

## بررسی وضعیت سیلیسیوم در شالیزارهای استان گیلان<sup>۱</sup>

ناصر دوات گر، علیرضا علی اکبر، عباس شهدی کومله، مریم پیکان و مسعود احمدی پور<sup>۲</sup>

### چکیده:

به منظور بررسی وضعیت Si در شالیزارهای استان گیلان، یکصدونه نمونه خاک سطحی، با پراکنندگی جغرافیایی یکنواخت انتخاب و متغیرهای pH، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت، سیلیسیوم محلول در آب، Si استخراج شده بوسیله استات سدیم (NaOAc, pH= 4) و Si عصاره گیری شده با CaCl<sub>2</sub> اندازه گیری شد. نتایج بررسی نشان داد که توزیع فراوانی غلظت Si محلول در آب نرمال بوده و میانگین Si در خاکهای مورد مطالعه بیش از حد بحرانی اعلام شده برای Si محلول در آب (۶ میلی گرم در کیلوگرم) و عصاره گیری شده با استات سدیم (۴۰ میلی گرم در کیلوگرم) است. همبستگی Si محلول در آب با هریک از متغیرهای pH، کربن آلی، سیلت و شن ضعیف و غیرمعنی دار و با رس و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر و معنی دار است (به ترتیب با  $r^* = 0/50$  و  $r^* = 0/44$ ). اثر توأم کلیه متغیرهای فوق همبستگی معنی داری با Si محلول دارند ( $r^{***} = 0/84$ ). سیلیسیوم عصاره گیری شده توسط CaCl<sub>2</sub> دو صدم مولار در دامنه ۳/۷ و ۲۰/۸ میلی گرم در کیلوگرم خاک و حدواسط بین حلالیت کوارتز و سیلیکات آمورفی قرار دارد. غلظت Si محلول در آب در نواحی غرب گیلان و حوزه آبخیز رودخانه سپیدرود بیشتر از بقیه نواحی و در ناحیه فومنات کمتر است، این روند مشابه با توزیع مقدار رس در این نواحی است. در حوزه آبخیز سپیدرود به دلیل انتقال و رسوب ذرات رس توسط آب رودخانه و شبکه‌های آبیاری منشعب از آن و در ناحیه گیلان غربی به دلیل رسوبات آبرفتی دامنه‌ای، مقدار رس و در نتیجه کانیهای آلومینوسیلیکات بیشتر از بقیه نواحی است و در نتیجه با حد بالایی از غلظت Si محلول در تعادل می‌باشند. خاکهای ناحیه فومنات با توجه به آنکه دارای منشاء رسوبات ساحلی قدیمی و آبرفتی رودخانه‌ای می‌باشند دارای مقدار رس کمتری بوده و در نتیجه با غلظت‌های کمتری از Si به تعادل می‌رسند.

### واژه‌های کلیدی:

Si محلول در آب، توزیع فراوانی جمعیت، کوارتز، سیلیکات آمورفی، نسبت SiO<sub>2</sub> به مواد آلی.

۱- این مقاله از قسمتی از طرح تحقیقاتی به شماره: ۰۴۳-۷۹-۱۸-۱۴-۷۹-۱۸-۱۱۸ مؤسسه تحقیقات برنج کشور و از محل اعتبار آن مؤسسه

اجرا شده است، استخراج گردید و بدین وسیله تشکر می‌نماید.

۲- به ترتیب: عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات برنج، استادیار گروه شیمی دانشکده علوم دانشگاه گیلان، عضو هیئت علمی و کارشناسان مؤسسه تحقیقات برنج

## مقدمه :

میزان سیلیسیوم (Si) در پوسته زمین بعد از آلومینیوم قرار دارد. بیش از ۶۰ تا ۸۰ درصد از سیلیسیوم خاک بصورت کوارتز غیر محلول و کانیهای آلومینوسیلیکات است که قابل استفاده برای گیاه نمی باشند. قابلیت استفاده این عنصر برای گیاهان به مقدار زیاد به چگونگی سرعت هوادیدگی این کانی ها بستگی دارد. شکل قابل استفاده این عنصر برای گیاهان بصورت مونوسیلیسیک اسید ( $\text{Si(OH)}_4$ ) است که در  $\text{pH} > 9/4$  یونیزه می شود اما در  $\text{pH}$  بین ۲ تا ۹، حلالیت آن مستقل از  $\text{pH}$  است (۱۷).

از نظر تغذیه گیاهان، سیلیسیوم عنصری ضروری برای گیاهان محسوب نمی گردد. اما گیاه برنج به عنوان جمع کننده سیلیسیوم شناخته می شود (۲۱) و با توجه به نقش آن در افزایش ماده خشک و عملکرد، می تواند به عنوان یک عنصر ضروری زراعی در نظر گرفته شود. غلظت این عنصر در گیاه برنج بیشتر از عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم است (۲۵). سیلیسیوم برای سلامت گیاه برنج نیز مفید است بطوریکه در خاکهای معدنی فقیر از نظر سیلیسیوم، بیماریهایی نظیر لکه قهوه ای (*Bipolaris oryza*) و بلاست (*Pyricularia grisea*) با افزایش قابلیت استفاده Si تا اندازه زیادی کاهش می یابد (۲۴).

در بررسی آزمون خاک برای ارزیابی قابلیت استفاده Si برای گیاه برنج با استفاده از نمونه خاکهای هواخشک شده با پتانسیل رداکس (Eh) بالا نکته ای که باید در نظر گرفت این است که با غرقاب شدن خاک و کم شدن پتانسیل رداکس غلظت Si محلول کمی افزایش و سپس به تدریج کاهش می یابد و بعد از چند ماه از غرقاب غلظت آن ممکن است به کمتر از غلظت اولیه در شروع غرقاب برسد. افزایش غلظت بعد از غرقاب ناشی از اثر  $\text{CO}_2$  بر آلومینوسیلیکاتها و همچنین آزادسازی Si به دنبال احیاء هیدروکسید آهن (III) است که در آن سیلیسیوم جذب سطحی شده است. کاهش مجدد ممکن است ناشی از ترکیب مجدد سیلیسیوم با آلومینوسیلیکاتها، بدنبال کم شدن  $\text{PCO}_2$  باشد (۱۹). این افزایش بویژه در خاکهایی که حاوی مقدار زیادی ماده آلی هستند قابل ملاحظه است. با این وجود در بعضی از خاکهای شالیزاری نظیر خاکهای شالیزاری قدیمی و تخریب یافته در اقلیم نیم حاره ای و گرم، خاکهای آلی با ذخیره ناچیز سیلیسیوم معدنی و خاکهای بشدت هوادیده و آبشویی یافته نواحی حاره ای احتمال کمبود Si وجود دارد (۱۰). Nonaka و Takahashi (۱۹۸۸) ضمن بررسی روشهای مختلف عصاره گیری سیلیسیوم در خاکهای ژاپن نتیجه گرفتند که سیلیسیوم محلول در آب همبستگی بیشتری با غلظت سیلیسیوم در کاه برنج در مقایسه با سیلیسیوم استخراج شده به روش بافر استات سدیم دارد (۱۸). Si محلول در آب معیاری از غلظت Si محلول در تعادل با سیستم خاک است (فاکتور شدت). در حالیکه استات بافر ممکن است آنچنان قوی باشد که Si قابل جذب و بعضی از اشکال غیر قابل جذب را حل نماید (فاکتور ظرفیت). بنابراین هر دو روش استخراج ممکن است اطلاعات مفید ولی متفاوتی ارائه دهد (۲۰).

خاکهای اراضی آپلند برنج<sup>۱</sup> در رده اُکسی سول (۲۳) و هیستوسول (۸) نیز از اراضی می باشند که قابلیت استفاده سیلیسیوم در آنها کم می باشد. Winslow (۱۹۹۲) پس از بررسی سازگاری ژنوتیپهای مختلف برنج در خاکهای با شرایط آپلند و کمبود سیلیسیوم نتیجه گرفت ارقام ایندیکا در مقایسه با ارقام ژاپونیکا حساسیت بیشتری نسبت به کمبود سیلیسیوم نشان می دهند (۲۲).

Winslow و همکاران (۱۹۹۷) با مقایسه غلظت Si در منابع آبی مختلف برای شالیزارها یکی از علل کمبود Si در شالیزارها را عرضه کم این عنصر توسط آب آبیاری می دانند (۲۳). یزدانی (۱۳۸۱) با مطالعه آورد Si توسط شبکه آبیاری سپیدرود، بعنوان یکی از مهمترین منابع تأمین آب در شالیزارهای نواحی مرکزی استان گیلان مقدار کل عرضه Si را ۵۸/۹ کیلوگرم در هکتار برآورد نمود که از این مقدار ۲۱/۸ کیلوگرم آن برای گیاه قابل استفاده بود (۵).

صائب و همکاران (۱۳۸۰) با مقایسه مقاومت تعدادی از ژنوتیپهای برنج استان گیلان نسبت به کرم ساقه خوار نواری برنج و بررسی نقش سیلیس در ایجاد این مقاومت، همبستگی منفی ضعیفی بین مقدار سیلیس موجود در ساقه و میزان خوشه های برنج سفید شده مشاهده نمودند (۴). پاداشت دهکایی (۱۳۷۸) با بررسی آثار نیتروژن و سیلیس روی بیماری بلاست برنج نشان داد که مصرف نیتروژن باعث افزایش بیماری بلاست و میزان محصول گردید اما مصرف سیلیس تأثیری در کاهش بیماری بلاست و افزایش محصول نشان نداد و فقط در سطح پنج درصد باعث افزایش تعداد سلولهای سیلیسی شده در برگ پرچم گردید (۱). شهدی کومله (۱۳۷۹) با بررسی تأثیر متقابل کاربرد سیلیسیوم و فسفر در گیاه برنج نشان داد که تأثیر کاربرد سیلیسیوم در غلظت سیلیسیوم در بافت گیاه، وزن خشک، جذب سیلیسیوم و جذب فسفر در سطح یک درصد و اثر متقابل فسفر و سیلیسیوم بر وزن خشک و جذب فسفر در اندام هوایی گیاه برنج در سطح پنج درصد تأثیر معنی دار داشته است (۳). این تحقیق تلاش دارد تا با برآورد پارامترهای آماری Si و خواص فیزیکی شیمیایی مرتبط با آن، اثرات متقابل این خواص بر متغیر مورد نظر و پیش بینی کانیهای کنترل کننده فعالیت یون Si در خاک، وضعیت این عنصر را در شالیزارهای استان گیلان بررسی نماید.

## مواد و روشها:

با استفاده از دستگاه GPS (تعیین کننده مختصات جغرافیایی) یکصدونه نمونه خاک سطحی (از عمق صفر تا سی سانتیمتر) با پراکندگی جغرافیایی یکنواخت در شالیزارهای استان گیلان انتخاب و نمونه برداری شدند. بعد از هوا خشک نمودن، آسیاب و عبور از الک ۲ میلی متری، بافت خاک به روش هیدرومتر، کربن آلی به روش والکی بلاک، pH خاک از طریق عصاره گل اشباع و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور، اندازه گیری شدند.

1. Upland rice

جهت عصاره‌گیری Si محلول در آب از روش هسه<sup>۱</sup> استفاده گردید (۱۴). برای این منظور ابتدا خاک از الک ۱۰۰ مش عبور داده شد. از هر نمونه خاک در دو تکرار یک گرم خاک وزن و در ظروف پلی‌اتیلن ریخته شد و به آن ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. پس از یکساعت تکان دادن توسط دستگاه شیکر در ۱۲۵ دور در دقیقه، بمدت ۱۶ ساعت در انکوباتور در دمای ۲۶ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از سانتریفوژ نمودن بمدت ۱۰ دقیقه در ۲۰۰۰ دور، محلول رویی جهت حصول حداکثر شفافیت مجدداً از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد.

جهت پیش‌بینی اینکه غلظت یون Si در دامنه حلالیت Si کوارتز تا آمورف قرار دارد، از روش پیشنهادی الگاواری و لیندسی استفاده شد (۱۱). محلول  $\text{CaCl}_2$  با غلظت ۰/۰۲ مولار تهیه شد و با توجه به pH خاکهای نمونه برداری شده، pH آن در دو محلول جداگانه در ۶ و ۷ تنظیم گردید. سپس در دو تکرار از هر نمونه خاک سوسپانسیونی از ۱۰ گرم خاک و ۲۰ میلی‌لیتر  $\text{CaCl}_2$  با غلظت ۰/۰۲ مولار تهیه و بعد از ۴ ساعت تکان دادن با دستگاه شیکر مدل فوق در ۱۵۰ دور در دقیقه با کاغذ صافی واتمن ۲ صاف گردید.

جهت اندازه‌گیری Si قابل جذب از محلول بافر استات سدیم نرمال (pH=4) استفاده گردید. در ۴۶ نمونه از خاکهای مورد مطالعه (از هر نمونه در دو تکرار) سوسپانسیونی با نسبت ۱۰ به ۱ از خاک و محلول استات سدیم نرمال (pH=4) تهیه و بمدت ۹۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از آن بوسیله کاغذ صافی واتمن ۲ عصاره‌گیری شد (۱۵).

غلظت Si در کلیه عصاره‌های فوق با استفاده از روش رنگ‌سنجی آبی هتروپولی<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد. بررسی پارامترهای آماری و تجزیه واریانس خواص فیزیکوشیمیایی مؤثر بر Si با استفاده از نرم‌افزار SPSS و MSTATC انجام گردید.

## نتایج و بحث :

نتایج پارامترهای آماری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که میانگین سیلت نسبت به شن و رس بیشتر است. واریانس که معیاری از پراکندگی مقادیر در اطراف میانگین است برای شن و در مقایسه با سیلت و رس بیشتر است.

pH خاکها در دامنه ۵/۳ تا ۸/۲ قرار دارد و میانگین آن ۷/۲ است. pH در خاکهای اسیدی بعد از غرقاب افزایش و در خاکهای آهکی کاهش می‌یابد. کربن آلی در دامنه ۰/۱۹ تا ۷/۰۵ درصد قرار دارد و میانگین آن ۲/۲۶ درصد است که برای گیاه برنج مناسب است. ضریب تغییرات کربن آلی زیاد است. مقادیر ناچیز کربن آلی مربوط به اراضی شنی ساحلی و مقادیر زیاد آن عمدتاً در اراضی پست شالیزاری مشاهده می‌گردد که امکان دارد در اکثر زمان طول سال از آب اشباع گردند و کربن آلی بعلت کندی فرآیند تجزیه، تجمع یابد. ظرفیت

1. Hesse  
1. Colorimetric heteropoly blue

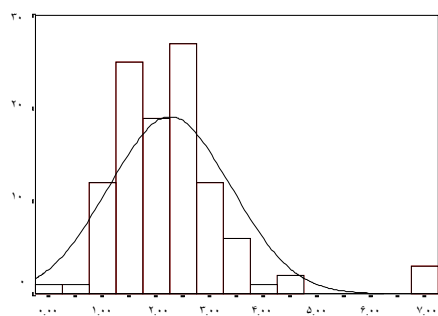
تبادل کاتیونی در دامنه ۱۰ تا ۵۶ و میانگین آن ۳۲ سانتی مول بر کیلوگرم خاک است. مقادیر کم آن در اراضی شالیزاری ساحلی و مقادیر بالای آن در اراضی با رس زیاد و یا خاکهای با ماده آلی زیاد قرار دارد. دامنه، میانگین و ضریب تغییرات Si محلول در آب در مقایسه با Si قابل جذب کمتر است. متغیرهای رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و Si محلول در آب توزیع فراوانی نرمال دارند. وجود توزیع فراوانی نرمال بیانگر آن است که در جامعه نمونه‌ها، جوامع فرعی مجزا وجود ندارد، واریانس یکنواخت است و داده‌های خطا نیز وجود ندارد. متغیرهای شن، سیلت، کربن آلی، pH و سیلیسیم قابل جذب عصاره‌گیری شده با استفاده از محلول بافر استات سدیم مولار توزیع فراوانی غیرنرمال نشان دادند (جدول ۱ و نمودار ۱- الف تا د). توزیع غیرنرمال بیانگر تغییر در متغیر موردنظر منطبق با تغییر در محیط‌های رسوبگذاری و اثرات نامتقارن فرآیندهای پدوژنیک یا هیدرولوژیک بر متغیر فوق است. در نواحی گیلان غربی و شرقی، شالیزارها در شرایط فیزیوگرافی متفاوت و غیریکنواخت‌تری نسبت به گیلان مرکزی قرار دارند که سبب ایجاد تفاوت در فرآیند رسوبگذاری و در نتیجه توزیع مکانی شن و سیلت می‌گردد. آبیاری کشت برنج در حوزه آبخیز سپیدرود و بخش وسیعی از ناحیه فومنات تحت تاثیر رودخانه سپیدرود و شبکه‌های آبیاری منشعب از آن قرار دارد. در بخش‌های جنوبی این نواحی شالیزارها محدود به اطراف رودخانه‌ها بوده اما در بخش‌های شمالی در دشت‌های دامنه‌ای و ساحلی توسعه یافته‌اند این مسئله سبب می‌گردد که منطقه از نظر فرآیندهای هیدرولوژی، شرایط زهکشی و محیط‌های رسوبگذاری بسیار متنوع باشد و در نتیجه بر تجزیه مواد آلی و شدت هوادیدگی و تکامل کانی و غلظت یون سیلیسیوم در تعادل با این کانیها تاثیر خواهد گذاشت.

ضریب تغییرات که معیاری از تغییرپذیری نسبی است برای متغیرهایی مانند رس، سیلت و pH کم می‌باشند و نشان‌دهنده این است که متغیرهای اشاره شده پایدار بوده و کمتر تحت تأثیر عملیات مدیریتی قرار گرفته‌اند (جدول ۱).

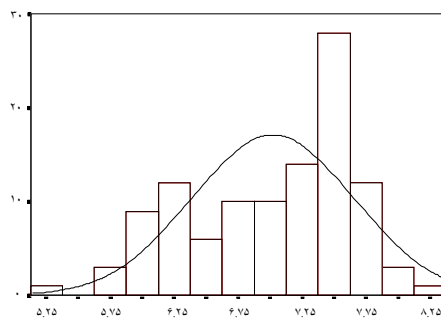
جدول ۱- پارامترهای آماری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در خاکهای مورد مطالعه

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	توزیع فراوانی
شن	(%)	۴	۸۸	۲۴/۳۳	۲۴۲/۸	۶۴	۱/۴۹۷۶ ***	۲/۶۳۸۸ ***	
سیلت	(%)	۶	۶۶	۴۷/۴	۱۰۴/۰۶	۲۱/۵	-۰/۸۳۹۱ ***	۱/۷۵۳۲ ***	
رس	(%)	۶	۵۴	۲۹/۶	۲۵/۷۸	۱۷/۲	۰/۰۲۵۶ ns	-۰/۵۴۹۹ ns	نرمال
کربن آلی	(%)	۰/۱۹	۷/۰۵	۲/۲۶	۱/۱۳	۴۷	۱/۷۲۸۳ ***	۵/۸۵۸۶ ***	
CEC	(Cmole.kg <sup>-1</sup> )	۱۰	۵۶	۳۲/۳۳	۸۵/۶۱	۲۸/۶	-۰/۱۴ ns	۰/۴۰۵۸ ns	نرمال
pH		۵/۳	۸/۲	۷/۰۲	۰/۳۹۷	۹	-۵/۵۱ *	-۰/۶۷۱۶ ns	
Si محلول در آب <sup>(۱)</sup>	(mg.kg <sup>-1</sup> )	۹/۵	۱۲۵/۴	۷۰/۰۶	۶۵۹/۵۳	۳۶/۶	۰/۰۳۹۸ ns	-۰/۵۶۳۱ ns	نرمال
Si-NaOAc, pH= ۴ <sup>(۲)</sup>	(mg.kg <sup>-1</sup> )	۶۹	۵۹۲	۲۵۱/۳	۱۹۱۱/۶	۵۴	۱/۵۱ **	۰/۵۷۱۲ ns	
Si-CaCl <sub>2</sub> (۰/۰۲ M) <sup>(۳)</sup>	(mg.kg <sup>-1</sup> )	۳/۷	۲۰/۸	۹/۹۶	۱۵/۰۶	۳۹	۰/۸۳۳ ***	۰/۲۲۲ ns	

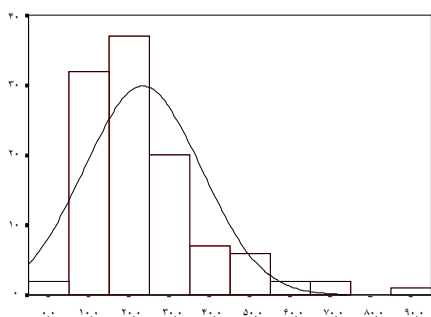
- (۱): سیلیسیوم عصاره گیری شده به روش هسه  
 (۲): سیلیسیوم استخراج شده به وسیله محلول بافر استات سدیم (pH=۴)  
 (۳): سیلیسیوم استخراج شده به وسیله کلرید کلسیم ۰/۰۲ مولار



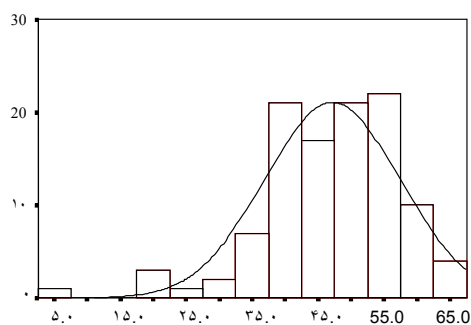
ب- کربن آلی



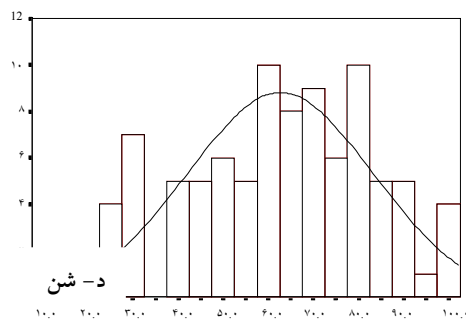
الف- pH



د- شن



ج- سیلت



## نمودار ۱- توزیع فراوانی متغیرهای الف (pH، ب) کربن آلی، ج) لای، د) شن و ه) سیلیسیوم محلول در آب

دامنه Si محلول در آب (۹/۵ تا ۱۲۵/۴ میلی گرم در کیلوگرم) و میانگین آن (۷۰/۰۶ میلی گرم در کیلوگرم) از حد بحرانی پیشنهادی Winslow و همکاران (بزرگتر از ۶ میلی گرم در کیلوگرم) بیشتر است (۲۳). سیلیسیوم عصاره گیری شده با استفاده از محلول بافر استات سدیم مولار در دامنه ۱۴۷ تا ۱۲۶۵ میلی گرم در کیلوگرم و میانگین آن ۵۴۱/۳۲ میلی گرم در کیلوگرم می باشد. به نظر می رسد در این روش بخشی از Si موجود در اجزاء کانیهای با درجه کریستالی شدن پایین یا کانیهای آمورف، استخراج شده باشد.

Jones (۱۹۸۲) نسبت  $SiO_2$  به ماده آلی را به عنوان شاخص مناسبی برای تصمیم گیری در مصرف کود سیلیکاته در گیاه برنج پیشنهاد نمود (۱۵). براساس پیشنهاد وی اگر این نسبت بیش از ۱۰۰ باشد می بایستی به خاک مواد آلی اضافه نمود و در مقادیر کمتر از آن نیاز به مصرف کود سیلیکاته می باشد. در ۱۷ نمونه از خاکهای مورد مطالعه که عمدتاً در ناحیه گیلان غربی قرار دارند این نسبت کمتر از ۱۰۰ است. Daberman و Fairhurst (۲۰۰۰) حد بحرانی Si قابل جذب برای گیاه برنج، عصاره گیری شده با استفاده از محلول بافر استات سدیم مولار را ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم اعلام نمودند (۱۰)، که براین اساس تمامی نمونه های مورد مطالعه غلظتی بیش از حد بحرانی نشان دادند.

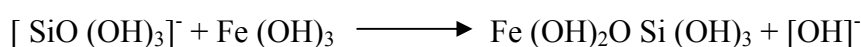
اثر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بر Si محلول در آب از طریق رگرسیون خطی، غیرخطی تک متغیره و خطی چند متغیره بصورت گام به گام پله ای مورد برآزش قرار گرفت. همبستگی هریک از متغیرهای pH، کربن آلی، سیلت و شن با Si محلول ضعیف و غیرمعنی دار است (به ترتیب  $r = 0/19$ ،  $r = 0/16$ ،  $r = 0/23$  و  $r = 0/22$ ). همبستگی بین هریک از متغیرهای ظرفیت تبادل کاتیونی و رس با Si محلول نسبتاً ضعیف اما معنی دار است (به ترتیب  $r = 0/4^*$  و  $r = 0/5^*$ ). اثر توأم متغیرهای فوق رابطه نسبتاً قوی تری در مقایسه با اثر هر متغیر بر سیلیسیوم محلول در آب بشرح زیر نشان داد:

$$\text{Water soluble Si (mg.kg}^{-1}\text{)} = 1/483 - 0/07 \text{ Silt} - 0/054 \text{ Sand} + 4/469 \text{ OC} + 2/727 \text{ pH} + 0/166 \text{ Clay}$$

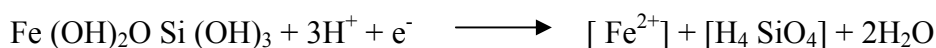
$$r = 0/84^{***} \quad R^2 = 0/71^{***}$$

با افزایش کربن آلی و منجمله اسیدهای آلی حلالیت کانیهای سیلیکاته افزایش می یابد. حلالیت بیشتر سیلیسیوم در حضور اسیدهای آلی ناشی از اثر کلاته کننده آن است (۷). از طرف دیگر سرعت انحلال با افزایش مقدار رس زیاد می گردد که عمدتاً بدلیل افزایش سطح ویژه ذرات است. بین Si محلول در آب و Si عصاره گیری

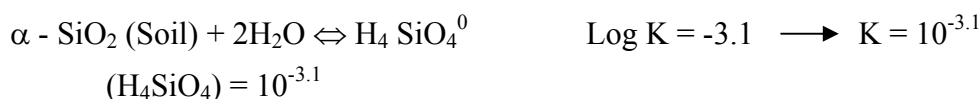
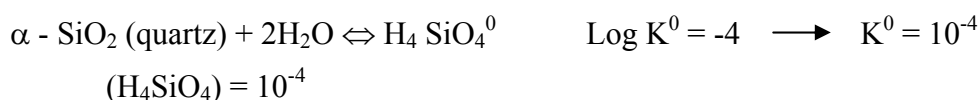
شده با استات سدیم هیچگونه رابطه خطی و غیرخطی معنی دار وجود ندارد و از میان خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تنها pH همبستگی معنی دار اما نسبتاً ضعیف با Si عصاره گیری شده با استات سدیم دارد ( $r = 0.4^*$ ).  
 سسکوی اکسیدها و فیلوسیلیکاتها جزء مهمی از سیستم های خاک هستند که نقش تعیین کننده ای در تعیین غلظت Si در خاک دارند. سسکوی اکسیدها ظاهراً بعنوان چاهک<sup>۱</sup> سیلیسیوم محلول عمل می نمایند و به مقدار زیاد سرعت انحلال سیلیکات را افزایش می دهند. از میان سسکوی اکسیدها می توان به هیدروکسید آهن (III) اشاره نمود که بیشترین ظرفیت را در خاک برای جذب سیلیسیوم محلول نشان می دهد که این جذب وابسته به pH است و بوسیله واکنش زیر مشخص می گردد (۹):



در خاکهای غرقابی غلظت سیلیسیوم در محلول خاک بدلیل احیاء هیدرات اکسیدهای آهن (III) که Si را جذب نموده بودند، افزایش می یابد. این افزایش غلظت Si از طریق واکنش زیر اتفاق می افتد:



Si عصاره گیری شده توسط محلول  $\text{CaCl}_2$  با غلظت های ۳/۷ تا ۲۰/۸ و با میانگین ۹/۹۶ میلی گرم در کیلوگرم خاک قرار دارد (جدول ۲). با توجه به واکنش های زیر (۱۶):



حداقل و حداکثر Si در نمونه های اندازه گیری شده حدواسط بین غلظت تعادلی لازم برای حلالیت کوارتز و  $\text{SiO}_2$  (Soil) قرار دارد:

$$3.7 \text{ mg Si} \times \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{96 \text{ gr H}_4\text{SiO}_4}{28 \text{ gr Si}} \times \frac{1 \text{ mole}}{96 \text{ gr H}_4\text{SiO}_4} = 10^{-3.87} \Rightarrow 10^{-3.87} > 10^{-4}$$

$$20.8 \text{ mg Si} \times \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{96 \text{ gr H}_4\text{SiO}_4}{28 \text{ gr Si}} \times \frac{1 \text{ mole}}{96 \text{ gr H}_4\text{SiO}_4} = 10^{-3.12} \Rightarrow 10^{-3.12} < 10^{-3.1}$$

نتایج بدست آمده یافته های الگاواری ولیندسی را تأیید می کند (۱۱). اما تعیین دقیق کانی یا کانیهای کنترل کننده فعالیت یون Si نیازمند اندازه گیری پارامترهای بیشتری است، زیرا شیمی سیلیسیوم بسیار پیچیده و رسیدن به روابط تعادلی اغلب مشکل است (نقل از منبع ۱۶). غلظت Si در خاکها بوسیله فرآیندهای پویایی کنترل می گردند و در این میان حصول شرایط لازم برای رسیدن به تعادل پیش از آنکه قانون باشند، یک استثناء است.

1. Sink

این احتمال وجود دارد که فرآیندهای سنتیک بیش از ترمودینامیک سطح فعالیت Si محلول در خاک را کنترل کند (۱۲).

از آنجا که در کانیهای اولیه عموماً نسبت  $\frac{Si}{Al}$  نسبت به کانیهای ثانویه بالاتر است، سیلیسیوم آزاد شده از آنان در جریان هوادیدگی باعث ابقاء  $H_4SiO_4^0$  در محدوده بین غلظت تعادلی لازم بین آمورف و کوارتز می‌گردد. در خاکهایی که هوادیدگی شدید دارند، سیلیسیوم در نتیجه فرآیند دی‌سیلیکیشن از خاک آبشویی یافته و در نتیجه ابتدا کائولینیت و در نهایت گیسیت به کانی پایدار تبدیل می‌گردد. Lindsay (۱۹۷۹) معتقد است که اگر غلظت  $H_4SiO_4^0$  به کمتر از  $10^{-5/31}$  مول برسد آنگاه در چنین شرایطی آلومینوسیلیکاتها ناپایدار و گیسیت کانی پایدار خواهد شد (۱۶).

در خاکهای مورد مطالعه حداقل غلظت  $H_4SiO_4^0$  بیشتر از  $10^{-5/31}$  مولار بوده است و در نتیجه احتمال فرآیند دی‌سیلیکیشن و تشکیل خاکهای آکسی سول که در آن کمبود Si متصور است، وجود ندارد. بنابراین در صورت وقوع احتمالی کمبود Si باید عوامل دیگری مانند وجود نوعی از مواد مادری در منطقه که حاوی مقادیر کم Si باشد و یا خاکهای آلی با ذخیره معدنی Si ناچیز مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

نکته مهم در این رابطه این است که اگر غلظت  $H_4SiO_4^0$  بیش از  $10^{-5/31}$  مولار باشد، در این صورت فعالیت یون  $Al^{3+}$  به تنهایی توسط pH کنترل نمی‌گردد. بعنوان مثال اسمکتیت کانی غالب در اکثر خاکهای استان گیلان می‌باشد که در غلظت زیاد  $H_4SiO_4^0$  و pH بالا تشکیل می‌گردد. در چنین خاکهایی فعالیت یون  $Al^{3+}$  در تعادل با این کانی توسط  $Fe^{3+}$ ،  $Mg^{2+}$  و  $H_4SiO_4^0$  و pH کنترل می‌گردد.

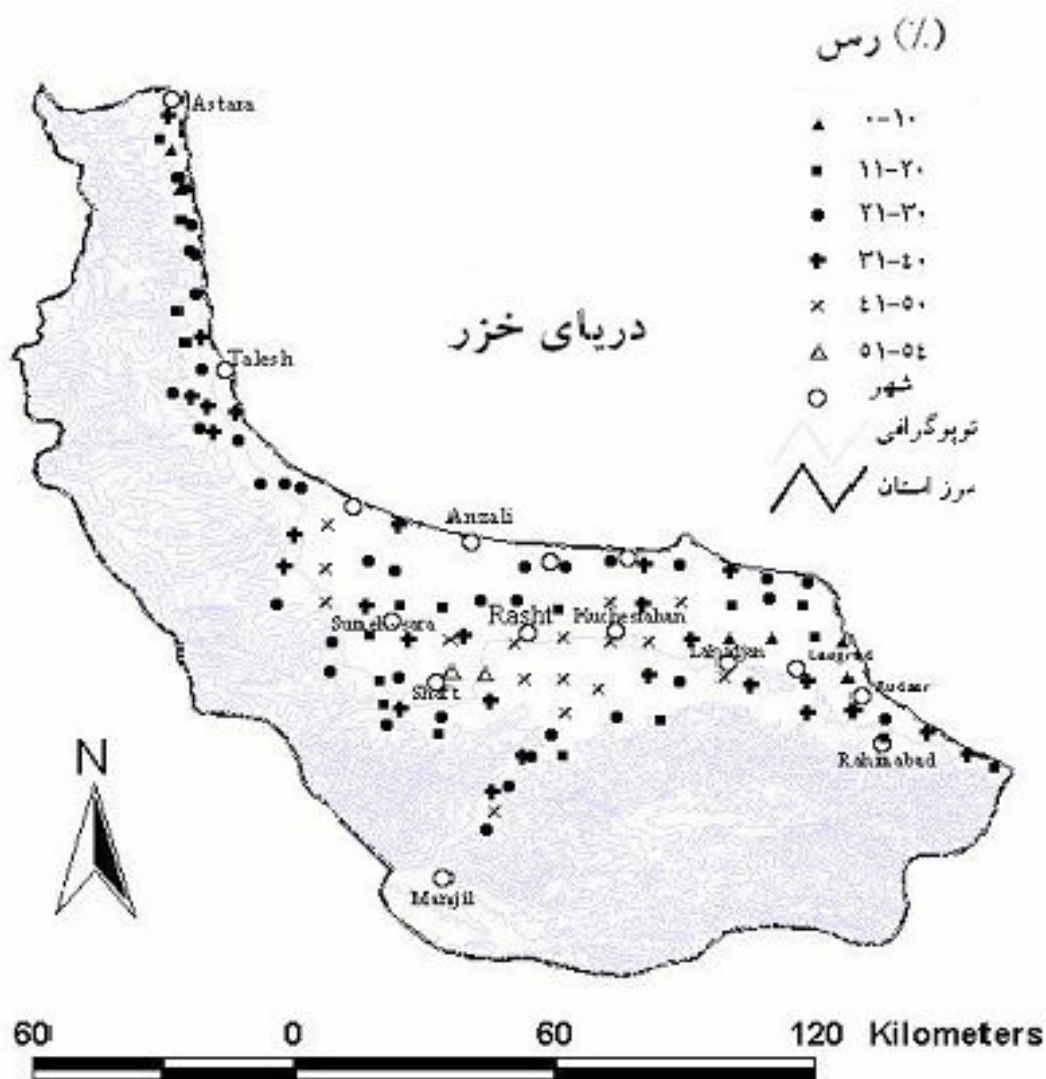
ترابی گلسفیدی (۱۳۸۰) با اندازه‌گیری Si آمورف و آزاد در افقهای ۱۶ پروفیل خاک شالیزاری در یک ترانسکت از کوه به ساحل در شرق استان گیلان نشان داد که در خاکهای تکامل یافته شالیزاری کوهستانی یا جلگه‌ای با افزایش عمق این جزء از Si افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در افق مواد مادری خاکهای شالیزاری واقع در رسوبات آبرفتی جوان یا مناطق ساحلی که دارای بافت سبک هستند، Si آمورف و آزاد هرچند در مقایسه با خاکهای شالیزاری مناطق جلگه‌ای و کوهستانی کمتر است اما تغییرات چشمگیری را با افزایش عمق نشان نمی‌دهد (۲).

مقدار کربن آلی در خاکهای مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد که هیچیک از خاکها از حداقل شرایط لازم برای تشکیل خاکهای آلی و یا افق هیستیک برخوردار نمی‌باشند، اما مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی نشان می‌دهد که ۲۰۰ هکتار از اراضی شالیزاری (معادل ۰/۲۴ درصد کل اراضی) واقع در شرق گیلان دارای افق هیستیک می‌باشند و در آنها احتمال کمبود Si متصور است (۶).

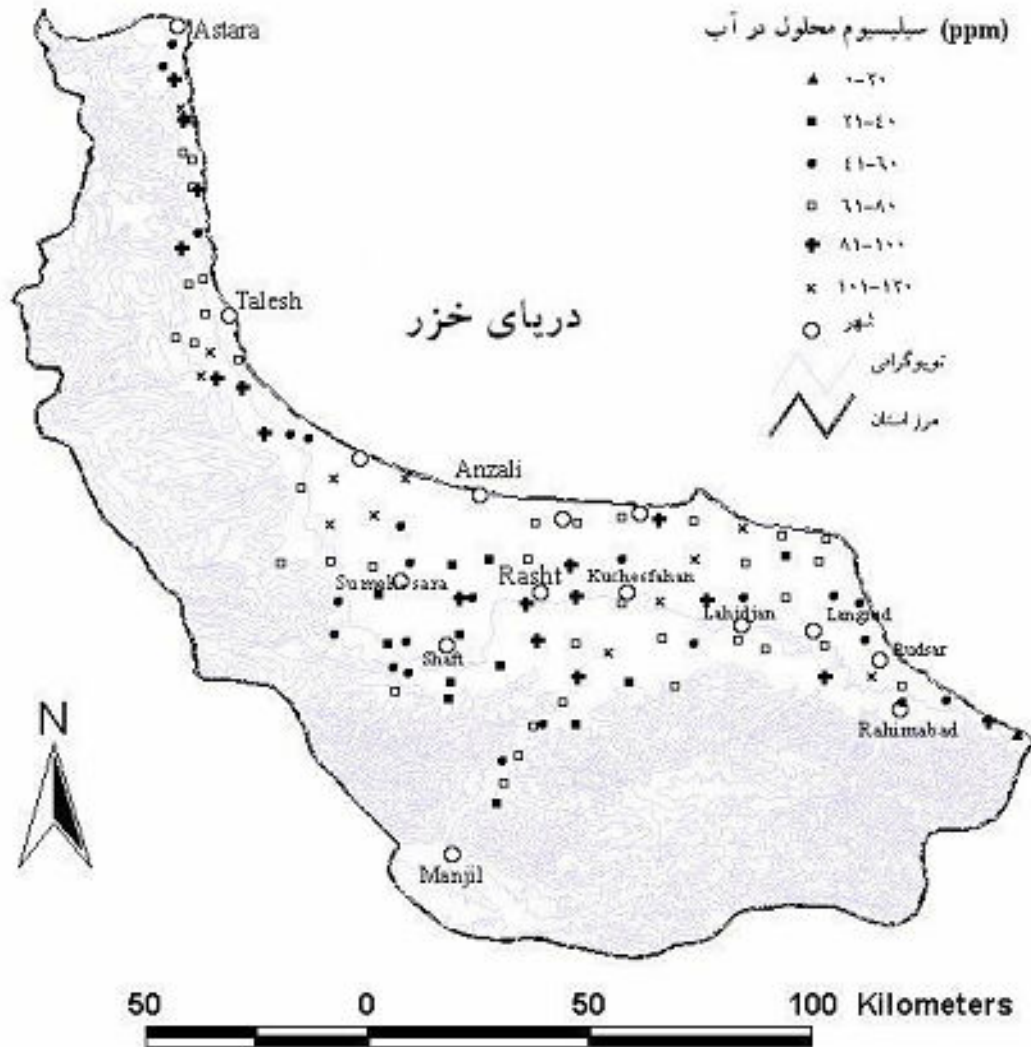
نقشه توزیع حدود غلظت Si محلول در آب در نواحی مختلف استان نشان می‌دهد که هرچند مقدار آن در کل شالیزارها بیشتر از حد بحرانی است اما مقدار آن در غرب گیلان (شامل شهرستانهای تالش و آستارا) و حوزه آبخیز رودخانه سپیدرود (شامل شهرستانهای منجیل، رشت و کوچصفهان) از بقیه مناطق بیشتر است.

کمترین غلظت Si محلول در آب در خاکهای ناحیه فومنات (شامل شهرستانهای شفت و صومعه سرا) وجود دارد (شکل ۱). علاوه بر آن مقدار رس در خاکهای نواحی غرب گیلان و حوزه آبخیز سپیدرود نسبت به بقیه نواحی بیشتر و در ناحیه فومنات از بقیه نواحی کمتر است (شکل ۲).

بالا بودن مقدار رس در حوزه آبخیز رودخانه سپیدرود ناشی از انتقال ذرات رس توسط این رودخانه و شبکه‌های آبیاری منشعب از آن و رسوب آن در خاکهای شالیزاری می‌باشد. در شالیزارهای غرب گیلان نیز افزایش مقدار رس ناشی از رسوبات آبرفتی دامنه‌ای است که با توجه به ماهیت آلومینوسیلیکاته این کانیها با حد بالایی از غلظت Si محلول در آب به تعادل می‌رسند. خاکهای ناحیه فومنات بر روی رسوبات ساحلی قدیمی و رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای قرار گرفته‌اند. رسوبات ساحلی قدیمی به ضخامت‌های مختلفی توسط رسوبات ریز دامنه‌ای پوشیده شده‌اند که در بسیاری موارد در اثر فرسایش در نزدیکی سطح قرار گرفته‌اند. این خاکها دارای مقادیر زیادی شن و مقادیر بسیار کمتری رس هستند و در نتیجه با غلظت کمتری از Si محلول در آب به تعادل می‌رسند. بنابراین هرچند غلظت سیلیسیوم محلول در آب (به عنوان مهم‌ترین منبع تأمین نیاز گیاه برنج) از حد بحرانی بیشتر است اما غلظت این عنصر در خاکهای با بافت سبک متشکل از رسوبات آبرفتی با مواد مادری ضعیف از نظر Si بویژه در ناحیه گیلان غربی، کمتر از بقیه نواحی است. در این خاکها بویژه اگر کربن آلی نیز زیاد بوده و پاسخ گیاه برنج نسبت به مصرف سیلیسیوم مثبت باشد لازم است در مدیریت حاصلخیزی شالیزارها، مصرف این عنصر مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۱- نقشه توزیع جغرافیایی داده‌های سلیسیوم در آب (ppm) در شالیزارهای استان گیلان



شکل ۲- نقشه توزیع جغرافیایی داده‌های رس (٪) در شالیزارهای استان گیلان

منابع مورد استفاده :

- ۱- پاداشت دهکایی، ف. ۱۳۷۸. آثار نیتروژن و سیلیس روی بیماری بلاست برنج. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۰، شماره ۴: ۷۴۲-۷۳۵.
- ۲- ترابی گلسفیدی، ح. ۱۳۸۰. پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی تناسب اراضی خاکهای اراضی خیس برای کشت برنج در شرق استان گیلان. پایان‌نامه دکتری. دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان: ۱۷۹-۱۷۴.
- ۳- شهدی کومله، ع. ۱۳۷۹. بررسی تأثیر متقابل کاربرد سیلیسیوم و فسفر در وضع ظاهری، عملکرد و برخی خصوصیات شیمیایی خاک شالیزار. گزارش نهایی. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت: ۱۴.
- ۴- صائب، ح.، ق. نوری قنبلانی و غ. رجبی. ۱۳۸۰. مقایسه مقاومت تعدادی از ژنوتیپهای برنج استان گیلان نسبت به کرم ساقه‌خوار نواری برنج و بررسی نقش سیلیس در ایجاد مقاومت. مجله علوم کشاورزی، جلد ۷، شماره ۴. ص: ۲۵-۱۷.
- ۵- یزدانی، م. ۱۳۸۱. بررسی میزان آورد سیلیسیوم توسط شبکه آبیاری سپیدرود. گزارش نهایی. مؤسسه تحقیقات برنج کشور. رشت: ۱۶.
- ۶- مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی مناطق شرق و غرب گیلان. ۱۳۵۵. وزارت نیرو. امور توسعه منابع آب: ۴۲ و ۱۲۲.
- 7- Chang, S. C. 1978. Evaluation of the fertility of rice soils. p: 521- 541. *In* soils and Rice. Los Banos. Philippines.
- 8- Deren, C. W., L. E. Datnoff, G. H. Snyder, and F. G. Martin. 1994. Silicon concentrations, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosol. *Crop Science*. 34: 733-737.
- 9- Dress, L. D., L. P. Wilding, N. E. Smeck and A. L. Senkayi. 1989. Silica in soils: Quarts and disordered silica polymorphs. P. 913-974. In J. B. Dixon and S. B. Weed (eds.) *Minerals in Soil Environments*. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 10- Doberman, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice nutrient disorders and nutrient management. International Rice Research Institute. LosBanos.

- 11- Elgawhary, S. M., and W. L. Lindsay. 1972. Solubility of silica in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 439-442.
- 12- Govertt, G. J. S. 1961. Critical factors in determining of silica. *Anal. Chem. Acta.* 25: 69-80.
- 13- Hallmark, C. T., L. P. Wilding and N. E. Smeck. 1986. Silicon. p. 263- 273. *In* A. L. Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. Agron Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 14- Hesse, P. R. 1971. *A Textbook of Soil Chemical Analysis.* Chemical Publishing Co., Inc., NewYork.
- 15- Jones. S. U. 1982. *Fertilizers and Soil Fertility.* 2nd. Reston Publishing Co. Virginia.
- 16- Lindsay, W. L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils.* John Wiley and Sons. New York.
- 17- McKeague, J. A., and M. G. Cline. 1963. Silica in Soil Solution. II. The absorption of monosilicic acid by soil and by other substances. *Can. J. Soil Sci.* 43: 83-46.
- 18- Nonaka, K., and K. Takahashi. 1988. A method of measuring available silicates in paddy soils. *Jpanese. Agric. Res. Quart.* 22: 91-95.
- 19- Ponnampereuma, F. N. 1972. *The Chemistry of Submerged Soils.* *Adv. Agron.* 24: 29- 96.
- 20- Savant, N. K., G. H. Snyder, and L. E. Datonff. 1997. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agron.* 58: 151- 199.
- 21- Takahashi, E., Ma, J. F., and Y. Miyake. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments Agric. Food Chem.* 2, 99- 122.
- 22- Winslow, M. D. 1992. Silicon, disease resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. *Crop Sci.* 32: 1208- 1213.
- 23- Winslow, M. D., K. Okada and F. C. Victoria. 1997. Silicon deficiency and the adaptation of tropical rice ecotypes. *Plant Soil.* 188: 234-248.
- 24- Yamauchi, M., and M. D. Winslow. 1987. Silica reduces disease on upland rice in high rainfall area. *Int Rice Res. Inst. Newsl.* 12: 22-23.
- 25- Yoshida, S. 1975. Factors that limit the growth and yields of upland rice. *In* *Major Research in Upland Rice.* P. 46-71. The International Rice Research Institute. LosBanos.

## **Abstract**

### **Evaluation of Silicon Status in Guilan Paddy Soils**

N. Davatgar, A. Aliakbar, A. Shahdi Kumleh, M. Ahmadipour, and M. Paykan<sup>1</sup>

Although silicon (Si) is found at much higher concentrations than phosphorous and potassium in healthy rice crops and temperate paddy soils than nitrogen and phosphorous it has received less attention study. In order to evaluate the level of available silicon in Guilan paddy soils, one hundred nine surface soil samples were collected. The soils had a uniform geographic distribution and the variables of pH, organic carbon, cation exchange capacity, water soluble Si and Si extracted by molar sodium acetate at pH<sub>4</sub> (NaOAc, pH=4) were measured in all the samples. Water-soluble Si had a normal frequency distribution. The range and mean values of water soluble Si and Si (NaOAc, pH=4) were more than critical limits proposed, (6 ppm for water soluble Si) and 40 ppm for Si (NaOAc, pH=4).

Correlation coefficients between variables of pH, O.C, silt and sand with water soluble Si were low and non- significant. Correlation coefficient between the variables clay and cation exchange capacity with water soluble Si, were higher and significant ( $r = 0.5^*$  and  $r = 0.44^*$ ). Silicon extraction by 0.02M CaCl<sub>2</sub> was found to lie in the range of 3.7 to 20.8 mg.kg<sup>-1</sup> and was intermediate between the solubility of quartz and amorphous silica.

West of Guilan and sepeed rood catchments were found to have relatively more water soluble Si. In Fomanat region such values were less than any other region. These trends were similar to clay contents distributions in this region. In sepeed rood catchments due to vehicle transportation and deposition of clay particles by river and irrigation systems high clay

---

1. Member of scientific board, assitant Prof of Guilan university, member of scientific board and experts of Rice Research Institute of Iran, respectively

contents were seen. The clay contents of west Guilan were also high due to alluvial deposition.

Aluminosilicate minerals dominate these clay fractions that can attain equilibrium with high levels of Si in soil solution. Fomanat region soils formed on ancient coastal and river alluvial depositions, have low clay contents that attain equilibrium with low levels of Si in soil solution.