تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۳ | خرداد ۱۴۰۱ (ص ۴۵۸-۴۴۷)

DOI:https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.334952.669155

(مقاله علمی - پژوهشی)

Application of Vinasse and Humic Acid on Soil Potassium Availability and Sugarcane Yield in Conditions of Deficiency of Macro-Elements

SAYYED ZAHRA JAFARI NAEINI[1,2], ALIRZA JAFARNEJADI[1,3], KAMRAN MOHSENIFAR[1*], TIMOOR BABAIENEJAD[1], ALI GHOLAMI[4]

1. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2. Department of Soil Science, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3. Department of Soil and Water Research, Research Center Agricultural and Education and Natural Resources Khuzestan Province, AREEO, Ahvaz, Iran.
4. Department of Agriculture, Shahinshahr Branch, Islamic Azad University, Shahinshahr, Iran.

(Received: Dec. 9, 2021- Revised: March. 19, 2022- Accepted: Apr. 4, 2022)

ABSTRACT

Sugarcane, like all sugar plants, has a high need for potassium. However, the long-term addition of chemical fertilizers to agricultural land degrades the physical and chemical properties of the soil. The aim of present study is to investigate the effect of Vinasse and Humic acid on soil potassium concentration and sugarcane yield to reduce recommended fertilizers in the region. This field study was conducted in 2019 as double split plots in the form of randomized complete blocks. Experimental agents include Vinasse at three levels: 0, 50 and 100 cubic meters per hectare, Humic acid at three levels: 0, 2.5 and 5 kg per hectare and fertilizer treatment of high consumption elements at two levels: recommended and 50% recommended. The results showed that the use of Vinasse and Humic acid had a significant effect on the concentration of all soil potassium forms at a probability level of one percent. The results of simple effects showed that the average of exchangeable and soluble potassium in treatments ($100m^3$ Vinasse), (5kg Humic acid) and (recommended fertilizer) were more than the control by 275, 165, 221% and 692, 371, 484% respectively. The interactions of exchangeable and soluble potassium in the composition ($100m^3$ Vinasse, 5 kg of recommended Humic acid and fertilizer) are 384 and 882% higher than the control, respectively. The results showed the highest and lowest yields in ($50m^3$ Vinasse) and ($100m^3$ Vinasse) treatments at the rate of 61.6 and 28.2 tons per hectare, respectively, and the interactions of the highest yield in ($50m^3$ Vinasse, 5 Kg Humic acid and 50% recommended fertilizer) treatment is 75.2 tons per hectare. The results showed that Vinasse and Humic acid can act well as alternatives to chemical fertilizers and reduce the use of chemical fertilizers with proper management.

Keywords: Eexchangeable Potassium, Fertilizer Treatment, Soil Depth, Soil Solution.

*Corresponding Author's Email: Mohsenofar@live.com

کاربرد ویناس و اسید هیومیک بر قابلیت دسترسی پتاسیم خاک و عملکرد نیشکر در شرایط کمبود عناصر پرمصرف

سیده زهرا جعفری نایینی[۱و۲]، علیرضا جعفرنژادی[۱و۳]، کامران محسنی‌فر[۱*]، تیمور بابایی‌نژاد[۱]، علی غلامی[۴]

[۱] گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

[۲] گروه خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

[۳] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

[۴] گروه کشاورزی، واحد شاهین‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهین‌شهر، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۱۸- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸- تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱/۱۵)

چکیده

نیشکر مانند همه گیاهان قندی نیاز بالایی به پتاسیم دارد با این‌حال اضافه‌کردن بلندمدت کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی موجب تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر ویناس و هیومیک اسید بر غلظت پتاسیم خاک و عملکرد گیاه نیشکر جهت کاهش کاربرد کودهای توصیه شده منطقه می‌باشد. این پژوهش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۸ به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل ویناس در سه سطح: صفر، ۵۰ و ۱۰۰ مترمکعب در هکتار، هیومیک اسید در سه سطح: صفر، ۲/۵ و ۵ کیلوگرم در هکتار و تیمار کودی عناصر پرمصرف در دو سطح: توصیه شده و ۵۰ درصد توصیه شده اجرا شد. نتایج نشان داد کاربرد ویناس و اسید هیومیک بر غلظت تمام شکل‌های پتاسیم خاک تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. نتایج اثرات ساده نشان داد میانگین پتاسیم تبادلی و محلول در تیمارهای (۱۰۰ مترمکعب ویناس)، (۵ کیلوگرم هیومیک اسید) و (کود توصیه شده) به ترتیب ۲۷۵، ۱۶۵ و ۲۲۱ درصد و ۶۹۲، ۳۷۱ و ۴۸۴ درصد بیشتر نسبت به شاهد است. اثرات متقابل پتاسیم تبادلی و محلول در ترکیب (۱۰۰ مترمکعب ویناس، ۵ کیلوگرم هیومیک اسید و کود توصیه شده) به ترتیب ۳۸۴ و ۸۸۲ درصد بیشتر نسبت به شاهد است. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب در تیمار (۵۰ مترمکعب ویناس) و (۱۰۰ مترمکعب ویناس) به میزان ۶۱/۶ و ۲۸/۲ تن در هکتار و اثرات متقابل بالاترین عملکرد در تیمار (۵۰ مترمکعب ویناس، ۵ کیلوگرم هیومیک اسید و نصف کود توصیه شده) به مقدار ۷۵/۲ تن در هکتار است. نتایج نشان می‌دهد ویناس و هیومیک اسید می‌تواند به‌خوبی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی عمل کند و با مدیریت صحیح مصرف کودهای شیمیایی را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم تبادلی، تیمار کودی، عمق خاک، محلول خاک

مقدمه

ایران یکی از تولیدکننده‌های نیشکر[1] و فرآورده‌های جانبی آن در خاورمیانه است به‌نحوی‌که سطح زیر کشت آن در۱۰سال اخیر تقریباً ۱۰۰درصد افزایش‌یافته است. استان خوزستان با دارا بودن چندین واحد تولید نیشکر با سطح زیر کشت بالغ بر ۸۵۰۰۰ هکتار، بیش از ۹۹ درصد از سطح زیر کشت نیشکر در کشور را دارد (Monjezi *et al.*, 2015). نیشکر مانند همه گیاهان قندی نیاز بالایی به پتاسیم دارد به طوری‌که با تولید ۱۰۰ تن نی حدود ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم (K_2O) از خاک برداشت می‌شود و مقدارکود پتاسیمی توصیه شده برای جبران این مقدار پتاسیم برداشت شده۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم می‌باشد (Kee Kwong & Ramasawmy-Chellen, 2006; kolahi *et al.*, 2017). کشت مداوم نیشکر باعث تخلیه پتاسیم از خاک می‌شود به‌طوری‌که Barani Motlagh and Savabeghi Firoozabadi (2006) در مطالعات خود به‌منظور بررسی تخلیه پتاسیم از خاک‌های زیرکشت نیشکر نشان داد که

* نویسنده مسئول: mohsenifar@live.com

1. Saccharum officinarum L.

شکل‌های پتاسیم تبادلی و غیر تبادلی خاک‌های زیر کشت در مقایسه با خاک‌های کشت نشده مجاور، به ترتیب ۴۳/۹ و ۷۳/۸ درصد کاهش یافته است.

پتاسیم یکی از عناصر ضروری و پرمصرف موردنیاز گیاهان زراعی است و به چهار شکل کلی محلول، تبادلی، غیر تبادلی و ساختاری در خاک‌ها وجود دارد (Bahreini *et al*., 2013). این عنصر دارای نقش‌های متعددی در گیاه بوده که مهمترین آن‌ها پایداری pH، تنظیم اسمز، فرآیندهای جابجایی در غشا و فعال کردن آنزیم‌ها است (Havlin, 2014). بیش از ۵۰ گونه آنزیم در گیاه وجود دارد که یا به طور کامل به پتاسیم وابسته بوده و یا پتاسیم در فرآیند فعال سازی آنها نقش دارد (Marschner, 2012; Sadegh Azadi *et al*., 2019). گیاهان دارای کمبود پتاسیم، از مقدار شکر کمتری برخوردار هستند که می‌تواند به دلیل کاهش فتوسنتز و کاهش انتقال پتاسیم از برگ‌ها به ساقه باشد (Safirzadeh *et al*., 2019).

کودهای شیمیایی به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک به نظر می‌رسد، ولی هزینه رو به افزایش تولید آن‌ها، آلودگی خاک و آب ناشی از مواد شیمیایی و کاهش کیفیت تولیدات کشاورزی باعث ایجاد مسائل نامطلوب شده است (Aziz *et al*., 2010). کودهای آلی بهترین جایگزین برای کودهای شیمیایی بوده و می‌توانند اثرات معنی‌داری در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته باشند و علاوه بر افزایش ماده‌آلی خاک، افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و بهبود ساختمان خاک را به دنبال داشته باشند (Kızılkaya, 2008). تحقیقات نشان داده ویناس یکی از کودهای آلی است که سرشار از پتاسیم می‌باشد (Elhamifard & Jafari, 2007). ویناس ماده خامی است که پساب حاصل از تولید الکل می‌باشد و بیش از ۹۰ درصد آن را آب تشکیل می‌دهد (Pazoki et al., 2006). رنگ آن قهوه‌ای تیره و بوی شکر سوخته است که غلظت عناصر غذایی آن بسته به وضعیت کارخانه و کیفیت ملاس یـا شـربت، متفاوت است. این ماده غنی از پتاسیم، کلسیم، منیزیم، مقادیری نیتروژن و فسفر و برخی نمک‌های دیگر می‌باشد که منبع مهمی از عناصر غذایی به ویژه برای کشاورزی ارگانیک به حساب می‌آید (Moezzi *et al*., 2019) و هدایت الکتریکی آن ۳۰ تا ۲۰۰ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است (Kiani Haftlang *et al*., 2018; Rodrigues Reis & Hu, 2017). بر اساس تحقیقات Rodrigues Reis and Hu (2017) که بر روی ۴ واریته نیشکر با ۳ دوره متوالی برداشت نشان داد که مقادیر عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم به ترتیب برابر (۱۶۲۰، ۳۱۶۰، ۱۶۲/۴ و ۶/۸) میلی‌گرم بر لیتر در بیوماس نیشکر دارا هستند و نشان‌دهنده وفور عنصر پتاسیم در ویناس می‌باشد.

با وجود عناصر مغذی در ویناس کاربرد آن با محدودیت مواجه است به‌طوری‌که Yin *et al*. (2018) در چین بر روی خاک‌هایی که طی۲ تا ۱۸ سال با ویناس آبیاری شدند، نشان داد که پس از آبیاری طولانی مدت، شوری خاک به بیش از ۱۵۰ درصد افزایش یافت. همچنین Elhamifard and Jafari (2007) نشان داد کاربرد غلظت‌های بالای ویناس بیش از ۷۵ مترمکعب در هکتار باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک مزارع نیشکر در استان خوزستان شد. لذا کاربرد آن همراه با هیومیک اسید به‌عنوان بهبود دهنده خاک و محرک رشد گیاه، می‌تواند اثر شوری ویناس را تعدیل کند (Rousta & Enayati, 2019). همچنین تحقیقات نشان می‌دهد اضافه‌کردن ویناس به خاک با وجود سرشار بودن از پتاسیم ولی تثبیت توسط رس‌ها باعث کاهش کارایی آن می‌شود ولی هیومیک اسید می‌تواند تثبیت پتاسیم را در سطوح رسی کاهش دهد و در فاز تبادلی نگه دارد و مدت زمان طولانی‌تری پتاسیم را در اختیار گیاه قرار دهد (Alinejadian Bidabadi *et al*., 2021; Roudgarnejad *et al*., 2021).

مواد هیومیک به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Roudgarnejad *et al*., 2021). اثرات غیرمستقیم شامل بهبود خواص خاک (تهویه، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب)، افزایش قابلیت دسترسی عناصر کم مصرف و بعضی عناصر پرمصرف مانند N، Ca، Mg، P و K است و اثرات مستقیم مواد هیومیک نیز شامل عمل جذب و انتقال عناصر غذایی به بافت گیاه و درنتیجه اثرات بیوشیمیایی مختلف از قبیل سنتز پروتئین، فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی در بافت‌های گیاه است (Taleh Farahi *et al*., 2019). تحقیقات نشان داده که محلول پاشی پتاسیم و لیونارادیت (نوعی هیومیک اسید) موجب افزایش رشد ریشه و عملکرد محصول می‌شود، زیرا ریزی ذرات خاک و دارا بودن خلل و فرج در بافت‌های رسی موجب کندی پخشیدگی پتاسیم از سطوح ذرات خاک به محلول خاک می‌شود و اسید هیومیک می‌تواند مدت زمان طولانی‌تر پتاسیم را در اختیار گیاه قرار دهد (Azizzadeh *et al*., 2018). Behravan *et al*. (2019) اثر کاربرد اسید هیومیک بر نیشکر را بررسی کردند و دریافتند که کاربرد اسید هیومیک ضمن افزایش وزن خشک اندام هوایی به ۸/۵۴ گرم، باعث افزایش ۵۰ درصد جذب کود فسفر می‌شود. نتایج Moezzi *et al*. (2019) نشان داد که اسید هیومیک می‌تواند محتوای مواد مغذی خاک را افزایش دهد به‌طوری‌که کاربرد اسید هومیک سبب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه (۱۱ درصد) و اندام هوایی (۲۲ درصد) و افزایش عملکرد (۱۰

درصد) دانه‌های پسته شد.

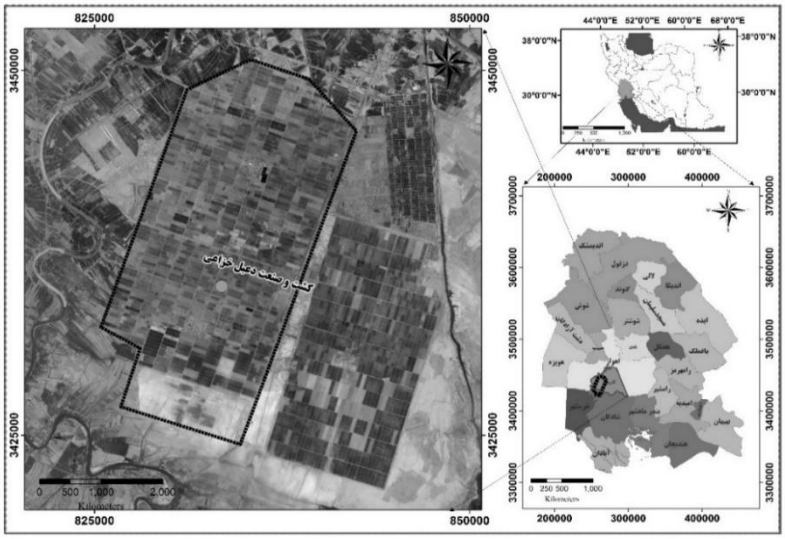
استفاده بلندمدت و بدون مدیریت کودهای شیمیایی در زمین‌های کشاورزی می‌تواند موجب آلودگی‌های زیست‌محیطی، صدمات اکولوژیکی و تخریب برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها را در پی داشته باشد (Alinejadian Bidabadi *et al.*, 2021) براین‌اساس، کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تلفیق و یا جایگزینی آن‌ها با انواع کودهای آلی و بیولوژیک به‌منظور رسیدن به تولید پایدار در کشاورزی مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Jamili *et al.*, 2016). کودهای آلی و شیمیایی لازم و ملزوم یکدیگرند و برای ایجاد شرایط مناسب رشد گیاهان هر دو نوع کود مورد نیاز هستند. افزودن کودهای آلی به خاک افزون بر نداشتن عوارض نامطلوب موجب افزایش مواد مغذی خاک و نگهداری آن در سطحی مناسب می‌شوند (Monjezi *et al.*, 2015) مصرف کود آلی و کود شیمیایی به‌صورت تلفیقی، شرایط مناسب و ایده‌آلی را برای رشد گیاه فراهم می‌آورد به‌طوری‌که نه تنها هیچ گونه اثر سازش ناپذیری ندارند بلکه مکمل همدیگر نیز هستند. کودهای آلی با تولید هوموس، عوارض کودهای شیمیایی را کاهش و کارایی مصرف کود را افزایش می‌دهند (Moradi *et al.*, 2019).

براین‌اساس امروزه مدیریت صحیح مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی یا تلفیق آن‌ها با کودهای آلی و زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد؛ لذا باتوجه‌به مقادیر فراوان و رایگان ویناس در مراکز تولید نیشکر که سرشار از عناصر غذایی بخصوص پتاسیم می‌باشد و کاربرد آن همراه با هیومیک اسید می‌تواند از طرفی تثبیت پتاسیم خاک را کاهش داده و از طرفی دیگر هدایت الکتریکی بالای ویناس را تعدیل نماید؛ لذا این تحقیق با هدف بررسی کاربرد ویناس و اسید هیومیک به‌منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی توصیه شده بر قابلیت دسترسی پتاسیم خاک و عملکرد نیشکر اجرا شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

این تحقیق در مزارع کشت و صنعت نیشکر واحد دعبل خزاعی انجام شد. این واحد در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی که در ۲۵ کیلومتری جنوب اهواز، در امتداد ساحل غربی کارون و در زمین‌های دشت خوزستان قرار گرفته است (شکل ۱). بر اساس دوره آماری بیست‌ساله (۱۳۹۸-۱۳۷۸) ایستگاه سینوپتیک مؤسسه تحقیقات نیشکر متوسط بارندگی سالانه در کشت و صنعت دعبل خزایی ۱۵۸/۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۲۴/۷ درجه سانتیگراد است. رژیم رطوبتی خاک در این واحد خشک (Aridic) و رژیم حرارتی آن خیلی گرم (Hyperthermic) است. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۷ متر بوده و منطقه دارای شیب کلی کم (۰-۲٪) و بدون پستی‌وبلندی است. این منطقه عمدتاً دارای خاکی با بافت لومی رسی بوده که به علت بهره‌برداری مداوم و بی‌رویه در اثر کشت گیاه نیشکر از نظر مواد آلی و عناصر غذایی فقیر می‌باشد (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه بر روی نقشه

آماده‌سازی زمین و اجرای آزمایش

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸ به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل ویناس در سه سطح: صفر (A1)، ۵۰ (A2) و ۱۰۰ (A3)

مترمکعب در هکتار و اسید هیومیک در سه سطح: صفر (B1)، ۲/۵ (B2) و ۵ (B3) کیلوگرم در هکتار و تیمار کودی عناصر پرمصرف در دو سطح: مقدار کودی توصیه شده مؤسسه تحقیقات کشت و صنعت نیشکر (C1) و ۵۰ درصد توصیه شده (C2) و در سه تکرار اجرا شد.

کشت نیشکر با واریته (CP 48-103) در زمینی به ابعاد (۱۰۰۰×۲۵۰) مترمربع بعد از حذف حواشی مزرعه و با مجموع ۱۰۸ کرت که هر کرت به ابعاد (۴ × ۳/۶) متر و با فواصل ۶ متری بین کرت‌ها (به‌منظور اطمینان از عدم نشتی ویناس به کرت‌های مجاور) صورت گرفت. آبیاری به روش سطحی به‌وسیله لوله‌های هیدروفلوم صورت گرفت و در طول دوره کاشت تا برداشت محصول به طور متوسط ۲۷ هزار مترمکعب آب در هکتار در ۲۲ نوبت آبیاری شد. از حوضچه شماره یک تخلیه ویناس کارخانه الکل رازی مستقر در شرکت کشت و صنعت دعبل خزاعی ویناس تهیه و توسط تانکر (۱۵۰۰۰ لیتری) به محل آزمایش انتقال داده شد با توجه سطوح ویناس و ابعاد کرت‌ها، مقدار ۰، ۷۲ و ۱۴۴ لیتر ویناس همراه با آب آبیاری در تیر ماه به خاک هر کرت اضافه شد. محلول‌های اسید هیومیک در سطوح مختلف به مقدار ۰، ۳/۶ و ۷/۲ لیتر تهیه و به کرت‌های موردنظر افزوده شد.

تیمار کودهی توصیه شده مؤسسه تحقیقات کشت و صنعت نیشکر شامل: نیتروژن به‌صورت کود اوره به میزان ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار و در سه نوبت به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد هم‌زمان با شروع رشد سریع نیشکر در فصول گرم منطقه به‌صورت کود آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. کود پتاس به‌صورت اکسید پتاسیم (K_2O) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به هنگام کشت استفاده شد. برای تأمین هر دو عنصر فسفر و نیتروژن از کود نیتروژن دی آمونیوم فسفات (DAP) فقط به هنگام کشت به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد.

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ویناس مصرفی یک نمونه برای تجزیه اولیه به آزمایشگاه دانشگاه جندی‌شاپور اهواز انتقال یافت (جدول ۱). پیش از شروع آزمایش و در انتها اجرای پژوهش از خاک مزرعه در اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از خردکردن از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه شامل هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع به‌وسیله دستگاه هدایت سنج (Regional Salinity, 1954)، واکنش خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر (Gee & Bauder, 1986)، مقدار کربن آلی به روش واکلی و بلک (Walkley & Black, 1934) و بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) تعیین شد. غلظت پتاسیم در خاک توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (Knudsen et al., 1983) مقدار کربنات کلسیم به روش تیتراسیون با اسید (Gee & Bauder, 1986) و فسفر قابل استفاده توسط استخراج با بیکربنات سدیم ۰/۵ نرمال و دستگاه اسپکتروفتومتری (Sumner & Miller, 1996) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

در پایان کشت، از کرت‌های آزمایشی بعد از حذف حاشیه کرت‌ها، جهت تعیین میزان عملکرد نی کفبر و توزین شد. تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و ویناس مصرفی

	عمق	کربن آلی	نیتروژن	EC	pH	سدیم	کربنات کلسیم	منیزیم	پتاسیم قابل جذب	سولفات	بی‌کربنات	فسفر قابل جذب	پتاسیم محلول	بافت
		%		dS/m		mg/kg							mg/l	
خاک	۳۰-۰	۰/۸۳	۰/۰۴	۳/۲۵	۸/۲۰	۳۰	۳۹/۴	۱۸/۲	۱۰۵	۳۹/۳	۳/۱	۲/۲	۵/۱	لومی رسی
	۶۰-۳۰	۰/۵	۰/۰۴	۲/۷	۵/۶	۲۸	۳۷/۱	-	۹۲	۳۰/۱	۲/۸	۱/۹	۳/۸	لومی رسی
ویناس		۰/۲	۰/۳۳	۹۰	۴/۶	۴۲۰۰	۲۱۱	۴۷۸	-	۳۲/۵	۷/۷	۰/۰۹	۲۲۴۰۰	-

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه پژوهشی و ویناس کاربردی

نتایج اولیه تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی (جدول ۱) نشان داد که مقدار پتاسیم قابل جذب در هر دو عمق خاک کم‌تر از حد بحرانی پتاسیم برای اراضی کشت نیشکر بود به‌ویژه در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری کمبود آن شدیدتر است. باتوجه‌به حد بحرانی، تمام کرت‌های موردمطالعه دارای کمبود نیتروژن برای رسیدن به حداکثر عملکرد می‌باشند. حد بحرانی پتاسیم تبادلی در خاک برای کشت نیشکر بسته به ترکیب

مینرالوژیکی خاک‌های تحت کشت و بافت خاک در منابع مختلف بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Ali *et al*., 2021; Bahreini *et al*., 2013; Khazaie *et al*., 2017; Sadegh Azadi *et al*., 2019). در مزارع نیشکر ضرورت دادن کود پتاسیم بیان شده است، اما در بیشتر کشت و صنعت‌های خوزستان فقط کود ازت و فسفر به خاک اضافه می‌شود (Kee Kwong & Ramasawmy-Chellen, 2006). این عدم کودهی در کنار کشت متراکم نیشکر، برداشت مداوم پتاسیم، نوع رس غالب، درصد رس بالای خاک‌ها و رس با ظرفیت تثبیت بالای پتاسیم باعث تخلیه خاک از این عنصر در سال‌های اخیر بوده است (Barani Motlagh & Savabeghi Firoozabadi, 2006).

تمام مقادیر اندازه‌گیری شده در ویناس (به جز pH) بیشتر از خاک در هر دو عمق می‌باشد. مقدار هدایت الکتریکی (۹۰dS/m)، کربنات کلسیم و منیزیم (۲۱۱ و ۴۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، پتاسیم محلول (۲۲۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نیتروژن (۰/۳۳ درصد)، در ویناس مصرفی بوده و باتوجه‌به حداکثر مقدار مصرف (۱۰۰ مترمکعب در هکتار) می‌تواند منجر به افزایش هدایت الکتریکی، کلسیم، منیزیم، پتاسیم محلول و نیتروژن (۲۷۷، ۴۲۸، ۲۱۰، ۴۳۹ و ۸۲۵ درصد) در خاک شود؛ بنابراین کاربرد ویناس به‌جای کودهای شیمیایی یک راهکار اقتصادی و سودمند در جهت افزایش عناصر غذایی خاک می‌باشد (Afshari *et al*., 2020).

پتاسیم تبادلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد تیمارهای مختلف آزمایشی (ویناس، اسید هیومیک و تیمار کودی) و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار پتاسیم تبادلی خاک در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر به ترتیب در سطوح احتمال یک، یک، یک و پنج درصد تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تیمارها برای خصوصیت میزان پتاسیم خاک و عملکرد نیشکر

منابع تغییرات	پتاسیم قابل تبادل			پتاسیم محلول	عملکرد نیشکر
		میانگین مربعات			میانگین مربعات
	درجه آزادی	۶۰-۳۰cm	۳۰-۰cm	۶۰-۳۰cm	۳۰-۰cm	
تکرار	۲	۲۴۵/۱۲۹۶ ns	۷۳/۳۸۸۹ ns	۲/۱۵۶ ns	۱/۰۹۴ ns	۱/۶۷۱۳ ns
ویناس	۲	۱۴۱۵۴۹/۴۰۷**	۹۲۹۲۱/۵**	۳۱۳۶/۷۹۲**	۳۶۴۳/۴**	۵۰۱۱/۸۱۵**
تکرار× ویناس	۴	۷۵/۲۹۶۳ ns	۳۵/۹۴۴۴ ns	۱/۲۸۶۴ ns	۰/۳۷۱۲ ns	۲/۴۱۶۰ ns
اسید هیومیک	۲	۵۲۴۶/۲۴۰۷**	۷۸۴۰/۳۸۸**	۱۸۰/۰۸۱**	۲۰/۳۲۳**	۲۹۸/۰۹۵**
ویناس× اسید هیومیک	۴	۵۸۷۷/۹۹۰۷**	۳۹۰۰/۴۴۴**	۱۲۴/۳۶۱**	۷۷/۳۶۵**	۱۰۳/۷۳۴**
تکرار× اسید هیومیک	۴	۶۴/۳۵۱۹ ns	۱۸۵/۳۴۲۶ ns	۱/۰۸۵۹ ns	۱/۱۸۵۲ ns	۲۱/۵۱ ns
تیمار کودی	۱	۸۵/۶۲۹۶ ns	۵۶۲۲/۲۴۰۷**	۹۰/۷۴۰ ns	۴۷/۴۱۴**	۱۳۲۰/۱۶۷ ns
تیمار کودی× ویناس	۲	۵۱۹۲۷۷/۸**	۱۸۹۹۹/۴۰۷**	۴۸/۲۰۰۱**	۴۶۲/۳۵۷**	۴۱۳/۹۵۴ **
اسید هیومیک×تیمار کودی	۲	۸۷۵/۱۲۹۶**	۱۲۵۱/۴۶۳*	۱۰۲/۷۰۹**	۲۵/۱۳۱**	۲۵/۰۲۴**
ویناس×اسید هیومیک× تیمار کودی	۴	۶۴۹/۲۶۸۵**	۷۵۲/۱۲۹۶ ns	۵۸/۱۰۴**	۶/۶۰۰۱ ns	۳۲/۱۷۶۱**
اشتباه آزمایشی	۱۸	۱۶۸۴/۳۳	۵۳۴۸	۲۷/۹۲	۴۱/۳۷	۵۷/۶۲۳۳
مجموع مربعات		۳۲۵۳۳۹/۹۲	۲۷۴۱۲۰/۸۳۳۳	۷۸۰۶/۵۷	۸۷۴۵/۰۳۲	۱۳۴۵۳/۷۳۲۶
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۶	۸/۹۱	۵/۴۸	۶/۳۶	۴/۰۳

*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و ns: غیر معنی‌دار

نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌های اثرات ساده تیمارهای کاربردی (جدول ۳) نشان داد که تمام سطوح ویناس کاربردی سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم تبادلی خاک شد. بالاترین افزایش میزان پتاسیم تبادلی نسبت به شاهد در عمق ۶۰-۳۰ (۲۷۷/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادل ۲۶۴ درصد و با مصرف ۱۰۰ مترمکعب ویناس به ثبت رسید (شکل ۲). همچنین بالاترین درصد افزایش میانگین میزان پتاسیم تبادلی نسبت به شاهد در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری (۲۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادل ۲۷۵ درصد و با مصرف ۱۰۰ مترمکعب ویناس به ثبت رسید. از نتایج جدول ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که ویناس به‌خوبی می‌تواند کمبود پتاسیم خاک را جبران کند و کمک شایانی به حاصلخیزی خاک و رشد گیاه نماید. این پژوهش با یافته‌های Yin et al. (2018) در چین و ضمن بررسی خواص شیمیایی خاک‌های تحت تأثیر ویناس، افزایش پتاسیم و کربن آلی را تأیید کردند و نتیجه گرفتند که ویناس منبع مهمی از پتاسیم است و استفاده از آن می‌تواند نیاز به کودهای معدنی پتاسیم را کاهش دهد، همخوانی دارد.

نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌ها برای هیومیک

اسید (جدول ۳) نشان داد کاربرد آن سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم تبادلی خاک شد. بالاترین افزایش میزان پتاسیم تبادلی نسبت به شاهد در عمق ۳۰-۰ (۱۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادل ۱۶۵ درصد و با مصرف ۲/۵ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید به ثبت رسید. همچنین بالاترین درصد افزایش میانگین میزان پتاسیم تبادلی نسبت به شاهد در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری (۱۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادل ۱۳۵ درصد با مصرف ۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ثبت رسید. با این‌که اسید هیومیک فاقد پتاسیم بوده و مستقیماً نمی‌توان بر روی پتاسیم خاک تأثیرگذار باشد اما پژوهش‌های مختلف نشان داده است که اسید هیومیک می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی خاک داشته باشد (Roudgarnejad *et al*., 2021) و باعث انباشتگی پتاسیم در اعماق خاک شود. این پژوهش‌ها نشان داده است که، اثرات غیرمستقیم این ترکیبات، بر سیستم خاک از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن است. اسید هیومیک باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده و با تغییر موضعی pH خاک به دلیل وجود گروه‌های عاملی از جمله کربوکسیل و بهبود فرآیند کلاته کردن، عناصرغذایی را در دسترس و قابل جذب در خاک می‌نماید (Rousta & Enayati, 2019). اسید هیومیک می‌تواند محتوای مواد مغذی خاک را تغییر دهد، که نه تنها باعث افزایش نیتروژن کل، فسفر کل، مقدار کل پتاسیم خاک می‌شود، بلکه باعث افزایش محتوای نیتروژن قلیایی، فسفر موجود و پتاسیم موجود نیز می‌شود، بنابراین باعث افزایش قابلیت جذب این عناصر شده و استفاده از مواد مغذی توسط گیاه را بهبود می‌بخشد (Moezzi *et al*., 2019). به نظر می‌رسد علت افزایش غلظت پتاسیم در فاز تبادلی و محلول در تیمارهای اسید هیومیک را احتمالاً می‌توان ناشی از افزایش قابلیت دسترسی این عنصر به‌واسطه تحریک مواد هیومیکی دانست.

نتایج تجزیه واریانس برای تیمارهای کودی (C1, C2) روی پتاسیم تبادلی خاک مؤثر است و در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین افزایش پتاسیم تبادلی در تیمار کودی توصیه شده منطقه (C1) در سطح و عمق خاک به ترتیب (۲۰۳/۶ و ۲۳۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برابر با ۲۲۱ و ۲۲۰ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

باتوجه‌به جدول ۴ اثرات متقابل بیشترین افزایش پتاسیم تبادلی خاک (A3B3C1) ۱۰۰ مترمکعب ویناس، ۵ کیلوگرم هیومیک اسید و کود توصیه شده برابر با ۳۸۴ درصد (۳۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر نسبت به شاهد در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به ثبت رسید. نگاهی به اثرات متقابل و هم‌زمان فاکتورهای ویناس و اسید هیومیک و تیمار کودی می‌توان چنین بیان کرد که افزایش معنی‌دار پتاسیم در تیمارهای حاوی اسید هیومیک به دلیل افزایش CEC خاک است. گروه‌های عاملی موجود در اسید هیومیک به‌عنوان سایت‌های تبادلی عمل کرده و کاتیون‌های یک و دوظرفیتی خاک و ویناس را جذب کرده و باعث افزایش CEC خاک می‌شوند. اسید هیومیک همچنین میزان نگهداری عناصر مغذی از جمله پتاسیم در خاک را افزایش داده و رهاسازی عناصر در محلول خاک آهسته‌تر صورت‌گرفته و می‌تواند انباشتگی و قابلیت دسترسی پتاسیم را افزایش دهد (Dinçsoy & Sönmez, 2019) هیومیک اسید می‌تواند اثرات مخرب ناشی از شوری و سدیم بالای ویناس در خاک را کاهش دهد. زیرا توانایی مواد هیومیکی موجود در کودهای حاوی اسید هیومیک، برای ایجاد تغییرات در غلظت کاتیون‌های تک ظرفیتی و دوظرفیتی خاک و در نهایت تغییر در نسبت جذب سدیم (SAR) خاک با افزایش نسبت K^+/Na^+، افزایش نفوذپذیری و در نهایت، افزایش آبشویی سدیم خاک مطلوب بوده و کاربرد هیومیک اسید در مناطقی که خاک‌ها محدودیت زهکشی ناشی از نسبت جذب سدیم بالا دارند و یا همراه ویناس، برای کاهش اثرات ناشی از شوری ویناس و ذخیره و نگهداری عناصر مغذی بخصوص پتاسیم، بر روی خاک مفید می‌باشد (Rousta & Enayati, 2019).

پتاسیم محلول خاک

نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌ها برای ویناس نشان داد کاربرد آن سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم محلول خاک شد. بالاترین درصد افزایش میزان پتاسیم محلول نسبت به شاهد در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری (۳۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادل ۶۹۲ درصد و با مصرف ۱۰۰ مترمکعب ویناس به ثبت رسید (جدول ۳). اسید هیومیک نیز کاربرد آن سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم محلول خاک شد. بالاترین افزایش مقدار پتاسیم محلول نسبت به شاهد در عمق ۶۰-۳۰ (۱۴/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) معادل ۳۷۱ درصد و با مصرف ۵ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید به ثبت رسید (جدول ۳). نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌ها برای تیمارهای کودی (جدول ۳ و ۴) در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین افزایش پتاسیم محلول در سطح خاک (۳۰-۰ سانتی‌متری خاک) برای تیمار کودی توصیه شده (۲۴/۷ میلی‌گرم بر لیتر) برابر با ۴۸۴ درصد افزایش نسبت به شاهد ثبت شد. اثرات متقابل بین سطوح مختلف ویناس، هیومیک اسید و کود توصیه شده، بهترین ترکیب برای افزایش پتاسیم محلول خاک (A3B2C1) و (A3B3C1) به ترتیب برابر با (۴۵ و ۴۳ میلی‌گرم بر لیتر) ۸۸۲ و ۸۴۳ درصد نسبت به شاهد در عمق ۳۰-۰

سانتی‌متری خاک حاصل شد.

نتایج نشان داد تأثیر افزودن ویناس در اعماق مختلف خاک بر روی پتاسیم محلول یکسان می‌باشد و صرفاً به حجم ویناس استفاده شده در تیمار بستگی دارد. درصورتی‌که برخلاف فاز محلول، میزان پتاسیم در اعماق مختلف در فاز تبادلی دارای اختلاف معناداری در سطح یک درصد است و نشان‌دهنده این است که پتاسیم یک یون متحرک در خاک بوده و مقادیر قابل‌توجهی از آن می‌تواند از طریق آبشویی هدر رود و هر چه مقادیر کودها و مواد آلی پتاسیم دار بیشتر شود، این آبشویی و تحرک از سطح خاک بیشتر است و به همین دلیل با افزون مواد پتاسیم دار، پتاسیم در اعماق خاک نسبت به سطح خاک افزایش قابل‌توجهی دارد و این با پژوهش Dinçsoy and Sönmez (2019)، که بیان کردند کاربرد ویناس در اراضی کشاورزی منجر به افزایش نیتروژن و پتاسیم در اعماق خاک شد و نیز در مطالعات Liao *et al.* (2011) که بیان کردند، غلظت پتاسیم در اعماق مختلف باتوجه‌به نوع خاک افزایش می‌یابد، در یک راستا است.

می‌توان علت افزایش غلظت پتاسیم در فاز تبادلی و محلول در تیمارهای اسید هیومیک را احتمالاً ناشی از افزایش قابلیت دسترسی این عنصر به‌واسطه تحریک مواد هیومیکی دانست (Dinçsoy & Sönmez, 2019). این نتایج با پژوهش‌های (Rousta & Enayati, 2019) که نشان دادند اسید هیومیک می‌تواند میزان نگهداری عناصر مغذی از جمله پتاسیم در خاک را افزایش داده و رهاسازی عناصر به دلیل وجود گروه‌های عاملی چون کربوکسیل و بهبود فرآیند کلاته کردن عناصر غذایی در محلول خاک آهسته‌تر صورت گیرد. این باعث انباشتگی و قابلیت دسترسی پتاسیم قابل جذب در خاک می‌شود همخوانی کامل دارد.

نتایج تجزیه خاک‌های موردمطالعه نشان داد میزان پتاسیم خاک کاملاً تحت‌تأثیر مصرف کود پتاسیمی قرار دارد (جدول ۴). اما باتوجه‌به شرایط خاک منطقه، درصد رس، نوع رس غالب منطقه (رس‌های قابل انبساط شامل کلریت، پالیگورسکایت، ایلیت، کائولنیت، کوارتز و اسمکتایت و عدم مصرف کودهای پتاسیمی و کشت غالب (نیشکر)، مقدار پتاسیم قابل تبادل در خاک‌های این منطقه مقدار پایینی می‌باشد و حتماً باید پتاسیم به خاک اضافه گردد (Pazoki *et al.*, 2006). براین‌اساس، می‌توان نتیجه گرفت که با وجود کمبود پتاسیم خاک در منطقه موردمطالعه، و وجود رس‌هایی با ظرفیت تثبیت بالا، میزان پتاسیم خاک با کاربرد ویناس، حتی در تیمار کودی ۵۰ درصد توصیه شده منطقه با تیمار کودی رایج و کامل می‌تواند رقابت کند. پس ویناس به‌خوبی می‌تواند به‌عنوان کود آلی برای افزایش پتاسیم خاک استفاده گردد.

عملکرد نیشکر

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که مصرف ویناس و اسید هیومیک بر روی عملکرد نیشکر (تن در هکتار) در کشت و صنعت دعبل تأثیر مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد دارد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد به میزان (۶۱/۶ تن در هکتار) با کاربرد ۵۰ مترمکعب در هکتار ویناس (A2) برابر با افزایش ۱۴۲ درصد نسبت به شاهد حاصل شد و پایین‌ترین مقدار عملکرد به میزان ۲۸/۲ تن در هکتار با مصرف ویناس به مقدار ۱۰۰ مترمکعب در هکتار (A3) به دست آمد (جدول ۳). باتوجه‌به جدول ۴ اثرات متقابل برای عملکرد گیاه نیشکر بالاترین عملکرد در تیمار کاربرد ۵۰ مترمکعب در هکتار ویناس، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و نصف کود توصیه شده (A2B3C2) به مقدار ۷۵/۲ تن در هکتار به ثبت رسید.

با افزایش ویناس به خاک در تیمار $100 m^3/ha$ شاهد افت بیش از دو برابری محصول نیشکر به مقدار ۲۸/۲ تن در هکتار هستیم، که این مقدار ویناس اگرچه پتاسیم خاک را افزایش می‌دهد اما از میزان آستانه تحمل نیشکر به علت افزایش ناگهانی و زیاد شوری خاک بیشتر بوده و باعث اثر سوء بر رشد گیاه و افت شدید عملکرد نیشکر نسبت به تیمار شاهد گردیده است و حتی همراهی اسید هیومیک با ویناس نیز نتوانسته باعث کاهش تنش ناشی از شوری و افت عملکرد شود و این مسئله، یکی از فاکتورهای محدودکننده استفاده از مقادیر بالای ویناس می‌باشد (Paksoy *et al.*, 2010; Tan, 1978). نتایج مشابه نتایج Elhamifard and Jafari (2007) می‌باشد به‌طوری‌که نشان دادند کاربرد بیش از ۵۰ مترمکعب در هکتار ویناس باعث کاهش عملکرد می‌شود. افزودن ویناس به خاک و احتمالاً خود کودهای شیمیایی که برای افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم بکار می‌روند، به علت افزایش EC خاک، عامل محدودکننده‌ای برای رشد گیاه محسوب شوند. پس فاکتور دیگری که می‌تواند در استفاده از ویناس، غیر از مدیریت مصرف ویناس مدنظر قرار گیرد، مدیریت مصرف سایر کودهای شیمیایی برای کمتر شدن آسیب به گیاه و افت عملکرد می‌باشد تا بتوان از ویناس در کنار سایر کودها به بهترین و بالاترین بازدهی و عملکرد دست یافت (Li *et al.*, 2019). این نتایج با تحقیقات Prado *et al* (2013) که بیان کردند، برای مقادیر ویناس و کود مورد استفاده در کشاورزی باید دستورالعمل‌های مناسب رعایت شود، که بسته به ویژگی‌های خاک منطقه متفاوت است، هماهنگی داشته و برای جلوگیری از استفاده بیش از حد و در نتیجه انفعال مواد معدنی، به‌عنوان مثال،

نیترات و پتاسیم و آلودگی آب‌های زیرزمینی و افت عملکرد، باید توصیه‌های خاص برای هر منطقه دنبال شود، هماهنگی دارد.

مقایسه عملکردهای نیشکر نسبت به تیمار شاهد، ملاحظه می‌شود که ویناس می‌تواند به‌خوبی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی عمل کند و بخصوص مصرف کودهای شیمیایی پتاسیم دار در کشاورزی را کاهش داده تا علاوه بر افزایش پتاسیم خاک از دیگر مزایای این کود آلی ارزشمند بهره جست و این با تحقیقات Campiteli *et al*. (2018) و Da Silva *et al*. (2018) همخوانی دارد.

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح ویناس، اسید هیومیک و تیمار کودی روی پتاسیم خاک و عملکرد نیشکر

تیمار	مقدار	علامت	پتاسیم تبادلی (mg/kg)		پتاسیم محلول (mg/l)		عملکرد (ton/ha)
			۳۰-۰ cm	۶۰-۳۰ cm	۳۰-۰ cm	۶۰-۳۰ cm	
	خاک		۹۲/۰	۱۰۵/۰	۵/۱	۳/۸	
ویناس (m^3/ha)	۰	A1	۱۱۳/۷ ^{c}	۱۰۹/۷ ^{c}	۷/۹ ^{c}	۷/۸ ^{c}	۴۳/۳ ^{b}
	۵۰	A2	۲۱۳/۲ ^{b}	۲۴۲/۷ ^{b}	۲۸/۳ ^{b}	۲۷/۶ ^{b}	۶۱/۶ ^{a}
	۱۰۰	A3	۲۵۳/۳ ^{a}	۲۷۷/۸ ^{a}	۳۵/۳ ^{a}	۳۲/۸ ^{a}	۲۸/۲ ^{c}
هیومیک اسید (kg/ha)	۰	B1	۱۱۳/۷ ^{c}	۱۰۹/۷ ^{c}	۷/۹ ^{c}	۷/۸ ^{c}	۳۹/۸ ^{c}
	۲/۵	B2	۱۴۶/۵ ^{b}	۱۳۴/۰ ^{b}	۹/۵ ^{b}	۱۱/۱ ^{b}	۴۵/۵ ^{b}
	۵	B3	۱۵۲ ^{a}	۱۴۲/۶ ^{a}	۹/۹ ^{a}	۱۴/۱ ^{a}	۴۷/۷ ^{a}
تیمار کودی (N, P, K)	توصیه شده	C1	۲۰۳/۶ ^{a}	۲۳۱/۳ ^{a}	۲۴/۷ ^{a}	۲۴/۰ ^{a}	۴۹/۳ ^{a}
	٪۵۰ توصیه شده	C2	۱۸۳/۲ ^{b}	۲۰۲/۸ ^{b}	۲۱/۳ ^{b}	۲۱/۴ ^{b}	۳۹/۴ ^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند و a نشان‌دهنده بیشترین میانگین

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل غلظت پتاسیم خاک و عملکرد نیشکر تحت تأثیر فاکتورها و تیمارهای آزمایش

تیمار			میانگین پتاسیم تبادلی (mg/kg)		میانگین پتاسیم محلول (mg/l)		عملکرد نیشکر (ton/ha)
ویناس	هیومیک اسید	کود	۳۰-۰	۶۰-۳۰	۳۰-۰	۶۰-۳۰	
A1	B1	C1	۱۲۰^{e}	۱۰۶^{f}	۷^{f}	۷^{f}	۶۶/۸^{b}
		C2	۱۱۶^{f}	۱۰۴^{f}	۸^{f}	۷^{f}	۳۵/۳^{e}
	B2	C1	۱۱۳^{f}	۱۲۱^{e}	۸^{f}	۷^{f}	۶۴/۹^{b}
		C2	۱۰۲^{f}	۱۰۸^{f}	۷^{f}	۸^{f}	۴۲/۷^{d}
	B3	C1	۱۲۰^{e}	۱۱۱^{f}	۷^{f}	۸^{f}	۵۸/۶^{c}
		C2	۱۰۹^{f}	۱۰۷^{f}	۷^{f}	۷^{f}	۴۰/۲^{d}
A2	B1	C1	۱۵۰^{e}	۲۳۶^{cd}	۲۶^{cd}	۱۶^{e}	۶۲/۲^{b}
		C2	۲۱۸^{cd}	۲۵۵^{c}	۳۴^{b}	۳۶^{a}	۴۶/۲^{d}
	B1	C1	۲۲۵^{c}	۲۳۳^{cd}	۲۷^{cd}	۲۲^{d}	۶۵/۴^{b}
		C2	۲۴۸^{c}	۲۳۰^{cd}	۳۰^{c}	۲۵^{c}	۴۵/۵^{d}
	B3	C1	۲۰۷^{cd}	۲۴۹^{cd}	۲۰^{e}	۳۴^{ab}	۴۰/۶^{d}
		C2	۲۲۹^{c}	۲۵۱^{cd}	۳۱^{c}	۳۱^{b}	۷۵/۲^{a}
A3	B1	C1	۲۴۷^{c}	۲۲۳^{cd}	۳۶^{b}	۲۳^{c}	۲۷/۸^{f}
		C2	۱۶۴^{d}	۲۲۰^{cd}	۲۲^{e}	۲۶^{cb}	۳۳/۶^{e}
	B2	C1	۲۹۴^{b}	۳۳۵^{a}	۴۵^{a}	۳۵^{a}	۳۱/۷^{f}
		C2	۲۳۳^{c}	۳۱۴^{a}	۲۹^{c}	۳۷^{a}	۴۴/۳^{d}
	B3	C1	۳۵۳^{a}	۲۶۲^{b}	۴۳^{a}	۳۷^{a}	۳۰/۱^{f}
		C2	۲۲۶^{c}	۳۱۰^{a}	۳۴^{b}	۳۶^{a}	۲۸/۹^{f}

در هر ستون و در داخل هر عامل آزمایشی، میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند و a نشان‌دهنده بیشترین میانگین است و بین a و b اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

A1: ویناس صفر، A2: ویناس ۵۰، A3: ویناس ۱۰۰ مترمکعب در هکتار

B1: هیومیک اسید صفر، B2: ۲/۵ و B3: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار

C1: مقدار کود توصیه شده C2: نصف مقدار توصیه شده

نتیجه‌گیری

کودهای شیمیایی به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک لازم به نظر می‌رسد، ولی هزینه رو به افزایش تولید آن‌ها، آلودگی خاک و آب ناشی از مواد شیمیایی و کاهش کیفیت تولیدات کشاورزی باعث ایجاد مسائل نامطلوب شده است. کاربرد کودهای آلی و تلفیق آن با کودهای شیمیایی گامی اساسی در مقابل اثرات منفی احتمالی این ترکیبات در محیط‌زیست می باشد. مطابق یافته‌های پژوهش حاضر مصرف ۱۰۰ مترمکعب در هکتار ویناس، ۵ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و تیمار کودی توصیه شده به ترتیب افزایش ۲۷۵، ۱۶۵ و ۲۲۱ درصدی پتاسیم تبادلی خاک و افزایش ۶۹۲، ۳۷۱ و ۶۳۲ درصدی پتاسیم محلول خاک نسبت به شاهد داشت. بااین‌وجود بیشترین و کمترین عملکرد گیاه به ترتیب در کاربرد ویناس به مقدار ۵۰ و ۱۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد ویناس می‌تواند به‌خوبی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی عمل کند و بخصوص مصرف کودهای شیمیایی پتاسیم دار در کشاورزی را کاهش دهد البته با افزایش ویناس به خاک به مقدار ۱۰۰ مترمکعب در هکتار باعث کاهش دو برابری محصول نیشکر شده است و حتی اسید هیومیک نیز نتوانسته باعث کاهش تنش ناشی از شوری و افت عملکرد شود لذا برای جلوگیری از افزایش شوری خاک و افت عملکرد، مقادیر ۵۰ مترمکعب در هکتار در سال در خاک منطقه موردمطالعه پیشنهاد می‌شود. اثرات متقابل بین سطوح مختلف ویناس، اسید هیومیک و کود توصیه شده نشان داد بالاترین پتاسیم تبادلی و محلول در خاک به ترتیب در تیمار (A3,B2,C1) و (A3,B2,C1) ایجاد شد درحالی‌که در مورد عملکرد گیاه بالاترین عملکرد در ترکیب (A2,B3,C2) به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد با جایگزینی ویناس و اسید هیومیک به‌جای مقادیری از کودهای شیمیایی می‌توان از تخریب بیشتر خاک جلوگیری کرد. اگرچه ویناس با دارا بودن مقادیر بسیار زیاد عناصر، می‌تواند باعث آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی شود اما با استفاده از مدیریت صحیح و مقادیر درست و بهینه ویناس نه‌تنها از آلودگی خاک و آب جلوگیری می‌شود بلکه خود باعث حفاظت خاک و افزایش مواد مغذی و افزایش عملکرد گیاه شده و از رهاسازی آن در طبیعت و محیط‌زیست جلوگیری می‌شود. همچنین استفاده از آن در تغذیه گیاهان با هدف تولید محصولات کشاورزی، یک فرم عالی و پایدار برای تأمین تقاضای تغذیه‌ای اکوسیستم خاک و گیاه است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Afshari, M., Naderi, A., Mojadam, M., Shahram, L., & Alavifazel, M. (2020). Zinc and iron-mediated alleviation water deficiency of maize by modulating antioxidant metabolism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *48*(2), 989-1004.

Ali, H. A. M., El-Razek, E. A., El-Migeed, M. A., & Gouda, F. E.-Z. M. (2021). Co-Addition of Potassium Humate and Vinasse Enhances Growth and Yield in "Wonderful" Pomegranate under Sandy Soil. *Advances in Applied Science Research*, *12*(9:40). https://doi.org/https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-in-press-abstract/co_addition_of_potassium_humate_and_vinasse_enhances_growth_and_yield_in_wonderful_pomegranate_under_sandy_soil

Alinejadian Bidabadi, A., Jamili, T., & Maleki, A. (2021). Effect of sugarcane vinas on nutrients, growth characteristics and yield of basil (Ocimum basilicum L.). *Journal of vegetables sciences*, *4*(8), 1-14.

Aziz, T., Ullah, S., Sattar, A., Nasim, M., Farooq, M., & Khan, M. M. R. (2010). Nutrient availability and maize (Zea mays) growth in soil amended with organic manures. *International Journal of Agriculture and Biology*, *12*, 621-624.

Azizzadeh, E., Movahedi Naeini, S. A. R., Zeinali, E., & Roshani, G. A. (2018). Effects of Foliar Application of Leonardite, Nitrogen, and Potassium on Root Growth, Nutrient Uptake and Yield of Wheat. *Iranian Journal of Soil Research*, *32*(1), 1-11. https://doi.org/10.22092/ijsr.2018.116555

Bahreini, M., Dordipour, E., & Khormali, F. (2013). The Role of Non-Exchangeable Potassium on Plant Nutrition(Zea mays L.) in Predominant Soil Series of Golestan Province. *Water and Soil Science*, *23*(2), 159-176. (In Farsi). https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_113_9c9625677e3475f0b471910f026994bc.pdf

Barani Motlagh, M., & Savabeghi Firoozabadi, G. (2006). Investigation of potassium depletion from Khuzestan sugarcane cultivated soils. *Iranian Agricultural Sciences*, *36*(5).

Behravan, H., Khorasani, R., Fotovat, A., Moezei, A. A., & Taghavi, M. (2019). Effects of Humic Acid and Phosphorus Fertilizer on Root, Root Hair, Phosphorus Uptake and Phosphorus Influx in Sugarcane (Saccharum officinarum). *Water and Soil*, *33*(5), 709-721. https://doi.org/10.22067/jsw.v33i5.78726

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils1.

Agronomy Journal, *54*(5), 464-465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x

Campiteli, L., Santos, R., Lazarovits, G., & Rigobelo, E. (2018). The impact of applications of sugar cane filter cake and vinasse on soil fertility factors in fields having four different crop rotations practices in Brazil. *Científica*, *46*, 42. https://doi.org/10.15361/1984-5529.2018v46n1p42-48

Da Silva, V., Oliveira, M., & Ferreira, V. (2018). Stalk yield and nutrients accumulation of sugarcane varieties in three crop cycles. *Revista de Ciencias Agrarias*, *41*. https://doi.org/10.19084/RCA17051

Dinçsoy, M., & Sönmez, F. (2019). The effect of potassium and humic acid applications on yield and nutrient contents of wheat (Triticum aestivum L. var. Delfii) with same soil properties. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(20), 2757-2772. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1658777

Elhamifard, M., & Jafari, S. (2007). Effect of vinasse as a source of potassium fertilizer on soil chemical properties and yield of sugarcane. Iranian of Soil Science Congress, College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran, pp. 807-808. (In Farsi).

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.frontmatter

Havlin, J. T., Samuel Nelson, Werner Beaton, James (2014). *Soil fertility and fertilizers* (6th ed. ed.). Prentice Hall.

Jamili, T., Khalili Moghadam, B., & Shahbazi, E. (2016). Investigation of water holding capacity of sugarcane mulch for sand dune stabilization in ahvaz. *Journal of water and soil (agricultural sciences and technology)*, *29*(5), -. https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=548189

Kee Kwong, K. F. N. G., & Ramasawmy-Chellen, G. (2006). Potassium in soils cropped with sugarcane in mauritius. *Sugar Tech*, *8*(4), 239-245. https://doi.org/10.1007/BF02943563

Khazaie, E., Bostani, A. A., & Davatgar, N. (2017). Geostatic and GIS evaluation of spatial variability of nitrogen, phosphorus, potassium, and cation exchange capacity in agro- industrial land of sharif Abad in Qazvin. *Iranian Journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences)*, *31*(2), -. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=567436

Kiani Haftlang, M., Mohsenifar, K., & Bayati, A. (2018). Study of Zeolite and Vermiculite to Reduce Lead and Cadmium in Wastewater of Alcohol Factory [Research Article]. *Jundishapur J Health Sci*, *10*(1), e14166. https://doi.org/10.5812/jjhs.14166

Kızılkaya, R. (2008). Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (Triticum aestivum) inoculated with Azotobacter chroococcum strains. *Ecological Engineering*, *33*(2), 150-156. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.011

Knudsen, D., Peterson, G. A., & Pratt, P. F. (1983). Lithium, Sodium, and Potassium. In *Methods of Soil Analysis* (pp. 225-246). https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13

kolahi, M., Mousavi, S., Haj sharafi, H., mosavati, M., sheikhorezaei, m. h., saffar, E., & Kord zangeneh, A. (2017). Survey of anatomical features, yeild reaction of sugarcane (Saccharum officinarum L.) and the amount of soil potassium in response to potassium nitrate. *Developmental Biology*, *9*(2), 1-12. http://jdb.iau-tnb.ac.ir/article_535255_897807b8e09a4817097c0e8e8b4dbfb1.pdf

Li, Y., Fang, F., Wei, J., Wu, X., Cui, R., Li, G., Zheng, F., & Tan, D. (2019). Humic Acid Fertilizer Improved Soil Properties and Soil Microbial Diversity of Continuous Cropping Peanut: A Three-Year Experiment. *Scientific Reports*, *9*(1), 12014. https://doi.org/10.1038/s41598-019-48620-4

Liao, X., Zhao, D., & Yan, X. (2011). Determination of potassium permanganate demand variation with depth for oxidation–remediation of soils from a PAHs-contaminated coking plant. *Journal of Hazardous Materials*, *193*, 164-170. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.045

Marschner, H. (2012). Preface to Second Edition. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* (pp. ix). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00026-1

Moezzi, A., Rashidi, N., & Rahnama, A. (2019). Effect of Humic Acid on Growth Characteristics, Phosphorous and Potassium Uptake and Photosynthesis Pigments of Pistachio Seedlings under Drought Stress. *Applied Soil Research*, *7*(3), 134-149. http://asr.urmia.ac.ir/article_120753_8286ca4c1944d4176fecca43b9ac93b9.pdf

Monjezi, H., R Moradi-Telavat, M., Siadat, S. A., Koochakzadeh, A., & Hamdi, H. (2015). Effect of Sugarcane Filter Muds, Chemical and Biological Fertilizers on Absorption of Some Macro- and Micro-Elementsand Heavy Metals by Canola (Brassica napus L.) [Research]. *Journal of Crop production and processing*, *5*(17), 193-202. (In Farsi). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.17.193

Moradi, R., Siadat, S. A., Siahpoosh, A., Abdulmahdi, B., & MORADI TELAVAT, M. R. (2019). Evaluating Quality Indices of Extracts in Green and Burnt Sugarcane Harvesting. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, *42*(3).

https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=794328

Paksoy, M., Türkmen, Ö., & Dursun, A. (2010). Effects of potassium and humic acid on emergence, growth and nutrient contents of okra (Abelmoschus esculentus L.) seedling under saline soil conditions. *African Journal of Biotechnology*, *9*, 5343-5346.

Pazoki, M., Shaigan, J., & Afshari, A. (2006). Investigation of effluent treatment methods of alcohol production units. *Journal of Environmental Studies*, *32*(39), 12-25. https://jes.ut.ac.ir/article_12344_8e22d54a7a03b4ed9dcf2268394e5224.pdf

Prado, R. d. M., Caione, G., & Campos, C. N. S. (2013). Filter Cake and Vinasse as Fertilizers Contributing to Conservation Agriculture. *Applied and Environmental Soil Science*, *2013*, 581984. https://doi.org/10.1155/2013/581984

Regional Salinity, L. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Dept. of Agriculture.

Rodrigues Reis, C. E., & Hu, B. (2017). Vinasse from Sugarcane Ethanol Production: Better Treatment or Better Utilization? [Mini Review]. *Frontiers in Energy Research*, *5*(7). https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00007

Roudgarnejad, S., Samdeliri, M., Mirkalaei, A. M., & Moghaddam, M. N. (2021). The Role of Humic Acid Application on Quantitative and Qualitative Traits of Faba Bean (Vicia faba L.). *Gesunde Pflanzen*, *73*(4), 603-611. https://doi.org/10.1007/s10343-021-00581-3

Rousta, M. j., & Enayati, k. (2019). The Effects of Humic Acid Application on Yield and Yield Components of Wheat and Some Chemical Properties of a Saline-Sodic Soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *8*(4), 95-109. https://doi.org/10.22069/ejsms.2019.14096.1778

Sadegh Azadi, M., Shokoohfar, A., Mojadam, M., Lak, S., & Alavifazel, M. (2019). Biochemical Response of Different Hybrids of Corn to Consumption of Biological and Chemical Potassium Fertilize and Drought Stress in Dehloran climatic. *Journal of Plant production Sciences*, *9*(1), 37-55. (In Farsi). http://jpps.iau-shoushtar.ac.ir/article_666571_fa7e2e1cba81179c00eaf56828cdba05.pdf

Safirzadeh, S., Chorom, M., & Enayatizamir, N. (2019). Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (Enterobacter cloacae) on Uptake and Uptake Efficiency of Potassium in Sugarcane (Saccharum officinarum L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *50*(7), 1689-1699. https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.275465.668119

Sumner, M. E., & Miller, W. P. (1996). Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficients. In *Methods of Soil Analysis* (pp. 1201-1229). https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c40

Taleh Farahi, F., Gholamalizadeh, A., & Hemati, A. (2019). The effect of extracted humic acid from different sources on the characteristics of sunflower grown in a calcareous soil. *Journal of environmental stresses in crop sciences*, *12*(2), 617-630. https://www.magiran.com/paper/1984958

Tan, K. H. (1978). Effects of humic and fulvic acids on release of fixed potassium. *Geoderma*, *21*(1), 67-74. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7061(78)90005-8

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*, 29-38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Yin, J., Deng, C.-b., Wang, X.-f., Chen, G.-l., Mihucz, V. G., Xu, G. P., & Deng, Q. (2018). Effects of Long-Term Application of Vinasse on Physicochemical Properties, Heavy Metals Content and Microbial Diversity in Sugarcane Field Soil. *Sugar Tech*, *21*, 62-70. https://doi.org/10.1007/s12355-018-0630-2