

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Press.m-ac.ir

Press.um.ac.ir



فلزات سنگین در خاک

برایان جی الووی

ترجمه:

دکتر امیر فتوت

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان و نام پدیدآور:	فلزات سنگین در خاک / [اوپراستار] براین جی الووی؛ ترجمه امیر فتوت.
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری:	۷۰۴ ص. مصور، جدول، نمودار.
فروست:	انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۶۸۹.
شابک:	ISBN: 978-964-386-364-7
وضعیت فهرست نویسی:	فیبا.
یادداشت:	عنوان اصلی:
یادداشت:	واژه نامه. کتابنامه. نمایه.
موضوع:	خاک -- میزان فلزات سنگین.
موضوع:	فلزهای سنگین -- جنبه های زیست محیطی.
موضوع:	گیاه و خاک.
موضوع:	خاک -- آلودگی.
شناسه افزوده:	الووی، براین ج.، ویراستار.
شناسه افزوده:	فتوت، امیر، ۱۳۳۸ - ، مترجم.
شناسه افزوده:	دانشگاه فردوسی مشهد.
رده بندی کنگره:	۱۳۹۷ ۹۸۶/۶/۵۵۹۲
رده بندی دیویی:	۶۳۱/۴۱
شماره کتابشناسی ملی:	۵۳۰۹۵۹۰

فلزات سنگین در خاک

پدیدآورنده: براین جی الووی
 ترجمه: دکتر امیر فتوت
 مشخصات: وزیری، ۲۵۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۹۷
 چاپ و صحافی: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد
 بها: ۵۵۰/۰۰۰ ریال
 حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.
 مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، سازمان مرکزی، جنب سلف یاس تلفن: ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
 مؤسسه کتابیران: تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد، بین خیابان فروردین و اردیبهشت، شماره ۲۳۸ تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹-۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
 مؤسسه دانشسیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲ تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰-۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir



Editors

Brain J. Alloway, Soil Research Centre, Department of Geography and Environmental Science,
School of Human and Environmental Sciences, University of Reading, Whiteknights, Reading,
UK

Jack T. Trevors, School of Environmental Sciences, University of Guelph, Ontario, Canada

Editorial Board

I. Colbeck, Interdisciplinary Centre for Environment and Society, Department of Biological Sciences,
University of Essex, Colchester, U.K.

R.L. Crawford, Food Research Center (FRC) 204, University of Idaho, Moscow, Idaho, U.S.A.

W. Salomons, GKSS Research Center, Geesthacht, Germany

Contributors

Brian J. Alloway Soil Research Centre, Department of Geography and Environmental Science,
School of Human and Environmental Sciences, University of Reading, Whiteknights, Reading,
UK

Olav Albert Christophersen Pensioned state stipendiate, Oslo, Norway

Rafael Clemente Department of Soil and Water Conservation and Organic Waste Management,
CEBAS-CSIC, Murcia, Spain

Jan Colpaert Centre for Environmental Sciences, Environmental Biology, Hasselt University,
Diepenbeek, Belgium

Ann Cuypers Centre for Environmental Sciences, Environmental Biology, Hasselt University,
Diepenbeek, Belgium

Christine M. Davidson Department of Pure and Applied Chemistry, University of Strathclyde,
Glasgow, Scotland, UK

Wim deVries Alterra, Wageningen University and Research, Wageningen, The Netherlands

Cristina Gonnelli Department of Evolutionary Biology, University of Florence, Florence, Italy

Jan Engelbert Groenenberg Alterra, Wageningen University and Research, Wageningen, The
Netherlands

Anna Haug Department of Animal and Aquacultural Sciences, The Norwegian University of Life
Sciences, Aas, Norway

Mark E. Hodson Environment Department, University of York, Heslington, York, UK

Nicholas W. Lepp School of Biological and Earth Sciences, Liverpool John Moore's University,
Liverpool, UK

Steve Lofts Centre for Ecology and Hydrology, Lancaster Environment Centre, Lancaster, UK

Graham Lyons School of Agriculture, Food & Vine, University of Adelaide, Glen Osmond, SA,
Australia

Paula Madejo'n Protection of the Soil-Water-Plant System, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), CSIC, Sevilla, Spain

Jelle Mertens Division Soil and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium

Koen Oorts ARCHE (Assessing Risks of CHEmicals), Ghent, Belgium

Maximilian Posch CCE, RIVM (National Institute for Public Health & the Environment), Bilthoven, The Netherlands

Tony Remans Centre for Environmental Sciences, Environmental Biology, Hasselt University, Diepenbeek, Belgium

Giancarlo Renella Department of Plant, Soil and Environmental Sciences, University of Florence, Florence, Italy

Erik Smolders Division Soil and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium

Eiliv Steinnes Department of Chemistry, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway

Ed Tipping Centre for Ecology and Hydrology, Lancaster Environment Centre, Lancaster, UK

Nicholas C. Uren Department of Agricultural Sciences, La Trobe University, Bundoora, VIC, Australia

Jaco Vangronsveld Centre for Environmental Sciences, Environmental Biology, Hasselt University, Diepenbeek, Belgium

Andon Vassilev Department of Plant Physiology & Biochemistry, Agricultural University of Plovdiv, Plovdiv, Bulgaria

Walter W. Wenzel University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, and Department of Forest and Soil Sciences, Institute of Soil Science, University & Research Centre Tulln (UFT), Tulln, Austria

Nele Weyens Centre for Environmental Sciences, Environmental Biology, Hasselt University, Diepenbeek, Belgium

Scott D. Young School of Biosciences, University of Nottingham, Loughborough, Leicestershire, UK

فهرست

۲۳	مقدمه مترجم
۲۵	پیشگفتار

بخش اول : مبانی مقدماتی

۲۹	فصل ۱. مقدمه
۳۶	منابع مورد استفاده

فصل ۲. منابع فلزات سنگین و شبه فلزات در خاک

۳۷	۱-۲- مقدمه
۳۸	۲-۲- غلظت کل فلزات سنگین و شبه فلزات در خاک‌های سراسر جهان
۳۹	۳-۲- منابع فلزات و شبه فلزات سنگین در خاک‌ها
۴۱	۳-۳-۱- منابع سنگ‌زاد فلزات و شبه فلزات سنگین
۴۲	۳-۳-۲- انواع سنگ‌های مهم به‌عنوان منابع سنگ‌زاد (شبه) فلزات سنگین در خاک‌ها
۴۴	۳-۳-۲- منابع انسان‌زاد فلزات و شبه فلزات سنگین
۵۲	۳-۲-۳- آلودگی گسترده
۵۳	۳-۲-۳- آلودگی محلی
۵۸	۴-۲- نتیجه‌گیری
۷۸	منابع مورد استفاده

فصل ۳. شیمی فلزات و شبه فلزات سنگین در خاک

۸۳	۱-۳- مقدمه
۸۴	۱-۳-۱- تاریخچه مطالعه برهم‌کنش‌های فلزات و خاک
۸۴	۱-۳-۲- مروری بر برهم‌کنش فلزات و شبه فلزات با خاک‌ها
۸۶	۲-۳- جذب سطحی فلزات روی اجزای تشکیل‌دهنده خاک

۸۸	.....۱-۲-۳ هوموس
۸۸	.....۱-۱-۲-۳ خصوصیات کلی هوموس
۸۹	.....۲-۱-۲-۳ شیمی سطح اسیدهای هوموسی
۸۹	.....۳-۱-۲-۳ پیوند فلزات با اسیدهای هومیک و فولویک
۹۰	.....۴-۱-۲-۳ «مواد آلی فعال»
۹۱	.....۵-۱-۲-۳ برهم کنش های هوموس و کانی ها
۹۱	.....۶-۱-۲-۳ کربن آلی محلول (DOC)
۹۱	.....۲-۲-۳ اکسیدهای آبدار و هیدروکسیدها
۹۱	.....۱-۲-۲-۳ خصوصیات کلی
۹۱	.....اکسیدهای منگنز
۹۲	.....اکسیدهای آهن
۹۳	.....۲-۲-۲-۳ شیمی سطح
۹۳	.....۳-۲-۲-۳ پیوند فلزی
۹۶	.....۳-۲-۳ رس های آلومینوسیلیکات صفحه ای (فیلوسیلیکات ها)
۹۶	.....۱-۳-۲-۳ خصوصیات کلی
۹۶	.....۲-۳-۲-۳ شیمی سطح
۹۷	.....۳-۳-۲-۳ پیوند فلزی
۹۸	.....۴-۲-۳ زئولیت ها
۹۸	.....۱-۴-۲-۳ خصوصیات کلی
۹۸	.....۲-۴-۲-۳ شیمی سطح
۹۸	.....۳-۴-۲-۳ پیوند فلزی
۹۹	.....۵-۲-۳ نمک های کم-محلول کلسیم و واکنش های رسوب فلزات
۹۹	.....۱-۵-۲-۳ جذب روی نمک های Ca
۱۰۰	.....۲-۵-۲-۳ ترکیبات معزای فلز در خاک ها
۱۰۱	.....۶-۲-۳ نتیجه گیری درباره جذب سطحی فلزات روی اجزای تشکیل دهنده خاک
۱۰۲	.....۳-۳ اثر شرایط خاک بر جذب فلزات و شبه فلزات
۱۰۲	.....۱-۳-۳ مقدار pH خاک
۱۰۲	.....۱-۱-۳-۳ اثر مقدار pH خاک بر حلالیت فلزات
۱۰۴	.....۲-۱-۳-۳ آهک دهی خاک های اسیدی برای کاهش حلالیت فلزات سنگین
۱۰۶	.....۲-۳-۳ پتانسیل اکسایش-کاهش خاک (Eh)
۱۰۷	.....۱-۲-۳-۳ تغییر در pH

۱۰۸.....	۲-۲-۳-۳ انحلال اکسیدهای آبدار Fe/Mn.....
۱۰۹.....	۳-۲-۳-۳ تغییرات ظرفیت فلزات و شبه فلزات.....
۱۱۰.....	۴-۲-۳-۳ رهاسازی آنیون‌های تشکیل دهنده کمپلکس و کربن آلی محلول (DOC).....
۱۱۰.....	۵-۲-۳-۳ رسوب سولفیدها و کربنات‌های فلزی.....
۱۱۱.....	۶-۲-۳-۳ متیلی شدن زیستی.....
۱۱۱.....	۳-۳-۳ لیگندهای محلول.....
۱۱۲.....	۴-۳-۳ زمان، دما و «واکنش آهسته».....
۱۱۲.....	۱-۴-۳-۳ زمان.....
۱۱۳.....	۲-۴-۳-۳ محدودیت‌های پخشیدگی.....
۱۱۳.....	۳-۴-۳-۳ موانع انرژی جذب برای واکنش‌های اختصاصی.....
۱۱۳.....	۴-۴-۳-۳ رسوب سطحی و مجزا.....
۱۱۴.....	۵-۴-۳-۳ تأثیر ویژگی‌های خاک بر واکنش آهسته.....
۱۱۵.....	۶-۴-۳-۳ دما.....
۱۱۶.....	۴-۳-۳ مدل‌سازی جذب سطحی فلزات و شبه فلزات.....
۱۱۷.....	۱-۴-۳-۳ معادلات ساده ایزوترم جذب.....
۱۱۹.....	۲-۴-۳-۳ ارتباط معادله‌های جذب سطحی با ویژگی‌های خاک.....
۱۲۱.....	۳-۴-۳-۳ مدل‌های مکانیستیک جذب فلزات.....
۱۲۲.....	۱-۳-۴-۳ مدل WHAM-VI.....
۱۲۳.....	۲-۳-۴-۳ مدل NICA-Donnan.....
۱۲۴.....	۳-۳-۴-۳ کاربردهای مدل‌های WHAM و NICA-Donnan.....
۱۲۵.....	۴-۴-۳-۳ نتیجه‌گیری.....
۱۲۶.....	۱-۴-۴-۳ جاذب‌های منفرد.....
۱۲۶.....	۲-۴-۴-۳ جاذب‌های چندفازی.....
۱۲۶.....	۳-۴-۴-۳ فرایندهای کاهش و اکسایش.....
۱۲۶.....	۴-۴-۴-۳ «واکنش آهسته».....
۱۲۶.....	۵-۴-۴-۳ گونه‌بندی محلول.....
۱۲۷.....	منابع مورد استفاده.....
۱۳۳.....	فصل ۴. روش‌های تعیین فلزات سنگین و شبه فلزات در خاک
۱۳۴.....	۱-۴-۱ مقدمه.....
۱۳۶.....	۲-۴-۲ نمونه‌برداری صحرائی.....

- ۱۳۹-۳-۴- حفاظت، نگهداری و آماده‌سازی نمونه‌ها.....
- ۱۴۱-۴-۴- روش‌های مستقیم تجزیه.....
- ۱۴۱-۴-۴-۱- تجزیه فعال‌سازی نوترون دستگاهی (INAA).....
- ۱۴۱-۴-۴-۲- تکنیک‌های مبتنی بر اشعه X.....
- ۱۴۳-۴-۴-۳- طیف‌سنجی انکسار (تفکیک) لیزری (LIBS).....
- ۱۴۳-۴-۴-۴- طیف‌سنجی جرمی پلاسمای زوج القایی برسایش لیزری (LA-ICP-MS).....
- ۱۴۴-۴-۴-۵- نمونه‌برداری از مواد دوغابی.....
- ۱۴۵-۵-۴- هضم نمونه و استخراج ماده مورد تجزیه.....
- ۱۴۵-۵-۴-۱- هضم کل.....
- ۱۴۶-۵-۴-۲- غلظت شبه کل.....
- ۱۴۸-۵-۴-۳- عصاره‌گیری یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای (پی در پی).....
- ۱۵۱-۵-۴-۴- قابلیت زیست‌فراهمی و قابلیت دسترسی زیستی.....
- ۱۵۵-۶-۴- پیش‌تغلیظی و جداسازی مواد مورد تجزیه.....
- ۱۵۶-۷-۴- تکنیک‌های دستگاهی برای اندازه‌گیری فلزات سنگین.....
- ۱۵۷-۷-۴-۱- طیف‌سنجی اتمی.....
- ۱۵۷-۷-۴-۲- طیف‌سنجی جذب اتمی شعله‌ای.....
- ۱۶۱-۷-۴-۳- طیف‌سنجی جذب اتمی الکتروگرمایی (ETAAS).....
- ۱۶۲-۷-۴-۴- طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسمای زوج القایی (ICP-AES).....
- ۱۶۵-۷-۴-۵- طیف‌سنجی جرمی پلاسمای زوج-القایی (ICP-MS).....
- ۱۶۷-۷-۴-۶- انواع دیگر طیف‌سنجی اتمی.....
- ۱۶۸-۷-۴-۷- تکنیک‌های دیگر تجزیه‌ای.....
- ۱۶۸-۸-۴- گونه‌بندی و اندازه‌گیری گونه‌بندی.....
- ۱۷۰-۹-۴- تضمین کیفیت.....
- ۱۷۳-۱۰-۴- نتیجه‌گیری.....
- ۱۷۵- منابع مورد استفاده.....

فصل ۵. اثرات فلزات و شبه فلزات سنگین..... ۱۸۷

- ۱۸۷- بر موجودات زنده خاک.....
- ۱۸۸-۱- مقدمه و هدف فصل.....
- ۱۸۸-۲-۵- اثرات فلزات و شبه فلزات در مقیاس مولکولی.....
- ۱۸۹-۳-۵- اثرات در مقیاس سلولی تا موجود زنده.....

۴-۵ اثرات در مقیاس جمعیت، جامعه و اکوسیستم ۱۹۱

۵-۵ اثرات تکاملی؟ تطابق و سازگاری ۱۹۲

۶-۵ روش‌های تعیین اثرات کمی ۱۹۶

۱-۶-۵ کاربرد آزمایش‌های سمیت برای خاک‌ها در شرایط مزرعه ۱۹۷

۱-۶-۵ آزمایش‌های کرم خاکی ۱۹۷

۲-۱-۶-۵ تولید مثل دم‌فتری‌ها ۱۹۸

۳-۱-۶-۵ معدنی شدن نیتروژن ۱۹۸

۴-۱-۶-۵ میکروتوکس ۱۹۸

۲-۶-۵ چگونگی رفتار با مخلوط فلزات یا شبه فلزات ۱۹۹

۷-۵ نتیجه‌گیری ۲۰۰

منابع مورد استفاده ۲۰۰

فصل ۶ روابط خاک-گیاه فلزات و شبه فلزات سنگین ۲۰۹

۱-۶ مقدمه ۲۱۰

۲-۶ مرز مشترک گیاه-خاک: برهم‌کنش‌های میکروبی و مولکولی تعیین‌کننده جذب عناصر غذایی گیاهان ۲۱۰

۱-۲-۶ برهم‌کنش‌های مولکولی تعیین‌کننده جذب عناصر غذایی گیاهان ۲۱۰

۲-۲-۶ برهم‌کنش‌های میکروبی تعیین‌کننده جذب عنصری گیاه ۲۱۳

۱-۲-۲-۶ همزیستی مایکوریزا ۲۱۳

۲-۲-۲-۶ مشارکت گیاه-باکتری ۲۱۴

۳-۶ ریزجانداران همراه-گیاه: محافظت در برابر تنش فلزی ۲۱۷

۱-۳-۶ قارچ‌های مایکوریزا ۲۱۷

۲-۳-۶ باکتری‌های همراه گیاه ۲۱۹

۴-۶ واکنش‌های تنش فلزی گیاهان ۲۲۱

۱-۴-۶ هم‌ایستایی فلزی: کیلیت شدن و ترسیب ۲۲۱

۲-۴-۶ پاسخ‌های فیزیولوژیکی ۲۲۲

۳-۴-۶ تنش فلزی: یک چالش اکسایشی ۲۲۵

۵-۶ نتیجه‌گیری ۲۳۲

منابع مورد استفاده ۲۳۲

فصل ۷ فلزات و شبه فلزات سنگین به‌عنوان عناصر غذایی کم‌مصرف برای گیاهان و حیوانات ۲۳۷

۱-۷ مقدمه ۲۴۸

- ۲۴۸..... ۲-۷ عناصر کم مصرف فلز سنگین در تغذیه گیاه
- ۲۵۵..... ۳-۷ عناصر کم مصرف (شبه) فلز سنگین در تغذیه حیوان و انسان
- ۲۶۰..... ۴-۷ خاک‌هایی که در آن‌ها کمبود عناصر کم مصرف رایج است
- ۲۶۱..... ۵-۷ عوامل گیاهی مرتبط با کمبود عناصر کم مصرف
- ۲۶۲..... ۶-۷ نتیجه‌گیری
- ۲۶۲..... منابع مورد استفاده

فصل ۸. مقدار بار بحرانی فلزات سنگین در خاک ۲۶۵

- ۲۶۶..... ۱-۸-۱ مقدمه
- ۲۶۶..... ۱-۱-۸ اثرات مقادیر زیاد ورود فلزات بر سمیت بوم‌زیستی و سلامت انسان
- ۲۶۷..... ۱-۱-۸ شیوه‌های خطرسنجی برای آلودگی فلزات و رویکرد مقدار بار بحرانی
- ۲۶۸..... ۱-۱-۸ هدف فصل حاضر
- ۲۶۸..... ۲-۸ ارزیابی بحرانی فلزات در خاک و محلول خاک
- ۲۶۸..... ۱-۲-۸ دریافت کنندگان مربوطه و مقدار بار بحرانی آن‌ها
- ۲۶۸..... ۱-۱-۲-۸ دریافت کنندگان مربوطه
- ۲۶۹..... ۲-۱-۲-۸ انواع حدود بحرانی
- ۲۷۲..... ۲-۲-۸ حدود بحرانی غلظت فلزات خاک مرتبط با اثرات سمیت بوم‌زیستی
- ۲۷۲..... ۱-۲-۲-۸ غلظت بحرانی یون آزاد فلزات در محلول خاک
- ۲۷۳..... ۲-۲-۲-۸ غلظت کل بحرانی فلز در محلول خاک
- ۲۷۳..... ۳-۲-۲-۸ غلظت‌های فعال و کل بحرانی فلز در فاز جامد خاک
- ۲۷۵..... ۳-۲-۸ حدود بحرانی غلظت فلزات خاک در مورد سلامتی
- ۲۷۵..... ۱-۳-۲-۸ غلظت بحرانی فلزات خاک در مورد شاخص‌های کیفیت غذا برای محصولات کشاورزی
- ۲۷۵..... ۲-۳-۲-۸ غلظت بحرانی فلزات خاک در ارتباط با شاخص‌های کیفیت غذا برای محصولات دامی و اثرات آن بر سلامت حیوانات
- ۲۷۷..... ۳-۸ مفهومی و متدهای محاسبه مقدار بار بحرانی و مقدار بار هدف
- ۲۷۷..... ۱-۳-۸ مفاهیم
- ۲۷۸..... ۲-۳-۸ مدل‌های حالت پایدار برای محاسبه مقدار بار بحرانی
- ۲۷۹..... ۳-۳-۸ مدل‌های پویا ساده برای محاسبه مقدار بار هدف
- ۲۸۱..... ۴-۸ مثال‌های محاسبه مقدار بار بحرانی و مقدار بار هدف در اکوسیستم‌های خشکی
- ۲۸۱..... ۱-۴-۸ مقدار بار بحرانی و مقدار بار هدف کادمیم، سرب، مس و روی برای گروه‌های اصلی خاک
- ۲۸۲..... ۲-۴-۸ مقدار بار بحرانی و افزایش غلظت کادمیم، سرب، مس و روی در زیستگاه‌های طبیعی و نیمه-طبیعی در بریتانیا

۲۸۳	..... مقدار بار بحرانی کادمیم، سرب و جیوه در مقیاس اروپایی
۲۸۴	..... نکات مورد توجه در تعیین مقدار بار بحرانی
۲۸۴	..... انتخاب دریافت کنندگان و مسیرهای در معرض (آلودگی) قرار گرفتن و تعیین مقدار بار بحرانی
۲۸۶	..... اعتبار مقدار بار بحرانی و مقدار بار هدف
۲۸۶	..... پارامترهای مؤثر بر اعتبار
۲۸۶	..... مدل سازی گونه بندی در محلول خاک
۲۸۷	..... عدم قطعیت در تفکیک روابط بین خاک و محلول خاک
۲۸۸	..... رابطه ارزیابی مدل پویا از نظر مقیاس زمانی
۲۹۰	..... رابطه متد در سیاست گذاری
۲۹۱	..... منابع مورد استفاده

بخش دوم: فلزات و شبه فلزات سنگین مهم

۲۹۷	..... فصل ۹. آرسنیک
۲۹۸	..... ۱-۹ مقدمه
۲۹۹	..... ۲-۹ منشأ ژئوشیمیایی آرسنیک
۲۹۹	..... ۱-۲-۹ منابع جهانی و چرخه ی آن
۳۰۰	..... ۲-۲-۹ غلظت کل آرسنیک در خاک ها
۳۰۲	..... ۳-۹ منشأ آرسنیک در خاک ها
۳۰۲	..... ۱-۳-۹ مواد مادری خاک
۳۰۲	..... ۲-۳-۹ ریزش های اتمسفری
۳۰۲	..... ۳-۳-۹ آب های زیرزمینی
۳۰۶	..... ۴-۳-۹ مواد مورد استفاده در کشاورزی
۳۰۶	..... ۵-۳-۹ ضایعات، زیست جامدها و منابع دیگر آرسنیک
۳۰۷	..... ۴-۹ رفتار شیمیایی آرسنیک در خاک
۳۰۷	..... ۱-۴-۹ شکل های شیمیایی و گونه بندی آرسنیک در خاک ها
۳۰۷	..... ۱-۱-۴-۹ فاز جامد
۳۰۸	..... کانی های اولیه آرسنیک در خاک ها
۳۰۸	..... تجمع آرسنیک با کربنات ها و کلسیم
۳۱۰	..... تجمع آرسنیک با مواد آلی
۳۱۲	..... آرسنیک جذب سطحی شده

۳۱۶	..... عوامل مؤثر در جذب آرسنیک
۳۲۰	..... ۹-۴-۱ آب منفذی خاک
۳۲۴	..... ۹-۴-۲ تغییر شکل بیوژئوشیمیایی آرسنیک در خاک
۳۲۴	..... ۹-۴-۱ مکانیزم‌های میکروبی مؤثر در تغییر شکل آرسنیک
۳۲۵	..... ۹-۴-۲ تغییر شکل اکسایش-کاهش آرسنیک غیر آلی
۳۲۶	..... ۹-۴-۳ فرایندهای مؤثر در تغییر شکل زیستی ترکیبات آلی آرسنیک‌دار
۳۲۹	..... ۹-۴-۴ فرایندهای ریشه-رایزوسفر مؤثر در تغییر شکل آرسنیک
۳۳۰	..... ۹-۵ روابط خاک-گیاه آرسنیک
۳۳۱	..... ۹-۶ خاک‌های آلوده
۳۳۲	..... ۹-۷ نتیجه‌گیری
۳۳۳	..... منابع مورد استفاده
۳۳۳	فصل ۱۰. کادمیم
۳۴۴	..... ۱۰-۱ مقدمه: اهمیت زیست‌محیطی کادمیم در خاک
۳۴۷	..... ۱۰-۲ منشأ ژئوشیمیایی کادمیم
۳۴۸	..... ۱۰-۳ انتشار Cd در خاک و تعادل جرمی کادمیم خاک در اراضی کشاورزی
۳۵۲	..... ۱۰-۴ سرنوشت کادمیم در خاک
۳۵۲	..... ۱۰-۴-۱ مکانیزم‌های واکنش شیمیایی خاک
۳۵۶	..... ۱۰-۴-۲ واکنش‌های کند
۳۵۶	..... ۱۰-۴-۳ مدل‌ها و داده‌های حلالیت کادمیم در خاک‌های هوایی
۳۵۹	..... ۱۰-۴-۴ سرنوشت کادمیم در خاک‌های احیایی
۳۶۰	..... ۱۰-۵ کادمیم در محصولات کشاورزی
۳۶۰	..... ۱۰-۵-۱ انتقال کادمیم از خاک به گیاه
۳۶۲	..... ۱۰-۵-۱-۱ زیست‌فراهمی کادمیم خاک
۳۶۴	..... ۱۰-۵-۲ تغییرات غلظت کادمیم گیاه در محصولات مختلف
۳۶۵	..... ۱۰-۵-۲ جذب کادمیم از هوا
۳۶۶	..... ۱۰-۵-۳ مدل‌ها و داده‌های مربوط به غلظت کادمیم در محصولات گیاهی
۳۶۶	..... ۱۰-۶ سمیت بوم‌زیستی کادمیم در خاک
۳۶۹	..... ۱۰-۷ خطرسنجی کادمیم و مدیریت اراضی آلوده به کادمیم
۳۷۲	..... ۱۰-۷-۱ مدیریت خطر آلودگی کادمیم
۳۷۳	..... منابع مورد استفاده

۳۷	فصل ۱۱. کروم و نیکل
۳۷۸	۱-۱۱ مقدمه
۳۸۱	۲-۱۱ منشأ نیکل و کروم در خاک‌ها (منابع ژئوشیمیایی و آلودگی)
۳۸۵	۳-۱۱ رفتار شیمیایی نیکل و کروم در خاک
۳۸۸	۴-۱۱ روابط خاک-گیاه
۳۹۱	۱-۴-۱۱ خاک‌های سرپانتین
۳۹۳	۵-۱۱ خاک‌های آلوده به نیکل و کروم
۳۹۶	۶-۱۱ نتیجه‌گیری
۳۹۶	منابع مورد استفاده
۴۰۳	فصل ۱۲. کبالت و منگنز
۴۰۴	۱-۱۲ مقدمه
۴۰۴	۲-۱۲ منشأ ژئوشیمیایی
۴۰۶	۳-۱۲ شکل‌های کبالت و منگنز در خاک
۴۰۶	۱-۳-۱۲ شکل‌های محلول کبالت و منگنز
۴۰۶	۲-۳-۱۲ شکل‌های نامحلول کبالت و منگنز
۴۰۷	۱-۲-۳-۱۲ اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز
۴۰۹	۴-۱۲ رفتار در خاک
۴۰۹	۱-۴-۱۲ اکسیداسیون
۴۰۹	۱-۱-۴-۱۲ اتواکسیداسیون
۴۱۰	۲-۱-۴-۱۲ اکسیداسیون کاتالیزوری Mn^{2+}
۴۱۰	۳-۱-۴-۱۲ اکسیداسیون میکروبی منگنز (II)
۴۱۳	۲-۴-۱۲ احیا اکسیدهای منگنز
۴۱۴	۱-۲-۴-۱۲ پتانسیل اکسایش-کاهش
۴۱۵	۳-۴-۱۲ «تعادل»
۴۱۷	۱۵-۱۲ اکسیداسیون Co(II) به Co(III)
۴۱۷	۶-۱۲ شکل‌های گره‌ای منگنز
۴۱۹	۷-۱۲ میزان فراهمی منگنز برای گیاهان
۴۱۹	۱-۷-۱۲ عوامل مؤثر در قابلیت فراهمی منگنز
۴۲۲	۲-۷-۱۲ برآورد قابلیت فراهمی برای گیاه
۴۲۲	۱-۲-۷-۱۲ تجزیه گیاه

- ۴۲۲..... ۱۲-۷-۲ آزمون‌های رایج خاک
- ۴۲۳..... ۱۲-۷-۳ روش‌های عصاره‌گیری پی در پی
- ۴۲۴..... ۱۲-۸-۸ موارد دیگر مربوط به قابلیت فراهمی
- ۴۲۴..... ۱۲-۸-۱ مایکوریزای و زیکولار آربوسکولار
- ۴۲۴..... ۱۲-۸-۲ کمبود Mn ناشی از Zn
- ۴۲۵..... ۱۲-۸-۳ بیماری زردی ماندالا
- ۴۲۵..... ۱۲-۹-۹ قابلیت فراهمی کبالت، کمبود، آلودگی، سمیت و اصلاح آن
- ۴۲۶..... ۱۲-۹-۱ قابلیت فراهمی و کمبود کبالت
- ۴۲۷..... ۱۲-۹-۲ آلودگی و سمیت کبالت
- ۴۲۸..... ۱۲-۹-۳ اصلاح آلودگی کبالت
- ۴۲۹..... ۱۲-۱۰-۱۰ نقش اکسیدهای منگنز در سلامت خاک
- ۴۳۰..... ۱۲-۱۰-۱ MnO_x به‌عنوان یک اکسید کننده
- ۴۳۱..... ۱۲-۱۰-۲ جذب و «تضعیف اثر»
- ۴۳۲..... منابع مورد استفاده

فصل ۱۳. مس

- ۴۴۱.....
- ۴۴۲..... ۱۳-۱ مقدمه
- ۴۴۳..... ۱۳-۲ منشأ ژئوشیمیایی مس
- ۴۴۵..... ۱۳-۳ منشأ مس در خاک‌ها
- ۴۴۵..... ۱۳-۳-۱ مواد مادری خاک
- ۴۴۶..... ۱۳-۳-۲ ریزش‌های اتمسفری
- ۴۴۸..... ۱۳-۳-۳ مواد مورد استفاده کشاورزی و لجن فاضلاب
- ۴۴۹..... ۱۳-۳-۴ وسایل حمل و نقل و منابع دیگر
- ۴۴۹..... ۱۳-۴ رفتار شیمیایی مس در خاک
- ۴۴۹..... ۱۳-۴-۱ واکنش‌های شیمیایی کلی مس در خاک
- ۴۵۱..... ۱۳-۴-۲ تفکیک جامد-مایع
- ۴۵۲..... ۱۳-۴-۳ فرایندهای ناشی از اثر زمان: اثر زمان بر سرنوشت مس در خاک
- ۴۵۵..... ۱۳-۵ روابط خاک-گیاه در مس
- ۴۵۷..... ۱۳-۶ سمیت مس در خاک
- ۴۵۷..... ۱۳-۶-۱ سمیت مس برای گیاهان، بی‌مهرگان و ریزجانداران
- ۴۶۱..... ۱۳-۶-۲ تأثیر ویژگی‌های خاک بر سمیت مس در خاک

۴۶۳..... ۱۳-۶-۳ سمیت مس در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب و کود آلی

۴۶۴..... ۱۳-۶-۴ غلظت بحرانی مس در خاک

۴۶۶..... ۱۳-۷-۷ خاک‌های آلوده

۴۶۶..... ۱۳-۸-۸ نتیجه‌گیری

۴۶۷..... منابع مورد استفاده

فصل ۱۴. سرب..... ۴۷۳

۴۷۳..... ۱۴-۱-۱ مقدمه

۴۷۴..... ۱۴-۲-۲ منشأ ژئوشیمیایی

۴۷۴..... ۱۴-۳-۳ منشأ سرب در خاک

۴۷۴..... ۱۴-۳-۱ مواد مادری خاک

۴۷۵..... ۱۴-۳-۲ ریزش‌های اتمسفری

۴۷۶..... ۱۴-۴-۴ رفتار شیمیایی سرب در خاک

۴۷۷..... ۱۴-۴-۱ گونه‌بندی شیمیایی سرب در خاک

۴۷۷..... ۱۴-۴-۲ آشوبی سرب از خاک سطحی آلوده

۴۷۸..... ۱۴-۵-۵ منابع و پیامدهای آلودگی سرب در خاک

۴۷۸..... ۱۴-۵-۱ سرب حاصل از دود اتومبیلها

۴۷۹..... ۱۴-۵-۲ فعالیت‌های معدنی و کوره‌های ذوب سرب

۴۷۹..... ۱۴-۳-۳ لجن‌های فاضلاب

۴۸۰..... ۱۴-۵-۴ خاک میدان‌های تیراندازی

۴۸۱..... ۱۴-۵-۵ خاک‌های مناطق شهری

۴۸۱..... ۱۴-۶-۶ روابط خاک-گیاه

۴۸۳..... ۱۴-۷-۷ اصلاح خاک‌های آلوده به سرب

۴۸۴..... منابع مورد استفاده

فصل ۱۵. جیوه..... ۴۸۹

۴۹۰..... ۱۵-۱-۱ مقدمه

۴۹۰..... ۱۵-۱-۱ مصارف جیوه در گذشته و در حال حاضر

۴۹۱..... ۱۵-۱-۲ رهاسازی جیوه به محیط‌زیست

۴۹۲..... ۱۵-۱-۳ اثرات مضر جیوه

۴۹۳..... ۱۵-۲-۲ منشأ ژئوشیمیایی

۴۹۴.....	۳-۱۵ منشأ جیوه در خاک‌ها.....
۴۹۴.....	۱-۳-۱۵ مواد مادری خاک.....
۴۹۴.....	۲-۳-۱۵ ریزش‌های اتمسفری.....
۴۹۶.....	۳-۳-۱۵ مواد کشاورزی.....
۴۹۷.....	۴-۳-۱۵ لجن فاضلاب.....
۴۹۷.....	۴-۱۵ رفتار شیمیایی جیوه در خاک.....
۴۹۷.....	۱-۴-۱۵ تشکیل و پایداری گونه‌های معدنی جیوه در خاک.....
۴۹۸.....	۲-۴-۱۵ تصعید جیوه از خاک.....
۴۹۹.....	۳-۴-۱۵ آشوبی جیوه از خاک.....
۴۹۹.....	۴-۴-۱۵ نگهداری جیوه در خاک‌های معدنی.....
۵۰۰.....	۵-۴-۱۵ متیلی شدن جیوه در خاک.....
۵۰۰.....	۶-۴-۱۵ غلظت و توزیع جیوه در خاک.....
۵۰۳.....	۵-۱۵ جیوه در سیستم خاک-گیاه.....
۵۰۴.....	۶-۱۵ خاک‌های به شدت آلوده به جیوه.....
۵۰۴.....	۷-۱۵ توزیع جهانی جیوه.....
۵۰۵.....	منابع مورد استفاده.....
۵۱۱.....	فصل ۱۶. سلنیم
۵۱۲.....	۱-۱۶ مقدمه.....
۵۱۳.....	۲-۱۶ ژئوشیمی سلنیم.....
۵۱۴.....	۳-۱۶ غلظت، رفتار و زیست‌فراهمی سلنیم برای گیاه در خاک.....
۵۱۴.....	۱-۳-۱۶ منشأ سلنیم خاک و سطوح متغیر آن در پوسته‌ی زمین.....
۵۱۵.....	۲-۳-۱۶ نقش ریزش‌های اتمسفری به‌عنوان منبع سلنیم در خاک.....
۵۱۶.....	۳-۳-۱۶ گونه‌بندی سلنیم در خاک: ترکیبات معدنی.....
۵۱۹.....	۴-۳-۱۶ گونه‌بندی سلنیم در خاک: ترکیبات آلی.....
۵۲۱.....	۵-۳-۱۶ جذب سطحی سلنیم در خاک.....
۵۲۲.....	۶-۳-۱۶ روابط خاک-گیاه سلنیم.....
۵۲۶.....	۷-۳-۱۶ امکان گیاه‌پالایی خاک‌های کشاورزی دارای سلنیم زیاد.....
۵۲۷.....	۴-۱۶ سلنیم در سلامت حیوانات و انسان.....
۵۲۷.....	۱-۴-۱۶ نقش برهم‌کنش‌های بیوشیمیایی هم‌افزا میان Se و اسید آمینه‌های S در دفاع آنتی‌اکسیدانی.....
۵۲۷.....	۲-۴-۱۶ سمیت سلنیم.....

۵۳۱	..... اثرات حفاظتی بهداشتی سلنیم	۱۶-۳-۴
۵۳۱	..... اثرات پادزهری در مقابل فلزات سمی	۱۶-۳-۴-۱
۵۳۲	..... DNA سنتز و ترمیم	۱۶-۳-۴-۲
۵۳۲	..... حفاظت آنتی‌اکسیدانی و ضد گرفتگی رگها	۱۶-۳-۴-۳
۵۳۳	..... یون‌های سلنید در پروتئین‌های آهن-گوگرد	۱۶-۳-۴-۴
	..... مشاهدات اپیدمولوژیکی بیانگر نیاز به جذب زیاد Se برای حفاظت بهینه در برابر سرطان و	۱۶-۳-۴-۵
۵۳۴	..... بیماری‌های قلبی عروقی است	
۵۳۵	..... HIV زنده‌مانی بیماران حامل	۱۶-۳-۴-۶
۵۳۶	..... بیماری کیشان، بیماری کاشین-بک و مایکروزودما	۱۶-۳-۴-۷
۵۳۷	..... بیماری کیشان	
۵۳۸	..... بیماری کاشین-بک	
۵۳۹	..... ضعیف شدن پا و آرتروز استخوان	
۵۴۰	..... مایکروزودما	
۵۴۱	..... تجربه‌ای از فنلاند و کوددهی سلنیم	۱۶-۵
۵۴۱	..... نتیجه‌گیری	۱۶-۶
۵۴۳	..... منابع مورد استفاده	
۵۵۳	..... فصل ۱۷. روی	
۵۵۴	..... مقدمه	۱۷-۱
۵۵۵	..... ژئوشیمی روی	۱۷-۲
۵۵۶	..... ورودی روی در خاک‌ها: ریزش‌های اتمسفری، کودهای حیوانی و لجن فاضلاب	۱۷-۳
۵۵۹	..... سرنوشت روی در خاک	۱۷-۴
۵۵۹	..... مکانیزم‌های واکنش شیمیایی خاک: انحلال معدنی، جذب سطحی و کمپلکس شدن محلول	۱۷-۴-۱
۵۶۱	..... واکنش‌های کند Zn در خاک: مفید برای سمیت، اما نامطلوب برای کاربرد کودها	۱۷-۴-۲
۵۶۴	..... تعیین شکل‌های مختلف و گونه‌بندی Zn در خاک‌ها	۱۷-۴-۳
۵۶۶	..... مدل‌ها و داده‌های حلالیت روی در خاک‌های دارای تهویه مناسب	۱۷-۴-۴
۵۶۷	..... سرنوشت روی در خاک‌های در شرایط احیایی	۱۷-۴-۵
۵۶۹	..... کمبود روی در گیاهان	۱۷-۵
۵۶۹	..... کمبود روی در خاک‌ها و زنجیره غذایی انسان	۱۷-۵-۱
۵۷۲	..... مدیریت کمبود روی: زیست‌غنی‌سازی	۱۷-۵-۲
۵۷۴	..... سمیت روی در خاک	۱۷-۶

۵۷۴	..... ۱۷-۱ تأثیر مرور زمان و خصوصیات خاک بر سمیت
۵۷۸	..... ۱۷-۲ سمیت روی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب
۵۷۸	..... ۱۷-۷ ارزیابی خطر روی در خاک
۵۸۲	..... ۱۷-۸ اصلاح خاک‌های آلوده به روی
۵۸۴	..... منابع مورد استفاده

بخش سوم: دیگر فلزات و شبه‌فلزات سنگین دارای اهمیت زیست‌محیطی

۵۹۱	..... فصل ۱۸. آنتیموان
۵۹۱	..... ۱-۱۸ مقدمه
۵۹۲	..... ۲-۱۸ منشأ سنگ‌شناسی و ژئوشیمی
۵۹۳	..... ۳-۱۸ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۵۹۶	..... ۴-۱۸ آلودگی خاک
۵۹۷	..... ۵-۱۸ خطر سنجی
۵۹۹	..... منابع مورد استفاده

۶۰۳	..... فصل ۱۹. بلزیم
۶۰۳	..... ۱-۱۹ مقدمه
۶۰۴	..... ۲-۱۹ منشأ سنگ‌شناسی و ژئوشیمی
۶۰۵	..... ۳-۱۹ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۰۷	..... ۴-۱۹ آلودگی خاک
۶۰۸	..... ۵-۱۹ ارزیابی خطر یا خطر سنجی
۶۰۹	..... منابع مورد استفاده

۶۱۳	..... فصل ۲۰. طلا
۶۱۳	..... ۱-۲۰ مقدمه
۶۱۵	..... ۲-۲۰ منشأ سنگ‌شناسی و ژئوشیمی
۶۱۷	..... ۳-۲۰ رفتار شیمیایی طلا در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۲۰	..... ۴-۲۰ آلودگی خاک
۶۲۱	..... ۵-۲۰ خطر سنجی
۶۲۳	..... منابع مورد استفاده

۶۲۷	فصل ۲۱. مولین
۶۲۷	۱-۲۱ مقدمه
۶۲۹	۲-۲۱ منشأ سنگ شناسی و ژئوشیمی
۶۳۰	۳-۲۱ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۳۲	۴-۲۱ آلودگی خاک
۶۳۳	۵-۲۱ خطر سنجی
۶۳۴	۶-۲۱ نتیجه گیری
۶۳۵	منابع مورد استفاده
۶۳۷	فصل ۲۲. توره
۶۳۷	۱-۲۲ مقدمه
۶۳۹	۲-۲۲ منشأ سنگ شناسی و ژئوشیمی
۶۴۰	۳-۲۲ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۴۱	۴-۲۲ آلودگی خاک
۶۴۲	۵-۲۲ خطر سنجی
۶۴۴	منابع مورد استفاده
۶۴۷	فصل ۲۳. تالیم
۶۴۷	۱-۲۳ مقدمه
۶۴۹	۲-۲۳ منشأ سنگ شناسی و ژئوشیمی
۶۴۹	۳-۲۳ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۵۱	۴-۲۳ آلودگی خاک
۶۵۲	۵-۲۳ خطر سنجی
۶۵۳	منابع مورد استفاده
۶۵۷	فصل ۲۴. قلع
۶۵۸	۱-۲۴ مقدمه
۶۵۹	۲-۲۴ منشأ سنگ شناسی و ژئوشیمی
۶۶۰	۳-۲۴ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۶۲	۴-۲۴ آلودگی خاک
۶۶۴	۵-۲۴ خطر سنجی
۶۶۵	منابع مورد استفاده

۶۶۷	فصل ۲۵. تنگستن
۶۶۷	۱-۲۵ مقدمه
۶۶۸	۲-۲۵ منشأ سنگ‌شناسی و ژئوشیمی
۶۶۹	۳-۲۵ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۷۰	۴-۲۵ آلودگی خاک
۶۷۱	۵-۲۵ خطر سنجی
۶۷۲	منابع مورد استفاده
۶۷۵	فصل ۲۶. اورانیم
۶۷۶	۱-۲۶ مقدمه
۶۷۷	۲-۲۶ منشأ سنگ‌شناسی و ژئوشیمی
۶۷۹	۳-۲۶ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۸۲	۴-۲۶ آلودگی خاک
۶۸۵	۵-۲۶ خطر سنجی
۶۸۶	۱-۵-۲۶ اورانیم تهی شده (DU)
۶۸۶	۲-۵-۲۶ اورانیم در آبهای زیرزمینی و آشامیدنی
۶۸۸	۳-۵-۲۶ توریم
۶۸۹	منابع مورد استفاده
۶۹۱	فصل ۲۷. وانادیم
۶۹۱	۱-۲۷ مقدمه
۶۹۳	۲-۲۷ منشأ سنگ‌شناسی و ژئوشیمی
۶۹۳	۳-۲۷ رفتار شیمیایی در خاک و قابلیت فراهمی برای گیاهان
۶۹۶	۴-۲۷ آلودگی خاک
۶۹۶	۵-۲۷ خطر سنجی
۶۹۸	منابع مورد استفاده
۷۰۱	حروف اختصاری

مقدمه مترجم

دانش بشر همواره با سرعتی شگفت آور در حال گسترش است. در همین راستا، تمامی مؤلفه‌های محیط‌زیست، از جمله خاک مورد استفاده شدید روزمره انسان قرار گرفته که در نتیجه وضعیت آن‌ها همواره در حال تغییرات کمی و کیفی است. در این راستا استفاده از روش‌ها و فناوری‌های جدید نیز باعث تشدید سرعت ورود انواع عناصر مختلف شیمیایی از جمله فلزات سنگین به محیط‌زیست در زندگی روزمره انسان گردیده است. متأسفانه یکی از پیامدهای ناگوار این امر، آلودگی سیستم‌های زیست‌محیطی مانند خاک و آب است. بدیهی است آگاهی از رفتار فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی عناصر سنگین در خاک و تأثیر آن‌ها بر موجودات زنده و انسان ضروری است. برای مدیریت خاک‌های آلوده در ابتدا لازم است نسبت به ویژگی‌های آلاینده‌ها شناخت کافی پیدا کرد. متأسفانه تا زمان انتشار این کتاب، منبع جامعی در مورد مبانی آلودگی فلزات سنگین در خاک به زبان فارسی منتشر نشده است. در این کتاب به‌طور جامع به خصوصیات خاک شناختی و فیزیکوشیمیایی طیف گسترده‌ای از (شبه)فلزات سنگین پرداخته شده است که از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی به شمار می‌روند. این نکته قابل تأکید است که کتاب حاضر که ترجمه ویرایش سوم آن است پژوهش‌ها و یافته‌های جدید در زمینه آلودگی فلزات سنگین در خاک را که در فاصله چاپ‌های قبلی به انجام رسیده و منتشر شده است به‌خوبی در خود جای داده است. ویرایش اخیر حاوی اطلاعات جامعی در مورد (شبه)فلزات سنگین آنتیموان، آرسنیک، باریم، کادمیم، کروم، کبالت، مس، طلا، سرب، منگنز، جیوه، مولیبدن، نیکل، سلنیم، نقره، تالیم، قلع، تنگستن، اورانیم، واندیم و روی است. این کتاب شامل اطلاعات ارزشمندی درباره منبع و مقدار فلزات سنگین، اهمیت زیست‌محیطی و عوامل مؤثر بر رفتار فیزیکوشیمیایی آن‌ها در خاک، شکل‌های مختلف شیمیایی این عناصر در خاک، قابلیت فراهمی و همچنین آلودگی و خطر سنجی آن‌ها در سیستم‌های خاک-گیاه-انسان است.

برخود وظیفه می‌دانم که از همکاران محترم آقایان دکتر سعید ملک‌زاده، دکتر امیر لکزیان، و دکتر

پرویز رضوانی مقدم که در انتخاب برخی واژه‌های تخصصی پیشنهادهای مفیدی کردند، قدردانی شود. همچنین از دانشجویان سابق دکتری علوم خاک خانم‌ها دکتر الهام امیری خبوشان و دکتر محبوبه اسلامی که در ترجمه پیش‌نویس اولیه برخی فصل‌ها (به ترتیب فصل‌های ۱ تا ۷، و فصل ۲۱) همکاری داشتند تشکر می‌شود.

امیر فتوت

استاد گروه علوم خاک دانشگاه فردوسی مشهد

تابستان ۱۳۹۷

Press.um.ac.ir