

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





جمهوری اسلامی ایران



وزارت جهاد کشاورزی  
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
موسسه تحقیقات خاک و آب کشور



## روش‌های تجزیه خاک

### نمونه‌برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی

## Methods of Soil Analysis

### Sampling, Chemical, and Physical Methods

نگارندگان

کریم شهبازی<sup>1</sup>، مصطفی مارزی<sup>2</sup>، محمد حسین محمدی<sup>3</sup>، حسین اسدی<sup>4</sup>، ارژنگ  
فتحی گردلیدانی<sup>5</sup>، کبرا سادات هاشمی نسب زواره<sup>6</sup>، رویا طلوعی<sup>7</sup>، مهدی  
بهشتی<sup>8</sup>، ایوب آویژگان<sup>9</sup>، میثم چراغی<sup>10</sup>

<sup>8,7,12,6</sup> موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.  
<sup>10,9,5,4,3</sup> گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.



سازمان سوادکده کشاورزی  
جمهوری اسلامی ایران

عنوان و نام پدیدآور	: روش‌های تجزیه خاک: نمونه‌برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی= Methods of soil analysis.../
مشخصات نشر	: نگارندگان کریم شهبازی [و دیگران...]: ویراستار ادبی زهرا محمدی. کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب، 1403.
مشخصات ظاهری	: ع، 1074ص:؛ (مصور) بخشی رنگی، جدول، نمودار.
شابک	: 978-622-6705-36-3
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: نگارندگان کریم شهبازی، مصطفی مارزی، محمدحسین محمدی، حسین اسدی، ارژنگ فتحی گردلیدانی، کبرا سادات هاشمی‌نسب زواره رویا طلوعی، مهدی بهشتی، ایوب آویژگان، میثم چراغی.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: خاک -- تجزیه و آزمایش Soils -- Analysis
شناسه افزوده	: شهبازی، کریم، 1350 -
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات خاک و آب
شناسه افزوده	: Soil & water research institute
رده بندی کنگره	: S593
رده بندی دیویی	: 2072/631
شماره کتابشناسی ملی	: 9560529
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

### نام کتاب: روش‌های تجزیه خاک - نمونه‌برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی

نگارندگان: کریم شهبازی، مصطفی مارزی، محمد حسین محمدی، حسین اسدی، ارژنگ فتحی گردلیدانی، کبرا سادات هاشمی‌نسب زواره، رویا طلوعی، مهدی بهشتی، ایوب آویژگان، میثم چراغی  
ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار ادبی: زهرا محمدی

صفحه آرا: سمانه پورمنصور

شابک: 978-622-6705-36-3

چاپ اول: سال 1403

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره 314032 در تاریخ 1403/1/27 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

صندوق پستی: 311-31785

کد پستی: 3177993545

تلفن: 026-36201900

نمبر: 02636210121

پست الکترونیکی: [info@swri.ir](mailto:info@swri.ir)

وبسایت: <http://www.swri.ir>

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

---

1	فصل اول : نمونه برداری خاک، مدیریت و آماده سازی نمونه ها .....
1	1-1-1- مقدمه .....
3	1-1-1- جامعه و نمونه .....
3	1-1-1-1- میانگین و انحراف معیار .....
5	1-1-1-2- میانه و مد .....
6	1-1-1-3- خطای استاندارد .....
13	1-1-1-4- اندازه (تعداد) نمونه .....
17	1-2- سامانه خاک و جامعه در مطالعات خاکشناسی .....
17	1-2-1- سامانه خاک .....
21	1-2-2- جامعه در مطالعات خاکشناسی .....
22	1-3- طراحی و الگوهای نمونه برداری از خاک .....
24	1-3-1- نمونه برداری هدفمند .....
25	1-3-2- نمونه برداری تصادفی ساده .....
27	1-3-3- الگوهای نمونه برداری دندانهای .....
27	1-3-4- الگوهای نمونه برداری شبکه ای .....
38	1-4- نمونه برداری از خاک .....
38	1-4-1- روش برداشت نمونه .....
38	1-4-2- عمق نمونه برداری .....
41	1-4-3- زمان نمونه برداری .....

- 41-1-4-4- ظروف حمل و نگهداری نمونه ..... 41
- 43-1-4-5- شیوه نمونه برداری در هر نقطه ..... 43
- 46-1-4-6- توصیف محل نمونه برداری ..... 46
- 47-1-4-7- انتقال به آزمایشگاه ..... 47
- 47-1-4-8- دریافت، ثبت و تهیه زیر نمونه ..... 47
- 49-1-4-9- آماده سازی نمونه آزمایشگاهی ..... 49
- 54-1-5- مدیریت و ذخیره نمونه ها ..... 54
- 55-1-5-1- مراحل مدیریت و نگهداری ..... 55
- 56-1-5-2- یکنواخت کردن و کاهش در اندازه کلوخه ..... 56
- 58-1-5-3- مقدار رطوبت نمونه ..... 58
- 63-1-5-4- اثرهای دما و مدت زمان نگهداری ..... 63
- 63-1-5-5- نگهداری در بایگانی (بایگانی نمونه ها- بانک خاک) ..... 63
- 64-1-6- کنترل کیفیت در نمونه برداری ..... 64
- 65- منابع استفاده شده ..... 65

## فصل دوم : شوری: قابلیت هدایت الکتریکی ..... 69

- 69-2-1- مقدمه ..... 69
- 76-2-2- روش های تهیه عصاره ..... 76
- 76-2-2-1- عصاره اشباع ..... 76
- 79-2-2-2- درصد رطوبت گل اشباع ..... 79
- 80-2-2-3- عصاره نسبت های آب به خاک 1:1، 1:2، 1:5 و دیگر نسبت ها ..... 80
- 85-2-3- اندازه گیری EC عصاره خاک ..... 85
- 90-2-4- اندازه گیری کل جامدات محلول در آب و عصاره های آبی ..... 90
- 92-2-5- برآورد غلظت کل املاح محلول از روی EC ..... 92

- 2-6- برآورد نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادلی (ESP) ..... 94
- 2-7- سایر روابط تجربی ..... 96
- منابع استفاده شده ..... 96

### فصل سوم : pH و اسیدیتی خاک ..... 99

- 3-1- مقدمه ..... 99
- 3-2- اهمیت مقادیر pH خاک ..... 100
- 3-3- عامل‌های مؤثر بر pH خاک ..... 104
- 3-4- روش‌های اندازه‌گیری pH خاک ..... 106
- 3-4-1 اندازه‌گیری pH خاک به روش الکترومتری با استفاده از الکتروود شیشه‌ای ..... 106
- منابع استفاده شده ..... 121

### فصل چهارم : کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در عصاره آبی خاک ..... 125

- 4-1- مقدمه ..... 125
- 4-2- روش‌های اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم ..... 127
- 4-2-1 اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی ..... 127
- 4-2-2 اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم با طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسما جفت‌شده القایی ..... 132
- 4-2-3 اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA ..... 134
- 4-3- اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم با دستگاه نورسنج شعله‌ای (فلیم فتومتر) ..... 148
- 4-4- اندازه‌گیری کلر ..... 152
- 4-4-1 اندازه‌گیری کلر به روش موهر ..... 152
- 4-4-2 اندازه‌گیری کلر با استفاده از کلریدمتر مدل PCLM3 ..... 156

- 159.....4-5- اندازه‌گیری یون‌های کربنات و بیکربنات
- 162.....4-6- اندازه‌گیری یون سولفات
- 163.....4-6-1- اندازه‌گیری یون سولفات به روش کدورت سنجی
- 163.....4-6-2- اندازه‌گیری یون سولفات به روش هدایت‌سنجی
- 165.....4-7- اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌ها با دستگاه کرماتوگرافی یونی
- 170.....منابع استفاده شده

**فصل پنجم : کربن کل، کربن آلی و ماده آلی ..... 171**

- 171.....5-1- مقدمه
- 173.....5-2- وضعیت کربن آلی در خاک‌های ایران
- 175.....5-3- مطالعات انجام شده در زمینه روش‌های مختلف اندازه‌گیری کربن آلی خاک
- 179.....5-4- روش‌های تجزیه کربن آلی خاک
- 180.....5-4-1- روش والکلی - بلک
- 187.....5-4-2- روش والکلی-بلک اصلاح شده
- 190.....5-4-3- روش احتراق خشک
- 194.....5-4-4- روش احتراق تر
- 203.....5-4-5- روش رنگ‌سنجی
- 206.....5-5- اندازه‌گیری مستقیم ماده آلی به روش LOI
- 209.....منابع استفاده شده

**فصل ششم : مواد هیومیکی ..... 213**

- 213.....6-1- مقدمه
- 216.....6-2- عامل‌های مؤثر بر تبدیل مواد غیرهیومیکی به مواد هیومیکی
- 218.....6-3- پارامترهای مؤثر بر انعقاد مواد هیومیکی



- 220.....6-4- شناسایی و تعیین خصوصیت مواد هیومیکی
- 221.....6-4-1- نسبت E4/E6
- 221.....6-5- ویژگی‌های مواد هیومیکی استخراج شده از محیط‌های مختلف
- 223.....6-6- استخراج مواد هیومیکی
- 226.....6-6-1- عصاره‌گیرهای معدنی
- 230.....6-6-2- عصاره‌گیرهای آلی
- 233.....6-7- روش‌های اندازه‌گیری هیومیک اسید
- 234.....6-8- استخراج و خالص‌سازی هیومیک اسید و فولویک اسید به روش IHSS
- 241.....منابع استفاده شده

**249..... فصل هفتم: کلسیم کربنات معادل**

- 249.....7-1- مقدمه
- 253.....7-2- روش‌های اندازه‌گیری کربنات‌ها
- 256.....7-2-1- روش کلسیمتر حجمی
- 260.....7-2-2- روش تیتراسیون برگشتی
- 266.....7-2-3- کربنات فعال
- 272.....منابع استفاده شده

**277..... فصل هشتم: گچ**

- 277.....8-1- مقدمه
- 280.....8-2- روش‌های اندازه‌گیری گچ در خاک
- 282.....8-2-1- روش استون
- 286.....منابع استفاده شده

**فصل نهم: تبادل یونی و ظرفیت تبادل کاتیونی ..... 289**

- 289-9-1- مقدمه ..... 289
- 293-9-2- نحوه پیدایش بار الکتریکی روی ذرات خاک ..... 293
- 294-9-2-1- بارهای الکتریکی دائمی ..... 294
- 295-9-2-2- بارهای الکتریکی وابسته به pH یا متغیر ..... 295
- 296-9-3- روش‌های اندازه‌گیری CEC ..... 296
- 298-9-3-1- مشکلات اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی ..... 298
- 302-9-3-2- ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های حاوی نمک‌ها، کربنات‌ها یا زئولیت-ها ..... 302
- 309-9-3-3- ظرفیت تبادل کاتیونی سایر خاک‌ها ..... 309
- 319- منابع استفاده شده ..... 319

**فصل دهم: پتانسیل ریداکس ..... 323**

- 323-10-1- مقدمه ..... 323
- 327-10-2- روابط ترمودینامیکی پتانسیل الکترودها ..... 327
- 328-10-2-1- رابطه Eh و pe ..... 328
- 329-10-2-2- حدود تغییرات Eh و پارامتر ریداکس (pe+pH) در خاک ..... 329
- 330-10-2-3- اثر pH بر Eh ..... 330
- 331-10-3- تغییرات پتانسیل اکسایش-کاهش (Eh) ..... 331
- 333-10-4- تغییرات پارامتر ریداکس (pe+pH) ..... 333
- 334-10-5- کمی‌سازی واکنش‌های اکسایش-کاهش ..... 334
- 335-10-6- اندازه‌گیری پتانسیل اکسایش-کاهش ..... 335
- 335-10-6-1- اندازه‌گیری پتانسیل اکسایش-کاهش با الکتروود کالومل-پلاتین ..... 335

- 10-7- محدودیت‌های اندازه‌گیری پتانسیل اکسایش - کاهش ..... 339
- 10-7-1- مشکلات تئوریک در اندازه‌گیری Eh ..... 339
- 10-7-2- مشکلات فنی ..... 340
- 10-8- تمیز کردن الکترودها ..... 340
- منابع استفاده شده ..... 341

### فصل یازدهم: نیتروژن ..... 345

- 11-1- مقدمه ..... 345
- 11-3- روش‌های اندازه‌گیری نیتروژن خاک ..... 350
- 11-3- اندازه‌گیری نیتروژن کل ..... 350
- 11-3-1- روش کج‌لدال ..... 350
- 11-3-2- اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک به روش هضم خشک (روش دوماس) ... 364
- 11-4- روش‌های رنگ‌سنجی برای اندازه‌گیری شکل‌های مختلف نیتروژن معدنی .. 378
- 11-4-1- اندازه‌گیری نترات به روش احیا با ستون کادمیم-مس ..... 378
- 11-4-2- اندازه‌گیری نیتريت ..... 386
- منابع استفاده شده ..... 388

### فصل دوازدهم : فسفر ..... 391

- 12-1- مقدمه ..... 391
- 12-2- روش‌های تجزیه فسفر کل ..... 398
- 12-2-1- روش ذوب با سدیم کربنات ..... 399
- 12-2-2- فسفر آلی ..... 401
- 12-2-3- روش احتراق ..... 401
- 12-3- فسفر قابل استفاده ..... 404

- 404.....12-3-1- استخراج فسفر قابل استفاده به روش اولسن
- 408.....12-3-2- استخراج فسفر قابل استفاده به روش سلطانیپور و شواب
- 410.....12-3-3- استخراج فسفر قابل استفاده به روش بری-1 در خاک‌های اسیدی
- 414.....12-4- اندازه‌گیری فسفر
- 415.....12-4-1- روش آسکوربیک اسید
- 417.....12-4-2- روش وانادو-مولیبدو فسفریک اسید
- 420.....12-4-3- روش پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP)
- 421.....منابع استفاده شده

## **فصل سیزدهم : پتاسیم و سدیم.....427**

- 427.....13-1- مقدمه
- 428.....13-2- پتاسیم
- 432.....13-3- سدیم
- 433.....13-4- روش‌های تجزیه پتاسیم و سدیم
- 435.....13-4-1- تجزیه برای پتاسیم و سدیم کل
- 437.....13-4-2- پتاسیم قابل تبادل و محلول
- 439.....13-4-3- روش آمونیم استات
- 442.....13-5- پتاسیم غیرقابل تبادل
- 443.....13-5-1- استخراج با نیتریک اسید جوشان
- 445.....13-6- تجزیه پتاسیم ساختمانی
- 445.....13-7- پتاسیم قابل استفاده
- 447.....13-7-1- پتاسیم قابل استخراج با آمونیم استات
- 449.....13-7-2- عصاره‌گیر مهلیج 3
- 452.....13-8- سدیم قابل تبادل و محلول

453..... منابع استفاده شده

**459..... فصل چهاردهم: کلسیم و منیزیم**

459..... 14-1- مقدمه

460..... 14-2- کلسیم و منیزیم کل

461..... 14-3- کلسیم و منیزیم قابل تبادل

463..... 14-3-1- روش آمونیم استات برای خاک‌های آهکی و گچی

466..... 14-3-2- روش آمونیم استات برای خاک‌های غیر آهکی

469..... 14-3-3- عصاره‌گیری برای خاک‌های اسیدی

471..... 14-4- کلسیم و منیزیم محلول

472..... 14-5- کلسیم و منیزیم قابل استفاده (شاخص‌های جذب)

475..... 14-6- روش‌های تجزیه‌ای

476..... منابع استفاده شده

**479..... فصل پانزدهم: گوگرد**

479..... 15-1- مقدمه

482..... 15-2- روش‌های استخراج گوگرد خاک

482..... 15-2-1- استخراج گوگرد کل به روش هضم اسیدی

484..... 15-2-2- استخراج گوگرد قابل استفاده با منوکلسیم فسفات

488..... 15-3- روش‌های اندازه‌گیری گوگرد سولفاتی

488..... 15-3-1- روش کدورت‌سنجی

492..... 15-3-2- روش طیف‌سنجی

494..... منابع استفاده شده

**فصل شانزدهم: آهن، روی، مس و منگنز ..... 499**

- 499..... 16-1- مقدمه
- 502..... 16-2- وضعیت آهن، روی، مس و منگنز در خاک‌های ایران
- 507..... 16-3- عصاره‌گیرهای آهن، روی، مس و منگنز قابل استفاده در خاک‌های ایران
- 508..... 16-4- روش‌های تجزیه آهن، روی، مس و منگنز در خاک
- 508..... 16-4-1- آهن، روی، مس و منگنز کل
- 511..... 16-4-2- آهن، روی، مس و منگنز قابل استفاده
- 518..... منابع استفاده شده

**فصل هفدهم: بور، کلر و مولیبدن ..... 523**

- 523..... 17-1- مقدمه
- 524..... 17-2- بور
- 526..... 17-2-1- بور کل
- 530..... 17-2-2- ارزیابی بور قابل استفاده
- 537..... 17-2-3- اندازه‌گیری بور
- 541..... 17-3- کلر
- 543..... 17-4- روش‌های اندازه‌گیری کلر
- 546..... 17-4-1- روش تیتراسیون پتانسیومتری
- 550..... 17-4-2- روش پتانسیومتری مستقیم
- 553..... 17-4-3- روش تیتراسیون خودکار
- 555..... 17-4-4- روش تیتراسیون دستی
- 557..... 17-4-5- روش جیوه (II) تیوسیانات
- 560..... 17-4-6- کروماتوگرافی یونی
- 560..... 17-5- مولیبدن

- 562..... مولیبدن کل 17-5-1
- 567..... مولیبدن قابل استفاده 17-5-2
- 575..... منابع استفاده شده

**589..... فصل هجدهم: سیلیسیم**

- 589..... 18-1- مقدمه
- 591..... 18-2- اجزای سیلیسیم در خاک
- 594..... 18-3- سیلیسیم در خاک‌های ایران
- 596..... 18-4- روش‌های تجزیه خاک برای اندازه‌گیری سیلیسیم کل
- 597..... 18-4-1- روش ذوب با لیتیم تترابورات
- 602..... 18-4-2- روش هضم اسیدی
- 607..... 18-4-3- ذوب قلیایی با NaOH
- 610..... 18-5- سیلیسیم قابل استفاده گیاه
- 616..... 18-6- روش‌های عصاره‌گیری سیلیسیم قابل استفاده گیاه
- 616..... 18-6-1- روش عصاره‌گیری با بافر سدیم استات
- 619..... 18-6-2- روش عصاره‌گیری با استیک اسید
- 621..... 18-7- روش‌های اندازه‌گیری سیلیسیم در عصاره
- 622..... 18-7-1- اندازه‌گیری سیلیسیم با روش رنگ‌سنجی زرد سیلیکومولیدیک اسید
- 625..... 18-7-2- اندازه‌گیری سیلیسیم با روش رنگ‌سنجی آبی سیلیکومولیدوس اسید
- 627..... 18-7-3- روش رنگ‌سنجی آبی (اصلاح شده)
- 630..... 18-7-4- طیف‌سنجی جذب اتمی
- 630..... 18-7-5- طیف‌سنجی نشر پلاسمای جفت‌شده القایی
- 630..... منابع استفاده شده

**فصل نوزدهم: اندازه‌گیری فلزهای سنگین در خاک ..... 639**

- 639..... 19-1- مقدمه
- 643..... 19-2- آهن
- 646..... 19-3- منگنز
- 648..... 19-4- روی
- 651..... 19-5- مس
- 653..... 19-6- کروم
- 657..... 19-7- نیکل
- 660..... 19-8- کبالت
- 663..... 19-9- سرب
- 667..... 19-10- کادمیم
- 670..... 19-11- آرسنیک
- 674..... منابع استفاده شده

**فصل بیستم: انحلال برای تجزیه عنصری کل ..... 681**

- 681..... 20-1- مقدمه
- 682..... 20-2- آماده‌سازی نمونه
- 683..... 20-3- ذوب قلیایی
- 683..... 20-3-1- ذوب با کربنات قلیایی
- 687..... 20-3-2- ذوب با سدیم پروکسید
- 690..... 20-4- هضم اسیدی
- 691..... 20-4-1- مواد مورد نیاز برای هضم تر
- 692..... 20-4-2- کارایی روش‌های هضم تر (تجزیه و انحلال نمونه)
- 694..... 20-4-3- خواص اسیدهای مورد استفاده در تجزیه مواد زمینی



- 699.....20-4-4- معیارهای انتخاب روش‌های هضم نمونه
- 702.....20-4-5- منابع خطا در انحلال نمونه‌های جامد
- 704.....20-4-6- روش‌های هضم با سیستم باز
- 715.....20-4-7- روش‌های میکروویوی
- 727.....منابع استفاده شده

### **731..... فصل بیست و یکم: تجزیه دستگاهی**

- 731.....21-1- مقدمه
- 732.....21-2- روش‌های کروماتوگرافی
- 732.....21-3- روش‌های طیف‌سنجی
- 735.....21-4- اصول طیف‌سنجی اتمی
- 736.....21-4-1- طیف‌سنجی جذب اتمی
- 736.....21-4-2- دستگاه وری جذب اتمی
- 737.....21-4-3- منابع تابش در جذب اتمی
- 738.....21-4-4- سیستم‌های اتم‌سازی
- 748.....21-4-5- تداخل‌ها در طیف‌سنجی جذب اتمی
- 761.....21-5- طیف‌سنجی نشر اتمی
- 762.....21-5-1- طیف‌سنجی نشر شعله‌ای
- 765.....21-5-2- طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی
- 775.....21-6- طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS)
- 777.....21-6-1- مزاحمت‌ها در ICP-MS
- 780.....21-7- مقایسه روش‌های مختلف طیف‌سنجی اتمی
- 782.....21-8- طیف‌سنجی جذب مولکولی فرابنفش/مرئی
- 783.....21-8-1- انواع دستگاه‌های طیف‌سنج فرابنفش/مرئی

- 785..... اجزای دستگاه طیف‌سنج جذب مولکولی
- 786..... روش اندازه‌گیری با طیف‌سنج جذب مولکولی فرابنفش/مرئی
- 787..... منابع استفاده شده

## فصل بیست و دوم: تضمین و کنترل کیفیت نتایج در آزمایشگاه ..... 789

- 789..... 22-1- مقدمه
- 789..... 22-2- تعاریف، مفاهیم و اصطلاحات
- 789..... 22-2-1- کیفیت
- 790..... 22-2-2- تضمین کیفیت
- 790..... 22-2-3- کنترل کیفیت
- 791..... 22-3- کنترل کیفیت داخلی
- 792..... 22-3-1- نمودارهای کنترل
- 794..... 22-3-2- نمونه‌های کنترل آزمایشگاهی
- 795..... 22-3-3- شرایط نمونه‌های کنترل
- 796..... 22-4- کنترل کیفیت خارجی
- 796..... 22-4-1- آزمون مهارت
- 799..... 22-4-2- مقایسه‌های بین آزمایشگاهی
- 800..... 22-4-3- استفاده از مواد مرجع استاندارد یا مواد مرجع گواهی شده
- 802..... 22-5- سوابق کنترل کیفیت
- 802..... 22-6- ارزیابی عملکرد دستگاه یا روش تجزیه
- 802..... 22-6-1- ارقام شایستگی
- 812..... 22-7- واسنجی
- 812..... 22-7-1- روش واسنجی استاندارد خارجی
- 813..... 22-7-2- روش واسنجی افزایش استاندارد

- 814.....22-8- انواع خطاهای اندازه‌گیری
- 814.....22-8-1- خطای مطلق
- 814.....22-8-2- خطای نسبی
- 815.....22-9- انواع خطاها در داده‌های تجربی
- 815.....22-9-1- خطای فاحش
- 815.....22-9-2- خطای تصادفی
- 816.....22-9-3- خطای سیستماتیک
- 818.....22-10- عدم قطعیت
- 820.....منابع استفاده شده

### **821..... فصل بیست و سوم: رطوبت خاک**

- 821.....23-1- مقدمه
- 822.....23-2- روش مستقیم اندازه‌گیری مقدار آب خاک
- 822.....23-2-1- رطوبت جرمی
- 824.....23-2-2- رطوبت حجمی
- 780.....منابع استفاده شده

### **827..... فصل بیست و چهارم: بافت خاک**

- 827.....24-1- مقدمه
- 831.....24-2- عامل‌های مؤثر بر تشکیل ذرات ثانویه از ذرات اولیه خاک
- 833.....24-3- حذف مواد سیمانی
- 835.....24-4- پراکنده‌سازی نمونه‌های خاک
- 835.....24-4-1- پراکنده‌سازی شیمیایی
- 835.....24-4-2- پراکنده‌سازی فیزیکی

- 24-5- روش‌های تعیین اندازه ذرات خاک ..... 836
- 24-5-1- روش پیپت رابینسون ..... 836
- 24-5-2- روش هیدرومتری (چهار قرائته) ..... 849
- 24-5-3- روش هیدرومتری (چهار قرائته) اصلاح شده برای خاک‌های ایران ..... 857
- 24-5-4- روش هیدرومتری (قرائت کامل) ..... 858
- 24-5-5- روش هیدرومتری (دو قرائته) ..... 859
- 24-5-6- روش تجزیه ذرات درشت با الک ..... 864
- 24-5-7- روش لمسی ..... 867
- 24-5-8- مقایسه روش پیپت رابینسون و هیدرومتری ..... 870
- منابع استفاده شده ..... 870

## **فصل بیست و پنجم: جرم مخصوص خاک ..... 875**

- 25-1- جرم مخصوص حقیقی خاک ..... 875
- 25-1-1- مقدمه ..... 875
- 25-1-2- روش‌های اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی ..... 876
- 25-2- جرم مخصوص ظاهری ..... 891
- 25-2-1- روش‌های اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری ..... 893
- منابع استفاده شده ..... 910

## **فصل بیست و هشتم: پایداری و توزیع اندازه خاکدانه ..... 913**

- 26-1- مقدمه ..... 913
- 26-2- پایداری در حالت تر ..... 915
- 26-2-1- پایداری خاکدانه در حالت تر به روش تک غربالی (تک الکی) ..... 918
- 26-3- توزیع اندازه خاکدانه در حالت خشک ..... 925

928.....منابع استفاده شده

**931..... فصل بیست و هفتم: منحنی رطوبتی خاک**

931.....27-1- مقدمه

931.....27-1-1- پتانسیل آب خاک

933.....27-1-2- منحنی مشخصه آب خاک

934.....27-1-3- پدیده پسماند رطوبتی

935.....27-2- دستگاه جعبه شنی

943.....27-3- دستگاه میز مکش و صفحه مکش

948.....27-4- دستگاه صفحات فشاری

957.....منابع استفاده شده

**959..... فصل بیست و هشتم: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک**

959.....28-1- مقدمه

960.....28-2- روش بار ثابت

967.....28-3- روش بار افتان

971.....28-4- دیگر روش‌های آزمایشگاهی

975.....منابع استفاده شده

**977..... فصل بیست و نهم: نفوذپذیری خاک**

977.....29-1- مقدمه

979.....29-2- اندازه‌گیری نفوذپذیری با استوانه‌های دوگانه

985.....منابع استفاده شده

**فصل سی‌ام: حدود آتربرگ در خاک ..... 987**

- 987..... 30-1- مقدمه
- 990..... 30-2- تعیین حد روانی
- 998..... 30-3- تعیین حد خمیری
- 1001..... 30-3-1- شاخص خمیرایی
- 1007..... 30-3-2- شاخص روانی
- 1007..... 30-3-3- شاخص قوام
- 1008..... 30-3-4- شاخص جریان
- 1008..... 30-3-5- شاخص سختی
- 1009..... 30-4- تعیین حد انقباض
- 1012..... منابع استفاده شده

**فصل سی و یکم: اصول ایمنی در آزمایشگاه ..... 1013**

- 1013..... 31-1- مقدمه
- 1013..... 31-2- تجهیزات حفاظت فردی
- 1018..... 31-3- تجهیزات ایمنی در آزمایشگاه
- 1020..... 31-4- ایمنی کار با مواد شیمیایی
- 1027..... 31-5- نگهداری (انبارداری) مواد شیمیایی
- 1028..... 31-6- ریخته شدن مواد شیمیایی در آزمایشگاه
- 1030..... 31-7- مدیریت صحیح لوازم شیشه‌ای
- 1032..... 31-8- مدیریت صحیح پسماند آزمایشگاهی
- 1032..... 31-9- نگهداری، استفاده و حمل و نقل سیلندرهای گاز تحت فشار
- 1034..... منابع استفاده شده

**پیوست‌ها ..... 1035**



## پیش‌گفتار مولفان

در ادبیات جهانی «مدیریت پایدار خاک» به‌عنوان فصل مشترک و شاقول سنجش رفتار با منابع خاک در کاربری‌های مختلف شناخته می‌شود. «مدیریت پایدار خاک» رویکردی را تبیین و حمایت می‌نماید که در آن هر نوع بهره‌برداری از خاک، در کنار توجه به ایجاد ارزش افزوده و سودآوری برای بهره‌برداران، «حفظ نقش و کارکردهای خاک در دراز مدت و برای نسل‌های آینده» را تضمین نماید. طبعاً ارزیابی مدیریت‌های مختلف و حرکت به سمت مدیریت پایدار، نیازمند شناخت اولیه کیفیت خاک، سنجش مداوم این ویژگی‌ها و مقایسه آن‌ها با شرایط بهینه است. بر همین مبنا از دیرباز موضوع ویژگی‌های کیفی خاک و روش‌های اندازه‌گیری این ویژگی‌ها مورد توجه دانشمندان شیمی و سپس خاکشناسان بوده است. نخستین مستندات رسمی موجود که به‌صورت نهادینه شده به موضوع روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک پرداخته و در قالب کتاب منتشر شده‌اند به سال‌های دهه 1930 میلادی برمی‌گردد. البته شواهد نشان می‌دهد سال‌ها پیش از این، بشر به روش‌های مختلف تلاش می‌نموده تا ویژگی‌های خاک‌ها را تشخیص داده و تفاوت آن‌ها را درک نماید.

بهره‌برداران خاک با سطوح آگاهی و توان فنی متفاوت دامنه وسیعی از سیاستمداران تا متخصصان خاک، کشاورزان و آحاد جامعه را در بر می‌گیرند؛ اما این گستره بهره‌برداران در فصل اشتراک خاک نیازمند زبان و ادبیاتی یکسان هستند تا فهم مشترکی از هر پدیده مرتبط با خاک پیدا کنند. اگر ویژگی‌های قابل‌سنجش و اندازه‌گیری در خاک را به مثابه الفبای این زبان مشترک بدانیم، «دستورالعمل نحوه اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک» منبع تولید این الفبای مشترک برای بهره‌برداران مختلف خاک است. از این‌رو «دستورالعمل نحوه اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک» برای شناخت منابع خاک در هر کشوری نقش اساسی داشته و به‌عنوان سنگ بنای «مدیریت پایدار» شناخته می‌شود. در ایران نخستین دستورالعمل رسمی چاپ شده برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، با عنوان «شرح کامل روش‌های تجزیه بر روی نمونه‌های خاک و آب» در سال 1346 توسط موسسه تحقیقات خاک و آب منتشر شد. این دستورالعمل و بازنگری‌های آن که در قالب دو جلد در سال‌های 1372 و 1376 منتشر شدند به سرعت در بین آزمایشگاه‌های تجزیه خاک در سراسر کشور فراگیر شده و تاکنون نیز به‌عنوان



مرجع برای تعیین ویژگی‌های خاک استفاده می‌شوند. روشن است که با گذشت 30 سال، دانش بشر در تمامی زمینه‌ها از جمله علوم خاک پیشرفت و گسترش قابل توجهی داشته است. محققان مختلف داخلی و خارجی متناسب با شرایط، اقدام به تحقیق، توسعه و انتشار مستندات بسیاری در زمینه روش‌های تعیین ویژگی‌های خاک نموده‌اند. پژوهش‌هایی که با هدف افزایش دقت و صحت نتایج روش‌ها و برخی آسانتر یا ارزان‌تر شدن آن‌ها انجام گرفته است. از سوی دیگر با گسترش دانش فرآوری اطلاعات در مقیاس ملی و جهانی، لزوم هماهنگی داده‌ها و اطلاعات و قابلیت هم‌افزایی آن‌ها برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در سطح کشور و نیز در مقیاس جهانی (مانند برنامه تعیین مقادیر پایه و ظرفیت ذخیره کربن در خاک‌های مناطق مختلف دنیا) بیش از پیش رخنمون گردیده، از این رو ضروری است روش‌هایی که برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف خاک در کشور استفاده می‌شود، در صورت تفاوت با برخی روش‌های متداول در دیگر کشورها، رابطه روشن و مشخصی با این روش‌ها داشته باشد به نحوی که متخصصان کشورمان نیز بتوانند در کنار دیگر کارشناسان جهانی، داده‌ها، اطلاعات و دانش انباشته حاصله را به اشتراک گذاشته و از این طریق راهگشای دانش نوین باشند.

کتاب حاضر برای فراهم نمودن یک منبع مرجع، استاندارد و هماهنگ برای روش‌های تجزیه خاک متناسب با شرایط خاک‌ها و امکانات آزمایشگاهی داخل کشور، با تکیه برسال‌ها تحقیق و تجربه مؤلفان در زمینه تجزیه خاک و توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در علوم خاک، تجزیه دستگاهی و تحولات قانونی همانند ابلاغ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و قانون حفاظت خاک تألیف شده است. این کتاب می‌تواند برای آموزش روش‌های تجزیه خاک به کارشناسان و دانشجویانی که در زمینه تجزیه خاک فعالیت می‌نمایند، استفاده شود و مطالعه آن می‌تواند برای دانشجویان و دست‌اندرکاران رشته‌های خاکشناسی، زمین‌شناسی و مهندسی کشاورزی مفید و جالب توجه باشد. «نمونه‌برداری خاک، مدیریت و آماده‌سازی نمونه‌ها» یکی از نکات کلیدی برای دستیابی به نتایج دقیق و صحیح و نماینده توده خاک می‌باشد که در فصل اول به آن پرداخته شده است. فصل‌های دوم تا بیستم شامل تعیین ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند شوری، pH، کربن، عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، عناصر مفید و همچنین فلزهای سنگین می‌باشد که معمولاً موضوع تجزیه در بسیاری از آزمایشگاه‌های خاک و آب و آزمایشگاه‌های مرتبط با مسائل زیست محیطی و زمین‌شناسی است. روش‌های

تجزیه دستگاهی و کنترل کیفیت و صحت نتایج از مراحل بسیار مهم در تجزیه خاک و بدست آوردن داده‌های دقیق و صحیح می‌باشد که در فصل‌های بیست و یکم و بیست و دوم به آن پرداخته شده است. اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز در فصل‌های بیست و سوم تا سی ام بحث شده است.

تألیف این کتاب پس از عنایات ایزد متعال، بدون مساعدت اساتید و همکاران گرامی امکان‌پذیر نبود، بنابراین بر خود لازم می‌دانیم به خاطر تشویق و یاری‌شان از آنها قدردانی نماییم. در این راستا، از مدیران موسسه تحقیقات خاک و آب به‌ویژه آقایان دکتر کامبیز بازرگان و دکتر هادی اسدی رحمانی که در طی سال‌های مدیریت‌شان از تحقیق و تدوین روش‌های تجزیه خاک حمایت نمودند، تشکر و قدردانی می‌نماییم. همچنین از همکاران و دوستان عزیز آقایان دکتر نصرت اله نجفی، دکتر پیمان کشاورز، دکتر کامبیز بازرگان، دکتر مهدی زنگی‌آبادی و دکتر ذوالفقار آلاذغلو که با داوری کتاب و ارائه نظرات فنی باعث ارتقاء کیفیت این اثر شدند، سپاسگزاری می‌نماییم. ضمناً مراتب قدردانی خود را از ویراستار ادبی محترم سرکار خانم زهرا محمدی بخاطر صرف وقت و دقت فراوان برای ویراستاری این کتاب و سرکار خانم سمانه پورمنصور که زحمت صفحه‌آرایی و حروف‌چینی کتاب را تقبل نمودند، ابراز می‌داریم. از آقای دکتر بهمن خوشرو برای عکس‌های هنری و مبتکرانه‌شان که از آنها در طراحی جلد و شکل‌های متن استفاده شده است، سپاسگزاری می‌نماییم. در انتها تشکر و قدردانی عمیق خود را از کلیه همکاران خود در بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود/آزمایشگاه‌های موسسه تحقیقات خاک و آب بخصوص سرکار خانم مهندس فاطمه پرویزی و سرکار خانم مهندس الهه ملک‌زاده ابراز می‌نماییم که تجربیات سالیان متمادی کار در آزمایشگاه را سخاوتمندانه در اختیار مولفان قرار داده و باعث ارتقاء کیفیت این کتاب گردیدند.