



سازمان جهاد کشاورزی یزد

# اصلاح خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از گچ



تهیه کنندگان:

فرهاد دهقانی - ابوالفضل دهقانی

مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی یزد

نشریه شماره: ۱۵۰

اصلاح خاکهای شور و شیبانی

# اسم ابرن نام

نویسنده: دکتر محمد علی...

دکتر فرهاد...

موسسه تحقیقات...

تهران...

موسسه تحقیقات...

موسسه تحقیقات...

تهران...

# اصلاح خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از گچ

تهیه کنندگان:

**دکتر فرهاد دهقانی**

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و

متاح طبیعی استان یزد

**مهندس ابوالفضل دهقانی**

کارشناس خاک مدیریت آب و خاک و امور فنی مهندسی

سازمان جهاد کشاورزی استان یزد

# اصلاح خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از کج

تهیه کنندگان:

دکتر فرهاد دهقانی: عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد  
مهندس ابوالفضل دهقانی: کارشناس خاک مدیریت آب و خاک و امور فنی مهندسی جهاد کشاورزی  
استان یزد

ناظر فنی چاپ: علی اقصی عسفا

توییت چاپ: نول

سال چاپ: ۱۳۹۳

شمارگان: ۱۵۰ نسخه

طراحی بزرگ: ۱۰۰

قیمت: رایگان

شماره استاد و مدارک علمی: ۵۰۰۰۱/۱۳۹۳

این نشریه آموزشی به منظور گسترش آگاهی و با حمایت  
معاونت بهبود تولیدات گیاهی سازمان جهاد کشاورزی استان یزد تهیه گردیده است.

# اصلاح خاک‌های شور و سدیمی با استفاده از کج

مخاطبین نشریه:

دانش آموختگان، کارشناسان کشاورزی

و

کشاورزان پیشرو

## مقدمه:

آب و خاک از عوامل اصلی تولید در کشاورزی محسوب می‌شوند. هر گونه تغییری در کمیت و کیفیت این عوامل، کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری منابع آب و خاک از جمله مشکلات رو به گسترشی است که پتانسیل تولید را در بسیاری از مناطق کشاورزی دنیا از جمله ایران مورد تهدید قرار داده است. شوری اولیه خاک، سوء مدیریت آبیاری و اجبار به استفاده از منابع آب شور هر روز بر وسعت این پدیده و کاهش عملکرد اراضی اضافه می‌کند. برداشت بی رویه از سفره‌های آب زیرزمینی نیز موجب افت کمی و کیفی آب‌های کشاورزی گردیده است. اگر شوری را حضور زیادی یون در محدوده رشد ریشه بدانیم، نوع یون نیز بر عکس العمل گیاه موثر خواهد بود. حضور همه یون‌ها باعث سخت شدن جذب آب توسط گیاه می‌شود ولی بعضی از آن‌ها علاوه بر مشکل فوق، در داخل گیاه سمیت ایجاد کرده و یا با تخریب ساختمان خاک و کاهش نفوذپذیری آن (نسبت به ریشه و آب) مانع از خروج نمک‌های اضافی از محیط می‌شود. جهت بهبود کیفیت خاک و افزایش محصولات کشاورزی، باید علاوه بر مصرف آب اضافی، از مواد و روش‌های مختلفی به منظور خروج یون‌ها از محدوده رشد ریشه استفاده نمود. یکی از پرکاربردترین مواد اصلاحی در دسترس در مناطق خشک گچ می‌باشد. بدین منظور ضمن بررسی ویژگی‌ها و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و sodic، به چگونگی عملکرد این ماده اصلاحی در خاک و نیز مباحث علمی مصرف آن (میزان و شرایط مصرف) می‌پردازیم.

## خاک‌های شور و sodic

به خاکی شور گفته می‌شود که غلظت نمک در ناحیه ریشه به میزان بالاتر از آنکه تحمل گیاه برسد وجود انواع یون‌ها یا یار مثبت و منفی در محلول خاک باعث ایجاد شوری می‌شود. پس در محلول همه خاک‌ها شاهد حضور شوری هستیم ولی این حضور زمانی اهمیت پیدا می‌کند که باعث کاهش عملکرد گیاه شود. با توجه به درجه تحمل و عکس‌العمل متفاوت گیاهان نسبت به سطوح مختلف شوری، هر میزان شوری می‌تواند برای یک گیاه خاص مشکل آفرین باشد و در همان حال برای گروه دیگری از محصولات مزاحمتی ایجاد نکند. پس نمی‌توان عدد خاصی را برای مرز خاک شور و غیر شور منظور کرد. بهتر است برای تقسیم شوری محلول خاک و یا آب آبیاری به نوع گیاه و آستانه کاهش عملکرد (حداکثر شوری که در مقادیر کمتر از آن گیاه کاهش عملکرد نشان نمی‌دهد) مربوط به آن توجه کرد. جدایی که حاوی آستانه کاهش عملکرد گیاهان است به صورت‌های مختلف در دسترس می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت یکی از اهداف اصلی در مدیریت شوری محیط ریشه این است که میزان شوری در مقادیر کمتر از آستانه کاهش عملکرد و یا در نزدیکی آن که کاهش عملکرد قابل تحمل است نگه‌داشته شود. مثلاً آستانه کاهش عملکرد برای گندم شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر عنوان شده که با هر واحد افزایش شوری بعد از آن ۱۰ درصد از میزان محصول کاهش می‌یابد.

یون‌های مختلفی باعث ایجاد شوری می‌شوند که دارای بار الکتریکی مثبت و منفی بوده و مهمترین آن‌ها در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک عبارتند از کاتیون‌های: کلسیم ( $Ca^{2+}$ )، منیزیم ( $Mg^{2+}$ )، سدیم ( $Na^{+}$ )، پتاسیم ( $K^{+}$ ) و هیدروژن ( $H^{+}$ ) و آنیون‌های: کلر ( $Cl^{-}$ )، سولفات ( $SO_4^{2-}$ )، کربنات ( $CO_3^{2-}$ ) و بیکربنات ( $HCO_3^{-}$ ).

بیشترین مشکل در خاک‌های شور مربوط به نمک‌های بسیار محلول است (تقریباً  $NaCl$  و  $MgCl_2$  و  $CaCl_2$  و  $MgSO_4$ ) کربنات‌های کلسیم و منیزیم و گچ. حالایت که داشته مشکل چندانی در رشد گیاه ایجاد نمی‌کنند. از عواملی که در تشکیل خاک‌های شور موثر می‌باشند می‌توان به بافت خاک، اقلیم، توپوگرافی، کیفیت آب آبیاری، وضعیت

زهکشی اشاره نمود. فرآینبی حضور یون‌ها به عنوان شاخص شوری یا اندازه‌گیری هدایت الکتریکی محلول (EC) صورت می‌پذیرد.

یون‌های موجود در محلول خاک که باعث ایجاد شوری می‌شوند، با بخش تبادل‌ی و نمک‌های جامد خاک در تعادل بوده و به همین علت در بررسی اثرات آن‌ها بر خاک و گیاه این بخش نیز باید مورد توجه قرار گیرد. از جمله مهم‌ترین این موارد میزان حضور یون سدیم در فاز تبادل‌ی است. زیاده‌ی سدیم علاوه بر ایجاد مسمومیت در صورت ورود به گیاه با قرار گرفتن در فاز تبادل‌ی خاک می‌تواند با پراکنده کردن ذرات خاک باعث اثرات تخریبی بر ساختمان شده و در نهایت نفوذ پذیری خاک را کاهش دهد. به همین دلیل گروهی از خاک‌ها که مقادیر بالای سدیم را در خود نگه می‌دارند به خاک‌های سدیمی معروف شده‌اند. با توجه به بار منفی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک (اکثراً ناشی از رس و مواد آلی) کاتیون‌ها (یون‌های دارای بار الکتریکی مثبت) در روی سطوح نگه‌داری می‌شوند. مقدار سدیم نسبت به سایر کاتیون‌ها به عنوان شاخص سدیمی بودن اندازه‌گیری می‌شود (SAR و ESP). نسبت جذب سدیم (SAR) با استفاده از میزان کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم عصاره اشباع خاک محاسبه می‌شود (رابطه ۲) و به طور اجمال خاکی که در آن  $SAR > 13$  باشد خاک سدیمی تلقی می‌شود. چند نکته در این باره باید مورد توجه قرار بگیرد در شرایط خاص مشکلات فیزیکی خاک و تخریب ساختمان خاک در مقادیر کمتر نیز می‌تواند اتفاق بیافتد و از طرف دیگر شدت آثار مخرب سدیم بالا به عوامل متعدد دیگر مانند بافت خاک، نوع خاک، شرایط زهکشی و کیفیت آب آبیاری بستگی دارد.

افزایش نسبی سدیم در سطح رس باعث تورم آن در حالت مرطوب شده و این خود می‌تواند باعث پراکندگی ذرات رس و از هم پاشیدگی خاکدانه‌های موجود و عدم تشکیل آن‌ها در خاک شود. این امر باعث تخریب ساختمان خاک شده جریان آب و هوا را محدود کرده، کاهش شدید قابلیت آب‌گذری آب از خاک را در پی دارد. این امر آبشویی املاح اضافی را با مشکل مواجه کرده و اصلاح شوری را نیز سخت می‌کند. خاک‌های سدیمی اغلب فشرده و دارای ساختمان مکعبی یا توده‌ای است. شخم زمین این خاک‌ها در حالت خشک به سختی صورت می‌گیرد.

عصاره اشباع خاک‌های شور و سدیمی دارای هدایت الکتریکی بیش از ۴ دسی‌زیمنس بر متر و درصد سدیم تبادل‌ی بیش از ۱۵ است. در نتیجه مشکل مضاعف این خاک‌ها، بالا بودن میزان نمک‌های محلول و درصد سدیم تبادل‌ی است. از آن‌جا که غلظت املاح محلول فاز مایع خاک قابل ملاحظه است، در نتیجه pH کمتر از ۸.۵ می‌باشد. هنگام اصلاح و بیوسازی این نوع خاک‌ها باید دقت کافی داشت زیرا ممکن است در فرایند آبشویی، نمک‌های محلول از تیرخ خاک‌ها، موجب چیرگی یون سدیم در محلول خاک و همچنین موجب گرایش احتمالی این خاک‌ها به سمت سدیمی شدن گردند. در نتیجه مقدار pH خاک از ۸.۵ بالاتر رفته و سبب از هم گسیختگی خاکدانه شود.

### تشکیل خاک‌های شور و سدیمی

رشته‌های متعددی برای تشکیل خاک‌های شور وجود دارد. هوادیدگی سنگ‌های مادر و عدم انتقال نمک بدلیل بارندگی کم از اصلی‌ترین دلایل شوری اولیه در خاک مناطق خشک و نیمه خشک است. تجمع نمک به دلیل مدیریت غلط آبیاری و یا استفاده از آب‌های نامناسب از عمده‌ترین دلایل گسترش شوری در اراضی آبی در جهان می‌باشد. انتقال نمک توسط باد از نقاط شور و خشک مجاور و یا ذرات ریز آب دریا به سایر نقاط و یا انتقال نمک‌ها از طریق آب زیرزمینی تحت تاثیر نیروی کاپیلاری نیز در برخی مناطق اهمیت پیدا می‌کند. حال اگر ترکیب آب آبیاری و یا نوع کانی‌های سنگ مادری باعث تجمع یون خاصی در خاک شود مشکل مسمومیت آن یون بر شوری افزوده می‌شود. افزایش بی در پی سدیم و یا خروج کلسیم در اثر رسوب آنک در خاک باعث افزایش نسبی یون سدیم بر روی ذرات خاک و تشکیل خاک سدیمی می‌شود. آب‌های آبیاری مناسب دارای نسبت کلسیم به منیزیم بزرگتر از یک است ( $Ca/Mg > 1$ ). البته در برخی از منابع آب آبیاری میزان یون منیزیم از کلسیم بالاتر می‌باشد. با کاهش این نسبت و استفاده مداوم از این نوع آب‌ها نسبت منیزیم در عصاره اشباع و جابجانه‌های تبادل‌ی افزایش می‌یابد. در برخی از خاک‌ها زیاده‌ی منیزیم مانند سدیم عمل کرده باعث مشکلات ساختمانی در خاک شده و حتی برای رشد گیاه مشکل ایجاد می‌کند. در این حالت نیز افزایش کلسیم به محلول خاک می‌تواند مشکل را رفع کند.

## اثرات شوری بر گیاه:

۱- کاهش آب قابل استفاده گیاه به عبارت دیگر در خاکهای شور، گیاهان زودتر دچار پژمردگی می‌شوند که این پدیده را اصطلاحاً خشکی فیزیولوژیکی می‌گویند زیرا بدلیل شور بودن خاکه گیاهان نمی‌توانند آب درون خاک را جذب کنند و یا باید انرژی زیادیتری برای جذب آب صرف کنند که باعث کاهش رشد می‌گردد.

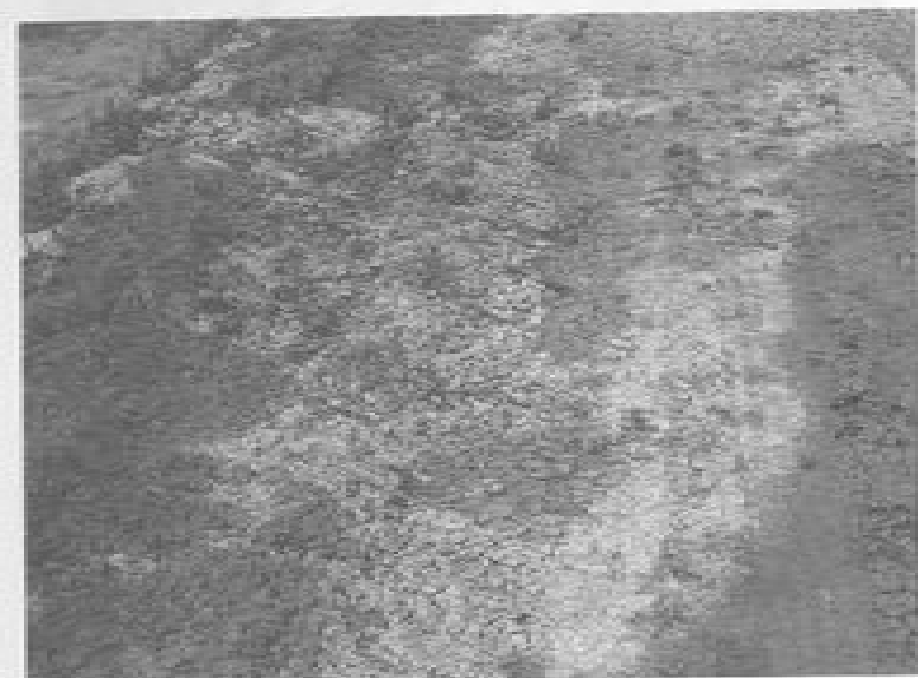
۲- سمیت ویژه بعضی از یون‌ها به مقدار زیاد در خاکهای شور وجود دارند و بر اثر جذب زیادهشان توسط گیاه ایجاد سمومیت می‌کنند که از مهمترین آن‌ها می‌توان کتر، سدیم و بر را نام برد.

۳- اختلالات تغذیه‌ای: در خاکهای شور بدلیل وجود زیاد بعضی از یون‌ها تغذیه گیاه دچار مشکل می‌شود بعنوان مثال در یک خاک شور، بدلیل غلظت زیاد کتر در محلول خاک و جذب آن یوسیلی گیاه، جذب نیترات و سولفات توسط گیاه کم می‌شود در صورتی‌که نیترات و سولفات از یون‌های بسیار ضروری در تغذیه گیاه هستند.

## اثرات سدیمی بودن بر گیاه:

۱. اختلالات تغذیه‌ای: کمبود نیتروژن، فسفر و عناصر کم مصرف اغلب در گیاهان تحت کشت در خاکهای سدیمی قابل مشاهده است. زیادی سدیم در محلول خاک برای گیاهان مشکل ساز می‌شود سدیم از راه‌های عمومی و در بعضی مواقع به علت مشابهت به پتاسیم به جای این یون به ریشه وارد می‌شود در حالی‌که گیاهان معمولی سعی در ممنعت از ورود آن به گیاه دارند ولی در محیط‌های شور، سدیم به گیاه وارد می‌شود در گیاهان شور پسند روش متفاوتی در پیش گرفته می‌شود که طی آن سدیم به گیاه وارد شده و در داخل واکوئل به عنوان تولید کننده پتانسیل اسمزی به کار می‌رود و به این صورت به جذب آب کمک می‌کند.

۳. سمومیت گیاه لکه لکه شدن برگ و یا زردی بین رگبرگی و در ادامه از بین رفتن نوک لکه و بین رگبرگ‌ها از علائم سمومیت سدیم است. البته با توجه به ورود و تحرک راحت‌تر یون کتر به گیاه معمولاً اولین علائم ظاهری شوری که شامل آب سوختگی برگ‌ها می‌باشد مربوط به تجمع یون کتر است.
۳. ایجاد شرایط نامطلوب فیزیوشیمیایی خاک: زیادی سدیم در خاکهای سدیمی موجبات پراکنش ذرات رس، تخریب ساختمان و تشکیل سله را در این خاک‌ها فراهم نموده و در نهایت باعث کاهش تهویه و نفوذپذیری آب در این خاک‌ها می‌شود.



شکل ۱- انباشته شدن نمک در سطح خاک



شکل ۲- ایجاد سله در سطح خاک و مشکل در رشد گندم در یک خاک سدیمی

### اصلاح خاک‌های شور

روش‌های زیادی برای اصلاح خاک‌های شور وجود دارد. عملیات مدیریتی که به کنترل شوری و اصلاح خاک کمک می‌کند شامل به کارگیری موارد زیر است.

- ۱- استفاده از مقدار بیشتر آب آبیاری به منظور رقیق کردن محیط و یا شستشوی تمک از محیط رشد ریشه آیشویی مهمترین راه خارج کردن تمک اضافی موجود در محلول خاک است. مشروط به اینکه محدودیت زهکشی (طبیعی یا مصنوعی) وجود نداشته باشد. در صورت محدودیت زهکشی اولویت احداث زهکش می‌باشد.
- ۲- انتخاب گیاهان مقاوم به شوری یا توجه به شوری تعادلی منطقه ریشه بعد از آیشویی.
- ۳- استفاده از روش‌های خاص کاشت که تجمع تمک را در اطراف بذر و رشد ریشه به حداقل ممکن کاهش دهد.
- ۴- افزایش مواد آلی به خاک و نخم زدن آن همراه با تقابای گیاهی به منظور افزایش نفوذ پذیری و آیشویی موفقیت آمیز خاک.
- ۵- پایین بردن سطح آب زیر زمینی به عمقی که که ریشه تحت تاثیر آن قرار نگیرد و خروج آب اضافی از منطقه ریشه با احداث زهکش در مناطقی که بافت خاک سنگین است و یا مشکل ماندابی شدن وجود دارد.

به کارگیری یک روش اصلاحی برای همه خاک‌های شور مناسب نبوده و توصیه نمی‌گردد. بسیاری از شرایط موجود بایستی مد نظر قرار گیرند. منبع شوری، بافت خاک، شیب زمین، عمق سفره آب زیر زمینی، در دسترس بودن مواد اصلاح کننده و نوع گیاه از جمله مواردی هستند که قبل از اصلاح خاک‌های شور و انتخاب روش صحیح بایستی مورد توجه قرار گیرند. معمولاً تلفیقی از روش‌های مدیریتی در کنترل شوری موثر خواهند بود.



مقاومت محصولات مختلف نسبت به میزان سدیم تبادل

مقاوم	نیمه مقاوم	حساس
پنجه	فولج	آوکاندو
جو	شیر	میوه دانه‌ریز
چغندر	کافور	لوبیا سبز
چغندر قند	چغندر قند	پنبه (جوانه زنی)
	برسیه	ذرت
	زایا	نخود
انواع علوفه خانواده گندمیان	جوتوسر	گریپ فروت
کارنال گراس	باز	پرتقال
	لرجه	هلو
	بورج	ترنگی
	چاودار	ماش
	سورگوم	عدس
	اسفناج	بادامزمینی
	گوجه	
	ماشک	
	گندم	

Adapted from data of FAO-Unesco (1973), Pearson (1960), and Abrol (1982).

## اصلاح خاک‌های سدیمی

همان‌گونه که ذکر شد مشکل خاک‌های سدیمی به فراوانی این یون بر روی ترات خاک بر می‌گردد که میزان آن نیز به حضور نسی آن در محلول خاک مربوط می‌شود. یعنی با افزایش نسبت سدیم به سایر کاتیون‌ها خصوصاً کلسیم و منیزیم در محلول خاک نسبت آن بر روی ترات رس نیز افزایش یافته و مشکلات خاک افزایش می‌یابد. به همین ترتیب به منظور اصلاح خاک‌های سدیمی اولین قدم خارج کردن سدیم از روی سطوح تبدلی (سطوح دارای بار منفی رس و مواد آلی) و قدم دوم خارج کردن آن‌ها از داخل محلول خاک به خارج از محیط ریشه است. بهترین جانشین یون سدیم در سطوح تبدلی رس، یون کلسیم است چون با افزایش میزان آن در محلول خاک به سادگی جانشین یون سدیم شده و در طی عمل تبادل، هر یون کلسیم دو یون سدیم را از سطح رس به داخل محلول خاک می‌فرستد.

ورود کلسیم به محلول خاک از طرق انحلال کانی‌های حاوی کلسیم امکان پذیر است. دو کانی اصلی حاوی کلسیم که در مناطق خشک و نیمه خشک به وفور وجود دارند، در مرتبه اول آهک یا کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) است. مشکل اصلی این کانی حلالیت بسیار کم (۱-۱۴ گرم در لیتر) آن در شرایط معمول خاک است. نکته مهم اینکه آهک خاک با اسیدی شدن شرایط و با افزایش فشار گاز کربنیک در خاک افزایش پیدا می‌کند. در حالیکه افزایش دما حلالیت آنرا کاهش می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت در خاک‌های آهکی با اسیدی کردن شرایط و افزایش حلالیت آهک می‌توان غلظت یون کلسیم را افزایش داده میزان سدیم تبدلی را کاهش داد و در حقیقت خاک را اصلاح کرد.

وجود آهک حتی در مقادیر کم در خاک (زیر یک درصد) باعث افزایش اسیدیته خاک به بالاتر از هفت می‌شود و کاهش معنی دار اسیدیته در کل خاک عملاً غیر ممکن می‌باشد. به همین علت راهکارهای ارائه شده معمولاً pH را به طور موضعی کاهش داده و باعث افزایش حلالیت آهک و ورود کلسیم بیشتر به محلول خاک می‌شود. بسیاری از کودهای شیمیایی و یا آلی دارای بنیان اسیدی هستند ولی با توجه به میزان مصرف در

خاک نمی‌تواند اهداف مورد نظر را برآورده کند. از منابع مفید تجاری قابل دسترس در کشور گوگرد است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. گوگرد عنصری در خاک باید به فرم یون سولفات در آید تا بتواند با خاصیت اسیدی خود باعث افزایش انحلال پذیری آهنک شود. گوگرد در طی مسیرهای شیمیایی و بیولوژیکی خاصی اکسید می‌شود مسیر شیمیایی بسیار کند بوده و عملاً مناسب نیست. در روش بیولوژیک سه شرط اساسی برای انجام سریع و کامل اکسیداسیون لازم است:

- 1- وجود باکتری اکسید کننده از جنس تیوباسیلوس در خاک. این باکتری به صورت تجاری در دسترس می‌باشد.
  - 2- رطوبت مناسب رشد باکتری در خاک.
  - 3- مقادیر کافی مواد آلی به منظور تامین نیاز باکتری‌ها.
- به همین علت توصیه می‌شود در مناطق گرم و خشک گوگرد همراه با مواد آلی مخلوط شده و در باغات ترجیحاً در چالکود مصرف گردد.

جدول ۱- حلالیت کربنات کلسیم در آب در pHهای مختلف

pH	۶٫۲	۶٫۵	۶٫۶	۶٫۸	۸٫۶	۹٫۲
حلالیت کربنات کلسیم (g)	۱٫۹۳	۱٫۴۴	۰٫۷۱	۰٫۳۲	۰٫۱۱	۰٫۰۸

کالی دیگری که انحلال آن باعث ورود مقادیر مناسبی یون کلسیم به خاک می‌شود، کالی سولفات کلسیم ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) یا اصطلاحاً گچ است. گچ به دو شکل سولفات کلسیم آبدار و سولفات کلسیم بدون آب گچ خام در طبیعت دیده می‌شود. گچ خام موجود در طبیعت معمولاً حاوی دو متکول آب ( $\text{H}_2\text{O}$ ) است. نکته کلیدی در باره گچ بالاتر بودن انحلال آن در آب نسبت به آهنک است. انحلال گچ تحت تاثیر اسیدیته خاک و یا فشار گاز کربنیک قرار نداشته و در دمای معمول خاک نیز تقریباً ثابت می‌باشد. لازم به یاد آوری است که محلول اشباع از گچ خالص دارای شوری در حدود ۲۱۵ دسی‌زیمنس بر متر است.

این شوری معمولاً در شرایطی که گچ به عنوان اصلاح کننده به کار می‌رود مشکل خاصی ایجاد نمی‌کند و از طرف دیگر افزایش شوری محلول نسبت به این مقدار تشنه وجود نمک‌های محلول به عنوان تا خالصی در آن است.

قبل از مصرف هر گونه ماده اصلاح کننده به خاک باید به این چند سوال پاسخ دقیق داد تا علاوه بر دستیابی به بهترین نتیجه کمترین هزینه و اثرات جانی احتمالی را تحمل کرد.

- نوع ماده اصلاح کننده
- میزان مورد نیاز
- زمان مصرف
- روش مصرف

در این بحث سعی می‌شود به سوالات فوق با در نظر گرفتن "گچ" به عنوان اصلاح کننده پاسخ داده شود.

اصولاً مواد اصلاح کننده مصرفی برای خاک‌های سدیمی و یا زیادی منیزیم را می‌توان در دو گروه اصلی قرار داد. گروه اول که یون "کلسیم" را مستقیماً به محلول خاک اضافه می‌کنند مانند گچ و گروه دوم که با کاهش دادن اسیدیته خاک موجب انحلال آهنک موجود در خاک و آزاد شدن کلسیم آن می‌شوند. با توجه به فراوانی گچ در بسیاری از مناطق کشور خصوصاً مناطق دارای مشکل شوری و قلیائیت این کالی اغلب به عنوان انتخاب اول برای اصلاح خاک انتخاب می‌شود. با مصرف گچ برخی دیگر از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حتی بیولوژیکی خاک نیز اصلاح می‌شود و به همین دلیل در مناطقی که مصرف گچ با انجام آزمایشات مناسب ضروری تشخیص داده شود افزایش رشد و عملکرد به صورت معنی داری مورد انتظار بوده و مصرف آن باید در اولویت قرار گیرد. در این شرایط گچ می‌تواند همه یا برخی از فواید زیر را به طور مستقیم و غیر مستقیم داشته باشد:

- ✓ اصلاح نسبت سدیم در فاز تبادل و محلول
- ✓ افزایش راندمان آبشویی و کاهش سریع‌تر شوری خاک
- ✓ بهبود تهویه و نفوذ پذیری خاک
- ✓ کاهش pH خاک‌های سدیمی
- ✓ جلوگیری از تشکیل سله در سطح خاک پس از آبیاری
- ✓ تامین عناصر غذایی بر مصرف کلسیم و گوگرد
- ✓ بهبود و استحکام ساختمان خاک
- ✓ کاهش تراکم خاک‌های رسی و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک
- ✓ افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، بهبود نفوذ ریشه در خاک و افزایش راندمان آبیاری
- ✓ افزایش پایداری مواد آلی در خاک
- ✓ اصلاح نسبت کلسیم به منیزیم در فاز تبادل و محلول
- ✓ کمک به جذب بهتر عناصر غذایی توسط گیاه
- ✓ افزایش رشد و فعالیت بیولوژیکی خاک مخصوصاً کرم‌های خاکی

## محاسبه میزان گچ مورد نیاز:

هدف اصلی مصرف گچ ورود مقادیر بیشتر کلسیم به خاک و جایگزینی آن با سدیم اضافی موجود روی سطوح تبادلی ذرات خاک است. با علم به اینکه واکنش تبادلی طبق قوانین معمول شیمی با اکی‌والان‌های برابر صورت می‌گیرد، با محاسبه میزان سدیم اضافی خاک می‌توان گچ مورد نیاز را بر اساس معادله (۱) محاسبه کرد. در این بخش روابط مورد نیاز برای محاسبه نیاز گچی با عنایت به پارامترهای در دسترس و در قالب دو مثال ذکر می‌گردد.

## معادله (۱)

$$GR = \frac{P_s * a * d * (ESP_i - ESP_f) * CEC * 8.61}{b}$$

که در آن:

- GR: نیاز گچی (کیلوگرم در هکتار)
- $ESP_i$ : درصد سدیم تبادلی اولیه خاک
- $ESP_f$ : درصد سدیم تبادلی مورد انتظار بعد از اصلاح
- CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (میلی اکی‌والان در صد گرم خاک (meq/100gr soil)
- a: سطح (هکتار)
- d: عمق (متر) خاک مورد نظر برای اصلاح
- $P_s$ : وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتیمتر مکعب)
- b: درصد خلوص گچ مورد استفاده

## محاسبه ESP

در صورتی که نتایج تجزیه خاک در دسترس باشد بر اساس ترکیب محلول اشباع خاک مقادیر SAR محاسبه شده و با استفاده از رابطه زیر ESP بدست می‌آید. واحدهای مورد استفاده در رابطه دو میلی اکیوالان در لیتر (meq/l) است. در صورتی که واحدها بر اساس میلی گرم در لیتر یا ppm گزارش شده باشد باید ابتدا آن‌ها را به میلی اکی والان در لیتر تبدیل کرد. (مانند مثال دو)

معادله (۲)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

معادله (۳)

$$ESP = \frac{Na_e}{CEC} = \frac{100 * (-0.0126 + 0.01475 * SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * SAR)}$$

Na<sub>e</sub> در این معادله میزان سدیم در فاز تبادل است که اندازه‌گیری آن در خاک‌های شور و یا سدیمی سخت می‌باشد.

در صورت عدم دسترسی به نتایج آزمایشات خاک مقادیر SAR را می‌توان با استفاده از میزان کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم موجود در آب آبیاری نیز برآورد کرد.

## برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی:

با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات مربوط به ظرفیت تبادل کاتیونی در بسیاری از موارد، از رابطه زیر به منظور تخمین میزان آن می‌توان سود برد.

$$CEC = 0.124 * OM\% + 0.904 * Clay\%$$

با توجه به اندازه‌گیری درصد کربن آلی (OC%) در نتایج آزمون خاک از رابطه زیر به منظور تخمین درصد مواد آلی (OM%) استفاده می‌شود.

$$OM\% = OC\% * 1.724$$

## برآورد وزن مخصوص ظاهری خاک:

وزن مخصوص ظاهری خاک وزن حجم خاک است. بافت خاک و مواد آلی از جمله عوامل اساسی تعیین کننده آن است. اندازه‌گیری این پارامتر با استفاده از استوانه‌های مخصوص که حجم معینی از خاک را در خود جا می‌دهند استفاده می‌شود. جدول زیر می‌تواند در مناطقی که این پارامتر در خاک اندازه‌گیری نشده است راهنمای مناسبی باشد.

جدول ۲ تخمین وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از کلاس بافتی

Sand	Loamy sand	Sandy loam	Silt	Silty loam	Loam	Sandy clay loam	Sandy clay	Clay loam	Silty clay loam	Silty clay	Clay	کلاس بافتی
1.7	1.68	1.54	1.48	1.5	1.40	1.40	1.32	1.35	1.28	1.3	1.25	وزن مخصوص ظاهری

مثال ۱

یک خاک sodic فاقد گچ دارای ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۵ میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم، وزن مخصوص ظاهری ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب و  $ESP = 20\%$  باشد مقدار گچ مورد نیاز برای اصلاح این خاک به عمق ۵۰ سانتی متر و رسیدن به  $ESP = 10\%$  چند تن در هکتار می‌باشد؟ میزان خلوص گچ را ۸۰ درصد در نظر بگیرید.

$$GR = \frac{P_s \cdot a \cdot d \cdot (ESP_i - ESP_f) \cdot CEC \cdot 8.61}{b}$$

$$GR = \frac{1.5 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot (20 - 10) \cdot 15 \cdot 8.61}{80} = 12.1 \text{ تن در هکتار}$$

مثال ۲- میزان گچ ۱۰۰ درصد خلوص لازم برای اصلاح ۱۰ هکتار باغ به عمق ۱۰۰ سانتی متر و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زیر چند تن می‌باشد (۵۰ درصد کاهش SAR در نظر گرفته شود).

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

EC	pH	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	OC (%)	آنیون و کاتیون‌های عمده (mg/L)				
						Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
12.3	7.5	63	22	15	0.34	2070	400	160	3480	183

تبدیل واحد عناصر به میلی اکی والان در لیتر:

$$Na^+ = \frac{23}{1} = 23 \text{ جرم اتمی وان سدیم}$$

$$Na^+_{equiv} = \frac{2070}{23} = 90$$

$$Ca^{2+} = \frac{40}{2} = 20 \text{ جرم اتمی وان کلسیم}$$

$$Ca^{2+}_{equiv} = \frac{400}{20} = 20$$

$$Mg^{2+} = \frac{24}{2} = 12 \text{ جرم اتمی وان منگنیم}$$

$$Mg^{2+}_{equiv} = \frac{160}{12} = 13.3$$

محاسبه نسبت جذب سدیم:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

$$SAR = \frac{90}{\sqrt{\frac{20 + 13.3}{2}}} = 22$$

محاسبه درصد سدیم تبادلی:

$$ESP = \frac{100 \cdot (-0.0126 + 0.01475 \cdot SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \cdot SAR)}$$

$$ESP_1 = \frac{100 * (-0.0126 + 0.01475 * 22)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * 22)} = 23.7$$

$$ESP_2 = \frac{100 * (-0.0126 + 0.01475 * 11)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * 11)} = 13$$

محاسبه ظرفیت تبادل کاتیونی با مشخصات عمومی خاک:

$$\%OM = \%OC * 1.724$$

$$\%OM = 0.34 * 1.724 = 0.586$$

$$CEC = 0.124 * OM\% + 0.904 * Clay\%$$

$$CEC = 0.124 * 0.586 + 0.904 * 15 = 13.63$$

محاسبه نیاز گچی:

$$GR = \frac{P_b * a * d * (ESP_1 - ESP_2) * CEC * 8.61}{b}$$

$$GR = \frac{1.4 * 10 * 1 * (23.7 - 13) * 13.63 * 8.61}{100} = 175.8 \text{ تن گچ لازم در ده هکتار}$$

با توجه به روابط فوق میزان گچ لازم برای جانشین سازی مقادیر خاصی از سدیم محاسبه می‌شود. در حالت‌های خاصی در صورتی که از اصلاح کننده‌های دیگر مانند گوگرد برای اصلاح خاک استفاده شود باید از جدول زیر به منظور محاسبات کمک گرفت. در این جدول مقادیر معادل گچ نشان داده شده است.

جدول ۴- معادل سازی انواع اصلاح کننده‌های خاک‌های سدیمی (FAO- 199...)

ماده اصلاح کننده	ترکیب شیمیایی	مقدار معادل با (کیلوگرم گچ خالص (Kg)	تخلال در آب سرد (g/L) Kg/m <sup>3</sup>
گچ	CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	1.00	2.4
کلرید کلسیم	CaCl <sub>2</sub> 2 H <sub>2</sub> O	0.85	977
اسید سولفوریک	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.57	بسیار زیاد
سولفات آهن	FeSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	1.62	156
سولفات آلومینیم	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 18 H <sub>2</sub> O	1.29	869
گوگرد	S	0.19	0
سیرت	FeS <sub>2</sub> - 30% sulphur	0.63	0.005
پلی سولفات کلسیم	CaS <sub>2</sub> - 24% sulphur	0.77	بسیار زیاد

برای مثال در صورتی که به جای گچ بخواهیم از گوگرد استفاده کنیم در مثال یک مقدار گوگرد مورد نیاز برای هر هکتار زمین برابر است با (درجه خلوص گچ ۸۰ درصد بود):

$$GR = \frac{12.1 * 80}{100} = 9.7 \text{ تن در هکتار گچ ۱۰۰ درصد خالص مورد نیاز}$$

$$SR = 9.7 * 0.19 = 1.8 \text{ تن در هکتار گوگرد مورد نیاز}$$

## زمان و نحوه مصرف گچ

مصرف گچ نیز همانند دیگر عملیات اصلاحی بهتر است که در دوره خواب گیاه و در طول دو فصل پاییز و زمستان انجام شود. البته در صورت فراهم بودن شرایط و وجود آب به مقدار کافی می‌توان در هر فصلی از سال گچ را به خاک اضافه کرد. گچ ماده ای با خلاقیت متوسط و دارای ضریب نمکی نسبتاً پایینی می‌باشد. بنابراین چنانچه در دوره رشد گیاه نیز به خاک داده شود از لحاظ ایجاد شوری مشکلی ایجاد نمی‌کند.

به طور کلی گچ با توجه به شکل در دسترس، درجه خلوص، شدت سدیمی بودن خاک، عمق مورد نظر برای اصلاح می‌تواند به صورتهای زیر استفاده شود.

- محلول در آب آبیاری
- پخش در سطح خاک بدون اختلاط
- اختلاط در سطح (تا ۱۰ سانتیمتری یا دیسک) و یا تا عمق (تا ۲۰ سانتیمتری یا شخم)

در اکثر حالات و با درجه سدیمی متوسط در خاک بهتر است گچ در سطح خاک پخش شده و سپس با دیسک و یا شخم یا خاک سطحی (حداکثر تا عمق ۱۰ سانتیمتر) مخلوط گردد. این اختلاط را همان مصرف گچ را نسبت به پخش سطحی افزایش می‌دهد. اختلاط گچ در ضخامت کمتری از خاک خصوصاً هنگامی که مقادیر گچ در دسترس به اندازه مقادیر محاسبه شده نیست نتیجه مناسبتری نسبت به اختلاط آن با عمق زیاد خاک دارد. این وضعیت مخصوصاً برای اراضی تحت کشت محصولات زراعی مشاهده می‌شود. در صورت وجود لایه محدود کننده رسی در خاک، اختلاط گچ تا عمق زیاد خاک همزمان با اختلاط لایه‌های مختلف خاک می‌تواند نتیجه مناسبی در بهبود هدایت هیدرولیکی خاک داشته باشد.

گچ برای مصرف در خاک بهتر است آسیاب شده و تا حد ممکن خرد شود. یا کوچک شدن اندازه ذرات گچ انحلال آن سریع‌تر و بیشتر اتفاق می‌افتد. البته با توجه به

هزینه این کار اندازه انتخابی به مسائل اقتصادی بستگی دارد. البته این بدان معنی نیست که در همه حالات مصرف گچ یودری می‌تواند بهترین نتیجه را داشته باشد. ذرات گچ کوچکتر از ۲ میلی‌متر با توزیع وسیع اندازه ذرات به خوبی می‌توانند عمل آزرده‌سازی کلیم و جایگزینی یا سدیم نیاندلی را بدون ایجاد رسوب آهک انجام دهند. محدود بودن خلاقیت گچ در آب (۲۴ گرم در لیتر) عامل کاهش سرعت اصلاح خاک می‌باشد. گچ یودری را می‌توان براحتی در آب آبیاری در محل استخر و یا ورودی کرت حل کرده و آب محتوی گچ محلول به طور یکنواخت و همراه با آب وارد کرت شود. این روش در باره اراضی با محدودیت سدیم متوسط و پایین موثرتر می‌باشد. مقدار مصرف این نمونه گچ نسبت به انواع قبلی به مراتب کمتر می‌باشد.

گچ به هر شکلی که مصرف شود بایستی همراه با آبیاری سنگین باشد تا سدیم آزاد شده از سطوح نیاندلی با مصرف آب آبیاری کافی از محدوده ریشه خارج گردند. نکته مهم اینکه آب لازم برای انحلال مقدار مشخص گچ معمولاً بر اساس خلاقیت گچ در آب آزاد محاسبه می‌شود. بر این اساس، مثلاً برای انحلال حدود ۱۲ تن گچ در یک هکتار به ۵۰ سانتیمتر آب نیاز است. در عمل بعد از مخلوط کردن گچ با خاک انحلال پذیری آن افزایش یافته و نیاز به آب بسیار کمتر خواهد بود. ولی به هر حال بعد از مصرف گچ باید مقادیر کافی آب به منظور خارج ساختن سدیم اضافی از محدوده ریشه مصرف کرد. به همین علت و برای دسترسی به این مقدار آب مصرف گچ در مناطق خشک و نیمه خشک در زمستان صورت می‌گیرد.



شکل ۲- تصویر بطور گچ و گچ بودوری آماده مصرف در باغ پسته

### نقش مواد آلی:

گزارش‌های زیادی در باره اثر مواد آلی در بهبود خواص خاک‌های شور و قلیایی وجود ندارد. ولی انواع روش‌های مصرف مواد آلی منتج به بهبود ساختمان خاکدانه و افزایش رطوبت‌اندازی در خاک‌های شور و سدیمی شده اند. البته در این میان مصرف کودهای دامی نتایج بهتری داشته است. بین مصرف گچ و مواد آلی نیز اثر متقابل مشاهده شده. به صورتی که مواد آلی می‌تواند کمبود برخی عناصر مخصوصاً عناصر کم مصرف را که با مصرف گچ تشدید شده را جبران کند و یا با اسیدی شدن محیط انحلال آن‌ها را افزایش دهد. به هر حال مصرف مواد آلی تنها و یا همراه با سایر اصلاح کنندگان در این خاک‌ها مفید می‌باشد. با مصرف مقادیر کافی از مواد آلی می‌توان تیز گچی را به طور معنی‌داری کاهش داد.



شکل ۴ - مصرف گچ در خاک و ساختمان خوب خاک (سمت راست) - عدم مصرف گچ در خاک و ساختمان ضعیف خاک (سمت چپ)



جداول تجزیه یک نمونه خاک که منجر به توصیه مصرف 1715 تن کجج در هکتار شده است

مشخصات نمونه  
Description

Texture	% Clay	% silt	% sand	مقدار کلسیم کل (Ca <sup>2+</sup> )	مقدار منگنز کل (Mn <sup>2+</sup> )	نسبت کلسیم به منگنز (Ca/Mn)	مقدار پتاسیم کل (K <sup>+</sup> )	مقدار فسفر کل (P <sub>T</sub> )	مقدار گوگرد کل (S)	مقدار نیتروژن کل (N)	مقدار کربن کل (C)	مقدار کربن آلی (OC)	مقدار کربن معدنی (C <sub>min</sub> )
Sandy Clay Loam	15	20	65				0.040			7.00	12.00		

F.F.M				C.E.C		انواع کاتیون‌های محلول در آب (mg/L)														
Zn	Cu	Mn	Fe	meq/100g	meq/100g	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Cd	Co	Ni	Pb	Cr	Cu	
						2070.0	790.0	480.0						2480.0	142.0	0.0				



شکل 5- مصرف کجج توصیه شده همراه با کود دامی



## منابع

1. عبدالرحمن برزگر خاک‌های شور و سدیمی: شناخت و بهره‌وری. ۱۳۷۹، نشر دانشگاه شهید چمران اهواز.
2. ملکوتی، محمد جعفر، پیمان کشاورز، سعید سعادت و بهمن خلدیرین. ۱۳۸۱. تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات سنا. معاونت امور باغبانی وزارت جهاد کشاورزی.
3. Abrol, I. P.J., S.P. Yadav, and F. I. Massoud. 1998. Salt affected soil and their management. Soils Bulletin, 39. FAO. Rome, Italy.
4. Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1984. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper. FAO. Rome. Italy.
5. Keren, R., and I. Shainberg. 1981. The efficiency of industrial and mined gypsum in reclamation of a sodic soil-rate of dissolution. Soil Sci. Am. J. 45:103-107
6. Keren, R., J. F. Kereith and I. Shainberg. 1980. Influence of size of gypsum particles on the hydraulic conductivity of soils. Soil Sci. 130:113-117
7. Management of gypsiferous soils. Soil bulletin 62, Rome. Italy. Mardoud T. 1996. Behaviour of roots and properties of soils with different content of gypsum under irrigation (Balikh Bas Syria).
8. Miyamoto, S, R. J. prather, J. L. Stroehlein. 1975. Sulfuric acid and leaching requirements for reclamation sodic affected calcareous soils. Plant and Soil. 43:573-585