

## اثر درازمدت نوع کشت و بافت خاک بر حرکت لیتیم و برمید در شرایط جریان غیراشباع

گلایه یوسفی<sup>۱\*</sup>، آزاده صفادوست<sup>۱</sup>، محمدرضا مصدقی<sup>۲</sup> و علی اکبر محبوبی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۵)

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر درازمدت بافت خاک و مدیریت کشت بر حرکت لیتیم و برمید تحت شرایط جریان غیراشباع ماندگار انجام شد. تیمارها شامل دو خاک با بافت لوم رسی و لوم شنی بودند که هر دو به مدت چهار سال زیر کشت گندم و یونجه قرار داشتند. ستون‌های دست‌نخورده خاک در شرایط جریان ماندگار با استفاده از آب شهری برقرار شد و سپس پالسی از محلول برمید لیتیم (MI ۰/۰۰۵) به عنوان غلظت ورودی ( $C_0$ ) بر سطح ستون‌های خاک اعمال گردید. آب‌شویی برای هر ستون تا ۴PV (چهار برابر حجم آب منفذی) ادامه یافت. غلظت برمید و لیتیم موجود در زه‌آب خروجی با فواصل ۰/۲PV، به ترتیب توسط الکتروود انتخاب‌گر برمید و دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. غلظت نسبی ( $C/C_0$ ) برمید و لیتیم در برابر حجم آب منفذی رسم شد. نتایج نشان داد که نوع کشت و بافت خاک (در مجموع ساختمان خاک) اثر معنی‌داری بر غلظت‌های خروجی داشتند. منحنی‌های رخنه نشان‌دهنده خروج زود هنگام برمید به دلیل دفع آنیونی و دیرآیی لیتیم به دلیل جذب سطحی در ستون‌های خاک بود. با گذشت زمان غلظت برمید و لیتیم کاهش یافت و در زمان‌های طولانی به هم رسیدند که این نشان‌گر از بین رفتن اثر منافذ درشت بر انتقال مواد در نتیجه ادامه آب‌شویی و انتقال عمده آنها از راه جریان در پیکره خاک بود. غلظت برمید و لیتیم خروجی از خاک لوم رسی زیر کشت یونجه به دلیل پایداری بیشتر ساختمان خاک نسبت به خاک لوم شنی تحت همان کشت بیشتر بود. هم‌چنین نتایج این پژوهش نشان داد غلظت برمید و لیتیم خروجی در خاک‌های زیر کشت یونجه (هر دو بافت) بیشتر از خاک‌های زیر کشت گندم بود. این امر بیان‌کننده اثر قابل توجه نوع کشت نسبت به بافت خاک، بر حرکت آلاینده‌ها در خاک می‌باشد. روند تغییرات منحنی رخنه لیتیم نیز مانند برمید بود؛ با این تفاوت که به علت جذب بر روی سطوح فعال؛ غلظت آن در زه‌آب خروجی کمتر از برمید بود.

واژه‌های کلیدی: آب‌شویی، شرایط غیراشباع، برمید، لیتیم، ردیاب، گندم، یونجه

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: golayeh.yousefi@gmail.com

## مقدمه

جریان آب آزادانه در خاک حرکت نماید زیرا تحت تأثیر فرآیند برون‌جذبی قرار می‌گیرد. این فرآیند، جذب و نگهداری اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌ها با پیوندهای فیزیکی و شیمیایی در سطح خارجی مواد جامد را سبب می‌شود. در حالی‌که آنیون‌هایی مانند نیترات، کلرید و برمید می‌توانند همراه جریان آب آزادانه در خاک حرکت کنند.

عوامل مختلفی بر حرکت نمک‌ها در خاک تأثیر می‌گذارند که می‌توان آنها را به سه دسته عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تقسیم کرد. ساختمان خاک، بافت، میزان مواد آلی، نوع مدیریت و کشت از جمله عوامل فیزیکی مؤثر بر فرآیند انتقال نمک‌ها در خاک می‌باشند. ساختمان خاک با اثر بر توزیع اندازه منافذ، اعوجاج و یا پیوستگی منافذ و ضریب آب‌گذری خاک، اهمیت زیادی در حرکت آب و انتقال نمک‌ها دارد (۴، ۱۳ و ۲۳).

نوع گیاه کشت‌شده و سیستم ریشه‌ای آن می‌تواند ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را تغییر داده و در نتیجه بر حرکت نمک‌ها تأثیرگذار باشد (۸). در واقع تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت کشت‌های گوناگون می‌تواند بر میزان آب‌شویی نمک‌ها در خاک تأثیر بگذارد. به‌طورکلی جریان آب و ویژگی‌های انتقال نمک‌ها در رابطه با اندازه اجزاء تشکیل‌دهنده خاک تعیین می‌شوند. در خاک‌های ریزبافت، منافذ درشت (شامل ترک‌های ناشی از انقباض و انبساط، کانال‌های کرم خاکی و سوراخ‌های به جا مانده از پوسیدگی ریشه) به‌عنوان مسیرهایی عمل می‌کنند که موجب حرکت سریع آب و نمک‌ها به اعماق و گاهی اوقات آلودگی شدید آب‌های زیرزمینی می‌شوند (۵). کیسل و همکاران (۱۳) حرکت کلرید را در ستون‌های دست‌خورده خاک‌های رسی متورم مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که حرکت آب و نمک‌ها در خاک‌های رسی با ساختمان خوب، نسبت به خاک‌های شنی بدون ساختمان، در مدت زمان کوتاه‌تری انجام می‌شود.

برای بررسی حرکت نمک‌ها در خاک از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. از جمله این روش‌ها استفاده از برخی از

امروزه استفاده از کودهای شیمیایی و آلی به منظور افزایش حاصل‌خیزی خاک و به دنبال آن افزایش تولید کشاورزی امری رایج می‌باشد. هم‌چنین کاربرد آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها در زمین‌های کشاورزی به منظور جلوگیری از بیماری‌های گیاهی و حفظ محصول کشاورزی، افزایش یافته است (۴). در سال‌های اخیر استفاده بی‌رویه از این مواد شیمیایی موجب نگرانی‌های زیست‌محیطی زیادی شده است. از مهم‌ترین این نگرانی‌ها، افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد (۴). آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم آب آشامیدنی می‌باشد. کیفیت این آب‌ها به اندازه کمیت آنها مهم است. دو منشا اصلی نقطه‌ای (با منشا مشخص) و غیرنقطه‌ای (با منشا نامشخص) برای آلودگی آب‌های زیرزمینی وجود دارد. آب‌شویی از مناطق دفع زباله و پسماند صنعتی مهم‌ترین منابع آلودگی با منشا نقطه‌ای هستند.

حال آن‌که مواد شیمیایی کشاورزی مانند کودها، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها مهم‌ترین منشا غیرنقطه‌ای آلودگی آب‌ها می‌باشند (۱۵). در واقع آب‌شویی و انتقال آلاینده‌ها، کودها و نمک‌ها به اعماق نیم‌رخ خاک آنها را از مکان اصلی مصرف‌شان دور کرده و کیفیت لایه‌های پایینی خاک و منابع آب زیرزمینی را کاهش می‌دهد. هر کدام از مواد آلاینده پس از وارد شدن به خاک درگیر واکنش‌های گوناگونی می‌شوند که مهم‌ترین این واکنش‌ها جذب شدن روی سطوح خاک و فرآیند انتقال در طول نیم‌رخ خاک است (۱۷). هم‌زمان با حرکت نمک‌ها در خاک، برخی از یون‌ها در معرض واکنش‌های مختلف قرار می‌گیرند. این واکنش‌ها شامل جذب یون‌ها روی سطوح کلونید خاک، جذب توسط گیاهان، تغییرات میکروبی و شیمیایی می‌باشند. هم‌چنین تبادل کاتیونی و آنیونی، جذب شیمیایی، رسوب، انحلال و تشکیل کمپلکس از جمله فرآیندهای شیمیایی مؤثر بر حرکت یون‌ها در خاک می‌باشند (۹). براساس این‌که یون مورد بررسی کاتیون و یا آنیون باشد، شدت حرکت آن توسط مکانیسم جریان توده‌ای متفاوت خواهد بود. یک کاتیون نمی‌تواند همراه

دو خاک با بافت لوم رسی و لوم شنی مورد استفاده در این پژوهش به مدت یازده سال زیر کشت یک گیاه یکساله (گندم) و یک گیاه چندساله (یونجه چهارساله) قرار داشتند. نمونه برداری از زمین‌های کشاورزی منطقه فامنین همدان با رده بندی خاک Typic Haploxerepts انجام گرفت. نمونه برداری به صورت دست نخورده با استفاده از ۱۲ سیلندر فلزی (با قطر ۱۶ cm و ارتفاع ۲۵ cm) انجام شد. ابتدا در مکان مربوطه کرتی با ابعاد ۳×۳ متر انتخاب شد و سپس برای جلوگیری از متراکم شدن خاک هنگام نمونه برداری، بدون این که در ساختمان خاک تغییری ایجاد شود، اطراف کرت تا عمق ۳۰ سانتی متر حفر گردید. پس از آن کرت مورد نظر آبیاری شد و بخش هوایی گیاهان از قسمت یقه بریده شد. کرت مورد نظر برای چندین بار متوالی آبیاری شد تا با مرطوب شدن خاک تا عمق بیشتر، مقاومت مکانیکی خاک کاهش پیدا کند. به منظور جلوگیری از تخریب ساختمان خاک، نمونه برداری در رطوبت مناسب خاک انجام شد. برای اندازه گیری برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد بررسی، نمونه های دست خورده و دست نخورده (با قطر ۵/۱ cm و ارتفاع ۷/۶ cm) برداشت شد.

بافت خاک به روش هیدرومتر (۳)، چگالی ظاهری به روش استوانه های نمونه برداری (۶)، چگالی حقیقی به روش پیکنومتر (۶)، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش آزمایشگاهی بار آبی ثابت (۱۴) و تخلخل کل خاک با دراختیار داشتن چگالی ظاهری و حقیقی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$E = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}\right) \times 100$$

پایداری خاکدانه ها به روش الک تر اندازه گیری شد و میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه ها از رابطه زیر به دست آمد (۲۵):

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i \bar{X}_i$$

که در آن MWD، میانگین وزنی قطر خاکدانه ها (L)؛  $\bar{X}_i$ ، میانگین قطر خاکدانه های باقی مانده روی هر الک (L) و  $w_i$  نسبت وزن خاکدانه های باقی مانده روی هر الک به وزن کل خاکدانه ها می باشد.

نمک ها به عنوان ردیاب می باشد. این نمک ها باید شاخص خوبی از حرکت نمک ها در خاک باشد. این نمک ها به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم می شوند. نمک های غیرفعال، درگیر واکنش های برگشت ناپذیر نمی شوند؛ مانند آنیون های برمید و کلرید. نمک های فعال در واکنش های برگشت ناپذیر شرکت می کنند؛ مانند کاتیون های لیتیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم. از جمله آنیون های مناسب برای بررسی حرکت آب و آلاینده ها در خاک، برمید می باشد (۷، ۱۰، ۱۱ و ۲۲) زیرا حرکتی هم سو با آب دارد، ردیابی بی اثر است، در معرض تغییر شکل های میکروبی و تلفات گازی قرار نمی گیرد و در بیشتر خاک ها غلظت زمینه کمی دارد.

بجای و همکاران (۴) تأثیر ساختمان خاک و مدیریت زمین را بر حرکت آب و کلرید تحت شرایط غیراشباع ماندگار در بلوک های خاک دست نخورده مورد بررسی قرار دادند. آنها پی بردند که ساختمان خاک به طور غیرمستقیم بر انتشار نمک ها اثر دارد. سولیوان و همکاران (۲۳) از کاتیون لیتیم به عنوان ردیاب فعال در شرایط اشباع ستون های خاک آبرفتی استفاده کردند و در مقایسه با کاتیون های سدیم، پتاسیم و کلسیم گزارش کردند که تنها بخش کوچکی از لیتیم در تبادل کاتیونی شرکت می کند. اگرچه گزارش های علمی در رابطه با چگونگی حرکت ردیاب ها در خاک قابل توجه است ولی نقش مدیریت زراعی در آن کمتر مورد توجه بوده است.

این پژوهش به منظور شناخت چگونگی حرکت برمید به عنوان ردیاب غیرفعال (غیرجذب شونده) و لیتیم به عنوان ردیاب فعال (جذب شونده) در دو خاک با دو مدیریت کشت مختلف انجام شد. هدف از این پژوهش شناسایی نقش نوع کشت و بافت خاک در حرکت آلاینده ها به سمت منابع آب زیرزمینی و خروج عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از خاک می باشد.

## مواد و روش ها

این پژوهش تحت شرایط آزمایشگاهی، روی ستون های خاک دست نخورده تحت شرایط جریان غیراشباع ماندگار انجام شد.

هم‌چنین ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل اسیدیته خاک (pH) به‌وسیله دستگاه pH متر در عصاره ۱ به ۵ خاک و آب (۲۴)، رسانایی الکتریکی با دستگاه رسانایی سنج الکتریکی در عصاره ۱ به ۵ خاک و آب (۱۹)، درصد کربن آلی خاک به روش والکلی - بلک (۲۰)، میزان کربنات کلسیم معادل (آهک) خاک به روش اکسیداسیون برگشتی با سود (۲۱) و گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم (۲۰) اندازه‌گیری شد.

برای برقراری شرایط غیراشباع ماندگار، شدت جریانی برابر  $1/9 \text{ cm h}^{-1}$  (برابر نصف کمترین هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده در بین همه تیمارها) با استفاده از آب شهری بر همه ستون‌های خاک اعمال شد. به منظور جلوگیری از اشباع شدن انتهای ستون‌های خاک و برقراری جریان ماندگار، از پمپ خلاء برای وارد کردن مکش به انتهای ستون‌های خاک استفاده شد. برای به‌دست آوردن مکش مورد نیاز، مکش‌های مختلف به انتهای ستون‌ها وارد شد و در نهایت مکشی انتخاب شد که با اعمال آن در زمان‌های یکسان حجم آب ورودی با حجم آب خروجی از ستون‌ها برابر شود. مکش به‌دست آمده در تمام طول مدت آبیاری به انتهای ستون‌های خاک وارد گردید. سپس پالسی برابر  $0/5 \text{ PV}$  (نصف حجم آب منفذی ستون خاک) از محلول برمید لیتیم به غلظت  $0/05$  مولار (غلظت ورودی،  $C_0$ ) با دبی برابر شدت جریان مورد نظر به سطح خاک افزوده شد. بلافاصله پس از تمام شدن محلول برمید لیتیم، آبیاری به‌وسیله آب شهر با همان شدت جریان تا  $4 \text{ PV}$  ادامه یافت. نمونه‌گیری از زه‌آب خروجی ستون‌های خاک تا چهار برابر حجم آب منفذی ( $4 \text{ PV}$ ) ادامه یافت. تعداد ۲۲ نمونه در مدت زمان آبیاری با فواصل  $0/2 \text{ PV}$  برداشت شد. سپس غلظت آنیون برمید با استفاده از الکتروود انتخاب‌گر برمید (Metrohm AG, Germany) و غلظت کاتیون لیتیم به روش استات آمونیوم و به کمک دستگاه فلیم‌فتمتر برحسب ppm اندازه‌گیری شد. منحنی‌های رخنه برمید و لیتیم برحسب غلظت نسبی آنها ( $C/C_0$ ) در برابر حجم آب منفذی (PV) تا  $4 \text{ PV}$  رسم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. طرح آماری به‌کار رفته در این پژوهش، آزمایش

فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. نوع خاک به‌عنوان فاکتور اول (لوم‌شنی و لوم‌رسی و نوع کشت به‌عنوان فاکتور دوم (کشت یونجه و گندم) در نظر گرفته شد. متغیرهای مورد بررسی عبارت بودند از: غلظت نسبی برمید و لیتیم در حجم‌های آب منفذی  $0/2 \text{ PV}$ ،  $0/6 \text{ PV}$ ،  $1 \text{ PV}$ ،  $2 \text{ PV}$  و  $4 \text{ PV}$ . تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت.

## نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. ویژگی‌های فیزیکی خاک بر شرایط رطوبتی و چگونگی انتقال نمک‌ها در خاک و رسیدن آنها به (و میزان آلودگی) آب‌های زیرزمینی تأثیر بسزایی دارد. ساختمان خاک از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که با تأثیر بر توزیع اندازه منافذ، اعوجاج و یا پیوستگی منافذ، ایجاد درز و ترک و منافذ درشت و هم‌چنین هدایت هیدرولیکی، در حرکت آب و نمک‌ها اهمیت زیادی دارد. هم‌چنین نوع گیاه کشت شده و سیستم ریشه‌ای آن نیز با اثر بر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک، می‌تواند بر میزان آبیاری نمک‌ها بسیار مؤثر باشد.

هدایت هیدرولیکی اشباع ( $K_s$ ) خاک پارامتر بسیار متغیری است و تغییرپذیری آن از ۵۰ تا ۲۰۰ درصد می‌باشد (۱۸). با این وجود در این پژوهش سعی شد در هر تیمار ستون‌هایی انتخاب شوند که  $K_s$  آنها به هم نزدیک باشند. بیشترین  $K_s$  از آن خاک A بوده و سپس به ترتیب خاک‌های C، B و D قرار داشتند (جدول ۱).

مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها نشان داد که زیادبودن درصد رس، ماده آلی و کربنات کلسیم در خاک A با تأثیر بر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها موجب بهبود ساختمان و افزایش  $K_s$  این خاک شده است. برتری MWD در خاک A نیز گواهی بر کیفیت ساختمان آن می‌باشد که سبب برتری اثر ساختمان نسبت به بافت بر  $K_s$  خاک شده است. از

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد بررسی \*

$K_s$ ( $\text{cm h}^{-1}$ )	MWD (mm)	$E$ (% v/v)	$\rho_s$ ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	$\rho_b$ ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	نوع کشت	بافت خاک	کد
۸/۱۴	۳/۵۶	۴۷/۲	۲/۶۱	۱/۳۷	یونجه	CL	A
۷/۳۵	۲/۳۱	۴۶/۳	۲/۶۱	۱/۴۰	گندم	CL	B
۷/۵۸	۳/۲۲	۴۵/۳	۲/۶۷	۱/۴۵	یونجه	SL	C
۳/۹۷	۰/۵۴	۴۳/۱	۲/۷۲	۱/۵۴	گندم	SL	D

\*  $\rho_b$ ، چگالی ظاهری؛  $\rho_s$ ، چگالی حقیقی؛  $E$ ، تخلخل کل؛ MWD، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و  $K_s$ ، هدایت هیدرولیکی اشباع

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مورد بررسی \*

CEC ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	$\text{CaCO}_3$ ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ )	OM ( $\text{g } 100\text{g}^{-1}$ )	pH	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	نوع کشت	بافت خاک
۱۷/۲	۱۲/۰	۱/۸۱	۸/۳	۰/۳۰	یونجه	CL
۱۷/۴	۱۱/۰	۱/۶۱	۸/۵	۰/۲۴	گندم	CL
۱۱/۹	۰/۵	۱/۵۷	۸/۲	۰/۲۸	یونجه	SL
۱۱/۷	۰/۴	۰/۹۰	۸/۶	۰/۱۴	گندم	SL

\* EC، رسانایی الکتریکی عصاره ۵:۱ خاک به آب؛ pH، اسیدیته عصاره ۵:۱ خاک به آب؛ OM، درصد ماده آلی؛  $\text{CaCO}_3$ ، درصد کربنات

کلسیم؛ CEC، گنجایش تبادل کاتیونی

حجم آب منفذی ۴ اثر بافت و نوع کشت بر لیتیم معنی‌دار نبود. مقدار  $C/C_0$  برمید خروجی در حجم آب خروجی ۲PV بین تیمارهای مختلف تقریباً یکسان بود و احتمالاً به همین دلیل اثر بافت خاک بر غلظت نسبی این یون در این حجم آب منفذی معنی‌دار نشده است. هم‌چنین با توجه به غلظت ناچیز برمید خروجی (تقریباً صفر) در حجم آب منفذی ۴PV در تمام تیمارها، می‌توان نتیجه گرفت که  $C/C_0$  برمید خروجی در حجم آب خروجی ۴PV تحت تأثیر بافت خاک قرار نگرفته است. نوع کشت نیز در همه حجم‌های آب خروجی اثر معنی‌داری بر  $C/C_0$  برمید دارد. برهم‌کنش بافت خاک  $\times$  نوع کشت در همه حجم‌های آب خروجی بر  $C/C_0$  برمید معنی‌دار است که بیان‌گر اثر قابل توجه برهم‌کنش بافت خاک و نوع کشت بر انتقال نمک‌ها می‌باشد.

در شکل ۱ منحنی‌های رخنه برمید (الف) و لیتیم (ب) برای تیمار نوع کشت (میانگین سه تکرار) در خاک لوم رسی نشان داده شده است. اثر تیمار یونجه بر منحنی رخنه برمید موجب

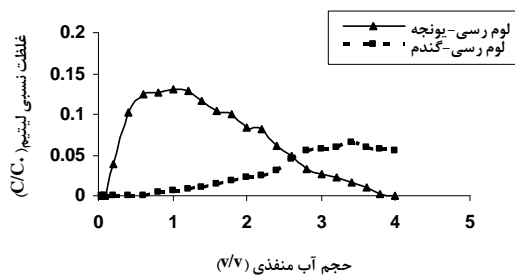
طرفی خاک D دارای کمترین درصد رس، ماده آلی و MWD بوده و هم‌چنین به دلیل داشتن ساختمان ضعیف، کمترین  $K_s$  را داراست. با وجود این‌که خاک‌های C و D هر دو دارای بافت لوم شنی می‌باشند، تفاوت در نوع کشت و میزان ماده آلی باعث شده است تا  $K_s$  خاک C بیشتر از D گردد. در واقع هر دو بافت لوم رسی و لوم شنی زیر کشت یونجه  $K_s$  بیشتری نسبت به خاک‌های زیر کشت گندم داشتند که می‌توان آن را به پایداری بیشتر ساختمان خاک نسبت داد. هم‌چنین خاک‌های A و C که زیر کشت یونجه بودند ماده آلی بیشتر و چگالی ظاهری کمتری در مقایسه با خاک‌های B و D داشتند.

در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای بافت خاک و نوع کشت بر غلظت نسبی برمید و لیتیم خروجی در حجم‌های آب منفذی ۰/۲، ۰/۶، ۱، ۲ و ۴ آورده شده است. اثر بافت خاک و نوع کشت بر غلظت نسبی برمید و لیتیم ( $C/C_0$ ) در حجم‌های آب منفذی ۰/۲، ۰/۶ و ۱ معنی‌دار بود، در حالی که در حجم‌های آب منفذی ۲ و ۴ اثر بافت خاک بر برمید و در

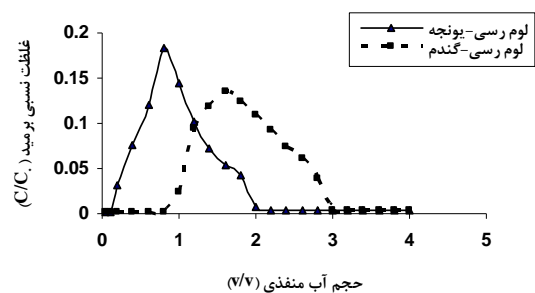
جدول ۳. تجزیه واریانس اثر بافت خاک (T) و نوع کشت (P) بر غلظت نسبی برمید و لیتیم خروجی از ستون‌های خاک در حجم‌های آب خروجی مختلف

نسبت F					درجه آزادی	منبع تغییر
۴ PV	۲ PV	۱ PV	۰/۶ PV	۰/۲PV		
<b>برمید</b>						
۲/۳۷	۲/۷۰	۷/۳۳*	۸/۶۶*	۸/۹۴*	۱	T
۶/۳۷*	۱۷/۰۰**	۹۰/۶۲**	۱۶/۱۳**	۷/۷۹*	۱	P
۱۵/۳۳**	۳۸/۱۰**	۳۰/۵۰**	۱۲۴/۱۵**	۵۴/۰۲**	۳	T×P
<b>لیتیم</b>						
۳/۴۶	۳۳/۷۸**	۱۰/۴۲*	۸/۹۷*	۸/۹۱*	۱	T
۱/۲۷	۸۴/۶۷**	۱۲/۹۸**	۱۰/۱۷**	۷/۹۵*	۱	P
۲۳۶/۳۱**	۲۷۵/۶۱**	۵۷۲/۳۲**	۲۹۷/۰۱**	۱۰۸/۲**	۳	T×P

\*\* و \* : به ترتیب بیان گر اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشند.



(ب)

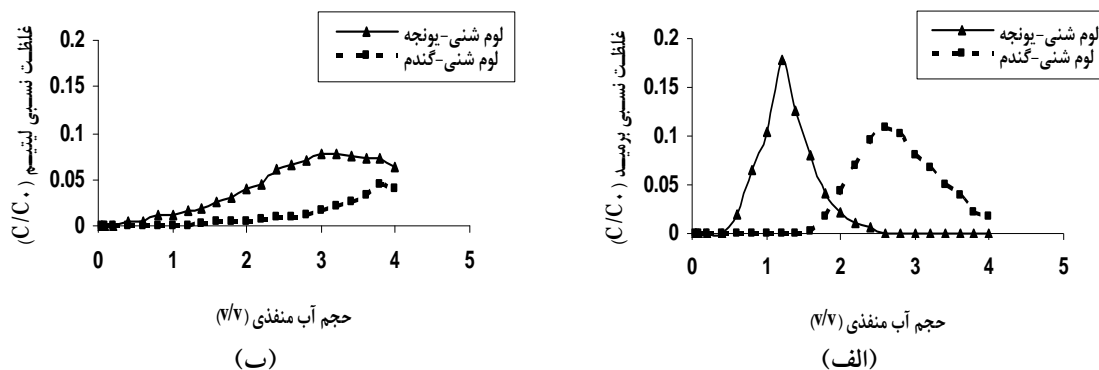


(الف)

شکل ۱. منحنی‌های رخنه برمید (الف) و لیتیم (ب) در خاک لوم رسی

پیوستگی آنها در این تیمار نسبت به تیمار پیشین کمتر بوده و هم‌چنین سرعت جریان نیز در آن کمتر شده است. به همین دلیل بیشینه غلظت برمید موجود در زه‌آب خروجی نسبت به تیمار پیشین کم‌تر بوده و با ۱PV تأخیر ظاهر گردیده است. هم‌چنین شکل ۱ نشان می‌دهد که با گذشت زمان شیب منحنی‌ها کاهش یافته که احتمالاً به دلیل وارد شدن برمید به درون منافذ ریز خاک بوده زیرا این منافذ مکان قرار گرفتن آب غیرمتحرک می‌باشد و در نتیجه انتقال برمید به کندی انجام گرفته است. همین امر سبب شده است در حجم‌های پایانی آب خروجی، غلظت‌های نسبی برمید به هم نزدیک شده و اختلاف چندانی با هم نداشته باشند. نتایج این پژوهش با یافته‌های شعبانپور و همکاران (۱) که حرکت برمید در شرایط طبیعی

ظهور زود هنگام برمید در زه‌آب خروجی در این تیمار شده است. به گونه‌ای که تنها با گذشت ۰/۸PV از شروع آب‌شویی غلظت نسبی برمید به بیشینه مقدار خود (۰/۱۸۲) رسیده است. در این خاک میزان رس و ماده آلی زیاد موجب افزایش خاکدانه‌سازی، بهبود ساختمان خاک و به تبع آن پایداری منافذ خاک در هنگام انتقال آب و نمک‌ها شده است. از طرفی گیاه یونجه به دلیل سیستم ریشه‌ای ویژه‌ای که دارد (ریشه‌های گسترده قطور و عمیق) باعث ایجاد کانال‌های عمودی با اندازه‌های مختلف در خاک شده و شرایط را برای حرکت ترجیحی و سریع‌تر نمک‌ها از کانال‌های ایجاد شده فراهم می‌کند. در تیمار گندم به دلیل نوع گیاه کشت‌شده در این خاک (گیاه گندم با ریشه‌های نازک و افشان)، تعداد منافذ خاک و



شکل ۲. منحنی‌های رخنه برمید (الف) و لیتیم (ب) در خاک لوم شنی

کلرید لیتیم را در ستون‌های خاک دست‌نخورده در دو خاک لوم سیلتی ساختمان‌دار و لوم شنی بدون ساختمان در شرایط جریان غیراشباع بررسی کردند. نتایج آنها نشان‌دهنده خروج بیشتر آنیون غیرجذب‌شونده کلرید و غلظت کمتر کاتیون جذب‌شونده لیتیم در خاک لوم سیلتی نسبت به خاک لوم شنی بود. جین و همکاران (۱۲) از محلول ردیاب برمید لیتیم در بررسی حرکت آلاینده‌ها در شرایط اشباع و غیراشباع روی ستون‌های خاک استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که ردیاب به‌کاررفته با سرعت بسیار زیادی ستون خاک را طی می‌کند که با پیک تند غلظت برمید نشان داده شد.

شکل ۲ منحنی‌های رخنه برمید (الف) و لیتیم (ب) برای تیمار نوع کشت (میانگین سه تکرار) در خاک لوم شنی را نشان می‌دهد. روند تغییر منحنی‌های رخنه نشان‌دهنده اثر قابل توجه نوع کشت بر حرکت ردیاب‌ها می‌باشد. به گونه‌ای که منحنی رخنه برمید برای تیمار یونجه نسبت به تیمار گندم زودآیی نشان داده است (شکل ۲-الف). بیشینه غلظت نسبی برمید خروجی برای دو تیمار یونجه و گندم به ترتیب ۰/۱۷۷ و ۰/۱۰۸ بود که در حجم‌های آب منفذی ۱/۲ و ۲/۶ اندازه‌گیری شدند. منحنی رخنه برمید در تیمار گندم از حجم آب منفذی ۱/۶PV شروع شد در حالی که این منحنی برای تیمار یونجه از ۰/۶PV آغاز گردید. دلیل آن را می‌توان به تفاوت نوع سیستم ریشه‌ای این دو گیاه نسبت داد. شکل ۲-ب منحنی‌های رخنه لیتیم برای دو تیمار یونجه و گندم را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده

مزرعه و در خاک‌های زیرکشت گیاهان مختلف را در ایستگاه پژوهشی خاک و آب کرج مورد بررسی قرار دادند، هماهنگ می‌باشد. آنها نشان دادند در زمین‌های تحت کشت یونجه که سرعت آب‌شویی در آنها زیاد است، افزودن کودهای با قابلیت آب‌شویی (مانند کودهای نیتروژنه) باید در چند نوبت انجام گیرد تا کود بیش‌ترین کارایی را داشته باشد. آنها نشان دادند افزایش سرعت جریان آب خاک در تیمارهای زیرکشت گیاهانی مانند ذرت و یونجه، به دلیل افزایش جریان‌های ترجیحی در این تیمارها می‌باشد که می‌تواند در اثر ریشه‌های عمیق و پیوسته این گیاهان باشد. هم‌چنین ریشه‌های پوسیده گیاهان به دلیل ایجاد معابر فرعی می‌توانند در این افزایش تأثیر داشته باشند.

روند کلی منحنی‌های رخنه لیتیم نیز مشابه برمید است (شکل ۱). به این مفهوم که منحنی رخنه لیتیم برای تیمار یونجه زودتر از تیمار گندم آغاز شد. همان‌گونه که دیده می‌شود منحنی رخنه برای تیمار گندم بسیار کشیده‌تر از تیمار پیشین بود. این منحنی رخنه پس از ۴PV آب‌شویی کامل نشده و برای کامل شدن نیاز به آب‌شویی تا حجم آب منفذی بیشتری داشت. همان‌گونه که انتظار می‌رفت C/C<sub>0</sub> لیتیم در زه‌آب خروجی برای تمام تیمارها کم‌تر از C/C<sub>0</sub> برمید در تیمارهای مشابه بود که دلیل آن جذب سطحی کاتیون لیتیم روی سطوح فعال (بار منفی سطح رس‌ها و ماده آلی) می‌باشد. اختر و همکاران (۲) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. این پژوهشگران حرکت

را در ستون‌های دست‌نخورده دو خاک لوم شنی و لوم رسی شنی بررسی کرده و دریافتند که با وجود رس بیشتر در خاک لوم رسی شنی (عامل جذب‌کننده باکتری)، حرکت باکتری سریع‌تر و میزان باکتری عبوری از این خاک بیشتر بود. آنها نتیجه گرفتند که وجود رس به‌عنوان یک عامل مثبت در تشکیل ساختمان خاک سبب توسعه منافذ و ساختمان بهتر در این خاک گردیده است که حرکت سریع‌تر و بیشتر باکتری را سبب شده است.

مقایسه منحنی‌های رخنه برمید و لیتیم (شکل‌های ۱ و ۲) نشان می‌دهد اثر نوع کشت بر حرکت ردیاب‌ها بیشتر از اثر بافت خاک است چرا که منحنی‌های رخنه ردیاب‌ها برای کشت یونجه زودآبی دارند. همچنین بیشینه غلظت نسبی ردیاب‌های خروجی در خاک‌های زیر کشت یونجه بیشتر از خاک‌های زیر کشت گندم بود. منحنی‌های رخنه در خاک لوم رسی نسبت به خاک لوم شنی، به دلیل پایداری بیشتر ساختمان خاک زودآبی نشان دادند. منحنی‌های رخنه از لحاظ زودآبی و بیشینه غلظت نسبی برای هر دو ردیاب به‌ترتیب لوم شنی-گندم > لوم رسی-گندم > لوم شنی-یونجه > لوم رسی-یونجه قرار گرفتند. به‌طورکلی منحنی‌های رخنه لیتیم در مقایسه با برمید کشیده‌تر بودند. کشیده‌تر شدن منحنی‌ها و شیب ملایم آنها را می‌توان به نقش فرآیندهای جذب و دیرآبی لیتیم مربوط دانست.

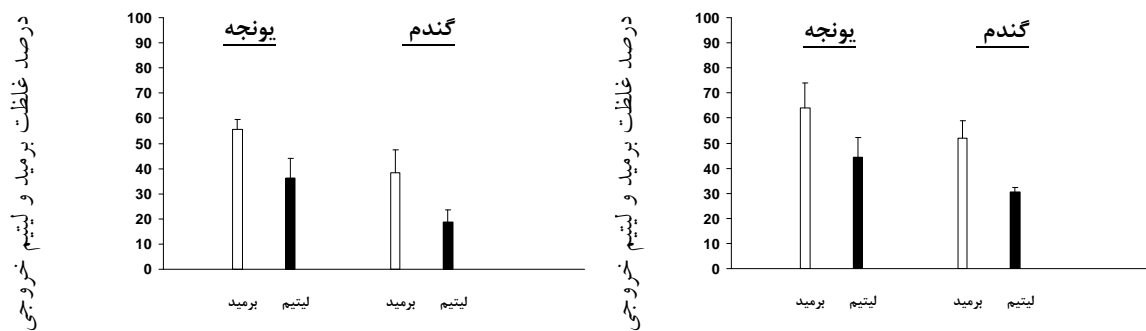
شکل ۳ درصد برمید و لیتیم عبورکرده از ستون‌های خاک در پایان آزمایش‌های آب‌شویی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود درصد کل برمید و لیتیم عبوری از ستون‌ها، در خاک لوم رسی و کشت یونجه به‌ترتیب بیشتر از خاک لوم شنی و کشت گندم می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده حرکت سریع‌تر هر دو ردیاب در خاک لوم رسی و تحت کشت یونجه، به‌دلیل توسعه بیشتر ساختمان (وجود منافذ بزرگ‌تر و پیوسته‌تر) و پایداری بیشتر خاک، است. از طرفی میزان کمتر لیتیم عبوری نسبت به برمید، نشان‌دهنده وجود فرآیند جذب این ردیاب روی سطوح فعال می‌باشد.

می‌شود این منحنی‌ها بسیار کشیده‌تر از منحنی‌های رخنه برمید می‌باشند که نشان‌دهنده خروج زود هنگام برمید نسبت به لیتیم می‌باشد. خروج زود هنگام برمید در این تیمارها را می‌توان ناشی از دفع آنیونی برمید دانست، زیرا برمید توسط بارهای منفی رس دفع شده و پس از قرار گرفتن در مرکز منافذ، سریع‌تر از لیتیم انتقال می‌یابد. از آنجا که برمید یک ردیاب غیرفعال بوده و در واکنش‌های جذب، تعادل و رسوب شرکت نمی‌کند، ضریب دیرآبی آن تقریباً برابر یک است.

بیشینه غلظت نسبی لیتیم خروجی برای تیمار یونجه و گندم به‌ترتیب ۰/۰۷۸ و ۰/۰۴۵ بود که در حجم‌های آب منفذی ۳PV و ۳/۸PV اندازه‌گیری شد. مقادیر گزارش‌شده به‌ترتیب کمتر از ۸ و ۵ درصد غلظت ورودی بود که می‌توان به اثر نوع کشت نسبت داد، به این صورت که در کشت گندم امکان تماس بیشتر لیتیم با سطوح فعال فراهم آمده و در نتیجه جذب لیتیم افزایش یافته است. همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد هیچ کدام از منحنی‌های رخنه لیتیم کامل نشده و می‌بایست که آب‌شویی تا حجم‌های آب منفذی بیشتری ادامه می‌یافت تا منحنی رخنه لیتیم کامل شده و پالس وارده به‌طور کامل از انتهای ستون خاک عبور کند.

مقایسه منحنی‌های رخنه شکل‌های ۱ و ۲ (خاک‌های لوم رسی و لوم شنی) نشان می‌دهد که وجود رس، ماده آلی و آهک بیشتر در خاک لوم رسی نسبت به خاک لوم شنی باعث شده است که با وجود کشت یکسان در هر دو خاک، میزان منافذ و پایداری آنها در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی شده و در نتیجه سرعت انتقال برمید در این خاک بیشتر شود، به گونه‌ای که در حجم آب منفذی یکسان (برای نمونه ۰/۸PV) غلظت نسبی برمید خروجی در خاک‌های لوم رسی-یونجه و لوم شنی-یونجه به‌ترتیب ۰/۱۸۲ و ۰/۰۶۵ می‌باشد (شکل‌های ۱-الف و ۲-الف). منحنی رخنه برمید در خاک لوم رسی-گندم نیز نسبت به خاک لوم شنی-گندم زودآبی داشت که می‌تواند به ساختمان مناسب خاک لوم رسی در مقایسه با خاک لوم شنی مربوط باشد. مصدقی و همکاران (۱۶) حرکت باکتری ایکولای





شکل ۳. درصد غلظت برمید و لیتیم خروجی در خاک لوم رسی (الف) و خاک لوم شنی (ب)

### نتیجه گیری

کشت از گیاهان ردیفی به یونجه می تواند باعث افزایش خطر آلودگی آب های زیرزمینی شود.  
۳. روند تغییرات منحنی های رخنه از لحاظ زودآیی و حداکثر غلظت نسبی برای هر دو ردیاب، یکسان بود. اما به دلیل این که برمید یک ردیاب غیرفعال (غیرجذب شونده) و لیتیم یک ردیاب فعال (جذب شونده) می باشد، غلظت نسبی ( $C/C_0$ ) خروجی لیتیم به علت جذب روی بارهای منفی سطح رس ها و مواد آلی، کمتر از برمید بود.

۱. در خاک لوم رسی زیر کشت یونجه درصد رس، ماده آلی و آهک بیشتر موجب افزایش خاکدانه سازی و بهبود ساختمان خاک و پایداری منافذ گردید. اثر تمام این ویژگی ها سبب شد سرعت و مقدار انتقال نمک ها در این خاک بیشتر از سایر خاک ها شود.  
۲. نوع گیاه کشت شده با توجه به سیستم ریشه ای آن اثر بسیار معنی داری بر حرکت نمک ها دارد. به گونه ای که تغییر سیستم

### منابع مورد استفاده

۱. شعبانپور شهرستانی، م.، م. افیونی و ف. موسوی. ۱۳۸۱. انتقال برماید در خاک های زیر کشت گیاهان مختلف. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴: ۷۹-۸۷.
2. Akhtar, M.S., T.S. Steenhuis, B.K. Richards and M.B. McBride. 2003. Chloride and lithium transport in large arrays of undisturbed silt loam and sandy loam soil columns. *Vadose Zone J.* 2: 715-727.
3. Bauyco, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size of soils. *Agron. J.* 56: 464-465.
4. Bejat, L., E. Perfect, V.L. Quisenberry, M.S. Coyne and G.R. Haszler. 2000. Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 818-826.
5. Beven, D.E. and P. Germann. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Res.* 18: 1311-1325.
6. Black, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. PP. 347-380. *In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. SSSA/ASA. Monograph 9. 2<sup>nd</sup> ed., Madison, WI.*
7. Bowman, R.S. 1984. Evaluation of some new tracers for soil water studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 987-993.
8. Caron, J., O. Benton, D.A. Anger and J.P. Villeneuve. 1996. Preferential bromide transport through a clay loam under alfalfa and corn. *Geoderma* 69: 175-191.
9. Gaston, L.A. and H.M. Selim. 1990. Transport of exchangeable cations in an aggregated clay soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 31-38.
10. Hills, R.G., P. J. Wierenga, D. B. Hudson and M. R. Kirkland. 1991. The second Las Cruces trench experiment: experimental results and two-dimensional flow predictions. *Water Resour. Res.* 27: 2707-2718.
11. Jabro, J. D., E.G. Lotse, K. E. Simmons and D. E. Baker. 1991. A field study of macropore flow under saturated conditions using a bromide tracer. *J. Soil Water Conserv.* 46: 376-380.

12. Jin, L., S. K. Hamilton and L.M. Walter. 2004. Water and solute mass transport in soils developed on glacial drift: a Br tracer investigation using instrumented soil monolith at an agricultural long term ecological research site. American Geophysical Union, Fall Meeting 2004, abstract#H31D-0438.
13. Kissel, D.E., J.T. Ritchie and E. Burnett. 1973. Chloride movement in undisturbed swelling clay soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 37: 21-24.
14. Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. PP. 687-732. *In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. ASA/SSSA. Monograph 9. 2<sup>nd</sup> ed., Madison, WI.*
15. Merdun, H. 2004. Factors affecting preferential flow. *J. Sci. Eng.* 7(2): 90-94
16. Mosaddeghi, M.R., A.A. Mahboubi, S. Zandsalimi and A. Unc. 2009. Influence of waste type and soil structure on the bacterial filtration rates in unsaturated intact soil columns. *J. Environ. Manage.* 90: 730-739.
17. Naidu, R., R. S. Kookana, M. E. Sumner, R. D. Harter and K.G. Tiller. 1997. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: A review. *J. Environ. Qual.* 26: 602-617.
18. Nielsen, D. R., J.W. Biggar and K.T. Erh. 1973. Spatial variability of field measured soil water properties. *Hilgardia* 42: 215-259
19. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-436. *In: Page A.L., C.E. Sumner and P.W. Nelson (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA/ASA Madison, WI, USA.*
20. Rowell, D. L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications.* Longman Group, Harlow.
21. Sims, J. T. 1996. Lime Requirement. *In: Page, A.L., C.E. Sumner and P.W. Nelson (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical Methods. SSSA/ASA. Madison, Wisconsin, USA. P. 491-515.*
22. Smith, S. J. and R.J. Davis. 1974. Relative movement of bromide and nitrate through soils. *J. Environ. Qual.* 3: 152-155.
23. Sullivan, E. J., P.W. Reimus and D. A. Counce. 2003. Transport of a reactive tracer in saturated alluvium described using a three-component cation-exchange model. *J. Contamin. Hydrol.* 62: 675-694.
24. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. *In: Page, A.L., C.E. Sumner and P.W. Nelson (Eds.), Method of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods. ASA/SSSA Medison, WI, USA.*
25. Yoder, R. E. 1936. A direct method of aggregate analysis and study of physical nature of erosion losses. *J. Amer. Soc. Agron.* 28: 337-351.

## Long-Term Cropping and Soil Texture Effects on Lithium and Bromide Transport Under Unsaturated Flow Conditions

G. Yousefi<sup>1\*</sup>, A. Safadoust<sup>1</sup>, M. R. Mosaddegh<sup>2</sup> and A. A. Mahboubi<sup>1</sup>

(Received : Aug. 23-2011 ; Accepted : June 25 -2012)

### Abstract

This study was conducted to assess the long-term effects of soil texture and crop management on transport of lithium ( $\text{Li}^+$ ) and bromide ( $\text{Br}^-$ ) under unsaturated flow conditions. Treatments were two different soil textures of clay loam and sandy loam to be cropped with either wheat or alfalfa for 4 years. Undisturbed soil columns were taken for the steady-state flow condition using tap water prior to applying a pulse of 0.005 M ( $C_0$ ) LiBr solution as the influent. Four pore volumes (4PV) leaching for each column was obtained. Bromide and lithium concentrations of the effluent (C) were measured in 0.2PV intervals using bromide selective electrode and flame photometer, respectively. Relative concentrations ( $C/C_0$ ) of  $\text{Br}^-$  and  $\text{Li}^+$  in the effluent were drawn vs. pore volumes. The results showed that the effluent concentrations were significantly affected by crop type and soil texture (in combination by soil structure). The breakthrough curves illustrated the early appearance of  $\text{Br}^-$  in the effluent due to anion repulsion and retarded movement of  $\text{Li}^+$  because of surface adsorption through the soil columns. Both  $\text{Br}^-$  and  $\text{Li}^+$  concentrations decreased with time and converged at low levels justifying the minor effect of macropores on continuation of leaching and final transport via soil matrix. The  $\text{Br}^-$  and  $\text{Li}^+$  concentrations were higher in the effluent of clay loam soil under alfalfa due to higher structural stability compared with sandy loam soil under the same crop. It was also shown that in both soil textures the concentrations of  $\text{Br}^-$  and  $\text{Li}^+$  appeared to be higher under alfalfa than under wheat, indicating the importance of crop management in contaminant transport compared with soil texture. The trends of breakthrough curves of  $\text{Li}^+$  were similar to  $\text{Br}^-$  with lower concentration in effluent as a result of its adsorption on active surfaces.

**Keywords:** Leaching, Unsaturated condition, Bromide, Lithium, Tracer, Wheat, Alfalfa.

---

1. Dept. of Soil Sci., College of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran.

2. Dept. of Soil Sci., College Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: golayeh.yousefi@gmail.com