

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

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

اندازه گیری بور قابل استفاده – عصاره گیری با آب داغ

SWRI-S-116

شماره ثبت:

Rev-01-1403/10

ویرایش اول:

۱۴۰۳



روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری بور قابل استفاده—عصاره‌گیری با آب داغ		بفسش آزمایشگاه‌ها	

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک

اندازه‌گیری بور قابل استفاده—عصاره‌گیری با آب داغ

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: ۳۱۷۸۵-۳۱۱

کد پستی: ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵

تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۹۰۰

نمبر: ۰۲۶۳۶۲۱۰۱۲۱

پست الکترونیکی: info@swri.ir

وبسایت: <http://www.swri.ir>

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری بور قابل استفاده—عصاره‌گیری با آب داغ		بخش آزمایشگاه‌ها	

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه ۱
- ۲- بور محلول در آب داغ ۲
- ۱-۲- اصول ۲
- ۲-۲- وسایل ۲
- ۳-۲- مواد و/یا واکنشگرها ۳
- ۴-۲- روش کار ۳
- ۳- اندازه‌گیری بور به روش آزومتین-اچ ۳
- ۱-۳- اصول ۴
- ۲-۳- وسایل ۴
- ۳-۳- مواد و/یا واکنشگرها ۴
- ۴-۳- روش کار ۵
- ۳-۵- محاسبات و گزارش نتایج ۶

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب		
SWRI-S- 116	شماره ثبت			
Rev-01-1403/10	ویرایش اول			
صفحه ۱ از ۱۴		اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		بخش آزمایشگاه‌ها

۱- مقدمه

بور (B) یک عنصر غذایی ضروری و غیر فلزی برای گیاهان است. غلظت بور در پوسته زمین بسته به نوع سنگ از ۱ تا ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم متغیر است و از طریق فرآیند هوازدگی در خاک آزاد می‌شود [۱]. مقدار کل بور در خاک معمولاً از حدود ۲ تا بیش از ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم متغیر است و به‌طور میانگین حدود ۳۰ تا ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم است [۲]. غلظت بور در محلول خاک نیز معمولاً از ۰/۰۶۷ تا ۳ میلی گرم بر لیتر متغیر است [۳]. در شرایطی که محتوای بور خاک کمتر از ۰/۱ میلی گرم بر لیتر باشد، به احتمال زیاد کمبود آن در بسیاری از محصولات کشاورزی رخ دهد. همچنین اگر سطح بور خاک بیش از ۶ میلی گرم در کیلوگرم باشد، احتمال بروز سمیت وجود دارد [۴].

غلظت بور در محلول خاک معمولاً تحت تأثیر واکنش‌های جذب سطحی بور کنترل می‌شود [۵]. محتوای بور قابل دسترس گیاهان نیز به این واکنش‌ها وابسته است و گیاهان تنها به فعالیت بور در محلول خاک پاسخ می‌دهند [۶]. عوامل مؤثر بر قابلیت دسترسی و میزان جذب بور شامل pH محلول، بافت خاک، ماده آلی خاک، نوع مواد معدنی رس، حضور کربنات کلسیم ثانویه، رطوبت خاک و دما است. بور در خاک می‌تواند یا در محلول خاک وجود داشته باشد و یا روی مواد معدنی خاک مانند رس‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیوم (Al) و آهن (Fe) و مواد آلی طبیعی جذب شود. در خاک‌های خنثی یا اسیدی (یعنی $pH \leq 7$) فرم غالب بور مولکول خنثی اسید بوریک (H_3BO_3) است، در حالیکه در خاک‌های قلیایی، مقادیر قابل توجهی از بور به شکل آنیون‌های بورات (BO_3^{3-} یا $(B(OH)_4)^-$) وجود دارد [۷].

روش‌های مختلفی از جمله استخراج بور محلول در آب داغ، بور قابل تبادل با مانیتول و بور قابل استخراج با عصاره‌گیر مهلیج ۳ برای پیش‌بینی پاسخ گیاهان به بور بکار رفته است. با این وجود، رایج‌ترین روش مورد استفاده برای تعیین بور قابل استفاده گیاه، عصاره‌گیری با آب داغ است که در آزمایشگاه‌های خاک و آب کشور نیز برای ارزیابی بور قابل

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۲ از ۱۴	اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		
		بخش آزمایشگاه‌ها	

استفاده بکار می‌رود. این روش به این دلیل استفاده می‌شود که مقدار بور استخراج شده با این روش همبستگی مثبتی با واکنش رشد گیاهان دارد، زیرا بور را از منابع جذب شده، آلی و محلول خاک استخراج می‌کند [۸، ۹].

۲- بور محلول در آب داغ

۲-۱- اصول

روش استخراج با آب داغ که توسط Berger و Truog در سال ۱۹۳۹ معرفی و بعدها اصلاح شد، همچنان به‌عنوان محبوب‌ترین روش برای اندازه‌گیری بور قابل دسترس در خاک، یا بخشی از بور مرتبط با رشد گیاه در خاک‌های قلیایی، شناخته می‌شود [۱۰]. در این روش بور محلول در آب، که شکل قابل استفاده برای گیاه است، از طریق جو شاندن با آب داغ از خاک استخراج می‌شود. غلظت بور در عصاره‌های خاک از طریق روش رنگ سنجی با استفاده از آزومتین-اچ^۱ [۱۱]، طیف‌سنج جذب اتمی (AAS) یا طیف‌سنج نشر اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES/ICP-AES) اندازه‌گیری می‌شود. اصل روش آزومتین-H بر اساس واکنش کاتالیز شده توسط بور میان اسید ۸-آمینونفتیل ۱-اول-۶،۳-پیروسفوریک با سالیسیلیک آلدهید است (شکل ۲). در pH=6 و در حضور اشکال حل‌شده بورات‌ها، واکنش تراکمی به‌سرعت (در طی ۱۵ دقیقه) کامل می‌شود و یک کمپلکس زرد رنگ تشکیل می‌گردد.

۲-۲- وسایل

(۱) ظروف شیشه‌ای با بور کم.

(۲) کندانسور بازروانی آب خنک شده.

^۱ Azomethine-H

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۳ از ۱۴	اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		
		بخش آزمایشگاه‌ها	

۲-۳- مواد و/یا واکنشگرها

۱) کلسیم کلرید (CaCl_2) ۰/۰۲ مولار: مقدار ۲/۲۲ گرم CaCl_2 بی‌آب را در تقریباً ۹۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کنید و حجم محلول را با آب مقطر به یک لیتر برسانید.

۲-۴- روش کار

۱) مقدار معینی خاک هوا خشک (معادل ۲۰ گرم خاک آون خشک در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس) و حدود ۰/۴ گرم کربن فعال به یک بالن ته صاف دارای بور کم منتقل کنید.

۲) به‌منظور به‌دست آوردن عصاره‌های آب داغ شفاف برای اندازه‌گیری بور، مقدار ۴۰ میلی‌لیتر محلول کلسیم کلرید ۰/۰۲ مولار اضافه کنید.

۳) کندانسور بازروانی آب خنک شده را به این بالن متصل کنید. اگر کندانسور در دسترس نیست می‌توان از شیشه ساعت برای جلوگیری از خروج بخار آب و بازگرداندن آن به ظرف استفاده نمود.

۴) بالن را حرارت داده و از لحظه شروع جوشش دقیقاً به مدت ۵ دقیقه زمان بگیرید. جوشش باید خیلی آهسته و یکنواخت باشد.

۵) بالن را خنک کرده و سوسپانسیون را از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور دهید و مقدار مناسبی عصاره (مثلاً ۱۰ میلی‌لیتر) برای اندازه‌گیری بور جمع‌آوری نمایید.

۳- اندازه‌گیری بور به روش آزومتین-اچ

واکنشگر آزومتین-اچ از زمان معرفی توسط ولف [۱۲] (۱۹۶۷) به‌عنوان روشی برای اندازه‌گیری بور در مواد

گیاهی، عصاره‌های خاک و آب مورد استفاده قرار گرفت. این روش حساس، ساده، سریع است و در عین حال مزاحمت‌های اندکی دارد.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۴ از ۱۴	اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		بفش آزمایشگاه‌ها

۳-۱- اصول

در این روش از آزومتین-اچ به‌عنوان واکنشگر برای تشکیل کمپلکس رنگی $B(OH)_3$ در محیط‌های آبی استفاده می‌شود. آزومتین-اچ با $B(OH)_3$ ، مستقل از حضور طیف گسترده‌ای از املاح، بسیار سریع کمپلکس تشکیل می‌دهد. این روش نیازی به استفاده از اسیدهای غلیظ ندارد و در معرض تعداد بسیار کمی از عامل‌های مزاحم قرار دارد. در دامنه غلظتی ۰/۵ تا ۱ میلی گرم در لیتر، محلول آزومتین-اچ با $B(OH)_3$ برای تشکیل یک کمپلکس پایدار در pH ۵/۱ واکنش می‌دهد. حداکثر جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر رخ می‌دهد. ولف [۱۳] با تجزیه ۱۵۰۰۰ نمونه خاک، ۸۰۰۰ نمونه گیاه و ۱۰۰۰ نمونه آب، محلول غذایی، کمپوست و کود دامی، طول موج ۴۳۰ نانومتر را به‌دلیل حساسیت بیشتر آن پیشنهاد کرد. اشکال اصلی روش آزومتین-اچ برای خاک‌ها، خطای ناشی از مواد معلق یا محلول است که باعث تشکیل رنگ زرد در نمونه می‌شود. ولف [۱۳] و گاپتا [۱۴] استفاده از کربن فعال را برای رنگ‌زدایی عصاره‌های خاک پیشنهاد کردند. با این حال اضافه کردن بیش از حد کربن فعال می‌تواند منجر به از دست رفتن بور از محلول شود. با افزودن مقادیر ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ گرم کربن فعال به ۵۰ میلی لیتر محلول‌های مختلف بور میانگین بور بازیابی شده به ترتیب ۹۷/۴۶، ۹۴/۳۱، ۸۷/۷۱ و ۸۱/۷۰ درصد بود [۱۴]. روش زیر بر اساس روش تشریح شده از سوی گاپتا و استوارت [۱۵] با برخی اصلاحات است.

۳-۲- وسایل

(۱) اسپکتروفتومتر.

۳-۳- مواد و/یا واکنشگرها

۱- محلول آزومتین-اچ ($C_{17}H_{12}NNaO_8S_2 \cdot xH_2O$): مقدار ۰/۹ گرم آزومتین-اچ را در یک بالن ژوژه ۲۵۰ میلی لیتری ریخته سپس با افزودن مقداری آب مقطر آن را حل کرده و بعد ۲ گرم ال-آسکوربیک اسید^۱ و در حدود ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر ولرم به آن اضافه کنید و پس از خنک کردن به حجم ۲۵۰ میلی لیتر برسانید.

^۱ L-ascorbic acid

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۵ از ۱۴	اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		بفش آزمایشگاه‌ها

اگر محلول حاصل روشن نیست، آن را به آرامی حرارت دهید. این محلول را می‌توان برای ۷ روز در یخچال نگهداری کرد.

۲- محلول EDTA ۰/۰۲۵ مولار: مقدار ۴/۵۶۳ گرم از نمک EDTA دو سدیمی را در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کنید و حجم آن را با آب مقطر به ۵۰۰ میلی‌لیتر برسانید.

۳- محلول بافر: مقدار ۲۵۰ گرم آمونیم استات را در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کنید و با افزودن استیک اسید (تقریباً ۳۰۰ میلی‌لیتر) pH محلول نهایی را به ۴/۸ برسانید.

۴- محلول استاندارد بور: مقدار ۰/۵۷۱۷۴ گرم $B(OH)_3$ (عیار آزمایشگاهی) را در آب مقطر حل کرده و با آب مقطر به حجم یک لیتر برسانید. یک میلی‌لیتر از این محلول حاوی ۱۰۰ میکروگرم بور است. برای ساختن محلول استاندارد بور با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر محلول فوق را ۱۰ برابر رقیق کنید (برای مثال ۲۰ میلی‌لیتر از آن را در یک بالن حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتری پیپت کرده و با آب مقطر به حجم برسانید). از این محلول برای تهیه منحنی واسنجی استفاده می‌شود.

۵- کربن فعال شسته شده: یک لیتر محلول عصاره‌گیر را به ۵۰۰ گرم کربن فعال اضافه کنید و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ قرار گرفته بر روی قیف بوخنر عبور دهید. کربن فعال را چهار یا پنج بار به صورت پی‌درپی با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول عصاره‌گیر، شستشو دهید. در آخر کربن فعال را با آب مقطر شستشو داده و در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار دهید تا خشک شود.

۳-۴- روش کار

تهیه منحنی واسنجی

(۱) مقادیر صفر، ۱، ۳، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد ۱۰ میلی‌گرم در لیتر را به بالن‌های حجمی ۵۰ میلی‌لیتری انتقال دهید.

(۲) با افزودن آب مقطر حجم را به ۱۰ میلی‌لیتر برسانید.

(۳) مقدار ۲ میلی‌لیتر محلول EDTA و ۴ میلی‌لیتر محلول بافر به بالن‌ها اضافه کرده و خوب هم بزنید.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۶ از ۱۴	اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		بفش آزمایشگاه‌ها

- (۴) مقدار ۱۰ میلی‌لیتر محلول آزومیتین-اچ اضافه کنید و با آب مقطر به حجم برسانید.
- (۵) محتویات بالن‌ها را هم بزنید و برای توسعه رنگ به مدت ۲ ساعت به حال خود رها کنید.
- (۶) جذب را با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت کنید. غلظت نهایی بور در این بالن‌ها به ترتیب صفر، ۰/۲، ۰/۶، ۱/۲، ۱/۶ و ۲ میلی‌گرم در لیتر خواهد بود.

محلول نمونه

- (۱) محلول باید بی‌رنگ باشد. اگر نیست، کربن فعال (حداقل مقدار مورد نیاز) اضافه کرده و به مدت ۵ دقیقه تکان داده و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور دهید.
- (۲) مقدار مناسبی از نمونه بی‌رنگ (۱ تا ۱۷ میلی‌لیتر که در آن غلظت نهایی بور در دامنه منحنی واسنجی است) را به یک بالن حجمی ۲۵ میلی‌لیتری انتقال دهید. اگر این مقدار کمتر از ۱۵ میلی‌لیتر است، پیش از افزودن واکنشگرها (EDTA، بافر و آزومیتین-اچ) آب مقطر اضافه کنید و حجم محلول نهایی را به ۱۵ میلی‌لیتر برسانید.
- (۳) یک میلی‌لیتر محلول EDTA و ۲ میلی‌لیتر محلول بافر به بالن اضافه کنید و خوب هم بزنید.
- (۴) ۵ میلی‌لیتر محلول آزومیتین-اچ اضافه کنید و با آب مقطر به حجم برسانید.
- (۵) محتویات بالن را هم بزنید و برای توسعه رنگ به مدت ۲ ساعت به حال خود رها کنید.
- (۶) پس از ۲ ساعت، جذب را با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت کنید.

۳-۵- محاسبات و گزارش نتایج

غلظت بور را بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم، با استفاده از معادله زیر بدست آورید.

$$B \text{ (mg/kg)} = B \text{ (mg/L)} \times \frac{\text{حجم بالن (mL)}}{\text{حجم عصاره مصرفی (mL)}} \times \frac{\text{حجم کل عصاره خاک (mL)}}{\text{جرم خاک خشک (g)}} \quad (1)$$

- غلظت بور را بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم و با دو رقم اعشار گزارش نمائید.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۱۷ از ۱۴		اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ	بخش آزمایشگاه‌ها

نکات

۱- تمام ظروف شیشه‌ای پیش از استفاده باید با مخلوط ۱:۱ هیدروکلریک اسید و آب مقطر در حال جوشان شسته

شوند. عصاره‌های صاف شده پیش از تجزیه بور باید درون ظروف پلاستیکی نگهداری شوند [۱۶].

۲- استفاده از آزومتین-اچ نسبت به کارمین و کورکامین ارجحیت دارد، زیرا روش‌های کارمین و کورکامین مستلزم استفاده از اسید غلیظ هستند [۱۶، ۱۷].

۳- در خاک‌های مناطق مرطوب، یون‌های بورات ممکن است تمایل به آبشویی از خاک داشته باشند. از این‌رو، غلظت بور محلول در خاک‌های بسیار آبشویی شده کم است. از آنجایی که این خاک‌ها معمولاً دارای pH پایین هستند، خاک‌های اسیدی کمبود بور دارند [۱۷].

۴- در خاک‌های مناطق خشک، یون‌های بورات معمولاً تحت تأثیر آبشویی قرار نمی‌گیرند. از این‌رو، در pH شدیداً قلیایی این خاک‌ها ممکن است دارای مقدار بیش از اندازه بور برای رشد گیاه باشند. کمبود بور در بیشتر موارد ممکن است در التی‌سول‌ها و اکسی‌سول‌ها رخ دهد در حالی که سمیت بور می‌تواند در اریدی‌سول‌ها برجسته باشد. این مورد در تقابل با سایر عناصر غذایی کم مصرف است [۱۷].

۵- حضور کلسیم کلرید در محلول عصاره‌گیر مقدار بور استخراج شده را تغییر نمی‌دهد و عصاره شفاف و بی‌رنگی به دست می‌دهد که برای تجزیه با روش‌های ICP و اسپتکروفتومتری با استفاده از واکنشگرهایی مثل آزومتین-اچ بسیار مناسب است [۱۸].

۶- خاک‌هایی که دارای ماده آلی بالایی هستند ممکن است نیاز به مقدار بیشتری کربن فعال برای به دست آوردن عصاره بی‌رنگ داشته باشند، اما اضافه کردن مقدار بیش از حد کربن فعال می‌تواند مقدار بور موجود در عصاره را کاهش دهد [۱۶، ۱۸].

۷- اگر محلول صاف شده بی‌رنگ نباشد، ممکن است لازم باشد که استخراج با مقدار بیشتری کربن فعال تکرار شود [۱۶].

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۸ از ۱۴	اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		بخش آزمایشگاه‌ها

۸- گپتا [۱۴]، برای تهیه عصاره شفاف در خاک‌های دارای کمتر از ۳ درصد ماده آلی، استفاده از ۰/۴ گرم کربن فعال به ازای ۲۵ گرم خاک و برای خاک‌های دارای ۳/۱-۴/۱ درصد ماده آلی، استفاده از ۰/۸ گرم کربن فعال به ازای ۲۵ گرم خاک را پیشنهاد کرد. مقادیر بیشتر از ۰/۸ گرم کربن فعال به ازای ۲۵ گرم خاک برای خاک‌های دارای ماده بیشتر از ۴/۱ درصد ضروری است.

۹- مقدار کربن فعال اضافه شده می‌تواند بسته به مقدار ماده آلی خاک متغیر باشد و باید فقط حداقل مقداری استفاده شود که پس از ۵ دقیقه جوشاندن عصاره بی‌رنگی تولید شود. مقدار بیش از حد کربن فعال می‌تواند مقدار بور قابل استخراج را کاهش دهد [۱۷].

منابع مورد استفاده

۱. شهبازی، ک.، مارزی، م.، محمدی، م. ح.، اسدی، ح.، فتحی گردلیدانی، ا.، هاشمی نسب زواره، ک.، طلوعی، ر.، بهشتی، م.، آویژگان، ا.، چراغی، م. ۱۴۰۳. روش‌های تجزیه خاک: نمونه برداری، روش‌های شیمیایی و فیزیکی. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱، ۱-۱۰۷۴.
2. Swaine, D.J., *The trace element content of soils*. 1955.
3. Kabata-Pendias, A., *Trace elements in soils and plants*. 2000. CRC press.
4. Grieve, C.M., S.R. Grattan, and E.V. Maas, *Plant salt tolerance*. ASCE manual and reports on engineering practice, 2012. **71**: p. 405-459.
5. Adair, R., *Boron*. 2007: The Rosen Publishing Group, Inc.
6. Keren, R., *Boron*. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods, 1996. **5**: p. 603-626.
7. Wimmer, M.A., S. Goldberg, and U.C. Gupta, *8 Boron*. Handbook of plant nutrition, 2015: p. 305.
8. Offiah, O. and J. Axley, *Soil testing for boron on acid soils*. 1993.
9. Sarkar, D., et al., *Soil properties influence distribution of extractable boron in soil profile*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2008. **39**(15-16): p. 2319-2332.
10. Berger, K. and E. Truog, *Boron determination in soils and plants*. Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition, 1939. **11**(10): p. 540-545.
11. Wolf, B., *The determination of boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solutions*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1971. **2**(5): p. 363-374.
12. Shanina, T., *Quantitative analysis of heteroorganic compounds. Spectrophotometric microdetermination of boron*. J. Anal. Chem., 1967. **22**: p. 663-667.
13. Wolf, B., *Improvements in the azomethine-H method for the determination of boron*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1974. **5**(1): p. 39-44.
14. GUPTA, U.C., *Some factors affecting the determination of hot-water-soluble boron from Podzol soils using azomethine-H*. Canadian Journal of Soil Science, 1979. **59**(3): p. 241-247.

روش عملیاتی استاندارد تمیزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
صفحه ۹ از ۱۴	اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عماره‌گیری با آب داغ		بفش آزمایشگاه‌ها

15. Gupta, S., *The extraction and determination of plant-available boron in soils*. Schweizerische landwirtschaftliche forschung, 1975. **14**: p. 153-169.
16. Gregorich, E.G. and M.R. Carter, *Soil sampling and methods of analysis*. 2007: CRC press.
17. Estefan, G., *Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region*. 2013, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
18. Shahbazi, K. and A. Fathi-Gerdelidani, *Evaluation of methods proposed by ICARDA and the soil science society of America for determination of soil available boron*. Iranian Journal of Water and Soil Research, 2021. **51**(11): p. 2827-2838.

روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک		موسسه تحقیقات خاک و آب	
SWRI-S- 116	شماره ثبت		
Rev-01-1403/10	ویرایش اول		
اندازه‌گیری بور قابل استفاده-عصاره‌گیری با آب داغ		بخش آزمایشگاه‌ها	

تهیه و تدوین:

ارژنگ فتحی گردلیدانی

دانش آموخته دکتری دانشگاه تهران، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

مصطفی مارزی

عضو هیات علمی بخش آزمایشگاه‌ها (بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود)، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

کریم شهبازی

رئیس بخش آزمایشگاه‌ها (بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود)، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

میثم چراغی

دانش آموخته دکتری دانشگاه تهران، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از کلیه کارشناسان محترم بخش آزمایشگاه‌ها (بخش تحقیقات شیمی و فیزیک خاک و فناوری کود) بویژه سرکار مهندس خانم فاطمه پرویزی، آقایان مهندس منصور کوهستانی، و دکتر سجاد بیات که تجربیات سالیان متمادی کار در آزمایشگاه را سخاوتمندانه در اختیار مولفان قرار دادند، تشکر و قدردانی می‌گردد. این روش عملیاتی استاندارد تجزیه خاک با حمایت مالی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و محل موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شده است و بدین وسیله نویسندگان از آن مجموعه محترم تقدیر می‌نمایند.



MINISTRY OF AGRICULTURE - JAHAD
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil and Water Research Institute of Iran
Laboratories Division

Standard Operation Procedure for Soil Analysis

**Determination of Available Boron-Boiling Water
Extraction**

Record No: SWRI-S-116

Version: Rev-01-1403/10

2025

