

سازمان
بسیج علمی، پژوهشی و فناوری
استان گلستان



عنوان طرح

تولید نانوذرات سیلیس از خاکستر گیاه دم اسب با قابلیت
ارتقاء مقاومت مکانیکی خاک‌های تورم‌پذیر

نام پژوهشگر :

آیدین پارساخو

این طرح توسط سازمان بسیج علمی، پژوهشی و فناوری استان گلستان حمایت شده است

بهمن ۱۳۹۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تعهدنامه مالکیت معنوی

بسمه تعالی

اینجانب آیدین پارساخوفرزند اصغردارای شماره ملی ۲۱۶۱۸۵۰۶۳۶ تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این طرح تحت عنوان "تولید نانوذرات سیلیس از خاکستر گیاه دم‌اسب با قابلیت ارتقاء مقاومت مکانیکی خاک‌های تورم‌پذیر" حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص سازمان بسیج علمی، پژوهشی و فناوری مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) بر عهده‌ی اینجانب خواهد بود و سازمان بسیج علمی، پژوهشی و فناوری هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: آیدین پارساخو

امضا و تاریخ: ۹۶/۱۱/۱

چکیده

در این طرح تحقیقاتی ضمن معرفی گیاه دم‌اسب *Equisetum* به‌عنوان یک منبع گیاهی غنی از سیلیس که در نواحی مرطوب شمال کشور به‌وفور یافت می‌شود، روش شیمیایی ساده و مقرون‌به‌صرفه‌ای نیز جهت تولید نانوذرات سیلیس از آن ارائه گردید. ابتدا جرم مشخصی از بندهای ساقه دم‌اسب در دمای ۵۸۰ درجه‌سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل شده و پس از رفلاکس با اسید نیتریک و اسید سولفوریک ذرات فلزی و معدنی آن به‌صورت نمک‌های محلول خارج شد. ماده حاصل در محلول ۲/۵ درصد سود داغ حل شد. نانوذرات کلوئیدی سیلیس پس از اضافه نمودن اسید کلریدریک به محلول سیلیس (آب شیشه) ایجاد گردید. اندازه نانوذرات حاصل بر اساس مشاهدات میکروسکوپ الکترونی حدود ۸۰ نانومتر تأیید شد. برای بررسی اثر نانوسیلیس تولید شده بر خاک رس تورم‌پذیر از نوع رسی خیلی خمیری (CH) و رسی با خمیری کم (CL)، درصد‌های وزنی ۰، ۱، ۲، ۳ و ۴ نانوسیلیس به خاک افزوده شد. همچنین در این تحقیق اثر ترکیب نانوسیلیس و خاکستر ساقه دم‌اسب در نسبت‌های وزنی ۰/۵٪، ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۴٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۷۰٪، ۸۰٪، ۹۰٪ و ۱۰۰٪ نانوسیلیس+خاکستر بر خواص مکانیکی خاک در سه دوره عمل‌آوری ۷، ۱۴ و ۲۸ روز بررسی گردید. نتایج آزمایشات مکانیک خاک نشان داد که با افزایش درصد نانوسیلیس و زمان عمل‌آوری حدود روانی و خمیری، مقاومت تک‌محوری محصور نشده و رطوبت بهینه خاک افزایش و شاخص خمیری و حداکثر تراکم خشک خاک کاهش یافت. مشخصات مکانیکی خاک با افزودن ۳ درصد نانوسیلیس به‌طور معنی‌داری دست‌خوش تغییر شد. یافته‌های تحقیق نشان داد که ۱۵٪، ۳۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۷۰٪، ۸۰٪، ۹۰٪ و ۱۰۰٪ نانوسیلیس+خاکستر به ترتیب بهترین عملکرد را روی اصلاح خواص مکانیکی خاک CH و CL داشتند.

واژه‌های کلیدی: نانوسیلیس، گیاه دم‌اسب، خاکستر، مکانیک خاک، رس تورم‌پذیر

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه و کلیات	۱
۱-۱ تعریف مسئله	۲
۲-۱ ضرورت و اهمیت اجرای طرح	۴
۳-۱ کاربردهای طرح	۵
۴-۱ اهداف اصلی و فرعی طرح	۵
۵-۱ سؤالات یا فرضیه‌های تحقیق	۶
۶-۱ کلیات	۶
۱-۶-۱ خاک	۶
۲-۶-۱ سیلیس	۸
فصل دوم - پیشینه تحقیق	۱۰
۱-۲ مرور منابع خارجی	۱۱
۲-۲ مرور منابع داخلی	۱۲
فصل سوم - مواد و روش‌ها	۱۶
۱-۳ نمونه‌برداری و مشخصات خاک مورد مطالعه	۱۷
۲-۳ تولید نانوذرات سیلیس از خاکستر گیاه دم‌اسب	۱۸
۳-۳ آماده‌سازی تیمارها	۲۰
۴-۳ آزمایش‌های مکانیک خاک	۲۱
۵-۳ روش تحلیل داده‌ها	۲۴

فصل چهارم - نتایج و بحث	۲۵
۱-۴ مشخصات نانوسیلیس مستخرج از گیاه دم اسب	۲۶
۲-۴ مشخصات نمونه خاک مورد آزمایش	۲۷
۳-۴ تأثیر زمان عمل آوری بر خواص مکانیکی خاک	۲۹
۴-۴ تأثیر درصد افزودن نانوسیلیس بر خواص مکانیکی خاک	۳۲
۵-۴ تأثیر اختلاط نانوسیلیس و خاکستر دم اسب بر خواص مکانیکی خاک	۳۶
منابع	۴۲

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ تعریف مسئله

در ایران معادن متعددی وجود دارد که کلوخه سیلیس را از آن‌ها استخراج می‌کنند. یکی از راه‌های تهیه نانوسیلیس از کلوخه، روش مکانیکی آسیاب گلوله‌ای است که در آن پودر اولیه سیلیس را به مدت ۱۰ ساعت در دستگاه Mill Ball Planetary خرد و به مقیاس نانومتر (کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر) تبدیل می‌کنند (۱۶). در این فرآیند، شکستن پیوندهای کووالانسی بسیار قوی بین سیلیکون و اکسیژن بسیار سخت و پرهزینه می‌باشد (۳). شیمی‌دانان با استفاده از پراکنده‌های شیمیایی (Disperser) نیز توانستند به ذرات نانومتری سیلیس دست یابند. پراکنده موادی هستند که مانند پلی میان اتم و مولکول قرار می‌گیرند و از ایجاد پیوندهای قوی بین آن‌ها جلوگیری می‌کنند (۴). این‌گونه روش‌های شیمیایی سنتز نانوذرات سیلیس بسیار پرهزینه‌اند. نانوسیلیس پودری تولید شده به این روش‌ها با اندازه ۳۰-۱۰ نانومتر و با درجه خلوص بیش از ۹۹ درصد توسط شرکت‌های مختلف به فروش می‌رسد. قیمت این محصولات کیلویی بیش از ۱۰۰۰۰۰ تومان است. بنابراین، لازم است منابع مقرون به‌صرفه‌تر و روش ساده‌تری برای تولید نانوسیلیس اندیشیده شود (۵). یکی از این منابع، گیاه دم اسب است. دم اسب گیاهی است که به‌عنوان جاذب فلزات از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

مطالعاتی که در آمریکا روی دم‌اسب انجام شده است نشان می‌دهد که در پیکره گیاه مقدار بسیار ناچیزی طلا (۰/۱۷ ppm) وجود دارد. این رقم در آلاسکا ۰/۵۴ ppm ثبت شد. عناصر دیگری نظیر روی، کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم، سدیم، گوگرد و آهن نیز در این گیاه یافت می‌شود. دم اسب چون دارای مقدر زیادی سیلیس می‌باشد بنام سیلیس Silica نیز معروف است (۱۷). محققان دریافتند که در دم‌اسب‌های مسن حداکثر ۸۳/۵ درصد SiO_2 یافت می‌شود که میزان سیلیس خالص مستخرج از خاکستر گیاه بیش از ۴۰ درصد است. خاکستر دم‌اسب ۲۷-۱۲ درصد وزن اولیه می‌باشد. گیاه عنصر سیلیس را به‌صورت اسید سیلیسیک از خاک دریافت می‌کند. سیلیس در تمام سطح لایه اپیدرم گیاه به‌ویژه با غلظت‌های بیشتر در محل

گره‌ها ته‌نشین می‌شود. بیشترین غلظت سیلیس در گره‌های انتهایی (۳۳٪)، قسمتی در لایه اپیدرم (۱۷٪) و بخشی نیز در گره‌های پایین‌تر (۶٪) یافت می‌شود. تقریباً در بخش‌های داخلی هیچ سیلیسی یافت نمی‌شود (۶). با توجه به موارد اشاره شده می‌توان دم اسب را یک منبع گیاهی ارزان، مناسب و با فرمولاسیون ساده در تولید نانوسیلیس در نظر گرفت (۱۸).

یکی از موارد کاربرد نانوذرات بهبود بخشیدن خواص مکانیکی خاک‌های ناپایدار رسی و بتن است. خاک‌های ریزدانه رس‌دار با فراوانی گسترده در سطح کشور، مشکلات زیادی در پروژه‌های ساختمانی به‌ویژه جاده‌سازی ایجاد کرده‌اند (۱). کانی‌های رسی، سیلیکات‌های آلومینیوم پیچیده‌ای می‌باشند که از واحدهای چهار وجهی سیلیس یا هشت وجهی آلومین تشکیل یافته‌اند. هر واحد چهار وجهی مرکب از چهار اتم اکسیژن می‌باشد که یک اتم سیلیکون را در بر گرفته‌اند. این کانی‌ها معمولاً به حالت بلور یافت می‌شوند (۱۹). بلورهای کانی‌های رسی در ردیف ذرات کلوئیدی ۰/۰۰۱ تا ۱ میکرون قرار داشته و اندازه بسیار کوچک و شکل پهن و نازک این بلورها عامل مهمی در بسیاری از خواص اصلی کانی‌های رسی است (۲۰). در جنگل‌های شمال کشور نیز به‌دلیل بارندگی زیاد، بالا بودن سطح آب‌های تحت‌الارض، عدم زهکشی مناسب و همچنین فراوانی خاک‌های رسی و یا رس‌دار، با مسئله تورم این خاک‌ها مواجه بوده که به نوبه خود باعث بوجود آمدن بیش از حد تغییر شکل‌های قائم روی بستر راه و در نتیجه خرابی روسازی جاده می‌شود (۲). لذا بهبود مشخصات فنی خاک‌های تورم‌پذیر و افزایش مقاومت آنها برای قابل استفاده کردن در یک کاربرد معین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به روش‌های گوناگون مانند تثبیت مکانیکی، بیولوژیکی، فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی انجام می‌شود (۸). نانوذرات با داشتن برخی خواص فیزیکی شامل افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم و اثرات کوانتومی باعث غلبه رفتار اتم‌های واقع در سطح ذره به رفتار اتم‌های درونی می‌شود (۱۰ و ۱۱). مساحت سطحی زیاد نانوذرات باعث تعاملات زیاد با مواد مخلوط شده در اطراف با توجه به این خصوصیات، با بکارگیری نانوذرات در خاک‌های تورم‌پذیر می‌توان خواص مکانیکی آنها را بهبود بخشید (۲۱).

۱-۲ ضرورت و اهمیت اجرای طرح

با توجه به دشواری و هزینه نسبتاً بالای تولید نانوذرات سیلیس، تاکنون تلاش‌های زیادی برای یافتن روش‌های مقرون به صرفه بکار گرفته شده است. پژوهشگر تایوانی با نام زونگ هرنگ لیو (۲۰۰۴) برای اولینبار این ذرات را از شلتوک برنج سنتز کرد که از روش‌های بسیار ارزان قیمت به شمار می‌رود. پوسته برنج یکی از پسماندهای کشاورزی است که دارای محتوای بالایی از سیلیس بی‌شکل می‌باشد. اما وجود ناخالصی‌های یون‌های فلزی و کربن نسوخته در پوسته برنج بر روی درجه خلوص و رنگ محصول تولیدی اثر سوء دارد (۷).

دم‌اسب از معدود گیاهانی است که ساقه و برگ آن سرشار از عنصر سیلیس است اما به دلیل مسائل اکولوژیکی و پراکنش جغرافیایی محدود این گیاه، محققان تاکنون نسبت به استخراج نانوذرات سیلیس از آن اقدام ننمودند. آزمایشات اسپکتروسکوپی حضور حداقل دو نوع ترکیب سیلیسی را در دم‌اسب تأیید می‌کند (۲۲). نوع اول سیلیس هیدراته آمورف خالص است که تنها در گره‌های انتهایی وجود دارد و نوع دوم که در مجاور دیواره سلول‌های اپیدرمی یافت می‌شود فاقد گروه‌های سیلانول بوده و همراه با پلی‌ساکاریدهایی چون سلولز، همی‌سلولز و پکتین و سایر ترکیبات غیرآلی قابل مشاهده است. ذرات سیلیس ظاهری صفحه‌ای داشته و ضخامت آن ۲ نانومتر است. نانوسیلیس مستخرج از گیاه در حالت معلق در آب با داشتن خاصیت ضدسایش، ضد لغزش، ضد حریق و ضد انعکاس سطوح کاربردهای صنعتی دارد (۲۳). امروزه کاربرد روش‌های بیومهندسی در کارهای عمرانی به دلیل رعایت مسائل محیطی از اولویتهای خاص برخوردار است (۶). از جمله می‌توان به افزایش مقاومت سازه‌ها و تثبیت خاک به کمک نانوذرات اشاره کرد. در صنعت بتن، سیلیس یکی از معروفترین موادی است که نقش مهمی در چسبندگی و پرکنندگی بتن با عملکرد بالا ایفا می‌کند. لذا ضروریست تا نسبت به تولید نانوذره سیلیس که یک نانوذره پرکاربرد است از بندهای ساقه گیاهان دم‌اسب مسن اقدام شود (۳۵).

۱-۳ کاربردهای طرح

ذرات سیلیس در صنایعی چون الکترونیک، کاتالیزورها، پوشش و رنگ‌دانه نیز کاربرد وسیعی دارند (۱۰). در مهندسی راه و ساختمان به دلیل نگاه ماکروسکوپی به مصالح به ویژه خاک، متأسفانه اثر دانش نانو تکنولوژی و عملکرد آن پنهان مانده است (۱۲). علاوه بر این از آنجایی که پژوهش در نانو فناوری بین رشته‌ای است و گستره موضوعات مختلف شیمی و فیزیک را شامل می‌شود، پژوهشگران باید دانشی فراتر از تخصصشان در اختیار داشته باشند تا بتوانند در این رشته مهم و جدید سهم شونند (۱۱). نانوذره سیلیس به دلیل بزرگ بودن مساحت سطح ویژه، بارهای سطحی و گاهی اوقات نانوحفرات آنها قادر است تأثیرات اساسی روی رفتار فیزیکی، شیمیایی و خواص مکانیکی خاک بگذارد (۷). کاهش زمان عمل‌آوری و افزایش اطمینان از وقوع فرایند تثبیت خاک یکی از مزیت‌های نانوذرات سیلیس است و می‌تواند به بهسازی خاک و تحکیم سازه‌های مهندسی به ویژه در شرایط سخت و مرطوب جنگل‌های شمال کشور کمک کند (۹). بدین ترتیب ضرورت دارد تا ضمن بررسی اثر نانوسیلیس مستخرج از دم اسب بر خواص مکانیکی خاک، درصد بهینه اختلاط نانوذرات سیلیس با انواع خاک رس شامل رس خیلی خمیری (CH) و رس با خمیرایی کم (CL) شناسایی شود.

۱-۴ اهداف اصلی و فرعی طرح

هدف اصلی: تولید نانوذرات سیلیس با درجه خلوص بالا از خاکستر گیاه دم‌اسب
هدف فرعی: بررسی تأثیر نانوذرات سیلیس تولید شده بر مقاومت مکانیکی خاک رس CH و CL و درصد بهینه اختلاط آن

۱-۵ سوالات یا فرضیه‌های تحقیق

آیا نانوذرات سیلیس مستخرج از گیاه دم‌اسب قادر است مقاومت مکانیکی خاک را به میزان قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشد؟
آیا می‌توان به مقدار کافی و با درجه خلوص بالا نانوذرات سیلیس از خاکستر گیاه دم‌اسب تولید نمود؟

۱-۶ کلیات

۱-۶-۱ خاک

با وجود آنکه خاک‌های گوناگون به عنوان بستر راه و مواد ساختمانی جاده، از نظر لغزش و رانش، فرسایش، حساسیت به یخبندان، زهکشی، قابلیت تراکم و بارگذاری عملکرد متفاوتی را از خود نشان می‌دهند؛ اما به هر حال همه آنها جزء مواد ساختمانی جاده محسوب شده و به نحوی باید از طریق اصلاح دانه‌بندی، تثبیت خاک‌های سطحی با آهک، قیر، سیمان، دیواره‌سازی، گابیون‌بندی و غیره از انواع خاک‌ها هرچند نامناسب در زیرسازی راه‌های جنگلی بهره‌جست (۲۵). گاه به منظور تقویت خاک بستر راه قبل از روسازی، بجای اقدام متداول که همانا برداشتن خاک ضعیف، حمل مصالح مرغوب و جایگزینی آن بجای مصالح نامرغوب بستر است، روش‌های تثبیت مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۴). تغییر عملکرد و خواص مکانیکی خاک به منظور اصلاح کاربرد مهندسی آن به معنی اعم تثبیت خاک نامیده می‌شود. اصلاح عملکرد یا تثبیت خاک برای دستیابی به اهداف زیر انجام می‌شود.

افزایش مقاومت و ظرفیت بارگذاری خاک

تغییر نفوذپذیری

پیشگیری از نشست

انتخاب روش تثبیت خاک به صورت طبقه‌بندی شده امر مشکلی است. مهندس خاک همانند یک پزشک بایستی با توجه به کلیه مسایل فنی - اقتصادی، نیروی انسانی و ماشین‌آلات، تجربه شخصی و نتایج آزمایشات، روش بهینه را انتخاب و اقدام به تثبیت خاک کند. روش‌های اصلاح یا تثبیت بستر جاده عبارتند از متراکم کردن (غلطک زدن)، تثبیت مکانیکی، تثبیت با آهک، سیمان، قیر، مواد پلیمری مانند پلی وینیل استات (PVA)، نانوذرت، CBRPLUS، فرآورده‌های معدنی، نمک‌ها، اسیدها، آنزیم‌ها، افزودنی‌های یونی و لیگنین‌ها و تثبیت با زمین پارچه (۲۶). در بخش ساختمانی جاده جنگلی، نوع مصالح و مقاومت آنها نقش بسیار مهمی در هزینه‌های ساخت و نیز طول عمر جاده ایفا می‌کند. برخی از خاک‌ها به دلیل مشخصات فنی نامطلوب، مشکلاتی را در راه‌سازی ایجاد می‌کنند. بدین ترتیب، مسئله مورد توجه برای مهندسين راه-سازي اين است که به چه ترتیب خاک نامناسب را برای کار موردنظر اصلاح نمایند. در این گونه موارد مسئله تثبیت و اصلاح خاک مورد توجه قرار می‌گیرد. برای پی بردن به روش، نوع و کمیت تثبیت‌کننده‌ها نیاز به مطالعه و مقایسه گزینه‌های مختلف است تا بتوانیم کم‌هزینه‌ترین روش را برای رسیدن به هدف انتخاب کنیم (۲۷).

دلایل تثبیت خاک در راه‌سازی را می‌توان کنترل رطوبت، کنترل گرد و خاک، اصلاح خاک بستر ضعیف، ساخت قشر اساس مناسب با کیفیت عالی، بازسازی جاده، تقلیل هزینه و زمان اجرای کار دانست. باوجود آن که اکثر مهندسين مشاور و پیمانکاران، اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های گوناگون تثبیت و یا اصلاح خاک دارند و درآئین‌نامه‌های راه‌سازی کاربرد آن توصیه شده است؛ اما متأسفانه تاکنون در پروژه‌های معدودی در ایران از این روش‌ها استفاده شده است که دلیل آن عدم وجود ماشین‌آلات مناسب اجرای کار، عدم آشنایی برخی از پیمانکاران به شیوه‌های اجرایی کار، ناآگاهی از فناوری‌های نوین و پرهیز از اجرای کارهای فنی جدید، عدم توفیق در اجرای کارهای قبلی، مسائل مربوط به فاصله حمل مصالح می‌باشد (۲۸).

۱-۶-۲ سیلیس

بر اساس مطالب برگرفته از آزمایشگاه آب و خاک رویانا سیلیسیم دومین عنصر فراوان در پوسته زمین (۲۸ درصد) می‌باشد (۳۰). سیلیسیم به عنوان یک عنصر مفید برای سلامت رشد و توسعه بسیاری از گونه‌های گیاهی به ویژه خانواده گرامینه شناخته شده است. غلظت سیلیسیم در گیاه مشابه عناصر پرمصرف نظیر نیتروژن، فسفر و کلسیم می‌باشد. غلظت سیلیسیم بسته به گونه گیاه بین ۱ تا ۱۰۰ گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه متغیر است. غلظت سیلیسیم در خاک ۰/۱ تا ۰/۶ میلی مولار، تقریباً دو برابر بیشتر از دامنه غلظت فسفر می‌باشد. اگرچه فراوانی سیلیس در خاک زیاد است ولی اغلب منابع آن نامحلول و غیر قابل دسترس برای گیاهان می‌باشد. سیلیسیم در محلول خاک به فرم اسید سیلیسیک (ملکول بدون بار) حضور دارد. میزان سیلیسیم در بیشتر خاکها بین ۵۰ تا ۴۰۰ گرم در کیلوگرم می‌باشد. کوارتز، سیلیکاتهای بلوری، رس‌های ثانویه و سیلیکاتهای بی شکل عمده‌ترین ترکیبات سیلیسیم خاک هستند. اغلب این ترکیبات حلالیت کمی داشته و از نظر شیمیایی غیر فعال می‌باشند (۲۹).

اسید مونوسیلیسیک می‌تواند با آهن، منگنز و آلومینیوم واکنش و سیلیکات‌هایی با حلالیت کم تولید کند. آنیون اسید مونوسیلیسیک می‌تواند جایگزین آنیون فسفات در فسفات‌های کلسیم، منیزیم و آهن شود و از این طریق فراهمی فسفر را افزایش می‌دهد (۳۱). تیمار کردن خاک با ترکیبات حاوی سیلیسیم از نظر ژئوشیمیایی سبب افزایش پایداری مواد آلی، بهبود بافت خاک، افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک، کاهش فرسایش‌پذیری خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه می‌شود. با وجود میزان زیاد سیلیسیم در خاک‌های آهکی، افزایش کود سیلیسیم سبب پاسخ مناسب گیاهان در این خاک‌ها گردیده است (۳۲). گیاهان سیلیس را به فرم مونو سیلیسیک اسید یا آنیون آن از محلول خاک جذب می‌کند. غلظت سیلیسیم در اندام هوایی گیاهان بسیار متغیر و دامنه آن از ۱/۰ تا ۱۰ درصد وزن خشک گیاه می‌باشد. گیاهان تک لپه‌ای بیشتر از گیاهان دولپه‌ای

سیلیسیم جذب می‌کنند. بیشترین جذب سیلیسیم در نیشکر (۳۰۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار)، برنج (۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و گندم (۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) است. گیاهان بیش انباشتگر سیلیس نظیر برنج و چغندر قند، گیاهان با توانایی متوسط نظیر گندم و جو و گیاهان بدون جذب نظیر گوجه فرنگی و لوبیا می‌باشند. اغلب گیاهان خانواده گرامینه مانند گندم، جو و چاودار، سیلیس را با مکانیسم فعال جذب می‌کنند. حدود ۹۰ درصد از سیلیسیم جذب شده توسط آوند چوبی و طی تعرق در گیاه منتقل می‌شود بنابراین غلظت آن در اندام هوایی بیشتر از ریشه می‌باشد (۳۳). غلظت سیلیسیم در گیاه با افزایش سن بافت گیاهی بسته به گونه، رقم و میزان دسترسی سیلیسیم افزایش می‌یابد. سیلیسیم عمدتاً در اپیدرم ریشه و برگ به فرم سیلیکا ژل (Phytolith) تجمع می‌کند. همچنین ۵/۰ تا ۸ درصد کل سیلیسیم گیاه در شیر سلولی بوده و نقشی فعال در فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه دارد. سیلیسیم با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانته گیاه و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم سبب افزایش تحمل گیاه در برابر شوری می‌گردد. سیلیسیم با رسوب در پهنه برگ با افزایش استحکام برگ سبب افزایش غلظت کلروفیل و در نتیجه بهبود فتوسنتز می‌شود. استفاده از سیلیس در گیاهان خانواده گرامینه مانند برنج، گندم و جو در افزایش وزن هزار دانه تاثیر زیادی دارد. تجمع سیلیسیم در بافت اپیدرمی سبب فعال شدن سیستم دفاعی در برابر عوامل بیماری‌زا می‌گردد (۳۴). سیلیسیم در دیواره سلولهای اپیدرمی با ترکیبات آلی کمپلکس تشکیل داده و از این طریق از تخریب دیواره سلولی توسط آنزیم‌های ترشح شده توسط قارچ بلاست برنج جلوگیری می‌کند. سیلیسیم فعال شدن آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنوکسیداز و کیتیناز در حضور عوامل بیماری‌زا قارچی را تسریع می‌کند.

فصل دوم

پیشینه تحقیق