

## بررسی وضعیت سیلیسیوم در شالیزارهای استان گیلان

ناصر دوات گر، علیرضا علی اکبر، عباس شهدی کومله، مریم پیکان و مسعود احمدی پور<sup>\*1</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 (6 میلی گرم در کیلوگرم) و عصاره گیری شده با استات سدیم (40 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 دارتری با Si محلول دارند ( $r = 0/84^{***}$ ). سیلیسیوم عصاره گیری شده توسط CaCl<sub>2</sub> دو صدم مولار در دامنه 3/7 و 20/8 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 شبکه های آبیاری منشعب از آن و در ناحیه گیلان غربی به دلیل رسوبات آبرفتی دامنه ای، مقدار رس و در نتیجه کانیهای آلومینوسیلیکات بیشتر از بقیه نواحی است و در نتیجه با حد بالایی از غلظت Si محلول در تعادل می باشد. خاکهای ناحیه فومنات با توجه به آنکه دارای منشأ رسوبات ساحلی قدیمی و آبرفتی رودخانه ای می باشد دارای مقدار رس کمتری بوده و در نتیجه با غلظت های کمتری از Si به تعادل می رسند.

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

### مقدمه

از نظر تغذیه گیاهان، سیلیسیوم عنصری ضروری برای گیاهان محسوب نمی گردد. اما گیاه برنج به عنوان جمع کننده سیلیسیوم شناخته می شود (Mgaki و Takahadhi, 1990) 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 (Yoshida, 1975). 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

میزان سیلیسیوم (Si) در پوسته زمین بعد از آلومینیوم قرار دارد. بیش از 60 تا 80 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 (Si(OH)<sub>4</sub>) است که در pH > 9/4 یونیزه می شود اما در pH بین 2 تا 9، حلالیت آن مستقل از pH است (McKeague و Cline, 1963).

1- به ترتیب عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات برنج، استادیار دانشکده علوم دانشگاه گیلان، عضو هیئت علمی و کارشناسان مؤسسه

تحقیقات برنج

\*- وصول: 82/12/9 و تصویب: 84/10/24

Winslow و همکاران (1997) 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 می‌دانند. یزدانی (1381) 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 58/9 کیلوگرم در هکتار برآورد نمود که از این مقدار 21/8 کیلوگرم آن برای گیاه قابل استفاده بود.

صائب و همکاران (1380) با مقایسه مقاومت تعدادی از ژنوتیپهای برنج استان گیلان نسبت به کرم ساقه‌خوار نواری برنج و بررسی نقش سیلیس در ایجاد این مقاومت، همبستگی منفی ضعیفی بین مقدار سیلیس موجود در ساقه و میزان خوشه‌های برنج سفید شده مشاهده نمودند. پاداشت دهکایی (1378) 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. شهدی کومله (1379) 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 معنی‌دار داشته است. این تحقیق تلاش دارد تا با برآورد پارامترهای آماری Si و خواص فیزیکوشیمیایی مرتبط با آن، اثرات متقابل این خواص بر متغیر موردنظر و پیش‌بینی کانیهای کنترل‌کننده فعالیت یون Si در خاک، وضعیت این عنصر را در شالیزارهای استان گیلان بررسی نماید.

### مواد و روشها

با استفاده از دستگاه GPS (تعیین‌کننده مختصات جغرافیایی) یکصدونه نمونه خاک سطحی (از عمق صفر تا سی سانتیمتر) با پراکنندگی جغرافیایی یکنواخت در شالیزارهای استان گیلان انتخاب و نمونه‌برداری شدند. بعد از هوا خشک نمودن، آسیاب و عبور از الک 2 میلی‌متری، 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، اندازه‌گیری شدند.

جهت عصاره‌گیری Si محلول در آب از روش هسه<sup>1</sup> استفاده گردید Hesse, 1971. برای این منظور ابتدا

(*Pyricularia grisea*) با افزایش قابلیت استفاده Si تا اندازه زیادی کاهش می‌یابد Yamauchi و Winslow 1987.

در بررسی آزمون خاک برای ارزیابی قابلیت استفاده Si برای گیاه برنج با استفاده از نمونه خاکهای هواخشک شده با پتانسیل ردکس (Eh) بالا نکته‌ای که باید در نظر گرفت این است که با غرقاب شدن خاک و کم شدن پتانسیل ردکس غلظت Si محلول کمی افزایش و سپس به تدریج کاهش می‌یابد و بعد از چند ماه تحت شرایط غرقابی غلظت آن ممکن است به کمتر از غلظت اولیه در شروع غرقاب برسد. افزایش غلظت بعد از غرقاب ناشی از اثر CO<sub>2</sub> بر آلومینوسلیکاتها 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 آلومینوسلیکاتها، بدنبال کم شدن PCO<sub>2</sub> باشد Ponnampereuma, 1972. 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 نیم‌حاره‌ای و گرم، خاکهای آلی با ذخیره ناچیز سیلیسیوم معدنی و خاکهای بشدت هوا دیده و آبشویی یافته نواحی حاره‌ای احتمال کمبود Si وجود دارد Doberman و Fairhurst 2000 Nonaka و Takahashi (1988) ضمن بررسی روشهای مختلف عصاره‌گیری 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. 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 غیرقابل جذب را حل نماید (فاکتور شدت و ظرفیت). بنابراین هر دو روش استخراج ممکن است اطلاعات مفید ولی متفاوتی ارائه دهد (20). خاکهای اراضی آپلند برنج<sup>1</sup> در رده اُکسی‌سول Winslow و همکاران 1997 و هیستوسول Deren و همکاران 1994 نیز از اراضی می‌باشند که قابلیت استفاده سیلیسیوم در آنها کم می‌باشد. Winslow (1992) 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 می‌دهند Winslow, 1992.

کربن آلی در دامنه 0/19 تا 7/05 درصد قرار دارد و میانگین آن 2/26 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 بیشتر طول سال از آب اشباع گردند و کربن آلی بعلت کندی فرآیند تجزیه، تجمع یابد. ظرفیت تبادل کاتیونی در دامنه 10 تا 56 و میانگین آن 32 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 1 و نمودار 1- 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 غیریکنواخت تری 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 هوازدگی 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 نشان دهنده این است که متغیرهای اشاره شده پایدار بوده و کمتر تحت تاثیر عملیات مدیریتی قرار گرفته‌اند (جدول 1).

خاک از الک 100 مش عبور داده شد. از هر نمونه خاک در دو تکرار یک گرم خاک توزین و در ظروف پلی‌اتیلن ریخته شد و به آن 50 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. پس از یکساعت تکان دادن توسط دستگاه شیکر در 125 دور در دقیقه، بمدت 16 ساعت در انکوباتور در دمای 26 درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از سانتریفوژ نمودن بمدت 10 دقیقه در 2000 دور، محلول رویی جهت حصول حداکثر شفافیت مجدداً از کاغذ صافی واتمن 42 عبور داده شد.

جهت پیش‌بینی اینکه غلظت یون Si در دامنه حالیت Si کوارتز تا آمورف قرار دارد، از روش پیشنهادی الگاواری و لیندسی استفاده شد Elgawharg و Lindsag, 1972. محلول  $CaCl_2$  با غلظت 0/02 مولار تهیه شد و با توجه به pH خاکهای نمونه برداری شده، pH آن در دو محلول جداگانه در 6 و 7 تنظیم گردید. سپس در دو تکرار از هر نمونه خاک سوسپانسیونی از 10 گرم خاک و 20 میلی‌لیتر  $CaCl_2$  با غلظت 0/02 مولار تهیه و بعد از 4 ساعت تکان دادن با دستگاه شیکر مدل فوق در 150 دور در دقیقه با کاغذ صافی واتمن 2 صاف گردید.

جهت اندازه‌گیری Si قابل جذب از محلول بافر استات سدیم نرمال (pH=4) استفاده گردید. در 46 نمونه از خاکهای مورد مطالعه (از هر نمونه در دو تکرار) سوسپانسیونی با نسبت 10 به 1 از خاک و محلول استات سدیم نرمال (pH=4) تهیه و بمدت 90 دقیقه در دمای 60 درجه سانتی‌گراد قرارداده شد و پس از آن بوسیله کاغذ صافی واتمن 2 عصاره‌گیری شد Jenes, 1982.

غلظت Si در کلیه عصاره‌های فوق با استفاده از روش رنگ‌سنجی آبی هتروپولی<sup>1</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 1 نشان می‌دهد که میانگین سیلت نسبت به شن و رس بیشتر است. واریانس که معیاری از پراکندگی مقادیر در اطراف میانگین است برای شن در مقایسه با سیلت و رس بیشتر است.

pH خاکها در دامنه 5/3 تا 8/2 قرار دارد و میانگین آن 7/2 است. pH در خاکهای اسیدی بعد از غرقاب افزایش و در خاکهای آهکی کاهش می‌یابد.

<sup>1</sup>. Colorimetric heteropoly blue

جدول 1- پارامترهای آماری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی در خاکهای مورد مطالعه

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	واریانس	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	توزیع فراوانی
شن	(%)	4	88	24/33	242/8	64	1/4976 ***	2/6388 ***	نرمال
سیلت	(%)	6	66	47/4	104/06	21/5	-0/8391 ***	1/7532 ***	نرمال
رس	(%)	6	54	29/6	25/78	17/2	0/0256 ns	-0/5499 ns	نرمال
کربن آلی	(%)	0/19	7/05	2/26	1/13	47	1/7283 ***	5/8586 ***	نرمال
CEC	(Cmolekg <sup>-1</sup> )	10	56	32/33	85/61	28/6	-0/14 ns	0/4058 ns	نرمال
pH		5/3	8/2	7/02	0/397	9	-/5051 *	-0/6716 ns	نرمال
Si محلول در آب <sup>(1)</sup>	(mgkg <sup>-1</sup> )	9/5	125/4	70/06	659/53	36/6	0/0398 ns	-0/5631 ns	نرمال
Si-NaOAc, pH= 4 <sup>(2)</sup>	(mgkg <sup>-1</sup> )	69	592	251/3	1911/6	54	1/51 **	0/5712 ns	نرمال
Si-CaCl <sub>2</sub> (0/ 02 M) <sup>(3)</sup>	(mgkg <sup>-1</sup> )	3/7	20/8	9/96	15/06	39	0/833 ***	0/222 ns	نرمال

(1): سیلیسیوم عصاره‌گیری شده به روش هسه

(2): سیلیسیوم استخراج شده به وسیله محلول بافر استات سدیم (pH=4)

(3): سیلیسیوم استخراج شده به وسیله کلرید کلسیم 0/02 مولار

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 پله‌ای مورد برازش قرار گرفت. همبستگی هریک از متغیرهای pH، کربن آلی، سیلت و شن با Si محلول در آب ضعیف و غیرمعنی‌دار است (به ترتیب  $r=0/16$ ،  $r=0/19$ ،  $r=0/23$  و  $r=0/22$ ). همبستگی بین هریک از متغیرهای ظرفیت تبادل کاتیونی و رس با Si محلول نسبتاً ضعیف اما معنی‌دار است (به ترتیب  $r=0/4*$  و  $r=0/5*$ ). اثر توأم متغیرهای فوق رابطه نسبتاً قوی‌تری در مقایسه با اثر هر متغیر بر سیلیسیوم محلول در آب بشرح زیر نشان داد:

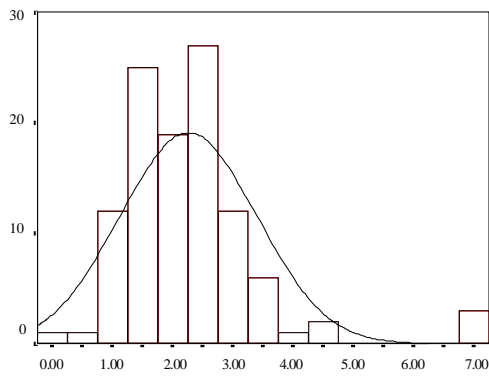
$$\text{Water soluble Si (mg.kg}^{-1}\text{)} = 1/483 - 0/07 \text{ Silt} - 0/054 \text{ Sand} + 4/469 \text{ OC} + 2/727 \text{ pH} + 0/166 \text{ Clay}$$

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

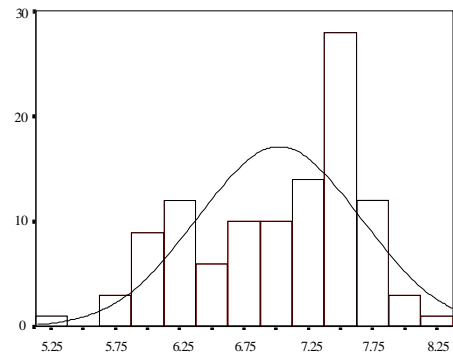
با افزایش کربن آلی و منجمله اسیدهای آلی حلالیت کانیهای سیلیکاته افزایش می‌یابد. حلالیت بیشتر سیلیسیوم در حضور اسیدهای آلی ناشی از اثر کلاته‌کننده آن است Chang، 1978. از طرف دیگر سرعت انحلال با افزایش مقدار رس زیاد می‌گردد که عمدتاً بدلیل افزایش سطح ویژه ذرات است. بین Si محلول در آب و Si عصاره‌گیری شده با استات سدیم هیچگونه رابطه خطی و غیرخطی معنی‌دار وجود ندارد و از میان خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تنها pH همبستگی معنی‌دار اما نسبتاً ضعیف با Si عصاره‌گیری شده با استات سدیم دارد ( $r = 0/4 *$ ).

دامنه Si محلول در آب (9/5 تا 125/4 میلی‌گرم در کیلوگرم) و میانگین آن (70/06 میلی‌گرم در کیلوگرم) از حد بحرانی پیشنهادی Winslow و همکاران 1997 (بزرگتر از 6 میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر است. سیلیسیوم عصاره‌گیری شده با استفاده از محلول بافر استات سدیم مولار در دامنه 147 تا 1265 میلی‌گرم در کیلوگرم و میانگین آن 541/32 میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. به نظر می‌رسد در این روش بخشی از Si موجود در اجزاء کانیهای با درجه کریستالی شدن پایین یا کانیهای آمورف، استخراج شده باشد.

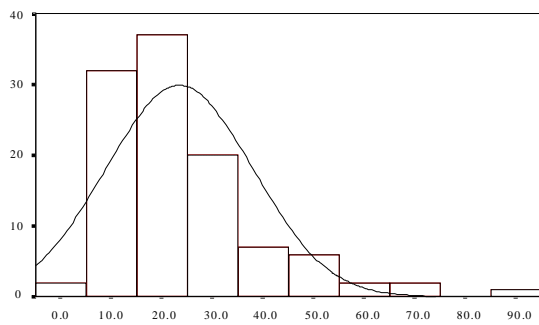
Jones (1982) نسبت  $\text{SiO}_2$  به ماده آلی را به عنوان شاخص مناسبی برای تصمیم‌گیری در مصرف کود سیلیکاته در گیاه برنج پیشنهاد نمود. براساس پیشنهاد وی اگر این نسبت بیش از 100 باشد می‌بایستی به خاک مواد آلی اضافه نمود و در مقادیر کمتر از آن نیاز به مصرف کود سیلیکاته می‌باشد. در 17 نمونه از خاکهای مورد مطالعه که عمدتاً در ناحیه گیلان غربی قرار دارند این نسبت کمتر از 100 است. Doberman و Fairhurst (2000) حد بحرانی Si قابل جذب برای گیاه برنج، عصاره‌گیری شده با استفاده از محلول بافر استات سدیم مولار را 40 میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام نمودند، که براین اساس تمامی نمونه‌های مورد مطالعه غلظتی بیش از حد بحرانی نشان دادند.



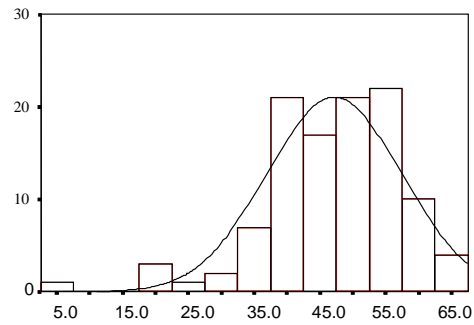
ب- کربن آلی



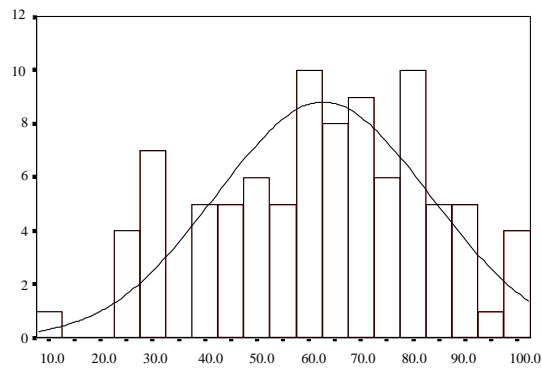
الف - pH



د- شن



ج- سیلت



ه- سیلیسیوم محلول در آب

نمودار 1- توزیع فراوانی متغیرهای الف (pH ، ب) کربن آلی ، ج) لای ، د) شن و ه) سیلیسیوم محلول در آب

نتایج بدست آمده یافته‌های الگواروی ولیندسی را تأیید می‌کند Lindsay و Elgawhary, 1972. اما تعیین دقیق کانی یا کانیهای کنترل‌کننده فعالیت یون Si نیازمند اندازه‌گیری پارامترهای بیشتری است، زیرا شیمی سیلیسیوم بسیار پیچیده و رسیدن به روابط تعادلی اغلب مشکل است (نقل از Lindsay, 1972). غلظت Si در خاکها بوسیله فرآیندهای پویایی کنترل می‌گردند و در این میان حصول شرایط لازم برای رسیدن به تعادل پیش از آنکه قانون باشند، یک استثناء است. این احتمال وجود دارد که فرآیندهای سنتیک بیش از ترمودینامیک سطح فعالیت Si محلول در خاک را کنترل کند Govertt, 1961.

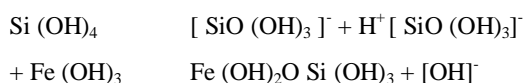
از آنجا که در کانیهای اولیه عموماً نسبت  $\frac{Si}{Al}$  مقایسه با کانیهای ثانویه بالاتر است، سیلیسیوم آزاد شده از آنان در جریان هودایدگی باعث ابقاء  $H_4SiO_4^0$  در محدوده بین غلظت تعادلی لازم بین آمورف و کوارتز می‌گردد. در خاکهایی که هودایدگی شدید دارند، سیلیسیوم در نتیجه فرآیند دی‌سیلیکیشن از خاک آبشویی یافته و در نتیجه ابتدا کائولینیت و در نهایت گیبسیت به کانی پایدار تبدیل می‌گردد. Lindsay (1979) معتقد است که اگر غلظت  $H_4SiO_4^0$  به کمتر از  $10^{-5/31}$  مول برسد آنگاه در چنین شرایطی آلومینوسیلیکاتها ناپایدار و گیبسیت کانی پایدار خواهد شد.

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.

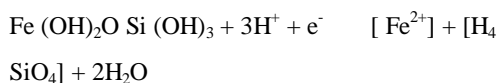
نکته مهم در این رابطه این است که اگر غلظت  $H_4SiO_4^0$  بیش از  $10^{-5/31}$  مولار باشد، فعالیت یون  $Al^{3+}$  به تنهایی توسط pH کنترل نمی‌گردد. بعنوان مثال اسمکتیت کانی غالب در اکثر خاکهای استان گیلان می‌باشد که در غلظت زیاد  $H_4SiO_4^0$  و pH بالا تشکیل می‌گردد. در چنین خاکهایی فعالیت یون  $Al^{3+}$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

ترابی گلسفیدی (1380) با اندازه‌گیری Si آمورف و آزاد در افقهای 16 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 مادری خاکهای شالیزاری واقع در

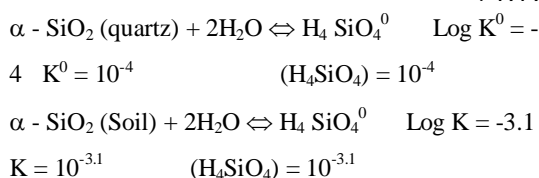
سسکوی اکسیدها و فیلسیلیکاتها جزء مهمی از سیستم‌های خاک هستند که نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین غلظت Si در خاک دارند. سسکوی اکسیدها ظاهراً بعنوان چاهک<sup>1</sup> سیلیسیوم محلول عمل می‌نمایند و به مقدار زیاد سرعت انحلال سیلیکات را افزایش می‌دهند. از میان سسکوی اکسیدها می‌توان به هیدروکسید آهن (III) اشاره نمود که بیشترین ظرفیت را در خاک برای جذب سیلیسیوم محلول نشان می‌دهد که این جذب وابسته به pH است و بوسیله واکنش زیر مشخص می‌گردد Dress و همکاران 1989:



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



Si عصاره‌گیری شده توسط محلول  $CaCl_2$  با غلظت‌های 3/7 تا 20/8 و با میانگین 9/96 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک قرار دارد (جدول 2). با توجه به واکنش‌های زیر Lindsay, 1979:



حداقل و حداکثر Si در نمونه‌های اندازه‌گیری شده حدواسط بین غلظت تعادلی لازم برای حلالیت کوارتز و  $SiO_2$  (Soil) قرار دارد:

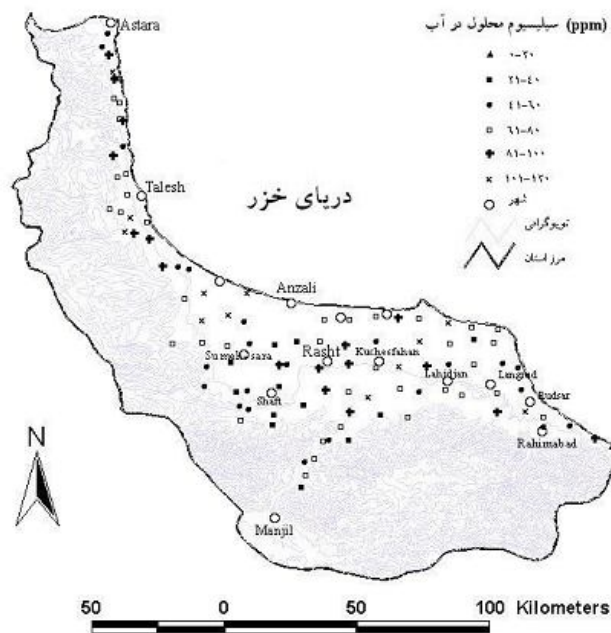
$$3.7mgSi \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{96grH_4SiO_4}{28grSi} \times \frac{1mole}{96grH_4SiO_4} = 10^{-3.87} \Rightarrow 10^{-3.87} > 10^{-4}$$

$$208mgSi \times \frac{1gr}{1000mg} \times \frac{96grH_4SiO_4}{28grSi} \times \frac{1mole}{96grH_4SiO_4} = 10^{-3.12} \Rightarrow 10^{-3.12} < 10^{-3.1}$$

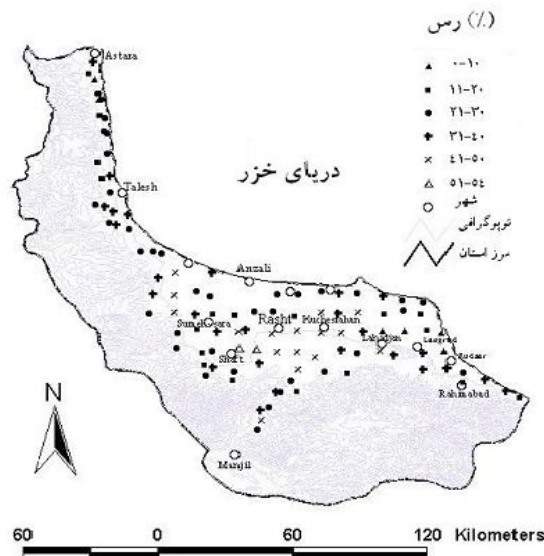
بالا بودن مقدار رس در حوزه آبخیز رودخانه سپیدرود ناشی از انتقال ذرات رس توسط این رودخانه و شبکه‌های آبیاری منشعب از آن و رسوب آن در خاکهای شالیزاری می‌باشد. در شالیزارهای غرب گیلان نیز افزایش مقدار رس ناشی از رسوبات آبرفتی دامنه‌ای است که با توجه به ماهیت آلومینوسیلیکاته این کانیها با حد بالایی از غلظت 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.

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. 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 200 هکتار از اراضی شالیزاری (معادل 0/24 درصد کل اراضی) واقع در شرق گیلان دارای افق هیستیک می‌باشند و در آنها احتمال کمبود Si متصور است (مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی 1355 منطقه شرق و غرب گیلان).

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 کوجصفهان) از بقیه مناطق بیشتر است. کمترین غلظت Si محلول در آب در خاکهای ناحیه فومنات (شامل شهرستانهای شفت و صومعه‌سرا) وجود دارد (شکل 1). 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 2).



شکل 1- نقشه توزیع جغرافیایی داده‌های سیلیسیوم محلول در آب (ppm) در شالیزارهای استان گیلان



شکل 2- نقشه توزیع جغرافیایی داده‌های رس (% در شالیزارهای استان گیلان

### سپاسگزاری

نگارندگان از همکاران آزمایشگاه خاک و تغذیه و سرکار خانم بصیری به خاطر همکاری‌های بی‌دریغ و ایشان تشکر می‌نمایند، همچنین از آقای دکتر ترابی گلسفیدی به خاطر ارائه نظریات ارزنده‌شان قدردانی می‌گردد.

### فهرست منابع:

1. پاداشت دهکایی، ف. 1378. آثار نیتروژن و سیلیس روی بیماری بلاست برنج. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 30، شماره 4: 742 - 735.
2. ترابی گلسفیدی، ح. 1380. پیدایش، رده‌بندی و ارزیابی تناسب اراضی خاکهای اراضی خیس برای کشت برنج در شرق استان گیلان. پایان‌نامه دکتری. دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان: 179-174.
3. شهدی کومله، ع. 1379. بررسی تأثیر متقابل کاربرد سیلیسیوم و فسفر در وضع ظاهری، عملکرد و برخی خصوصیات شیمیایی خاک شالیزار. گزارش نهایی. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت: 14.
4. صائب، ح. ق. نوری قنبلانی و غ. رجبی. 1380. 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 7، شماره 4، ص: 25-17.
5. یزدانی، م. 1381. بررسی میزان آورد سیلیسیوم توسط شبکه آبیاری سپیدرود. گزارش نهایی. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت: 16.
6. مطالعات خاکشناسی نیمه تفضیلی مناطق شرق و غرب گیلان. 1355. وزارت نیرو. امور توسعه منابع آب: 42 و 122.
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. Philippines
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. ed 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. *Japanese. 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. Datnoff. 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. philippines