دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

تأثیر سلنیم بر جذب عناصر و پاسخ آنتی‌اکسیداتیو گندم و کاهو در شرایط شور

پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی

مهری صادقی

استاد راهنما

دکتر امیرحسین خوشگفتارمنش

دکتر حسین شریعتمداری

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته خاک‌شناسی خانم مهری صادقی

تحت عنوان

تأثیر سلنیم بر جذب عناصر و پاسخ آنتی‌اکسیداتیو گندم و کاهو در شرایط شور

در تاریخ۱۳۹۰/۱/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر امیرحسین خوشگفتارمنش
۲-استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر حسین شریعتمداری
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر فرشید نوربخش
۳- استاد داور	دکتر مجید افیونی
۴- استاد داور	دکتر مصطفی مبلی
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر احمد ریاسی

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خدای را جل جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن تابان است و انوار حکمت او در دل شب تاری درخشان، پروردگاری که به کمال قدرت و حکمت عالم بیافرید و آدمیان را به فضل و منت خویش، به مزیت عقل و رجحان خرد، از سایرین ممیز گردانید، زیرا که عقل بر اطلاق کلید خیرات و پایبند سعادات است و مصالح معاش و معاد و دوستکامی دنیا و رستگاری اخری بدو باز بسته است و بباید دانست که ایزد تعالی هر کاری را سببی نهاده است و هر سببی را علتی و هر علتی را موضعی و مدتی. سبب و علت این تحقیق آن بود که در شعاع عقل آدمی و نور عدل باری تعالی، در سایه رهنمودهای اساتید فرهیخته، برای جامه عمل پوشاندن به نیازمندی‌های جامعه که تغذیه رکن اصلی آن میباشد و سلامت جسم جان آدمی بدان وابسته است، در حد توان گامی موثر و مفید برداشته شود. این مهم مقدور نبود مگر به فضل الهی و رهنمودها و همکاری‌های اساتید محترم وعزیزانی که تشکر از آنان را بر خود واجب می‌دانم و مراتب تشکر و قدردانی خویش را بدین وسیله خدمت ایشان عرض مینمایم.

- پدر و مادر عزیزم که محبت‌های بی‌دریغشان همرام همیشگی‌ام است.

- استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر خوشگفتارمنش که در انجام این پژوهش از هیچ کوششی دریغ نکردند و موجبات انجام هر چه بهتر این تحقیق را فراهم آوردند و همواره از راهنمائی‌های ارزشمندشان بهره برده‌ام.

- استاد فرهیخته جناب آقای دکتر شریعتمداری که مرا از راهنمائی‌های گرانقدرشان بهره‌مند ساختند.

- جناب آقای دکتر نوربخش که زحمت مشاوره این کار را پذیرا شدند و همچنین جناب آقای دکتر افیونی و جناب آقای دکتر مبلی که با ارائه نظرات ارزشمند در بازخوانی این پایان نامه کوشیدند.

- کارشناسان و اعضای محترم مرکز کشت بدون خاک و گروه خاکشناسی.

- تمامی دوستانم که یادشان بهترین و ماندنی‌ترین خاطرات دوران تحصیلم خواهد بود.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های

ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه(رساله)

متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر بزگوارم و مادر عزیزم

آئینه پارسایی و عاطفه

زندگی‌ام برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر

به پاس مهر بی پایانشان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب .....هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲ -اهمیت پژوهش حاضر و اهداف ۳

۱-۳- سلنیم ۳

۱-۳-۱-شیمی سلنیم ۵

۱-۳-۲-ترکیبات سلنیم ۵

۱-۳-۳-منابع سلنیم ۶

۱-۳-۴-کاربرد سلنیم ۷

۱-۴-سلنیم در خاک ۷

۱-۴-۱-قابلیت دسترسی سلنیم در خاک ۸

۱-۵-سلنیم در گیاه ۱۰

۱-۵-۱-جذب سلنیم ۱۱

۱-۵-۲-سوخت و ساز ۱۵

۱-۵-۳-غلظت سلنیم در گیاه ۱۶

۱-۵-۴-گیاهان انباشتگر سلنیم ۱۷

۱-۵-۵-سمیت سلنیم در گیاهان ۱۸

۱-۵-۶-سازوکار تحمل سلنیم در گیاه ۱۹

۱-۶-گیاهان رشد کرده در خاک‌های با غلظت متفاوت سلنیم ۱۹
۱-۶-۱-گیاهان در خاک‌های فقیر از سلنیم ۱۹
۱-۶-۲-گیاهان در خاک‌های با سلنیم متوسط ۲۰
۱-۶-۳-گیاهان در خاک‌های غنی از سلنیم ۲۰
۱-۷- چرخه سلنیم ۲۱
۱-۸-سلنیم در انسان و دام ۲۱
۱-۹-واکنش‌های اکسیداتیو و پاسخ آنتی اکسیداتیو گیاه ۲۳
۱-۱۰-شوری ۲۴
۱-۱۱-گندم ۲۵
۱-۱۲-کاهو ۲۶
۱-۱۳-مروری بر برخی تحقیقات انجام گرفته پیرامون تأثیر شوری و سلنیم بر گیاه ۲۷

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱-تهیه نشاء ۳۰
۲-۲-تهیه محلول غذایی ۳۱
۲-۳-انتقال نشاء به محلول غذایی ۳۱
۲-۴-اعمال تیمار شوری و سلنیم ۳۱
۲-۵-برداشت ریشه و شاخسار ۳۲
۲-۶-هضم نمونه‌های گیاهی ۳۲
۲-۷-اندازه‌گیری عناصر غذایی ۳۲
۲-۸- تعیین فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) ۳۲
۲-۹-تجزیه آماری ۳۳

فصل: سوم نتایج و بحث

۳-۱-گندم ۳۴

۳-۱-۱-نشانه‌های ظاهری ۳۴

۳-۱-۲-عملکرد وزن خشک ریشه ۳۶

-۱-۳-عملکرد وزن خشک شاخسار ۳۷

۳-۱-۴- فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) ریشه..... ۳۹

۳-۱-۵ فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) شاخسار..... ۴۱

۳-۱-۶- غلظت عناصر در گندم..... ۴۴

الف-آهن ریشه ۴۴

ب-آهن شاخسار ۴۴

ج-مس ریشه ۴۶

د-مس شاخسار ۴۶

ه-منگنز ریشه ۴۸

و-منگنز شاخسار ۴۸

ز-روی ریشه ۵۰

ح-روی شاخسار ۵۰

۳-۱-۷- جذب عناصر در گندم ۵۲

الف- آهن ریشه ۵۲

ب-آهن شاخسار ۵۴

ج-مس ریشه..... ۵۶

د-مس شاخسار..... ۵۷

ه-منگنز ریشه ۵۹
و-منگنز شاخسار ۶۰
ز-روی ریشه ۶۲
ح-روی شاخسار ۶۳
۳-۱-۸- درصد انتقال عناصر از ریشه به شاخسار ۶۶
الف-آهن ۶۶
ب-مس ۶۷
ج-منگنز ۶۹
د- روی ۷۱
۳-۲-کاهو ۷۳
۳-۲-۱-نشانه‌های ظاهری ۷۳
۳-۲-۲-عملکرد وزن خشک ریشه ۷۴
۳-۲-۳-عملکرد وزن خشک شاخسار ۷۶
۳-۲-۴-فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز(GPX) ریشه ۷۸
۳-۲-۵-فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز(GPX) شاخسار ۸۰
۳-۲-۶-غلظت عناصر در کاهو ۸۳
الف-آهن ریشه ۸۳
ب-آهن شاخسار ۸۳
ج-مس ریشه ۸۵
د-مس شاخسار ۸۵
ه-منگنز ریشه ۸۷

و-منگنز شاخسار ۸۷
ز-روی ریشه ۸۹
ح-روی شاخسار ۸۹
۳-۲-۷- جذب عناصر در کاهو ۹۲
الف- آهن ریشه ۹۲
ب-آهن شاخسار ۹۳
ج-مس ریشه ۹۵
د-مس شاخسار ۹۶
ه-منگنز ریشه ۹۸
و-منگنز شاخسار ۹۹
ز-روی ریشه..... ۱۰۱
ح-روی شاخسار ۱۰۲
۳-۲-۸- درصد انتقال عناصر از ریشه به شاخسار ۱۰۵
الف-آهن ۱۰۵
ب-مس ۱۰۶
ج-منگنز ۱۰۸
د-روی ۱۰۹
۳-۳-بحث..... ۱۱۱
۳-۳-۱-گندم ۱۱۱
۳-۳-۲-کاهو ۱۱۴

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۴-۱-نتیجه‌گیری کلی ۱۱۷

۴-۲-پیشنهادها ۱۱۸

منابع **۱۱۹**

چکیده

سلنیم (Se) در گروه عناصر مفید برای گیاه قرار دارد اما غلظت‌های زیاد آن سمی بوده و سبب کاهش رشد گیاه می‌شود. مهمترین نقش زیستی سلنیم در ارتباط با فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز است که در محافظت از سلول در برابر تنش‌های محیطی از جمله شوری نقش دارد. شوری از مهمترین تنش‌های محیطی بسیاری از خاک‌های ایران است. بنابراین، بررسی تأثیر سطوح مختلف سلنیم بر رشد و عملکرد و ظرفیت آنتی اکسیدانتی گیاه در شرایط شور اهمیت دارد. از این رو این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش شوری و سلنیم بر عملکرد، فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز(GPX) به عنوان شاخصی از فعالیت آنتی اکسیدانتی گیاه و غلظت برخی عناصر کم‌مصرف اجرا شد. گیاه گندم یکی از محصولات راهبردی و مهمترین غله در دنیا می‌باشد و گیاه کاهو جایگاه ویژه‌ای در بین سبزیجات مصرفی توسط افراد جامعه دارد. این پژوهش به صورت دو آزمایش فاکتوریل مستقل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در مرکز پژوهشی کشت بدون خاک دانشگاه صنعتی اصفهان به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح مختلف سلنیم (۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۵۰ میکرومولار از منبع سلنات سدیم)، دو سطح شوری(۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و دو رقم گندم (کویر و بک کراس روشن) در آزمایش اول و دو رقم کاهو (بلک سالادین و وایت توریست) در آزمایش دوم بود. دو رقم گندم و دو رقم کاهو تفاوت معنی‌داری از لحاظ پاسخ به سطوح مختلف سلنیم داشتند. کاربرد سلنیم و شوری سبب کاهش عملکرد ریشه کاهو شد. عملکرد وزن خشک شاخسار کاهو در سطح ۴۰ میکرومولار سلنیم بیشتر از سایر سطوح سلنیم بود. در ریشه کاهو بالاترین فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در سطح ۲۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد. کمترین وزن خشک شاخسار کاهو، رقم بلک سالادین در سطح ۱۵۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد. در این رقم آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در سطح ۱۵۰ میکرومولار سلنیم بالاترین فعالیت را نشان داد و در رقم وایت توریست بالاترین فعالیت آنزیم ریشه در سطح ۴۰ میکرو مولار سلنیم و کمترین فعالیت در شرایط بدون سلنیم مشاهده شد. در کاهو، رقم بلک سالادین در شرایط غیر شور، فعالیت آنزیم در سطح ۴۰ میکرومولار سلنیم بیشتر از سطوح دیگر این عنصر بود. شوری سبب کاهش غلظت آهن، مس، منگنز و روی شاخسار و مس و روی ریشه کاهو شد. جذب عناصر مختلف مورد اندازه-گیری توسط ریشه و شاخسار کاهو رقم وایت توریست بیشتر از رقم بلک سالادین بود. جذب آهن، روی و منگنز شاخسار و منگنز ریشه کاهو تحت تأثیر سلنیم قرار نگرفت.

تأثیر کاربرد سلنیم بر رشد و عملکرد گندم بسته به رقم متفاوت بود. شوری سبب کاهش وزن خشک ریشه و شاخسار هر دو رقم گندم شد. بالاترین فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در ریشه گندم در سطح ۴۰ میکرومولار سلنیم مشاهده شد. غلظت آهن ریشه گیاه گندم با افزایش غلظت سلنیم افزایش یافت در حالی که غلظت آهن شاخسار تحت تأثیر سلنیم نبود. غلظت مس شاخسار و ریشه گندم با افزایش سلنیم از ۲۰ تا ۱۵۰میکرومولار کاهش یافت. غلظت روی شاخسار گندم تحت تأثیر کاربرد سطوح مختلف سلنیم قرار نگرفت. بجز غلظت آهن ریشه، غلظت سایر عناصر مورد اندازه‌گیری در ریشه و شاخسار در شرایط شور کاهش معنی‌داری نشان دادند. بالاترین جذب آهن ریشه گندم در سطح ۱۵۰ میکرومولار سلنیم اندازه‌گیری شد در حالی که جذب آهن شاخسار با افزایش سلنیم کاهش یافت. هم در گندم و هم در کاهو، درصد انتقال عناصر مختلف مورد بررسی در شرایط غیرشور بیشتر از شرایط شور است. بطور کلی نتایج این پژوهش نشان داد تأثیر سلنیم بر رشد و عملکرد گیاه، بسته به جنس و رقم گیاه و نیز غلظت کاربردی این عنصر متفاوت می‌باشد. همچنین در شرایط شور، اثرهای منفی غلظت‌های زیاد سلنیم بر گیاه تشدید شده است.

کلمات کلیدی: عناصر غذایی، غلات، سبزی‌ها، تنش اکسیداتیو، آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز.

فصل اول
مقدمه و بررسی منابع

۱-۱-مقدمه

اگر چه هنوز سلنیم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه شناخته نشده، ولی ضرورت آن برای پستانداران روشن و اثبات شده است [۴۳]. در شرایط طبیعی، کمبود یا سمیت سلنیم به ندرت در انسان و دام ایجاد می‌شود، اما در شرایط کمبود آن در خاک، احتمال کمبود این عنصر در گیاه، دام و انسان در سطح محدود وجود دارد [۴۳، ۴۶ و۱۰۲]. در سال‌های اخیر توجه بیشتری به نقش سلنیم درکاهش بعضی از بیماری‌های مزمن نظیر سرطان‌ها از جمله سرطان پوست و ایدز شده است[۴۳]. در همین ارتباط پژوهشگران به دنبال اصلاح و تکثیر ارقام گیاهی سلنیم-کارامد می‌باشند. ارقام گیاهی سلنیم-کارامد توانایی بهتری برای جذب و انتقال سلنیم از ریشه به شاخسار داشته و در نتیجه، غلظت بیشتری از این عنصر را در بافت‌های خوراکی انباشته می‌کنند. سلنیم از جمله عناصری است که کمبود یا سمیت آن در جیره غذایی می‌تواند مشکلات عدیده‌ای را برای دام وانسان به دنبال داشته باشد، از این رو توجه به وضعیت سلنیم در خاک و جذب آن توسط گیاه بسیار حائز اهمیت است.

۱-۲ -اهمیت پژوهش حاضر و اهداف

مطالعات اندکی در رابطه با اثر مثبت سلنیم بر کیفیت تغذیه‌ای تولیدات گیاهی مصرفی توسط انسان انجام گرفته است. در حالی که اثر سمیت سلنیم بر گیاهان به خوبی بررسی شده است [۱۰۴]. از طرف دیگر نقش و تأثیر تنش‌ها و ظرفیت آنتی اکسیدانتی گیاه در سلامت انسان و دام از مسائل مهمی است که تحقیقات دامنه‌داری در این رابطه در حال انجام است. به همین دلیل با توجه به اهمیت کیفیت محصولات مختلف زراعی در سلامت انسان توجه به کیفیت گیاه گندم به عنوان یکی از محصولات پر مصرف زراعی که مهمترین غله در سطح دنیا می‌باشد و در ۴۰ کشور دنیا با ۳۵٪ جمعیت جهان غذای اصلی مردم است [۱۶۷]، ضروری به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به شمار زیاد مطالعاتی که تأثیر مثبت سبزیجات را در حفاظت از سلول در مقابل برخی بیماری‌های حاصل از تنش اکسیداتیو بواسطه نقش آنها در ترکیبات آنتی اکسیدانت مشخص کرده‌اند، بررسی فعالیت آنتی اکسیدانت گیاه کاهو که نقش مهمی در تولید و اقتصاد در بین سبزیجات دارد و منبع مهمی از آنتی اکسیدانت‌ها به شمار می‌رود[۱۱۷]، مناسب به نظر می‌رسد. در همین راستا با توجه به مطالعات اندکی که در اغلب آنها فقط یکی از ویژگی-های ذکر شده را مورد بررسی قرار داده‌اند، این مطالعه در رابطه با تأثیر سلنیم و اثرهای متقابل آن با شوری در جهت بهبود کیفیت محصولات پرمصرف کشاورزی نظیر گندم و کاهو، همچنین تلاش در جهت ارتقاء ظرفیت آنتی اکسیدانتی این گیاهان با اهداف بررسی موارد زیر انجام شد.

۱) بررسی برهمکنش سطوح مختلف سلنیم و شوری بر برخی پاسخ‌های آنتی اکسیداتیو گیاه گندم و کاهو.

۲) برهمکنش سطوح مختلف سلنیم و شوری بر رشد و عملکرد گندم و کاهو.

۳) برهمکنش سطوح مختلف سلنیم و شوری بر غلظت برخی از عناصر غذایی ریشه و شاخسار کاهو و گندم.

۴)مقایسه پاسخ دو رقم گندم و دو رقم کاهو به کاربرد مقادیر مختلف سلنیم.

۱-۳- سلنیم

شیمیدان سوئدی به نام جانزجاکوب برزلیوس[1] برای اولین بار عنصر سلنیم را در سال ۱۸۱۷ خالص‌سازی کرد. یک کارخانه تولید اسید سولفوریک از وی تقاضا کرد که به بررسی رسوب قرمز رنگی که در طی اکسایش دی اکسید گوگرد از کانی شالکوپیریت بر جای می‌ماند بپردازد. در همین زمان مطالعه‌ای نیز توسط کلاپروت[2] انجام شد که نتیجه آن تشخیص عنصر تلوریوم بود [۱۰۹]. در حالی که وقتی برزلیوس این رسوب را در آزمایشگاه مورد بررسی قرار داد، هیچ نشانه‌ای از عنصر تلوریوم یافت نکرد ولی حضور

---

[1] Jons Jakob Berzelius
[2] M.H. Klaproth

ماده‌ای ناشناخته را که خواص بسیار مشابهی با تلوریوم داشت را تشخیص داد، به همین علت نام این ماده را سلنیم که از کلمه یونانی selen به معنی "ماه" گرفته شده است، گذاشت. در حالی که ریشه کلمه تلوریوم، tellus، به معنی زمین است [۲۹]. اگر چه برزلیوس اولین شخصی است که عنصر سلنیم را خالص سازی کرد، ولی احتمالاً کاشف این عنصر نیست، به این علت که آرنولد ویلانوا[1] محقق ایتالیایی در کتابش به نام Rosarium philosophorum، در مورد تبخیر گوگرد و تشکیل رسوب قرمز رنگ، مطالبی ذکر کرده است که می‌تواند همان رسوبی باشد که برزلیوس ۵۰۰ سال بعد مورد بررسی قرار داده است[۸۰]. مارکوپولو در قرن سیزدهم در یکی از سفرهایش در مسیر کوهستانی به گیاهانی برخورد کرد که به نظر می‌رسد همان گیاهان انباشتگر سلنیم باشند که می‌توانند سلنیم را از خاک جذب کرده و به نسبت‌های سمی در خود ذخیره کنند [۱۶۵].

تا مدتها پس از کشف سلنیم، آن‌را بعنوان یک سم می‌شناختند تا این‌که در سال ۱۹۵۴ عملکرد زیستی آن در ریزجانداران کشف شد. در سال ۱۹۵۷ ضروری بودن سلنیم برای پستانداران به اثبات رسید. در دهه ۱۹۷۰ حضور این عنصر در سلنوسیستئین در پروتئین‌ها کشف شد و خود این ترکیب ابتدا در باکتری‌ها و سپس در پستانداران به اثبات رسید. در آن زمان مشخص شد که این عنصر در ساختار گلوتاتیون پراکسیداز (GSHx)، آنزیمی که سلول را در برابر صدمات ناشی از واکنش‌های اکسیداتیو حفظ می‌کند، وجود دارد [۷۱]. بعدها مصرف سلنیم در رژیم غذایی انسان مورد توجه قرار گرفت [۴۳]. شاید بتوان گفت در حال حاضر همه نقش‌های شناخته شده سلنیم، به عنوان یک عنصر غذایی ضروری در انسان و حیوانات، با پروتئین‌های سلنیم‌دار در ارتباط است [۶۰].

همانند بسیاری دیگر از عناصر، احتمال سمیت و کمبود سلنیم در حیوانات و انسان وجود دارد. حد کمبود و سمیت این عنصر برای دام و انسان بسیار نزدیک است. در شرایط طبیعی، کمبود یا سمیت سلنیم به ندرت در انسان و دام ایجاد می‌شود. اما در شرایط کمبود آن در خاک، احتمال کمبود این عنصر در گیاه، دام و انسان در سطح محدود وجود دارد [۴۳، ۴۶ و ۱۰۲]. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد در بیشتر مناطق جهان، غلظت سلنیم در خاک به نسبت کم بوده، در نتیجه غلظت آن در بیشتر گیاهان کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم سلنیم درکیلوگرم وزن خشک می‌باشد. البته غلظت‌های سمی سلنیم (بیش از ۲ میلی‌گرم سلنیم در کیلوگرم) نیز در برخی گیاهان رشد کرده در خاک‌های غنی از این عنصر گزارش شده است [۱۸].

وضعیت سلنیم در افراد جامعه به مقدار زیادی به غلظت این عنصر در محصولات کشاورزی مصرف شده توسط انسان بستگی دارد. در مناطقی که مقدار سلنیم خاک پایین می‌باشد، برای جلوگیری از ایجاد کمبود در انسان و دام، این عنصر به کودهای شیمیایی رایج افزوده شده است. شناسایی اختلافات

---

[1] Arnold of Villanova

ژنتیکی گیاهان در انباشت سلنیم، از لحاظ انتخاب راهکارهای کارآمد برای افزایش غلظت این عنصر در رژیم غذایی انسان و دام مفیداست [۱۸].

سلنیم نقش مهمی در ترکیبات مختلف دارد. سلنوپروتئین‌های درون سلولی از جمله گلوتاتیون پراکسیدازها، تیوریدوکسین ریداکتاز، سلنوفسفات سنتتاز، ترکیباتی هستند که سلنیم در آنها وجود دارد. برخی از آنها نقش مهمی به عنوان آنتی‌اکسیدانت دارند [۱۰۱]. مهمترین نقش زیستی سلنیم در ارتباط با فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز (GSHx) است. در واقع، سلنیم کوفاکتور آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز می‌باشد [۱۸].

۱-۳-۱-شیمی سلنیم

سلنیم، عنصری از گروه پنجم جدول تناوبی با عدد اتمی ۳۴، وزن اتمی ۷۸/۹۶ می‌باشد که در جدول تناوبی بین عناصر گوگرد و تلوریوم قرار گرفته است و در ردیف چهارم جدول تناوبی بین آرسنیک و برم قرار دارد [۵۸]. شعاع اتمی سلنیم ۱/۴۰ آنگستروم، شعاع کووالانسی و شعاع یونی آن نیز به ترتیب برابر با ۱/۱۶ و ۱/۹۸ آنگستروم می‌باشد. پتانسیل یونیزاسیون سلنیم ۹/۷۴ الکترون ولت و الکترون‌دوستی آن ۴/۲۱- الکترون ولت است. الکترونگاتیوی این عنصر در مقیاس پولینگ برابر با ۲/۵۵ می‌باشد [۴۵]. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی سلنیم شباهت بسیاری به گوگرد (S) دارد. سلنیم و گوگرد از لحاظ اندازه اتمی، شکل مدار الکترونی، وضعیت پوسته خارجی الکترون، انرژی پیوند، پتانسیل یونیزاسیون، الکترون دوستی، الکترونگاتیوی و قطبی شدن شباهت‌های زیادی با یکدیگر دارند.

نقطه ذوب آن ۲۱۷ درجه سلسیوس و نقطه جوش آن ۶۸۵ درجه سلسیوس می‌باشد. جرم مخصوص این عنصر ۴/۷۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است [۶۶]. آرایش الکترونی سلنیم و موقعیت آن در جدول تناوبی باعث شده است که این عنصر در گروه متالوئید قرار بگیرد در حالی که ویژگی‌های کامل فلزات را دارا نمی‌باشد [۴۷].

۱-۳-۲-ترکیبات سلنیم

سلنیم در طبیعت به شکل سلنیم عنصری (Se^{o})، سلنید (Se^{2-})، سلنیت Seo_3^{2-} و سلنات(SeO_4^{2-})، اسیدهای سلنیک، نیترید، کربید، هیدرید، هالیدهای مختلف و اکسی‌هالیدهای سلنیم وجود دارد [۱۴۴]. شش ایزوتوپ پایدار از سلنیم در طبیعت وجود دارد که شامل ^{74}Se (۰/۸۷ درصد)، ^{76}Se (۹/۰۲ درصد)، ^{77}Se (۷/۵۸ درصد)، ^{78}Se (۲۳/۵۲ درصد)، ^{80}Se (۴۹/۸۲ درصد) و ^{82}Se (۹/۱۹ درصد) می‌باشند [۱۱۱]. ایزوتوپ ^{82}Se نیمه عمر بسیار طولانی در حدود 10^{20} سال دارد و برای اهداف عملی مورد توجه قرار گرفته است. تعداد ۲۳ ایزوتوپ غیرپایدار از این عنصر شناخته شده است. سلنیم از لحاظ یونی می‌تواند به شکل Se^{2-} (با عدد اکسایش ۲-)، SeO_3^{2-} (با عدد اکسایش ۴+) و SeO_4^{2-} (با عدد اکسایش ۶+)

وجود داشته باشد. یون سلنیم دوظرفیتی (Se^{2-}) در آب محلول بوده (۲۷۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب در دمای ۲۲/۵ درجه سلسیوس) و با بیشتر فلزات واکنش داده و باعث تشکیل سلنیدهای فلزی محلول می‌شود. سلنیم درحالت اکسایش ۴+ می‌تواند به اکسید سلنیم (SeO_2)، SeO_3^{2-} و اسید سلنیوس (H_3SeO_3) تبدیل شود. اکسید سلنیم در فرایند سوزاندن سلنیم عنصری (Se^o) و یا واکنش آن با اسید نیتریک تولید شده و در آب محلول است (۳۸/۴ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب در دمای ۱۴ درجه سلسیوس). کاهش دوباره اکسید سلنیم به سلنیم عنصری، می‌تواند در حضور آمونیوم، هیدروکسیل‌آمین و اکسیدگوگرد انجام شود [۱۱۴].

۱-۳-۳-منابع سلنیم

سلنیم به طور وسیع ولی غیریکنواخت در سطح زمین وجود دارد. این عنصر به طور معمول به مقدار ۲۰۰-۵۰ میکروگرم در کیلوگرم خاک و سنگ‌ها یافت می‌شود، ولی در برخی از نقاط بسته به ویژگی‌های زمین‌شناسی می‌تواند در غلظت‌های کمتر یا بیشتر از این مقدار نیز وجود داشته باشد. سلنیم در سنگ‌های آذرین و در رسوبات آتشفشانی که در ترکیب با گوگرد است به شکل سلنید وجود دارد و در غلظت‌های بالاتر در سنگ‌های رسوبی از جمله سنگ‌های آهکی و معادن ذغال سنگ که ممکن است همراه با پیریت باشد، یافت می‌شود. سلنیم عمدتاً در خاک مناطق خشک انباشته می‌شود. این عنصر در خاک‌های آهکی به صورت سلنات وجود دارد که قابلیت دسترسی آن برای گیاه بالا است. در خاک‌های اسیدی به شکل سلنیت و گاهی به صورت سلنیم عنصری که قابلیت دسترسی پایینی نسبت به سلنات دارند، یافت می‌شود. عمده ترکیبات طبیعی سلنیم همراه با عناصر دیگر مشاهده می‌شود. سلنیم معمولاً به شکل معدنی در ترکیب با سرب (PbSe) وجود دارد. سلنیم محصول فرعی تولیدات فلزی به ویژه خالص‌سازی مس توسط جریان برق می‌باشد. مقدار کمی از این عنصر در لجن فاضلاب و پسماندهای کارخانه تولید اسید سولفوریک وجود دارد [۱۳۹].

۱-۳-۴-کاربرد سلنیم

سلنیم مصارف عمده‌ای دارد از جمله می‌توان به کاربرد آن در صنعت، کشاورزی و تغذیه برای انسان و دام اشاره کرد. مصارف مختلف سلنیم در جهان به تفکیک مقدار آن در جدول شماره۱-۱ آورده شده است.

جدول ۱-۱- مصرف جهانی سلنیم (۱۹۹۱)

درصد کل	مقدار مصرف (برحسب تن)	کاربردها
۳۰	۶۹۰	الکترونیک و اجزاء فتوکپی
۳۵	۸۰۵	کارخانه تولید شیشه
۱۰	۲۳۰	مواد رنگی(پیگمنت)
۱۰	۲۳۰	فلزکاری(متالوژی)
۵	۱۱۵	کشاورزی و تغذیه
۱۰	۲۳۰	صنعت شیمیایی

۱-۴-سلنیم در خاک

اگر چه توزیع سلنیم در دنیا بسیار غیر یکنواخت است، ولی گستره غلظت آن بین ۰/۱ تا ۱ میلی-گرم در گرم خاک تغییر می‌کند. صرفنظر از مناطقی با غلظت‌های بسیار بالا یا پایین سلنیم، اغلب خاکها ۱/۵-۱ میکروگرم سلنیم در گرم خاک دارند [۲۸]. گستره غلظت سلنیم در خاک‌های آمریکا ۴/۴-۰/۱ میلی‌گرم بر گرم گزارش شده است [۱۵۰].

منشاء سلنیم در خاک عوامل متعددی هستند که یکی از آنها رسوبات زمین‌شناسی می‌باشد. در بیشتر موارد سلنیم در غلظت‌های کم ولی با پراکنش زیاد در رسوبات زمین‌شناسی وجود دارد. البته سنگ‌های آذرین یا آتشفشانی گاهی بین ۵/۲-۰/۱ درصد سلنیم دارند. غلظت سلنیم در سنگ‌های رسوبی، ذغال‌سنگ‌ها و شیل‌ها نیز بالا است [۱۶۴].

از دیگر عوامل موثر بر مقدار سلنیم در خاک، ماده مادری است. در واقع مقدار سلنیم در خاک نشان‌دهنده مقدار سلنیم در ماده مادری است. اگرچه در مواردی نهاده‌های اتمسفری و نهاده‌های پدید آمده از انسان می‌تواند غلظت سلنیم خاک را تغییر دهد. در محیط‌های طبیعی، غلظت‌های زیاد سلنیم در خاک‌ها مربوط به مواد آتشفشانی، سنگ معدن‌های سولفیدی، شیل‌های سیاه و ماسه سنگ‌های کربناته است. شدت فرآیندهای هوازدگی و آبشویی مواد مادری، غلظت سلنیم خاک را تعیین می‌کنند [۱۰].

نهاده‌های کشاورزی از دیگر منابع ورود سلنیم در خاک هستند. سلنیم در کشاورزی مصارف متعددی دارد از جمله در کنترل و دفع آفات، همچنین به عنوان یک مکمل غذایی برای دام‌هایی که در نواحی با کمبود سلنیم چرا می‌کنند بکار می‌رود [۱۱۸]. افزایش غلظت سلنیم بافت‌های گیاهی از طریق تغذیه برگی یا اضافه نمودن آن به خاک برای بهبود کیفیت غذای دام و انسان ضروری است.

نهشت اتمسفری نیز از دیگر منابع ورود سلنیم به خاک است. مهمترین منشأ انسان‌پدیدی سلنیم اتمسفری ناشی از احتراق ذغال سنگ در نیروگاه‌های تولید برق، صنعت، نواحی تجاری و مسکونی است [۱۲۶]. متوسط جهانی انتشار سلنیم از منابع طبیعی بین ۶۰۰۰ - ۱۳۰۰۰ تن در سال تخمین زده شده است.

طبق گزارش نریلگو و پابسنیا [۱۲۶]، خاک‌ها مقادیر زیادی سلنیم از ضایعات صنعتی دریافت می‌کنند و دو منبع اصلی این عنصر در خاک، رسوب بقایای خاکستر ناشی از احتراق ذغال سنگ و رهاسازی تولیدات تجاری بر روی زمین است.

لجن فاضلاب نیز می‌تواند از منابع ورود سلنیم به خاک باشد، با این حال اطلاعات کمی در مورد غلظت سلنیم در لجن‌های فاضلاب یا خاک‌های تیمار شده با آن‌ها وجود دارد. داده‌های موجود حاکی از آن است که سلنیم در ابتدا از هرزآب‌های شهری جدا شده و در لجن فاضلاب انباشته می‌شود. سلنیم در مقایسه با دیگر فلزات به مقدار بسیار کمی در لجن فاضلاب وجود دارد. مطالعه‌ای در ۱۶ ناحیه شهری آمریکا نشان داد که مقدار سلنیم لجن فاضلاب این نواحی بین ۱/۷ و ۸/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد [۵۸].

۱-۴-۱-قابلیت دسترسی سلنیم در خاک

از نقطه نظر جذب گیاه، شکل عنصر در خاک مهمتر از غلظت کل آن در خاک می‌باشد. سلنیم می‌تواند به شکل عنصری، سلنیت، سلنات یا در ترکیب با دیگر عناصر و یا به شکل ترکیبات آلی مانند سلنومتیونین(Se-Met) در خاک وجود داشته باشد[۹ و ۱۳۰]. شکل شیمیایی و ویژگی‌های محیطی نظیر pH خاک، بافت و کانی‌شناسی خاک، ماده آلی، کانی‌های رسی و فعالیت میکروبی خاک می‌توانند قابلیت دسترسی این عنصر را برای گیاه تعیین کنند. سلنیم عنصری تقریباً پایدار در خاک است و برای گیاه قابل استفاده نیست. در خاک‌های لاتریک، که مقدار زیادی آهن دارند، سلنیم به شدت با آهن پیوند برقرار کرده و قابلیت دسترسی آن بسیار کم می‌شود. سلنیدها نیز غیر محلول‌اند، البته هوادیدگی می‌تواند آن‌ها را به شکل محلول درآورد. سلنیت‌ها مهمترین منبع سلنیم در بسیاری از خاک‌ها هستند و قابلیت دسترسی سلنیم برای گیاه را کنترل می‌کنند[۶۱].

پتانسیل ریداکس و پ-هاش خاک در تعیین حلالیت سلنیم تاثیر دارند. جذب سلنیم تحت تأثیر بار وابسته به پ-هاش است و با افزایش پ-هاش جذب این عنصر به وسیله گیاه افزایش می‌یابد [۵۱].