پژوهشکده مرکبات و
میوه‌های نیمه گرمسیری

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم باغبانی

نشریه فنی

اثر کیفیت خاک در مدیریت بهینه باغ‌های مرکبات

نگارندگان:

طاهره رئیسی و سیدمجید موسوی

۶۲

۱۴۰۱

بسمه‌تعالی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

موسسه تحقیقات علوم باغبانی

پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری

اثر کیفیت خاک در مدیریت بهینه باغ‌های مرکبات

نگارندگان:

طاهره رئیسی و سیدمجید موسوی

۱۴۰۱

اثر کیفیت خاک در مدیریت بهینه باغ های مرکبات

نگارندگان: طاهره رئیسی و سیدمجید موسوی

ویراستاران: علی اسدی کنگرشاهی، بیژن مرادی، هرمز عبادی، حسین طاهری

ناشر: موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری

شمارگان: محدود

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱

مسئولیت درستی مطالب با نگارنده /نگارندگان است.

این نشریه با شماره ٦١٨١٨ .مورخ ١١-٠٤-١٤٠١ از مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نشانی: پژوهشکد مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری.

تلفن:۰۱۱۵۵۲۲۲۰۸۱ - **دورنگار**.. ۰۱۱۵۵۲۲۳۲۸۲ - **کدپستی:** - صندوق پستی:

icri.areeo.ac.ir

فهرست

عنوان **صفحه**

۱- کیفیت خاک: از مفهوم تا اهمیت ۲

۱-۱- ارتباط کیفیت خاک با سلامت خاک و حاصلخیزی خاک ۳

۲- شاخصهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی مورد استفاده در ارزیابی کیفیت خاک ٤

۳- تاثیر راهکارهای مدیریتی بر کیفیت خاک باغ مرکبات ۱۷

۳-۱- کیفیت و مدیریت آب آبیاری ۱۷

۳-۲- مدیریت مصرف کود (کود آلی و کود شیمیایی) ۲۴

۳-۳- کاربرد اصلاح کننده‌های خاک ۲۷

۳-۴- اثر پذیری کیفیت خاک از تغییر کاربری اراضی ۳۲

۴- ارتباط زوال مرکبات با شاخص‌های کیفی خاک ۳٤

۵- منابع ٤۰

چکیده

کیفیت خاک عموماً معادل سلامت خاک در نظر گرفته می‌شود. این مفهوم نه تنها از دیدگاه تولید پایدار حائزاهمیت است، بلکه یک خاک با کیفیت مطلوب می‌تواند باعث ارتقای ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک، قابلیت دسترسی عناصر غذایی، عملکرد و قابلیت تولید محصولات باغی و زراعی گردد. جهت ارزیابی کیفیت خاک از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی استفاده می‌شود. در کشور ما مرکبات در اراضی مختلف با دامنه‌ای از محدودیت‌های فیزیکی و شیمیائی کشت می‌شوند و تولیدکننده‌های مرکبات با چالش‌هایی در زمینه‌ی حفظ حاصلخیزی خاک باغ مرکبات مواجه هستند. این محدودیت‌ها باید آگاهانه و علمی بوده و ضمن حفظ و یا ارتقا کیفیت خاک باغات مرکبات، برای رسیدن به یک تولید مناسب مدیریت گردند. در این نشریه سعی شده است در ابتدا تجربیات موجود در زمینه‌ی نقش راهبردهای مدیریتی شامل مدیریت آب آبیاری، مدیریت مصرف کود، کاربرد بهبود دهنده‌های خاک، و تأثیر تغییر کاربری اراضی در کیفیت خاک باغ مرکبات ارائه شود و سپس، با توجه به اهمیت مبحث سلامت خاک به ویژه در مورد بیماری آوندی در مرکبات که منجر به کاهش حجم ریشه و به دنبال آن کاهش جذب آب و عناصر غذایی می‌شوند، مفاهیمی در زمینه‌ی ارتباط زوال مرکبات با شاخص‌های کیفی خاک ارائه شود.

۱- کیفیت خاک: از مفهوم تا اهمیت

خاک، محیطی پیچیده و پویا و یکی از مهمترین اجزاء اکوسیستم است. این محیط جای مناسبی برای ذخیره عناصر غذایی و انجام فرآیندها و فعالیت‌های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی می‌باشد و به عنوان یک فیلتر طبیعی با نگهداری و انتقال آلاینده‌ها، اثرات مضر آنها را کاهش می‌دهد. مفاهیم اولیه کیفیت خاک اساساً با ویژگی‌های مختلف خاک که در حاصلخیزی خاک دخیل هستند، مرتبط‌اند. مطابق تعریف ارائه شده توسط انجمن علوم خاک آمریکا (۱۹۹۵) «کیفیت خاک پتانسیل عملکرد ویژه‌ی خاک در اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت در جهت حفظ بهره‌وری گیاهی و حیوانی، حفظ یا بهبود کیفیت آب و هوا و تامین سلامتی بشر و زیست بوم آن است». کیفیت خاک را می‌توان از دو بعد مورد مطالعه قرار داد، یکی کیفیت ذاتی خاک که توانایی طبیعی خاک در عمل به وظیفه خود در راستای حمایت از رشد و نمو گیاه بوده و تابعی از عوامل خاکسازی است و دیگری کیفیت پویای خاک است و شامل آن دسته از ویژگی‌های خاک است که در قبال نوع ویژه‌ای از بهره‌برداری یا مدیریت دستخوش تغییر می‌شود که بعد اخیر بیانگر وضعیت سلامت خاک می‌باشد (Karlen et al., 1997; Carter et al., 1997).

۱-۱- ارتباط کیفیت خاک با سلامت خاک و حاصلخیزی خاک

حاصلخیزی خاک انعکاسی از پیچیدگی‌های ذاتی ساختار اکوسیستم خاک-گیاه است، که از یکایک ویژگی‌های اجزای گوناگون این سیستم حیاتی و نیز از برهمکنش‌های بی‌شمار بین این اجزاء تأثیر می‌پذیرد و برآیند اثرات آن‌ها را به صورت توان رشد گیاه و تولید محصول، عرضه می‌دارد. حاصلخیزی خاک را توان کیفی خاک برای تأمین عناصر غذایی به مقدار کافی و در توازن مطلوب برای رشد گیاهان یا محصولاتی معین تعریف نموده‌اند (ابطحی و همکاران، ۱۳۷۹). بر این مبنا، تعاریف حاصلخیزی خاک و اجزای آن، شامل حاصلخیزی زیستی، حاصلخیزی شیمیائی و حاصلخیزی فیزیکی خاک ارائه شده است (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶). تاکنون به حاصلخیزی شیمیایی بیشتر توجه شده است اما به نظر می‌رسد در بعد مدیریتی، سلامت خاک و کیفیت خاک از نقش مهمتری در مدیریت پایدار برخوردار باشند. سلامت خاک و کیفیت خاک به صورت ظرفیت خاک در عمل به عنوان یک سیستم زنده‌ی حیاتی درون مرزهای کاربری اراضی تعریف می‌شود. این کارکرد، باروری زیستی خاک را تقویت کرده، کیفیت محیط زیست پیرامون و سلامت انسان را نیز حفظ می‌کند. در جدول ۱ تشریح کیفیت خاک از نظر اثرات بالقوه‌ای که بر محیط زیست و انسان می‌گذارد ارائه شده است که به بطور مفصل توسط Franzluebbers (2008) تشریح شده است.

جدول ۱- تشریح کیفیت خاک و اثرات بالقوه‌ی آن بر محیط زیست و انسان

خاک با کیفیت بالا	عوامل متأثر از وضعیت کیفیت خاک	خاک با کیفیت پایین
بالا	باروری	پایین
بله	تأمین غذای سالم	؟
بالا	حفاظت زیست محیطی	پایین
بالا	امانت‌مداری زمین	پایین
بالا	ماده آلی خاک	پایین
پایین	فرسایش/ رسوبگذاری	بالا
بالا	فعالیت میکروبی خاک	پایین
بالا	تنوع زیستی	پایین
بالا	کیفیت آب	ضعیف
بالا	کیفیت هوا	ضعیف
بالا	شرایط بشر	؟

سه ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی مشترک در مفاهیم سه گانه‌ی حاصلخیزی، کیفیت و سلامت خاک، تشابهات و تمایزاتی را سبب شده که بکارگیری آنها را در جای درست با اشکال مواجه می‌نماید. مفهوم کیفیت/سلامت خاک اساساً مفهوم پیچیده‌ای از باروری/حاصلخیزی خاک برای مقابله با مشکلات چندگانه و پیچیده‌ای است که امروزه جهان در تحقق سلامت اکوسیستم کشاورزی و توسعه‌ی پایدار با آن مواجه است و نگاهی فراتر از حاصلخیزی خاک و باروری خاک را می‌طلبد. خاک به عنوان یک منبع تجدیدناپذیر و زنده‌ی اکوسیستم است و سلامت آن به عنوان بعدی از سلامت اکوسیستم، بیانگر مقاومت و انعطاف‌پذیری خاک در پاسخ به تنش‌ها و آشفتگی‌های گوناگون و ظرفیت دائمی آن برای عمل به عنوان یک زیر سیستم زنده‌ی پویا درون اکوسیستم بوده که با به‌کارگیری بهینه‌ی اراضی، تداوم باروری زیستی را ممکن ساخته و کیفیت هوا و آب، سلامت گیاه، حیوان و انسان را ارتقاء می‌دهد (Doran and Zeiss, 2000). از طرفی در بسیاری موارد کیفیت خاک، که مرتبط با عملکرد خاک است، به لحاظ مفهومی معادل با سلامت خاک در نظر گرفته می‌شود (Doran, 2002). کیفیت خاک به صورت ظرفیت خاک به عنوان یک منبع در اکوسیستم‌های طبیعی یا مدیریت‌شده، برای حفظ میزان تولیدات گیاهان و حیوانات، حفظ یا افزایش کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت انسان تعریف شده است (Karlen et al., 2001). کیفیت خاک به دو بخش کیفیت ذاتی و کیفیت پویا (دینامیک) تقسیم می‌شود. کیفیت ذاتی خاک به جنبه‌هایی از کیفیت خاک مرتبط با ترکیب و ویژگی‌های طبیعی خاک (نوع خاک) اشاره دارد، که عموماً تحت تأثیر مدیریت انسانی قرار نمی‌گیرند. کیفیت پویای خاک، به ویژگی‌هایی از خاک اشاره دارد که در نتیجه‌ی مدیریت و استفاده از خاک در طول زمان تغییر می‌کند و معادل سلامت خاک در نظر گرفته شده است (Brady and Weil, 1999). کیفیت خاک به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست، اما ویژگی‌هایی از خاک که نسبت به تغییر مدیریت حساس می‌باشند، می‌توانند به عنوان شاخص مورد استفاده قرار گیرند. نکته‌ی مهم آن است که اثرات نامطلوب بر روی سلامت خاک و کیفیت خاک از عدم تعادل عناصر غذایی در خاک، کوددهی بیش از حد، آلودگی خاک و فرآیندهای هدررفت خاک ناشی می‌شوند، که مرتبط با حاصلخیزی خاک و مدیریت آن بوده و هر گونه اصلاح معیار، از همین نقطه بایستی آغاز گردد. نتایج بررسی منابع بیانگر آن است که اندازه‌گیری‌ها و شاخص‌بندی‌های هر سه مفهوم مبتنی بر سه ویژگی زیستی، شیمیائی و فیزیکی می‌باشد.

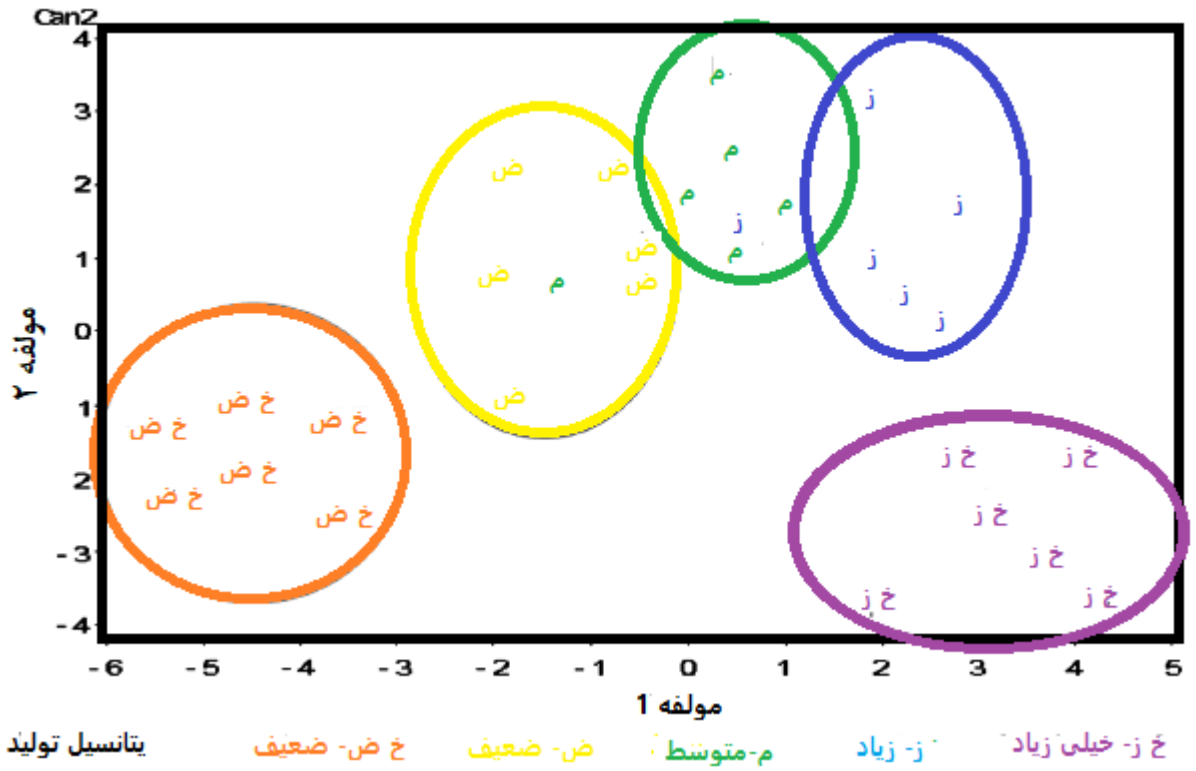
۲- شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مورد استفاده در ارزیابی کیفیت خاک

از آنجایی‌که وضعیت تقریباً مشابهی برای سه مفهوم حاصلخیزی، کیفیت و سلامت خاک وجود دارد، به طور مفصل در جدول ۲ شاخص‌های ارزیابی این سه مفهوم ارائه و تشریح شده است. از اطلاعات ارائه شده در جدول ۲ این‌گونه برداشت می‌شود که شاخص‌های کیفیت، سلامت و حاصلخیزی خاک ترکیبی از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک می‌باشند. این شاخص‌ها ابزارهای تصمیم‌گیری هستند که به گونه‌ای مؤثر مجموعه‌ای از

ویژگی‌های خاک را برای تصمیم‌سازی چند هدفه تلفیق می‌نمایند. در این شاخص‌ها، شیوه‌های تعریف شده‌ای برای گزینش، نمره‌دهی و وزن‌دهی ویژگی‌های خاک وجود دارند که به صورت مدل‌های جامعی امکان تعیین و مقایسه کیفیت، سلامت و حاصلخیزی خاک‌های مناطق مختلف را به صورت علمی فراهم می‌کند، اگرچه درباره‌ی حاصلخیزی خاک، بیشتر جنبه‌ی شیمیایی آن مورد توجه قرار گرفته شده است. انتخاب ویژگی‌هایی از خاک که به بهترین شکل نشان‌دهنده‌ی وضعیت کیفیت، سلامت و حاصلخیزی خاک است، اهمیتی کلیدی در ارزیابی این مفاهیم دارد. ویژگی‌های انتخاب شده باید محدوده‌ی گسترده‌ای از مشخصات خاک را پوشش داده و با این حال به طور مستقیم بر مفاهیم ذکر شده اثر داشته باشند. از مطالب ارائه شده اینگونه برداشت می‌شود که شناخت بهتر کیفیت خاک، آگاهی از روند سلامت خاک و تشخیص وسعت و شدت تخریب خاک در مدیریت پایدار حاصلخیزی خاک و استفاده‌ی کشاورزی از اراضی مهم است. این آگاهی فقط از طریق ارزیابی صحیح و مطلوب کیفیت و سلامت خاک بدست می‌آید. کیفیت و سلامت خاک دارای اهداف مدیریتی و شیوه‌ای برای استفاده‌ی بهتر از ویژگی‌های خاک است و کاهش آنها چالشی بزرگ برای افزایش بهره‌وری کشاورزی، رشد اقتصادی و حفظ محیط زیست که از اهداف اصلی تعیین کیفیت و سلامت خاک می‌باشند، محسوب می‌شود. کیفیت و سلامت خاک تابع مولفه‌ها و فرایندهای پیچیده‌ای هستند که نمی‌توان به طور مستقیم در مزرعه یا آزمایشگاه آنها را اندازه-گیری نمود؛ اما می‌توان آن‌ها را با روابط ریاضی یا روش‌های آماری مختلف تعیین کرد. از آنجایی که شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی کیفیت، سلامت و حاصلخیزی خاک، در مدیریت‌های زراعی و اراضی مختلف، برای مثال در سیستم‌های کشت و کاربری‌های اراضی مختلف و نیز انواع مختلف خاک متفاوت هستند، ارزیابی این مفاهیم بسیار پیچیده بوده و لازم است متغیرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی، توأم مورد توجه قرار گیرند. زیرا متغیرهای خاک رفتارهای مختلفی را هنگام تغییر کاربری اراضی نشان می‌دهند و شاخص‌های کیفیت، سلامت و حاصلخیزی خاک که بر پایه‌ی تلفیقی از ویژگی‌های خاک است در مقایسه با ویژگی‌های فردی خاک بهتر می-توانند شرایط خاک را توصیف نمایند.

در مجموع، خاک یک جامعه غیریکنواخت است و همان‌طور که در قسمت پیشین نیز ذکر شد به دلیل اثرات ترکیبی فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی که در شدت‌های مختلف و در مقیاس‌های متفاوت عمل می‌کنند، دارای تغییرات مکانی ذاتی می‌باشد. تغییرات خاک نتیجه مستقیمی از پنج فاکتور خاکساز شامل اقلیم، میکرواورگانیسم‌ها، توپوگرافی، مواد مادری، زمان و اثرات متقابل این فاکتورها می‌باشد (Jenny, 1941). طبیعت تغییرپذیر خاک که ناشی از فاکتورهای خاکساز است می‌تواند منجر به مدیریت متنوع محصولات حتی در مقیاس کوچک گردد. خاک به غیر از تغییر ذاتی، دارای یکسری تغییرات محلی نیز می‌باشد. این تغییرات محلی عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی (کشت وکار و غیره) می‌باشند. علاوه براینکه خاک از یک محل به محل دیگردارای

تغییر است، در افق‌های پروفیل نیز تغییراتی وجود دارد. در یک مطالعه در باغی ۱۰ هکتاری از مرکبات در فلوریدا، باغ بر اساس حجم کانوپی ناحیه‌بندی شد (خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب حجم کانوپی این ناحیه‌ها به‌ترتیب ۱/۸۴-۰، ۳/۶۷-۱/۸۴، ۵/۵۱-۳/۶۷، ۷/۳۴-۵/۵۱ و ۹/۱۸-۷/۳۴ مترمکعب بر متر ردیف در نظر گرفته شده بود). سپس در هر ناحیه شش نمونه خاک از اعماق مختلف برداشت شد. همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود بر اساس ویژگی‌های خاک، می‌توان مناطق مختلف با پتاسیل تولید متفاوت برای مرکبات را گروه-بندی نمود. علاوه‌براین طبق نتایج تحقیق ذکر شده، ماده آلی، پوشش‌های اکسید آلومینیوم روی ذرات شن، رنگ خاک، مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی، مقدار شن، مقدار جزءهای شن ریز و متوسط در پتانسل تولید باغات مرکبات نقش مهمی ایفا می‌کنند. علاوه براین، نوع کانی‌های رسی نیز در پتانسیل تولید مؤثر می‌باشد (Mann et al., 2011). مطالعه‌ی فوق حاکی از اهمیت توجه به ویژگی‌های خاک (کیفیت خاک) مؤثر در پتاسیل تولید برای احداث باغات جدید مرکبات می‌باشد.



شکل ۱- گروه‌بندی باغ‌های مرکبات با پتاسیل تولید متفاوت با استفاده از برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاها (Mann et al., 2011)

جدول ۲- شاخص‌های مختلف زیستی، شیمیائی و فیزیکی مورد استفاده در ارزیابی کیفیت خاک، سلامت خاک و حاصلخیزی خاک

حاصلخیزی خاک		کیفیت خاک		سلامت خاک	
شاخص	کارکرد	شاخص	کارکرد	شاخص	کارکرد
تنفس میکروبی پایه و تجمعی، کربن زیتوده میکروبی، ماده آلی خاک، حساسیت به تغییرات در مقدار کربن آلی (Renzi et al., 2017)	حاصلخیزی زیستی توان موجودات خاک‌زی (میکروارگانیسم‌ها، جانوران خاک و ریشه‌ها) برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان، تعلیف دام، تولیدمثل و کیفیت (از دیدگاه انسان و دام) در عین حفظ فرآیندهای زیستی که تأثیر مثبتی بر وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک دارند.	کربن و نیتروژن زیتوده میکروبی نیتروژن بالقوه قابل معدنی شدن تنفس خاک	کیفیت بیو لوژیک (Doran and Parkin، ۱۹۹۴) پتانسیل کاتالیزوری میکروبی و مخزن کربن و نیتروژن را توصیف می‌کند. هشدار اولیه در مورد اثرات مدیریت بر مواد آلی را ارائه می‌دهد. باروری خاک و پتانسیل عرضه‌ی نیتروژن را توصیف می‌کند. تخمینی از زیتوده را ارائه می‌دهد. سطحی از فعالیت میکروبی را نشان می‌دهد. تخمینی از فعالیت زیتوده را ارائه می‌دهد.	کربن و نیتروژن زیتوده میکروبی؛ نیتروژن به‌طور بالقوه قابل معدنی شدن	سلامت زیستی پتانسیل کاتالیزوری میکروبی و مخزن برای کربن و نیتروژن؛ بهره‌وری خاک و پتانسیل تأمین نیتروژن
ماده آلی خاک (OM) pH قابلیت هدایت الکتریکی عناصر تغذیه‌ای پرمصرف و کم‌مصرف (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶)	حاصلخیزی شیمیایی ظرفیت خاک برای تأمین محیط شیمیایی مناسب و وضعیت تغذیه‌ای خوب برای گیاهان و تعلیف دام، تولیدمثل و کیفیت (از دیدگاه انسان و دام) به نحوی که آسیبی به فرآیندهای مفید فیزیکی و زیستی که در چرخه عناصر غذایی نقش دارند وارد نشود.	ماده آلی خاک (OM) pH قابلیت هدایت الکتریکی نیتروژن، فسفر و	کیفیت شیمیائی* به عنوان نماینده‌ای برای حاصلخیزی خاک و فراهمی عناصر غذایی. مرزها/آستانه‌های فعالیت زیستی و شیمیایی. مرزها/آستانه‌های فعالیت میکروبی و گیاه. عناصر تغذیه‌ای قابل استفاده‌ی گیاه و قابلیت اتلاف نیتروژن را توصیف می‌کند.	pH، عناصر تغذیه‌ای قابل استخراج خاک، N-P-K و کاتیون‌های بازی Ca, Mg, K	سلامت شیمیایی آستانه‌های فعالیت شیمیایی و زیستی خاک؛ عناصر تغذیه‌ای قابل استفاده گیاه و پتانسیل برای N و P و همچنین هدررفت Ca و K (Drinkwater et

		پتاسیم قابل استخراج	باروری و کیفیت زیست‌محیطی را نشان می‌دهد.		(al., 1996
بافت خاک عمق خاک و ریشه‌دوانی نفوذپذیری و جرم مخصوص ظاهری ظرفیت نگهداری آب (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۸۶)	حاصلخیزی فیزیکی ظرفیت خاک برای ایجاد شرایط فیزیکی مناسب که سبب بهبود تولید گیاه، تولیدمثل و کیفیت شود (از دیدگاه انسان و دام) بدون اینکه به تخریب ساختمان خاک و یا فرسایش خاک منجر شود و تأثیر مثبتی بر فرآیندهای شیمیایی و زیستی خاک داشته باشد.	بافت خاک عمق خاک و ریشه‌دوانی نفوذپذیری و جرم مخصوص ظاهری ظرفیت نگهداری آب	کیفیت فیزیکی* نشان می‌دهد که چقدر آب و مواد شیمیایی حفظ و حمل می‌شوند. تخمینی از فرسایش خاک و تغییرپذیری را ارائه می‌دهد. قابلیت باروری را نشان می‌دهد. زمین‌نما و تغییرپذیری جغرافیایی را از بین می برد. پتانسیل آبشویی، باروری و فرسایش را نشان می‌دهد جرم مخصوص ظاهری برای اصلاح نتایج آنالیز خاک بر پایه‌ی حجمی استفاده می‌شود. نگهداشت آب، انتقال و فرسایش را نشان می‌دهد. آب قابل استفاده برای محاسبه‌ی جرم مخصوص ظاهری و ماده آلی استفاده می‌شود.	پایداری خاکدانه خاک، نفوذپذیری و جرم مخصوص ظاهری	سلامت فیزیکی نگهداری و تحرک آب و عناصر غذایی؛ زیستگاه برای ماکرو میکرو ارگانیسم‌ها (Swift et al., 2004)

۱-۲- نیازهای خاکی مرکبات

در مورد مرکبات، آزمون خاک بیشتر شامل مقدار ماده آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، شکل قابل استفاده عناصر غذایی، مقدار سیلت+رس، ظرفیت نگهداشت زطوبت و نوع کانی‌های موجود در بخش رس و سیلت خاک می‌باشد (Mann, 2011). علاوه براین، بر اساس مطالعات و بررسی‌های انجام شده، مرکبات نسبت به شوری، گچ و آهک حساس و آسیب‌پذیر می‌باشند. اساساً زهکشی مناسب، سطح آب زیرزمینی پایین (بیش از ۱۷۰ سانتی‌متر) و بافت خاک متوسط (Loam، Silt-loam، Clay-loam و Sand-loam) برای مرکبات ترجیح داده می‌شوند. سطح مناسب آهک (کربنات کلسیم) کمتر از ۲۰ درصد، گچ کمتر از ۵ درصد، شوری خاک حداکثر ۲/۶ دسی‌زیمنس بر متر و درصد سدیم قابل تبادل ۵/۲ درصد برای مرکبات گزارش شده است. مناسب‌ترین ساختمان خاک برای درختان مرکبات، ساختمان کروی‌شکل[1] شناسایی شده است. پ-اچ مناسب خاک برای باغات مرکبات ۵/۵ تا ۷/۸ می‌باشد. بر این اساس، نیازهای خاکی برای مرکبات در جدول ۳ ارائه شده است (زین‌الدینی میمند و همکاران، ۱۳۹۸).

لازم به ذکر است که ارقام و پایه‌های گوناگون حساسیت و پاسخ متفاوتی به شاخص‌های فوق نشان می‌دهند. پایه‌ها سیستم ریشه یک درخت را تشکیل می‌دهند و بر جذب آب و عناصر غذایی و انتقال آنها به قسمت‌های مختلف گیاه اثرگذار می‌باشند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی خاک¬ها دو معیار اصلی در انتخاب پایه مرکبات می¬باشند. در واقع انتخاب پایه برای هر منطقه مکان محور می¬باشد (رئیسی و مرادی، ۱۳۹۹). مرکبات در استان مازندران عمدتاً در مناطق کوهپایه‌ای و دشت و ساحلی کشت می¬شوند. خاک این مناطق به لحاظ عمق، سطح آب زیررزمینی، بافت خاک، ظرفیت نگهداشت رطوبت، ظرفیت تبادل کاتیونی، پ-اچ و دیگر ویژگی‌های خاکی که برعملکرد درختان مرکبات تاثیرگذار می¬باشد، متفاوت¬اند. در جدول ۴ واکنش پایه¬های متداول در شما کشور نسبت به فاکتورهای خاکی آورده شده است.

[1] - Spheroidal structure

جدول ۳- نیازهای خاکی برای مرکبات (زین‌الدینی میمند و همکاران، ۱۳۹۸).

شاخص فیزیکوشیمیایی خاک	درجه تناسب					
	بسیار خوب S1	خوب	متوسط S2	نسبتاً ضعیف S3	ضعیف N1	بسیار ضعیف N2
	۱۰۰ ۹۵	۸۵	۶۰	۴۰	۲۵	۰
بافت خاک	لوم؛ لوم-سیلتی؛ لوم-شنی؛ لوم رسی سیلتی	رسی-لوم	لوم رسی؛ سیلتی؛ شنی ریز لومی	لوم رسی شنی؛ شن لومی؛ رس شنی؛ شنی ریز؛ رس سیلتی با ساختمان بلوکی	شنی، رس با خاک-های اکسی‌سول؛ رسی با درصد رس کمتر از ۶۰ درصد و ساختمان بلوکی	رس سیلتی بدون ساختمان و توده‌ای؛ رسی با درصد رس کمتر از ۶۰ درصد و با کانی غالب ورتی‌سول؛ رس بالای ۶۰ درصد و ساختمان بلوکی
عمق خاک (سانتیمتر)	> ۱۵۰	۱۱۰-۱۵۰	۹۰-۱۱۰	۷۰-۹۰		<۷۰
آهک (درصد)	۰-۵	۵-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۵۵	>۵۵
گچ (درصد)	۰-۲	۲-۵	۵-۸	۸-۱۲	> ۱۲	
پ-اچ	۶/۵ -۷/۲	۷/۸-۷	۸/۳-۷/۸	۸/۵-۸/۳	-	>۸/۵
	۵/۸-۶/۵	۵/۲-۷/۲	۵/۵-۵/۲	۲-۵/۵	< ۵	-
کربن آلی (درصد)	>۱/۵	۱-۱/۵	۰/۶ - ۱	<۰/۶		
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی-زیمنس بر متر)	۰ -۱/۷	۱/۷-۲/۶	۴/۵ -۲/۶	۶/۵ -۴/۵	۸ -۶/۵	>۸
درصد سدیم تبادلی (درصد)	۰ -۳/۶	۳/۶-۵/۲	۸/۵ -۵/۲	۱۲/۵ -۸/۵	۱۶ -۱۲/۵	>۱۶

S1= مناسب برای کشت مرکبات
S2= برای کشت مرکبات دارای محدودیت متوسط است
S3= برای کشت مرکبات دارای محدودیت زیاد است
N1= در حال حاضر برای کشت مرکبات دارای محدودیت است اما محدودیت‌ها قابل اصلاح‌اند
N2= برای کشت مرکبات دارای محدودیت است و محدودیت‌ها قابل اصلاح نیستند

جدول ۴- واکنش پایه‌های متداول در شمال کشور نسبت به فاکتورهای خاکی

پایه	آهک	پ-اچ بالا	شوری	مانداب	تنش خشکی
نارنج	متحمل	متحمل	نسبتاً متحمل	متوسط	متوسط
ترویر سیترنج	متحمل	متحمل	متوسط	متحمل	متوسط
کاریزو سیترنج	حساس	حساس	حساس	حساس	متحمل
پونسیروس	حساس	حساس	خیلی حساس	متوسط	حساس
سوینگل سیترومیلو	حساس	حساس	نسبتاً حساس	تقریباً حساس	متوسط
کلئوپاتراماندارین	متوسط	متوسط	متحمل	حساس	متوسط

در ادامه مهمترین مسائل مرتبط با آزمون خاک که در کشت و پرورش مرکبات تاثیرگذار می¬باشند، بررسی شده است.

۱-۱-۲ پ-اچ خاک

یکی از مهمترین ویژگی¬های خاکی برای تعیین استعداد اراضی برای تولید مرکبات مقدار پ-اچ و یا اسیدیته خاک می¬باشد. در واقع پ-اچ خاک مهمترین ویژگی خاکی تاثیرگذار بر کلیه واکنش‌های شیمیائی، زیستی و فیزیکی در خاک می‌باشد. طبق جدول ۳ چنانچه پ-اچ در دامنه ۸/۵-۷/۵ باشد محدودیتی برای کشت مرکبات در آن خاک‌ها به لحاظ پ-اچ وجود ندارد ولی در شرایطی پ-اچ خاک از ۵/۵ کمتر گردد و یا پ-اچ از ۷/۸ بیشتر گردد، پ-اچ به عنوان پارامتر محدود کننده در کشت مرکبات عمل خواهد کرد و منجر به کاهش بیش از ۱۵ درصدی عملکرد نسبت به پتانسیل تولید در این مناطق خواهد شد. مناطق با پ-اچ بیشتر از ۸/۵ و مناطق با پ-اچ کمتر از ۵/۰ برای کشت بیشتر ارقام مرکبات مناسب نیستند. در مطالعه‌ای که اسیدیته خاک در شهرستان تنکابن و بخشی از شهرستان عباس‌آباد پهنه‌بندی شد، مشاهده شدکه اکثر باغ‌های منطقه مورد مطالعه در کلاس تناسب عالی و درصدی از این باغ‌های در کلاس تناسب متوسط برای کاشت مرکبات قرار گرفته‌اند (رئیسی و هکاران، ۱۳۹۷).

بنابراین اندازه‌گیری پ-اچ خاک جزء لاینفک مطالعات آزمون خاک برای پرورش مرکبات می‌باشد تا متناسب با پ-اچ خاک مدیریت مناسب جهت بهبود عملکرد باغ اعمال گردد. با توجه به مباحث فوق نحوه‌ی مدیریت باغ‌های مرکبات در خاک‌های اسیدی و آهکی متفاوت خواهد بود.

۱- مدیریت پ-اچ منطقه ریشه مرکبات در خاک¬های آهکی (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)

- ❖ کاهش پ-اچ خاک در باغ¬های احداث شده (استفاده از گوگرد عنصری، گوگرد گرانوله کشاورزی و غیره)
- ❖ استفاده از مواد آلی و کودهای گوگردی در زمان احداث باغ
- ❖ استفاده از کودهای اسیدی یا اسیدزا در سیستم کودآبیاری

- ❖ استفاده از آب¬های آبیاری با پ-اچ و بی¬کربنات کمتر
- ❖ استفاده از پایه¬هایی که به خوبی در خاک¬های با آهک زیاد و پ-اچ بالا رشد می¬کنند و عدم استفاده از پایه¬هایی که به-طور ضعیف در خاک¬های با آهک زیاد و پ-اچ بالا رشد می¬کنند.

۲- مدیریت پ-اچ منطقه ریشه مرکبات در خاک¬های اسیدی مناطق دامنه¬ای و غرب مازندران (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)

- ❖ در خاک¬های اسیدی غرب مازندران و هم¬چنین خاک¬های دامنه¬های جنوبی شرق مازندران (که اسیدی می¬باشند)، برای درختان بارده و غیربارده توصیه می¬شود:
- ❖ افزایش پ-اچ خاک در باغ¬های احداث شده (با مصرف آهک یا دولومیت در منطقه ریشه)
- ❖ استفاده از کودهای دارای کاتیون قلیایی بیشتر
- ❖ عدم استفاده از کودهای اسیدزا
- ❖ استفاده از آب¬های آبیاری با پ-اچ بالاتر
- ❖ استفاده بیشتر از پایه¬هایی مثل پونسیروس و سوینگل سیترومِلو که به طور مناسب در خاک¬های با پ-اچ پائین رشد می¬کنند.

۲-۱-۲ شوری

یکی دیگر از مهمترین ویژگی‌های خاکی تاثیرگذار در قابلیت کشت اراضی برای مرکبات قابلیت هدایت الکتریکی خاک می¬باشد. مرکبات جزء گیاهان حساس به شوری است. در صورتی که قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک کمتر از ۱/۷ دسی¬زیمنس بر متر باشد، می¬توان تولیدی معادل با حداکثر قابلیت تولید مرکبات در آن منطقه داشت، اما در شرایطی که قابلیت هدایت الکتریکی بیش از ۲/۶ دسی¬زیمنس بر متر باشد، تولید مرکبات بیش از ۱۵ درصد کاهش خواهد داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد این موضوع با درنظر گرفتن وسعت و شدت بارندگی در بخش زیادی از استان مازندران مشکل¬ساز نمی¬باشد. مسئله شوری در استان مازندران ناشی از نمک کلرید سدیم و دیگر نمک¬ها عمدتاً ناشی از آب استفاده شده برای آبیاری در مناطق ساحلی می¬باشد. به طور کلی شوری خاک یک مشکل عمده برای کشت مرکبات در مناطقی است که از آب¬های شور به عنوان منبع آبیاری مرکبات استفاده می¬شود (مانند بخش¬های زیادی از اراضی بهنمیر، کیاکلا، بابلسر، جویبار، شمال ساری و زاغمرز در استان مازندران) (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳). از سوی دیگر در مطالعه ای دیگر که در غرب مازندران (عباس‌آباد به سمت تنکابن) انجام شده است مشاهده می‌گردد که با درنظر گرفتن وسعت و شدت

بارندگی در غرب مازندران (مقدار بارندگی در غرب مازندران بیش از ۱۲۰۰ میلیمتر در سال می¬باشد)، مشکلی به لحاظ قابلیت هدایت الکتریکی خاک در بخش زیادی از مناطق مطالعه شده برای کشت مرکبات وجود ندارد (رئیسی و همکاران، ۱۳۹۷).

بنابراین فاکتور شوری به ویژه در مناطقی که از آب شور برای آبیاری استفاده می‌کنند باید یکی از شاخص‌های آزمون خاک در پروش مرکبات باشد و متناسب با شوری و با در نظر گرفتن دیگر ویژگی‌های خاکی، پایه مناسب برای منطقه انتخاب گردد.

۳-۱-۲ شرایط ماندابی

ریشه¬های مرکبات به کمبود اکسیژن بسیار حساس هستند. مکان¬های بدون زهکشی مناسب برای کشت مرکبات نمی¬باشند. درختان روی همه پایه¬ها در نهایت در شرایط ماندابی آسیب می¬بینند. اثرات تهویه ضعیف سریعاً در سطح ریشه مرکبات قابل مشاهده است. این مشکل به ویژه در مناطق دشت جلگه¬ای میانه و شرق مازندران (آمل، بابل، قائم¬شهر، بهنمیر، جویبار، کیاکلا، ساری و نکا) جدی است و سطح آب در برخی از ماه¬های سال در این مناطق نوسان شدید دارد و ممکن است در برخی موارد تا عمق ۲۰ تا ۵۰ سانتی¬متری از سطح خاک نیز برسد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳). علاوه براین در غرب مازندران نیز در نواحی با بافت سنگین مشکل ماندابی شدن خاک در فصل‌های بارانی یکی از چالش‌های اصلی پرورش مرکبات در این مناطق می-باشد. طبق گزارش اسدی کنگرشاهی (۱۴۰۰)، با توجه به روند تغییرات پتانسیل رداکس محلول خاک، تداوم ماندابی به بیشتر از ۵ روز می‌تواند منجر به شرایط نسبتاً کاهشی در خاک و ایجاد خسارت در درختان میوه شود. بنابراین، خارج کردن آب اضافی در این فاصله زمانی توصیه می‌شود.

با توجه به چالش ماندابی شدن خاک باغ مرکبات در استان مازندران به ویژه در فصول با امکان بارندگی، بررسی پروفیل خاک قبل از کشت مرکبات و نیز قابلیت زهکشی خاک و خطر ماندابی شدن خاک باید یکی از شاخص‌های آزمون خاک در پروش مرکبات در استان مازندران باشد زیرا این شرایط می‌تواند منجز به بروز علائم زوال در مرکبات گردد (شکل ۲)

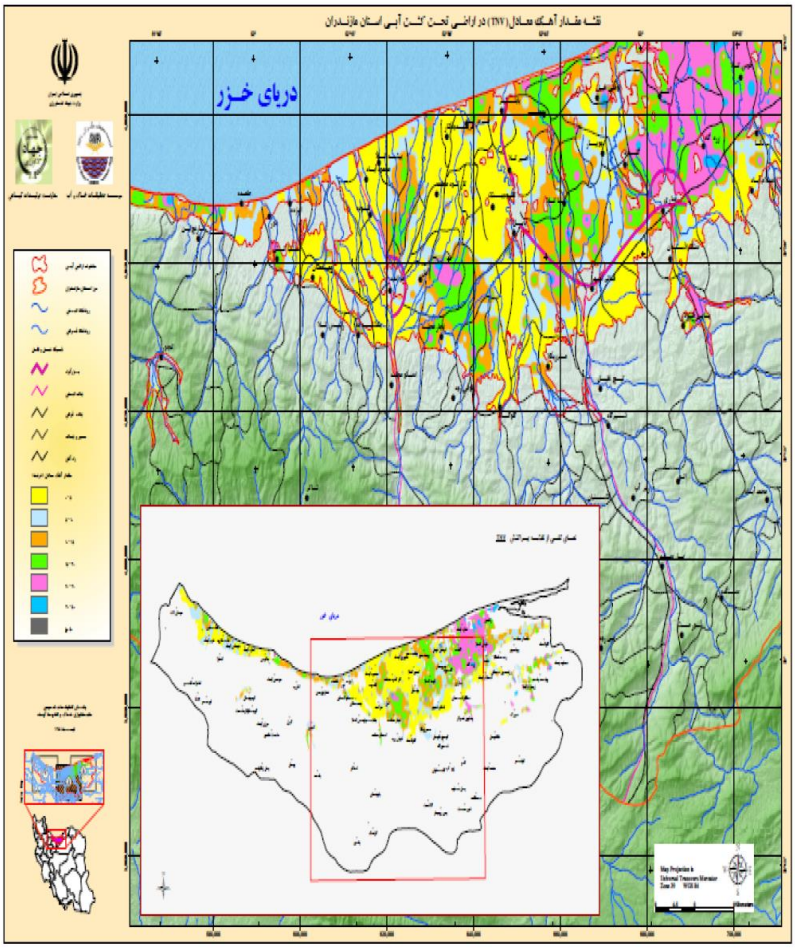
شکل ۲- لزوم بررسی پروفیل خاک و قابلیت زهکشی خاک قبل از احداث باغ مرکبات جهت پیشگیری از بروز مشکلات مرتبط با زوال مرکبات

٤-١-٢ کربنات کلسیم

بررسی مطالعات خاکشناسی استان مازندران نشان داد که مقدار کربنات کلسیم معادل این خاک¬ها از غرب به طرف شرق به تدریج افزایش می¬یابد (شکل ۳). مطالعات خاکشناسی باغ¬های مرکبات مناطق شرق مازندران نشان داد که مقدار کربنات کلسیم خاک باغ¬های این منطقه از میانه به طرف شرق مازندران افزایش می¬یابد. به طوری که مقدار کربنات کلسیم خاک در آمل و بابل کمتر از یک درصد و در شرق ساری و نکا به بیشتر از ۳۰ درصد می¬رسد. توزیع فراوانی مقدار کربنات کلسیم این خاک¬ها نشان داد که مقدار کربنات کلسیم خاک حدود ۶۰ درصد باغ¬های مرکبات این منطقه بیش از ۲۰ درصد می¬باشد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳). علاوه بر این مطالعات خاکشناسی در غرب مازندران (چالوس به سمت رامسر) حاکی از این موضوع است که مقدار کربنات کلسیم (آهک) بیشتر نواحی موجود در مناطق ذکر شده کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد (شکل ۱).

یکی از معیارهای مهم در انتخاب پایه مرکبات، مقدار کربنات کلسیم معادل و نیز مقدار آهک فعال در خاک می-باشد.

در پژوهشی واکنش تغذیه ای نارنگی انشو با پایه سوینگل سیترومِلو به هفت خاک دارای مقادیر متفاوت کربنات کلسیم معادل از ۲٪ تا ۴۵ درصد از شرق مازندران بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک جنوب ساری با مقدار آهک کل ۱۴ درصد، آهک فعال ۵ درصد حاصل شد و در خاک های با آهک بیشتر، میانگین وزن خشک اندام هوایی به شدت کاهش یافت (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۶). هم-چنین اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۹) گزارش کرد که بافت خاک در تحمل پایه سی-۳۵ به خاک‌های آهکی تأثیر دارد و در خاک‌هایی با بافت نسبتا سنگین و سنگین، و آهک کل بیش از دامنه ۹٪ تا ۱۴٪، این پایه علائم شدید زرد برگی و کاهش رشد نشان می‌دهد. علاوه براین، طبق گزارش اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۷) ترویرسیترنج به عنوان پایه نیمه متحمل به خاک‌های آهکی است و استفاده از آن در خاک‌های با آهک کل و فعال به ترتیب بیشتر از ۲۰ و ۱۰ درصد توصیه نمی‌شود.



شکل ۳- نقشه مقدار آهک خاک در استان مازندران (طهرانی و پسندیده، ۱۳۸۹)

۵-۱-۲ عناصر غذایی

مقدار عناصر غذایی مورد نیاز مرکبات در شکل قابل استفاده یکی از معیارهای حاصلخیزی و سلامت خاک می‌باشد. حدود بحرانی و کفایت عناصر غذایی برای مرکبات و تفسیر این نتایج به‌ترتیب در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. به‌هر حال، ذکر این نکته ضروری است که قابلیت استفاده عناصر غذایی در خاک تابعی از پایه مورد استفاده در کشت مرکبات و کارایی جذب آن عنصر ویژه توسط پایه‌ای مشخص می‌باشد (Raiesi & Moradi, 2021).

جدول ۵- تفسیر نتایج آزمون خاک برای مرکبات (Obreza et al., 2020a)

عنصر غذایی	دامنه		
	کم	متوسط	زیاد
فسفر استخراجی با روش اولسن	<۱۰	۱۰-۲۰	>۲۰
پتاسیم استخراجی با روش استات امونیوم	<۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	>۳۰۰
منیزیم استخراجی با روش استات آمونیوم با پ-اچ=۷	<۵۰	۵۰۰-۷۵	>۷۵
سولفات استخراجی با مونوکلسیم فسفات	<۱۰	۱۰-۱۵	>۱۵
روی استخراجی با DTPA	<۱	۱-۲	>۲
آهن استخراجی با DTPA	<۴	۴-۸	>۸
منگنز استخراجی با DTPA	<۲	۲-۴	>۴
بور استخراجی با آب داغ	<۰/۵	۰/۵ -۰/۷۵	>۰/۷۵

جدول ۶- تنظیم برنامه کوددهی مرکبات بر اساس نتایج آزمون خاک (Obreza et al., 2020a)

عنصر	اگر کمتر از مقدار کفایت در خاک باشد گزینه‌ها (✓):	اگر بیشتر از مقدار کفایت در خاک باشد گزینه‌ها (✓):
فسفر	✓ غلظت فسفر در برگ کنترل شود ✓ اگر غلظت فسفر در برگ کمتر از حد کفایت است، کود فسفر مصرف شود	✓ هیچ اقدامی لازم نیست.
پتاسیم	✓ کودهای پتاسیم مصرف شود	✓ هیچ اقدامی لازم نیست.
کلسیم	✓ پ-اچ کنترل شود و در صورت نیاز اصلاح شود. ✓ غلظت کلسیم در برگ کنترل شود	✓ هیچ اقدامی لازم نیست. ✓ غلظت پتاسیم و منیزیم در برگ کنترل شود
منیزیم	✓ پ-اچ کنترل شود و در صورت نیاز اصلاح شود. ✓ غلظت منیزیم در برگ کنترل شود.	✓ هیچ اقدامی لازم نیست.

۳- تاثیر رآهکارهای مدیریتی بر کیفیت خاک باغ مرکبات

تولیدکننده‌های مرکبات در ایران با چالش‌های در زمینه‌ی حفظ حاصلخیزی خاک باغ مرکبات مواجه هستند. خاک‌های با زهکشی ضعیف و حاصلخیزی پائین، وجود خاک‌های با ظرفیت تبادل کاتیونی پایین و سرعت بالای آبشویی در مناطق تحت کشت مرکبات ایران معمول می‌باشد. علاوه‌براین، در بسیاری از مناطق انجام عملیات کشت و کار طی سالیان متمادی منجر به تخریب ساختمان خاک، تخلیه مواد آلی و ازدست رفتن از خاک شده است (Iovino et al., 2016). بنابراین نیاز مبرم به اصلاح خاک‌های کشاورزی برای جلوگیری از سیل، کاهش تلفات کربن و به حداقل رساندن فرسایش خاک وجود دارد. در این خاک‌ها، وقوع سیلاب علاوه بر شستشوی لایه حاصلخیز خاک و مواد آلی از خاک باغات مرکبات می‌تواند به علت ایجاد شرایط غرقابی و احیایی، بیماری‌های مختلفی را در باغات مرکبات سبب شود. بنابراین این محدودیت‌ها باید آگاهانه و علمی ضمن حفظ و یا ارتقا کیفیت خاک باغ مرکبات، برای رسیدن به یک تولید مناسب مدیریت گردند.

۱-۳- کیفیت آب آبیاری

۱-۱-۳اثر آب آبیاری بر کیفیت خاک

مرکبات در تمام مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر جهان در صورتی که درجه‌ی برودت هوا کشنده نباشد و خاک و رطوبت مناسب وجود داشته باشد، قابل پرورش است (گلعین و عدولی، ۱۳۹۰). ایران دارای سه کمربند کشت مرکبات، شامل نوار ساحلی دریای خزر، نوار مرکزی و نوار جنوبی است. در نوار ساحلی دریای خزر علیرغم اینکه متوسط سالیانه بارندگی بیش از ۱۲۰۰ میلیمتر می‌باشد اما به دلیل توزیع نامناسب فصلی بارش، مقدار نیاز آبی مرکبات در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بیشتر از مقدار بارندگی رخ داده طی این ماه‌ها می‌باشد (رئیسی و همکاران، ۱۳۹۷) و بنابراین انجام آبیاری در این ماه‌ها ضروری است. در نوار مرکزی، رطوبت نسبی پایین و بارش اندک (۱۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر در سال) محدودیتی برای کشت مرکبات در این نوار می‌باشد. بخش اعظم مرکبات این نوار مربوط به استان‌های فارس و کرمان است. خاک بسیاری از مناطق در کمربند جنوبی (نوار ساحلی جنوب کشور) املاح زیاد و پ-اچ قلیایی دارد (گلعین و عدولی، ۱۳۹۰). در دو نوار مرکزی و جنوبی محدودیت وجود منابع آبی هم به لحاظ کمیت و هم به لحاظ کیفیت برای آبیاری وجود دارد.

غلظت و ترکیب نمک‌های محلول موجود در آب تعیین‌کننده‌ی کیفیت آب برای استفاده‌های مختلف می‌باشد. چهار معیار اساسی برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری شامل (Zaman et al., 2018):

- ✓ مقدار کل نمک‌های محلول (خطر شوری)
- ✓ نسبت سدیم به مجموع کلسیم+منیزیم – نسبت جذب سدیم (خطر سدیمی بودن)

- ✓ مقدار کربنات سدیم باقیمانده- غلظت آنیون‌های بیکربنات و کربنات
- ✓ غلظت بیش از حد برخی عناصر (اثر یون ویژه)

بنابراین اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب، آنیون‌های محلول شامل کربنات، بیکربنات، کلر و وسولفات، در مناطقی که کلر و سولفات مهم می‌باشند، و اندازه‌گیری کاتیون‌های محلول شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، در مناطقی که پتاسیم مهم می‌باشد، جهت بررسی کیفیت آب ضروری است. هم‌چنین اندازه‌گیری سطح بور در آب آبیاری نیز مهم می‌باشد. پ-اچ آب معیار مهمی برای آب آبیاری نیست زیرا پ-اچ آب توسط ذرات خاک بافر می‌شود.

- **خطر شوری آب**

وجود نمک در خاک فشار اسمزی محلول خاک را افزایش می‌دهد و می‌تواند منجر به بروز شرایط خشکی لز منظر فیزیولوژی در گیاه شود. بنابراین در شرایط استفاده از آب شور، اگرچه بنظر می‌رسد رطوبت کافی در خاک باغ وجود دارد اما گیاهان پژمرده خواهند شد. زیرا ریشه گیاه قادر به جذب آب خاک به علت پتاسیل اسمزی بالا نمی‌باشد. بنابراین از دست رفت آب از شاخسار گیاه از طریق تبخیر و تعرق جبران نخواهد شد و پژمردگی گیاه رخ خواهد داد (Zaman et al., 2018).

همانطور که مستحضرید، بخش قابل توجهی از منابع موجود آب در دو نوار مرکزی و جنوبی کشت مرکبات در ایران آب‌های شور زیر زمینی و زه‌آب‌های حاصل از زهکشی مناطق پایین‌دست می‌باشد که بایستی به نحو مطلوبی مدیریت و مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که میزان بارندگی در این مناطق محدود بوده و برای شستشوی نمک‌ها از منطقه رشد ریشه گیاه کافی نمی‌باشد، املاح در این ناحیه انباشته و در نتیجه بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو، آب آبیاری می‌تواند یکی از عوامل مهم در شور شدن اراضی در این مناطق باشد، حتی آب‌هایی که مقدار نمک آنها بسیار کم است، پس از مدت کوتاهی اثرات نامطلوبی بر روی کیفیت و سلامت خاک این مناطق می‌گذارند. علاوه بر نوار جنوبی و مرکزی تحت کشت مرکبات، کیفیت آب برای آبیاری مرکبات تحت کشت در نوار ساحلی شمالی نیز حائز اهمیت می‌باشد. برای مثال مسئله شوری در مناطق ساحلی تحت کشت مرکبات مانند بخش‌هایی از استان مازندران عمدتاً ناشی از آب شور استفاده شده برای آبیاری در مناطق ساحلی می‌باشد. لذا برداشت عمومی این است که با درنظر گرفتن وسعت و شدت بارندگی در مناطق ساحلی شمالی، استفاده از آب‌های شور در این مناطق نمی‌تواند بر سلامت و کیفیت خاک و گیاه تحت آبیاری اثر نامطلوبی داشته باشد و دلیل آن می‌تواند شستشوی نمک اضافی و در نهایت خروج آن از منطقه‌ی ریشه با بارندگی‌های زمستانه باشد. به هر حال آبشویی این نمک‌ها در پی بارندگی‌های فصل زمستان به سمت آب‌های زیرزمینی می‌تواند با مخاطرات زیست‌محیطی همراه باشد.

- **خطر سدیمی بودن آب**

سدیمی بودن آب می‌تواند منجر به بروز سمیت در گیاهان حساس از جمله مرکبات شود، اما مشکل اصلی سدیم زیاد به دلیل تاثیر آن بر خصوصیات فیزیکی خاک از جمله تخریب ساختمان خاک می‌باشد. معمولا توصیه می‌شود در شرایطی که تنها منبع آب آبیاری برای یک دوره طولانی آبی با نسبت جذب سدیم بالاتر از ۱۰ (میلی مول بر لیتر)$^{0.5}$ می‌باشد، از آبیاری باغ با این کیفیت آب به مدت طولانی اجتناب گردد. انتظار می‌رود آبیاری طولانی‌مدت با آب حاوی سدیم، درصد سدیم تبادلی خاک را به طور متناسب با نسبت جذب سدیم آب آبیاری و ضریب گاپون خاک‌های آبیاری شده تغییر دهد (Shainberg and Letey, 1984) و احتمالا استفاده از آب‌های شور در مناطق ساحلی نیز در درازمدت مشکل ساز خواهد بود. برای مثال، گزارش شده که ساختمان خاک‌های رسی و هدایت هیدرولیکی این خاک‌ها وقتی خاک توسط آ ب باران طی فصل زمستان آبشویی می‌شود، تخریب می گردد (Lado and Ben-Hur, 2009, 2010). در واقع، استفاده مداوم از آب با نسبت جذب سدیم بالا به دلیل وجود مقادیر زیادی از سدیم جذب شده بر ذرات خاک، منجر به شکست ساختار فیزیکی خاک می‌شود. برهم‌خوردگی ساختار فیزیکی خاک منجر به پراکنده شدن ذرات رس خاک و باعث فشردگی خاک به ویژه زمانی که خاک خشک است، می گردد و نفوذپذیری آب در خاک را در حالت مرطوب به علت پراکنده شده و انبساط ذرات رسی خاک کاهش می‌دهد. این رخداد به ویژه در خاک‌ها با بافت ریز شایع‌تر می‌باشد. هنگامی که غلظت سدیم بیش از حد باشد (به نسبت کلسیم به اضافه منیزیم)، به خاک سدیمی گفته می‌شود.

آستانه مقدار نسبت جذب سدیم تابعی از شوری می‌باشد. سطوح شوری بالا انبساط و پراکنده شدن ذرات خاک را کاهش داده و بنابراین نفوذپذیری آب به خاک را بهبود می‌بخشد. به هر حال، سطوح بالای سدیم اثرات منفی بر خاک دارد.

صرف‌نظر از مقدار سدیم، آب با هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر برای آبیاری باغات مناسب نیست و باعث تخریب ساختمان خاک و ایجاد سله در سطح خاک و کاهش نفوذپذیری آاب در خاک می-شود. آب باران نمونه‌ای از آب با قابلیت هدایت الکتریکی پایین می‌باشد و آب باران نفوذپذیری آب استفاده شده به دنبال بارندگی را در خاک کاهش خواهد داد. بنابراین دو شاخص شوری و نسبت جذب سدیم آب آبیاری وقتی اثرات پتانسیل کیفیت آب بر نفوذ آب در خاک بررسی می‌شود، باید مورد ملاحظه قرار گیرند (Zaman et al., 2018). بنابراین علاوه بر خطر شوری، خطر اصلی استفاده از آب‌های شور به عنوان آب آبیاری افزایش شوری و سدیمی شدن خاک است (Balks et al, 1998).

- **غلظت کربنات و بیکربنات**

یکی دیگر از شاخص‌های کیفیت آب که باید مورد توجه قرار گیرد، مقدار کربنات و بیکربنات در آب آبیاری می‌باشد. آب‌های حاوی مقادیر زیاد کربنات و بیکربنات باعث رسوب کلسیم و منیزیم به شکل کربنات کلسیم و کربنات منیزیم در شرایطی که محلول خاک بواسطه‌ی تبخیر و تعرق غلیظ می‌شود، می‌گردند. این بدین معناست که در این قبیل خاک‌ها نسبت جذب سدیم افزایش خواهد یافت و سهم نسبی یون‌های سدیم بیشتر خواهد شد و اثرات سوء سدیم محلول خاک تا سطحی بیشتر از مقادیر اشاره شده توسط نسبت جذب سدیم آب آبیاری افزایش خواهد یافت (Zaman et al., 2018).

- **اثرات یون‌های ویژه**

علاوه بر شوری و اثرات مضر سدیمی بودن، برخی محصولات از جمله مرکبات نسبت به غلظت‌های متوسط به بالای برخی از یون‌های مشخص در آب آبیاری و یا در محلول خاک حساس می‌باشند (Zaman et al., 2018). سمیت مستقیم برای مرکبات ممکن است ناشی از عناصر شیمیایی مشخصی در آب آبیاری برای مثال بور، کلر و سدیم باشد که به طور بالقوه برای گیاهان سمی می‌باشند. غلظتی از این عناصر در آب که ایجاد علائم سمیت در مرکبات می‌کند بسته به نوع پایه و رقم متفاوت می‌باشد .

وقتی یک عنصر از طریق آب آبیاری وارد خاک می‌شود ممکن است توسط واکنش‌های شیمیایی در خاک غیرفعال شود. هم‌چنین ممکن است در خاک تجمع یابد تا به حد سمیت برای گیاه برسد. یک عنصر در آب ممکن است فورا برای گیاه مشخصی سمی باشد و یا ممکن است نیاز باشد که سال‌ها در خاک تجمع یابد تا به حدسمیت برسد.

سمیت سدیم: سه سطح از درصد سدیم تبادلی که مطابق با سه سطح تحمل سدیم توسط گیاهان می‌باشد، تعریف شده است (Pearson 1960; Abrol 1982; FAO-UNESCO 1973): (۱) گیاهان حساس (درصد سدیم تبادلی کمتر از ۱۵)، گیاهان نیمه متحمل (درصد سدیم تبادلی بین ۱۵-۴۰) و گیاهان متحمل (درصد سدیم تبادلی بیشتر از ۴۰). مرکبات جز گیاهان حساس می‌باشند که درصد سدیم تبادلی در خاک باید کمتر از ۱۵ باشد.

سمیت بور: جذب بور توسط ذرات خاک ضعیف می‌باشد ولی بدلیل اینکه محدوده بین سمیت و کمبود بور در محلول خاک برای گیاهان بسیار باریک است، تجمع مقدار کم این عنصر در محلول خاک نیز می‌تواند منجر به کاهش کیفیت خاک برای گیاه به ویژه گیاهان حساس به بور از قبیل مرکبات شود. در ارتباط با سمیت بور سه کلاس غلظت بور در محلول خاک برای گیاهان تعریف شده است (Wilcox, 1960): (۱) گیاهان متحمل (غلظت بور در محلول خاک ۲-۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، گیاهان نیمه متحمل (غلظت بور در محلول خاک ۱-۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و گیاهان حساس (۰/۳-۱). مرکبات جز گیاهان حساس به بور می‌باشند.

سمیت کلر: کلر معمولترین یونی است که می‌تواند منجر به بروز علائم سمیت در گیاه از جملهمرکبات شود ولی بدلیل اینکه آنیونی محلول می‌باشد که به سهولت آبشویی شده و در خاک معمولا تجمع نمی‌یابد، اثرات منفی بر کیفیت خاک ندارد.

۲-۱-۳ اثر پساب به‌عنوان منبع آب آبیاری بر کیفیت خاک

یکی دیگر از منابعی که برای آبیاری باغات مرکبات در برخی از مناطق تحت کشت مرکبات در دنیا استفاده می‌شود، پساب‌ها می‌باشند. به منظورکاهش پاتوژن‌ها تا سطحی که تهدیدی برای سلامت عمومی نباشند، تیمارهایی عمدتاً قبل از استفاده، بر روی پساب‌ها انجام می‌شود. همچنین، برای استفاده از پساب‌های تیمار شده برای آبیاری بر اساس مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر سنگین موجود در آنها استانداردهایی موجود می‌باشد (USEPA, 2004; World Health Organization, 2006) که استانداردهای مورد تأیید برخی از نهادهای ملی و بین‌المللی در جدول ۷ ارائه شده است. به دلیل منشا متفاوت و تیمارهای متفاوتی که بر روی پساب‌ها انجام می‌شود، خصوصیات شیمیایی پساب‌های مورد استفاده برای آبیاری متفاوت می‌باشد. پساب‌های تیمار شده حاوی مقادیر نسبتا بالایی از مواد آلی هستند و بنابراین استفاده از این پساب‌ها برای آبیاری می‌تواند مقدار کربن آلی محلول و جامد در خاک آبیاری شده را تغییر دهد. هم‌چنین مقدار نیتروژن پروفیل خاک بسته به ترکیب و مقدار پساب مورد استفاده جهت آبیاری و شیمی محلول خاک می‌تواند تغییر کند (Mousavi and Nasrabadi, 2019). به هرحال پساب‌های خام (تیمار نشده) که ممکن است حاوی مقادیر زیادی از عناصر سنگین باشند، می‌تواند منجر به تجمع عناصر سنگین در خاک باغ مرکبات شود (Galal, 2015). بنابراین استفاده از این قبیل آب‌ها می‌تواند خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک باغ مرکبات آبیاری شده را تغییر دهد (Lado et al., 2012; Mousavi and Nasrabadi, 2019).

میزان تأثیرپذیری کیفیت و سلامت خاک از آب آبیاری به خصوصیات مختلف بیوفیزیکوشیمیایی خاک بویژه دانه‌بندی و قابلیت نفوذ آب در خاک، شرایط زهکشی، شرایط آب و هوایی و نزولات آسمانی بستگی دارد. برای مثال، آبیاری طولانی‌مدت (بیش از هفت سال) با پساب شهری در یک خاک شنی غیرآهکی و یک خاک رسی آهکی تحت کشت گریپ‌فروت تاثیر معنی‌داری بر مواد آلی خاک، غلظت کربن آلی محلول، مس، نیکل و روی نداشت. بر عکس، استفاده از این پساب به عنوان آب آبیاری، تجمع نمک در یک متر بالایی هر دو خاک را افزایش داد. به هر حال این نمک‌ها طی فصول بارانی به زیر عمق ۱/۵ متری شسته شدند. نسبت جذب سدیم در پروفیل هر دو خاک افزایش یافت اما در خاک رسی حاوی آهک حرکت عمقی سدیم محدودیت بیشتری داشت. غلظت نیترات در پروفیل هر دو خاک افزایش یافت. فسفر اولسن و پتاسیم نیز در عمق بالای یک متری تجمع یافتند و غلظت بور تا عمق ۱/۷۵ متری افزایش یافت و غلظت بور حتی به حد سمیت برای برخی از محصولات رسید (Lado et al., 2012). عدم اعمال مدیریت مناسب در بکارگیری آب‌های شور در باغ‌های مرکبات می‌تواند تجمع

نمک در نیمرخ خاک، تخریب ساختمان خاک را به دنبال داشته و باعث دور شدن کیفیت و سلامت خاک از حالت آرمانی شود. بطورکلی، افزایش سطح شوری آب آبیاری در باغات مرکبات، افزایش نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادلی خاک‌های تحت کشت مرکبات (Lado et al., 2012) و افزایش مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در خاک بویژه سدیم (Alva & Syvertsen, 1991)، را در پی خواهد داشت. برای مثال، استفاده از آب شور با حدأکثر قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر در پرورش مرکبات منجر به افزایش شوری خاک و نیز تجمع سدیم، کلر و کلسیم در خاک و کاهش غلظت منیزیم در خاک شد (Alva & Syvertsen, 1991). آبیاری با آب حاوی سدیم اثرات تخریبی متعددی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل تخلل خاک، حرکت آب در خاک، نفوذپذیری، و خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌گذارد که خود ناشی از پراکنش و انتشارات ذرات رس و تغییر در توزیع اندازه منافذ است (Bardhan et al., 2016). علاوه براین کیفیت آب آبیاری بر ویژگی‌های میکروبیولوژی خاک باغات مرکبات نیز تاثیرگذار می‌باشد (Bastida et al., 2018). آبیاری باغ گریپ‌فروت و نارنگی با آب شور منجر به افزایش شوری خاک و کاهش تنفس خاک شد. آبیاری با این آب تأثیری بر پ–اچ و مقدار کربن آلی خاک نداشت (Bastida et al., 2018). روش‌های مختلفی برای غلبه بر مشکلات استفاده از آب شور در پرورش مرکبات توسط محققین ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به مخلوط کردن آب شور با آب با کیفیت مناسب (Galal, 2015)، انتخاب پایه‌های متحمل به شوری و کاربرد آب مناسب در مراحل حساس به شوری در طول فصل رشد (Bastida et al., 2018) را نام برد.

جدول ۷- برخی از استانداردهای مورد تأیید برای استفاده از پساب‌ها در کشاورزی

ردیف	پارامتر	محیط زیست ایران	FAO	WHO	EPA
۲	EC(dS/m)	–	۰/۷	۰/۷	۰/۷
۳	SAR (-)	–	۳/۰	۳/۰	–
۴	BOD	۱۰۰	–	–	۳۰
۵	COD	۲۰۰	–	–	۱۲۰
۶	TSS (ppm)	۱۰۰	–	–	۳۰
۷	کل کلیفرم (تعداد در ۱۰۰ ml)	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰
۸	کلیفرم گوارشی (تعداد در ۱۰۰ ml)	۴۰۰	–	۱۰۰۰	–
۹	نیترات	–	۵/۰	۵/۰	۵/۰
۱۰	آمونیوم	–	–	–	–
۱۱	فسفر، P	–	–	–	۱۰
۱۲	پتاسیم، K				
۱۳	سدیم، Na	–	۶۹	۶۹	۶۹
۱۴	کلسیم، Ca	–	–	–	۲۰۰
۱۵	منیزیم، Mg	۱۰۰	–	–	۲۵
۱۶	نقره، Ag	۰/۱	–	–	۰/۰۵
۱۷	آلومنیوم، Al	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱
۱۸	آرسنیک، As	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۱۹	باریوم، Ba	۱/۰	–	–	۱/۰
۲۰	بریلیوم، Be	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۲۱	کادمیوم، Cd	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۲	کبالت، Co	۰/۰۵	۰/۰۵	–	۰/۰۵
۲۳	مس، Cu	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
۲۴	آهن، Fe	۳/۰	۵/۰	۵/۰	۵/۰
۲۵	منگنز، Mn	۱/۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲
۲۶	مولیبدن، Mo	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۷	نیکل، Ni	۲/۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲
۲۸	سرب، Pb	۱/۰	۵/۰	۵/۰	۵/۰
۲۹	روی، Zn	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۱/۰
۳۰	کروم، Cr^{+6}	۱/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱

نتایج مطالعات نشان داد که کاربرد طولانی‌مدت پساب مخلوط شده با آب با کیفیت مناسب، پ-اچ و قابلیت هدایت الکتریکی خاک تحت کشت مرکبات را افزایش داده و منجر به تجمع پتاسیم، آهن، منگنز، مس، روی، نیکل و سدیم در پروفیل خاک می‌شود (Galal, 2015). علاوه براین، استفاده از پساب‌های شهری به عنوان آب آبیاری بر ویژگی‌های میکروبیولوژی خاک باغات مرکبات نیز تاثیرگذار می‌باشد (Meli et al., 2002). به-

طورکلی، آبیاری با پساب علیرغم اینکه بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز درختان مرکبات را تامین کرده اما همواره مصرف مواد گیاهی تولید شده با این قبیل آب‌ها با مخاطراتی برای خاک و بشر همراه می‌باشد (Galal, 2015).

۲-۳- مدیریت مصرف کود (کود آلی و کود شیمیایی)

کوددهی می‌تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تغییر داده و باروری خاک را تحت تأثیر قرار دهد (Dong et al., 2016؛ Serrano et al., 2017). آثار کودهای شیمیایی و دامی بر حاصلخیزی خاک و کیفیت خاک اساساً بر رفتار نیتروژن و فسفر در خاک تمرکز دارند زیرا این عناصر در حقیقت عناصر غذایی اصلی محدودکننده‌ی عملکرد اغلب گیاهان و همچنین عناصر غذایی مهم برای کیفیت محیط زیست محسوب می‌شوند. ضمن اینکه، پتاسیم، گوگرد، عناصر غذایی پرمصرف و سایر عناصر نادر، نمک‌ها و سدیم، pH خاک، ماده آلی و فعالیت میکروبی نیز تحت تأثیر مصرف کودهای شیمیایی و دامی قرار می‌گیرند. ماده آلی و ترکیبات غیرآلی خاک پایه و اساس فرآهمی عناصر غذایی برای گیاهان هستند زیرا، این ترکیبات از طریق فعل و انفعالاتی که در محیط خاک اتفاق می‌افتند، از یک طرف در آزادسازی عناصر غذایی و از طرف دیگر در نگهداری آنها نقش ایفا می‌کنند. شش فرآیند اصلی معدنی شدن، آلی شدن یا تثبیت، رسوب، انحلال، جذب سطحی و واجذب مسئول آزادسازی و نیز نگهداشت عناصر غذایی در خاک می‌باشند که ضمن اثرگذاری بر کیفیت خاک، خود از کیفیت خاک تأثیر می‌پذیرند و پرداختن به آن در این مختصر نمی‌گنجد.

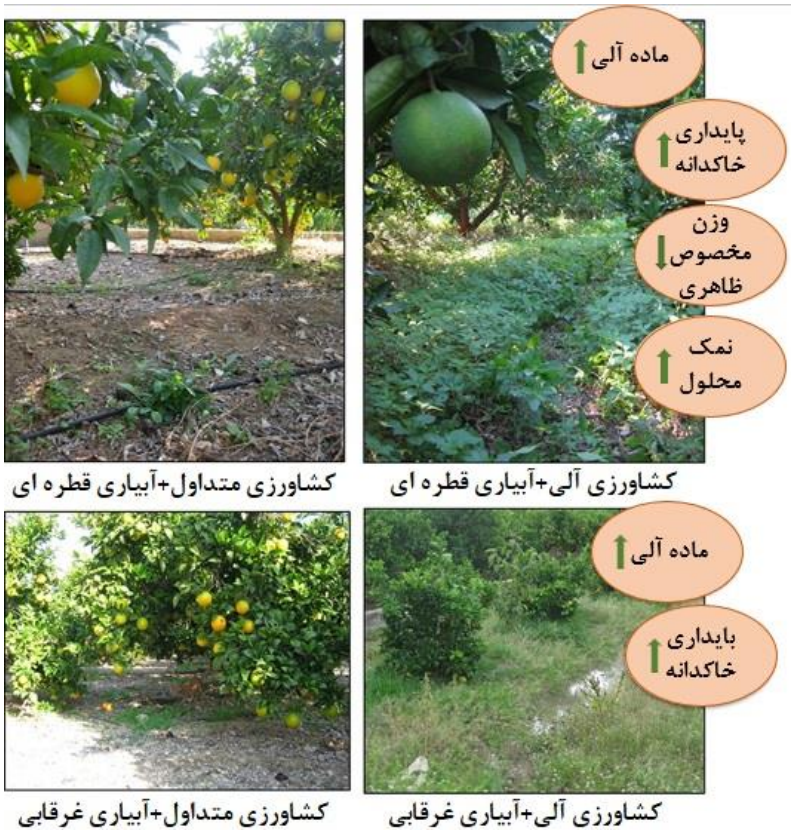
آزمایشات طولانی‌مدت مزرعه‌ای می‌تواند برای اندازه‌گیری تغییرات کیفیت خاک تحت شرایط مدیریت مختلف کوددهی مورد استفاده قرار گیرند و نیاز کودی برای گیاهان و برهمکنش‌های خاک و محیط زیست را تخمین بزنند (Richter et al., 2007). روش‌های کشاورزی که با استفاده از کودهای شیمیایی به منظور افزایش عملکرد در واحد سطح استفاده می‌شوند[2] به افزایش عملکرد گیاهان کمک می‌کنند اما با این وجود، در مناطقی که کودهای شیمیایی به مقدار زیاد و برای مدت زمان طولانی مصرف شده‌اند، آلودگی‌های زیست‌محیطی و نیز آثار منفی بر روی کیفیت خاک اتفاق می‌افتد (Ju et al., 2009). برخی مطالعات نشان داده‌اند که کوددهی مداوم منجر به افزایش محتوای کربن آلی خاک، غلظت نیتروژن کل و سایر عناصر غذایی در لایه‌های شخم و بهبود باروری خاک در مقایسه با کرت‌های بدون مصرف کود شدند (Huang et al., 2010؛ Liu et al., 2011؛ Velasquez et al., 2016). با این وجود، مطالعات دیگری نشان داده‌اند که کاربرد مداوم کودهای شیمیایی و آلی، می‌تواند منجر به تسریع اسیدی شدن و کاهش اشباع بازی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، همآوری ذرات خاک، ظرفیت نگهداشت آب در خاک، هدایت هیدرولیکی خاک، تخلخل کل، مقاومت در برابر آب، فعالیت میکروبی خاک

[2] - intensive agriculture

شده اما فشردگی و جرم مخصوص ظاهری خاک را افزایش داده و از این طریق باعث کاهش باروری خاک می-شود (Körschens, 2006، ۲۰۰۶؛ Leroy et al., 2008).

امروزه کشت و کار ارگانیک مرکبات در سرتاسر جهان مورد توجه می‌باشد. زیرا افزایش تراکم کشت در باغ-های مرکبات و به دنبال آن کاربرد مقادیر بیشتر از کودهای شیمیایی، افت حاصلخیزی و قابلیت تولید خاک را به دنبال داشته است (Kohli et al. 1998). کشت ارگانیک مرکبات اغلب به‌عنوان یکی از شیوه های کشاورزی پایدار محسوب می شود و اگر به طور مناسب استفاده شود، با مزایای بلندمدت بسیاری توام خواهد بود (Srivastava et al., 2002). نگرانی‌ها در مورد بهبود کارایی مصرف نیتروژن، کاهش آلودگی نیترات، کاهش آلودگی ناشی از مصرف سموم شیمیایی و از دست دادن تدریجی مواد آلی خاک همواره اصلی‌ترین مسائل اصلی در کشت ارگانیک مرکبات بوده است (Ferguson 1994). کشاورزی ارگانیک به عنوان "سیستم تولیدی" تعریف می شود که در آن استفاده از کودهای سنتزی، آفت‌کش‌ها و تنظیم کننده‌های رشد تا حد زیادی حذف شده و به جای آن برای حفظ بهره وری خاک و دفع آفات، به تناوب زراعی، برگرداندن بقایای گیاهی به خاک، استفاده از کود حیوانی، کود سبز، کشت مکانیکی و استفاده از سنگ های معدنی توجه بیشتری می‌شود (Srivastava et al., 2002; U.S. Dept. of Agriculture 1980). یکی از اهداف کشاورزی ارگانیک، حفاظت محیط‌زیست است. در کشاورزی ارگانیک فرایندهای و کنش‌های زیستی بهبود یافته و این سیستم مدیریتی اثرات مثبتی بر شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی خاک دارد (Canali et al., 2009). در کشاورزی ارگانیک، استفاده از مواد آلی مورد توجه می‌باشد. بررسی منابع در ارتباط با ترسیب کربن در خاک نشان داد که اثرات کودهای آلی بر مخازن و فرایندهای کربن در خاک و بنابراین بر حاصلخیزی خاک تابعی از شرایط اقلیمی، نوع خاک، سیستم کشت، و ویژگی‌های موادآلی افزوده شده به خاک می‌باشد (Ryan et al. 2002). اثرات باقیمانده کودهای حیوانی بر جمعیت میکروبی خاک نشان داد که با کاربرد کود حیوانی کربن، نیتروژن، فسفر زیست توده میکروبی افزایش یافته است (Belay et al., 2001). کاربرد بلندمدت کودهای شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم منجر به کاهش کربن آلی خاک شده و نیز اثرات اسیدی بر خاک داشت است (Belay et al., 2002). باغ‌های مرکبات مدیریت شده به روش ارگانیک در مقایسه با باغ‌ها مرکبات مدیریت شده به روش متداول دارای فعالیت میکروبی بالاتر می-باشند و خاک این باغ‌ها غنی از قارچ‌های میکروریز می‌باشد (Franca et al., 2007). همانطور که در بخش‌های قبل بیان شد، جنبه‌ی زیستی خاک یکی از جنبه‌های مهم کیفیت خاک است که به طور معنی‌داری می‌تواند تحت تأثیر نوع سیستم مدیریتی مصرف کود قرار گیرد. ماندگاری و پویایی موجودات خاکزی مانند هر موجود زنده‌ی دیگر به تأمین غذای مناسب و کافی بستگی دارد. کاربرد نهاده‌های مختلف آلی و شیمیایی می‌تواند به بهبود شرایط زیستی خاک منجر شود ضمن اینکه نباید از نظر دور داشت که عدم اتخاذ سیاست‌های مدیریتی اصولی و کارآمد

در مصرف کود می‌تواند خساراتی سنگین و جبران‌ناپذیر بر پیکره‌ی جامعه‌ی زیستی خاک تحمیل کند که خود منجر به دور شدن خاک از شرایط آرمانی و در نهایت تحلیل سلامت و کیفیت خاک می‌شود. نخستین گزارشات در زمینه معرفی تاثیر مدیریت ارگانیک بر کیفیت خاک باغ‌ها در منطقه مدیترانه نشان داد که در اثر مدیریت ارگانیک تنها تفاوت اندکی در ویژگی‌های اصلی فیزیکی و شیمیایی در مقایسه با خاک مدیریت شده به شیوه متداول رخ می‌دهد (Intrigliolo et al., 2000). به هرحال باید به این نکته توجه کرد که کارایی انرژی و حفظ عناصر غذایی در سیستم کشت ارگانیک تنها بعد از یک دوره زمانی طولانی بدست می‌آید، همان‌طور که این موضوع در مطالعات درازمدت نیز تایید شده است (Di Prima et al., 2018). سیستم ارگانیک تاثیر مثبتی بر شاخص‌های فیزیکی خاک در باغ مرکبات داشته و باعث بهبود ظرفیت نگهداشت اب قابل استفاده گیاه و هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود. اما در سیستم متداول به علت از دست رفت سریع‌تر مواد آلی ، تخریب و فشردگی خاک بیشتر اتفاق افتاده و این خاک دارای پایداری ساختار کمتری است (Di Prima et al., 2018). خاک‌هایی با کیفیت فیزیکی مطلوب (به معنای حفظ ساختار خاک و ظرفیت بالای ذخیره و انتقال آب، هوا و عناصر غذایی، Di Prima et al., 2018) پتانسیل حمایت کافی از محصولات و کاهش تخریب را دارند (Reynolds et al., 2007).نمایی از تاثیر شیوه‌ی کشاورزی بر ویژگی‌های خاکی باغ مرکبات را در شکل ۴ ملاحظه می‌فرمایید.



شکل ۴- اثرپذیری کیفیت خاک باغات پرتقال از کشاورزی آلی و کشاورزی متداول (Hondebrink et al., 2016)

3-3- کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک

از رآهکارهای ارائه شده برای بهبود وضعیت حاصلخیزی و نیز شرایط فیزیکی و بیوشیمیایی خاک، بکار بردن اصلاح کننده‌ها و یا بهبوددهنده‌های خاک [1]می‌باشد. اصلاح‌کننده‌های خاک تولیداتی مصنوعی و یا طبیعی هستند که وضعیت فیزیکی و نیز قدرت تأمین عناصر غذایی برای گیاهان را بهبود می‌بخشد. طیف گسترده‌ای از مواد شامل انواع کمپوست‌ها، کودهای آلی، زغال انواع چوب‌ها، مواد معدنی و ترکیبات شیمیایی به¬عنوان اصلاح‌کننده خاک برای بهبود ویژگی‌های خاک و تأمین عناصر غذایی استفاده می‌شوند (Xu et al., 2013). در ادامه تعدادی از این ترکیبات که می‌توان از آنها به عنوان بهبوددهنده خاک استفاده کرد و تاثیر کاربرد این قبیل ترکیبات بر شاخص‌های کیفیت خاک با تاکید بر کیفیت خاک باغ‌های مرکبات بررسی خواهد شد.

آهک: عوامل شیمیائی بسیاری کیفیت و سلامت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی از مهمترین ویژگی‌های شیمیائی خاک که بر قابلیت استفاده عناصر غذائی و نیز ترکیب جامعه میکروبی خاک به‌عنوان دو پارامتر معرف سلامت خاک، تاثیرگذار می‌باشد، اسیدیته خاک است. بهترین دامنه پ-اچ به لحاظ قابلیت استفاده عناصر غذائی ۶ الی ۶/۵ می‌باشد و بهترین دامنه پ-اچ برای پرورش مرکبات ۵/۵-۷/۸ است. در شرایطی که پ-اچ خاک پائین باشد به ویژه در مقدار پ-اچ کمتر از ۵، رشد مرکبات به‌علت سمیت یون‌های هیدروژن، آلومینیوم و منگنز و نیز به دلیل کاهش غلظت منیزیم، کلسیم و پتاسیم در فاز محلول، کاهش حلالیت فسفر و توقف رشد ریشه کاهش می‌یابد. علاوه براین، در شرایط خاک‌های خیلی اسیدی، جمعیت میکروبی خاک تغییر کرده و این امر باعث تنزل سلامت خاک شده و نیز باعث تضعیف مقاومت گیاهان به باکتری‌های بیماری‌گر در خاک‌های اسیدی می‌شود (Wan et al., 2020). از سوی دیگر، مقایسه واکنش خاک‌های باغ‌های مرکبات از سال ۱۳۶۰ با سال ۱۳۸۳ نشان داد که واکنش خاک باغ‌های مرکبات در غرب مازندران در دو دهه گذشته کاهش یافته است.که به نظر می‌رسد نزول باران‌های فراوان و مصرف کودهای شیمیائی علت اصلی اسیدی شدن خاک‌های تحت کشت مرکبات می‌باشد. واکنش پنجاه و دو نمونه خاک برخی از باغ‌های مرکبات غرب مازندران نشان می‌دهد که خاک‌های مورد مطالعه از اسیدی خیلی شدید (۳/۵) تا قلیایی ضعیف (۷/۷) متغیر بوده و میانگین آن ۵/۴ می‌باشد که در گروه خاک‌های اسیدی قرار می‌گیرد. لذا به نظر می‌رسد آهک‌دهی خاک اسیدی، افزایش کمی و کیفی مرکبات را در پی خواهد داشت (شکل ۵). در پژوهشی که در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری در زمینه‌ی کاربرد آهک در خاک‌های اسیدی انجام شده، توصیه شده است که (مرادی، ۱۳۸۳):

[1] Soil Conditioner

(۱) جهت کاربرد آهک در اولین قدم نسبت به تجزیه خاک اقدام شود و در صورت اطمینان از اسیدی بودن خاک (پ¬اچ کمتر از ۵/۵) می‌توان ۳ تا ۹ کیلوگرم آهک در سایه‌انداز درخت در خاک سطحی و عمقی به کار برد

(۲) با کاربرد آهک در خاک‌های اسیدی (پ-اچ کمتر از ۵/۵) می‌توان پ-اچ خاک سطحی و عمقی را افزایش و عملکرد پرتقال خونی را بهبود داد

(۳) توصیه می‌شود همراه آهک یک منبع حل‌پذیر منیزیم (سولفات منیزیم) جهت اجتناب از کمبود این عنصر در سایه‌اندازدرختاان مصرف نمود

بدون کاربرد آهک

در شرایط کاربرد آهک

شکل ۵- نمائی از اصلاح پ-اچ خاک اسیدی با استفاده از آهک و تاثیر آن بر عملکرد درختان پرتقال

گوگرد: کاربرد گوگرد در خاک عمدتاً از طریق تاثیر بر پ-اچ خاک، می‌تواند بر قابلیت جذب سایر عناصر غذایی (El-Wakeel and Mansour, 2014) و نیز بر فعالیت‌های زیستی خاک تاثیرگذار باشد. امکان استفاده و بهره‌مندی از اثرات مفید گوگرد عنصری به مهیا شدن شرایط مورد نیاز جهت اکسیداسیون این عنصر در خاک بستگی دارد (Germida and Janzen, 1993). کاهش پ-اچ خاک از طریق کاربرد اصلاح کننده-های پ-اچ به ویژه در خاک‌های آهکی می‌تواند قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای مرکبات را افزایش دهد.

نرخ بهینه کاربرد اصلاح‌کننده‌های اسیدی به مقدار آهک موجود در خاک بستگی دارد. اگر سنگ آهک در منطقه رشد ریشه گیاه موجود باشد، احتمال پاسخ مثبت گیاه به پخش سطحی اصلاح کننده اسیدی بسیار ضعیف است. برعکس، اسیدی کردن خاک‌هایی که محتوای آهک کمتری دارند یا خاک‌هایی که در اثر استفاده مکرر آب آبیاری با بی‌کربنات بالا قلیایی شده‌اند، امکان‌پذیر است. اصلاح کننده‌های اسیدی خاک شامل گوگرد عنصری و تیوسولفات پتاسیم و یا آمونیوم می‌باشند. گوگرد در این ترکیبات تبدیل به اسید سولفوریک شده و آهک خاک را خنثی می‌کند (جدول ۸) و پ-اچ خاک را کاهش می‌دهد. سولفات آمونیوم نیز خاک را از طریق فرایند نیتریفیکاسیون اسیدی می‌سازد. درتحقیقی اثر کاربرد گوگرد بر عملکرد و مقدار عناصر غذایی در برگ پرتقال والنسیا در جنوب آفریقا بررسی شده است (Murovhi, 2013). نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش نرخ کاربرد کود گوگردی، پ-اچ کاهش و مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت. با افزایش نرخ کاربرد گوگرد، غلظت گوگرد، روی و مس در برگ افزایش اما غلظت نیتروژن، منگنز و آهن کاهش یافتند. اثر کاربرد گوگرد به تنهایی یا بصورت توام با خاکستر چوب بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک و نیز بر شاخص‌های رشد، غلظت عناصر غذایی دربرگ درختان جوان پرتقال در تحقیقی بررسی شد (El-Wakeel and Mansour, 2014). نتایج نشان داد که با افزودن گوگرد به خاک، مقدار پ-اچ خاک کاهش یافت این درحالی بود که با افزایش سطح کاربرد خاکستر چوب در خاک، پ-اچ خاک افزایش نشان داد.

جدول ۸- موادی که می‌توانند برای کاهش پ-اچ خاک استفاده شوند (Obreza et al., 2020b)

ماده	مقدار مورد نیاز برای خنثی‌سازی ۴۵۴ کیلوگرم آهک خالص
گوگرد عنصری	۱۴۵ کیلوگرم
اسید سولفوریک غلیظ	۲۵۸ لیتر
تیوسولفات آمونیوم	۷۲۶ کیلوگرم
تیوسولفات پتاسیم	۱۷۲۴ کیلوگرم
سولفات آمونیوم	۴۰۸ کیلوگرم

علاوه بر اینکه گوگرد به عنوان اصلاح کننده پ-اچ خاک استفاده می‌شود، این عنصر یکی از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است و کشت متراکم، استفاده از کودها فاقد گوگرد و کاهش تهنشت¬های اتمسفری دلایل اصلی رخداد کمبود گوگرد در خاک‌های کشاورزی می¬باشد (Divito et al., 2015). بنابراین استفاده از کودهای گوگردی در بسیاری از مناطق دنیا از جمله در خاک‌های با پ-اچ کمتر از هفت نیز رو به گسترش است. برای مثال طبق تحقیق انجام شده در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، کاربرد ۱۰-۵ گرم گوگرد معدنی به ازای هر کیلوگرم خاک به همراه کود دامی در خاک‌های با پ-اچ اندکی اسیدی و مقدار سولفات قابل استفاده کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، می تواند ضمن تاثیر مثبت بر شاخص های رشد

نهال جوان نارنج (شکل ۶)، باعث بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل پ-اچ، کربن آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی و نیز ویژگی‌های زیستی خاک شامل تنفس خاک و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز خاک گردد (داده‌ها انتشار نیافته است). به‌هرحال ذکر این نکته حائزاهمیت است که با توجه به این نکته که که اسیدی شدن شدید خاک تاثیرات منفی بر چرخه عناصر غذایی، ساختمان، ترکیب جمعیت زیستی و قابلیت تولید خاک دارد، لذا، توصیه می¬شود در صورت استفاده از گوگرد در خاک¬های اسیدی حتما پ-اچ خاک به¬طور مداوم مورد پایش قرار گیرد. هم‌چنین به نظر می‌رسد، کاربرد گوگرد در این نوع خاک‌ها در ترکیب با آهک و سایر اقدامات کشاورزی مؤثرتر باشد.

کاربرد ۱۰ گرم گوگرد در هر کیلوگرم خاک **بدون کاربرد گوگرد**

شکل ۶- نمائی از تاثیر کاربرد گوگرد بر شاخص‌های رشدی نهال جوان نارنج

سوپرجاذب‌ها: پلیمرهای سوپرجاذب، ماکروملکول‌های با توانایی جذب آب می‌باشند. وقتی این پلیمرها در آب غوطه‌ور می‌شوند، به شکل هیدوژل در آمده و سپس می‌توانند آب جذب شده را به محیط پیرامون خود آزاد سازند (Parvathy et al., 2014). پیلمرهای آبدوست در سه شکل طبیعی (مشتقات پلی‌ساکارید)، نیمه

مصنوعی (مشتقات اولیه سلولزی) و مصنوعی وجود دارند (Mikkelsen, 1999). هیدروژل‌ها به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای آب در خاک عمل کرده و به تدریج آب را در خاک آزاد خواهند کرد و تعادل رطوبتی در خاک را حفظ خواهند نود (Zohuriaan-Mehr et al., 2008). آزادسازی آب جذب شده توسط هیدورژل‌ها به محیط پیرامون‌اشان به تغییر تعادل رطوبتی و نیز نیاز ریشه گیاه وابسته می‌باشد. مقدار پ-اچ سوپرجاذب‌ها حدود ۶-۷ می‌باشد و سمیتی برای خاک و گیاه ندارند. اصلاح محیط ریشه گیاه توسط این پلیمرها، نتایجی مانند افزایش نگهداری رطوبت و مواد معدنی، اصلاح بافت خاک، افزایش نفوذپذیری آب در خاک، افزایش جوانه‌زنی و تسریع رشد گیاهان را در پی خواهد داشت (Wu et al., 2008). طبق منابع موجود ویژگی‌های فیزیکی در درجه اول و نیز ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در وهله‌ی دوم می‌تواند متاثر از کاربرد سوپرجاذب در خاک باشند (Parvathy et al., 2014). به طور مثال بررسی منابع نشان می‌دهد که با کاربرد سوپر جاذب در خاک عمدتاً وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش یافته، درحالیکه ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک و تخلل خاک بهبود یافته است. هم‌چنین، به دنبال کاربرد سوپرجاذب طبیعی در خاک، جمعیت باکتری و قارچ‌ها نیز افزایش یافته است (Parvathy et al., 2014). بر اساس اطلاعات نویسندگان کارهای انجام شده در زمینه کاربرد سوپرجاذب‌ها در مرکبات بیشتر بر جنبه‌های فیزیولوژی گیاه متمرکز بوده (Arbona et al., 2005 و رفیعی و همکاران، ۱۳۹۷) و کمتر مباحث کیفیت خاک مورد توجه قرار گرفته است. به هرحال کاربرد سوپرجاذب‌ها بیشتر در مورد گیاهان زراعی مطرح بود و لازم است که تحقیقات کافی در این زمینه از جنبه‌های مختلف مانند تاثیر بر کمیت و کیفیت محصولات باغی، کیفیت خاک باغ و ارزیابی‌های اقتصادی لازم نیز در این زمینه انجام شود.

بیوچار: این ماده از طریق پیرولیز بقایا و مواد زائد کشاورزی در شرایط بی‌هوازی و در دمای ۳۰۰-۱۰۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود. بیوچار علاوه براینکه دارای ساختار شیمیایی و فیزیکی منحصربه فردی است، حاوی تعداد زیادی از عناصر غذایی نیز می‌باشد. بنابراین با استفاده از بیوچار می‌توان ضمن کاهش کاربرد کودهای شیمیایی، عملکرد محصول را بهبود بخشید و مشکل مواد زائد کشاورزی را نیز تا حد زیادی برطرف نمود (Zhang et al., 2021). در سال‌های اخیر کاربرد بیوچار در برخی از مناطق تولید کننده مرکبات مورد تحقیق قرار گرفته و نتایج این قبیل تحقیقات نشان می‌دهد که با کاربرد بیوچار ممکن است ویژگی‌های خاک باغ مرکبات بهبود بخشیده شود. برای مثال در تحقیقی که اخیرا در چین انجام شده مشاهده می‌شود که کاربرد بیوچار اثرات مثبتی بر ویژگی‌هی فیزیکوشیمیایی (شامل پ-اچ، ماده آلی و عناصر غذایی) خاک باغ مرکبات داشته است. علاوه براین با کاربرد بیوچار همه باکتری‌های مفید خاک افزایش یافته و نیز جمعیت قارچ‌های ساپروفیت که در چرخه عناصر غذایی دخیل می‌باشند، نیز بهبود یافته است (Zhang et al., 2021). در مطالعه-ای دیگر اثر کاربرد بیوچار بر ویژگی‌های کیفی خاک اسیدی باغ نارنگی پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که با کاربرد بیوچار پ-اچ، مقدار ماده آلی، مقدار نیتروزن و پتاسیم خاک افزایش یافته، علاوه براین

جمعیت ریزجاندران خاک نیز تغییر کرده است (Qingjiang et al., 2021). به هرحال سابقه‌ی تحقیقات در زمینه‌ی کاربرد بیوچار در باغ مرکبات جدید می‌باشد و جهت توصیه به کاربرد این ترکیب در باغ لازم است تحقیقات لازم در این زمینه انجام گردد.

٤-٣- اثر پذیری کیفیت خاک از تغییر کاربری اراضی

فعالیت‌های انسان که با برنامه‌ریزی مناسبی همراه نباشد، اثرات نامطلوبی بر منابع طبیعی از جمله خاک به همراه دارد که از میان این فعالیت‌ها به تغییر کاربری اراضی بدون توجه به پتانسیل تولید آنها می‌توان اشاره کرد. تغییر کاربری اراضی به عنوان دومین فعالیت انسانی تاثیرگذار بر آزادسازی گازهای گلخانه‌ای و تغییر دینامیک چرخه کربن در نظر گرفته می‌شود ((Lal, 2008; Houghton, 2010; Gong et al., 2014). طبق بررسی منابع موجود، مخازن کربن آلی خاک تقریبا دو برابر و ۲/۸ برابر کربن ذخیره شده به‌ترتیب در اتمسفر و بیوتا می-باشد (Lal, 2008). بنابراین دینامیک کربن خاک، شامل ترسیب کربن، معدنی شده کربن آلی و تنفس خاک نقش مهمی در چرخه‌ی کلی کربن در جهان ایفا می‌کند. تخریب خاک و کاهش حاصلخیزی آن، آلودگی خاک‌ها و آب‌های سطحی، زیرزمینی، بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی، شور و سدیمی شدن خاک‌ها در بخش وسیعی از دنیا تنها نمونه‌هائی از خسارت جبران‌ناپذیری است که به علت اتخاذ روش‌های نامعقول و ایجاد تغییرات حساب نشده توسط انسان به منابع طبیعی وارد شده است (رفاهی، ۱۳۷۵). از مهمترین تغییر کاربری‌های اراضی می‌توان به تبدیل اراضی از شالیزار به باغات مرکبات اشاره کرد که غالبا منجر به کاهش حاصلخیزی و تخریب خاک می‌گردد و باغداران را با مشکلات عدیده‌ای مواجه می‌سازد (شکل ۴). یکی از مشکلات توام با باغات تبدیل شده از شالیزار به کشت مرکبات نفوذپذیری پایین آب در این خاک‌ها و وقوع شرایط ماندابی در این باغات می‌باشد. شرایط غرقابی و احیایی ایجاد شده می‌تواند وقوع بیماری‌های مختلفی را در باغات مرکبات تشدید کنند. برای نمونه پایه‌های رافلمون و یا پرتقال حساسیت بالایی به عامل بیماریگر فیتوفترا دارند و احتمال شیوع و گسترش این بیماری‌ها نیز در شرایط غرقاب و تهویه ضعیف خاک افزایش می‌یابد (Hardy et al. 2012). پایه‌های مختلف مرکبات مقاومت متفاوتی به پوسیدگی ریشه فیتوفترایی دارند از این رو توجه به نوع پایه می‌تواند به عنوان یکی از رآهکارهای مدیریتی در مقابله با شرایط بحرانی خاک و آب نقش حیاتی ایفاکند. آسیب به ریشه مرکبات در نتیجه‌ی بروز شرایط غرقاب به شکل‌های مختلفی ظاهر می‌شود که از آن جمله می-توان به پوسته پوسته شدن پوست، تغییر رنگ پیداکردن بافت داخلی ریشه به قهوه‌ای و سیاه شدن و عدم وجود ریشه های فیبری اشاره کرد (شکل ۷).

علاوه براین، همانطور که در بخش‌های قبل بیان شد، جنبه‌ی زیستی خاک یکی از جنبه‌های مهم کیفیت خاک است که به طور معنی‌داری می‌تواند تحت تأثیر کیفیت خاک قرار گیرد. ماندگاری و پویایی موجودات خاکزی مانند هر موجود زنده‌ی دیگر به تأمین غذای مناسب و کافی بستگی دارد. وقوع شرایط غرقاب می‌تواند خساراتی سنگین و جبران‌ناپذیر بر پیکره‌ی جامعه‌ی زیستی خاک تحمیل کند که خود منجر به دور شدن خاک

از شرایط آرمانی و در نهایت تحلیل سلامت و کیفیت خاک می‌گردد. برای مثال در مطالعه‌ای تاثیر تغییر کاربری اراضی از شالیزار به باغ مرکبات با سن‌های متفاوت (۳، ۱۰، ۲۲ و ۳۰ سال) بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان دادکه تنفس خاک طی سه سال اول تبدیل این اراضی ۲۸ درصد کاهش یافته و سپس طی سال‌های بعدی افزایش یافته است. با تبدیل اراضی از شالیزار به باغ مرکبات جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌های میکوریزکاهش یافته اما جمعیت سایر قارچ‌ها افزایش یافته است. ترکیب جمعیت میکروبی متاثر از تغییر کاربری اراضی بوده و رطوبت خاک و نسبت کربن به نیتروژن مهمترین فاکتورهای تعیین کننده ترکیب جمعیت میکروبی در اراضی بودند (Wu et al., 2020).

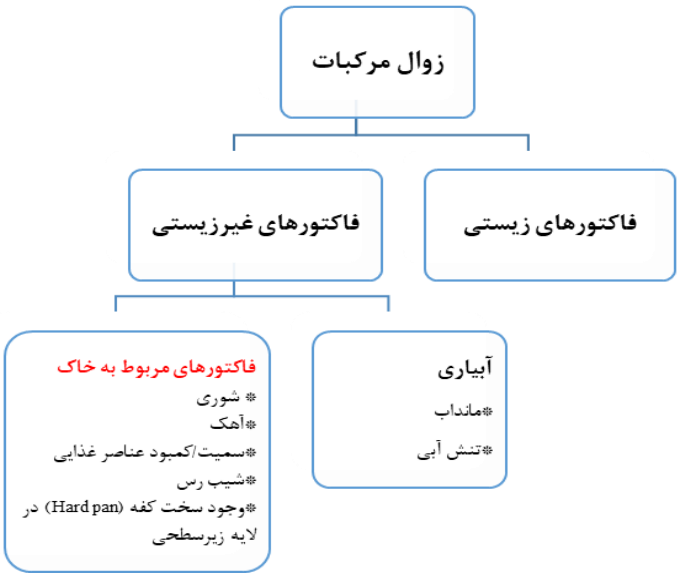
در تحقیقی که در شرق مازندران بر تغییر شاخص‌های کیفی خاک در تبدیل اراضی از شالیزار به مرکبات انجام شده است (یوسفی، ۱۳۹۱) مشاهده شد که مقادیر بالای کربن آلی درخاک شالیزاری با سابقه بیش از ۶۰ سال موجب شد تا این خاک بیشترین میزان تخلخل، رطوبت باقیمانده، ظرفیت نگهداشت آب، نیتروژن کل، تنفس میکروبی، کربن و نیتروژن زیست توده میکروبی و شدت نیتریفیکاسیون خالص را نسبت به دیگر کاربری‌های مورد مطالعه به خود اختصاص دهد که پس از تغییر کاربری میزان این فاکتورها کاهش یافت. در تمامی کاربری‌های مورد مطالعه در این تحقیق (در خاک شالیزاری‌های با سابقه بیش از ۶۰ و ۲۵ سال کشت برنج، باغ‌های مرکباتی که قبلاً شالیزار بوده و اکنون به مدت پنج، هشت، ۲۵ سال زیر کشت مرکبات رفته است و باغ دائم مرکبات) میزان تنفس خاک بالا بوده و با تشدید معدنی شدن کربن آلی خاک (تنفس میکروبی) مقدار مواد آلی خاک روند نزولی گرفته و بدین ترتیب انرژی ریزجانداران خاک کم شده و این موضوع سبب می‌شود تا به تدریج جمعیت زنده میکروبی خاک که به‌عنوان قلب خاک در نظر گرفته می‌شود نیز تنزل یابد. این محققین گزارش کردند که تغییر کاربری اراضی شالیزاری که به مدت بسیار طولانی تحت کشت برنج می-باشند (حداقل ۶۰ سال) به باغ‌های مرکبات، به دلیل کاهش معنی‌دار در میزان ماده آلی خاک، پیامدهای ناگواری را به همراه خواهد داشت (یوسفی، ۱۳۹۱).

شکل ۷- نمایی از تاثیر تبدیل راضی از شالیزار به کشت مرکبات بر شرایط خاک و ریشه

٤- ارتباط زوال مرکبات با شاخص‌های کیفی خاک

طبق گزارشات موجود، عامل ایجاد زوال مرکبات عوامل زیستی و یا غیر زیستی می‌باشند (شکل ۸). از جمله علایم مشاهده شده در درختان رو به زوال، زردی می‌باشد. هم‌چنین از دیگر علائم ظاهری این درختان می‌توان به باریک شدن برگ‌ها و کوچک و نازک شدن شاخه‌ها اشاره کرد (شکل ۹). یکی از عوامل اصلی ظهور این علائم در درختان می‌تواند نتیجه‌ی عدم تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه باشد (Tadayon, 2020). همراه با بروز این علائم، رشد درختان مرکبات کاهش یافته و در این شرایط شاخسار درختان به تدریج خشکیده شده

(dieback) و کل درخت در چند سال آتی از بین خواهد رفت. همان‌طور که اشاره شد فاکتورهای زیستی و غیرزیستی می‌توانند در ایجاد زوال مرکبات دخیل باشند که در ادامه به بررسی نقش برخی از این عوامل و تاثیر کیفیت خاک در زوال مرکبات پرداخته خواهد شد.



شکل ۸- دسته‌بندی فاکتورهای اصلی دخیل در زوال مرکبات (Srivastavaand Singh, 2009)

شکل ۹- نمائی از درخت مرکبات دارای علائم ظاهری زوال

فاکتورهای غیرزیستی: طبق مطالعات انجام شده در جهان، ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل شیب، درصد رس در پروفیل خاک، وضعیت زهکشی خاک و ماندابی بودن خاک و نیز ویژگی‌های شیمیائی خاک شامل اسیدیته خاک، شوری و کمبود عناصر غذایی مهم‌ترین فاکتورهای مرتبط با کیفیت خاک می‌باشند که

در وقوع زوال مرکبات می‌توانند سهیم می‌باشند (Srivastava and Singh, 2009). از میان عناصر غذائی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و بور اهمیت بسیاری در وقوع یا عدم وقوع زوال مرکبات داشته و باید در برنامه توصیه کودی لحاظ گردند (Kumar et al., 2012). بررسی نتایج مطالعه‌ی انجام شده در پاکستان نشان داد که در خاک باغ درختان دارای علائم زوال در مقایسه با خاک باغ دارای درختان سالم، شوری و پ-اچ خاک بالاتر ولی مقدار ماده آلی، فسفر، پتاسیم، نیتروژن و روی کمتر بود (Iqbal et al., 2020). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمال وقوع زوال مرکبات در خاک‌های که از کیفیت و سلامت بالاتری برخوردارند، کمتر است و در صورت رخداد روند پیشرفتی آهسته‌تری خواهد داشت.

باتوجه به اهمیت ویژگی‌های مرتبط با کیفیت خاک در زوال مرکبات طبق مطالعات انجام شده در جهان و نیز تاثیر عوامل خاکی از جمله ماندابی شدن خاک بر عملکرد پائین، خشکیدگی سرشاخه‌ها و زوال بسیاری از باغ‌های مرکبات (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی‌امیری، ۱۳۹۳) می‌توان به اهمیت موضوع تاثیر ویژگی‌های خاکی بر زوال مرکبات پی برد و عنوان کرد که پایش ویژگی‌های خاکی و آبی باغ‌های رو به زوال و نیز به کارگیری روش‌های تغذیه‌ای مناسب و روش‌های اصلاحی خاک در این باغ‌ها از جمله موضوعاتی است که نیازمند توجه بیشتر مجامع علمی می‌باشند.

فاکتورهای زیستی: تنش‌های زیستی شامل عوامل ایجاد کننده بیماری‌های آوندی در مرکبات مانند بیماری جاروک، میوه سبز مرکبات، بیماری‌های نماتدی و برخی از بیماری‌های قارچی مرکبات و غیره می‌توانند منجر به ظهور علائم زوال در مرکبات و درنهایت مرگ درخت شوند. به هر حال بررسی منابع، حاکی از مشاهده اختلالات تغذیه‌ای در درختان دچار زوال به علت بیماری‌های ذکر شده می‌باشند (منبع باشد بهتر است). از سال‌ها پیش برخی تولیدکننده‌های مرکبات به‌ویژه در کشور چین از رآهکار بهبود وضعیت تغذیه‌ای (شامل عناصر غذایی میکرو و ماکرو) و بهبود دهنده‌های خاک برای حفظ درختان بیمار و کاهش علائم بیماری بهره برده‌اند (Hall and Gottwald, 2011). در واقع می‌توان با اتخاذ رآهکارهایی در جهت تغذیه متعادل و بهبود شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در جهت بازتوانی و افزایش عمر اقتصادی درختان دارای زوال تلاش نمود. برای مثال در برزیل و فلوریدا گزارش شده است که درختان متاثر از بیماری بلایت، علائمی مشابه کمبود روی را نشان می‌دهند. این علائم شامل ریزش برگ، خشکیدگی شاخه‌ها، گلدهی نامنظم و زوال کانوپی درخت می‌باشند که با مصرف روی این علائم از بین می‌رود (Srivastava and Singh, 2004).

در مرکبات، سلامت خاک به‌ویژه به دلیل کاهش حجم ریشه و به دنبال آن کاهش جذب آب و عناصر غذایی در بیماری‌هایی مانند میوه سبز مرکبات و جاروک از اهمیت ویژه‌ای برخورد است. در بیماری میوه سبز مرکبات علائم ظاهری منحصر به فردی وجود ندارد. کاهش ارتفاع گیاه، ایجاد بذرهای عقیم، حالت لکه‌ای شدن برگ‌ها و زردی برگ‌ها که شبیه علائم کمبود آهن، روی و منیزیم است، از علائم احتمالی درختان آلوده به بیماری میوه سبز مرکبات می‌باشند. با پیشرفت آلودگی برگ‌ها ریزش خواهند کرد و مرگ شاخه‌ها نیز در

مراحل بعدی مشاهده خواهد شد (Bove, 2006). طبق منابع موجود تنوع و پایداری جمعیت باکتری‌های حاضر در ریزوسفر، کیفیت خاک و گیاه و نیز پایداری اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. عامل ایجاد بیماری میوه سبز مرکبات منجر به تغییر ساختار و پتانسیل عملکرد جمعیت میکروبی در ارتباط با ریزوسفر مرکبات می‌گردد (Trivedi et al., 2012) و از این طریق بر کیفیت و سلامت خاک تاثیرگذار است.

مطالعات اخیر انجام شده در دانشگاه ایالت کلرادو نشان داد که شدت پیشرفت بیماری میوه سبز مرکبات در باغ‌های مرکبات ایالت فلوریدا با شیوه‌های مدیریتی یکسان متفاوت می‌باشد. احتمالاً یکی از دلایل این امر وجود خاک با ویژگی‌های متفاوت در مکان‌های گوناگون احداث باغ‌ها می‌باشد. در این تحقیق برای تعیین علت وجود این تفاوت‌ها در شدت حساسیت درختان مرکبات به بیماری میوه سبز مرکبات، برخی از شاخص-های مرتبط با کیفیت خاک شامل پ-اچ، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، عناصر میکرو، ماده آلی خاک و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با چرخه عناصر غذایی درخاک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد در مناطقی که پیشرفت بیماری میوه سبز مرکبات آهسته‌تر می‌باشد ("مناطق خوب") مقدار ماده آلی تقریباً دو برابر مناطقی است که سرعت پیشرفت بیماری میوه سبز مرکبات شدید ("مناطق بد") می‌باشد. هم‌چنین، تجزیه و تحلیل شش آنزیم خاک دخیل در چرخه کربن، نیتروژن و فسفر نشان داد که فعالیت آنزیم‌ها در مناطق "خوب" بیش از دو برابر فعالیت آنها در مناطق "بد" است. نتایج این تحقیق حاکی از اهمیت مدیریت ماده آلی در باغ‌های مرکبات متاثر از بیماری میوه سبز مرکبات و به ویژه در خاک‌های که به طور طبیعی ماده آلی کمی دارند، می‌باشد (Stokes et al., 2020). با توجه به وضعیت فعلی باغ‌های مرکبات به ویژه در جنوب کشور، لازم است که مطالعات میدانی به ویژه در مناطقی که درختان مرکبات نسبت به پیشرفت بیماری میوه سبز مرکبات مستعدتر هستند، در جهت پایش پیشرفت بیماری از طریق بررسی همه جانبه‌ی شیمی و بیولوژی خاک انجام گردد. علاوه براین، بررسی منابع نشان داد که در چین با اصلاح پ-اچ خاک‌های شدیدا اسیدی (۴/۵) از طریق افزودن آهک به خاک و رساندن پ-اچ خاک‌ها به حدود ۶/۰-۶/۵ می‌توان وقوع آلودگی‌های جدید به عامل بیمای میوه سبز مرکبات را کاهش داد یا سرعت پیشرفت بیماری در درختان آلوده را کم کرد (Li et al., 2020).

در تحقیقی کوتاه مدت در چین در باغ‌های آلوده به میوه سبز مرکبات درختان به دو دسته (با و بدون کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک) تقسیم شدند. کاربرد اصلاح‌کننده خاک در پای درختان آلوده به بیماری میوه سبز مرکبات با سنین مختلف منجر به بهبود قدرت درخت و کیفیت میوه و نیر کاهش تراکم عامل ایجاد کننده‌ی میوه سبز مرکبات در برگ درختان آلوده در مقایسه با تیمار کنترل شد. هم‌چنین، ۱۰ ماه پس از کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک، تراکم عامل بیماری در برگ درختان جوان به مراتب کمتر از درختان با سنین بیشتر بود و اثر اصلاح‌کننده‌های خاک بر کنترل میوه سبز مرکبات در درختان جوان بیشتر از درختان با سنین بالاتر بود. هم‌چنین، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منگنز در خاک‌های تیمار شده بیشتر از خاک‌های تیمار نشده بود (Xu et al., 2013). بیماری دیگری که می‌تواند منجر به زوال مرکبات گردد، بیماری جاروک می‌باشد. در بیماری

جاروک مکزیکن لایم، اندازه برگ‌ها کوچک شده و برگ‌ها دچار زردی می‌شوند. هم‌چنین، یکی دیگر از علائم ظاهری این بیماری کاهش فاصله میانگره‌ها و ایجاد شوت‌های نازک ثانویه می‌باشد (Zafari et al., 2012). در این بیماری حجم ریشه به شدت کاهش می‌یابد (رئیسی و همکاران، ۱۳۹۸). گزارش شده است که غلظت سدیم، پتاسیم و فسفر به طور معنی‌داری در برگ درختان آلوده به فیتوپلاسما که علایم بیماری جاروک را نشان می‌دادند بیشتر از غلظت این عناصر در برگ درختان سالم و یا درختان آلوده فاقد علایم ظاهری بیماری جاروک بود. طبق پژوهش انجام شده غلظت کلسیم و بور در برگ درختان آلوده که علایم ظاهری جاروک را نشان می‌دادند کمتر از غلظت این دو عنصر در برگ درختان سالم بود (Al Ghaithi et al., 2016).

بررسی نتایج تحقیقی دیگر نشان داد آلودگی به فیتوپلاسما منجر به کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن، کلسیم، بور و منگنز و افزایش معنی‌دار غلظت فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن و روی در برگ گیاهان آلوده شد. غلظت مس در برگ گیاهان آلوده در مقایسه با گیاهان سالم تغییر معناداری نداشت (Raiesi and Golmohamadi, 2020). به علاوه، نتایج نشان داد که پس از بروز علائم ظاهری بیماری جاروک بر اساس غلظت عناصر غذایی می‌توان گیاهان آلوده و سالم را جداسازی نمود (رئیسی، ۱۳۹۸). در واقع با بهبود سیستم ریشه درختان از طریق اصلاح محیط ریزوسفر، تغذیه مناسب، کاربرد عناصر غذایی موثر در رشد ریشه و نیز انجام تغذیه اصولی با در نظر گرفتن تعادل عناصر غذایی به منظور رفع کمبودهای مشاهده شده (نیتروژن، کلسیم، بور و منگنز) می‌توان تولید و عمر اقتصادی درختان مبتلا به جاروک را بهبود بخشید. به‌طورکلی به نظر می‌رسد در پاسخ به چالش زوال مرکبات در ایران، برای افزایش عمر اقتصادی درختان ارائه راهنماهای تغذیه‌ای و راهنماهایی در جهت اصلاح ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک(بهبوددهنده‌های خاک) با هدف بهبود رشد ریشه و ارتقا عملکرد ضروری است.

خاک با کیفیت مطلوب می¬تواند باعث ارتقای ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک، قابلیت دسترسی عناصر غذایی، کارکرد جامعه میکروبی خاک، عملکرد و قابلیت تولید مرکبات گردد.

۵- منابع

ابطحی، ع.، حق¬نیا، غ.، سیادت، ح.، کلباسی اشتری، م.، حاج رسولی¬ها، ش.، مفتون، م. (۱۳۷۹). فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی (شامل تعریف و معادل فارسی واژه‌های علمی). جلد دهم خاکشناسی.

اسدی رحمانی، هـ .، اصغرزاده، الف.، خاوازی، ک.، رجالی ف. و ثواقبی، غ.ر. (۱۳۸۶). حاصلخیزی بیولوژی خاک (ترجمه). سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.

اسدی کنگرشاهی، ع. (۱۴۰۰). تأثیر شرایط ماندابی بر روند تغییرات شیمیایی و الکتروشیمایی در محلول خاک‌های آهکی. پژوهش های خاک، ۳۵(۲)، ۱۷۱-۱۷۸

اسدی کنگرشاهی، ع، اخلاقی امیری، ن. (۱۳۹۹). بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه سی-۳۵ در چند خاک آهکی. پژوهش های خاک، ۳۴(۲)، ۲۱۵-۲۳۳

اسدی کنگرشاهی، ع. (۱۳۹۷). روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و تحمل‌ترویرسیترنج به خاک‌های آهکی. مدیریت اراضی، ۶(۲)، ۱۹۵-۲۱۱

اسدی کنگرشاهی، ع، اخلاقی امیری، ن. (۱۳۹۶). روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و درجه زرد برگی نارنگی انشو با پایه سوینگل‌سیترواملو در برخی خاک‌های آهکی مازندران. پژوهش های خاک، ۳۱(۲)، ۱۷۷-۱۹۴

اسدی کنگرشاهی، ع. و اخلاقی امیری، ن. (۱۳۹۳). تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات (جلد اول). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.

رئیسی، ط، مرادی، ب. (۱۳۹۹). کارایی جذب و مصرف فسفر در نهال‌های گلدانی پرتقال تامسون با سه پایه در دو خاک متفاوت از استان مازندران. پژوهش های خاک، ۳۴(۲)، ۲۷۷-۲۸۹

رئیسی، ط.، هاشم، پ.، و گلمحمدی. (۱۳۹۸). پایش ترکیبات بیوشیمیایی در برگ مکزیکن‌لایم طی پیشرفت بیماری جاروک لیموترش. علوم باغبانی ایران، ۵۰(۳)، ۷۳۳-۷۴۳

رئیسی، ط.، مرادی، ب.، گلعین، ب. (۱۳۹۷). اثر مکش آب خاک و پتاسیم بر عملکرد و شاخص‌های بیوشیمیائی پرتقال تامسون ناول (*Citrus sinensis* L. Osbeck.). آب و خاک، ۳۲(۵)، ۹۶۱-۹۷۵

رفیعی، ر.، گلچین، احمد، تاجور، یحیی، و فتاحی، م. (۱۳۹۷). اثر سطوح سوپر جاذب آکوازورب بر رشد رویشی و زایشی نارنگی پیچ تحت شرایط تنش خشکی. به زراعی کشاورزی، ۲۰(۳): ۷۱۹-۷۳۵.

گلعین،ب و عدولی، ب. (۱۳۹۰). مرکبات (کاشت). انتشارات نوین پویا، ۱۶۰ صفحه.

مرادی، ب. (۱۳۸۳). اثرات استفاده از آهک در اسیدیته خاک و خصوصیات کمی و کیفی دو رقم مرکبات. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات مرکبات کشور

یوسفی، س. (۱۳۹۱). اثر تغییر کاربری اراضی شالیزاری تحت کشت برنج به باغ مرکبات بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی کیفیت خاک (مطالعه موردی: قائم‌شهر) دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

زین‌الدینی میمند، ع.، تومانیان، ن.، نویدی، م.ن.، فرج‌نیا، ا.، سیدجلالی، س.ع. (۱۳۹۸). نیازهای رویشی گیاهان باغبانی. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. شابک: ۸-۱۵-۶۷۰۵-۶۲۲-۹۷۸.

Abrol, I. P. (1982, May). Technology of chemical, physical and biological amelioration of deteriorated soils. In Panel of experts meeting on amelioration and development of deteriorated soils in Egypt (pp. 2-6).

Agriculture, U. S. D. o. (1980). Report and recommendations on organic farming. In. U.S. Dept. Agri., Study Team on Organic Farming, Washington, DC.

Al-Ghaithi, A. G., Hanif, M. A., Al-Busaidi, W. M., and Al-Sadi, A. M. (2016). Increased sodium and fluctuations in minerals in acid limes expressing witches' broom symptoms. SpringerPlus, 5(1), 1-8 .

Alva, A. K., and Syvertsen, J. P. (1991). Irrigation water salinity affects soil nutrient distribution, root density, and leaf nutrient levels of citrus under drip fertigation. Journal of plant nutrition, 14(7), 715-727.

Arbona, V., Iglesias, D. J., Jacas, J., Primo-Millo, E., Talon, M., and Gómez-Cadenas, A. (2005). Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. Plant and Soil, 270(1), 73-82 .

Balks, M. R., Bond, W. J., & Smith, C. J. (1998). Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. Soil Research, 36(5), 821-830.

Bardhan, G., Russo, D., Goldstein, D., & Levy, G. J. (2016). Changes in the hydraulic properties of a clay soil under long-term irrigation with treated wastewater. Geoderma, 264, 1-9.

Bastida, F., Torres, I. F., Abadía, J., Romero-Trigueros, C., Ruiz-Navarro, A., Alarcón, J. J., ... & Nicolás, E. (2018). Comparing the impacts of drip irrigation by freshwater and reclaimed wastewater on the soil microbial community of two citrus species. Agricultural Water Management, 203, 53-62.

Bastida, F., Torres, I. F., Abadía, J., Romero-Trigueros, C., Ruiz-Navarro, A., Alarcón, J. J., ... & Nicolás, E. (2018). Comparing the impacts of drip irrigation by freshwater and reclaimed wastewater on the soil microbial community of two citrus species. Agricultural Water Management, 203, 53-62.

Belay, A., Claassens, A. S., Wehner, F. C., and De Beer, J. M. (2001). Influence of residual manure on selected nutrient elements and microbial composition of soil under long-term crop rotation. South African Journal of Plant and Soil, 18(1), 1-6 .

Belay, A., Claassens, A., and Wehner, F. C. (2002). Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation. Biology and Fertility of Soils, 35(6), 420-427 .

Bové, J. M. (2006). Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. Journal of plant pathology, 7-37 .

Brady, N.C., and Weil, R.R. (1999). The Nature and Properties of Soil. 12th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. Print.

Canali, S., Di Bartolomeo, E., Trinchera, A., Nisini, L., Tittarelli, F., Intrigliolo, F., Roccuzzo, G., and Calabretta, M. L. (2009). Effect of different management strategies on soil quality of citrus orchards in Southern Italy. Soil Use and Management, 25(1), 34-42 .

Carter, M. R., Gregorich, E. G., Anderson, D. W., Doran, J. W., Janzen, H. H., and Pierce, F. J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. In: Elsevier.

Di Prima, S., Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Iovino, M., Pirastru, M., Keesstra, S., and Cerdà, A. (2018). Soil physical quality of citrus orchards under tillage, herbicide, and organic managements. Pedosphere, 28(3), 463-477 .

Dong, Y.J, He, M.R., Wang, Z.L., Chen W.F, Hou, J., Qiu, X.K., and J.W. Zhang. (2016). Effects of new coated release fertilizer on the growth of maize. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 16, 637–649.

Doran, J.W. (2002). Soil health and global sustainability: translating science into practice. Agriculture, Ecosystems and Environment, 88: 119-127.

Doran, J.W. and M.R. Zeiss. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology, 15, 3–11.

Doran, J.W. and T.B. Parkin. (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 35. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 3–21.

Drinkwater, L.E., Cambardella, C.A., Reeder, J.D. and C.W. Rice. (1996). Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Special Publication 49, Madison, WI, pp. 217–229.

El-Wakeel, H., and Mansour, N. (2014). Fertilizing young navel orange trees with sulfur and wood ash as a source of sustainable agriculture. J Hortic Sci Biotechnol, 6, 50-58 .

FAO/UNESCO (1973) Irrigation, drainage and salinity. An International source book. Unesco/FAO, Hutchinson & Co (Publishers) Ltd, London, 510 pp

Ferguson, J. J. (1994). Organic citrus production: Certification and production guidelines. Citrus Industry, 75(3), 40-44 .

Franca, S. C., Gomes-da-Costa, S. M., and Silveira, A. P. D. (2007). Microbial activity and arbuscular mycorrhizal fungal diversity in conventional and organic citrus orchards. Biological Agriculture and Horticulture, 25(2), 91-102 .

Franzluebbers, A.J. (2008). Linking soil and water quality in conservation agricultural systems. Electronic Journal of Integrative Biosciences, 6(1):15-29.

Galal, H. A. (2015). Long-term effect of mixed wastewater irrigation on soil properties, fruit quality and heavy metal contamination of citrus. American Journal of Environmental Protection, 3(3), 100-105.

Germida, J. J., and Janzen, H. H. (1993). Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. Fertilizer research, 35(1), 101-114 .

Gong, J.-R., Wang, Y., Liu, M., Huang, Y., Yan, X., Zhang, Z., and Zhang, W. (2014). Effects of land use on soil respiration in the temperate steppe of Inner Mongolia, China. Soil and Tillage Research, 144, 20-31 .

Hall, D. G., and Gottwald, T. R. (2011). Pest management practices aimed at curtailing citrus huanglongbing disease. Outlooks on Pest Management, 22(4), 189 .

Hardy, S., Barkley, P., Creek, A., Donovan, N. (2012). Impacts and management of flooding and waterlogging in citrus orchards. www.dpi.nsw.gov.au/publications for updates Primefact 1189, First edition.

Hondebrink, M.A., Cammeraat, L.H., and Cerda, A. (2016). The impact of agricultural management on selected soil properties in citrus orchards in Eastern Spain: A comparison between conventional and organic citrus orchards with drip and flood irrigation. Science of the Total Environment, Volumes 581-582: 153-160.

Houghton, R. A. (2010). How well do we know the flux of CO2 from land-use change? Tellus B: Chemical and Physical Meteorology, 62(5), 337-351 .

Huang, S., Zhang, W., Yu, X., and Q. Huang. (2010). Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of southern China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 138, 44–50.

Intrigliolo, F., Montemurro, N., Roccuzzo, G., Giuffrida, A., Canali, S., Calabretta, M. L., ... & Benedetti, A. (2000, April). Field survey on soil fertility and plant nutritional status in organic and conventional citrus orchards. In Xth Internatonial Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition. April (pp. 8-13).

Iovino, M., Castellini, M., Bagarello, V., and Giordano, G. (2016). Using static and dynamic indicators to evaluate soil physical quality in a Sicilian area. Land Degradation and Development, 27(2), 200-210 .

Iqbal, Z., Ahmad, S., Rehman, A., Asim, M., Rehman, M. A., Anjum, M. Z., Raza, M., and Raza, W. (2020). Soil and leaf nutritional profiling of declined citrus orchards of Punjab, Pakistan. International Network For Natural Sciences, 16(3), 196-207 .

Jenny, H. (1994). Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. Courier Corporation

Ju, X.T., Xing, G.X., Chen, X.P., Zhang, S.L., Zhang, L.J., Liu, X.J., Cui, Z.L., Yin, B., Christie, P., Zhu, Z.L., et al. (2009). Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2009, 106, 3041–3046.

Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., and Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal, 61(1), 4-10 .

Karlen, D.L., Andrews, S.S. and J.W. Doran. (2001). Soil quality: Current concepts and applications. Advances in Agro. 74: 1-40.

Kohli, R. R., Srivastava, A. K., and Shivankar, V. J. (1998). Organic culture in citrus cultivation. Indian Horticulture, 43, 12-15 .

Körschens, M. (2006). The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research— a review. Plant, Soil and Environ, 52, 1–8.

Kumar, P., Sharma, S., and Dalal, R. S. (2012). Citrus Decline in Relation to Soil-Plant Nutritional Status-A Review. Agricultural Reviews, 33(1), 62-69 .

Lado, M., & Ben-Hur, M. (2009). Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review. Soil and Tillage Research, 106(1), 152-163.

Lado, M., & Ben-Hur, M. (2010). Effects of irrigation with different effluents on saturated hydraulic conductivity of arid and semiarid soils. Soil Science Society of America Journal, 74(1), 23-32.

Lado, M., Bar-Tal, A., Azenkot, A., Assouline, S., Ravina, I., Erner, Y., . & Ben-Hur, M. (2012). Changes in chemical properties of semiarid soils under long-term secondary treated wastewater irrigation. Soil Science Society of America Journal, 76(4), 1358-1369.

Lal, R. (2008). Sequestration of atmospheric CO_2 in global carbon pools. Energy and Environmental Science, 1(1), 86-100 .

Leroy, B.L.M, Herath, H.M.S.K, Sleutel, S., De Neve, S., Gabriels, D., Reheul, D., and M. Moens. (2008). The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. Soil Use and Management, 24, 139–147.

Li, B., Wang, S., Zhang, Y., and Qiu, D. (2020). Acid Soil Improvement Enhances Disease Tolerance in Citrus Infected by Candidatus Liberibacter asiaticus. International journal of molecular sciences, 21(10), 3614 .

Liu, M., Li, Z.P., Zhang, T.L., Jiang, C.Y., and Che, Y.P. (2011). Discrepancy in response of rice yield and soil fertility to long-term chemical fertilization and organic amendments in paddy soils cultivated from Infertile upland in subtropical China. Agric. Sci. China. 10, 259–266.

Mann, K. K., Schumann, A. W., Obreza, T. A., & Harris, W. G. (2011). Response of citrus productivity to the root zone soil properties in variable sandy soils. Soil science, 176(11), 611-624.

Meli, S., Porto, M., Belligno, A., Bufo, S. A., Mazzatura, A., and Scopa, A. (2002). Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. Science of the Total Environment, 285(1-3), 69-77.

Mikkelsen, R. L. (1994). Using hydrophilic polymers to control nutrient release. Fertilizer research, 38(1), 53-59 .

Mousavi, S. M., and Nasrabadi, M. (2019). Discussion of "Wastewater Effect on the Deposition of Cohesive Sediment" by Milad Khastar-Boroujeni, Kazem Esmaili, Hossein Samadi-Boroujeni, and Alinaghi Ziaei. Journal of Environmental Engineering, *145*(1), 07018004.

Murovhi, N. R. (2012, January). Effect of different rates of sulphur fertilization on fruit yield and leaf mineral composition of'Valencia'oranges in the subtropical environment of South Africa. In II All Africa Horticulture Congress 1007 (pp. 303-310).

Obreza, T. A., Zekri, M., & Hanlon, E. A. (2020a). Nutrition of Florida citrus trees: chapter 4. Soil and leaf tissue testing. Environ. Data Inf. Serv., 2020(2).

Obreza, T. A., Boman, B. J., Zekri, M., Futch, S. H., Parsons, L. R., Ferguson, J. J., & Schumann, A. (2020b). Nutrition of Florida Citrus Trees: Chapter 11. Special Situations: SL465/SS678, 2/2020. EDIS, 2020.(٢)

Parvathy, P. C., Jyothi, A. N., John, K. S., and Sreekumar, J. (2014). Cassava Starch Based Superabsorbent Polymer as Soil Conditioner: Impact on Soil Physico-Chemical and Biological Properties and Plant Growth. CLEAN–Soil, Air, Water, 42(11), 1610-1617 .

Pearson, G. A. (1960). Tolerance of crops to exchangeable sodium. USDA Inf. Bull, 216(4).

Qingjiang, W., Shouting, S., Si, L., Qiaoli, M., Xiao, L., and Qingqing, G. (2021). Short-term effects of biochar and cake fertilizer on soil properties, plant growth, and fruit quality of Nanfeng tangerine. Eur.J.Hortic.Sci., 86(4), 407-413.

Raiesi, T., & Moradi, B. (2021). Young navel orange rootstock improves phosphorus absorption from poorly soluble pools through rhizosphere processes. Rhizosphere, 17, 100316..

Raiesi, T., and Golmohammadi, M. (2020). Changes in nutrient concentrations and biochemical characteristics of Mexican lime (Citrus aurantifolia) infected by phytoplasma. Journal of General Plant Pathology, 86(6), 486-493 .

Renzi, G., Canfora, L., Salvati, L. and A. Benedetti. (2017). Validation of the soil Biological Fertility Index (BFI) using a multidimensional statistical approach: A country-scale exercise. Catena, 149, 294–299.

Reynolds, W. D., Drury, C. F., Yang, X. M., Fox, C. A., Tan, C. S., and Zhang, T. Q. (2007). Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. Soil and Tillage Research, 96(1-2), 316-330 .

Richter, D.D., Hofmockel, M., Callaham, M.A., Powlson, D.S., and P. Smith. (2007). Long-term soil experiments: keys to managing earth's rapidly changing terrestrial ecosystems. Soil Science Society of America Journal, 71, 266–279.

Serrano, J., Marques da Silva, J., Shahidian, S., Silva, L.L., Sousa, A., and F. Baptista. (2017). Differential vineyard fertilizer management based on nutrient's spatio-temporal variability. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 17, 46–61.

Shainberg, I., & Letey, J. (1984). Response of soils to sodic and saline conditions. Hilgardia, 52(2), 1-57.

Srivastava, A. K., and Singh, S. (2004). Zinc nutrition and citrus decline–A review. Agricultural Reviews, 25(3), 173-188 .

Srivastava, A. K., and Singh, S. (2009). Citrus decline: Soil fertility and plant nutrition. Journal of Plant Nutrition, 32(2), 197-245 .

Srivastava, A. K., Singh, S., and Marathe, R. A. (2002). Organic citrus: soil fertility and plant nutrition. Journal of Sustainable Agriculture, 19(3), 5-29 .

Stokes, S., Borch, T., and Trivedi, P. (2020). Soil Organic Matter Helps Fight HLB. Citrus Industry News. https://citrusindustry.net/2020/06/15/soil-organic-matter-helps-fight-hlb/

Swift, M.J., Izac, A. and M. Van Noordwijk. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? Agriculture, Ecosystems and Environment, 104(1): 113-134.

Sys, C., Van, R., Debaveye, J., & Beernaert, F. (1993). Land evaluation part III crop requirement agricultural No. 7.

Tadayon, M. S. (2020). The role of nutritional management in improving the symptoms of citrus decline. Journal of Plant Nutrition, 43(10), 1555-1570 .

Thiele-Bruhn, S., Schloter, M., Wilke, B.-M., Beaudette, L. A., Martin-Laurent, F., Cheviron, N., Mougin, C., and Römbke, J. (2020). Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment. Soil, 6(1), 17-34 .

Trivedi, P., He, Z., Van Nostrand, J. D., Albrigo, G., Zhou, J., and Wang, N. (2012). Huanglongbing alters the structure and functional diversity of microbial communities associated with citrus rhizosphere. The ISME journal, 6(2), 363-383 .

United States. Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Management. Municipal Support Division, National Risk Management Research Laboratory (US). Technology Transfer, & Support Division. (2004). Guidelines for water reuse. US Environmental Protection Agency.

Velásquez, G., Calabi-Floody, M., Poblete-Grant, P., Rumpel, C., Demanet, R., Condron, L., and M.L. Mora. (2016). Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 16, 294–304.

Zaman, M., Shahid, S. A., & Heng, L. (2018). Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques (p. 164). Springer Nature.

Wan, W., Tan, J., Wang, Y., Qin, Y., He, H., Wu, H., Zuo, W., and He, D. (2020). Responses of the rhizosphere bacterial community in acidic crop soil to pH: changes in diversity, composition, interaction, and function. Science of the Total Environment, 700, 134418 .

Wilcox LV (1960) Boron injury to plants. USDA Bulletin No 211, 7 pp

World Health Organization. (2006). WHO guidelines for the safe use of wasterwater excreta and greywater (Vol. 1). World Health Organization.

Wu, L., Liu, M., and Liang, L. (2008). Preparation and properties of a double -coated slow -release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water retention. Bioresource Technology, 99, 547 -554 .

Wu, X., Xu, H., Tuo, D., Wang, C., Fu, B., Lv, Y., and Liu, G. (2020). Land use change and stand age regulate soil respiration by influencing soil substrate supply and microbial community. Geoderma, 359, 113991 .

Xu, M., Liang, M., Chen, J., Xia, Y., Zheng, Z., Zhu, Q., and Deng, X. (2013). Preliminary research on soil conditioner mediated citrus Huanglongbing mitigation in the field in Guangdong, China. European Journal of Plant Pathology, 137(2), 283-293 .

Zafari, S., Niknam, V., Musetti, R., and Noorbakhsh, S. N. (2012). Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (Citrus aurantifolia). Acta Physiologiae Plantarum, 34(2), 561-568 .

Zhang, M., Zhang, L., Riaz, M., Xia, H., and Jiang, C. (2021). Biochar amendment improved fruit quality and soil properties and microbial communities at different depths in citrus production. Journal of Cleaner Production, 292, 126062 .

Zohourian, M. M., and Kabiri, K. (2008). Superabsorbent polymer materials: a review.

پژوهشکده مرکبات
و میوه‌های نیمه گرمسیری
رامسر : خیابان استاد مطهری
تلفن: ۵۵۲۲۲۰۸۱-۰۱۱
دورنگار: ۵۵۲۲۳۲۸۲-۰۱۱
کدپستی: ۴۶۹۱۷۳۳۱۱۳
صندوق پستی: ۳۳۵-۴۶۹۱۵
www.icri.areeo.ac.ir

انتشارات
موسسه تحقیقات
علوم باغبانی
۱۳۹۷