



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

(مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب)

۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



19th Iranian Soil Science Congress (Holistic and Smart soil and water management)
16-18 September, 2025, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

اثر بیوچارهای اصلاح‌شده با اسید بر فعالیت آنزیمی خاک

خدیجه رستمی^۱، زهرا وارسته خانلری^۲ و محبوبه ضرابی^۳

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۲- نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. پست الکترونیک نویسنده

مسئول: z.khanlari93@gmail.com

۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

چکیده

یکی از فاکتورهای بررسی تاثیر بیوچار در خاک، ارزیابی فعالیت آنزیمی خاک است. با این حال تاثیر بیوچار اسیدی شده بر فعالیت آنزیمی خاک مشخص نیست. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر بیوچارهای اصلاح‌شده با اسید بر فعالیت آنزیمی خاک است. بدین منظور آزمایش انکوباسیونی طراحی گردید. از بیوچارها به مقدار ۱۰ درصد وزنی استفاده شد. تیمارهای آزمایش شامل خاک شاهد (CS)، خاک+بیوچار ضایعات انگور (GSB)، خاک+بیوچار ضایعات انگور اسیدی شده (AGSB)، خاک + بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو (NSB)، خاک + بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو اسیدی شده (ANSB)، خاک + بیوچار کودمرغی (PMB) و خاک + بیوچار کود مرغی اسیدی شده (APMB) بود. در زمان‌های ۵، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز از تیمارها نمونه‌برداری و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز اسیدی قرائت گردید. نتایج نشان داد که اصلاح با اسید موجب افزایش ۲/۸ برابری فعالیت اوره‌آز در تیمار AGSB، ۱/۶ برابری در تیمار ANSB و ۲/۹ برابری در تیمار APMB در مقایسه با بیوچارهای اولیه آن‌ها شد. همچنین اسیدی کردن به ترتیب موجب افزایش ۳۸، ۴۴ و ۳۴ درصدی فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در تیمار ANSB، AGSB و APMB گردید.

واژه‌های کلیدی: اوره‌آز، فسفاتاز اسیدی، بیوچار اسیدی

مقدمه

شیوه‌های نامناسب مدیریت خاک و شرایط اقلیمی خاص در مناطق نیمه خشک موجب از بین رفتن مواد آلی و کاهش حاصلخیزی خاک شده است. اصلاح خاک با بیوچار می‌تواند خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تغییر دهد. به دلیل pH بالا، کاربرد بیوچار در خاک‌های قلیایی محدود است. اصلاح بیوچار با روش‌های مختلف با توجه به اهداف کاربرد آن در خاک (تیمارهای فیزیکی، شیمیایی یا حرارتی)، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (خواجوی شجاعی و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعات نشان دادند که استفاده از بیوچار اصلاح شده در مقایسه با بیوچار اصلاح‌نشده می‌تواند حاصلخیزی خاک را به صورت قابل توجهی افزایش دهد (Kizito et al., 2019; Ravindiran et al., 2024). تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک به دلیل تفاوت در نوع خاک، نوع بیوچار و ویژگی‌های آن متفاوت است (Brtnicky et al., 2021). فرض شد که کاربرد بیوچار اسیدی شده در خاک آهکی نسبت به بیوچار اسیدی نشده فعالیت آنزیمی خاک را بیشتر افزایش می‌دهد. تاکنون مطالعات کمی در زمینه تاثیر بیوچارهای اسیدی شده بر فعالیت‌های آنزیمی خاک آهکی با مواد آلی کم انجام شده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تاثیر بیوچارهای اسیدی شده بر فعالیت آنزیمی در یک خاک آهکی است.



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

(مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب)

۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



19th Iranian Soil Science Congress (Holistic and Smart soil and water management)
16-18 September, 2025, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه خاک مورد آزمایش و تیمارها

جهت انجام این پژوهش نمونه خاک مرکبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل بیوچار کود مرغی، بیوچار ضایعات انگور و بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو بود. نیمی از بیوچارها با نسبت ۰/۱ مولار اسیدسولفوریک (۱:۱۰۰ W/V) تیمار شدند (El-Sharkawy et al., 2022) و نیم دیگر به همان صورت نگهداری و هر دو (بیوچار اولیه و بیوچار اصلاح شده با اسید) به عنوان تیمار آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. تیمارهای آزمایش شامل: خاک شاهد (CS)، خاک + بیوچار ضایعات انگور (GSB)، خاک + بیوچار ضایعات انگور اسیدی شده (AGSB)، خاک + بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو (NSB)، خاک + بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو اسیدی شده (ANSB)، خاک + بیوچار کود مرغی (PMB) و خاک + بیوچار کود مرغی اسیدی شده (APMB).

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های این پژوهش به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. اطلاعات بدست آمده از آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS 23.0 تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تاثیر کاربرد بیوچارهای اسیدی شده در طی انکوباسیون بر فعالیت آنزیم‌های مرتبط با چرخه

فسفر و نیتروژن

طبق جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد بیوچارهای مختلف در طی انکوباسیون تاثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و آنزیم اوره‌آز در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارها بر فعالیت آنزیم‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات فسفاتاز اسیدی	اوره‌آز
زمان	۳	۱۱۵/۸۹ ^{ns}	۱۳۴۹۱۴/۶۸ ^{**}
بیوچار	۳	۷۴۲۹/۴۱ ^{**}	۸۰۸۳۹۴/۸۰ ^{**}
اصلاح‌کننده	۱	۷۴۲۵۸/۳۲ ^{**}	۱۹۷۰۰۸۱/۴۴ ^{**}
زمان * بیوچار	۹	۶۲۷/۰۷ ^{**}	۱۱۵۰۷/۹۷ ^{**}
زمان * اصلاح‌کننده	۳	۲۸۵۶/۶۸ ^{**}	۴۶۷۱۰/۸۵ ^{**}
بیوچار * اصلاح‌کننده	۳	۸۶۲۱/۸۰ ^{**}	۴۱۸۱۴۹/۹۹ ^{**}
زمان * بیوچار * اصلاح‌کننده	۹	۳۵۶/۴۹ [*]	۹۴۰۶/۴۱ ^{**}

^{**}، ^{ns} و ^{*} به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۱، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

اثر کاربرد بیوچارهای مختلف اسیدی شده و بیوچار اولیه آن‌ها در طی انکوباسیون بر فعالیت آنزیم اوره‌آز اوره‌آز آنزیمی است که هیدرولیز اوره به دی‌اکسیدکربن و آمونیاک را انجام می‌دهد. این آنزیم به‌طور گسترده در طبیعت، گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها یافت می‌شود. فعالیت این آنزیم با افزودن بیوچار افزایش یافت (جدول ۲). بیوچارهای اسیدی شده



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

(مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب)

۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



19th Iranian Soil Science Congress (Holistic and Smart soil and water management)
16-18 September, 2025, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



و بیوجار اولیه آن‌ها به‌طور میانگین به ترتیب موجب افزایش ۲۶۵ و ۴۶ درصدی فعالیت آنزیم اوره‌آز در مقایسه با شاهد گردیدند. ترتیب فعالیت این آنزیم در تیمارهای مختلف از این الگو تبعیت کرد: $PMB > GSB > NSB$. Lopes et al., (2021). در پژوهشی با بررسی اثر بیوجار بر فعالیت آنزیمی به این نتیجه رسیدند که فعالیت آنزیم اوره‌آز با افزودن بیوجار به خاک به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. اسیدی کردن موجب افزایش فعالیت این آنزیم شد. ولی ترتیب فعالیت در تیمارهای مختلف از روند قبل پیروی نمود. اسیدی کردن موجب افزایش ۲/۶، ۱/۶ و ۲/۹ برابری فعالیت آنزیم اوره‌آز در تیمار $AGSB$ ، $ANSB$ و $APMB$ در طول دوره انکوباسیون گردید (جدول ۲). افزایش فعالیت آنزیم در تیمارهای اسیدی شده نسبت به بیوجار اولیه آن‌ها احتمالاً به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی در خاک‌های تیمار شده با بیوجارهای اسیدی است. به دلیل تسریع در معدنی شدن نیتروژن فعالیت آنزیم‌های چرخه نیتروژن افزایش می‌یابد (Bailey et al., 2011). اوج فعالیت این آنزیم در زمان ۳۰ و ۶۰ روز در تیمار $APMB$ مشاهده گردید. فعالیت آنزیم اوره‌آز در طی انکوباسیون در تمام تیمارها افزایش یافت.

جدول ۲. اثر کاربرد بیوجارهای مختلف اسیدی شده و بیوجار اولیه آن‌ها در طی انکوباسیون بر فعالیت آنزیم اوره‌آز

زمان انکوباسیون				تیمارها
۶۰	۳۰	۱۰	۵	
۱۹۶/۹±۲/۲۷ klm	۱۷۹/۴±۶/۹۲ lm	۱۷۰/۶±۲/۵۲ lm	۱۴۴/۴±۷/۵۸ n	CS
۲۸۴/۴±۲/۵۱ hi	۲۵۳/۷±۴/۸۲ hijk	۲۲۷/۵±۴/۹۸ ijkl	۲۰۵/۶±۶/۹۱ klm	GSB
۸۷۹/۳±۳/۰۱ b	۷۵۲/۵±۵/۰۵ c	۶۵۱/۸±۲/۹۱ d	۴۹۳/۵±۱۷/۱۸ f	AGSB
۲۴۹/۴±۲/۷۳ hijk	۲۱۰/۰±۵/۱۷ jkl	۱۹۶/۸±۲/۴۳ klm	۱۷۰/۶±۲/۵۹ lm	NSB
۴۶۳/۷±۲۰/۲۱ f	۳۵۸/۷±۴/۹۲ g	۳۱۰/۶±۲/۴۱ gh	۲۲۳/۱±۲۲/۷۳ ijkl	ANSB
۳۵۴/۴±۲/۶۲ g	۳۰۱/۸±۲/۴۱ gh	۲۷۱/۲±۵/۲۱ hij	۲۵۸/۱±۲/۳۴ hijk	PMB
۱۰۰۶/۲±۴/۹۲ a	۹۷۱/۲±۵/۰۶ a	۸۸۸/۱±۴۲/۹۴ b	۵۶۸/۷±۱۵/۱۵ e	APMB

(CS. خاک شاهد، GSB: خاک+ بیوجار ضایعات انگور، AGBS: خاک+ بیوجار اسیدی شده ضایعات انگور، NSB: خاک+ بیوجار پوسته قهوه‌ای گردو، ANSB: خاک+ بیوجار اسیدی شده پوسته قهوه‌ای گردو، PMB: خاک+ بیوجار کود مرغی و APMB: خاک+ بیوجار اسیدی شده کود مرغی). حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

اثر کاربرد بیوجارهای مختلف اسیدی شده و بیوجار اولیه آن‌ها در طی انکوباسیون بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی اسیدی کردن موجب افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی گردید (جدول ۳). به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم در تیمار GSB از ۴۸/۸ (میانگین طول دوره انکوباسیون) به ۱۲۶/۶ ($\mu\text{g. NP. g}^{-1}. \text{h}^{-1}$) در تیمار AGBS، در تیمار NSB از ۶۳/۰ به ۱۴۴/۵ ($\mu\text{g. NP. g}^{-1}. \text{h}^{-1}$) در تیمار ANSB و از ۳۳/۲ در تیمار PMB به ۹۶/۴ ($\mu\text{g. NP. g}^{-1}. \text{h}^{-1}$) در تیمار APMB رسید. فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی در تیمارهای مختلف از این الگو تبعیت کرد: $NSB > GSB > PMB$. در تیمار بیوجارهای اولیه با افزایش زمان انکوباسیون فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی کاهش و در تیمار بیوجارهای اسیدی با افزایش زمان انکوباسیون فعالیت این آنزیم افزایش یافت (جدول ۳). Eivazi and Tabatabai (1977) بیان نمودند که غلظت آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی شدیداً تحت‌تاثیر pH خاک‌ها می‌باشد. علاوه بر این غلظت فسفاتاز اسیدی به میزان فسفر خاک وابسته بوده و تولید آن با افزایش تقاضا افزوده می‌شود. فعالیت زیاد این آنزیم به‌دلیل تولید آن‌ها توسط گیاه و میکروارگانیسم‌ها و یا به دلیل تقاضای زیاد برای فسفر است (Nannipieri et al., 2012).



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

(مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب)

۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



19th Iranian Soil Science Congress (Holistic and Smart soil and water management)
16-18 September, 2025, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



جدول ۳. اثر کاربرد بیوچارهای مختلف اسیدی شده و بیوچار اولیه آن‌ها در طی انکوباسیون بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی

تیمارها	زمان انکوباسیون			
	۵	۱۰	۳۰	۶۰
CS	۱۱۶/۰±۲/۲۲ bcdefg	۱۰۴/۶±۴/۱۱ efghi	۹۳/۹±۲/۰۲ fghijk	۸۱±۳/۶۸ ghijkl
GSB	۵۹/۳±۰/۲۴ jklmn	۵۳/۶±۵/۱۰ lmno	۴۴±۲/۳۷ lmno	۳۷/۹±۰/۵۴ mno
AGSB	۹۴/۶±۴/۱۸ fghijk	۱۲۵/۶±۴/۴۵ abcdef	۱۳۵±۵/۵۰ abcde	۱۵۱/۳±۱/۳۵ abc
NSB	۷۴/۶±۷/۶۸ hijklm	۶۴/۸±۵/۵۴ ijklm	۵۸/۰± ۱/۲۰ jklmn	۵۴/۹±۱۲/۸۷ klmno
ANSB	۱۱۳/۵±۱۰/۸۰ cdefgh	۱۴۶/۳±۲/۵۷ abcd	۱۵۴/۶±۵/۳۶ ab	۱۶۳/۶±۵/۳۷ a
PMB	۴۹/۵±۰/۵۵ lmno	۴۱/۳±۴/۱۸ mno	۲۴/۱±۰/۸۰ no	۱۷/۸±۵/۶۲ o
APMB	۸۴/۳±۰/۶۵ ghijkl	۹۵/۳±۲/۱۹ efghij	۹۷/۲±۳/۲۲ efghij	۱۰۸/۹±۵/۹۱ defgh

CS: خاک شاهد، GSB: خاک+ بیوچار ضایعات انگور، AGBS: خاک+ بیوچار اسیدی شده ضایعات انگور، NSB: خاک+ بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو، ANSB: خاک+ بیوچار اسیدی شده پوسته قهوه‌ای گردو، PMB: خاک+ بیوچار کود مرغی و APMB: خاک+ بیوچار اسیدی شده کود مرغی. حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که بیوچار به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی موجب بهبود ویژگی‌های میکروبیولوژیکی خاک گردید. علاوه بر این، اصلاح بیوچارها با اسید می‌تواند کارایی آن در بهبود فعالیت آنزیمی خاک را افزایش دهد. اسیدی کردن بیوچار ضایعات انگور بیش از سایر تیمارها موجب افزایش فعالیت آنزیمی گردید. با توجه به فراوانی این پسماند گیاهی در استان و بلااستفاده بودن آن می‌توان استفاده از آن را به‌صورت بیوچار و یا اصلاح‌شده این تیمار با اسید را توصیه نمود.

منابع

خواجوی شجاعی، ش.، معزی، ع.، نوروزی مصیر، م و تقوی زاهد کلایی، م. (۱۳۹۹). ارزیابی توانایی بیوچار نی اصلاح‌شده با کلرید آهن در جذب نترات از محلول آبی. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۱ (۱۱): ۲۸۵۳-۲۸۶۴.

Bailey, V.L., Fansler, S.J., Smith, J.L. and Bolton, H. (2011). Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. *Soil Biology and Biochemistry*. 43, 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.10.014>

Brtnicky, M., Hammerschmidt, T., Elbl, J., Kintl, A., Skulcova, L., Radziemska, M., Latal, O., Baltazar, T., Kobzova, E. and Holatko, J. (2021). The potential of biochar made from agricultural residues to increase soil fertility and microbial activity: impacts on soils with varying sand content. *Agronomy*. 11(6), 1174. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061174>

Eivazi, F. and Tabatabai, M.A. (1977). Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 9, 167–172. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-717\(77\)90070-0](http://dx.doi.org/10.1016/0038-717(77)90070-0)

El-Sharkawy, M., El-Naggar, A.H., AL-Huqail, A.A. and Ghoneim, A.M. (2022). Acid-Modified Biochar Impacts on Soil Properties and Biochemical Characteristics of Crops Grown in Saline-Sodic Soils. *Sustainability*. 14, 8190. <https://doi.org/10.3390/su14138190>



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

(مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب)

۲۷ تا ۲۹ شهریور ۱۴۰۴، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



19th Iranian Soil Science Congress (Holistic and Smart soil and water management)
16-18 September, 2025, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



Kizito, S., Luo, H., Lu, J., Bah, H., Dong, R. and Wu, S. (2019). Role of nutrient-enriched biochar as a soil amendment during maize growth: Exploring practical alternatives to recycle agricultural residuals and to reduce chemical fertilizer demand. *Sustainability*. 11(11), 3211.

Lopes, E.M.G., Reis, M.M., Frazao, L.A., da Mata Terra, L.E., Lopes, E.F., dos Santos, M.M. and Fernandes, L.A. (2021). Biochar increases enzyme activity and total microbial quality of soil grown with sugarcane. *Environmental Technology & Innovation*. 21, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101270>

Nannipieri, P., Giagnoni, L., Renella, G., Puglisi, E., Ceccanti, B., Masciandaro, G. and Marinari, S.A.R.A. (2012). Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and fertility of soils*. 48(7), 743-762.

Ravindiran, G., Rajamanickam, S., Janardhan, G., Hayder, G., Alagumalai, A., Mahian, O., Lam, S. S. and Sonne, C. (2024). Production and modifications of biochar to engineered materials and its application for environmental sustainability: A review. *Biochar*, 6(1), 62.

The Effect of Acid-modified Biochars on Soil Enzyme Activity

Khadige Rostami¹ | Zahra Varasteh Khanlari^{2✉} | Mahboubeh Zarabi³

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran

2- Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran: Email: z.khanlari93@gmail.com

3- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran

Abstract

One factor in evaluating the effect of biochar on soil is the assessment of soil enzymatic activity. However, the effect of acidified biochar on soil enzymatic activity is not known. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of acid-modified biochars on soil enzymatic activity. For this purpose, an incubation experiment was designed. Biochars were used at a rate of 10% (w/w). The experimental treatments included control soil (CS), soil + grape waste biochar (GSB), soil + acidified grape waste biochar (AGSB), soil + brown walnut shell biochar (NSB), soil + acidified brown walnut shell biochar (ANSB), soil + poultry manure biochar (PMB) and soil + acidified poultry manure biochar (APMB). At 5, 10, 30 and 60 days, samples were taken from the treatments and the activities of urease and acid phosphatase enzymes were read. The results showed that acid modification increased urease activity by 2.8 times in AGSB treatment, 1.6 times in ANSB treatment, and 2.9 times in APMB treatment compared to their initial biochars. Also, acidification increased acid phosphatase enzyme activity by 38, 44, and 34 percent in AGSB, ANSB, and APMB treatments, respectively.

Keywords: urease, acid phosphatase, acidic biochar

