

مقایسه سه روش عصاره‌گیری مقادیر قابل دسترس فلزات سنگین مس،

کادمیم، سرب و نیکل برای گیاه گندم در خاک‌های متأثر

از شوری در استان خوزستان

میثم رضائی¹، کامبیز بازرگان، کریم شهبازی و وحیداله جهان‌دیده مهجن آبادی

استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ Meisam.rezaei1@gmail.com

دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ bazargan_k@yahoo.com

دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ shahbazikarim@yahoo.com

محقق مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ Vahid.jahandideh67@gmail.com

دریافت: 99/12/13 و پذیرش: 1400/7/4

چکیده

اطلاعات در باره ارزیابی آلودگی خاک و کاربرد عصاره‌گیرهای مناسب برای تعیین مقادیر قابل استفاده گیاه از فلزات سنگین در خاک‌های آهکی و شور کشور محدود است. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شوری و مقایسه عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA pH 7.3 در تعیین مقادیر قابل استفاده گیاه از فلزات سنگین شامل مس، کادمیم، سرب و نیکل در خاک‌های آهکی و شور استان خوزستان انجام شد. تعداد 63 نمونه خاک از اراضی زیر کشت گندم در این استان جمع‌آوری و در آنها گیاه گندم در شرایط گلخانه و با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار کشت شد. با توجه به محدودیت شوری خاک‌ها، آبخوبی متوالی به میزان دو برابر تخلخل در هر خاک انجام شد. مقادیر قابل استفاده گیاه از مس، کادمیم، سرب و نیکل در خاک‌ها با عصاره‌گیرهای مذکور قبل و بعد از آبخوبی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که عصاره‌گیر DTPA pH 7.3 کمترین مقادیر و EDTA pH 4.65 بیشترین مقادیر عناصر سنگین را استخراج نمودند. کاهش شوری بر اساس نوع فلز و عصاره‌گیر تأثیر متفاوتی بر استخراج فلزات سنگین مس، نیکل، کادمیم و سرب داشت و غلظت‌های استخراج شده عناصر از روند یکنواختی تبعیت نمودند. همبستگی مثبت معنی‌داری بین مس استخراج شده با هر سه عصاره‌گیر و غلظت مس گیاه وجود داشت. این همبستگی برای عصاره‌گیر DTPA pH 7.3 ($P \leq 0/01$ $r = 0/32$) بیشتر از عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65 ($P = 0/05$ $r = 0/27$) و EDTA pH 8.6 ($P \leq 0/05$ $r = 0/25$) بود. برای عناصر کادمیم و سرب تنها با عصاره‌گیر DTPA همبستگی مثبت و معنی‌داری (به ترتیب $P \leq 0/01$ $r = 0/33$ و $P \leq 0/05$ $r = 0/28$) به دست آمد. برای نیکل با هیچ یک از عصاره‌گیرها همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج، به نظر می‌رسد عصاره‌گیر DTPA را می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر برای تعیین مس قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی و شور خوزستان معرفی کرد. اما، با در نظر گرفتن شوری خاک، آبخوبی مورد نیاز، و همبستگی ضعیف کادمیم، سرب و نیکل با عصاره‌گیرهای این مطالعه، ارزیابی آنها نیازمند انجام مطالعات تکمیلی است.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های آهکی، عصاره‌گیر فلزات سنگین، شوری خاک، نی.دی.تی.ا، دی.تی.پی.ا

¹ نویسنده مسئول، آدرس: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

مقدمه

(ورود به گیاه و نیز آب زیرزمینی) می‌شود (آکوستا و همکاران، 2011؛ چو و همکاران، 2015). در سال‌های اخیر از عصاره‌گیرهای مختلفی به‌منظور تعیین مقادیر قابل استفاده عناصر سنگین در خاک استفاده شده است (بابایی بافقی و همکاران، 1396). عصاره‌گیرهای رقیق مثل آب و محلول نمکی خنثی معمولاً برای استخراج مقدار واقعی فلزات بسیار ضعیف‌اند، بنابراین این عصاره‌گیرها ممکن است قادر به تخمین قابلیت جذب و مقدار باقی مانده بر روی مکان‌های تبدلی نباشند (کم برآورد). از طرفی عصاره‌گیرهای قوی مثل اسیدهای معدنی، احتمالاً شرایط خاک را شدیداً تغییر می‌دهند و کانی‌های خاک را حل می‌کنند، بنابراین مقدار فلزی که این عصاره‌گیرها استخراج می‌کنند ارتباط خیلی کمی با مقدار قابل جذب برای گیاهان خواهد داشت (بیش برآورد) (بازرگان و همکاران، 1392). در میان تعداد زیاد عصاره‌گیرها، EDTA، DTPA و نمک‌های خنثی به‌طور گسترده استفاده و یا پیشنهاد شده‌اند (وانگ و همکاران، 2006؛ جلالی و خانلری، 2008).

ارزش هر عصاره‌گیر به میزان همبستگی بین مقدار عنصر استخراج شده با آن و مقدار جذب همان عنصر در گیاه بستگی دارد؛ درواقع عصاره‌گیر مناسب، محلولی است که بالاترین ضریب همبستگی را با مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه و سایر پاسخ‌های گیاهی نشان دهد (متقیان و همکاران، 1392؛ بابایی بافقی و همکاران، 1396). اطلاعات زیادی در مورد همبستگی مقادیر غلظت عناصر در گیاه با مقادیر عصاره‌گیری شده از خاک به‌دست آمده و روش‌هایی برای گیاهان مختلف و خاک‌های مختلف اعتبارسنجی شده‌اند (متقیان و همکاران، 1392؛ حسین‌پور و متقیان، 1392). متقیان و همکاران (1392) عصاره‌گیر AB-DTPA و مهلیج 3 را به‌عنوان عصاره‌گیرهای مناسب به‌منظور تعیین مس قابل استفاده خاک برای گندم در خاک‌های تیمار نشده و تیمار شده با لجن فاضلاب پیشنهاد کردند. منزیس و همکاران (2007) در

آلودگی یکی از معضلات زیان‌باری است که عمدتاً در جریان بهره‌برداری از منابع طبیعی و استفاده از سوخت‌های فسیلی، همچنین جنگ‌ها و انفجار چاه‌های نفت در قرن حاضر به محیط زیست وارد گردیده است. این پدیده با صنعتی شدن و نوگرایی جوامع شدت بیشتری یافته است. 8. خاک، پس از آب و هوا، سومین جزء عمده محیط زیست انسان محسوب می‌گردد که به‌شدت تحت تأثیر آلودگی قرار دارد. با توجه به شرایط زندگی امروز بشر، از بین منابع آلاینده خاک‌ها، فلزات سنگین از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند؛ زیرا مشکلات زیست‌محیطی زیادی از طریق افزایش غلظت این فلزات در خاک، آب و گیاهان بوجود می‌آید (رحمانیان و حسین‌پور، 1397).

علاوه بر مشکل شوری، موضوع آلاینده‌گی منابع خاک و آب به‌عناصر سنگین در بخش‌هایی از استان خوزستان از اهمیت زیادی برخوردار است که این امر استفاده از خاک‌ها را با مشکل روبه‌رو نموده است (بازرگان و همکاران، 1392؛ نیکفر و همکاران، 1398). برای شناخت موقعیت و شدت این آلودگی‌ها در خاک‌های اراضی کشاورزی این استان ضروری است مقادیر این عناصر در خاک اندازه‌گیری شده و پس از آن بر اساس شدت و قابلیت جذب این عناصر برای گیاهان مختلف، محدوده خطر حضور این عناصر تعیین و راهکارهای مدیریتی کاهش این خطرات تبیین گردد (بازرگان و همکاران، 1392).

مقدار فلز سنگین در خاک و جذب آن به‌وسیله گیاه، تحت تأثیر ویژگی‌های خاک از جمله شوری و عوامل گیاهی قرار دارد. گزارش‌ها حاکی از آن است که افزایش شوری و غلظت عناصر شیمیایی در محلول خاک سبب پویایی عناصر سنگین سرب، روی، مس، کروم، نیکل و به‌ویژه کادمیم می‌شود (بیتون و همکاران، 2000؛ دولایینگ و همکاران، 2008). بنابراین شوری سبب افزایش پویایی و ورود عناصر سنگین به زنجیره غذایی

کبالت، کادمیم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب، استرانسیم، اورانیم و روی گزارش شده است و این فلزات می‌توانند جایگزین کلسیم در کلسایت شوند (بازرگان و همکاران، 1392). بنابراین ممکن است در آزمایش خاک مقدار کل فلز سنگین بالا باشد ولی این مقدار در دسترس گیاه نبوده و گیاه قادر به جذب آن نباشد (بایبی بافقی و همکاران، 1396). برخی محققان معتقدند که اندازه‌گیری غلظت قابل استفاده عناصر سنگین خاک با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی، پیش‌بینی حرکت فلز از خاک به گیاه را بهتر از مقادیر غلظت کل ارزیابی می‌کند (وانگ و همکاران، 2006). این امر بسته به شرایط خاک و نوع گیاه متفاوت بوده و لذا عصاره‌گیرهای مختلفی بسته به عوامل دخالت دهنده شوری باید مورد آزمایش قرار گیرند.

همانطور که بیان شد مشکلات ناشی از آلودگی خاک به فلزات سنگین در استان خوزستان موجب نگرانی عمومی در مورد آلودگی مواد غذایی و منابع زیست محیطی به‌ویژه در مزارع زیر کشت گیاه گندم شده است. از طرف دیگر، به دلیل شرایط شور منابع خاک و آب و سطح بالای آب زیرزمینی، ارزیابی عصاره‌گیرهای مختلف مناسب جهت تعیین مقادیر قابل استفاده فلزات سنگین و پاسخ‌های گیاه گندم در خاک‌های آهکی و شور این استان محدود است که این امر مشکلاتی را در برآورد دقیق مقدار عناصر سنگین در این خاک‌ها به‌وجود آورده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شوری و مقایسه عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA pH 7.3 در تعیین مقادیر قابل استفاده فلزات سنگین مس، کادمیم، سرب و نیکل در خاک‌های آهکی و شور استان خوزستان انجام شد. این عصاره‌گیرها بر اساس سایر مطالعات انجام شده برای برآورد مقادیر قابل استفاده فلزات سنگین در خاک‌های مختلف انتخاب (وانگ و همکاران، 2006؛ جلالی و خانلری، 2008؛ متقیان و همکاران، 1392؛ حسین‌پور و متقیان، 1392) و همچنین بر اساس متداول بودن و کم هزینه بودن انتخاب شده‌اند.

تخمین عناصر سنگین، انواع عصاره‌گیرها را مورد آزمایش قرار دادند (104 مطالعه و 4500 اطلاعات نقطه‌ای جمع آوری شد). نتایج آنها نشان داد که نمک‌های طبیعی به‌عنوان عصاره‌گیر بهترین رابطه را بین مقدار عناصر سنگین موجود در خاک و میزان تجمع این عناصر در بافت گیاهی داشتند. از شش رابطه امتحان شده برای نمک‌های طبیعی، ترکیبات یک مولار استات آمونیم برای کادمیم، یک مولار نترات آمونیم برای کادمیم، 0/1 مولار نترات سدیم برای روی و 0/01 مولار کلرید کلسیم برای کادمیم ضریب همبستگی بیش از 0/50 و یک مولار نترات آمونیم برای روی و نیکل ضریب همبستگی 0/41 را نشان دادند. حسین‌پور و متقیان (1392) چند روش عصاره‌گیری را برای برآورد مقدار روی قابل استفاده آفتابگردان در خاک‌های آهکی آلوده به فلزات سنگین مورد آزمایش قرار دادند. این محققان همبستگی معنی‌داری بین روی استخراج شده با DTPA-TEA و غلظت و جذب روی در گیاه ($r=0/78$) و بین روی عصاره‌گیری شده مهلیچ 3 با غلظت ($r=0/68$) و جذب روی در گیاه ($r=0/80$) را گزارش دادند و نتیجه گرفتند که عصاره‌گیر DTPA-TEA و مهلیچ 3 توانایی برآورد روی قابل استفاده آفتابگردان در خاک‌های آلوده را دارا هستند.

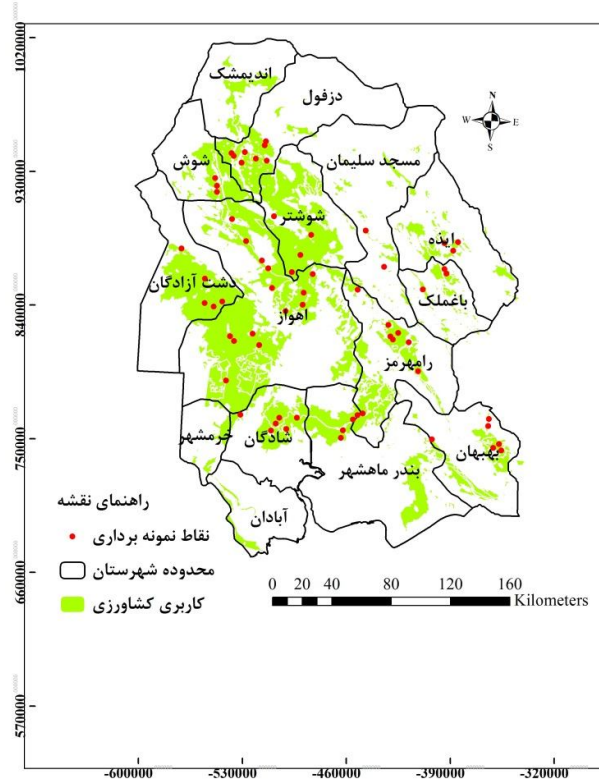
بخش زیادی از خاک‌های استان خوزستان آهکی و شور بوده که تأثیر زیادی بر pH خاک و در نتیجه رفتار فلزات سنگین دارد. همچنین 19 درصد اراضی کشاورزی استان خوزستان دارای شوری 4-16 دسی زیمنس بر متر، 31 درصد دارای شوری 16-32 دسی زیمنس بر متر و 31 درصد دارای شوری بیش از 32 دسی زیمنس بر متر می‌باشند (سعادت و همکاران، 1399). گزارش شده است که در استان خوزستان گندم در خاک‌های شور تا مقادیر 22/5 دسی زیمنس بر متر کشت می‌شود (گوشه و جعفرنژادی، 1398). فلزات سنگین ممکن است با کربنات رسوب کرده و وارد ساختمان آن شوند. یون‌های فلزات سنگین ممکن است بر فرآیندهای رسوب کربنات اثر بگذارند. بیشترین تمایل برای واکنش با کربنات در مورد

مواد و روش تحقیق

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

تعداد 63 نمونه خاک مرکب سطحی (عمق صفر تا 30 سانتیمتری) از مناطق مختلف کاربری کشاورزی با سابقه چندین ساله کشت گندم در سطح استان خوزستان جمع‌آوری شد (شکل 1). کلیه نمونه‌ها به‌منظور آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی هواخشک گردیده و از الک 2 میلیمتری عبور داده شدند. مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خشتی‌سازی آهک با اسید و تیتراسیون اسید

اضافی با سود (نلسون، 1989)، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر مواد آلی با اسید کرومیک و تیتراسیون برگشتی با فرو آمونیوم سولفات (واکلی و بلک، 1934) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از روش چاپمن (چاپمن، 1965) اندازه‌گیری شدند. مقدار pH خاک گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک در عصاره گل اشباع اندازه‌گیری شدند (پیچ، 1982). فسفر قابل استفاده خاک نیز به روش اولسن اندازه‌گیری گردید (اولسن و سومرس، 1982).



شکل 1- موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری در استان خوزستان

اندازه‌گیری نیکل، مس، سرب و کادمیم قابل استفاده در خاک‌ها

عصاره‌گیری نمونه‌های اولیه و اندازه‌گیری نیکل، مس، سرب و کادمیم قابل استفاده در خاک‌ها با

استفاده از عصاره‌گیرهای DTPA pH 7.3 (پیچ، 1982)، EDTA pH 4.65 (سیلانپا و جانسون، 1992) و pH 8.6

EDTA (تریوپیلر و لیندسی، 1969) و دستگاه ICP انجام شد.

آبشویی خاک‌های شور

نمونه‌های خاک اگرچه از مزارع تحت کشت گندم استان خوزستان تهیه گردیده بود ولی تعدادی از نمونه‌های برداشت شده به دلیل برداشت پس از کشت گندم در سطح استان، قابلیت هدایت الکتریکی بالایی داشتند. با این شرایط کشت گلدانی گندم در این خاک‌ها یا امکانپذیر نبود و گیاه با تنش شدید شوری مواجه می‌شد. بنابراین تصمیم گرفته شد که کلیه نمونه خاک‌ها در گلدان آبشویی و سپس کشت در آنها انجام شود. برای این کار ابتدا نمونه‌های خاک درون گلدان ریخته شد و طبق محاسبات به اندازه ظرفیت زراعی آب شهری دارای هدایت الکتریکی کمتر 0/8 دسی زیمنس بر متر به آنها اضافه گردید. سپس با مقدار آب مورد نظر برای شستشو یعنی به اندازه 2 برابر حجم آب مورد نیاز برای اشباع (2 pore volumes) آبشویی شدند. عمل شستشو طی دوبار متوالی انجام گرفت و در طول این کار روی گلدان‌ها پوشانده شد تا از تبخیر جلوگیری شود.

آماده‌سازی گلدان‌ها و کاشت گیاه گندم

یک آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه مؤسسه تحقیقات خاک و آب به اجرا درآمد. مقدار 5 کیلوگرم از هر خاک شستشو شده، خشک گردیده و پس از کوبیدن دوباره و عبور از الک 8 میلیمتری درون گلدان‌های 7/5 کیلوگرمی ریخته شد. در این مرحله به منظور جلوگیری از تأثیر منفی ناشی از کمبود مواد غذایی به‌ویژه فسفر، با توجه به نتایج اندازه‌گیری میزان فسفر قابل جذب در هر نمونه و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب (ملکوتی و غیبی، 1379)، به خاک‌های دارای فسفر کمتر از 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مقدار کود فسفوری لازم از منبع سوپر فسفات تریپل اضافه و سپس به‌طور کامل با خاک مخلوط گردید.

بذر گندم رقم پیشتاز با استفاده از الکل 96 درصد به مدت 30 ثانیه و محلول رقیق (5 درصد) هیپوکلریت

سدیم به مدت 5 دقیقه ضد عفونی و جهت حذف هیپوکلریت سدیم باقیمانده بر سطح بذور، چندین مرتبه با آب مقطر استریل شستشو شدند. بذرها ضد عفونی شده گندم به‌صورت یکنواخت بر روی محیط آب-آگار درون پتری‌دیش‌های شیشه‌ای پخش و پس از چند روز خوابانیدن در دمای 25 درجه سانتیگراد (درون انکوباتور) جوانه‌دار شدند. تعداد 10 بذر جوانه‌دار گندم در هر گلدان در عمق حدود 1 سانتیمتری از سطح کاشته شدند. عمل تنک کردن 15 روز پس از کاشت صورت گرفت و تعداد گیاهان موجود در هر گلدان به 6 عدد کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه با دمای شب/روز حدود $22/25 \pm 2$ درجه سانتی‌گراد، شدت نور 15000 لوکس و طول روز 12 ساعت به مدت 13 هفته نگه داشته و در طول این مدت روزانه تا رسیدن به ظرفیت زراعی آبیاری شدند (از طریق توزین روزانه گلدان‌ها).

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری عناصر سنگین

پس از 6 هفته اندام هوایی از ناحیه طوقه قطع گردید. به‌منظور برطرف نمودن آلودگی‌های ناشی از گرد و خاک و املاح ناشی از کودپاشی و آبیاری، اندام هوایی با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفت. نمونه‌های گیاهی به منظور خشک شدن به مدت 48 ساعت در آون با دمای 70 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس پودر گردیدند و میزان عناصر سنگین مس، سرب، کادمیم و نیکل آنها پس از هضم به روش خاکستر خشک (کمپیل و پلانک، 1998) با استفاده از ICP تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول 1 ارائه شده است. مقدار رس خاک‌ها از 12 تا 46 درصد، سیلت 24 تا 62 درصد و شن 8 تا 60 درصد متغیر بود. pH خاک‌ها

استفاده و شن زیاد بود. این نتایج می‌تواند به دلیل آن باشد که مزارع تحت مطالعه به‌وسیله عملیات خاکورزی و مقادیر و انواع کودها و اصلاح‌کننده‌های مختلف مدیریت می‌شوند، که می‌تواند تغییرپذیری بالا در برخی از ویژگی‌های خاک را توضیح دهند. مقادیر شوری علاوه بر ویژگی‌های ذاتی خاک‌ها، به دلیل تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق و همچنین کیفیت متفاوت آب آبیاری ضریب تغییرات بالا را نشان داد. یثربی و همکاران (2008) نیز مشابه این مطالعه ضریب تغییرات pH خاک را به‌عنوان کم‌ترین ضریب تغییرات در بین ویژگی‌های خاک در جنوب ایران گزارش کردند.

بین 7/01 تا 8/37، کربن آلی بین 0/1 تا 1/42 درصد و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها بین 5/20 تا 25/6 سانتی مول بر کیلوگرم بود. قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها قبل آیشویی از 0/80 تا 200 دسی زیمنس بر متر و بعد از آیشویی از 0/42 تا 5/63 دسی زیمنس بر متر متغیر بود. مقدار فسفر قابل دسترس از 1/6 تا 35/8 میلی‌گرم در کیلوگرم و کربنات کلسیم معادل خاک‌ها از 24/7 تا 63/2 درصد متغیر بود. بر اساس کلاس تغییرپذیری ضریب تغییرات ویلدینگ (1985)، تغییرپذیری pH کم، کربنات کلسیم معادل، رس و سیلت متوسط و EC قبل و بعد از آیشویی، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل

جدول 1- خلاصه آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

متغیر ^a	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
pH	-	7/01	8/37	7/43	3/59	0/87	1/23
EC قبل آیشویی	dS/m	0/80	200/00	24/30	176/00	3/05	8/98
EC بعد آیشویی	dS/m	0/43	5/63	1/48	67/40	1/44	2/95
کربن آلی	%	0/10	1/42	0/57	48/20	0/61	0/31
کربنات کلسیم معادل	%	24/70	63/20	42/60	20/20	0/006	-0/458
ظرفیت تبادل کاتیونی	cmol/kg	5/20	25/60	14/50	36/10	0/12	-0/80
فسفر قابل استفاده	mg/kg	1/60	35/80	9/20	77/30	1/72	2/46
رس	%	12/00	46/00	28/00	34/90	0/014	-1/15
شن	%	8/00	60/00	26/60	49/10	0/76	-0/13
سیلت	%	24/00	62/00	45/30	16/30	-0/78	1/26

^a کلیه ویژگی‌های ارائه شده به استثنای شوری بعد از آیشویی، مربوط به شرایط اولیه خاک‌ها (قبل آیشویی) هستند.

مقادیر عناصر نیکل، کادمیم، سرب و مس عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف تغییرات زیادی را نشان دادند که بیانگر مکانیسم متفاوت عصاره‌گیرها در استخراج این عناصر است. عصاره‌گیر EDTA بدون توجه به ویژگی‌های خاک به‌دلیل داشتن pH کمتر در مقایسه با عصاره‌گیر DTPA مقدار بیشتری از عناصر کم‌مصرف خاک را عصاره‌گیری می‌کند. از طرف دیگر عصاره‌گیر EDTA توانایی استخراج عناصر پیوند یافته با مواد آلی، اکسیدها و بخش‌هایی از عناصر موجود در کانی‌های رسی را دارا است (ساهوکیلو و همکاران، 2003). یکی دیگر از دلایل احتمالی توانایی کمتر DTPA در استخراج عناصر سنگین از خاک‌ها این است که این عصاره‌گیر دارای pH

میانگین مقادیر عناصر سنگین عصاره‌گیری شده در شرایط قبل و بعد از آیشویی در جدول 2 نشان داده شده است. عصاره‌گیر pH 4.65 EDTA مقادیر بیشتری از عناصر نیکل، کادمیم و سرب را در شرایط قبل از آیشویی (شور) و بعد از آیشویی (غیرشور) استخراج کرد، اگرچه عصاره‌گیر DTPA با اختلاف معنی‌داری مقادیر کمتری از این عناصر را استخراج نمود. همچنین عصاره‌گیر EDTA pH 4.65 در شرایط قبل از آیشویی و عصاره‌گیر EDTA pH 8.6 در شرایط بعد از آیشویی بیشترین مقدار مس را استخراج نمودند. به‌طور کلی ترتیب توانایی عصاره‌گیرها در استخراج عناصر سنگین از خاک‌ها به‌صورت EDTA pH 4.65 < pH 8.6 < DTPA بود. همچنین،

EDTA pH 4.65 و به میزان بیشتری به وسیله DTPA و EDTA pH 8.6 استخراج شد. گزارش شده است که به دلیل قدرت یونی بالا در شرایط شور، رهاسازی فلزات سنگین افزایش می‌یابد و پویایی عناصر سنگین با نوع نمک غالب همبستگی بالایی نشان می‌دهد به طوری که کلراید کلسیم و سدیم سبب رهاسازی و پویایی بیشتر کادمیم و سرب، کلراید منیزیم و سولفات سدیم سبب پویایی کادمیم و مس و کربنات‌ها سبب پویایی سرب در خاک می‌شوند (آکوستا و همکاران، 2011). در شرایط شور احتمالاً نمک‌ها با عصاره‌گیرهای استفاده شده تشکیل کمپلکس داده و سبب کاهش رهاسازی عناصر سنگین (به دلیل رقابت) شده‌اند و برعکس در شرایط آبخوبی شده عناصر سنگین در خاک با عصاره‌گیرها کمپلکس بیشتری تشکیل داده‌اند (به دلیل عدم تداخل نمک) و مقادیر بیشتری از آنها استخراج شده است. به نظر می‌رسد بر اساس نوع عصاره‌گیر، عنصر مورد نظر و نوع نمک غالب در خاک شور تأثیر آبخوبی و حذف نمک بر استخراج عناصر سنگین متفاوت است و در این رابطه بررسی‌های دقیق‌تری لازم است.

بافر شده با استفاده از تری اتانول آمین و همچنین حاوی کلراید کلسیم 0/01 مولار است که از انحلال کربنات کلسیم و آزاد شدن عناصر محبوس شده در آن جلوگیری می‌کند (لیندسی، 1979). به طور مشابه، در مطالعه‌ای عصاره‌گیر EDTA سه برابر بیشتر از عصاره‌گیر DTPA عنصر روی را از خاک‌های آهکی استخراج کرد (فلاتاح، 1998).

مقایسه مقادیر عناصر استخراج شده قبل و بعد از آبخوبی خاک‌ها نشان داد که آبخوبی (کاهش شوری) مقادیر استخراج شده عناصر سرب و مس خاک‌ها را به طور معنی‌داری افزایش داد اگرچه پیش‌فرض اولیه ما این بود که در شرایط شور (قبل از آبخوبی) به دلیل وجود یون کلراید و ایجاد کمپلکس‌های پایدار با این عناصر، غلظت آنها در محلول خاک و بنابراین در محلول حاصل از هر روش عصاره‌گیری بیشتر است (بازرگان و همکاران، 1392). حال آنکه با آبخوبی، عصاره‌گیر DTPA مقادیر کمتر و عصاره‌گیر EDTA pH 4.65 مقادیر بیشتری از کادمیم را نسبت به شرایط قبل از آبخوبی استخراج نمود. همچنین پس از آبخوبی نیکل به میزان کمتری توسط

جدول 2- مقایسه میانگین غلظت قابل دسترس عناصر سنگین اندازه‌گیری شده قبل و بعد از آبخوبی خاک‌ها

شرایط عصاره‌گیری	نوع عصاره‌گیری	نیکل	کادمیم	سرب	مس
(mg/kg)					
	DTPA	0/68f	0/065c	0/97e	1/11f
قبل از آبخوبی	EDTA pH 4.65	5/26a	0/992b	6/82b	2/89c
	EDTA pH 8.6	0/99d	0/058c	1/52d	2/76d
	DTPA	0/85e	0/042d	0/97e	1/17e
بعد از آبخوبی	EDTA pH 4.65	4/84b	1/251a	10/51a	3/32b
	EDTA pH 8.6	1/14c	0/067c	2/26c	3/43a

میانگین‌های دارای حروف مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح 0/05 ندارند.

(جدول 3 و 4). کادمیم استخراج شده به وسیله DTPA و EDTA pH 8.6 با EC قبل از آبخوبی همبستگی مثبت و معنی‌داری (مقادیر r به ترتیب 0/68 و 0/54) را نشان داد، اگرچه همبستگی معنی‌داری با EC بعد از آبخوبی مشاهده

نتایج نشان داد که بین برخی از ویژگی‌های خاک و عصاره‌گیرهای مختلف EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA برای عناصر نیکل، کادمیم، سرب و مس قبل و بعد از آبخوبی همبستگی معنی‌داری وجود دارد

نشد. از آنجایی که قبل از آیشویی اکثر خاک‌ها در محدوده شور قرار داشتند و بعد از آیشویی شوری آنها نیز کاهش یافت بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش شوری منجر به افزایش کادمیم استخراج شده با DTPA و EDTA pH 8.6 می‌شود. مطالعات زیادی افزایش غلظت کادمیم متحرک و قابل جذب در فاز محلول را با افزایش غلظت کلرید گزارش کرده‌اند. مطالعات بیتون و همکاران (2002) با استفاده از NaCl نشان داد که غلظت کادمیم در محلول خاک به‌طور خطی با افزایش غلظت کلرید در محلول خاک افزایش می‌یابد. خوشگفتارمنش و همکاران (2004) نیز مشاهده کردند که با افزودن NaCl به خاک، غلظت کادمیم در محلول خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کادمیم استخراج شده به‌وسیله EDTA pH 8.6 با کربنات کلسیم معادل قبل و بعد از آیشویی همبستگی منفی و معنی‌داری (به ترتیب $r = -0/34$ و $r = -0/41$) را نشان داد، اگرچه کادمیم استخراج شده به‌وسیله EDTA pH 4.65 از همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = 0/47$) با کربنات کلسیم معادل بعد از آیشویی برخوردار بود. کربنات کلسیم یکی از عوامل اصلی جذب کادمیم در خاک‌های آهکی است (مورید، 2014).

بنابراین می‌توان استنباط کرد که عصاره‌گیر EDTA pH 4.65 توانایی استخراج کادمیم نگه‌داری شده به‌وسیله کربنات کلسیم در خاک‌های آهکی-شور را دارا است. شاید بتوان یکی از دلایل این امر را به pH کمتر این عصاره‌گیر نسبت به عصاره‌گیر EDTA pH 8.6 نسبت داد که با کاهش pH خاک منجر به انحلال کربنات کلسیم و آزادسازی کادمیم می‌شود.

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مس عصاره-گیری شده به‌وسیله هر سه عصاره‌گیر DTPA، EDTA pH 4.65 و EDTA pH 8.6 با ظرفیت تبادل کاتیونی قبل و بعد از آیشویی (مقادیر همبستگی قبل از آیشویی به ترتیب 0/58، 0/55 و 0/70 و بعد از آیشویی به ترتیب 0/54، 0/65 و 0/68)، مقدار رس قبل و بعد از آیشویی (مقادیر همبستگی قبل از آیشویی به ترتیب 0/62، 0/37 و 0/55 و

بعد از آیشویی به ترتیب 0/54، 0/45 و 0/45) و کربن آلی بعد از آیشویی (مقادیر همبستگی به ترتیب 0/26، 0/29 و 0/29) مشاهده شد. مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی نقش مهمی در جذب سطحی مس در خاک ایفا می‌کند (حسین‌پور و دندان‌مزد، 2010). غلظت یون مس در محلول خاک نسبتاً کم است و قسمت عمده آن به کلونیدهای خاک به‌ویژه مواد معدنی رس و کربن آلی خاک متصل می‌شود (ولسک و پوهانکا، 2018). این نتایج به‌خوبی گویای آن است که هر سه عصاره‌گیر به‌خوبی می‌توانند مس جذب سطحی شده بر روی کلونیدهای رسی را قبل و بعد از آیشویی آزاد کنند. اما به نظر می‌رسد به دلیل عدم همبستگی معنی‌دار قبل از آیشویی و وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بعد از آیشویی بین کربن آلی و مس استخراج شده با هر سه عصاره‌گیر بتوان استنباط کرد که شوری زیاد از آزادسازی مس جذب سطحی شده بر روی کلونیدهای آلی ممانعت می‌کند و این خود می‌تواند مشکلاتی را در اندازه‌گیری مقدار دقیق مس قابل استفاده به‌وجود آورد. سینگ (1990) نشان دادند که تشکیل کمپلکس مس-ماده آلی منجر به کاهش مس محلول در عصاره‌گیرها می‌شود. هرچند همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مس استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف با مقدار ماده آلی خاک توسط مفتون و همکاران (2003) گزارش شده است.

نیکل عصاره‌گیری شده با هر سه عصاره‌گیر DTPA، EDTA pH 4.65 و EDTA pH 8.6 همبستگی مثبت و معنی‌داری را با ظرفیت تبادل کاتیونی قبل و بعد از آیشویی (مقادیر همبستگی قبل از آیشویی به ترتیب 0/48، 0/36 و 0/44 و بعد از آیشویی به ترتیب 0/51، 0/47 و 0/51) نشان داد. واقتی و همکاران (2016) گزارش کردند که ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار رس و کربن آلی مهم‌ترین ویژگی‌هایی هستند که جذب نیکل در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نتایج ما نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین نیکل استخراج شده با DTPA و کربن آلی خاک قبل و بعد از آیشویی (مقادیر

را نشان می‌دهد. در واقع به‌منظور کاهش تأثیر شوری بر عملکرد و حصول اطمینان از رشد گیاه گندم در عمل و در سطح مزرعه، بهره‌برداران و کشاورزان قبل از کشت اقدام به آبشویی خاک می‌نمایند، بنابراین در این پژوهش نیز قبل از کشت گیاه آبشویی انجام شد. نتایج نشان داد که هیچ یک از چهار عنصر مس، سرب، کادمیم و نیکل گیاه همبستگی معنی‌داری با pH نداشتند. در خصوص عنصر مس گیاه با توجه به همبستگی منفی با کربن آلی خاک ($r=-0/34$) می‌توان اظهار داشت که مواد آلی سبب تشکیل کمپلکس با مس شده و مقادیر این عنصر را به‌طور معنی‌داری از دسترس گیاه خارج می‌سازند (برانت و همکاران، 2008؛ اشتاینبرگ و هاج، 2018).

همبستگی به‌ترتیب 0/46 و 0/32) و نیکل استخراج شده با EDTA pH 8.6 قبل از آبشویی ($r=0/46$) وجود دارد. این نتایج به‌خوبی نشان‌دهنده آن است که عصاره‌گیر DTPA قادر به آزادسازی و اندازه‌گیری نیکل متصل به کلئیدهای آلی در خاک‌های شور و غیر شور می‌باشد. همبستگی بین سرب استخراج شده با هر سه عصاره‌گیر و ویژگی‌های خاک در اکثر موارد غیر معنی‌دار بود. با این وجود سرب استخراج شده با EDTA pH 8.6 قبل از آبشویی و با EDTA pH 4.65 بعد از آبشویی همبستگی مثبت معنی‌داری را با کربن آلی و رس (مقادیر همبستگی به‌ترتیب 0/24 و 0/31) نشان دادند.

جدول 5 همبستگی بین ویژگی‌های خاک‌های شسته شده (بعد از آبشویی) و مقادیر عناصر در گیاه گندم

جدول 3- همبستگی ویژگی‌های خاک‌های شسته نشده (شور-قبل از آبشویی) و مقادیر عناصر استخراج شده با عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA

رس	سیلت	شن	فسفر قابل استفاده	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	ظرفیت تبادل کاتیونی	EC	pH	
0/62*	0/20 ^{ns}	-0/57**	0/33**	0/21 ^{ns}	0/04 ^{ns}	0/58**	-0/13 ^{ns}	-0/03 ^{ns}	مس
0/15 ^{ns}	0/28*	-0/27*	0/15 ^{ns}	0/14 ^{ns}	-0/004 ^{ns}	-0/15 ^{ns}	0/22 ^{ns}	-0/05 ^{ns}	سرب
0/12 ^{ns}	0/13 ^{ns}	-0/16 ^{ns}	-0/16 ^{ns}	0/31*	0/13 ^{ns}	-0/003 ^{ns}	0/68**	-0/10 ^{ns}	کادمیم
0/36**	0/14 ^{ns}	-0/35**	-0/006 ^{ns}	0/46**	0/13 ^{ns}	0/48**	0/03 ^{ns}	0/11 ^{ns}	نیکل
0/37**	0/16 ^{ns}	-0/37**	0/26*	0/06 ^{ns}	0/04 ^{ns}	0/55**	-0/23 ^{ns}	-0/12 ^{ns}	مس
0/07 ^{ns}	0/04 ^{ns}	-0/08 ^{ns}	0/007 ^{ns}	-0/17 ^{ns}	-0/40 ^{ns}	0/10 ^{ns}	-0/12 ^{ns}	-0/08 ^{ns}	سرب
0/08 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	-0/16 ^{ns}	-0/19 ^{ns}	0/04 ^{ns}	0/16 ^{ns}	-0/19 ^{ns}	0/02 ^{ns}	کادمیم
0/18 ^{ns}	0/07 ^{ns}	-0/17 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	-0/02 ^{ns}	0/01 ^{ns}	0/36**	-0/18 ^{ns}	0/07 ^{ns}	نیکل
0/55**	0/21 ^{ns}	-0/53**	0/37**	0/21 ^{ns}	0/03 ^{ns}	0/70**	-0/24*	-0/08 ^{ns}	مس
0/19 ^{ns}	0/25*	-0/29*	0/25*	0/24*	-0/10 ^{ns}	-0/06 ^{ns}	0/18 ^{ns}	-0/02 ^{ns}	سرب
-0/13 ^{ns}	0/03 ^{ns}	0/08 ^{ns}	0/06 ^{ns}	0/45**	-0/34**	0/06 ^{ns}	0/54**	0/18 ^{ns}	کادمیم
0/19 ^{ns}	0/08 ^{ns}	-0/19 ^{ns}	0/05 ^{ns}	0/46**	0/12 ^{ns}	0/44**	-0/10 ^{ns}	0/14 ^{ns}	نیکل

*, **, ^{ns}: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان 1 درصد و 5 درصد و غیرمعنی‌دار.

جدول 4- همبستگی ویژگی‌های خاک‌های شسته شده (بعد از آبشویی) و مقادیر عناصر استخراج شده با عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، DTPA و EDTA pH 8.6

رس	سیلت	شن	فسفر قابل استفاده	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	ظرفیت تبادل کاتیونی	EC	pH	
0/54**	0/21 ^{ns}	-0/52**	0/37**	0/26*	0/02 ^{ns}	0/54**	0/03 ^{ns}	-0/02 ^{ns}	مس
0/05 ^{ns}	0/32*	-0/21 ^{ns}	0/18 ^{ns}	0/10 ^{ns}	-0/07 ^{ns}	-0/16 ^{ns}	0/25*	-0/08 ^{ns}	سرب
0/01 ^{ns}	0/05 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	-0/07 ^{ns}	-0/001 ^{ns}	0/11 ^{ns}	0/11 ^{ns}	0/14 ^{ns}	-0/05 ^{ns}	کادمیم
0/19 ^{ns}	0/007 ^{ns}	-0/15 ^{ns}	0/04 ^{ns}	0/32**	0/07 ^{ns}	0/51**	-0/21 ^{ns}	0/08 ^{ns}	نیکل
0/45**	0/29*	-0/50**	0/36**	0/29*	0/007 ^{ns}	0/65**	-0/02 ^{ns}	-0/02 ^{ns}	مس
0/31*	0/47**	-0/50**	0/23 ^{ns}	0/13 ^{ns}	0/20 ^{ns}	0/0007 ^{ns}	0/17 ^{ns}	-0/08 ^{ns}	سرب
0/29*	0/30*	-0/39**	0/12 ^{ns}	0/19 ^{ns}	0/47**	0/26 ^{ns}	-0/05 ^{ns}	-0/02 ^{ns}	کادمیم
0/20 ^{ns}	0/08 ^{ns}	-0/19 ^{ns}	0/04 ^{ns}	0/19 ^{ns}	0/07 ^{ns}	0/47**	-0/17 ^{ns}	0/16 ^{ns}	نیکل
0/45**	0/26*	-0/48**	0/29*	0/29*	0/03 ^{ns}	0/68**	-0/03 ^{ns}	-0/01 ^{ns}	مس
0/21 ^{ns}	0/36**	-0/36**	0/26*	0/19 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	0/02 ^{ns}	0/15 ^{ns}	-0/05 ^{ns}	سرب
-0/20 ^{ns}	0/07 ^{ns}	0/11 ^{ns}	0/19 ^{ns}	0/41**	-0/41**	0/18 ^{ns}	0/15 ^{ns}	0/15 ^{ns}	کادمیم
0/27*	0/007 ^{ns}	-0/20 ^{ns}	-0/01 ^{ns}	0/15 ^{ns}	0/10 ^{ns}	0/51**	0/03 ^{ns}	0/11 ^{ns}	نیکل

*، ** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان 1 درصد و 5 درصد و غیرمعنی‌دار.

همبستگی منفی معنی‌داری با ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل استفاده، شن، رس و سیلت و مثبت معنی‌داری با هدایت الکتریکی داشتند. میرجیلی و همکاران (1393) نشان دادند که بین غلظت مس برگ پسته و درصد رس همبستگی مثبت معنی‌داری ($r=0/40$) وجود داشت. رس را می‌توان به‌عنوان یکی از عوامل نگهداری مس در خاک در نظر گرفت که به احتمال زیاد این رس‌ها مس را به صورت تبادلی بر روی سطح خود نگه می‌دارند و قابلیت استفاده این عنصر را برای گیاه افزایش می‌دهند. ظرفیت تبادل کاتیونی ارتباط مستقیمی با درصد رس دارد. خاک با ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر، عناصر را به صورت قابل تبادل نگه داشته و در اختیار گیاه قرار می‌دهد (بابایی بافقی و همکاران، 1396). برعکس نتایج این پژوهش، جعفرنژادی و همکاران (1391) همبستگی مثبت معنی‌داری را بین درصد رس خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی با غلظت کادمیم گیاه گندم کشت شده در خاک‌های آهکی

این نتیجه برای دیگر عناصر صادق نبود زیرا عناصر نیکل، سرب و کادمیم گیاه به ترتیب بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با کربن آلی خاک نشان دادند. ترکیب کربن آلی با عنصر کادمیم باعث ایجاد ترکیبات محلولی در خاک می‌شود که حتی در مقادیر بالای pH خاک نیز این ترکیبات به صورت محلول وجود دارند (کاموبورکو و همکاران، 1996). به احتمال زیاد عناصر نیکل، سرب و کادمیم پیوند ضعیف‌تری با مواد آلی برقرار کرده‌اند (نسبت به پیوند مس با مواد آلی) به گونه‌ای که گیاه قادر به استفاده از آنها می‌باشد. همچنین همبستگی مثبتی بین غلظت کادمیم گیاه گندم با کربن آلی خاک در اراضی آهکی خوزستان گزارش شده است (جعفرنژادی و همکاران، 1391). عنصر مس همبستگی مثبت معنی‌داری با ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل استفاده، شن، رس و سیلت و منفی معنی‌داری با هدایت الکتریکی داشت و این در حالی است که سایر عناصر

با pH، EC، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد نتایج متفاوت مشاهده شده در پژوهش‌های مختلف و مطالعه حاضر احتمالاً به دلایل مختلف از جمله شرایط خاکی متفاوت (اعم از شوری و آهکی بودن)، نوع گیاه کشت شده و همچنین مقادیر اولیه غلظت عناصر سنگین در خاک باشد.

خوزستان مشاهده کردند. در یک مطالعه دیگر، شوری و غلظت کلر بر حلالیت کادمیم در خاک در مقیاس وسیع مؤثر بوده است ولی مقدار رس تأثیری نداشته است (امینی و همکاران، 2005). نصری‌فرد و همکاران (1392) نشان داده‌اند که غلظت سرب در گیاه گندم کشت شده در اراضی استان خوزستان همبستگی مثبت معنی‌داری با کربنات کلسیم معادل داشت، اگرچه هیچگونه همبستگی

جدول 5- همبستگی ویژگی‌های خاک‌های شسته شده (بعد از آبشویی) و غلظت عناصر در گندم

رس	سیلت	شن	فسفر قابل استفاده	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	ظرفیت تبادل کاتیونی	EC	pH	
0/29**	0/79**	0/44**	0/40**	-0/34**	0/21 ^{ns}	0/72**	-0/72**	-0/007 ^{ns}	مس
-0/30**	-0/61**	-0/45**	-0/45**	0/30*	-0/30*	-0/62**	0/72**	0/007 ^{ns}	کادمیم
-0/39**	-0/85**	-0/57**	-0/45**	0/36**	-0/33**	-0/78**	0/84**	-0/12 ^{ns}	سرب
-0/36**	-0/82**	-0/58**	-0/45**	0/41**	-0/30*	-0/77**	0/85**	0/20 ^{ns}	نیکل

*، ** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان 1 درصد و 5 درصد و غیرمعنی‌دار.

(2009) گزارش کردند که مس عصاره‌گیری شده با DTPA توانایی برآورد مس قابل استفاده برخی از سبزی-های کشور چین را دارد. عناصر کادمیم و سرب اندازه-گیری شده در گیاه تنها با کادمیم و سرب استخراج شده با عصاره‌گیر DTPA همبستگی مثبت و معنی‌داری (به-ترتیب $r=0/33$ و $r=0/28$) داشتند. نتایج مطالعه منزیس و همکاران (2007) نشان داد که بین کادمیم عصاره‌گیری شده با نمک‌های یک مولار استات آمونیم، یک مولار نیترات آمونیم و 0/01 مولار کلرور کلسیم با میزان تجمع این عنصر در بافت گیاهی ضریب همبستگی بیش از 0/50 وجود دارد. مشابه این پژوهش، در برخی مطالعات بین کادمیم استخراج شده با DTPA نسبت به مقدار کل آن با غلظت این عنصر در بافت گیاهی همبستگی بهتری گزارش شده است (وانگ و همکاران، 2006؛ لی و همکاران، 2006). مقدار عنصر نیکل جذب شده توسط گیاه با مقادیر نیکل استخراج شده توسط هیچ یک از عصاره‌گیرها همبستگی معنی‌دار نشان نداد. بر اساس نتایج فوق می‌توان عصاره‌گیر DTPA را به‌عنوان یک عصاره‌گیر مناسب برای ارزیابی وضعیت قابلیت استفاده عناصر مس

مناسب‌ترین عصاره‌گیر برای تعیین قابلیت استفاده عناصر برای گیاه عصاره‌گیری است که بالاترین ضریب همبستگی را بین عنصر استخراج شده به‌وسیله عصاره‌گیر و مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه و سایر پاسخ‌های گیاهی نشان دهد (متقیان و همکاران، 1392؛ بابایی باقی و همکاران، 1396). همبستگی بین مقادیر عناصر استخراج شده با عصاره‌گیرهای EDTA pH 8.6، EDTA pH 4.65 و DTPA و مقادیر عناصر جذب شده توسط گیاه در جدول 6 ارائه شده است. همبستگی مثبت معنی‌داری بین مس استخراج شده با هر سه عصاره‌گیر و غلظت مس گیاه وجود داشت، هرچند این همبستگی برای عصاره‌گیر DTPA ($r=0/32$) بیشتر از دو عصاره‌گیر EDTA pH 8.6 و EDTA pH 4.65 (به ترتیب $r=0/28$ و $r=0/25$) بود. روش‌های عصاره‌گیری مختلفی برای تعیین مقدار قابل استفاده مس در خاک گزارش شده است. متقیان و همکاران (1392) گزارش کردند که در بین عصاره-گیرهایی که دارای همبستگی معنی‌دار با غلظت مس اندام هوایی گندم بودند، عصاره‌گیر AB-DTPA بیشترین ضریب همبستگی را داشت. همچنین هائو و همکاران

مهمی در ارزیابی غلظت عناصر سنگین است و لذا چون خاک‌های این منطقه از کشور متأثر از شوری (اولیه و ثانویه) هستند نحوه و زمان نمونه‌برداری خاک و گیاه در مزارع در ارزیابی وضعیت عناصر سنگین خاک و گیاه مهم است و باید تمام جوانب سنجیده شود.

در خاک‌های استان خوزستان در نظر گرفت. اما در مورد سرب، کادمیم و نیکل به دلیل وجود همبستگی ضعیف، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات دیگری از عصاره‌گیرهای بیشتری استفاده شود تا بتوان با اطمینان زیاد مناسب‌ترین عصاره‌گیر را انتخاب نمود. اما با این حال شوری عامل

جدول 6- همبستگی بین مقادیر عناصر استخراج شده با عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA و مقادیر عناصر جذب شده توسط گیاه

EDTA pH 8.6				EDTA pH 4.65				DTPA			
نیکل	کادمیم	سرب	مس	نیکل	کادمیم	سرب	مس	نیکل	کادمیم	سرب	مس
0/007 ^{ns}	0/14 ^{ns}	0/34 ^{**}	0/25 [*]	0/03 ^{ns}	-0/09 ^{ns}	0/28 [*]	0/27 [*]	0/07 ^{ns}	0/06 ^{ns}	0/40 ^{**}	0/32 ^{**}
0/04 ^{ns}	0/11 ^{ns}	0/06 ^{ns}	0/15 ^{ns}	0/08 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	0/006 ^{ns}	0/09 ^{ns}	0/07 ^{ns}	0/33 ^{**}	0/11 ^{ns}	0/10 ^{ns}
-0/14 ^{ns}	-0/09 ^{ns}	0/17 ^{ns}	-0/02 ^{ns}	-0/14 ^{ns}	-0/06 ^{ns}	0/10 ^{ns}	-0/06 ^{ns}	0/02 ^{ns}	0/08 ^{ns}	0/28 [*]	-0/0001 ^{ns}
0/05 ^{ns}	0/007 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	-0/007 ^{ns}	0/16 ^{ns}	0/26 [*]	0/05 ^{ns}	-0/03 ^{ns}	0/11 ^{ns}	0/09 ^{ns}	-0/04 ^{ns}	-0/05 ^{ns}

*، ** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان 1 درصد و 5 درصد و غیرمعنی‌دار.

نتیجه‌گیری

از عصاره‌گیرهای بیشتری استفاده شود تا بتوان با اطمینان زیاد عصاره‌گیر بهینه را انتخاب نمود. همچنین با توجه به عدم وجود همبستگی بین سرب استخراج شده با عصاره-گیرها و غلظت نیکل در گیاه در این پژوهش، هیچ یک از این عصاره‌گیرها را نمی‌توان به‌عنوان عصاره‌گیر مناسب جهت تخمین نیکل قابل استفاده در خاک‌های آهکی-شور مورد مطالعه توصیه کرد. نتایج نشان داد که آبخوبی و کاهش شوری تأثیر متفاوتی بر استخراج فلزات سنگین مس، نیکل، کادمیم و سرب دارد که بر اساس نوع فلز و عصاره‌گیر متفاوت است، بنابراین در این رابطه بررسی-های دقیق‌تری لازم است.

بر اساس نتایج این پژوهش، عصاره‌گیر DTPA را می‌توان به دلیل داشتن بالاترین میزان همبستگی با غلظت مس گیاه گندم، به‌عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر جهت ارزیابی وضعیت مس قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی شور مورد مطالعه در استان خوزستان معرفی کرد. همچنین همبستگی مثبت بین کادمیم و سرب استخراج شده با DTPA و غلظت کادمیم و سرب گیاه گندم گویای این حقیقت است که می‌توان از این عصاره‌گیر برای تخمین کادمیم و سرب قابل استفاده گیاه در این شرایط خاکی استفاده نمود؛ اما به دلیل اینکه این همبستگی ضعیف بود، بنابراین پیشنهاد می‌گردد در مطالعات دیگری

فهرست منابع:

1. بابایی بافتی س، ا. تاج آبادی پور و ع. اسفندیارپوربروجنی. 1396. ارزیابی چند عصاره‌گیر شیمیایی جهت تعیین روی قابل استفاده نهال‌های پسته در برخی از خاک‌های آهکی رفسنجان. تحقیقات آب و خاک ایران. 48(1): 137-148.
2. بازرگان، ک، م، رضایی، م. فیض الله زاده اردبیلی، ن. معبودی، ل. اسماعیل زاده و ع. جعفرنژادی. 1392. تعیین بهترین عصاره‌گیر بمنظور ارزیابی مقادیر قابل استفاده عناصر سنگین برای گیاه، در خاکهای آلوده انتخابی. موسسه تحقیقات خاک و آب. 45 صفحه.

3. جعفرنژادی، ع.، م. همایی، غ.ع. صیاد و م. بایبوردی. 1391. ارزیابی ویژگی‌های موثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک و بذر گندم در برخی خاک‌های آهکی خوزستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی). 19(2): 149-164.
4. حسین‌پور، ع. و ح.ر. متقیان. 1392. تأثیر کاربرد لجن فاضلاب و کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) بر قابلیت استفاده و شکل‌های شیمیایی روی در تعدادی از خاک‌های آهکی. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 27(6): 1110-1100.
5. رحمانیان، م. و ع. حسین‌پور. 1397. مقایسه چند عصاره‌گیر شیمیایی جهت تعیین مقدار روی قابل استفاده آفتابگردان در خاک‌های آهکی آلوده به فلزات سنگین. محیط زیست و مهندسی آب. 4(2): 148-157.
6. سعادت، س.، ح. رضایی، ر. میرخانی، پ. ملکی. ل. اسماعیل نژاد و ی.ر. باقری. 1399. وضعیت شوری در نواحی ده گانه زراعی-زیستگاهی ایران با نگاهی بر کاربری اراضی. دومین همایش بین‌المللی شورورزی، یزد. 1064-1082.
7. گوشه، م. و ع. جعفرنژادی. 1399. بررسی میزان همبستگی بین عمق و شوری آب زیرزمینی با شوری و مقدار آب خاک در مزارع گندم جنوب خوزستان. دومین همایش بین‌المللی شورورزی، یزد. 526-532.
8. متقیان، ح.ر.، ع. حسین‌پور، ف. رئیسی، و ج. محمدی. 1392. ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین مس قابل استفاده خاک برای گندم (*Triticum aestivum* L.) در خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. 4: 51-64.
9. ملکوتی، م. و م. غیبی. 1379. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی مؤثر در خاک، گیاه و میوه در راستای عملکرد کمی و کیفی محصولات استراتژیک کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی، نشر آموزش کشاورزی، کرج. 92 صفحه.
10. میرجلیلی، ا.، س.ج. حسینی فرد، ا. تاج آبادی و ع. اخگر. 1393. ارزیابی گلخانه‌ای و آزمایشگاهی چند عصاره‌گیر شیمیایی به منظور تعیین مس قابل استفاده‌ی پسته در بعضی از خاک‌های آهکی رفسنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان.
11. نصری‌فرد، م.، غ.ع. صیاد، ع. جعفرنژادی و م. افیونی. 1392. ارزیابی غلظت سرب در خاک و بذر مزارع تحت کشت گندم و تأثیر برخی ویژگی‌های خاک بر آن (مطالعه موردی: استان خوزستان). 17(65): 113-123.
12. نیکفر، ف.، ع. غلامی، س. سبزه‌علی‌پور و ا. نظرپور. 1398. شناسایی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مناطق صنعتی شهرستان ماهشهر. فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب. 7(2): 112-122.
13. Acosta, J.A., B. Jansen, K. Kalbitz, A. Faz and S. Martínez-Martínez. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. *Chemosphere*, 85:1318-24.
14. Beaton, K.W., M.J. Mc loughlin and R.D. Graham. 2000. Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. *Soil Research*, 38:37-45.
15. Brandt, K.K., P.E., Holm and O. Nybroe. 2008. Evidence for bioavailable copper-dissolved organic matter complexes and transiently increased copper bioavailability in manure-amended soils as determined by bioluminescent bacterial biosensors. *Environmental Science & Technology*, 42:3102-3108.
16. Camobreco, V.J., B. K., Richards, T.S., Steenhuis, J.H., Peverly and M.B. McBride. 1996. Movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. *Soil Science*, 161:740-750.

17. Campbell, C.R. and C.O. Plank. 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. p. 37-50. In Y.P. Kalra (ed.) Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.
18. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. p. 891-901. In C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis: Part 1, Physical and mineralogical methods. America Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison.
19. Chu, B., X. Chen, Q. Li, Y. Yang, X. Mei, B. He, H. Li and L. Tan. 2015. Effects of salinity on the transformation of heavy metals in tropical estuary wetland soil. *Chemistry and Ecology*, 31:186-198.
20. Du Laing, G., R. De Vos, B. Vandecasteele, E. Lesage, F. M. Tack and M.G. Verloo. 2008. Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77:589-602.
21. Falatah, A.M., A.S. Modaihsh, W.A. Al-Mustafa and M.O. Mahjoub. 1998. Evaluation of some chemical extractants for testing Zn availability to barely grown on calcareous soil. *Agriculture Science*, 10:85-97.
22. Hao, X.Z., D.M. Zhou, D.Q. Huang, H.L. Cang and H. Wang. 2009. Heavy metal transfer from soil to vegetable in southern Jiangsu Province, China. *Pedosphere*, 19:305-311.
23. Hosseinpour, A.R. and F. Dandanmozd. 2010. Sorption characteristics of copper in some calcareous soils of western Iran. *American Journal of Science*, 6(11):103-108.
24. Jalali, M. and Z.V. Khanlari. 2008. Cadmium availability in calcareous soils of agricultural lands in Hamadan, western Iran. *Soil & Sediment Contamination*, 17(3):256-268.
25. Khoshgoftarmanesh, A.H., H. Shariatmadari, N. Karimian, M. Kalbasi, S.E.A.T. Van der M. Zee and D.R. Parker. 2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6):1885-1889.
26. Li, J.L., J.W. Qiu, X.W. Wang, Y. Zhong, C.Y. Lan and W.S. Shu. 2006. Cadmium contamination in orchard soils and fruit trees and its potential health risk in Guangzhou, China. *Environmental Pollution*, 143:159-165.
27. Lindsay W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons, New York.
28. Maftoun, M., V. Mohasseli, N. Karimian and A.M. Ronaghi. 2003. Laboratory and greenhouse evaluation of five chemical extractants for estimating available copper in selected calcareous soils of Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34:1451-1463.
29. Menzies, N.W., M.J. Donn and P.M. Kopittke. 2007. Evaluation of extractants for estimation of the phytoavailable trace metals in soils. *Environmental Pollution*, 145(1):121-130.
30. Mourid, S.S. 2014. Adsorption behavior of lead, cadmium and nickel on some calcareous soils. *Egyptian Journal of Soil Science*, 54:387- 400.
31. Nelson, R.E. 1989. Carbonates and gypsum. p. 181-197. In: A.L. Page (ed.) Methods of soil analysis, Part 2, Second. Ed. Fourth printing Am. Soc. of Agron., Madison, Wis. USA.
32. Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403-427. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
33. Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis; 2. Chemical and microbiological properties, 2. Aufl. 1184 S., American Soc. of Agronomy (Publ.), Madison, Wisconsin, USA, gebunden 36 Dollar.
34. Sahuquillo, A., A. Rigol and G. Rauret. 2003. Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22:152-159.

35. Sillanpää, M. and H. Jansson. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt, and selenium in soils and plants of thirty countries. *FAO Soils Bulletin N. 65*. Rome.
36. Singh, B.P. M. Das and R.N. Prasad. 1990. Evaluation of available Cu status in high altitude wetland rice soils. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 38:464-468.
37. Steinberg, S.M. and V.F. Hodge. 2018. Copper complexation by dissolved organic matter in arid soils: A voltametric study. *Environments*, 5(11):125.
38. Trierweiler, JF. and W.L. Lindsay. 1969. EDTA ammonium carbonate soil test for zinc. *SSSAP*, 33: 49-54.
39. Vaseghi, H. K. Shahbazi and A. Khanmirzai. 2016. Nickel sorption in selected calcareous soils of Iran. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5:113-127.
40. Vlček, V. and M. Pohanka. 2018. Adsorption of copper in soil and its dependence on physical and chemical properties. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(1):219-224
41. Walkey, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. I. *Experimental. Soil Science*, 79:459-465.
42. Wang, G., M.Y. Su, Y.H. Chen, F.F. Lin, D. Luo and Gao, S.F. 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution*, 144:127-135.
43. Wilding, L.P. 1985. Spatial variability: Its documentation, accommodation, and implication to soil survey. p. 166-194. In D.R. Nielsen, and J. Bouma (ed.) *Soil spatial variability*. Wageningen, Netherlands.
44. Yasrebi, J., M. Sharifi, H. Fathi, N. Karimian, M. Emadi and M. Baghernejad 2008. Spatial variability of soil fertility properties for precision agriculture in southern Iran. *Journal of Applied Sciences*, 8:1612-1650.

Comparison of Three Methods for Extracting the Available Amounts of Heavy Metals Copper, Cadmium, Lead, and Nickel for Wheat in Salt-Affected Soils of Khuzestan Province

M. Rezaei¹, K. Bazargan, K. Shahbazi, and V. A. Jahandideh Mahjen Abadi

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; E-mail: Meisam.rezaei1@gmail.com

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; E-mail: bazargan_k@yahoo.com

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; E-mail: shahbazikarim@yahoo.com

Researcher, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; E-mail: Vahid.jahandideh67@gmail.com

Received: March, 2021, and Accepted: September, 2021

Abstract

Information on soil pollution assessment and suitable extractants to determine the available amounts of heavy metals in calcareous and saline soils of Iran are limited. Therefore, this study aimed to compare EDTA pH 4.65, EDTA pH 8.6 and, DTPA pH 7.3 extractants to characterize availability of heavy metals including copper, cadmium, lead, and nickel in calcareous and saline soils of Khuzestan Province. To this end, 63 soil samples were collected from wheat fields of the province and wheat was planted under greenhouse conditions using randomized complete design with three replications. Due to salinity limitation, sequential leaching by two pore volumes of each soil was applied. Plant available amounts of copper, cadmium, lead and nickel in soils were measured with the extractants before and after leaching. Result demonstrated that DTPA pH 7.3 and EDTA pH 4.65 extracted the lowest and the highest amounts of heavy metals, respectively. Salinity reduction had different impacts on the heavy metals extraction based on the type of the metal and extractants, such that uniform and similar trends were not observed for the extracted metals. There was a significant positive correlation between the extracted copper of all three extractants and wheat copper content. This correlation for DTPA pH 7.3 extractant ($r = 0.32$, $P \leq 0.01$) was higher than EDTA pH 4.65 ($r = 0.27$, $P \leq 0.05$) and EDTA pH 8.6 ($r = 0.25$, $P \leq 0.05$) extractants. For cadmium and lead, only positive and significant correlations ($r = 0.33$, $P \leq 0.01$ and $r = 0.28$, $P \leq 0.05$, respectively) were obtained between DTPA extract and their concentrations in wheat. No significant correlation was recorded between wheat nickel content with any of the extractants. Based on the results, it seems that the DTPA may be introduced as the most suitable extractant to determine the available copper of wheat in the calcareous and saline soils of Khuzestan. However, by considering the soil salinity, leaching requirement, and the weak correlations between the studied extractants and the plant available soil cadmium, lead, and nickel, further studies are recommended for assessment of these heavy metals.

Keywords: Calcareous soils, Extractant for heavy metals, Soil salinity, DTPA, EDTA

¹ Corresponding author: Soil & Water Research Institute, Imam Khomeini Blvd., Meshkin Dasht Road, Standard Square, Karaj, I.R.Iran