



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف منابع سیلیسیمی بر میزان نیتروژن و پتاسیم اندام هوایی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.)

۱- الهه شیخی کردخیلی ۲- دکتر محمدعلی بهمنیار ۳- دکتر سید مصطفی عمادی

۱- دانشجوی ارشد شیمی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری: (elahesheikhi157@gmail.com)

۲- استاد گروه خاک دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری: (Mali.bahmanvar@gmail.com)

۳- استاد گروه خاک دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری: (Mostafaemadi@gmail.com)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد کانی‌های سیلیسیمی‌دار بر میزان غلظت نیتروژن و پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاه برنج رقم شیروودی تحقیقی صورت پذیرفت. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۲ تیمار و ۳ تکرار در سال ۱۴۰۲ اجرا گردید. تیمارها شامل شاهد، کود پایه، دو نوع سیلیس (۸۰-۹۰٪ و ۷۰-۸۰٪ از معدن ورپام) در سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، و سیلیس اصلاح‌شده با هیدروکسید پتاسیم، هیدروکسید سدیم، اسید سولفوریک و اسید نیتریک (جمعا ۶۶ کرت) بودند. نتایج نشان داد کاربرد منابع مختلف سیلیسیمی بر میزان نیتروژن و پتاسیم برگ پرچم و کاه و کلش برنج تأثیر معنی داری داشته و بر میزان غلظت نیتروژن و پتاسیم شلتوک تأثیر معنی داری نداشته است. در تیمار سیلیس نوع اول (۸۰-۹۰ درصد سیلیسیمی)، تیمار شده با اسید سولفوریک در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، بالاترین میزان نیتروژن و پتاسیم در برگ پرچم و کاه و کلش تجمع یافت. لذا کاربرد منابع سیلیسیمی می‌تواند با تأثیر روی شاخص‌های رشدی میزان جذب و استفاده از سایر عناصر غذایی مهم مانند نیتروژن و پتاسیم را تحت تأثیر مثبت قرار بدهد.

کلمات کلیدی: برنج، سیلیسیمی معدن ورپام، برگ پرچم، شلتوک، اسید سولفوریک

۱. مقدمه

برنج یکی از مهمترین محصولات کشاورزی دنیاست و بعد از گندم جایگاه دوم را از نظر تولید سالانه به خود اختصاص داده و غذای اصلی نیمی از مردم دنیا را تشکیل میدهد (Park, G.H., Kim, J.H., and Kim, K.M. 2014). کشت برنج در چین و هند سابقه ۷۰۰۰ ساله دارد (Zhang et al., ۲۰۱۰). افزایش روزافزون جمعیت در جهان و کشور از یک سو و افزایش نیاز به مواد غذایی از سوی دیگر، نیاز به خود کفایی در تولید نیاز غذایی کشور به خصوص برنج که از محصولات مهم در تامین انرژی افرادی باشد، امری حیاتی است. سیلیسیم دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در پوسته زمین و خاک است (Hengliang Huang, ۲۰۲۱) و همینطور یکی از فراوان ترین عناصر در پوسته زمین و خاکستر گیاهان است و به خاطر اثرات مثبت در کشت برنج به عنوان عنصر ضروری برای این گیاه زراعی می شود. سیلیس در گیاه برنج باعث افزایش رشد از طریق افزایش تعداد پنجه، سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی برگ های پایین می شود (الوارد و گرین، ۱۹۷۹)؛ کمبود آن در برنج موجب افتادگی برگ ها می شود (سینگ و همکاران، ۲۰۱۰). سیلیس از طریق افزایش تعداد کل خوشه چه و خوشه، درصد خوشه چه های پر شده، وزن هزاردانه و کاهش خوابیدگی (ورس)، موجب افزایش عملکرد دانه برنج می شود (Choaming et al., 2000). سیلیس در گیاه به کندی حرکت می کند و جذب سیلیس توسط برنج بعد از مرحله پنجه دهی و یا طویل شدن ساقه شروع می شود (Agarie et al., 1993). سیلیس باعث بهبود طول میانگرمه، وزن تر، حرکت خمش و مقاومت به شکستگی در گیاه برنج می شود و شاخص ورس که از نسبت حرکت خمش به مقاومت به شکستگی به دست می آید را نیز افزایش میدهد و همچنین باعث افزایش مقاومت به خوابیدگی ورس در گیاه برنج گردد. افزایش مصرف سیلیس در گیاه برنج ممکن است تنش آبی داخل گیاه را نیز کاهش دهد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۱). این پژوهش باهدف تاثیر کاربرد منابع مختلف سیلیسیم بر افزایش میزان نیتروژن کل و پتاسیم قابل جذب خاک و اندام های هوایی گیاه انجام شد.

۲- پیشینه و پژوهش

در گیاهان کوددهی شده با سیلیسیم باعث افزایش دسترسی به نیتروژن می شود، سیلیسیم اثرات مضر نیتروژن را کاهش می دهد و فعالیت فتوسنتزی گیاهان را کاهش می دهد (درن و همکاران، ۱۹۹۴)؛ بیش بود نیتروژن موجب ورس می شود در آزمایش بر روی برنج نشان داد که بیش بود نیتروژن موجب کاهش افراستگی برگ ها در حالی که سیلیسیم باعث افزایش افراستگی برگ ها می شود بنابراین تا حد زیادی اثر منفی نیتروژن بر محدودیت نور را خنثی می کند (مارشتر، ۱۹۹۵). سیلیسی شدن دیواره سلولی ارتباط مستقیم با تغذیه پتاسیم دارد، بنابراین در صورت کمبود پتاسیم منجر به کاهش تجمع سیلیسیم در سلول اپیدرم برگ میشود که در نتیجه منجر به حساسیت گیاه برنج به بلاست را افزایش می دهد، آزمایشات اولیه اضافه کردن سیلیسیم به گیاه سویا دارای کمبود پتاسیم موجب بهبود رشد و افزایش پتاسیم می شود (میاو و همکاران، ۲۰۱۰). کاربرد کود سیلیس آمورف با ۶۰ درصد SiO_2 در ۳ سطح ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد و جذب عناصر غذایی در برنج را بررسی کردند. نتایج نشان داد جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سیلیسیم به طور معنی داری افزایش یافت و افزایش جذب سیلیسیم توسط گیاه برنج به طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد شد (کروک و پرنس، ۲۰۱۷).

۳- روش کار

آزمایش به صورت بلوک کامل تصادفی در ۲۲ تیمار در ۳ تکرار اجرا گردید، تیمارها شامل؛ شاهد، کود پایه، سیلیس اول (معدن ورپام ۸۰-۹۰٪) در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم، سیلیس اول اصلاح شده با پتاسیم هیدروکسید در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم، سیلیس اول اصلاح شده با سدیم هیدروکسید در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلو گرم، سیلیس اول اصلاح شده با اسید

سولفوریک در دوسطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم، سیلیس اول اصلاح شده با اسید نیتریک در دوسطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم، سیلیس دوم (معدن ورپام ۷۰-۸۰٪) در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم، سیلیس دوم اصلاح شده با پتاسیم هیدروکسید در دوسطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم، سیلیس دوم اصلاح شده با اسید سولفوریک در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم، سیلیس دوم اصلاح شده با اسید نیتریک در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بودند. قبل از انجام آزمایش برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طبق روش های مرسوم تعیین گردید. در مرحله خوشه دهی جهت تعیین میزان نیتروژن و پتاسیم برگ، از برگ پرچم نمونه برداری شد و سپس در مرحله رسیدگی غلظت نیتروژن و پتاسیم برگ پرچم، کاه و کلش و شلتوک تعیین گردید. نیتروژن گیاه را طبق روش (وسترن، ۱۹۹۰) و پتاسیم گیاه را طبق روش (توللی و سمنانی، ۱۳۸۱) اندازه گیری شد.

۴- نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که کاربرد منابع مختلف سیلیسی بر غلظت نیتروژن و پتاسیم برگ پرچم و پتاسیم کاه و کلش برنج در سطح یک درصد و بر میزان نیتروژن کاه و کلش در سطح پنج درصد معنی دار شد و بر میزان نیتروژن و پتاسیم شلتوک برنج تاثیر معنی داری نداشته است (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت نیتروژن و پتاسیم در اندام های هوایی گیاه برنج در اثر کاربرد تیمارهای مختلف سیلیسیم

| منابع تغییرات | درجه آزادی | نیتروژن برگ پرچم | پتاسیم برگ پرچم | نیتروژن شلتوک | پتاسیم شلتوک | نیتروژن کاه و کلش | پتاسیم کاه و کلش |
|---------------|------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| تکرار | ۲ | 0.12072 | 0.06917 | 0.03038 | 0.00493 | 0.02627 | 0.04816 |
| تیمار | ۲۲ | 0.25551** | 0.01661** | 0.00457 ^{ns} | 0.00030 ^{ns} | 0.01231* | 0.14406** |
| خطا کل | ۷۱ | - | - | - | - | - | - |
| ضریب تغییرات | - | 10.23 | 9.31 | 7.43 | 5.11 | 15.23 | 9.70 |

**،*،^{ns} به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪ و عدم تفاوت معنی دار است.

مقایسه میانگین غلظت عناصر نیتروژن و پتاسیم در برگ پرچم، نشان داد که بالاترین غلظت نیتروژن برگ پرچم در تیمار با کاربرد منبع سیلیسی نوع اول معدن ورپام (۸۰-۹۰ درصد سیلیس)، و تیمار شده با اسید سولفوریک و ۳۰۰ کیلو گرم در هکتار بالاترین (میزان ۳/۴۷ درصد) اندازه گیری شد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۴۴ درصدی نشان داد که نسبت به کاربرد منبع اول سیلیسی، تیمار شده با اسید سولفوریک و ۱۵۰ کیلو گرم در هکتار تفاوت معنی داری نشان نداد. اما غلظت پتاسیم در تیمار منبع اول سیلیس ورپام، تیمار شده با اسید سولفوریک و ۳۰۰ کیلو گرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد و کود پایه به ترتیب ۵۰ و ۳۵ درصد افزایش یافت (جدول ۲). در تمامی تیمارها منبع اول سیلیسی نسبت به منبع دوم و کاربرد ۳۰۰ کیلو گرم در هکتار نسبت به کاربرد ۱۵۰ کیلو گرم، میزان نیتروژن و پتاسیم برگ پرچم برتر بوده که احتمالاً به دلیل تفاوت در غلظت سیلیسیم و تأثیر آن بر رشد و نمو گیاه و همچنین جذب این عناصر مرتبط است. این افزایش برای بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه، افزایش عملکرد و کیفیت محصول، و همچنین بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش های محیطی بسیار حیاتی است (Liang et al., 2015). سیلیسیم در برگ می تواند به تقویت ساختار دیواره سلولی، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش های زیستی و غیرزیستی، و در نهایت بهبود عملکرد و کیفیت محصول منجر شود (Ma & Yamaji, 2006). با این حال، برای بهینه سازی مصرف سیلیسیم در کشاورزی، انجام تحقیقات بیشتر با در نظر گرفتن نوع گیاه، شرایط خاک و آب و هوا ضروری است.

جدول ۲- مقایسه میانگین غلظت نیتروژن و پتاسیم برگ پرچم و کاه و کلش برنج (درصد) در اثر کاربرد تیمارهای مختلف سیلیسیم

| تیمار | نیتروژن برگ پرچم | پتاسیم برگ پرچم | نیتروژن کاه و کلش | پتاسیم کاه و کلش |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| C | 2.41 ^h | 0.62 ^{fg} | 0.40 ^{fg} | 1.30 ^h |
| BF | 2.47 ^{gh} | 0.69 ^{e-g} | 0.42 ^{d-g} | 1.39 ^{gh} |
| Si ₁ T ₀ R ₁ +BF | 2.97 ^{b-g} | 0.74 ^{c-f} | 0.53 ^{a-f} | 1.70 ^{b-f} |
| Si ₁ T ₀ R ₂ +BF | 2.98 ^{b-g} | 0.75 ^{c-e} | 0.53 ^{a-g} | 1.76 ^{b-e} |
| Si ₁ T ₁ R ₁ +BF | 2.92 ^{b-g} | 0.72 ^{d-g} | 0.50 ^{b-g} | 1.59 ^{d-g} |
| Si ₁ T ₁ R ₂ +BF | 2.94 ^{b-g} | 0.73 ^{d-f} | 0.50 ^{b-g} | 1.63 ^{c-g} |
| Si ₁ T ₂ R ₁ +BF | 2.77 ^{d-h} | 0.71 ^{e-g} | 0.46 ^{c-g} | 1.46 ^{f-h} |
| Si ₁ T ₂ R ₂ +BF | 2.77 ^{d-h} | 0.71 ^{e-g} | 0.48 ^{c-g} | 1.46 ^{f-h} |
| Si ₁ T ₃ R ₁ +BF | 3.30 ^{ab} | 0.88 ^{ab} | 0.62 ^{ab} | 1.93 ^{ab} |
| Si ₁ T ₃ R ₂ +BF | 3.47 ^a | 0.93 ^a | 0.65 ^a | 1.98 ^a |
| Si ₁ T ₄ R ₁ +BF | 3.12 ^{a-e} | 0.78 ^{b-e} | 0.54 ^{a-d} | 1.83 ^{a-d} |
| Si ₁ T ₄ R ₂ +BF | 3.19 ^{a-e} | 0.83 ^{a-d} | 0.55 ^{a-d} | 1.87 ^{a-c} |
| Si ₂ T ₀ R ₁ +BF | 2.95 ^{b-g} | 0.73 ^{d-f} | 0.51 ^{b-g} | 1.63 ^{c-g} |
| Si ₂ T ₀ R ₂ +BF | 2.97 ^{b-g} | 0.74 ^{c-f} | 0.51 ^{b-g} | 1.63 ^{c-g} |
| Si ₂ T ₁ R ₁ +BF | 2.79 ^{c-h} | 0.71 ^{e-g} | 0.48 ^{c-g} | 1.49 ^{f-h} |
| Si ₂ T ₁ R ₂ +BF | 2.91 ^{b-g} | 0.72 ^{d-g} | 0.49 ^{c-g} | 1.53 ^{e-h} |
| Si ₂ T ₂ R ₁ +BF | 2.61 ^{f-h} | 0.70 ^{e-g} | 0.43 ^{d-g} | 1.39 ^{gh} |
| Si ₂ T ₂ R ₂ +BF | 2.74 ^{e-h} | 0.71 ^{e-g} | 0.46 ^{c-g} | 1.42 ^{gh} |
| Si ₂ T ₃ R ₁ +BF | 3.23 ^{a-d} | 0.83 ^{a-d} | 0.56 ^{a-c} | 1.87 ^{a-c} |
| Si ₂ T ₃ R ₂ +BF | 3.27 ^{a-c} | 0.85 ^{a-c} | 0.57 ^{a-c} | 1.90 ^{ab} |
| Si ₂ T ₄ R ₁ +BF | 3.03 ^{a-f} | 0.76 ^{c-e} | 0.53 ^{a-f} | 1.83 ^{a-d} |
| Si ₂ T ₄ R ₂ +BF | 3.06 ^{a-f} | 0.76 ^{c-e} | 0.53 ^{a-e} | 1.83 ^{a-d} |

C: شاهد Si₁ (۸۰-۹۰٪): Si₂ (۷۰-۸۰٪): R₁ ۱۵۰: R₂ ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار

BF: (کود پایه K,P,N) :Si₀: سیلیس تیمار نشده T₁: سیلیس تیمار شده با پتاسیم هیدروکسید

T₂: سیلیس تیمار شده با سدیم هیدروکسید T₃: سیلیس تیمار شده با اسیدسولفوریک T₄: سیلیس تیمار شده با اسید نیتریک

جدول مقایسه میانگین غلظت نیتروژن و پتاسیم در کاه و کلش برنج نشان داد، که داده های Si₁ بهتر از Si₂ و سطح ۲ بهتر از سطح ۱ است و برترین تیمار Si₁T₃R₂+BF (سیلیس اصلاح شده با اسیدسولفوریک) و پایین ترین تیمار شاهد است. در تیمار سیلیس منبع یک وریام تیمار شده با اسید سولفوریک و میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار میزان نیتروژن در کاه و کلش ۰/۶۵ درصد شد که نسبت به تیمار شاهد ۶۲ درصد و نسبت به تیمار کود پایه ۵۴ درصد افزایش نشان داد و غلظت پتاسیم در کاه و کلش از ۱/۳۰ درصد در تیمار شاهد به ۱/۳۹ درصد در کود پایه و ۱/۹۸ درصد در تیمار Si₁T₃R₂+BF افزایش یافت (جدول

۲). تیمار $Si_1T_3R_2+BF$ با تیمارهای $Si_1T_3R_1+BF$ و $Si_2T_3R_1+BF$ و $Si_2T_3R_2+BF$ و $Si_2T_4R_1+BF$ و $Si_2T_4R_2+BF$ از نظر غلظت نیتروژن و پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفتند. استفاده از سیلیسیم (Si) اثر مثبتی بر جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کاه و کلش برنج دارد. این یافته با مطالعات قبلی در مورد نقش سیلیسیم در تغذیه گیاهان همخوانی دارد (Ma & Takahashi, 2002). سیلیسیم با تقویت دیواره سلولی و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، می‌تواند به بهبود جذب عناصر غذایی کمک کند (Epstein, 1994). سیلیسیم می‌تواند با تقویت دیواره سلولی، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و تسهیل جذب و انتقال مواد مغذی، سطح عناصر ریزمغذی را در کاه افزایش دهد (Ma & Takahashi, 2002).

۵- نتیجه‌گیری

به طور کلی، این تحقیقات نشان می‌دهند که سیلیسیم یک افزودنی مؤثر برای بهبود جذب نیتروژن و پتاسیم در گیاه برنج است. و تیمار نمودن آن با اسید سولفوریک می‌تواند میزان جذب نیتروژن و پتاسیم را افزایش دهد. برای دستیابی به بهترین نتایج، توصیه می‌شود که نوع سیلیس (با خلوص بالاتر)، دوز مصرف (در سطوح بهینه) و ترکیب آن با مواد اصلاح‌کننده مناسب با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک و نیازهای تغذیه‌ای گیاه برنج تعیین شود. این رویکرد می‌تواند به ارتقاء عملکرد و کیفیت محصول برنج کمک کند.

۶- پیشنهادات

- ۱- از منابع سیلیسیمی دیگر با اصلاح‌کننده‌های دیگر نیز استفاده شود
- ۲- اصلاح‌کننده‌های مورد نظر در طرح فوق در خاک‌های با سیلیسیم متفاوت مورد بررسی قرار گیرد.
- ۳- غلظت‌های مختلف مواد اصلاح‌کننده، زمان مناسب و نحوه استفاده از آن‌ها، و تاثیرات این عوامل بر میزان جذب نیتروژن و پتاسیم مورد بررسی قرار گیرد.

۷- مراجع

- ۱- توللی، ح و ا، سمنانی. 1381. روش‌های تجزیه خاک‌ها، گیاهان، آب‌ها و کودها. دانشگاه شهید چمران، چاپ اول. 219ص.
- 2-Agarie, S. (1993). Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plants. Latest Agricultural Technology Society of Japan Crop ProdAsia., 225-234.
- 3- Chaoming, Z., Jianfei, L. and Liping, Ch. 2000. Yield effects on the application of silicon fertilizer early hybrid rice. Journal Article. 2: 79-80.
- 4-Chabra, D., Kashaninejad, M. and Rafiee, S. 2012. Study and comparison of waste contents in different rice dryers. Proceeding of the First National Rice Symposium. Amol, Iran.
- 5-Crooks R, P Prentice. 2017. Extensive investigation into field based responses to a silica -fertiliser. Silicon. 9:301-304.
- 6-Deren C, Datnoff L, Snyder G, Martin F (1994) Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. Crop Sci 34:733-737.
- 7-Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences, 91(1), 11-17.

- 8-Elaward, S. H., and Green, V. E. 1979. Silicon and the rice plant environment: A review of recent research. *Riv, Riso*, 28: 235-253.
- 9-Huang H, M Li, M Rizwan, Z Dai, Y Yuan, M M Hossain, M Cao, S Xiong, S Tu. 2021. Synergistic effect of silicon and selenium on the alleviation of cadmium toxicity in rice plants. *Journal of Hazardous Materials*. 1-36.
- 10-Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R. R., Gong, H., & Song, A. (2015). Silicon in agriculture: from theory to practice. *Springer*.
- 11-Ma JF, Takahashi E. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. Amsterdam:Elsevier; 2002.
- 12-Marschner H. 1995a. Mineral Nutrition of Higher Plants. London UK: Academic Press.
- 13-Miao B-H, Han X-G, Zhang W-H. The ameliorative effect of silicon on soybean seedlings grown in potassium-deficient medium. *Ann Bot*. 2010;105:967-73.
- 14-Park, G.H., J.H Kim, and K.M Kim, 2014. QTL analysis of yield components in rice using a doubled haploid genetic map. *American Journal of Plant Sciences*. 5: 1174- 1180.
- 15-Raliya, R., Nair, R., Chavalmane, S., & Biswas, P. (2016). Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide nanoparticles on the clusterbean plant. *Metallomics*, 8(3), 345-354.
- 16-Sing. K. P., Mishra, H. N., and Supradip, S. 2010. Moisture-dependent Properties of Branyard millet grain and kernel. *Journal of Food Engineering*, 36: 311-321.
- 17-Zhang XY, Hu CG, Yao JL.(2010). "Tetraploidization of diploid dioscorea results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance". *J Plant Physiol*. 2010;167: 88–94. pmid:19692145.
- 18-Singh, S. and Jain, M. C. 2011. Growth and yield response of traditional tall and improved semi-tall rice cultivars to moderate and high nitrogen, phosphorus levels. *Indian Journal of Plant Physiology*. 2: 16-08.
- 19-Westerman, R. L. 1990. Soil Testing and Plant analysis. 3rd Edition, Soil Science Society of America Book Series, Number 3, Madison, Wisconsin, USA. 25p.

Abstract

To investigate the effect of applying silicon-containing minerals on the concentration of nitrogen and potassium in the aerial parts of rice (cv. Shiroodi), an experiment was conducted. This study was carried out in 2023 using a randomized complete block design with 22 treatments and 3 replications. The treatments included: control, basal fertilizer, two types of silicon (80–90% and 70–80% Si from the Verpam mine) at rates of 150 and 300 kg ha⁻¹, and silicon modified with potassium hydroxide, sodium hydroxide, sulfuric acid, and nitric acid (a total of 66 plots). The results showed that the application of different silicon sources had a significant effect on nitrogen and potassium concentrations in the flag leaf and straw, while no significant effect was observed on the concentrations of these nutrients in the grain. The highest accumulation of nitrogen and potassium in the flag leaf and straw was recorded in the first silicon type (80–90% Si), treated with sulfuric acid at 300 kg ha⁻¹. Therefore, the application of silicon sources can positively influence the uptake and utilization of essential nutrients such as nitrogen and potassium by affecting growth indices.

Keywords: rice, Verpam mine silicon, flag leaf, grain, sulfuric acid