



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

## تأثیر کاربرد بیوجار بر محتوای پتاسیم برنج در دو خاک شالیزاری تخلیه پتاسیم شده

زهرة نوری امیرکلایی<sup>۱</sup> | بهی جلیلی<sup>۲</sup> | فردین صادق زاده<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: Znooriamiri69@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: bahi\_jalilis@yahoo.com

۳. گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: fardin.upm@gmail.com

### چکیده

اخیراً استفاده از بیوجار با توجه به مزایای اقتصادی و محیطی آن به عنوان یک منبع آلی برای مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه رواج یافته است. مقادیر بالای پتاسیم وجود در بقایای گیاهی و بیوجار حاصل از آن‌ها می‌تواند تأثیر مهمی بر وضعیت پتاسیم موجود در خاک داشته باشد. هدف مطالعه حاضر تعیین تأثیر کاربرد توامان بیوجار نرمال و اسیدی کاه و کلش برنج و کود پتاسیمی بر محتوای پتاسیم برنج در دو خاک شالیزاری تخلیه پتاسیم شده، در نظر گرفته شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با سه فاکتور نوع بیوجار (بیوجار نرمال و بیوجار اسیدی)، مقدار بیوجار (۰ و ۱ درصد) و کود پتاسیمی (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی) در سه تکرار و با مجموعاً ۲۰ تیمار در دو خاک شالیزاری با بافت مختلف تحت کشت برنج رقم شیروودی انجام شد. نتایج نشان داد که با افزودن بیوجارهای نرمال و اسیدی (NB<sub>1</sub> و AB<sub>1</sub>) به همراه مقادیر مختلف کود پتاسیمی (K<sub>0</sub>, K<sub>25</sub>, K<sub>50</sub>, K<sub>75</sub>, K<sub>100</sub>)، محتوای پتاسیم برنج افزایش یافت. به طوری که تیمار NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> بیش‌ترین توانایی را در افزایش غلظت پتاسیم زیست توده و دانه برنج در دو خاک لوم رسی و لوم شنی داشت. بنابراین بر اساس یافته‌های این تحقیق، کاربرد توامان بیوجار و کود پتاسیمی موجب افزایش محتوای پتاسیم در اندام‌های مختلف گیاه برنج شده است. بیوجار، حاوی مقدار زیادی پتاسیم فعال شده است که می‌تواند به عنوان یک عامل اصلاح کننده خاک در جهت تأمین پتاسیم برای محصولات در کوتاه مدت استفاده شود.

کلمات کلیدی: برنج، بیوجار، پتاسیم، خاک شالیزاری

### مقدمه

پتاسیم از جمله عناصر غذایی ضروری است که در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی جایگاه ویژه‌ای دارد و از آن به عنوان عنصر کیفیت نام برده می‌شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۹۵). پتاسیم به طور معمول به چهار شکل؛ پتاسیم محلول در آب، پتاسیم قابل تبادل، پتاسیم غیر قابل تبادل، و پتاسیم ساختمانی در خاک وجود دارد (Li et al., 2014). گیاه پتاسیم مورد نیاز خود را به شکل کاتیون پتاسیم (K<sup>+</sup>) از محلول خاک جذب می‌کند (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳) و فراهمی مداوم پتاسیم برای گیاه اهمیت زیادی دارد (Bagyalakshmi et al., 2012) فراهمی پتاسیم برای گیاهان از طریق فرآیندهای فیزیوشیمیایی مختلف در خاک کنترل می‌شود که تثبیت پتاسیم یکی از مهمترین آنهاست (Golestanifard et al., 2020). به طور عمده کانی‌های رسی ۲:۱ مانند ایلیت‌ها،



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



## مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

ورمیکولایت‌ها، مونوموریلونایت‌ها و اسمکتایت‌ها مسئول تثبیت پتاسیم در خاک‌ها هستند (Simmons et al, 2009; Jalali and Kolahci, 2007). در خاک‌های ایلیتی تحت شرایط غرقاب ظرفیت تثبیت پتاسیم افزایش می‌یابد. همچنین شرایط غرقاب با فراهم آوردن امکان احیا  $Fe^{3+}$  به  $Fe^{2+}$  و افزایش بار منفی کانی‌های رسی، تثبیت پتاسیم را افزایش می‌دهد (Golestanifard et al, 2020). برنج (*Oryza sativa L.*) یکی از مهمترین محصولات غلات در کشورهای در حال توسعه به شمار می‌رود (موسسه تحقیقات بین المللی برنج IRRI, 2019). برنج در منطقه‌ای به وسعت ۱۶۱ میلیون هکتار در سرتاسر جهان (USDA, 2020)، عمدتاً به صورت غرقاب کشت می‌شود و قادر است محیط ریزوسفر خود را اکسید نماید (پور صالح، ۱۳۷۳). برنج شیرودی در گروه ارقام میان رس و پرمحصول برنج قرار می‌گیرد که در شمال کشور کشت می‌شود. متوسط عملکرد این محصول در هر هکتار حدود ۷ تن شلتوک می‌باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹).

در سال‌های اخیر برای غلبه بر برخی از این مشکلات، مطالعات متعددی در مورد استفاده از بیوچار (Biochar) و کاربرد آن در خاک انجام شده است. بسته به نوع زیست توده و شرایط پیرولیز، بیوچارها از نظر ترکیب عنصری، گروه‌های عاملی سطحی و سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بسیار متنوع هستند (Bilias et al., 2023). معدود تحقیقات انجام شده در زمینه تأثیر کاربرد بیوچار بر فراهمی پتاسیم خاک و جذب گیاه نشان می‌دهد که بیوچار پتاسیل بالایی برای افزایش فراهمی پتاسیم دارد و این توانایی مستقیماً به منابع بیوچار غنی از پتاسیم و به طور غیرمستقیم به ظرفیت تبادل کاتیونی، تخلخل و سطح ویژه بیوچار بستگی دارد (Bilias et al., 2023). باتوجه به آنچه در بالا گفته شد، در مطالعه پیشین وضعیت تثبیت پتاسیم در دو خاک شالیزاری با بافت مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که هر دو خاک شالیزاری تخلیه پتاسیم شده، تحت شرایط غرقاب پتانسیل تثبیت پتاسیم بالایی دارند، به طوری که خاک لوم رسی قادر به تثبیت بیش از ۸۰ درصد پتاسیم افزوده شده در کاربرد کم یا زیاد پتاسیم بود. خاک لوم شنی در کاربرد مقادیر متفاوت پتاسیم توانست بیش از ۵۰ درصد پتاسیم اعمال شده را تثبیت نماید. افزودن بیوچار به خاک‌های مورد مطالعه پتانسیل تثبیت پتاسیم را به میزان ۴۰/۲ درصد در خاک لوم رسی و ۲۱/۷۴ درصد در خاک لوم شنی کاهش داد (Nouri et al., 2024). بنابراین باتوجه به کمبود پتاسیم در خاک‌های شالیزاری شمال کشور و نیز عدم کاربرد کود پتاسیمی کافی بوسیله کشاورزان این مناطق لازم است جایگزینی بیوچار به جای کود پتاسیمی که منجر به کاهش مصرف کود و بار اقتصادی کشاورزان می‌شود مورد بررسی قرار گیرد. از این رو هدف مطالعه حاضر تعیین تأثیر بیوچارهای کاه و کلش برنج و کود پتاسیمی بر وضعیت پتاسیم برنج در نظر گرفته شد.

### مواد و روش‌ها

#### نمونه برداری از خاک و محل اجرای آزمایش

به منظور بررسی تأثیر بیوچارهای کاه برنج بر محتوای پتاسیم برنج در دو خاک شالیزاری با بافت مختلف، آزمایشی به صورت گلدانی، در آزمایشگاه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ اجرا گردید. دو نمونه خاک مرکب شامل بافت‌های لوم رسی از شالیزار واقع در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و لوم شنی از شالیزار تحت کشت واقع در روستای سوته در منطقه فرح‌آباد در شمال شهرستان ساری، از عمق ۰-۳۰ cm با در نظر گرفتن میزان پتاسیم قابل



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

تبادل عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم، به طور تصادفی انتخاب و جمع‌آوری شد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک هوا خشک و الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و جهت انجام آزمایش‌های لازم نگهداری شدند.

تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شالیزاری با ظرفیت تثبیت پتاسیم بالا

نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها از جمله بافت خاک (Gee and Bauder, 1982)، pH گل اشباع (Rhoades, 1992)، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (Rhoades, 1992)، رطوبت گل اشباع (Rhoades, 1992)، CEC (Sumner and Miller, 1996)، کربن آلی (Walkley & Black, 1934)، درصد کربنات کلسیم معادل (Nelson, 1982)، نیتروژن کل (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب (Olsen and Sommers, 1990)، پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (Knudsen *et al.*, 1992) و آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شد.

تهیه بیوچار نرمال و بیوچار اسیدی

بیوچار مورد استفاده در این آزمایش از تجزیه حرارتی کاه برنج تحت اکسیژن محدود به مدت ۳ ساعت در کوره پیرولیز با دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس تولید شد.

برای تهیه بیوچار اسیدی، بیوچار تهیه شده در مرحله قبل، با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال در نسبت ۱:۲۰ (W/V) شسته شد و سپس در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شد (Sadegh-Zadeh *et al.*, 2018).

اجرای آزمایش

این تحقیق به صورت آزمایش گلخانه‌ای در دمای محیط در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت فاکتوریل با سه فاکتور نوع بیوچار (بیوچار معمولی (NB) و بیوچار اسیدی (AB))، مقدار بیوچار (۰ (B<sub>0</sub>) و ۱ درصد (B<sub>1</sub>)) و کود پتاسیمی (۰ (K<sub>0</sub>)، ۲۵ درصد (K<sub>25</sub>))، ۵۰ درصد (K<sub>50</sub>)، ۷۵ درصد (K<sub>75</sub>) و ۱۰۰ درصد (K<sub>100</sub>) توصیه کودی) در سه تکرار صورت پذیرفت. از ترکیب فاکتوریل نوع بیوچار، مقدار بیوچار و کود پتاسیمی برای هر یک از دو خاک لوم رسی و لوم شنی ۱۵ تیمار به شرح زیر حاصل شد: NB<sub>0</sub>K<sub>25</sub>، NB<sub>0</sub>K<sub>50</sub>، NB<sub>0</sub>K<sub>75</sub>، NB<sub>0</sub>K<sub>100</sub>، NB<sub>1</sub>K<sub>25</sub>، NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub>، NB<sub>1</sub>K<sub>75</sub>، NB<sub>1</sub>K<sub>100</sub>، AB<sub>0</sub>K<sub>25</sub>، AB<sub>0</sub>K<sub>50</sub>، AB<sub>0</sub>K<sub>75</sub>، AB<sub>0</sub>K<sub>100</sub>، AB<sub>1</sub>K<sub>25</sub>، AB<sub>1</sub>K<sub>50</sub>، AB<sub>1</sub>K<sub>75</sub>، AB<sub>1</sub>K<sub>100</sub>.

از هر دو نمونه خاک مورد مطالعه در این آزمایش نمونه‌های ۱۰ کیلوگرمی توزین و به درون گلدان‌ها منتقل شد. به جز پتاسیم، سایر عناصر غذایی براساس آزمون خاک و توصیه‌های مبتنی بر آزمون خاک برای هر گلدان تأمین شد. تیمارهای مختلف بیوچار و کود پتاسیمی نیز بر اساس مقادیر مذکور به هر گلدان منتقل و به خوبی با خاک مخلوط شدند. در طول دوره رشد گیاه، خاک در شرایط غرقاب نگهداری و پس از پایان دوره رشد گیاه، اندام هوایی گیاه برداشت و جهت اندازه‌گیری غلظت پتاسیم زیست توده و دانه برنج به آزمایشگاه منتقل گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به دست آمده، از نرم‌افزار Statistix 8 (USDA and NRCS, 2007) و مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) صورت پذیرفت. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.



## مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

### Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

## نتایج و بحث

### خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و بیوچارهای مورد مطالعه

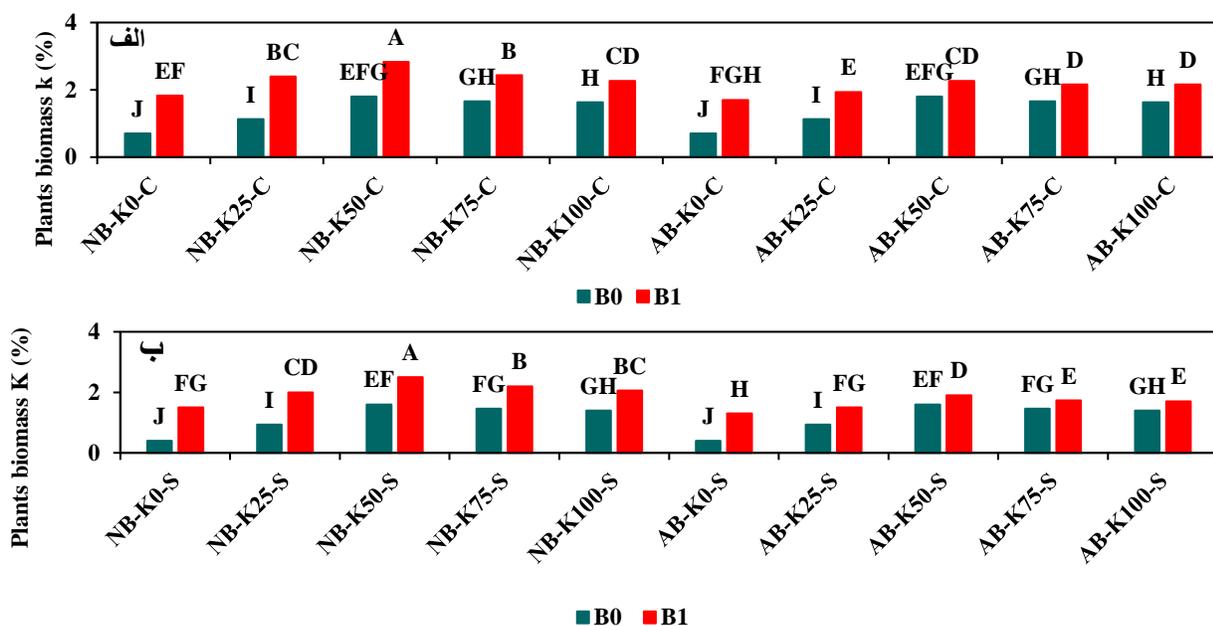
برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های انتخاب شده در این مطالعه در جدول (۱) آمده است. باتوجه به نتایج ارائه شده در این جدول می‌توان گفت؛ بافت خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب لوم رسی با ۳۶ درصد رس، ۳۰ درصد سیلت و ۳۴ درصد شن و لوم شنی با ۱۶ درصد رس، ۶ درصد سیلت و ۷۸ درصد شن می‌باشد. مقدار کربن آلی در هر دو خاک لوم شنی و لوم رسی به ترتیب ۱/۰۵ و ۰/۸۵ درصد و نیتروژن کل خاک لوم شنی ۰/۱ درصد و در خاک لوم رسی ۰/۰۸ درصد برآورد گردید. غلظت پتاسیم نیز قابل جذب در هر دو خاک لوم شنی و لوم رسی به ترتیب ۱۲۵ و ۱۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد. با توجه به جدول (۱)، pH بیوچار در حالت اولیه کمی قلیایی است. بعد از فرایند اسیدی کردن pH آن کاهش پیدا کرده و اسیدی شده است. مقدار نیتروژن، ماده آلی، فسفر و منگنز موجود در بیوچار بعد از فرایند اسیدی شدن، افزایش یافته است. اما مقدار پتاسیم، آهن، مس و منگنز بعد از اسیدی شدن نسبت به حالت اولیه بیوچار، کاهش یافته است. ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار در حالت اولیه نسبت به بیوچار اسیدی، بیشتر بوده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و بیوچارهای مورد مطالعه

پارامتر	واحد	مقدار (لوم شنی)	مقدار (لوم رسی)	بیوچار نرمال	بیوچار اسیدی
pH		۷/۲۶	۷/۶۶	۷/۸۴	۲/۶۴
EC	dS m <sup>-1</sup>	۰/۳۹	۰/۳۵	۱/۲۴	۴/۷۱
نیتروژن کل	%	۰/۱	۰/۰۸	۱/۰۲	۱/۱۱
CEC	cmol kg <sup>-1</sup>	۱۱/۳	۱۶/۶	۷۰/۳۳	۶۹/۸۵
فسفر	mg kg <sup>-1</sup>	۳/۴۱	۱/۸۵	۸۱۶۳/۲۶	۱۰۷۱۴/۲۸
پتاسیم	mg kg <sup>-1</sup>	۱۲۵	۱۴۷	۴۰۸۱۶/۳۲	۲۰۴۰۸/۱۶
کربنات کلسیم	%	۲۱/۳۸	۲۳/۲۰	-	-
کربن آلی	%	۱/۰۵	۰/۸۵	۹۳/۸	۹۷/۲
آهن قابل جذب	mg kg <sup>-1</sup>	۲۸/۲۹	۵۷/۸۹	۱۴۳/۸۷	۱۳۴/۶۹
مس قابل جذب	mg kg <sup>-1</sup>	۱/۴۸	۵/۱۳	۸/۱۶	۴/۵۹
روی قابل جذب	mg kg <sup>-1</sup>	۰/۹۱	۲/۷۷	۴۲/۳۴	۴۰/۳۶
منگنز قابل جذب	mg kg <sup>-1</sup>	۵/۶۱	۳۱/۵۷	۲۳۱/۱۲	۲۳۹/۲۸
شن	%	۷۸	۳۴	-	-
سیلت	%	۶	۳۰	-	-
رس	%	۱۶	۳۶	-	-

### تأثیر بیوجارها و کود پتاسیمی بر غلظت پتاسیم زیست توده برنج در خاک‌های شالیزاری

در این آزمایش تأثیر افزودن بیوجارهای B<sub>0</sub>, NB<sub>1</sub> و AB<sub>1</sub> به همراه مقادیر مختلف کود پتاسیمی (K<sub>0</sub>, K<sub>25</sub>, K<sub>50</sub>, K<sub>75</sub>, K<sub>100</sub>) بر غلظت پتاسیم زیست توده برنج در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی مورد بررسی قرار گرفت. در عدم کاربرد کود پتاسیمی و بیوجارها غلظت پتاسیم زیست توده برنج در خاک‌های لوم رسی و لوم شنی به ترتیب ۰/۷ و ۰/۴ درصد بود. با کاربرد مقادیر مختلف کود پتاسیمی B<sub>0</sub>K<sub>25</sub> تا B<sub>0</sub>K<sub>100</sub> در خاک لوم رسی، غلظت پتاسیم زیست توده برنج بین ۱/۱۳ تا ۱/۸ درصد و در خاک لوم شنی بین ۰/۹۳ تا ۱/۶ درصد متغیر بود. غلظت پتاسیم زیست توده برنج در تیمارهای NB<sub>1</sub>K<sub>0</sub> و AB<sub>1</sub>K<sub>0</sub> در خاک لوم رسی به ترتیب به ۱/۸۳ و ۱/۷ درصد و در خاک لوم شنی به ترتیب به ۱/۵ و ۱/۳ افزایش یافت. اما تیمار NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> بیش‌ترین توانایی را در افزایش غلظت پتاسیم زیست توده برنج داشت (شکل ۱ الف و ب). به طوری که اعمال این تیمار غلظت پتاسیم زیست توده برنج را از ۰/۷ درصد در تیمار شاهد به ۲/۸۳ درصد در لوم رسی و از ۰/۴ درصد در تیمار شاهد به ۲/۵ درصد در خاک لوم شنی رساند. تیمار AB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> نیز توانست غلظت پتاسیم زیست توده برنج را به ۲/۲۶ درصد در خاک لوم رسی و ۱/۹ درصد در خاک لوم شنی برساند.



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر بیوجار و کود پتاسیمی بر غلظت پتاسیم زیست توده برنج در خاک‌های (الف) لوم رسی و (ب) لوم شنی. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه باشند نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد. (NB): بیوجار نرمال، AB: بیوجار اسیدی، 0: بدون مصرف بیوجار، 1 درصد NB: مصرف ۱ درصد بیوجار نرمال، 1 درصد AB: مصرف ۱ درصد بیوجار اسیدی، K<sub>0</sub>: بدون مصرف کود پتاسیم، K<sub>25</sub>: مصرف ۲۵ درصد توصیه کودی پتاسیم، K<sub>50</sub>: مصرف ۵۰ درصد توصیه کودی پتاسیم، K<sub>75</sub>: مصرف ۷۵ درصد توصیه کودی پتاسیم، K<sub>100</sub>: مصرف ۱۰۰ درصد توصیه کودی پتاسیم



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management



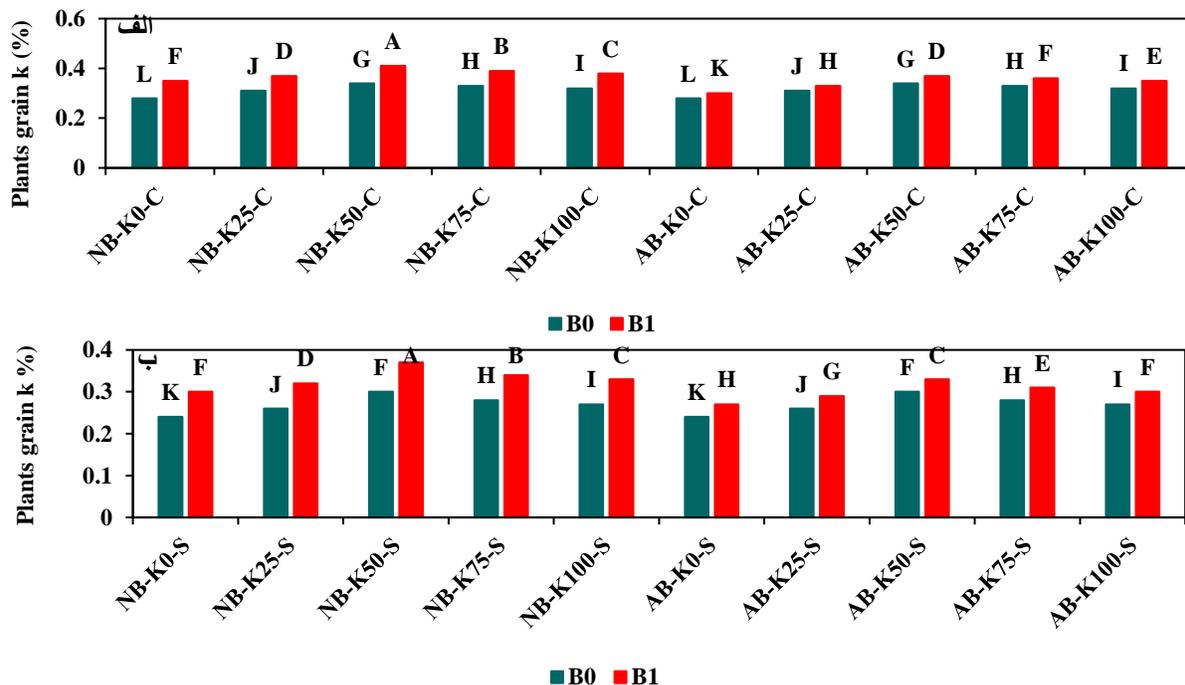
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

تأثیر بیوچارها و کود پتاسیمی بر غلظت پتاسیم دانه برنج در خاک‌های شالیزاری

در این راستا نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد شکل (۲ الف و ب)، غلظت پتاسیم دانه برنج با افزودن بیوچارهای B<sub>0</sub>، NB<sub>1</sub> و AB<sub>1</sub> به همراه مقادیر مختلف کود پتاسیمی (K<sub>0</sub>، K<sub>25</sub>، K<sub>50</sub>، K<sub>75</sub>، K<sub>100</sub>) در هر دو خاک افزایش یافته است. با کاربرد مقادیر مختلف کود پتاسیمی B<sub>0</sub>K<sub>100</sub> تا B<sub>0</sub>K<sub>25</sub> در خاک لوم رسی، غلظت پتاسیم دانه برنج بین ۰/۳۱ تا ۰/۳۴ درصد و در خاک لوم شنی بین ۰/۲۶ تا ۰/۳ درصد متغیر بود. که در این بین تیمار K<sub>50</sub>، موفقیت بیشتری در افزایش مقدار پتاسیم دانه داشت و توانست غلظت پتاسیم دانه را در خاک لوم رسی ۲۱/۴ درصد و در خاک لوم شنی ۲۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دهد. غلظت پتاسیم دانه برنج در تیمارهای NB<sub>1</sub> و AB<sub>1</sub> در خاک لوم رسی به ترتیب به ۰/۳۵ و ۰/۳۰ درصد و در خاک لوم شنی به ترتیب به ۰/۳۰ و ۰/۲۷ درصد افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پتاسیم دانه برنج مربوط به تیمار NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> است که توانست غلظت پتاسیم دانه را به ترتیب از ۰/۲۸ و ۰/۲۴ درصد در تیمار شاهد بدون مصرف بیوچار و کود پتاسیمی به ۰/۴۱ و ۰/۳۷ درصد در دو خاک لوم رسی و لوم شنی افزایش دهد. تیمار AB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> در مقایسه با سایر مقادیر کود پتاسیم (K<sub>0</sub>، K<sub>25</sub>، K<sub>75</sub>، K<sub>100</sub>) به همراه بیوچاراسیدی (AB)، در افزایش مقدار پتاسیم دانه، موفق‌تر عمل کرد و غلظت پتاسیم دانه را در دو خاک لوم رسی و لوم شنی به ترتیب به ۰/۳۷ و ۰/۳۳ درصد رساند که برابر بود با ۳۲/۱ و ۳۷/۵ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد. تیمار NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> در قیاس با تیمار B<sub>0</sub>K<sub>50</sub>، غلظت پتاسیم دانه را در خاک لوم رسی ۲۰/۵ درصد و در خاک لوم شنی ۲۳/۳ درصد افزایش داد.





## مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

### Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر بیوچار و کود پتاسیمی بر غلظت پتاسیم دانه برنج در خاک‌های (الف) لوم رسی و (ب) لوم شنی. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه باشند نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد. (NB: بیوچار نرمال، AB: بیوچار اسیدی؛ 0: بدون مصرف بیوچار، 1 درصد NB: مصرف 1 درصد بیوچار نرمال، 1 درصد AB: مصرف 1 درصد بیوچار اسیدی، K0: بدون مصرف کود پتاسیم، K25: مصرف 25 درصد توصیه کودی پتاسیم، K50: مصرف 50 درصد توصیه کودی پتاسیم، K75: مصرف 75 درصد توصیه کودی پتاسیم، K100: مصرف 100 درصد توصیه کودی پتاسیم)

در گذشته هنگامی که محصول برنج پایین بود، بیشتر خاک‌ها توانایی تأمین پتاسیم لازم برای سطوح پایین تولید را داشتند. لذا در بیشتر آزمایشات کودی پاسخ به کود پتاسیم منفی یا اندک بود. در ایران نیز آزمایشات کودی پتاسیم در شالیزارها نتایج مشابهی داشت. در اثر رواج ارقام پرمحصول و استفاده غیر متعادل از کود شیمیایی و عوامل دیگر کمبود پتاسیم تدریجاً به عنوان عامل محدود کننده تولید در خاک‌هایی که قبلاً کمبودی نداشتند آشکار گردید. افزایش عملکرد ماده خشک حاصل از شیوه جدید تولید در شالیزارها، غالباً باعث تشدید خروج پتاسیم از شالیزارها و منفی شدن موازنه ورود و خروج پتاسیم گردید. این روند تدریجاً توانایی عرضه پتاسیم خاک‌ها را کاهش داده و زمینه‌ساز بروز کمبود پتاسیم شد (Tofighi, 1999). غلظت پتاسیم کمتر از ۲ درصد در کل اندام هوایی در طول دوره رشد رویشی نشان دهنده کمبود پتاسیم در برنج و پاسخ آن به کود پتاسیمی محتمل است (Golestanifard et al, 2020). کاربرد کود پتاسیمی به تنهایی در مقادیر مختلف، غلظت پتاسیم زیست توده برنج را کمتر از ۲ درصد نگه داشت. در واقع حتی استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار که بیش از مقدار مرسوم کود مصرفی (۱۰۰-۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در اراضی شالیزاری شمال ایران است قادر به برطرف کردن کمبود پتاسیم در برنج نیست. از طرفی کشاورزان قدرت خرید مقادیر مرسوم کود پتاسیمی را ندارند، بنابراین استفاده توأمان بیوچار و کود پتاسیمی می‌تواند گزینه مناسبی برای بهبود وضعیت پتاسیم در اراضی شالیزاری شمال ایران باشد. البته کاربرد تیمارهای NB<sub>1</sub> و AB<sub>1</sub> به تنهایی در هر دو خاک مورد مطالعه، غلظت پتاسیم زیست توده برنج را همچنان کمتر از ۲ درصد نگه داشت ولی کاربرد NB<sub>1</sub> به همراه مقادیر مختلف کود پتاسیمی در هر دو خاک غلظت پتاسیم زیست توده برنج را به ۲ درصد افزایش داد.

همان‌گونه که در شکل‌های (۱) مشاهده می‌شود بیش‌ترین غلظت پتاسیم زیست توده گیاه مربوط به تیمار NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> است که غلظت پتاسیم زیست توده را در دو خاک لوم رسی و لوم شنی به ترتیب ۳ و ۵/۲ برابر نسبت به شاهد افزایش داد. بیش‌ترین غلظت پتاسیم دانه نیز مربوط به کاربرد NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub> است. چنان‌که توانست غلظت پتاسیم دانه را در دو خاک لوم رسی ۴۶/۲ درصد و در خاک لوم شنی ۵۴/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد (شکل‌های ۲). بیوچار به علت سطح ویژه بالایی که دارد موجب تغییر در تخلخل خاک و توزیع اندازه ذرات آن می‌شود و می‌تواند آب و عناصر غذایی را در سطح خود نگه دارد و به تدریج در اختیار ریشه گیاه قرار دهد (Sun et al, 2014). در واقع بیوچارها به عنوان یک حامل مناسب برای افزایش تغذیه پتاسیم گیاه عمل می‌کنند، زیرا استفاده از ۳۰ مگاگرم در هکتار بیوچار، ۱۳۶ کیلوگرم در هکتار به کل پتاسیم در خاک اضافه می‌کند که بیشتر آن در بخش‌های پتاسیم موجود در گیاه می‌باشد (Bilias et al., 2023). مطالعات کمی تا کنون بر روی اثرات بیوچار بر بهبود وضعیت پتاسیم محصول و عملکرد متمرکز شده‌اند. (Biederman. and Harpole (2013) ، بیان کردند بیوچار باعث افزایش محتوای پتاسیم در گیاهان می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده است که استفاده از بیوچار تولید شده از زیست توده غنی از پتاسیم به سرعت جذب پتاسیم توسط گیاهان را افزایش می‌دهد. بنابراین، می‌تواند منجر به ورود پتاسیم خاک جایگزین و سازگار با محیط‌زیست شود و یک مسیر عرضه پتاسیم به آسانی



## مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

## Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture &amp; Natural Resources, University of Tehran

قابل جذب را برای گیاهان فراهم کند (Bilias et al., 2023) که این نتایج توسط Asad Karim et al. (2017) تأیید شده است. Zhao et al. (2020)، اثرات هفت تیمار بیوچار کاه ذرت (شاهد، ۵ تن در هکتار، ۱۰ تن در هکتار، ۱۵ تن در هکتار، ۲۰ تن در هکتار، ۲۵ تن در هکتار، ۳۰ تن در هکتار) را به صورت یک آزمایش مزرعه‌ای طولانی مدت در خاک قلیایی تحت کشت ذرت، مورد مطالعه قرار دادند و نتایج حاصل از آن نشان داد که غلظت پتاسیم گیاهان ذرت با کاربرد بیوچار افزایش یافت و بیشترین غلظت پتاسیم در گیاهان ذرت با نرخ ۲۰ تن در هکتار اتفاق افتاد. در مقابل، غلظت پتاسیم ذرت در تیمار ۲۵ و ۳۰ تن در هکتار کاهش یافت.

## نتیجه‌گیری

با توجه به وضعیت ضعیف پتاسیم در خاک‌های شالیزاری مورد مطالعه و ظرفیت بالای تثبیت پتاسیم در هر دو خاک، یافته‌های این تحقیق نشان داد که غلظت پتاسیم موجود در اندام هوایی (دانه و زیست توده) برنج نیز پس از کاربرد توامان بیوچار و کود پتاسیمی (NB<sub>1</sub>K<sub>50</sub>) به طور معنی‌داری افزایش یافت. هرچند کاربرد توامان بیوچار و کود پتاسیمی سبب افزایش بیشتر محتوای پتاسیم برنج شده است ولی کاربرد بیوچار به تنهایی نیز در افزایش جذب و محتوای پتاسیم برنج در مقایسه با شاهد و کاربرد کود شیمیایی به تنهایی، موفق عمل کرد. به طور کلی بیوچار به علت دارا بودن محتوای بالای پتاسیم، با کاهش ظرفیت تثبیت پتاسیم در خاک‌های ایلیتی-شالیزاری تخلیه پتاسیم شده می‌تواند به طور موثری موجب افزایش فراهمی و جذب پتاسیم توسط گیاه شود.

## منابع

- ۱- پورصالح، م. (۱۳۷۳). غلات (گندم، جو، برنج، ذرت). انتشارات صفار، چاپ دوم. ۱۴۴ ص.
- ۲- ملکوتی، م.ج.، همایی، م. (۱۳۸۳). حاصلخیزی مناطق خشک و نیمه خشک (مشکلات و راه حل‌ها). دانشگاه تربیت مدرس. دفتر نشر آثار علمی. تهران. چاپ دوم. ۵۰۲ ص.
- ۳- ملکوتی، م.ج.، شهابی، ع.ا.، بازرگان، ک. (۱۳۹۵). پتاسیم در کشاورزی (نقش پتاسیم در تولید محصولات کشاورزی سالم). انتشارات تهران مبلغان. چاپ دوم. ۳۶۰ ص.
- ۴- موسوی، س.ی.، محمدیان، م.، نصیری، م. (۱۳۸۹). کوددهی سرک نسبت‌های مختلف کلرور پتاسیم به همراه اوره بر کمیت و کیفیت برنج رقم شیرودی. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، تهران.
- 5-Bagyalakshmi, B., Ponmurugan, P., & Marimuthu, S. (2012). Influence of potassium solubilizing bacteria on crop productivity and quality of tea (*Camellia sinensis*). *Afr J Agric Res*, 7(30), 4250-4259.
- 6- Bilias, F., Kalderis, D., Richardson, C., Barbayiannis, N., & Gasparatos, D. (2023). Biochar application as a soil potassium management strategy: A review. *Science of the Total Environment*, 858, 159782.
- 7-Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen—total. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 595-624.
- 8-Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5(2), 202-214.
- 9-Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411.



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

10-Golestanifard, A., Santner, J., Aryan, A., Kaul, H. P., & Wenzel, W. W. (2020). Potassium fixation in northern Iranian paddy soils. *Geoderma*, 375, 114475.

11-International Rice Research Institute (IRRI).

12-Jalali, M., & Kolahchi, Z. (2007). Short-term potassium release and fixation in some calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(4), 530-537.

13-Karim, A. A., Kumar, M., Singh, S. K., Panda, C. R., & Mishra, B. K. (2017). Potassium enriched biochar production by thermal plasma processing of banana peduncle for soil application. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 123, 165-172.

14-Lindsay, W.L., Norwell, W.A. (1978). Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci Soc Am J*, 42: 421-428.

15-Li, X., Zhan, L., Lu, J., Liao, Z., Li, J., Ren, T., & Cong, R. (2014). Potassium mobilization and transformation in red paddy soil as affected by rice. *Agronomy Journal*, 106(3), 1011-1017.

16-Nelson, R. E. (1982). Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 9, 181-197.

17- Nouri, Z., Jalili, B., & Sadegh-Zadeh, F. (2024). Biochars application reduces potassium fixation and improves rice potassium content in K-depleted paddy soils. *Journal of Environmental Management*.

18- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1990). Phosphorus. *Method of soil analysis*. Agronomy Monograph., ASA, Madison, Wisconsin, 403-431.

19-Rhoades, J. D. (1992). Soluble salts. In: Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. *Method of soil Analysis*. Part II: Chemical and Mineralogical Properties, 2<sup>nd</sup> ed. Madison, Wisconsin: SSSA.

20-Sadegh-Zadeh, F., Parichehreh, M., Jalili, B., & Bahmanyar, M. A. (2018). Rehabilitation of calcareous saline-sodic soil by means of biochars and acidified biochars. *Land Degradation & Development*, 29(10), 3262-3271.

21-Simonsson, M., Hillier, S., & Öborn, I. (2009). Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. *Geoderma*, 151(3-4), 109-120.

22-Sumner, M. E., & Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 1201-1229.

23-Sun, Z., Bruun, E. W., Arthur, E., de Jonge, L. W., Moldrup, P., Hauggaard-Nielsen, H., & Elsgaard, L. (2014). Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 1087-1097.

24-Towfighi, H. (1999). Response of rice to potassium application in paddy soils of northern Iran.

25-USDA, (2020). World Rice Supply and Utilization.

26-Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress

2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران

۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

27-Zhao, W., Zhou, Q., Tian, Z., Cui, Y., Liang, Y., & Wang, H. (2020). Apply biochar to ameliorate soda saline-alkali land, improve soil function and increase corn nutrient availability in the Songnen Plain. *Science of the Total Environment*, 722, 137428.

### The impact of biochar application on the potassium content of rice in two K-depleted paddy soils

Zohreh Nouri Amirkolae<sup>1</sup> | Bahi Jalili<sup>2</sup> | Fardin Sadegh-Zadeh<sup>3</sup>

1. Department of Soil Science, Faculty of Crop Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: Znooriamiri69@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Crop Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: bahi\_jalilis@yahoo.com
3. Department of Soil Science, Faculty of Crop Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: fardin.upm@gmail.com

#### Abstract

This study aimed to evaluate the effect of combining normal and acidic rice straw biochars with potassium fertilizer on the potassium status of rice in two potassium-depleted paddy soils. This experiment was conducted using a completely randomized block design as a factorial with three factors: biochar type (normal biochar and acidic biochar), biochar amount (0 and 1 percent), and potassium fertilizer (0, 25%, 50%, 75%, and 100% of the fertilizer recommendation) in three replications, resulting in a total of 20 treatments across two paddy soils with different textures under Shirodi rice cultivation. The results showed that the addition of normal and acidic biochars (NB1 and AB1), along with varying amounts of potassium fertilizer (K0, K25, K50, K75, and K100), increased the potassium content of rice. Therefore, the NB1K50 treatment had the greatest ability to enhance the potassium concentration in biomass and rice grain in both clay loam and sandy loam soils. Overall, it seems that the combined application of biochar and potassium fertilizer has increased the potassium content in different parts of the rice plant. Biochar contains a substantial amount of activated potassium that can serve as a soil amendment agent to provide potassium to crops in the short term.

**Keywords:** Biochar, paddy soil, potassium, rice