ۵۵۰ درجه سیلسیوس، کاهش عرض از مبدأ، شیب، R^2 و افزایش RMSE بیشتر است. ابلا و زیمر (۵) نیز کاهش R^2 را با افزایش دما گزارش کرده‌اند. به نظر می‌رسد با افزایش دمای سوزاندن، شیب معادلات به خاطر از دست دادن آب ساختمانی کانی‌ها و تخریب کربنات‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که روش LOI نسبت به روش اکسایش تر ماده آلی را بیشتر برآورد می‌کند احتمالاً باید شیب معادلات کاهش یابد.

برای بررسی اثر تفکیک داده‌ها بر اساس هر یک از دشت‌ها

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

جدول ۲. خلاصه آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در چهار دشت مورد مطالعه

ویژگی	کل نمونه‌ها (n=۲۰۵)			دشت لردگان (n=۵۴)			دشت کوهرنگ (n=۴۸)			دشت فارسان (n=۴۷)			دشت شهرکرد (n=۵۶)		
	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین*	حداکثر
SOMWB [1] (٪)	۰/۰۵	۱/۵ ± ۰/۷۴	۳/۸	۰/۵	۱/۴ ± ۰/۷۰	۳/۵	۰/۶	۱/۸ ± ۰/۸۰	۳/۵	۰/۰۵	۱/۵ ± ۱	۳/۸	۰/۶	۱/۵ ± ۰/۶۱	۲/۷
CCE [2] (٪)	۱	۲۷ ± ۱۴/۹	۶۵	۴	۲۹ ± ۱۴/۱	۶۲	۱	۱۷ ± ۱۳/۸	۵۱	۳	۲۴ ± ۱۳/۸	۵۵	۱۵	۳۶ ± ۱۱/۲	۶۵
Clay (٪)	۸	۲۸ ± ۸/۷	۶۱	۸	۲۲ ± ۱۱/۳	۶۱	۱۹	۳۳ ± ۶/۳	۴۶	۱۷	۲۹ ± ۵/۷	۴۰	۱۴	۲۶ ± ۵/۷	۴۰
Sand (٪)	۲	۱۴ ± ۱۱	۶۷	۲	۲۴ ± ۱۵/۷	۶۷	۲	۹ ± ۴/۹	۲۱	۴	۱۵ ± ۷	۳۰	۲	۱۰ ± ۵/۸	۲۵
Silt (٪)	۲۱	۵۸ ± ۹/۷	۷۹	۲۱	۵۴ ± ۱۲	۷۳	۳۹	۵۸ ± ۸	۷۷	۴۰	۵۶ ± ۷/۳	۷۲	۴۸	۶۴ ± ۷/۱	۷۹

*: ستون اعداد: مقدار میانگین ± انحراف معیار

۱. SOM_{WB} (٪): درصد وزنی ماده آلی خاک به روش اکسایش تر واکلی- بلک

۲. CCE (٪): درصد وزنی کربنات کلسیم معادل

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

جدول ۳. خلاصه آماری LOIهای اندازه‌گیری شده در دماهای مختلف در چهار دشت مورد مطالعه

LOI	کل نمونه‌ها (n=۲۰۵)			دشت لردگان (n=۵۴)			دشت کوهرنگ (n=۴۸)			دشت فارسان (n=۴۷)			دشت شهرکرد (n=۵۶)		
	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین*	حداکثر
LOI ۳۰۰ (٪) [۱]	۰/۶۸	۲/۴ ± ۰/۸۴	۴/۹	۰/۶۸	۲/۱ ± ۰/۹۱	۴/۹	۱/۵	۲/۹ ± ۰/۹۵	۴/۶	۱/۲	۲/۴ ± ۰/۸۵	۴/۷	۱	۲/۱ ± ۰/۶۶	۳/۹
LOI ۳۶۰ (٪) [۲]	۰/۷۴	۲/۷ ± ۱	۵/۹	۰/۷۴	۲/۳ ± ۱	۵/۵	۱/۸	۳/۴ ± ۰/۹۵	۵/۹	۱/۷	۲/۸ ± ۰/۸۵	۵/۶	۱/۲	۲/۵ ± ۰/۸۲	۴/۷
LOI ۴۰۰ (٪) [۳]	۱/۱	۳/۲ ± ۱/۱	۷/۷	۱/۱	۲/۹ ± ۱/۳	۶	۱/۹	۳/۷ ± ۱	۶/۵	۲/۱	۳/۲ ± ۱	۷/۷	۱/۶	۲/۷ ± ۰/۸۹	۴/۹
LOI ۵۰۰ (٪) [۴]	۱/۶	۴/۷ ± ۱/۴	۹/۶	۱/۶	۴/۳ ± ۱/۶	۹/۶	۳/۱	۵/۱ ± ۱/۲	۸/۵	۳	۴/۸ ± ۱/۱	۸/۴	۲/۶	۴/۷ ± ۱/۳	۹/۶
LOI ۵۵۰ (٪) [۵]	۲/۲	۵/۳ ± ۱/۵	۱۰/۴	۲/۲	۵/۲ ± ۲/۱	۱۰/۴	۳/۸	۵/۶ ± ۱/۱	۸/۵	۴	۵/۵ ± ۱/۱	۸/۹	۲/۶	۵/۱ ± ۱/۴	۹/۷

*: ستون اعداد: مقدار میانگین ± انحراف معیار

۱. LOI ۳۰۰ (٪): درصد کاهش وزن پس از سوزاندن در کوره با دمای ۳۰۰ درجه سیلسیوس

۲. LOI ۳۶۰ (٪): درصد کاهش وزن پس از سوزاندن در کوره با دمای ۳۶۰ درجه سیلسیوس

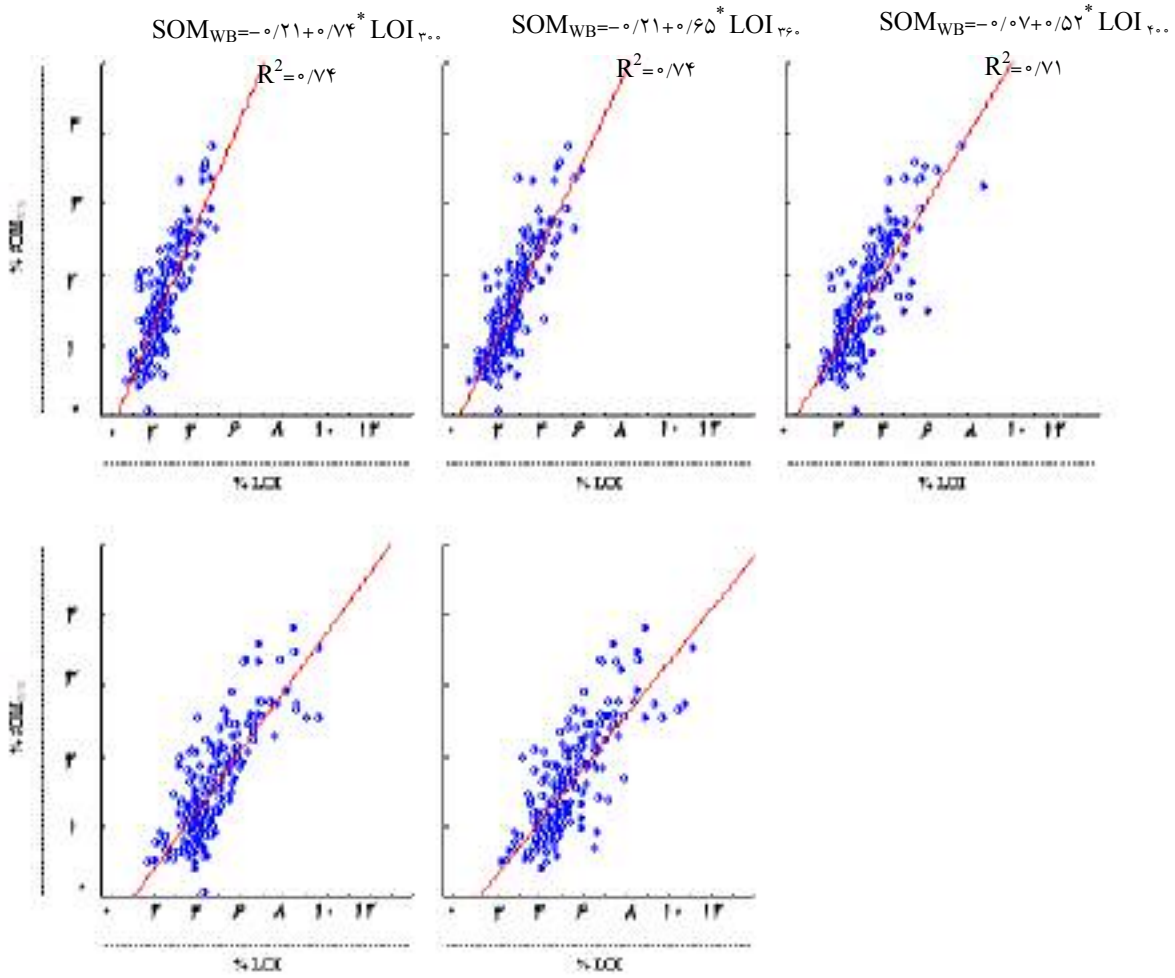
۳. LOI ۴۰۰ (٪): درصد کاهش وزن پس از سوزاندن در کوره با دمای ۴۰۰ درجه سیلسیوس

۴. LOI ۵۰۰ (٪): درصد کاهش وزن پس از سوزاندن در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سیلسیوس

۵. LOI ۵۵۰ (٪): درصد کاهش وزن پس از سوزاندن در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سیلسیوس

[Downloaded from iuljournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]



شکل ۱. نمودارهای پراکنش SOM_{WB} در برابر LOI در دماهای مختلف برای کل نمونه‌ها

بر دقت رابطه بین SOM_{WB} و LOI در دماهای مورد مطالعه، نمودارهای پراکنش آنها به تفکیک دشت‌ها در جدول ۴ خلاصه شده است. با توجه به این‌که دشت‌های مورد مطالعه از نظر بارندگی و توپوگرافی و خصوصیات خاک مانند مقدار ماده آلی و رس، کربنات کلسیم معادل، با هم تفاوت دارند (جدول‌های ۱ و ۲) احتمالاً رابطه SOM_{WB} با LOI در هر دشت می‌تواند متفاوت باشد. به طور کلی تفکیک داده‌ها بر اساس دشت‌ها موجب افزایش R_2 معادلات شده است.

در هر چهار دشت مورد مطالعه با افزایش دمای سوزاندن، شیب معادلات کاهش یافت که می‌تواند ناشی از هدر رفت آب ساختمانی کانی‌ها و تخریب کربنات‌ها باشد. با افزایش دمای سوزاندن، تبخیر آب و کربنات‌ها بیشتر شده و منجر به کاهش R^2 شده است. با توجه به این‌که LOI نسبت به اکسایش تر، ماده آلی را بیشتر برآورد می‌کند (۱۹) برای جلوگیری از بیش برازشی برآورد ماده آلی شیب معادلات کاهش می‌یابد. با توجه به روابط بین SOM_{WB} و LOI به نظر می‌رسد دمای ۳۶۰ درجه سیلسیوس را برای دشت شهرکرد، دمای ۳۰۰ درجه سیلسیوس را برای دشت فارسان، دمای ۴۰۰ درجه سیلسیوس را برای دشت کوهرنگ و دمای ۳۶۰ درجه سیلسیوس را می‌توان برای دشت لردگان پیشنهاد کرد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

جدول ۴. رابطه SOM_{WB} با LOI در دماهای مختلف بر اساس تفکیک هر یک از دشت‌ها

دما ($^{\circ}C$)	عرض از مبدأ	شیب	R^2	RMSE
		دشت شهرکرد (n=۵۶)		
۳۰۰	-۰/۱۵	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۳۳
۳۶۰	-۰/۱۲ ^{ns}	۰/۶۴	۰/۸۲	۰/۳۳
۴۰۰	-۰/۰۳ ^{ns}	۰/۵۶	۰/۸۱	۰/۳۳
۵۰۰	-۰/۲۹ ^{ns}	۰/۳۹	۰/۷۰	۰/۴۲
۵۵۰	-۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۷۳	۰/۴۰
		دشت فارسان (n=۴۷)		
۳۰۰	-۰/۸۰	۰/۹۷	۰/۷۷	۰/۶۲
۳۶۰	-۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۷۱	۰/۶۶
۴۰۰	-۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۶۴
۵۰۰	-۱/۳۴	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۶۳
۵۵۰	-۱/۵۷	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۷۱
		دشت کوهرنگ (n=۴۸)		
۳۰۰	-۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۴۵
۳۶۰	-۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۴۵
۴۰۰	-۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۳۹
۵۰۰	-۰/۹۱	۰/۵۳	۰/۶۷	۰/۴۷
۵۵۰	-۱/۳۶	۰/۵۷	۰/۷۲	۰/۴۳
		دشت لردگان (n=۵۴)		
۳۰۰	۰/۰۳	۰/۶۴	۰/۸۲	۰/۳۲
۳۶۰	-۰/۰۶	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۴۲
۴۰۰	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۶۳	۰/۵۱
۵۰۰	-۰/۱۹ ^{ns}	۰/۳۶	۰/۸۳	۰/۳۱
۵۵۰	-۰/۰۳ ^{ns}	۰/۲۷	۰/۷۲	۰/۴۰

ns : غیر معنی دار و سایر اعداد معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

بایستی اذعان نمود از نظر کاربردی روابط به دست آمده بین SOM_{WB} و LOI در این مطالعه، می‌تواند برای برآورد ماده آلی چهار دشت مورد مطالعه استفاده شود. بدیهی است برای خاک‌های دیگر نمی‌توان از معادلات مذکور استفاده نمود و باید روابط برای آنها تعیین گردد. در غیر این صورت، روش اکسایش تر واکلی- بلک، مناسب‌تر از روش LOI خواهد بود.

ضرایب هم‌بستگی بین LOIها در دماهای مختلف در کل نمونه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). بیشترین ضریب هم‌بستگی بین LOIها در کل نمونه‌ها مربوط به دماهای ۳۰۰ و ۳۶۰ درجه سیلسیوس است. در چهار دشت مورد مطالعه نیز بیشترین هم‌بستگی در دماهای ۳۰۰ و ۳۶۰ درجه سیلسیوس مشاهده شد. نتایج بیانگر این است که بهترین دمای سوزاندن می‌تواند یکی از این دماها یا دمایی نزدیک به آنها باشد.

ضرایب هم‌بستگی بین LOIها و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک (به جز سیلت) در تمام دماها برای کل نمونه‌ها در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار است (جدول ۶). هم‌بستگی بین SOM_{WB} و LOI در تمام دماها مثبت و معنی‌دار است. ضرایب هم‌بستگی در دماهای ۳۰۰ و ۳۶۰ درجه سیلسیوس قوی‌تر است. در تمام دماها هم‌بستگی بین LOIها و کربنات کلسیم معادل و شن، منفی و معنی‌دار است. مقایسه جدول‌های ۱ و۲ نیز بیانگر این است که در خاک‌های مورد مطالعه با افزایش رطوبت و پوشش گیاهی، ماده آلی خاک افزایش می‌یابد ولی از طرف دیگر به دلیل شستشوی بیشتر، کربنات کلسیم، کاهش پیدا می‌کند. در تمام دماها رابطه بین LOIها و رس مثبت و معنی‌دار و بین ۰/۳۵ تا ۰/۳۹ است. این نتایج نشان می‌دهد با افزایش مقدار رس، LOI افزایش می‌یابد و این افزایش ممکن است ناشی از هدر رفت آب از کانی‌های رسی باشد. در مطالعات یروکان و همکاران (۲۳) هم‌بستگی LOI با رس ۰/۴۴+ گزارش شد. مطالعات کونین و همکاران نیز (۱۵) نشان داد LOI در خاک‌هایی که درصد رس بالایی دارند، ماده آلی خاک را زیادتر برآورد می‌کند. ابلا و زیمر(۵)، فولن و همکاران (۱۲) و یروکان و همکاران (۲۳) دریافتند قرار دادن متغیر رس در خاک‌های که میزان رس بالایی دارند موجب بهبود معادلات می‌شود.

برای بررسی تأثیر میزان رس و کربنات کلسیم معادل، بر رابطه بین SOM_{WB} و LOI، نمونه‌ها بر حسب درصد رس و کربنات کلسیم معادل به سه گروه کمتر از ۲۰ درصد، ۲۰ تا ۴۰ درصد و بیشتر از ۴۰ درصد دسته‌بندی شدند (جدول‌های ۷ و ۸). نمودارهای پراکنش SOM_{WB} و LOI نشان داد در تمام گروه‌های رس و کربنات کلسیم معادل یک رابطه خطی و مثبت وجود دارد. با افزایش درصد رس، عرض از مبدأ معادلات، کاهش و شیب معادلات، افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد افزایش شیب معادلات به عوامل دیگری از جمله نوع رس و نوع کربنات‌ها مربوط باشد که در این مطالعه، بررسی نشده است به طوری که تأثیر این عوامل از میزان رس بیشتر باشد.

با افزایش دما، شیب و عرض از مبدأ معادلات در تمام گروه‌های رس کاهش می‌یابد. احتمالاً با افزایش دما، از دست دادن آب ساختمانی از کانی‌های رسی صورت گرفته و در نتیجه شیب و عرض از مبدأ معادلات شروع به کاهش می‌کند. در مقادیر بالاتر کربنات کلسیم معادل (بیشتر از ۴۰ درصد) کاهش شیب خطوط رگرسیون با افزایش دما، بیشتر است که می‌تواند ناشی از تخریب بیشتر کربنات‌ها در دمای بالاتر باشد.

دمای بهینه سوزاندن خاک، دمایی است که تمام کربن آلی سوزانده شده و حداقل تخریب کربن معدنی را موجب شود. به همین منظور، ۴۰ نمونه مورد مطالعه بعد از سوزاندن نمونه‌ها در کوره، برای بررسی میزان ماده آلی مانده تیتر شدند (شکل ۲). نتایج نشان داد که میانگین ماده آلی نمونه‌ها قبل از سوزاندن از ۱/۴ درصد به ۰/۰۶ و ۰/۰۴ درصد به ترتیب در دماهای ۳۰۰ و ۳۶۰ درجه سیلسیوس کاهش یافته و در دمای ۴۰۰ درجه سیلسیوس و بالاتر، مقدار ماده آلی قابل اندازه‌گیری نبود. این نتایج نیز نشان می‌دهند دمای ۳۶۰ درجه سیلسیوس دمای مناسبی در بین پنج دما برای برآورد ماده آلی در چهار دشت مورد مطالعه بوده است.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

جدول ۵. ضرایب هم‌بستگی بین LOIها در دماهای مختلف

	LOI ۳۰۰	LOI ۳۶۰	LOI ۴۰۰	LOI ۵۰۰	LOI ۵۵۰
LOI۳۰۰					
LOI۳۶۰	۰/۹۵**				
LOI۴۰۰	۰/۸۷**	۰/۸۹**			
LOI۵۰۰	۰/۸۷**	۰/۹۰**	۰/۸۵**		
LOI ۵۵۰	۰/۸۳**	۰/۸۴**	۰/۸۵**	۰/۸۸**	

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۶. ضرایب هم‌بستگی بین LOIها و ویژگی‌های خاک

LOI	(٪) SOM_{WB}	(٪) CCE	(٪) Clay	(٪) Sand	(٪) Silt
LOI۳۰۰	۰/۸۱*	-۰/۲۸*	۰/۳۹*	-۰/۲۰*	-۰/۰۷
LOI۳۶۰	۰/۸۱*	-۰/۲۸*	۰/۳۹*	-۰/۲۲*	-۰/۰۴
LOI۴۰۰	۰/۷۷*	-۰/۲۶*	۰/۳۵*	-۰/۱۶*	-۰/۱۴
LOI۵۰۰	۰/۷۷*	-۰/۲۱*	۰/۳۹*	-۰/۲۶*	-۰/۰۳
LOI ۵۵۰	۰/۷۶*	-۰/۱۷*	۰/۳۵*	-۰/۱۶*	-۰/۰۹

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۷. تأثیر میزان رس بر رابطه بین SOM_{WB} و LOI در دماهای مختلف

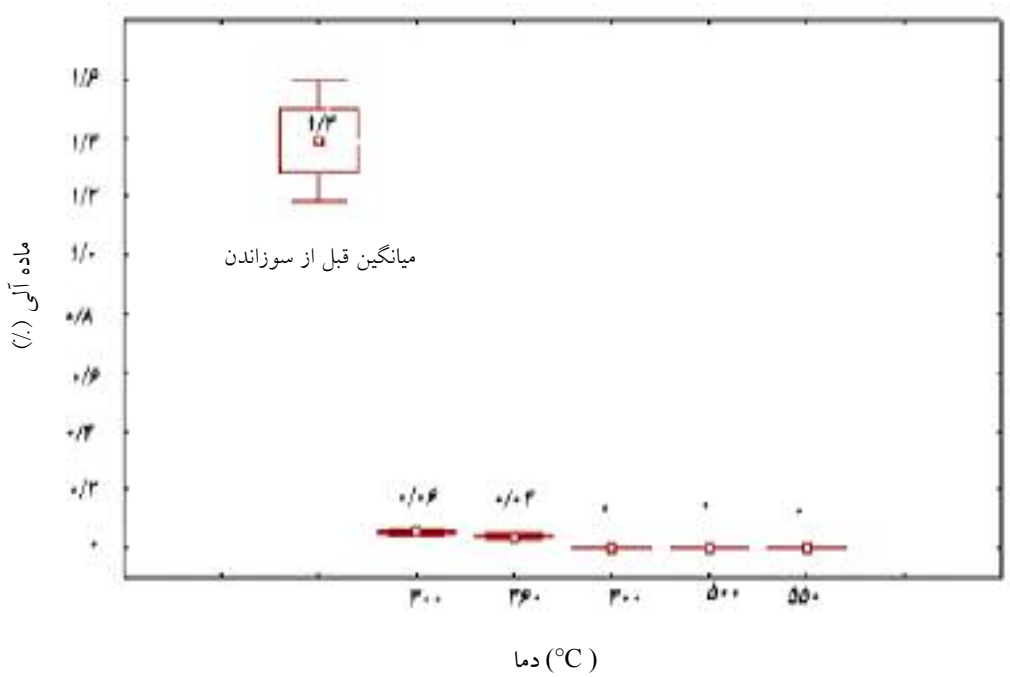
دما ($^{\circ}C$)	عرض از مبدأ	شیب	R^2	عرض از مبدأ	شیب	R^2	عرض از مبدأ	شیب	R^2
	درصد رس								
	بیشتر از ۴۰			۲۰ تا ۴۰			کمتر از ۲۰		
۳۰۰	-۰/۶۹	۰/۸۷	۰/۸۴	-۰/۲۴	۰/۷۵	۰/۷۰	-۰/۰۲	۰/۶۷	۰/۸۶
۳۶۰	-۰/۴۹	۰/۶۹	۰/۸۲	-۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۰۰	۰/۵۹	۰/۸۶
۴۰۰	-۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۶۰	-۰/۱۲	۰/۵۴	۰/۶۹	-۰/۰۶	۰/۵۰	۰/۸۴
۵۰۰	-۱/۷۵	۰/۶۲	۰/۹۲	-۰/۶۰	۰/۴۵	۰/۶۴	-۰/۱۹	۰/۳۸	۰/۷۷
۵۵۰	-۱/۹۲	۰/۵۹	۰/۷۴	-۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۵۷	-۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۷۴

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

جدول ۸ . تأثیر میزان کربنات کلسیم معادل، بر رابطه بین SOM_{WB} و LOI در دماهای مختلف

دما (°C)	R^2	شیب	عرض از مبدأ	R^2	شیب	عرض از مبدأ	R^2	شیب	عرض از مبدأ
	درصد کربنات کلسیم معادل								
	کمتر از ۲۰			۲۰ تا ۴۰			بیشتر از ۴۰		
۳۰۰	۰/۷۸	۰/۷۵	−۰/۴۰	۰/۷۶	۰/۷۸	−۰/۲۴	۰/۷۸	۰/۸۱	−۰/۱۷
۳۶۰	۰/۸۳	۰/۶۸	−۰/۵۰	۰/۷۲	۰/۶۶	−۰/۲۰	۰/۷۹	۰/۶۷	−۰/۰۷
۴۰۰	۰/۶۹	۰/۵۲	−۰/۲۷	۰/۶۹	۰/۵۵	−۰/۰۸	۰/۶۰	۰/۴۲	−۰/۳۱
۵۰۰	۰/۸۲	۰/۵۰	−۰/۹۴	۰/۶۶	۰/۴۴	−۰/۴۶	۰/۶۸	۰/۳۳	۰/۰۳
۵۵۰	۰/۷۳	۰/۴۶	−۰/۹۹	۰/۶۶	۰/۴۰	−۰/۵۰	۰/۶۱	۰/۲۷	۰/۱۴



شکل ۲. میانگین درصد ماده آلی قبل از سوزاندن (۱/۴ درصد) و بعد از سوزاندن نمونه‌های خاک در کوره

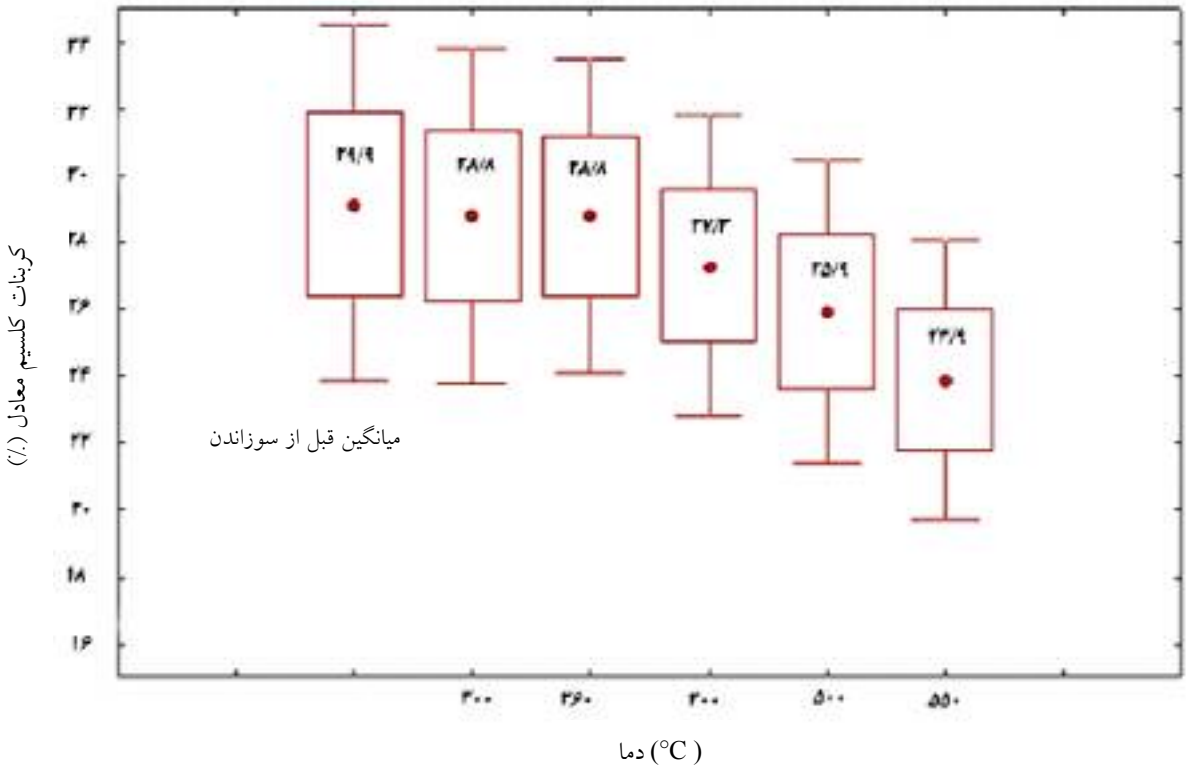
برای بررسی تخریب کربنات‌ها میانگین کربنات کلسیم معادل برای ۴۰ نمونه خاک بعد از سوزاندن در کوره با میانگین کربنات کلسیم معادل، نمونه خاک قبل از سوزاندن در کوره با استفاده از آزمون ویلکاکسون مقایسه شد (شکل ۳). نتایج نشان داد تا دمای ۴۰۰ درجه سیلسیوس به مدت دو ساعت، تغییر محسوسی در کربن معدنی خاک ایجاد نشده و با افزایش دمای سوزاندن، روندی کاهشی در میانگین کربنات کلسیم معادل، دیده شد. میزان کربنات کلسیم معادل، پس از سوزاندن در دو دمای ۵۰۰ و ۵۵۰ درجه سیلسیوس تفاوت معنی‌داری با کربنات کلسیم معادل قبل از سوزاندن نشان داد (به ترتیب، $P < ۰/۰۲$ و $P < ۰/۰۱$).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه دشت‌های مورد مطالعه از نظر مقدار و نوع ماده‌ی آلی و میزان رس، کربنات کلسیم معادل و بارندگی با هم

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]



شکل ۳. میانگین درصد کربنات کلسیم معادل، قبل از سوزاندن (۲۹/۲ درصد) و بعد از سوزاندن نمونه‌های خاک در کوره

تفاوت دارند رابطه بین SOM_{WB} با LOI در هر دشت متفاوت است و تفاوت در دشت‌ها موجب گردید معادله به دست آمده برای هر دشت از معادله کلی متفاوت باشد. تفکیک خاک‌ها بر اساس دشت‌ها موجب کاهش تغییرات در خصوصیات خاک و افزایش دقت برآورد ماده آلی خاک شده است.

بر اساس نتایج می‌توان گفت که سوزاندن خاک در دمای ۳۶۰ یا حد فاصل ۳۶۰ تا ۴۰۰ درجه سیلسیوس به مدت دو ساعت دمای مناسبی برای برآورد ماده آلی در چهار دشت مورد مطالعه می‌باشد زیرا در این دما تمام کربن آلی سوزانده شده، حداقل تخریب کربن معدنی و از دست دادن آب ساختمانی از کانی‌های رسی صورت گرفته و هزینه انرژی مصرفی کمتر است. به دلیل خطای بیشتر LOI در مقایسه با اکسایش تر، LOI برای کارهای اکتشافی مناسب‌تر به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه خاک‌های مورد مطالعه از کاربری اراضی مختلف جمع آوری شده است، تعیین نوع ماده آلی در تفسیر بهتر نتایج مفید می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که نوع کانی‌های رسی موجود در خاک‌ها شناسایی شود و سپس روی نمونه‌های خالص رس‌های موجود در نمونه‌های خاک در دماهای مختلف، میزان از دست دادن آب از کانی‌های رسی برآورد شود. توصیه می‌شود در مطالعات بعدی دمای بین ۳۶۰ تا ۴۰۰ درجه سیلسیوس درمدت زمان‌های کمتر و بیشتر از دو ساعت مورد بررسی قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. رمضان‌پور، ح. و ا. جلالیان. ۱۳۷۸. کانی شناسی رس‌های سیلیکاته در دو ناحیه اقلیمی مختلف در بخشی از زاگرس مرکزی. مجموعه مقالات ششمین کنگره علوم خاک ایران، ص ص ۸۰-۸۱، مشهد.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]

۲. سایت اداره کل هواشناسی استان چهار محال و بختیاری: www.Chaharmahalmet.ir. تاریخ رویت، شهریور ۱۳۸۷.

۳. صالحی، م. ح.، ح. خادمی و م. کریمیان اقبال. ۱۳۸۲. شناسایی و چگونگی تشکیل کانی‌های رسی در منطقه فرخشهر شهرکرد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۱): ۷۳-۹۰.

۴. کلباسی، م. ۱۳۷۵. وضعیت مواد آلی در خاک‌های ایران و نقش کمپوست. مجموعه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ایران، ص۷، کرج.

5. Abella, S. R. and B. W. Zimmer. 2007. Estimating organic carbon from loss-on-ignition in northern Arizona forest soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 71: 545-550.
6. Brady, N. C. and R. R. Weil. 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th (ed.), Upper Saddle River, Prentice Hall Inc., NJ.
7. Brunetto, G., G. W. Melo, J. Kaminski, V. Furlanetto and F. B. Fialho. 2006. Evaluation of loss-on-ignition method in the organic matter analysis in soils of the Serra Gaucha of the Rio Grande do Sul. Ciencia Rural, Santa Maria., 36 (6): 1936-1939.
8. Cambardella, C. A., A. M. Gajda, J. W. Doran, B. J. Wienhold and T. A. Kettler. 2001. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss on-ignition. PP. 349-359, *In*: Lal, R. et al. (Eds.), Assessment Methods for Soil Carbon. Adv. Soil Sci., CRC Press, Boca Raton, FL.
9. Campbell, C. A., B. G. McConkey, R. P. Zentner, F. Selles and D. Curtin. 1996. Long-term effects of tillage and crop rotation on soil organic carbon and total nitrogen in a clay soil in Southwestern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 46: 395-401.
10. Ding, G., J. M. Novak, D. Amarasiriwardena, P. G. Hunt and B. Xing. 2002. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 421-429.
11. Escosteguy, P. A. V., K. Galliassi and C. A. Ceretta. 2007. Soil organic matter determination by weight loss-on-ignition samples from the state of Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo. 31: 247-255.
12. Fullen, M. A., B. Jankauskas, G. Jankauskiene, C. A. Booth and A. Slepetiene. 2007. Inter-relationships between soil texture and soil organic matter content in eroded Eutric Albeluvisols in Lithuania. Zemes Ukio Mokslai 14: (3) 9-18.
13. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-411, *In*: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, USA.
14. Heiri, O., A. F. Lotter and G. Lemcke. 2001. Loss-on-ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. J. Paleolimnol. 25: 101-110.
15. Konen, M. E., P. M. Jacobs, C. L. Burras, B. J. Talaga and J. A. Mason. 2002. Equation for predicting soil organic carbon using loss-on-ignition for north central U.S. soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 1878-1881.
16. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474, *In*: Spark, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI.
17. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, PP. 539-580, *In*: Page, A. L. et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. ASA and SSSA. Inc., Madison, WI, Monogr.
18. Sculte, E. E. and B. G. Hopkins. 1996. Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. PP. 21-31, *In*: Magdoff, F. R. et al. (Eds.), Soil organic Matter: Analysis and Interpretation. SSSA Spec. Pub. No. 46. SSSA, Inc., Madison, WI.
19. Sculte, E. E., C. Kaufmann and J. B. Peter. 1991. The influence of sample size and heating time on soil weight loss-on-ignition. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22: 159-168.
20. Sculte, E. E. 1995. Recommended soil organic matter tests, PP. 52-60, *In*: Sims, J. T. and A. M. Wolf (Eds.), Recommended Soil Testing Procedures for the North Eastern USA. Northe Eastern Regional Publication.
21. Sun, H., M. Nelson, F. Chen and J. Husch. 2007. Effect of structural water in clay minerals on the estimation of soil organic matter content by loss-on-ignition analytical method. GSA Denver Ann. Meeting. 39(6): 218-248.
22. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. J. Soil Sci. 37: 29-37.
23. Yerokun, O. A., S. Chikuta and D. Mambwe. 2007. An evaluation of spectroscopic and loss-on-ignition methods for estimating soil organic carbon in Zambian soils. Int. J. Agric. Res. 2 (11): 965-970.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2026-02-05]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.50.7.1]