



## تأثیر دما بر حرکت برومید در ستون‌های خاک هوادیده تحت شرایط غیراشباع

آزاده صفادوست<sup>1</sup>، علی‌اکبر محبوبی<sup>1</sup>، محمدرضا مصدقی<sup>2</sup>، بهرام قره‌باغی<sup>3</sup>، غلام خداکرمیان<sup>1</sup>، گلایه یوسفی<sup>1</sup>

1- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه خاکشناسی، دانشیار گروه گیاهپزشکی و کارشناس ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

2- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

3- دانشیار گروه فیزیک خاک و مدیریت آب، دانشگاه Guelph کانادا

[safadoust@gmail.com](mailto:safadoust@gmail.com)

### چکیده

در این پژوهش حرکت برومید تحت شرایط غیراشباع در دو دمای 5 و 20 درجه سانتی‌گراد در دو خاک لوم رسی و لوم شنی بررسی گردید. آزمایش‌های آبشویی در ستون‌های بزرگ بازسازی‌شده با هوادیدگی فیزیکی انجام شد. سرعت انتقال زیاد برومید در زمان‌های ابتدایی آبشویی در ستون‌های خاک لوم رسی نشان‌دهنده وجود جریان ترجیحی در این خاک‌ها بود. در زمان‌های انتهایی آبشویی، میزان برومید مشاهده‌شده در زه‌آب خروجی برای هر دو خاک تقریباً یکسان بود. کاهش دمای محیط شستشو سبب کاهش شدت جریان و در نتیجه کاهش انتقال برومید در هر دو نوع خاک لوم رسی و لوم شنی گردید.

کلمات کلیدی: آبشویی، برومید، جریان ترجیحی، دما، هوادیدگی فیزیکی

### مقدمه

شرایط اقلیمی یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری ساختمان خاک می‌باشد. تحقیقات نشان داده است در طی دوره‌های تر و خشک شدن و یخ زدن و ذوب شدن، منافذ خاک با آب پر می‌شوند و بطور تغییر ناپذیر دوباره چیده و آراسته می‌گردند. بنابراین دوره‌های تر و خشک شدن می‌توانند اندازه خاکدانه، مقاومت مکانیکی خاکدانه‌ها و اندازه منافذ را تحت تأثیر قرار دهند (تالفیر و همکاران، 1957). از آنجایی که این ویژگی‌ها در رابطه با حرکت آب و مواد در خاک مهم‌اند، بنابراین ساختمان خاک اهمیت زیادی در حرکت آب و مواد در خاک دارد (وایت، 1985).

خاک تحت شرایط غیراشباع دارای هدایت هیدرولیکی کم‌تری در مقایسه با شرایط اشباع می‌باشد. هدایت هیدرولیکی نه تنها تابعی از ویژگی‌های خاک می‌باشد، بلکه تابعی از ویژگی‌های مایع عبورکننده از خاک نیز می‌باشد. هدایت هیدرولیکی خاک ارتباط معکوس با گرانروی سیال (آب) عبوری دارد. همچنین گرانروی سیال تابعی از دمای آن می‌باشد. دمای آب اثر زیادی بر گرانروی آب دارد به گونه‌ای که گرانروی آب در دمای صفر درجه سانتی‌گراد هفت برابر مقدار آن در دمای 100 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بنابراین هدایت هیدرولیکی خاک نیز تابعی از دمای آب خواهد بود (چو و همکاران، 1999). یکی از کاربردهای اصلی دستگاه نفوذسنج مکشی اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی و کنترل مکش ماتریک خاک است. در واقع این دستگاه کنترل شدت جریان و شرایط مرزی را آسان می‌سازد. (آنگولا-جارمیلو و همکاران، 2000).



کمبودن دمای آب در اواخر پاییز در مقایسه با فصل بهار و تأثیر مستقیم دما بر گرانروی آب و در نهایت هدایت هیدرولیکی خاک جریان آب در خاک را تحت تأثیر قرار می دهد. دانسته ها در رابطه با این مهم در حد اندک است. بررسی نقش دما در حرکت برومید می تواند دانش ما را در پاسخ به این سوال که کوددهی در فصل سرد یا گرم سال، کدامیک با خطر آلودگی کم تر آب های زیرزمینی به آلاینده ها همراه است، افزایش دهد.

## مواد و روشها

این پژوهش بر روی ستون های خاک هوادیده دو نوع خاک با بافت های لوم شنی، SL، و لوم رسی، CL، در شرایط غیراشباع انجام شد. برای اندازه گیری برخی ویژگی های خاک، از لایه های 0-15، 15-30 و 30-45 سانتی متری نمونه خاک برداشته شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بودر، 1986)، مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (واکلی و بلک، 1934) و مقدار کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی با NaOH (سیمز، 1996) اندازه گیری شدند. با توجه به اینکه تغییرات پارامترهای فیزیکی اندازه گیری شده در لایه 0 تا 45 سانتی متر معنی دار نبود ( $P < 0/05$ )، مقادیر میانگین پارامترهای خاک در لایه 0 تا 45 سانتی متر ذکر شده است (جدول 1).

جدول 1. ویژگی های فیزیکی خاک های مورد بررسی (0-45 سانتی متر)

بافت خاک	شن	سیلت	رس	ماده آلی	کربنات کلسیم
	%				
لوم رسی	41/0	31/0	28/0	0/54	0/97
لوم شنی	75/1	9/4	15/5	0/45	0/84

نمونه های خاک برداشت شده از مزرعه به آزمایشگاه منتقل و پس از عبور دادن از الک 8 میلی متری (برای جدا کردن سنگ های درشت و شکستن کلوخه ها)، در ستون های آزمایشی (قطر داخلی 24 سانتی متر و ارتفاع 45 سانتی متر) به گونه ای پر شد که چگالی ظاهری آنها برابر با چگالی ظاهری خاک های مورد نظر در مزرعه گردد ( $1/36 \text{ Mgm}^{-3}$  برای خاک لوم رسی و  $1/55 \text{ Mgm}^{-3}$  برای خاک لوم شنی). در کل 16 ستون خاک آماده شد که در شرایط طبیعی به منظور ایجاد هوادیدگی شامل دوره های خشک و تر شدن و یخ زدن و ذوب شدن (به مدت 9 ماه) قرار گرفتند. در انتهای ستون های خاک، توری فلزی با قطر منافذ کوچک مورد استفاده قرار گرفت تا علاوه بر نقش نگهدارنده ستون خاک، زهکشی آب خروجی از ستون را نیز انجام دهد. از دستگاه نفوذسنج مکشی با قطر دیسک 20 سانتی متر برای انجام آزمایش های آبشویی در شرایط غیراشباع استفاده شد. برای برقراری جریان غیراشباع، دستگاه در مکش 5 سانتی متر تنظیم شد. پس از برقراری جریان ماندگار، 250 میلی لیتر محلول برومید پتاسیم 0/025 مولار ( $C_0$ ) به خاک اعمال شد. شستشوی ستون های خاک به مدت 24 ساعت ادامه یافت و نمونه گیری در زمان های 15، 30، 45، 60، 120، 240، 360، 720، 1080، 1200 و 1440 دقیقه پس از اعمال محلول برومید پتاسیم روی خاک به کمک پمپ مکش انجام گرفت. سپس غلظت برومید، (C)، در محلول خروجی با استفاده از الکتروود انتخابگر برومید مدل متروم، اندازه گیری و با واحد مولار (M) بیان شد. در این مطالعه منحنی رخنه برومید به صورت غلظت نسبی برومید ( $C/C_0$ ) در



برابر زمان رسم شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آزمایش‌های آبشویی در دو دمای 5 و 20 درجه سانتی‌گراد در درون اطاقکی که دمای آن به طور دقیق کنترل شده بود، انجام گرفت.

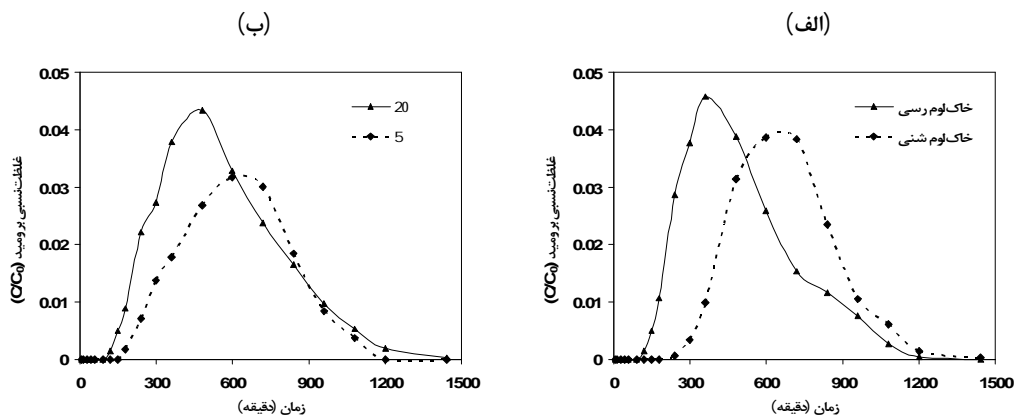
### نتیجه‌گیری

برخی از ویژگی‌های جریان غیراشباع در جدول 2 آورده شده است. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده تأثیر دوره‌های تر و خشک شدن و یخ‌زدن و ذوب‌شدن در شکل‌گیری مجدد ساختمان خاک می‌باشد. به گونه‌ای که یخ‌زدن تدریجی آب در منافذ باعث فشرده شدن ذرات خاک و نزدیک شدن آنها به یکدیگر و در نتیجه تشکیل خاکدانه و ایجاد منافذ درشت شده است (نیومن و تامسون، 1979).

جدول 2: برخی ویژگی‌های جریان غیراشباع

خاک لوم رسی		خاک لوم شنی		ویژگی
5 °C	20 °C	5 °C	20 °C	
0/42	0/42	0/32	0/32	مقدار رطوبت خاک (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
2/28	2/73	1/39	1/54	شدت جریان ماندگار (cm h <sup>-1</sup> )
5981/7	5981/7	4587/5	4587/5	حجم آب منفذی (cm <sup>3</sup> )

همان‌طور که مشاهده می‌شود خاک لوم‌رسی دارای رطوبت بیشتری نسبت به خاک لوم‌شنی در مکش 5 سانتی‌متر می‌باشد؛ و همچنین فرایند هوادیدگی فیزیکی سبب افزایش شدت جریان ماندگار (در هر دو دما) در خاک لوم‌رسی نسبت به خاک لوم‌شنی گردیده است، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت رس در بهبود ساختمان خاک و شکل‌گیری منافذ می‌باشد (آنک و گاس، 2003).



شکل 1. تأثیر بافت خاک (الف) و درجه حرارت (ب) بر منحنی رخنه برومید



در شکل 1 منحنی‌های رخنه برومید برای تیمارهای بافت خاک (میانگین دمای 5 و 20 درجه سانتی‌گراد) و درجه حرارت (میانگین خاک لومرسی و لوم‌شنی) آورده شده است. منحنی‌های رخنه نشان می‌دهند که برومید در حین انتقال، تحت تأثیر تیمارهای بررسی‌شده قرار گرفته است. در واقع فرایند هوادیدگی در خاک‌های دست‌خورده، می‌تواند باعث بازسازی و ترمیم ساختمان بهم‌خورده در خاک شود. در مقایسه خاک‌های هوادیده شنی و رسی انتقال برومید در ستون‌های رسی سریع‌تر از ستون‌های شنی بوقوع پیوست (شکل 1-الف). بطوری‌که در خاک رسی آلودگی محلول خاک به ترتیب در دمای 20 درجه سانتی‌گراد 2 ساعت و در دمای 5 درجه سانتی‌گراد 4 ساعت سریع‌تر نسبت به خاک شنی مشاهده شد. در واقع در ستون‌های رسی به علت وجود رس بیشتر، خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک افزایش یافته و احتمالاً در جریان خشک و تر شدن، درز و ترک‌های عمیقی در آنها بوجود آمده که باعث بوجود آمدن جریان ترجیحی گشته و انتقال سریع‌تر برومید را باعث شده است. سرعت انتقال زیاد برومید در زمان‌های ابتدایی آبشویی (خروج زود هنگام) در ستون‌های خاک لومرسی دلیل دیگری بر وجود جریان ترجیحی در این خاک‌ها می‌باشد. در زمان‌های انتهایی آبشویی، میزان برومید مشاهده‌شده در زه‌آب خروجی برای هر دو خاک تقریباً یکسان بود. اثر دما بر منحنی‌های رخنه باکتری در شکل (1-ب) نشان داده شده است. در خاک‌های تحت شرایط دمایی 20 درجه سانتی‌گراد، زه‌آب خروجی سریع‌تر به آلاینده آلوده گردید. همان‌گونه که قبلاً شرح داده شد در دمای زیادتر، سرعت حرکت آب نیز بیشتر می‌شود و از آنجا که انتقال آلاینده‌ها بستگی به ویژگی‌های جریان آب دارد (آنک و گاس، 2003)، حرکت آلاینده‌ها نیز سریع‌تر می‌شود. چو و همکاران (1999) نیز افزایش 3 برابری هدایت هیدرولیکی خاک را در نتیجه افزایش دما از 20 °C به 80 °C گزارش کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خاک‌های ساختمان‌دار نیاز به مدیریت زراعی بیش‌تری برای جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی به آلاینده‌ها دارند. همچنین عبور بیش‌تر آلاینده‌ها در دمای 20 °C در هر دو خاک نشان داد که دمای محیط یکی دیگر از ویژگی‌های مهم می‌باشد که در هنگام مصرف کودهای آلی و شیمیایی باید به آن توجه کرد.

## منابع

- Angulo-Jaramillo R, Vandervaere JP, Roulier S, Thony JL, Gaudet JP and Vauclin M, 2000. Filed measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers; A review and recent developments. *Soil & Tillage Research* 55:1-29.
- Cho WJ, Lee JO and Chun KS, 1999. The temperature effects on hydraulic conductivity of compacted bentonite. *Applied Soil Science* 14: 47-58.
- Gee GW and Bauder JW, 1986. Particles size analysis. In: Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. SSSA/ASA. Agronomy Monograph 9. 2<sup>nd</sup> Ed, pp. 383-411.
- Newman ACD and Thomasson AJ, 1979. Rothamsted studies of soil structure. III. Pore size distributions and shrinkage processes. *Journal of Soil Science* 30: 415-439.
- Sims JT, 1996. Lime requirement methods of soil analysis. In: Klute, A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical Methods*. SSSA/ASA. Madison, Wisconsin, USA. pp. 491
- Telfair D, Gardner MR, and Miars D, 1957. The restoration of a structurally degenerated soil. *Soil Science Society American Journal* 21: 131-134.
- Unc A and Goss MJ, 2003. Movement of faecal bacteria through the vadose zone. *Water, Air & Soil Pollution* 149: 327-337.



دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران  
تبریز، 12 الی 14 شهریور 1390  
(فیزیک خاک و رابطه آب خاک و گیاه)

- White RE, 1985. the influence of macropores on the transport of dissolved and suspended matter through soil. *Advanced Soil Science* 3: 94-120.
- Walkly A and Black IA, 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration. *Soil Science* 37: 29-38.