دانشکده کشاورزی

آزمون خاک

(کارورزی ۱)

اهداف آزمون خاک

مراحل انجام آزمون خاک

۱. نمونه‌برداری خاک

۲. عصاره‌گیری خاک

۳. تفسیر و توصیه کودی

آزمون خاک، در واقع برنامه‌ای است که طی آن با انجام مراحل مختلف می‌توان میزان عنصرغذایی لازم برای بالاترین عملکرد را برآورد کرد. این برنامه شامل مراحل: **الف) نمونه‌برداری** (یک نمونه خاک مرکبی که از هر هکتار تهیه می‌شود باید طوری دقیق تهیه شود تا بتواند معرف یک هکتار خاک زراعی باشد)، **ب) انتخاب عصاره‌گیر** (انتخاب روش مناسب تجزیه خاک با بالاترین درجه همبستگی در گلخانه) و **پ) توصیه بهینه کودی** (واسنجی یا کالیبراسیون، تفسیر و توصیه کودی) می‌باشد. در مرحله واسنجی که پس از انتخاب عصاره‌گیر صورت می‌گیرد، میزان نیاز کود برای خاک مورد نظر و یک گیاه خاص مشخص می‌شود. در این مرحله، خاکها از نظر میزان نیاز به کود درجه‌بندی می‌شوند که درجه‌بندی‌ها براساس تعداد گروه تقسیم شده، می‌توانند متفاوت باشند. مرحله واسنجی باید در مزرعه انجام شود. مزارع مختلفی که از نظر میزان استخراج عنصرغذایی در محدوده وسیعی باشند (تعداد مزرعه در مرحله واسنجی نباید کمتر از ۲۰ باشد)، ممکن است تقسیم‌بندی دو گروهی باشد که براساس آن دو سطح کم و زیاد در نظر گرفته می‌شود. اگر تقسیم‌بندی چند گروهی باشد، با توجه به نوع درجه‌بندی تقسیم می‌شود، مثلاً خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد. در برخی مواقع، ممکن است نتایج بدست آمده، به‌صورت توابع ریاضی پیوسته باشد که در این صورت، با جایگذاری داده‌ها در فرمول مربوطه، میزان نیاز کودی برآورد شود. به عبارت دیگر، آزمون خاک از سه مرحله نمونه‌برداری صحیح خاک، انتخاب عصاره‌گیر مناسب برای تعیین دقیق غلظت یک عنصرغذایی قابل‌استفاده گیاه و توصیه کودی بهینه تشکیل شده است. این روش یکی از ساده‌ترین و رایج‌ترین راه‌های ارزیابی حاصلخیزی خاک است. بدین منظور میتوان با به کارگیری شیوه‌های رایج آزمایشگاهی درکوتاهترین مدت، غلظت عناصر مورد نظر را در خاک اندازه کرد. شایان ذکر است که غلظتهای اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، همان مقادیری نیستندکه از نظر تولید محصول اهمیت دارند. میزان عناصرغذایی قابل استفاده گیاه در طول

دورهٔ رشد نه تنها تابع خصوصیات خاک بوده، بلکه عواملی دیگر مانند نوع گیاه، توسعه ریشه‌ها، شرایط محیطی و مدیریت مزرعه در آن اثر می‌گذارند.

در راستای نیل به اهداف برنامه‌های توسعه که اهم آنها شامل افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی، ارتقاء سطح سلامت جامعه، حفظ منابع پایه خاک و آب وبا رعایت جنبه‌های زیست محیطی و از همه مهمتر، تغییر نگرش جامعه از تأمین کالری روزانه به سیری سلولهای بدن در سبد غذایی جامعه است. تأمین و برآورده نمودن این اهداف متعالی، وظایف و مسئولیت افراد را بسیار سنگین‌تر می‌نماید. ضروری است برای دستیابی به این چشم‌انداز با آمادگی لازم، تلاشها افزایش یابد. بنابراین، یکی از ابزارهای افزایش عملکرد هکتاری، رعایت اصول مصرف بهینه کود می‌باشد که عمدتاً از طریق انجام تجزیه خاک برای گیاهان زراعی و دارویی و انجام تجزیه برگ برای درختان میوه و زینتی عملی می-شود.

بیش از ۵۲ عامل بر رشد گیاه مؤثر می‌باشد که به طور کلی به عوامل محیطی و ژنتیکی تقسیم می-شوند. از عوامل محیطی می‌توان به دما، رطوبت، انرژی تابشی، ترکیب هوای اتمسفر، ترکیب هوای خاک، ... و عناصر غذایی اشاره کرد. عناصر غذایی خاک برای رشد گیاه به سه دسته تقسیم می‌شوند که شامل عناصر ضروری، عناصر مفید و عناصر مضرّ (ســـمی) می‌باشـــند. کمبود و یا زیادی یک عنصر غذایی ممکن است، اثرات زیان‌باری بر گیاه داشته باشد که در نهایت می‌تواند منجر به نابودی کامل گیاه شـــود. برای تشـــخیص زیادی و یا کمبود هر یک از عناصر غذایی در گیاه راه‌های مختلفی وجود دارد که از جمله آنها موارد زیر می‌باشند:

۱. آزمون خاک
۲. تجزیه بافت گیاه از نظر عناصر غذایی
۳. مشاهده وضعیت رشد و بروز علائم کمبود و یا سمیت یک عنصرغذایی

بدیهی است هر یک از راهکارهای فوق مزایا و معایب خاص خود را دارند. آزمون خاک، با تعریفی ویژه، غیر از تجزیه ســاده خاک اســت، اگرچه در مرحله‌ای از آن خاک نیز تجزیه می‌شود. تجزیه خاک عبارت است از این که یک نمونه خاک در آزمایشــگاه برای تعیین مقدار یک عنصر (عناصر) خاص تجزیه گردد. اما آزمون خاک یک فرآیند و یا دنبال کردن یکسری مراحل به ترتیب زیر می‌باشد:

اهداف آزمون خاک

۱- تشخیص خاک‌های دارای کمبود یک یا چند عنصر غذایی قبل از کاشت یک گیاه خاص. بر اساس آزمون خاک می‌توان این کمبود را تشخیص و توصیه‌های لازم را برای گیاه انجام داد.

۲- تعیین سرنوشت کودهای اضافه شده به خاک و بررسی تغییرات حاصله در قابلیت استفاده عناصر غذایی موجود در آنها پس از وارد شدن به خاک.

۳- پیش آگاهی دادن در باره نقاطی که ممکن است در نتیجه مصرف بی‌رویه کودها یا فاضلاب در خاک، مسمومیت عناصر در گیاه، حیوان و یا انسان را سبب شوند.

۴- تعیین نقاطی که خاک آنها از نظر یک و یا چند عنصر غذایی به حد سمیت رسیده و باید از مصرف بیشتر عناصر در آنها به هر شکلی خوداری شود. دو مورد اخیر اهمیت فوق العاده ای در حفظ محیط زیست دارند.

ایرادات آزمون خاک

۱- برای انجام آزمون خاک، نمونه خاک هواخشک شده، کوبیده و الک می‌شود. در حالیکه در شرایط واقعی مزرعه خاک به صورت خاکدانه منفرد است و رطوبت آن نیز هوا خشک

نیست. در مزرعه رطوبت از هوا خشک شروع می‌شود تا غرقاب این تغییر رطوبت قابلیت جذب عناصرغذایی را تغییر می‌دهد.

۲- در تجزیه گیاه از یکسری محلولهای شیمیایی برای عصاره‌گیری استفاده می‌شود که اصطلاحاً به انها عصاره‌گیر گفته می‌شود. ایرادی که این عصاره‌گیرها دارند این است که نمی‌توانند رفتارهای گیاه را شبیه‌سازی نمایند.

۳- عناصری که از منابع مختلف به خاک افزوده می‌شود در آزمون خاک لحاظ نمی‌شود.

مرحله اول آزمون خاک: نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه خاک

جامعه خاک هم از لحاظ حجم و وزن جامعه بزرگی است و نمی‌توان همه این جامعه را از لحاظ هزینه و امکانات به ازمایشگاه انتقال داد و باید نمونه‌برداری شود.

مرحله نمونه‌برداری یکی از مراحل مهم و حساس آزمون خاک بوده، بطوریکه دقت و صحت نتایج آزمون خاک تا حدود زیادی وابسته به مرحله نمونه‌برداری است. به عبارت دیگر با تهیه یک نمونه‌ی درست، به نتایج خوبی از آزمایش خاک می‌رسیم. برای بدست آوردن یک نمونه‌ی درست و واقعی نکاتی را در نمونه‌برداری باید رعایت کرد.

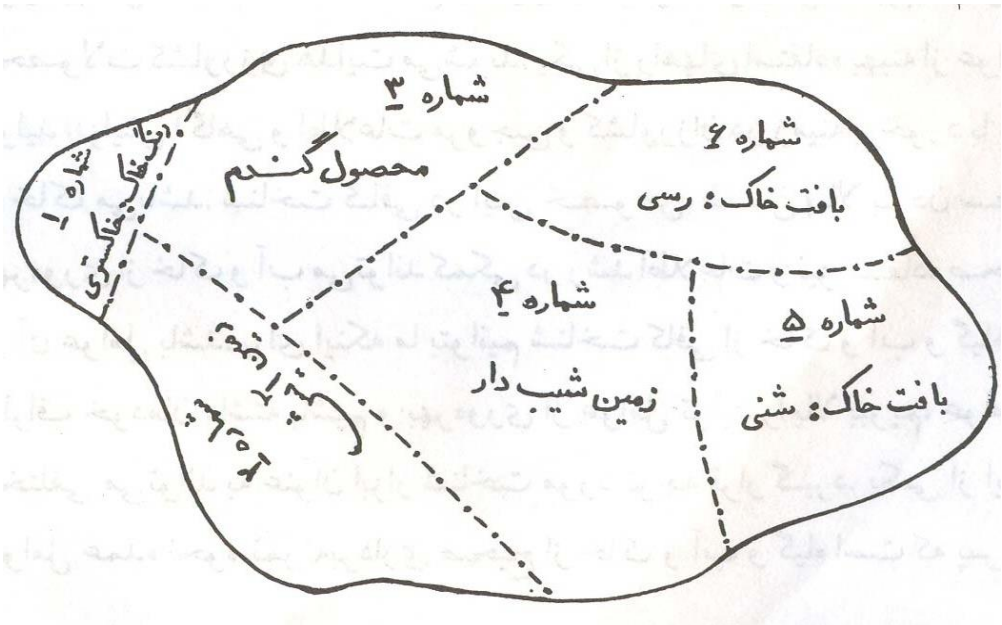
هنگام نمونه‌برداری از خاک مزرعه باید یکسری موارد را در نظر گرفت تا نمونه‌برداری درست باشد و خطاها کم شوند.

این موارد شامل:

۱- روش نمونه‌برداری
۲- زمان نمونه‌برداری
۳- عمق نمونه‌برداری
٤- ابزارها و وسایل نمونه‌برداری
٥- مقدار نمونه
٦- تعداد نمونه
۷- انتقال نمونه به آزمایشگاه
۸- آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه

۱- روش نمونه‌برداری

- گام اول در نمونه برداری خاک تقسیم زمین به قطعاتی است که هر قطعه دارای خصوصیات یکسان و مشابه از لحاظ بافت، رنگ، شیب، وضعیت زهکشی، میزان فرسایش، کشت سالهای قبل، تناوب، نوع محصول و غیره باشد اندازه قطعات زمین در این مرحله اهمیتی ندارد و فقط خصوصیات قطعه مهم است (شکل ۱).



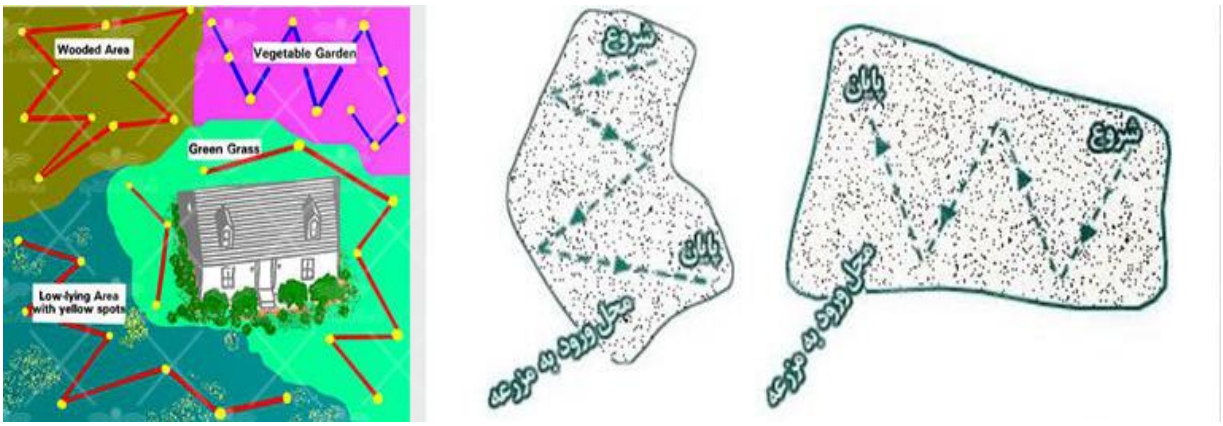
شکل ۱- نحوه تقسیم‌بندی زمین برای نمونه‌برداری خاک

- گام دوم این است که از هر قطعه زمین به طور جداگانه نمونه‌برداری انجام شود. برای این کار از روشهای مختلفی استفاده می‌شود.

- **روشهای نمونه برداری:**

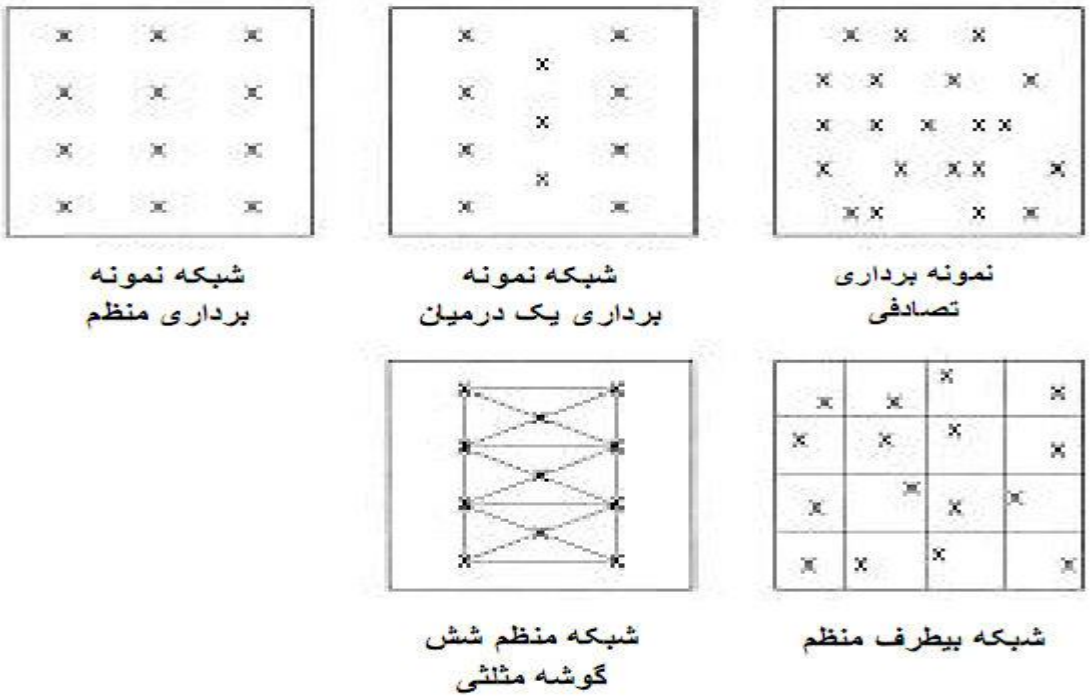
۱) تصادفی

این روش ساده‌ترین و در عین حال بهترین روش می‌باشد. چون همه نقاط مزرعه شانس انتخاب شدن دارند. همچنین می‌توان خطای آزمایشی را نیز محاسبه کرد. در این روش شخص نمونه‌بردار بصورت زیگزاگ در مزرعه حرکت کرده و بدون اینکه نظر شخصی خود را اعمال نماید از نقاط مختلف داخل هر قطعه بطور تصادفی نمونه‌برداری می‌کند.



۲) منظم

در نمونه‌برداری منظم نقاط مورد مطالعه از یک ساختار پیروی نموده و فاصله مکانهای نمونه‌برداری از یکدیگر مساوی است. این روش هزینه و زمان بیشتری نیاز دارد.



روش نمونه‌برداری تصادفی و منظم به دو طریق صورت می‌گیرد:

۱) **دست خورده:** در این نوع نمونه ساختمان خاک و منافذ آن بهم می‌ریزد.

۲) **دست نخورده:** در این نمونه خاک ساختمان و منافذ خاک بهم نمی‌ریزد و حالت موجود در زمین هنگام انتقال نمونه به آزمایشگاه حفظ می‌شود. در این روش از استوانه‌های مخصوص نمونه‌برداری استفاده می‌شود.

انواع نمونه

نمونه ساده: اگر هر یک از نمونه های برداشت شده جداگانه مورد تجزیه قرار دهیم به آن نمونه ساده گویند

نمونه مرکب: اگر تعدادی نمونه ساده را مخلوط کرده ویک نمونه برداریم به آن نمونه مرکب گویند.

۲- زمان نمونه:

هرموقع شرایط زمین طوری باشد که اجازه نمونه‌برداری داشته باشیم (یعنی رطوبت بالاتر از حد گارو نباشد) نمونه‌برداری را می‌توان انجام داد. بهترین زمان برای نمونه‌برداری در گیاهان زراعی قبل از کاشت محصول می‌باشد. اما در گیاهان باغی اگر باغ احداث نشده باشد قبل از احداث باغ نمونه برداری انجام می‌شود و اگر باغ احداث شده باشد درفصل پاییز نمونه‌برداری انجام می‌شود.

۳- عمق نمونه‌برداری:

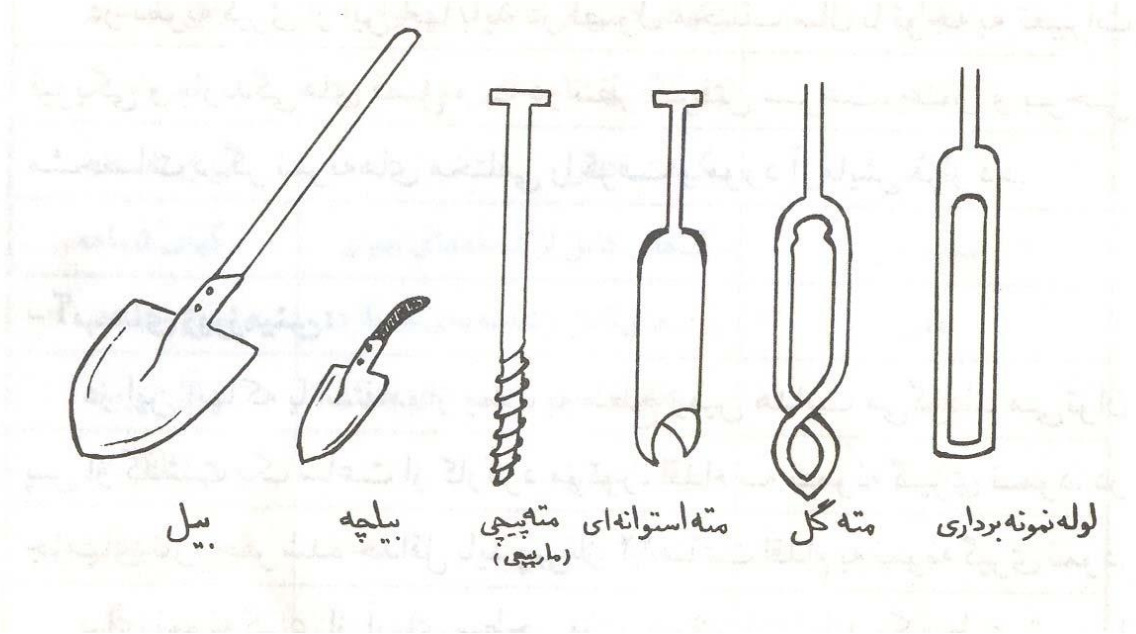
به‌طور کلی عمق نمونه‌برداری به عمق توسعه ریشه بستگی دارد. بطوریکه برای گیاهان زراعی یکساله نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر و برای باغات از عمق ۱/۵-۰ متر یا بیشتر تهیه می‌شود.

۴- ابزار و وسایل نمونه‌برداری:

۱- **مته یا آگر (روش رایج):** معمولاً ۲ متر طول داشته و روی آنها به فواصل ۲۰ سانتیمتر نشانه‌گذاری شده است و می‌توان با آگر از عمق‌های مختلف به عمق ۲ متر نمونه‌برداری کرد. آگرها اکثراً به دوصورت توخالی و مته‌ای می‌باشند که در آگرهای توخالی خاک در وسط محفظه موردنظر جمع می‌گردد و در مته‌ای خاک در شیارهای مته جمع می‌گردد.

۲- **بیل:** باید روی بیل با متر علامت‌گذاری شود. راحت ترین وسیله نمونه برداری برای عمق‌های سطحی است با بیل می‌توان به راحتی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری و با کنار دادن خاک ۳۰ سانتی از عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری نمونه برداری نمود.

۳- **بیلچه:** همانند بیل می‌باشد (دسته کوتاه دارد) کوچکتر از بیل است که در صورت در اختیار نداشتن بیل می‌توان از آن استفاده کرد.



٤- سطل پلاستیکی

٥- پاکت پلاستیکی(یا کاغذی)

۶- **برچسب:** روی بر چسب محل نمونه‌برداری، نام نمونه‌بردار، عمق نمونه‌برداری و تاریخ نمونه-برداری نوشته می‌شود.

۵– مقدار نمونه خاک:

مقدار نمونه خاک تابع چند عامل است:

اندازه ذرات خاک: هرچه اندازه خاک کمتر باشد (ریزتر باشد) می‌توان مقدار نمونه خاک کمتری را به آزمایشگاه منتقل کرد.

نوع تجزیه‌های آزمایشگاهی و تعداد آنها: برخی آزمایشها خاک بیشتری نیاز دارند برای مثال بافت خاک. بنابراین هر چه تعداد تجزیه‌های آزمایشگاهی زیاد باشد، مقدار خاک برداشته شده باید زیاد باشد.

نکته: بطور تقریبی برای آزمایشهای روتین خاک مقدار ۱ تا ۱/۵ کیلوگرم خاک کافی است.

۶– تعداد نمونه:

برای هر ۱ تا ۲ هکتار خاک تعداد ۲۰ تا ۲۵ نمونه کافی می‌باشد.

نکات مهمی که قبل ازنمونه برداری باید به آنها دقت شود:

- در نمونه‌برداری از مکان‌هایی مانند گوشه و کنار زمین, مکان های تحمع آب و همچنین مکان-هایی که سابقا محل تجمع کود دامی.بقایای فضولات حیوانی وکود شیمیایی یا سموم شیمیایی بوده‌اند پرهیز می‌نماییم.
- دقت شود که می‌بایست قبل از نمونه برداری سطح خاک را از بقایای گیاهی و فضولات حیوانی پاکسازی کرد و اگر گیاهی در محل مورد نظر باشد نباید آن را از ریشه جدا کرد بلکه در محل ساقه از سطح زمین جدا می‌شود.
- خاکهای جمع آوری شده باید به خوبی باهم مخلوط گردند.
- هنگام نمونه‌برداری از بیل زنگ زده یا آغشته به کود دامی و مواد شیمیایی نباید استفاده گردد همچنین پلاستیک نمونه برداری باید تمیز باشد.

۷- انتقال نمونه به آزمایشگاه:

اگر فاصله محل نمونه‌برداری تا ازمایشگاه کم باشد، می‌توان درون کیسه نایلونی یا ظرفهای پلاستیکی انتقال داد. ولی اگر فاصله زیاد باشد برای اینکه در طول این مدت ویژگیهای خاک تغییر نکند بهتر است نمونه‌ها را داخل فلاکس یا درون یخ به آزمایشگاه منتقل کرد (برای مطالعه فعالیتهای بیولوژیکی و آنزیمی). همچنین نمونه‌ها نباید فشرده شود.

۸- آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه:

برای تجزیه‌های روتین آزمایشگاهی چند مرحله برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک انجام می‌گیرد.

اولین مرحله: خشک کردن

این عمل برای متوقف کردن فعالیتهای زیستی و واکنشهای شیمیایی و همچنین دستیابی به یک ضعیت نسبتاً متعادل و پایدار- برای راحت‌شدن الک کردن خاک- برای توزین کردن راحت خاک.

برای خشک کردن نباید نور خورشید مستقیم روی نمونه تابیده شود. چون نور عامل تجزیه‌کننده است و ترکیبات خاک را تجزیه می‌کند. (نمونه‌ها هوا خشک می‌شوند)

دومین مرحله: کوبیدن خاک

برای کوبیدن خاک می‌توان از چکش‌های پلاستیکی یا وردنه‌های چوبی استفاده کرد. نباید از آسیاب‌های برقی استفاده شود چون ذرات بالاتر از ۲ میلی‌متر را هم خرد می‌کند که جزء خاک نیست. برای کوبیدن مقادیر کم می‌توان از هاون‌های چینی استفاده کرد.

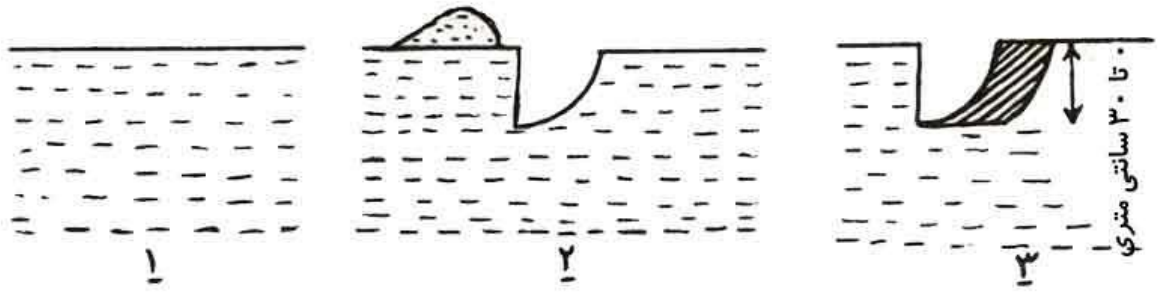
سومین مرحله: الک کردن نمونه‌ها

برای الک کردن نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متر استفاده می‌شود. چون در مرز ۲ میلیمتر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر می‌کند.

بطور کلی (نمونه‌برداری):

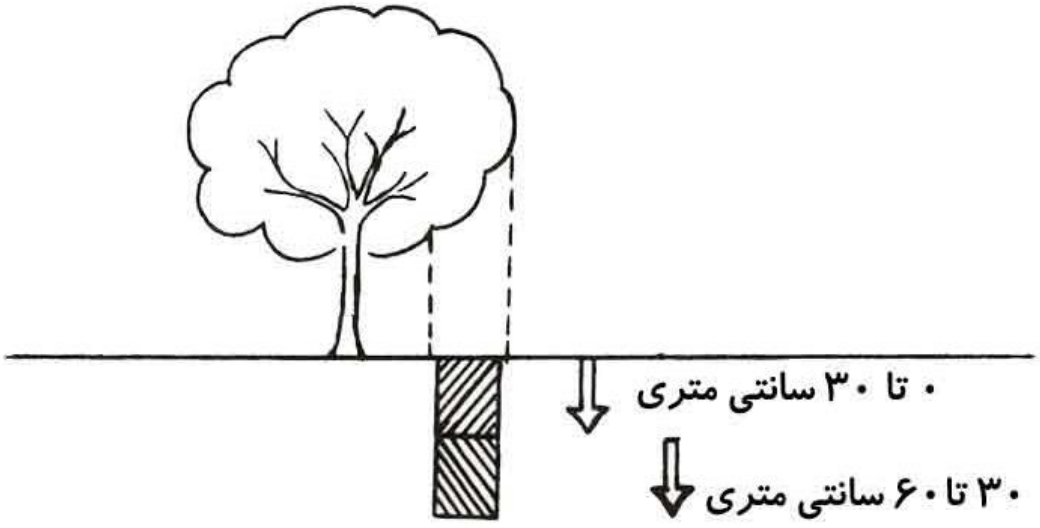
ابتدا زمین مورد آزمایش را به قطعه‌بندی کرده و سپس از هر قطعه نمونه‌برداری می‌شود. ابتدا سطح خاک نقاط مورد نظر برای نمونه‌برداری را پاکسازی کرده و سپس اولین بیل از عمق ۰تا ۳۰ سانتی‌متری زمین میزنیم اما این نمونه خاک مورد نظر ما نمی‌باشد. بنابراین بیل دوم را از محل انحنا به خاک میزنیم دلیل این کار این است که باید عمق و سطح خاک به مقدار یکسان در نمونه ما وجود داشته باشد (شکل پایین). سپس نمونه‌های یک یا ۱/۵ کیلوگرمی برداشته شده از نقاط مختلف زمین و از یک عمق را با هم مخلوط نموده و از این مخلوط، یک تا ۱/۵کیلوگرم خاک را داخل پلاستیک ریخته و در آن را محکم می‌بندیم (به عنوان نمونه مرکب). سپس روی کیسه برچسب زده، مشخصاتی مانند عمق نمونه برداری، تاریخ، محل، نام

صاحب نمونه، کشت سال قبل و غیره را ذکر می‌کنیم. در نهایت نمونه در اسرع وقت به آزمایشگاه ارسال می‌شود. سپس در آنجا روی کیسه‌هایی که بر روی زمین پهن شده نمونه را می‌ریزیم و اجازه می‌دهیم که هوا خشک شود باید دقت شود که نور آفتاب نباید به نمونه خاک ما بخورد داشته باشد زیرا موادآلی آن تجزیه می‌شود. ۴۸ تا ۷۲ ساعت (بسته به رطوبت نمونه خاک) بعد نمونه هوا خشک را جمع‌آوری و از الک ۲میلی‌متر (الک شماره ۱۰ مش) رد کرده و برای استفاده در آزمایشات خاکشناسی از این نمونه‌ها استفاده می‌شود.



نحوه نمونه برداری خاک

در مورد درختان نمونه‌برداری در سایه انداز گیاه صورت می‌گیرد ولی در عمل ریشه‌های گیاه بیش از این فاصله گسترده است ولی نمونه‌برداری در سایه‌انداز انجام می‌گیرد.



مرحله‌ی دوم آزمون خاک: شامل تهیه عصاره از خاک و انجام آزمایش

در این مرحله برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و میزان عناصر ضروری در خاک برای رشد گیاه توسط عصاره‌گیرهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود. بالغ بر ۱۷ عنصر غذایی ضروری برای رشد گیاهان معرفی شده و حتی تعدادی عناصر مفید مانند سیلسیم (Si)، کبالت (Co) و غیره برای رشد گیاهان شناخته شداند.

۱) عناصر پرمصرف (Macronutrient): این عناصر شامل کربن (C)، هیدروژن (H)، اکسیژن (O)، نیتروژن (N)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و گوگرد (S) می‌باشند.

سه عنصر اول از CO_2 و H_2O تامین می‌شوند و آلی هستند و بقیه از خاک توسط ریشه جذب می‌گردند. تمام این عناصر در گیاه در مقدار بالایی یافت شده و بصورت درصد بیان می‌شوند.

۲) عناصر کم مصرف (Macronutrient): این عناصر شامل کلر (Cl)، آهن (Fe)، بر (B)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، مس (Cu)، مولیبدن (Mo) و نیکل (Ni) می‌باشند.

عناصر میکرو در مقادیر کمتری از عناصر ماکرو در بافتهای گیاهان یافت می‌شوند. بنابراین این عناصر بر حسب ppm یا mg/kg ماده‌ی خشک بیان می‌شوند.

نکته: ۹۴ درصد از ماده خشک گیاه مربوط به C، H و O است و ۶ درصد مربوط به بقیه عناصر است.

عناصر پرمصرف			عناصر کم مصرف	
عنصر	شکل قابل جذب		عنصر	شکل قابل جذب
N	NO_3^- , NH_4^+		Fe	Fe^{2+}
P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}		Zn	Zn^{2+}
K	K+		Cu	Cu^{2+}

Mn^{2+}	Mn		Ca^{2+}	Ca
MoO_4^{2-}	Mo		Mg^{2+}	Mg
H_3BO_3	B		SO_4^{2-}	S
Cl^-	Cl			

برای اندازه گیری هر عنصر غذایی یک روش استاندارد و شناخته شده وجود دارد. مثلا بافت خاک به روش هیدرومتر، pH و EC خاک با عصاره اشباع خاک، فسفر خاک را با روش اُلسن و دستگاه اسپکتروفتومتر و نیتروژن را با روش کلدال، پتاسیم با روش فلیم فوتومتری یا عناصر کم مصرف را با روش DTPA اندازه‌گیری می‌کنند.

EC متر

pH متر

اسپکتروفتومتر

فلیم فتومتر

کجلدال اتوماتیک

جذب اتمی

بسته به اینکه در درخواست آزمایش چه مواردی را داده باشید ، مطالب زیر ارایه شده است:

۱- بافت خاک: این شاخص ، کلاس (طبقه) خاک را نشان می‌دهد. خاک‌های شنی (شنی، شنی لومی، لومی شنی) دارای ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی کمتری هستند. در مقابل این‌ها ، خاک‌های سنگین رسی (رس ، سیلتی رسی ، لومی رسی و سیلتی لومی رسی) هستند که عموماً به سختی زهکشی می‌شوند و در معرض فشرده شدن قرار دارند. افزودن مواد آلی، قابلیت خاک‌های شنی را در حفظ آب و مواد غذایی و قابلیت خاک‌های سنگین رسی را برای زهکشی بهتر و مقاومت به فشردگی،

بهبود می‌بخشد. خاک لومی یک خاک ایده آل است که دارای نسبت متعادلی از رس، شن و سیلت است. اغلب خاک‌های کشور دارای رس بالایی هستند (بیش از ۲۰ درصد) و عملاً جزء خاکهای سنگین محسوب می‌شوند و در مدیریت کوددهی آن ها باید دقت کافی شود.

۲- آهک : این شاخص نشان دهنده حضور یا عدم حضور کربنات ها در خاک است . وجود صفر تا ۳ درصد آهک حد قابل تحملی برای بیشتر گیاهان است و بیش از ممکن است برای گیاه مشکل ساز باشد. یکی از مشکلات بزرگ در خاک‌های آهکی که در بیشتر مناطق مرکزی ایران وجود دارد ، کمبود آهن آهک انگیخته است که بسیاری از درختان فضای سبز مانند چنار، اقاقیا و غیره به آن حساس هستند.

۳- واکنش خاک (pH): این شاخص نشان دهنده اسیدی یا قلیایی بودن خاک است و بر در دسترس بودن عناصر تاثیر گذار است. خاک خنثی درای واکنش ۷ است. واکنش کمتر از ۷ نشان دهنده اسیدی بودن خاک و بیشتر از ۷ نشان دهنده قلیایی بودن خاک است. اغلب گیاهان در محدوده واکنش خاک بین ۶ تا ۷ به خوبی رشد می‌کنند. کمبود عناصر میکرو به ویژه آهن و روی می‌تواند در خاکهایی با واکنش بیش از ۸ اتفاق به ویژه در برخی گیاهان حساس‌تر مانند افرا ، بلوط ، انگور ، سیب و به در pH بالاتر از ۶ کمبود آهن به تدریج اتفاق می‌افتد.

٤- هدایت الکتریکی (EC): غلظت نمک در محلول خاک بر اساس اصل توانایی نمک در هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با هدایت سنج الکتریکی تعیین می‌گردد یابه عبارتی شوری خاک را براساس پارامتری بنام EC یا قابلیت هدایت الکتریکی مشخص می‌کنند. عموماً اگر EC بین صفر تا ۲ باشد، اثر شوری بسیار ناچیز و خاک از این لحاظ مطلوب است. اگر EC بین ۲ تا ۴ باشد، شوری ممکن است گیاهان حساس را تحت تاثیر خود قرار دهد. در EC بین ۴ تا ۸ ، محصول و رشد اغلب گیاهان

محدود می‌شود و اگر EC بین ۸ تا ۱۶ باشد، فقط گیاهان مقاوم می‌توانند رشد کنند و اگر EC بیش از ۱۶ باشد، تعداد بسیار کمی از گیاهان بسیار مقاوم قابلیت رشد دارند.

۵- فسفر (P): این عنصر به صورت واحد در میلیون (پی پی ام) و گاهی واحدهای دیگر بیان می‌شود که برابر با گرم فسفر در دسترس به ازای یک میلیون گرم خاک است. اگر میزان فسفر خاک خیلی کم یا کم باشد باید فسفر به خاک افزوده شود. اگر آزمایش نشان دهنده فسفر خیلی زیادی درخاک باشد، گاهی به دلیل استفاده از مقادیر زیاد کودهای شیمیایی یا دامی است که ممکن است منجر به عدم تعادل عناصر غذایی در گیاه گردد.

۶- پتاسیم (K): آزمون پتاسیم خاک نشان دهنده میزان پتاسیم موجود در خاک برای تامین نیاز گیاه در طی فصل رشد است. تفسیر نتایج این آزمایش نیز همانند مورد فسفر است.

۷- نیتروژن(N): میزان نیتروژن در دسترس گیاه اغلب به وسیله اندازه‌گیری میزان نیتروژن نیتراتی در چند ده سانتی‌متری رویین خاک تعیین می‌گردد که عمدتاً مجموع نیترات موجود در صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری سطح خاک است. این دو سطح از آن رو استفاده می‌شوند که نیتروژن نیتراتی، فعال است و در داخل خاک همراه با آبیاری یا بارندگی حرکت می‌کند. توصیه مصرف نیتروژن بستگی به میزان موجود در خاک، گیاه مورد نظر (چمن، درخت یا درختچه)، نتیجه مورد انتظار و تاریخچه محل (گیاه کشت شده قبلی، حذف باقیمانده‌های گیاه قبلی و کاربردهای قبلی کودهای نیتروژنی و آلی) دارد.

۸- روی (Zn): کمبود روی بویژه در مواردی که خاک رویی در طی عملیات عمرانی و فعالیت های تسطیح برداشته شده است ایجاد می‌شود. اگر کمبود یا حد آستانه ای روی در خاک مشخص شد، حتماً با استفاده از کودهای حاوی روی باید مشکل را برطرف نمود. در موارد شدیدتر و در زمانی که علایم بر روی درخت نیز دیده می‌شود باید به کمک محلول‌پاشی سولفات روی کمبود را جبران نمود.

۹- آهن (Fe): کمبود آهن یک مشکل بسیار رایج در خاک های مناطق مرکزی ایران است . بسیاری از گیاهان به کمبود آهن حساسیت دارند و اگر میزان آهن در خاک کمتر از ۵ قسمت در میلیون باشد، باید از کود دهی حاوی آهن استفاده نمود. در بسیاری از موارد حتی استفاده از سولفات آهن نیز در خاک برطرف کننده مشکل نیست و باید از کلات آهن و یا سایر روش ها برای جبران کمبود آهن استفاده کرد.

۱۰- مس (Cu) و منگنز (Mn): کمبود مس و منگنز معمولاً کمتر از عناصر میکروی قبلی دیده می‌شود. ولی اگر آزمایش‌ها نشان دهنده کمبود این عناصر بود، بهتر است قبل از استفاده از آن در سطح وسیع، به صورت آزمایشی در سطحی کوچک استفاده شود تا معلوم شود آیا پاسخ مشخصی به مصرف کودهای حاوی آنها از سوی گیاه دیده می‌شود یا خیر.

۱۱- گوگرد (S): کمبود گوگرد عموماً ممکن است در مناطقی اتفاق بیفتد که آب آبیاری کاملاً پاک و شیرین دارند. در شرایط کمبود گوگرد، کاربرد کودهای حاوی گوگرد ضروری است. لازم به ذکر است که بیشتر کودهای عناصر میکرو با بنیان سولفات هستند که انحلال نسبتاً خوبی نیز دارند.

۱۲- مواد آلی : این مواد نه تنها عناصر غذایی مانند نیتروژن و گوگرد را برای رشد گیاه فراهم می-سازند، بلکه شرایط فیزیکی خاک را هم بهبود می‌بخشند. خاک‌های اغلب مناطق ایران به شدت از نظر میزان مواد آلی فقیر هستند و باید استفاده از این مواد در برنامه‌های تغذیه‌ای لحاظ گردد.

مرحله‌ی سوم آزمون خاک: توصیه کودی

کوددهی بر مبنای نتایج تجزیه خاک، یکی از ابزارهای مهم در نیل به اهداف افزایش عملکرد در واحد سطح و بهبود کیفیت می‌باشد که در حال حاضر به دلایل متعددی ازجمله یارانه‌ای بودن برخی از کودها، استقبال چندانی توسط مولدین کشاورزی از این اقدام بسیار مثبت، به عمل نمی‌آید. تجزیه

خاک برای محصولات زراعی، دارویی، باغهای جدیدالاحداث و گلهای زینتی، یکی از راههای اجرایی مطلوب برای عملی کردن مصرف بهینه کود می‌باشد. لیکن، عکس العمل گیاهان نسبت به مصرف کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بسیار متفاوت بوده و در آزمایشهای متعددی، مخصوصاً در گیاهان پرتوقع نظیر پیاز، سیبزمینی، پنبه و حتی گندم و برنج مشاهده شده است که در صورت رعایت اصول مصرف بهینه کود، با مصرف کودهای پتاسیمی بیشتر مخصوصاً به‌صورت سرک، عملکرد باز هم افزایش می‌یابد. بررسی کاربرد مقادیر و منابع مختلف سولفات پتاسیم محلول به همراه عناصر کم نیاز به ویژه کلات روی در خاکها و اقلیم‌های متفاوت برای محصولات گوناگون، نشان داد که عکس‌العمل گیاهان مختلف زراعی و باغی بسیار متفاوت بوده و حتی در برخی از مواقع اثربخشی آنها فوق‌العاده مثبت و تقریباً غیرقابل تصور می‌باشد. برای انجام توصیه بهینه کودی میتوان از روشهای توصیه کودی بر مبنای میزان تفاوت از سطح بحرانی، توصیه کودی بر مبنای تجربیات حاصل از انجام آزمایشهای منطقه‌ای، توصیه کودی برمبنای میزان برداشت عناصرغذایی در راستای تولید پایدار، توصیه کودی بر مبنای معادله میچرلیخ–بری، توصیه کودی بر مبنای معادله درجه دوم و توصیه کودی با استفاده از نرم افزارهای رایانه‌ای اشاره نمود.

یکی از اشکالات توصیه کودی بر مبنای تجزیه خاک، نداشتن نقشه منابع و استعداد خاکهای زراعی کشور بر مبنای مقیاس 1:25000می‌باشد. بنابراین، لازم است با تهیه نقشه‌های تفصیلی خاکهای ایران، قابلیت تولید برای هر محصول مشخص و سپس بر مبنای سری‌های مشخص خاک به شرط آنکه اطلاعات حاصلخیزی خاک نیز ثبت شده‌باشد،) نسبت به انجام توصیه‌های کودی اقدام نمود. از سوی دیگر، بر مبنای تقاضای گیاه، نمی‌توان مصرف کودها را تا حدی افزایش داد که‌کشاورزی پایدار را تهدید نماید، بلکه باید اثر درازمدت مصرف کودها را بر خصوصیات فیزیک وشیمیایی و بیولوژیکی خاکها و برهمکنشهای مثبت و منفی عناصرغذایی بر خاک، گیاه و محیط زیست در نظر گرفته و با تمهیداتی، علاوه بر نیل به تولید پایدار و افزایش کارآیی کودها، به‌گونه‌ای عمل شود که

غلظت عناصرغذایی در خاک و گیاه به حد مسمومیت نرسد. به عبارت دیگر، مصرف کود می‌بایستی بهینه بوده و برای گیاهان زراعی، دارویی و باغهای جدیدالاحداث براساس نتایج تجزیه خاک و با در نظر گرفتن مقدار دامنه حدبحرانی عناصرغذایی در خاک باشد.

براساس نتایج تجزیه یک عنصرغذایی در خاکها، ارقام متفاوتی بدست می‌آید. مثلا هنگامی که در رابطه با پتاسیم قابل استفاده خاک در مزارع، مقادیر ۳۵، ۸۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش می‌شود، این ارقام برای معنی‌دار شدن باید با یک شاخصی (مرجع) سنجیده شوند. برای معنی و مفهوم‌دارکردن نتایج تجزیه خاک لازم بوده که به این شاخص در خاک، دامنه سطح بحرانی CLR(Critical Level Range)گفته می‌شود. بدیهی است برای تعیین و تشخیص دامنه سطح بحرانی یک عنصرغذایی در خاک، ارقام میانگین با روشهایی که متعاقباً شرح داده می-شود، تحت عنوان سطح بحرانی Critical Level(CL) نامگذاری می‌شود. به عبارت دیگر، منظور از سطح بحرانی (CL) همان میانگین دامنه سطح بحرانی (CLR) در خاک می‌باشد که ذیلا معنی و مفهوم دامنه حدبحرانی یک عنصرغذایی در خاک توضیح داده می‌شود.

معنی و مفهوم دامنه سطح بحرانی یک عنصرغذایی در خاک :

دامنه سطح بحرانی(CLR) یک عنصرغذایی در خاک، شاخصی است که در کمتر از آن دامنه، پاسخ گیاه به مصرف کود همان عنصر به شرط رعایت اصول تغذیه بهینه گیاهی و مدیریت مطلوب سایر عوامل موثر بر تولید مثبت و اقتصادی (میزان درآمد کشاورز بیش از دو برابر قیمت خرید کود) است. لیکن، اگر غلظت یک عنصرغذایی در خاک بیشتر از دامنه سطح بحرانی باشد، پاسخ گیاه به مراتب نسبت به مصرف کود همان عنصر، کمتر، غیراقتصادی و ناسازگار با زیست بوم خواهد بود.

جدول ۱- حد بحرانی غلظت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی ایران

کربن آلی (OC)	فسفر (P)	پتاسیم (K)	گوگرد (S)	منیزیم (Mg)
درصد	میلی‌گرم در کیلوگرم			
۰۰/۱>	۱۰	۲۵۰	۲۰	۵۰۰
آهن (Fe)	منگنز (Mn)	روی (Zn)	مس (Cu)	بور (B)
میلی‌گرم در کیلوگرم				
۰۰/۱۰	۰۰/۷	۰۰/۲	۰۰/۱	۰۰/۱

*مصرف کودهای نیتروژنی برای حبوبات، می‌بایستی متوقف و در مقابل از کودهای زیستی ریزوبیومی استفاده شود.
** با عنایت به زیادی فسفر کل در خاک‌های زراعی کشور، حد بحرانی فسفر برای برنج ۸، گندم دیم ۵ و برای گیاهان پر نیاز به فسفر نظیر ذرت و یونجه ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شود.
*** حد بحرانی پتاسیم برای گیاهان پر توقع نظیر دانه‌های روغنی، سیب‌زمینی، پیاز و پنبه ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شود.
**** حد بحرانی بور برای گیاهان پر توقع نظیر چغندر قند، کلم و گیاهان جالیزی دو میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شود.
***** حد بحرانی غلظت عناصر غذایی فوق در شرایط کشت دیم متفاوت بوده و بستگی به میزان و پراکنش نزولات آسمانی دارد و از ۵۰ درصد (نصف) در غرب تا یک چهارم (۲۵ درصد) در شرق کشور می تواند متغیر باشد.

روشهای تفسیر نتایج تجزیه خاک برای انجام توصیه بهینه کودی

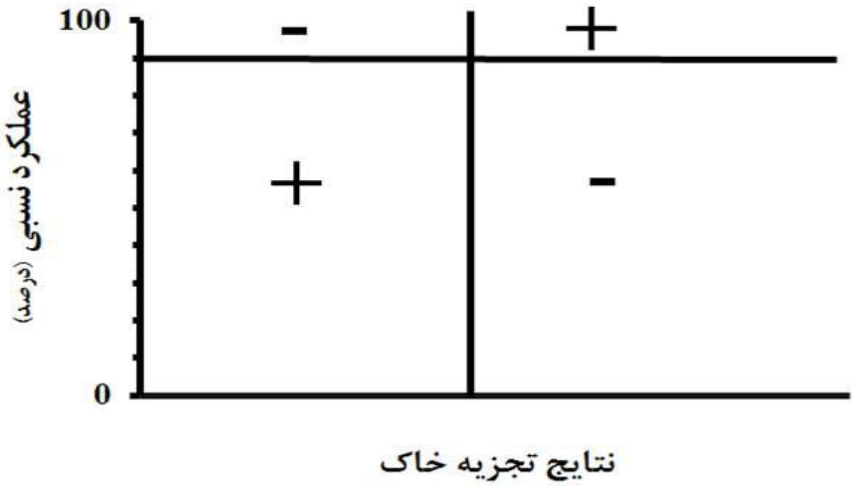
پژوهشگران برای تفسیر و گروه‌بندی مقادیر تجزیه خاک از روشهای مختلفی از جمله روش‌های تصویری کیت- نلسون، تجزیه واریانس کیت- نلسون، معادله میچرلیخ- بری، روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه، مربع کای، اثرات متقابل و سایر روشهای آماری استفاده می‌نمایند که تمامی این روشها، به‌غیر از روش تجزیه واریانس کیتت نلسون تنها قادر به گروه‌بندی مقادیر عناصرغذایی خاک به دو طبقه کم و متوسط می‌باشند. درحالیکه این روش می‌تواند مقادیر عنصرغذایی خاک را به بیش از دو گروه تقسیم نماید.

سطح بحرانی غلظت عناصرغذایی پرمصرف بهتر است با یکی از روشهای تصویری کیت- نلسون، و یا معادله میچرلیخ- بری و یا روش محاسبه احتمال پاسخ اقتصادی به کاربرد کود انجام گیرد. لیکن، سطح بحرانی غلظت عناصرغذایی کممصرف (عناصر ریزمغذی) لازم است بخاطر نیاز به دقت بیشتر، با استفاده از روش ستونی (چشمی) محاسبه گردد. در این قسمت دو روش برای تعیین سطح بحرانی غلظت عناصرغذایی در خاک به طور اختصار تشریح می‌شود.

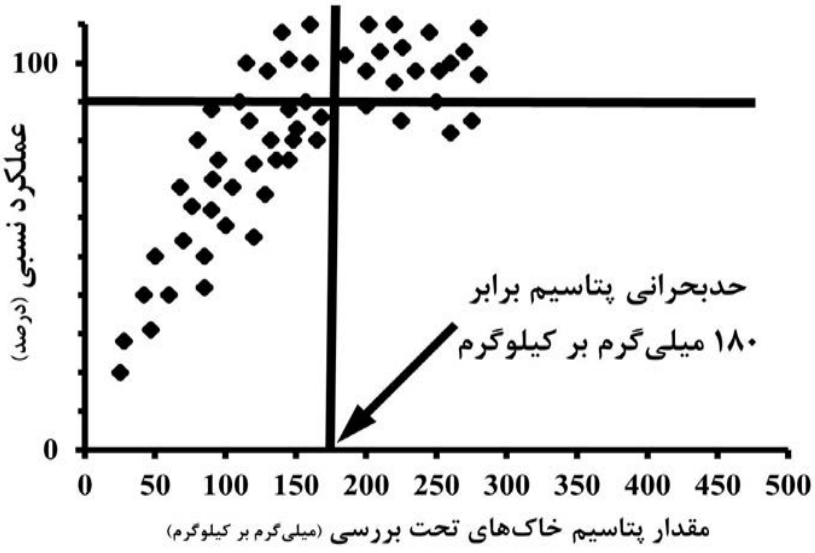
۱-تعیین سطح بحرانی غلظت عناصرغذایی در خاک با روش تصویری کیت –نلسون:

کیت – نلسون (۱۹۶۵) روش تصویری را برای گروه‌بندی مقادیر عناصرغذایی خاک به دو طبقه زیاد و کم طراحی نمود. ایشان در محور X، میزان عنصرغذایی استخراج شده از خاک (قابل استفاده گیاه) و در محور Y، درصد عملکرد نسبی را قرار دادند. با این روش می‌توان، خاک‌ها را به دو گروه الف) خاکهایی که احتمال پاسخ به مصرف کود در آنها خیلی زیاد است و ب) خاکهایی که احتمال پاسخ به کود افزوده شده در آنها اندک است، تقسیم نمود.

مبنای روش تصویری کیت ـ نلسون، این است که نقاط پراکنده بر روی منحنی درصد عملکرد (محور Y) و نتیجه تجزیه خاک (محور X) به چهار ربع، به‌گونه‌ای تقسیم شود که حداکثر نقاط، در ربع‌های مثبت (اول و سوم) قرار گیرند. محل برخورد خط عمودی با محور Xها، سطح بحرانی عنصرغذایی است.



روش تصویری کیت- نلسون برای گروه‌بندی خاکها نسبت به مصرف کود



۲-تعیین سطح بحرانی غلظت عناصرغذایی کم نیاز در خاک با روش بازرسی چشمی:

یکی از روشهایی که برای تقسیم‌بندی دو گروهی به کار میرود، استفاده از روش هیستوگرام است. در این روش میزان عنصر استخراج شده در خاکهای مختلف به صورت نمودار ستونی رسم و به ترتیب صعودی مرتب می‌شود، به‌طوریکه خاک دارای کمترین میزان عنصر استخراج شده، در ابتدا و خاک دارای بیشترین میزان عنصر قابل استخراج، در انتها قرار می‌گیرد. در این شرایط ارتفاع ستون، مقدار عنصر استخراج شده می‌باشد. ستونهای پرشده، نشان‌دهندهٔ خاکهایی است که به مصرف عنصرغذایی، پاسخ مثبت داده، ولی ستونهای خالی بدون پاسخ به مصرف عنصرغذایی و ستونهای هاشور زده، بیانگر حالت بینابین است. از این روش عمدتاً درتعیین سطح بحرانی عناصر کم‌مصرف استفاده می‌شود. در شکل شش استفاده از این روش برای تعیین سطح بحرانی آهن نشان داده شده است. همانطوریکه ملاحظه می‌شود با استفاده از این روش، سطح بحرانی آهن ۵/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. روش بازرسی چشمی یا ستونی، ساده‌ترین و دقیق‌ترین روش برای تعیین سطح بحرانی غلظت عناصرغذایی ریزمغذی در خاک می‌باشد. سطح بحرانی عناصرغذایی قابل استفاده در خاک برای برخی محصولات زراعی در ایران در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- سطح‌بحرانی غلظت عناصرغذایی قابل‌استفاده در خاک برای برخی محصولات زراعی در ایران

نوع محصول	کربن‌آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس	بور
	(درصد)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
گندم	> ۱/۰۰	۱۰	۲۰۰	۱۰	۲	۸	۱	۱
برنج	> ۱/۰۰	۸	۲۵۰	۱۰	۲	۵	۰/۷	۰/۸
پنبه	> ۱/۰۰	۱۲	۳۰۰	۱۰	۲	۷	۱	۱
یونجه	> ۲/۰۰	۱۴	۳۰۰	۱۰	۲	۷	۱	۲
چغندرقند	> ۲/۰۰	۱۲	۳۵۰	۱۰	۲	۷	۱	۲
آفتابگردان	> ۲/۰۰	۱۲	۳۵۰	۱۲	۲	۷	۱	۱
کلزا	> ۲/۰۰	۱۰	۲۵۰	۱۰	۲	۷	۱	۱
گندم دیم	> ۱/۰۰	۵	۱۵۰	۷	۱	۵	۰/۵	۰/۵

روشهای توصیه کودی

برای انجام توصیه بهینه کودی می‌توان از روشهای توصیه کودی بر مبنای میزان تفاوت از سطح بحرانی، توصیه کودی بر مبنای تجربیات حاصل از انجام آزمایشهای منطقه‌ای، توصیه کودی برمبنای میزان برداشت عناصرغذایی در راستای تولید پایدار، توصیه کودی بر مبنای معادله میچرلیخ–بری، توصیه کودی بر مبنای معادله درجه دوم و توصیه کودی با استفاده از نرم افزارهای رایانه‌ای اشاره نمود.

۱- توصیه کودی برمبنای میزان انحراف از حدبحرانی

۲- توصیه کودی براساس روابط تجربی حاصل از آزمایش‌های منطقه‌ای

۳- توصیه کودی برمبنای میزان برداشت عناصرغذایی از خاک

٤- توصیه کودی با استفاده از معادله میچرلیخ ـ بری

٥- توصیه کودی با استفاده از معادله‌های درجه دوم

٦- توصیه کودی با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای

(توضیحات تکمیلی در جزوه مربوط به روشهای توصیه کودی)

در تفسیر نتایج تجزیه خاک عواملی وجود دارد که برخی از ان‌ها ثابت (بافت خاک) و برخی دیگر، متغیر (آب و هوا) هستند که دخالت و ارزیابی عوامل متغیر در تفسیر نتایج، آسان نمی‌باشد. به‌طورکلی، تفسیر نتایج بایستی بر اساس پیش‌بینی مقدار محصول، تخمین عکس‌العمل گیاه و تنظیم مقدار بهینه عناصرغذایی در خاک باشد. علاوه‌بر این، باید به تفسیر کودی که عبارت از واکنش محصول نسبت به مصرف کودهای شیمیایی در یک خاک معین است و همچنین تفسیر اقتصادی توجه نمود. در صورتی که در برخی از سال‌ها، به دلایلی از جمله خشکسالی، سیل، حملهٔ آفات و یا بیماری‌ها، محصول به‌دست آمده، کمتر از حد باشد، از مبنای محاسبه میانگین حذف می‌شود. اگر توانایی حاصلخیزی خاکی در سطحی بالا نگه داشته شود، برای حفظ حاصلخیزی خاک باید میزان عناصرغذایی بیشتری در اختیار خاک قرار داد. به عنوان مثال، برای نگهداری توانایی حاصلخیزی خاکی که دارای ۱۲ میلی‌گرم برکیلوگرم فسفر است، همه ساله باید حدود ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل بر هکتار مصرف شود. درغیراین صورت توانایی حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در مورد خاک مذکور بررسی شده، به ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خواهد رسید. البته در این خصوص باید به نوع عنصرغذایی (پویا یا غیرپویا بودن)، بافت خاک و سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های زیرکشت نیز توجه نمود. بالا بودن مقدار عناصرغذایی تا سطح دو برابر سطح‌بحرانی در خاک، مجاز می‌باشد.

البته باید در نظر داشت که این موضوع در اراضی زراعی که سطح زیاد داشته و هزینه تمام شده آن در واحد سطح کمتر است، صادق می‌باشد. آنچه مورد توجه زارع است، تولید اقتصادی محصول و عملیاتی است که برای تولید محصول به‌کار می‌برد. بدین منظور باید در تفسیر اقتصادی، علاوه‌بر نتایج تجزیه خاک و توصیه کودهای آلی و شیمیایی، به مواردی از قبیل نوع محصول و ارزش اقتصادی آن در بازار، اثرات باقیماندهٔ کودها به ویژه آلاینده‌هایی نظیر نیترات و کادمیوم، مهارت و توانمندی کشاورز نیز توجه نمود.

پس از انجام نخستین قدم، همواره ضروری است که برای پالایش توصیه‌ها به پژوهش ادامه داد. در هر منطقه یا در هر خاک ویژه‌ای، متغیرهای عمده‌ای وجود دارند که برای ارزیابی تأثیر آن‌ها، آزمایش‌های به‌خصوص نیاز است. هیچ‌گونه روش مشخصی برای پیشگیری این پژوهش نمی‌توان ارائه نمود، زیرا نیازها از منطقه‌ای به منطقهٔ دیگر تفاوت عمده دارند. علاوه‌بر این، نوع پالایش توصیه‌های کودی، که آن را برای هر زارع و مزرعه میسر می‌سازد، مسائل دیگری نیز وجود دارند که نیاز به توجه مداوم دارند. این موضوع‌ها شامل نوآوری‌هایی است که در کشاورزی، توسط علم و فناوری ایجاد می‌شود، از قبیل ارقام جدید، کودهای جدید، ماشین‌آلات جدید و اندام‌های مدیریت جدید مزرعه که باید تأثیر آن‌ها بر روی توصیه‌هایی که بر اساس تجزیه خاک استوار است، مورد بررسی قرار گیرد. مسأله‌ای که در رابطه با آزمایش‌های خاک وجود دارد، این است که اغلب آن‌ها در میزان محصولی واسنجی (درجه‌بندی) می‌شوند که کمتر از آن است که برای کشاورزان بزرگ، مفید باشد.

مقدار کود مورد نیاز هر محصولی تابعی از میزان عملکرد مورد انتظار و قابلیت خاک در آزادسازی عناصر غذایی است.

قابلیت خاک برای آزادسازی یک عنصرغذایی = مقدار برداشت عنصرغذایی توسط محصول = مقدار کود مصرفی

برای انجام توصیه بهینه کودی می‌توان از روش‌های توصیه کودی بر مبنای میزان تفاوت از سطح‌بحرانی، توصیه کودی بر مبنای تجربیات حاصل از انجام آزمایش‌های منطقه‌ای، توصیه کودی برمبنای میزان برداشت عناصرغذایی در راستای تولید پایدار، توصیه کودی بر مبنای معادله میچرلیخ–بری، توصیه کودی بر مبنای معادله درجه دوم و توصیه کودی با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای اشاره نمود.

۱-۶-۲- توصیه کودی برمبنای میزان برداشت عناصرغذایی از خاک: یکی از اصول اولیه تولید پایدار، برگرداندن مجدد عناصرغذایی برداشتی توسط هر محصول به خاک می‌باشد. مقدار کود مصرفی بر مبنای میزان عملکرد و قابلیت خاک از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

قابلیت‌خاک برای آزاد سازی یک‌عنصرغذایی ـ مقدار برداشت‌عنصرغذایی توسط محصول= مقدار کود مصرفی

در این رابطه عناصرغذایی که توسط هر محصول (برمبنای میزان عملکرد) برداشته می‌شود، در منابع مختلف کمی متفاوت است که در اینجا فقط به ذکر سه منبع اکتفا می‌شود (ILACO، ۱۹۸۱؛ Havlin و همکاران، ۲۰۰۵؛ بای‌بوردی و سیادت، ۱۳۸۴).

جدول ۶- میزان برداشت عناصرغذایی توسط محصولات مختلف زراعی و باغی

محصول	عملکرد (تن بر هکتار)	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
گندم	۱۰	۱۲۸	۳۸	۱۰۰	۲۱	۱۱	۲۴	۶۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۴۰	۴۰
جو	۸	۱۰۶	۲۷	۹۰	۱۴	۱۲	۹	۵۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۴۰	۴۰
ذرت دانه‌ای	۱۲	۱۷۰	۴۵	۲۵۰	۱۷	۸	۲۰	۳۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۹۰	۶۰
ذرت علوفه‌ای	۱۲۰	۱۸۵	۳۵	۱۸۰	۱۸	۲۰	۴۰	۲۵۰۰	۱۷۰	۲۰۰	۶۰	۴۰
سویا	۵	۳۰۰	۱۵	۱۷۰	۴۰	۱۰	۲۰	۷۵۰	۳۵۰	۳۰۰	۱۰۰	۸۰
یونجه	۱۵	۴۰۰	۵۰	۳۵۰	۵۰	۲۰۰	۵۰	۱۵۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۱۲۰	۱۸۰
چغندرقند	۵۰	۲۲۵	۲۵	۳۵۰	۲۸	۱۰	۵۶	۵۰۰	۳۵۰	۱۵۰	۵۰	۱۰۰
گوجه‌فرنگی	۵۰	۱۳۵	۴۵	۱۸۵	۲۰	۱۰	۱۵	۳۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۵۰	۳۵
سیب‌زمینی	۴۰	۱۰۰	۲۵	۱۸۰	۱۰	۸	۱۰	۴۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۷۰	۴۰
پیاز	۵۰	۱۲۵	۳۰	۱۴۵	۲۰	۲۲	۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۵۰	۵۰

۲-۶-۲- توصیه کودی براساس روابط تجربی حاصل از آزمایش‌های منطقه‌ای: در این روش سطح‌بحرانی غلظت یک عنصرغذایی برای محصولی خاص مشخص و بر اساس تجاربی که از انجام آزمایش‌های متعدد در گلخانه و مزرعه به‌دست آمده است، برای گروه‌های مختلف سطح تجزیه خاک، توصیه کودی انجام می‌شود. این روش معادل روش نگه‌داشت مطلوب عناصرغذایی است که در ایالت نبراسکای امریکا در حال حاضر برای توصیه صحیح کودی مورد استفاده قرار می‌گیرد (دانشگاه نبراسکا، ۱۹۹۹). به‌طور مثال در مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک، براساس تجربه، برای روش عصاره‌گیری فسفر به روش اولسن برای گیاهان غلات و لگومینوز، اگر میزان فسفر کمتر از ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باشد، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم بر هر هکتار سوپرفسفات‌تریپل توصیه شده است. در استان فارس براساس تجارب و نتایج آزمایش‌های انجام شده در گندم، مصرف کودهای فسفاتی براساس نتایج تجزیه خاک چنین بدست آمده است: اگر فسفر خاک به روش عصاره‌گیری اولسن بیش از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، کوددهی فسفر لازم نیست و اگر این عدد بین ۱۰ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، ۵۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل و اگر غلظت فسفر قابل‌استفاده خاک ۵ تا ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل و برای کمتر از ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات‌تریپل توصیه می‌شود.

یادآوری ۱: اگر مقدار مواد آلی خاک بیش از ۲/۵۰ درصد (کربن آلی ۱/۵۰ درصد) باشد، می‌توان از مقدار کودهای نیتروژنی به اندازه ۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار، کم کرد.

یادآوری ۲: مصرف کودهای آلی، اوره با پوشش گوگردی (SCU)، فسفاتی، گوگردی، زیستی، سولفات‌پتاسیم و تمام کودهای سولفاتی محتوی عناصر ریزمغذی می‌بایستی قبل از کاشت با شخم به صورت عمقی زیر خاک شوند.

یادآوری ۳: برای افزایش کارآیی کودهایی که قبل از کاشت مصرف می‌شوند، بهتر است از دستگاه کودکار- بذرکار استفاده شود.

یادآوری ۴: با افزایش تعداد دفعات مصرف کودهای پویا نظیر سولفات‌پتاسیم محلول، کارآیی کودها بیشتر می‌شود.

۲-۶-۳- توصیه کودی برمبنای میزان تفاوت از سطح‌بحرانی: این روش معادل روش اصلاح کمبود عناصرغذایی است که در ایالت نبراسکای امریکا در حال حاضر برای توصیه صحیح کودی مورد استفاده قرار می‌گیرد (دانشگاه نبراسکا، ۱۹۹۹). پس از آن‌که میزان تفاوت غلظت یک عنصرغذایی از سطح‌بحرانی آن مشخص گردید، با استفاده از روش‌های متعددی از جمله رابطه تجربی زیر، می‌توان میزان کود مورد نیاز محصول را محاسبه نمود

(فیضی‌اصل و ولی‌زاده، ۱۳۸۳). با علم به اینکه وزن یک هکتار خاک زراعی با درصد مواد آلی پایین تا عمق ۲۵ سانتی‌متری، حدود ۳ میلیون کیلوگرم می‌باشد، بنابراین، میزان کود مورد نیاز از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$X= ۳ (ZA)/C$

در این رابطه X مقدار کود توصیه شده (کیلوگرم بر هکتار)، Z ضریب تبدیل عنصرغذایی (مثلاً در مورد پتاسیم ۱/۲ و فسفر ۲/۲۹ است)، A میزان تفاوت از سطح‌بحرانی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و C درجه خلوص کود است.

مثال ۲- اگر در مزرعه پنبه، غلظت پتاسیم قابل‌استفاده خاک ۲۳۰ و سطح‌بحرانی پتاسیم برای پنبه در منطقه ۲۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باشد، مقدار کود پتاسیمی مورد نیاز را حساب کنید.

پاسخ ۲- در این حالت چنین فرض می‌شود که به ازای افزایش هر میلی‌گرم از یک عنصرغذایی به خاک، به همان اندازه غلظت آن عنصرغذایی در خاک افزایش می‌یابد.

میزان تفاوت از سطح‌بحرانی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۲۷۰-۲۳۰=۴۰

$X=۳ (ZA)/C$

$X=[۳(۱/۲\times۴۰)۱۰۰]/۵۰= ۲۸۸$

میزان سولفات‌پتاسیم مورد نیاز (کیلوگرم بر هکتار) $X=۲۸۸$

اگر از کلرورپتاسیم استفاده می‌شد، میزان کلرورپتاسیم مورد نیاز برابر ۲۴۰ کیلوگرم بر هکتار خواهد بود.

$X= [۳(۱/۲\times۴۰) ۱۰۰]/۶۰ = ۲۴۰$

۴-۶-۲- توصیه کودی با استفاده از معادله میچرلیخ-بری: با استفاده از معادله میچرلیخ- بری، علاوه‌بر تعیین سطح‌بحرانی غلظت عناصرغذایی در خاک که در پیش توضیح داده شد، می‌توان پس از تجزیه نمونه خاکی از یک مزرعه که در نظر است کشت خاصی با قابلیت تولید معین انجام گیرد، ضرایب $C_۱$ و $C_۲$ را در هر منطقه مشخص و مقدار کود مورد نیاز را نیز محاسبه نمود. کاربردهای متعدد رابطه میچرلیخ-بری علاوه‌بر تعیین سطح‌بحرانی غلظت عناصرغذایی در خاک، در مثال ذیل گنجانده شده است:

مثال: الف) تعیین ضریب $C_۱$: ضریب $C_۱$ را در حالتی که عملکرد پتانسیل منطقه‌ای (حداکثر عملکرد) برای تولید گندم آبی ۶۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و عملکرد نسبی ۴۸۰۰ کیلوگرم بر هکتار است، محاسبه نمایید (غلظت پتاسیم قابل‌استفاده خاک زیرکشت گندم آبی برابر ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و وزن یک هکتار خاک را سه میلیون کیلوگرم در نظر بگیرید).

پاسخ:

$\text{Log } (A-Y) = \text{Log } A - C_۱ b$

$\text{Log } (۶۰۰۰ - ۴۸۰۰) = \text{Log } ۶۰۰۰ - C_۱ (۱۵۰ \times ۱/۲ \times ۳)$

$۳/۰۷۹ = ۳/۷۷۸ - C_۱ (۱۵۰ \times ۱/۲ \times ۳)$

$۵۴۰\ C_۱ = ۳/۷۷۸ - ۳/۰۷۹$

$C_۱ = ۰/۶۹۹ \div ۵۴۰ = ۰/۰۰۱۳$

$C_۱ = ۰/۰۰۱۳$

ب) تعیین ضریب C_2: اگر با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات‌پتاسیم و کلرورپتاسیم (نصف – نصف)، عملکرد هکتاری مزرعه گندم به ۵۲۰۰ کیلوگرم افزایش یابد، ضریب C_2 را تحت چنین شرایطی محاسبه نمایید.

$\text{Log } (۶۰۰۰ - ۵۲۰۰) = \text{Log } ۶۰۰۰ - C_1 b - C_2 (x)$

$\text{Log } ۸۰۰ = ۳/۷۷۸ - ۰/۷۰۲ - C_2 (۱۰۵)$

$۲/۹۰۳ = ۳/۷۷۸ - ۰/۷۰۲ - C_2 (۱۰۵)$

$C_2 = ۰/۱۷۳ \div ۱۰۵ = ۰/۰۰۱۶$

$C_2 = ۰/۰۰۱۶$

پ) عملکرد تقریبی مزرعه گندمی که غلظت پتاسیم قابل‌استفاده خاک آن ۱۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پتانسیل تولید هکتاری منطقه پنج تن بر هکتار باشد با عنایت به اطلاعات فوق، چقدر خواهد شد؟

$\text{Log } (A-Y) = \text{Log } A - C_1 b$

$\text{Log } (۵۰۰۰ - Y) = \text{Log } ۵۰۰۰ - ۰/۰۰۱۳ \ (۱۳۰ \times ۱/۲ \times ۳)$

$\text{Log } (۵۰۰۰ - Y) = ۳/۷۰ - ۰/۶۱$

$\text{Log } (۵۰۰۰ - Y) = ۳/۰۹$ پس از اخذ آنتی لگاریتم، عملکرد مورد انتظار زارع از مزرعه بدست می آید

$۵۰۰۰ - Y = ۱۲۳۰$

$Y = ۳۷۷۰$ عملکرد مورد انتظار زارع (کیلوگرم بر هکتار)

ت) تعیین عملکرد نسبی: اگر این زارع از مدیر آزمایشگاه بپرسد چنانچه ۲۰۰ کیلوگرم سولفات‌پتاسیم بر هکتار مصرف نماید، با عنایت به اطلاعات فوق، عملکردش چند کیلوگرم بر هکتار اضافه خواهد گردید؟

$\text{Log } (۵۰۰۰ - Y) = \text{Log } ۵۰۰۰ - ۰/۶۱ - ۰/۰۰۱۶ \ (۱۰۰)$

$\text{Log } (۵۰۰۰ - Y) = ۳/۷۰ - ۰/۶۱ - ۰/۱۶ = ۲/۹۳$

$(۵۰۰۰ - Y) = ۸۵۱$ پس از اخذ آنتی لگاریتم، عملکرد مورد انتظار زارع محاسبه می‌شود

$Y = ۴۱۴۹$ عملکرد مورد انتظار زارع (کیلوگرم بر هکتار)

$۴۱۴۹ - ۳۷۷۰ = ۳۷۹$ عملکرد اضافی با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار سولفات پتاسیم

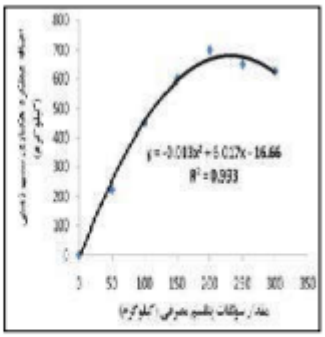
۵-۶-۲- توصیه کودی با استفاده از معادله‌های درجه دوم: یکی دیگر از روش‌های توصیه کودی، استفاده از معادله درجه دوم کودی است. بدین ترتیب که ابتدا براساس اطلاعات موجود، سطوح مختلف کود مصرفی مثلاً سولفات‌پتاسیم و اضافه عملکرد محصول تولیدی مثلاً سیب‌زمینی از مزرعه جمع‌آوری و سپس، به صورت جدول زیر تهیه می‌گردد.

مثال ۱- درصورتی‌که میانگین اضافه عملکرد سیب‌زمینی در مزرعه‌ای در اثر مصرف مقادیر متفاوت کود سولفات‌پتاسیم به شرح جدول هشت بوده و قیمت آزاد هر کیلوگرم سولفات‌پتاسیم ۲۰۰۰ تومان و قیمت هر کیلوگرم سیب‌زمینی ۱۰۰۰ تومان باشد، مقدار سولفات‌پتاسیم مورد نیاز برای به دست آوردن بیشترین تولید و حداکثر سود چقدر خواهد بود؟

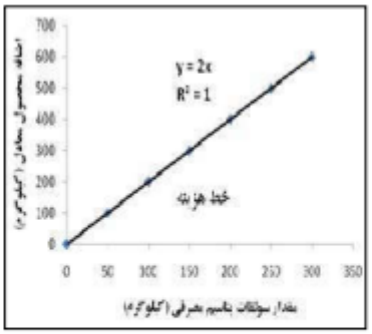
جدول ۸- نقش مصرف سولفات‌پتاسیم در افزایش عملکرد هکتاری سیب زمینی

مقادیر سولفات‌پتاسیم (کیلوگرم بر هکتار)	۰	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
اضافه عملکرد هکتاری سیب‌زمینی (کیلوگرم بر هکتار)	۰	۲۲۵	۴۵۰	۶۰۰	۷۰۰	۶۵۰	۶۲۵

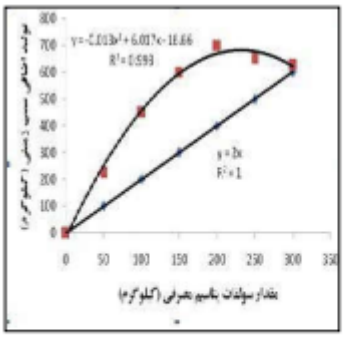
پاسخ ۱- ابتدا براساس اطلاعات جدول فوق، رابطه بین سطوح کود مصرفی (محور X) و اضافه عملکردها (محور Y)، منحنی عملکرد ترسیم، سپس با استفاده از معادله درجه دوم، مقدار کود مصرفی برای به دست آوردن بیشترین اضافه عملکرد، محاسبه شود:



شکل ۱۰- رابطه بین مقدار کود مصرفی و افزایش عملکرد در سیب‌زمینی



شکل ۱۱- رابطه بین مقدار کود مصرفی و خط هزینه در سیب‌زمینی



شکل ۱۲- تعیین مقدار سولفات‌پتاسیم برای حداکثر تولید و سود در سیب‌زمینی

برای رسم خط هزینه نیز در همان صفحه اکسل که نمودار در آن ترسیم شده، جدولی همانند جدول نُه تهیه می‌گردد. بدین ترتیب که براساس قیمت کود، هزینه خرید سولفات‌پتاسیم مصرفی محاسبه (ستون دوم) و سپس، براساس قیمت سیب‌زمینی، اضافه محصول معادل (ستون سوم) محاسبه می‌گردد. سپس، با قراردادن مقادیر کود مصرفی در محور X و مقادیر اضافه محصول معادل در محور Y، خط هزینه بدست می‌آید

بر روی منحنی، نقطه‌ای وجود دارد که فاصله عمودی بین منحنی تا خط هزینه، حداکثر بوده و بیان‌کننده مقدار کودی است که حداکثر سود اقتصادی را تولید کرده و به نام مقدار بهینه موسوم است. آشکار است که مقدار بهینه در خاک‌های فقیر بیشتر از خاک‌های غنی است. اگر قیمت کود نسبت به قیمت محصول کاهش یابد و یا اگر قیمت محصول افزایش یابد، شیب خط هزینه، کاهش می‌یابد