

## تأثیر غلظت‌های مختلف منیزیم در آب بر ویژگی‌های خاک و تعیین غلظت بحرانی آن

زهرا نوفرستی<sup>1</sup>، محمدعلی حکیم‌زاده اردکانی<sup>2\*</sup>

تاریخ دریافت: 94/07/05 تاریخ پذیرش: 95/02/28

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

2- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [hakim@yazd.ac.ir](mailto:hakim@yazd.ac.ir)

### چکیده

در بسیاری از روابط از جمله نسبت جذب سدیم، همواره کلسیم و منیزیم از لحاظ تأثیر بر بهبود و حفظ ساختمان خاک مشابه فرض می‌شوند در صورتی‌که در این رابطه نظرات متفاوتی توسط محققان ارایه شده است. تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف منیزیم بر برخی شاخص‌های پایداری خاک، انجام شد. بدین منظور یک نمونه خاک لوم رسی به مدت 4 ماه تحت اثر غلظت‌های مختلف منیزیم (0، 1، 2، 3، 4 و 5 میلی‌مول بر لیتر) در 3 تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی قرار گرفت. پس از این مدت، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، پایداری مرطوب خاکدانه‌ها، پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک اندازه‌گیری گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که غلظت‌های مختلف منیزیم اثرات متفاوت و معنی داری بر شاخص پایداری خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی و پراکنش رس داشت ( $p \leq 0/01$ ). تا غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر به دلیل جانشینی منیزیم به جای سدیم و کاهش اثرات آن، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی افزایش و پراکنش رس کاهش پیدا کرد. پس از غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر با افزایش نسبت منیزیم به کلسیم، منیزیم جایگزین کلسیم گردید و از آنجا که به دلیل خصوصیات ویژه یونی، همچون شعاع و انرژی هیدراته بیشتر، توانایی کمتری از کلسیم در حفظ پایداری خاک داشت لذا باعث کاهش پایداری خاک گردید.

واژه‌های کلیدی: پایداری مرطوب خاکدانه‌ها، پراکنش رس، منیزیم، میانگین وزنی قطر خاکدانه، هدایت هیدرولیکی

## Effect of Different Magnesium Concentration in Water on Soil Characteristics and Determining the Critical Concentration

Z Noferesti<sup>1</sup>, MA Hakimzadeh Ardakani<sup>2\*</sup>

Received: 27 September 2015

Accepted: 17 May 2016

1- MSc. of Desert Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University

2- Assist., Prof., Faculty of Natural Resources, Yazd University

\*Corresponding Author, Email: [hakim@yazd.ac.ir](mailto:hakim@yazd.ac.ir)

### Abstract

Usually, the impact of calcium and magnesium on improving and maintaining soil structure is assumed to be similar. This study was conducted to investigate the effect of different concentrations of magnesium on soil quality indicators. A clay loam soil was treated with four concentrations of magnesium (0, 1, 2, 3, 4, and 5 mmol/L) during 4 months in a completely randomized design with three replications. After this period, the mean weight diameter (MWD), wet aggregate stability (WAS), clay dispersion (DS) and soil saturated hydraulic conductivity ( $K_s$ ) were measured. Analysis of variances showed that aggregate stability, hydraulic conductivity and clay dispersion significantly ( $p < 0.01$ ) were affected by different magnesium concentrations. By 3 mmol/L of magnesium wet aggregate stability and hydraulic conductivity increased due to substitution of the sodium by magnesium which resulted in clay dispersion reduction. Substitution of the calcium by magnesium in concentrations more than 3 mmol/L resulted in lower aggregate stabilities due to special features of the magnesium such as higher hydrated radius and hydration energy compared to the calcium.

**Keyword:** Magnesium, Mean Weight Diameter, Wet aggregate stability, Clay Dispersion, Hydraulic conductivity

### مقدمه

فیزیکی خاک داشته و باعث کاهش پایداری خاک می-شود. بررسی‌های زیادی بر روی تأثیر کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف از لحاظ تأثیر بر ساختار خاک صورت گرفته است. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده کلسیم باعث حفظ و هم‌آوری ذرات خاک (بن هور و همکاران 1985، آرمسترانگ و تانتن 1992، چان و هیخان 1999، ارتز و همکاران 2000) و سدیم تبدیلی سبب تسریع تخریب ساختار خاک می‌گردد (هادس و فرنکل 1982، مارتینز 1999، ممدو و لوی 2001، لبرون و همکاران 2002).

در مطالعه اثرات یون‌ها در خاک همواره به منیزیم و کلسیم تقریباً به طور مشابه در توسعه و حفظ ساختار خاک توجه شده و برای کاهش اثرات مخرب درصد بالای سدیم تبدیلی در خاک به کار برده می‌شوند،

در اغلب موارد پایداری ساختمان خاک به عنوان شاخصی جهت ارزیابی کیفیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (سیکس و همکاران 2002، برونیک و ل 2005). پایداری ساختار خاک به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که از مهم‌ترین این پارامترها می‌توان به کیفیت مواد آلی (اس پاچینی و همکاران 2001، آدسودون و 2005)، محتوای کاتیونی (دکستر و چان 1991، لوی و تورنتو 1995) و بافت خاک (بایکس فایوس و همکاران 2001) اشاره نمود.

بسیاری از عناصر و یون‌های محلول خاک نقش موثری در بهبود ساختار فیزیکی و افزایش پایداری خاک دارند در حالی که افزایش غلظت برخی عناصر در فاز محلول خاک تأثیرات نامطلوبی بر خصوصیات

تأثیر نسبت‌های کلسیم به منیزیم بر روی انتشار خاک‌های بعضی از مناطق جنوب نیجریه نیز توسط اوگبونا و همکاران (2013) مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج آنها نشان داد که منیزیم بالا باعث انتشار ذرات رس در خاک شده و میزان نفوذ آب به خاک را کاهش می‌دهد.

نتایج آزمایشات ویشپولسکی و همکاران (2008) و آگر (2012) در رابطه با امکان اصلاح خاک‌های متأثر از منیزیم نشان داد که با توجه به این که شعاع هیدراته یون منیزیم نسبت به کلسیم بزرگتر است با افزایش غلظت کلسیم نسبت به منیزیم، منیزیم اضافی در مجموع تبادل یونی جایگزین می‌شود و در نتیجه میزان هم-آوری ذرات خاک افزایش می‌یابد.

بازاکا و همکاران (2015) به این نتیجه رسیدند که یون‌های منیزیم در محلول خاک کمتر منعقد کننده هستند و نسبت به کلسیم بیشتر اثر دیسپرس کننده روی خاک‌ها دارند.

از آنجاییکه منیزیم در واکنش‌های شیمیایی خاک-های قلیایی حضور داشته ولیکن در مقایسه با کلسیم روند یکسانی را به‌خصوص در غلظت‌های بالاتر نشان نمی‌دهد (دون سوآ و نورتون 2002): لذا برای جلوگیری از تداخل اثرات کلسیم و منیزیم و پرهیز از یکسان تلقی کردن نقش آن‌ها در خاک‌ها تحقیق حاضر با هدف بررسی چگونگی روند تأثیر افزایش غلظت منیزیم بر ویژگی‌های خاک نظیر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، پراکنش رس، و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک صورت گرفته است.

#### مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، شامل بافت خاک، مواد آلی، آهک، pH، EC و CEC قبل از شروع اعمال تیمارهای مورد نظر اندازه‌گیری گردید. (کلوت 1986، پیچ 1983) (جدول 1).

اما همواره این حساسیت وجود داشته که منیزیم علاوه بر اثرات مفید، می‌تواند اثرات زیانباری بر تخریب ساختار خاک داشته باشد (شاینبرگ و لتی 1984). در واقع منیزیم تحت تأثیر شرایط و غلظت خاص اثرات زیانباری در ساختمان خاک ایجاد می‌کند؛ از جمله این اثرات می‌توان به کاهش هدایت هیدرولیکی، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و افزایش میزان پراکندگی رس اشاره نمود (شاینبرگ و همکاران 1988، ژانگ و نوترون 2002).

تورکوزا و همکاران (2014) تأثیر مقادیر مختلف محلول کلرید منیزیم را بر خواص فیزیکی خاک مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که، افزایش غلظت منیزیم به‌طور معنی‌داری میزان رس‌های دیسپرس شده در محیط خاک را افزایش داده است.

بررسی غدیر و شوبرت (2002) بر روی فرآیندهای مؤثر در تخریب خاک‌های سدیمی نشان داد که هرگاه میزان منیزیم در محیط تبدالی بیش از حد مجاز باشد همراه با سدیم یا به تنهایی در تخریب خاک از طریق اثر بر خواص فیزیکی خاک مؤثر است.

دون سوآ و همکاران (2004) نشان دادند که افزایش غلظت منیزیم بیش از حد مجاز با ایجاد تورم بالا در رس سبب پراکنش رس، تخریب و شکست خاکدانه‌ها می‌شود. نتایج بررسی کریموف و همکاران (2009) و بکبایف و همکاران (2005) در رابطه با توسعه منیزیم در زمین‌های تحت آبیاری قزاقستان و کاراچه و همکاران (2004) در زمین‌های تحت آبیاری ترکمنستان نشان دادند که غلظت بالای منیزیم در آب آبیاری و تجمع آن در خاک همراه با سدیم و یا به تنهایی سبب تخریب ساختار خاک از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود. تجمع منیزیم در خاک این منطقه در طولانی مدت باعث افزایش لغزش سطحی خاک، فشردگی ساختمان خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی، نفوذپذیری و ظرفیت تولید خاک می‌شود.

بود که تداخلی در آن‌ها صورت نگیرد. پس از طی این دوره زمانی، شاخص‌های پایداری خاکدانه، پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی اشباع در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد.

در مرحله بعد نمونه‌های خاک در قالب طرح کاملاً تصادفی تحت اثر تیمار غلظت‌های مختلف منیزیم (0، 1، 2، 3، 4 و 5 میلی‌مول بر لیتر) در 3 تکرار قرار گرفتند و در یک دوره زمانی چهار ماهه در شرایط ظرفیت مزرعه‌ای نگهداری و کنترل شدند و سعی بر آن

#### جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش.

Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	ECe	CEC	مواد آلی	آهک	سیلت	شن	رس	بافت خاک
(Meq L <sup>-1</sup> )			(-)	(dS m <sup>-1</sup> )	(cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
97/29	3/8	22	8/27	12/6	72	0/21	34	41	29	30	لوم رسی

که در آن، R وزن ذرات باقی‌مانده بر روی الک 0/25 میلی‌متر، S وزن ذرات شن باقی‌مانده بر روی الک 0/25 میلی‌متر و T جرم کل نمونه خاک است.

#### اندازه‌گیری پراکنش رس<sup>3</sup>

جهت اندازه‌گیری پراکنش رس از روش پوجوساک و کی (1990) استفاده شد. که در آن کدورت ایجاد شده از پراکنش رس توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر با تعیین درصد طول موج نور عبوری، مشخص شده و با شاهد مقایسه می‌گردد.

#### اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع

با توجه به بافت سنگین خاک در این پژوهش از روش بار افتان جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع<sup>4</sup> (Ks) استفاده شد. بدین‌منظور از یک بورت با سطح مقطع حدود 1 سانتی‌متر مربع استفاده شد این بورت به‌وسیله‌ی یک سه پایه محکم شده و نقش منبع آبی را در این آزمایش ایفا کرد. در مرحله بعد نمونه خاک دست‌نخورده اشباع شد و در یک استوانه با ابعاد

#### اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها

در این پژوهش با وجود روش‌ها و شاخص‌های مختلف جهت ارزیابی میزان پایداری خاکدانه‌ها، از دو شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها<sup>1</sup> (MWD) و پایداری مرطوب خاکدانه‌ها<sup>2</sup> (WAS) استفاده شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه با استفاده از غربال مرطوب کمپر و روزنا (1986) و بر اساس رابطه زیر اندازه‌گیری گردید.

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i \bar{x}_i \quad [1]$$

که در این رابطه n تعداد دامنه اندازه خاکدانه،  $\bar{x}_i$  میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک و  $w_i$  نسبت وزن خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک به وزن کل نمونه خاک است.

در این مطالعه پایداری مرطوب خاکدانه‌ها بر طبق روش پوجاسوک و کی (1990) اندازه‌گیری گردید و برای محاسبه آن از فرمول زیر استفاده شد.

$$\%WAS = \frac{(R - S)}{(T - S)} \times 100 \quad [2]$$

<sup>3</sup>- Dispersion coefficient

<sup>4</sup>- Saturated hydraulic conductivity

<sup>1</sup>- Mean weight diameter

<sup>2</sup>- Wet aggregate stability

مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. تجزیه آماری و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

### نتایج و بحث

جدول 1 نشان می‌دهد خاک مورد مطالعه شور و قلیا بوده و pH نسبتاً بالا و مقدار مواد آلی و منیزیم آن بسیار کم و دارای بافت نسبتاً سنگین (Clay Loam) می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های مختلف منیزیم بر روی پارامترهای پایداری مرطوب خاکدانه‌ها، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی در جدول 2 ارائه شده است. تحلیل واریانس داده‌ها نشان دهنده تأثیر معنی‌دار تیمارها ( $P \leq 0/01$ ) بر صفات مورد مطالعه است.

12×6/3 در زیر منبع آب قرار گرفت؛ قسمت پایین آن با شبکه ریز فلزی پوشیده شد به شکلی که آب از آن عبور کرده و وارد ظرف جمع‌آوری آب شود سپس بر اساس رابطه زیر مقدار این پارامتر اندازه‌گیری گردید (علیزاده 1385)

$$k = 2.3 \frac{aL}{At} \log \frac{h_0}{h} \quad [3]$$

در این فرمول L طول نمونه، A سطح مقطع نمونه و a سطح مقطع لوله آب ورودی است که در مدت t ارتفاع آب در این لوله از  $h_0$  به h تغییر پیدا می‌کند.

### تجزیه داده‌ها

پس از انجام آزمون نرمال بودن و آزمون همگنی واریانس‌ها، از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه جهت تجزیه داده‌ها و از آزمون چند دامنه دانکن برای

جدول 2- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف منیزیم بر صفات میانگین وزنی قطر خاکدانه، پایداری تر خاکدانه، پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی.

میانگین مربعات				درجه آزادی (df)	منبع تغییر
(K <sub>s</sub> )	(DC)	(WAS)	(MWD)	5	سولفات منیزیم (MgSO <sub>4</sub> )
0/051**	0/146**	308/132**	0/045**		

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد

در رابطه با شاخص پایداری تر خاکدانه‌ها غلظت 4 و 5 میلی‌مول بر لیتر منیزیم از نظر تأثیر بر میزان پایداری مرطوب خاکدانه‌ها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. بر اساس این شاخص نیز بیش‌ترین میزان پایداری در غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر مشاهده گردید به طوری که در این غلظت میزان پایداری به ترتیب 1/11 و 1/16 برابر غلظت‌های 4 و 5 میلی‌مول بر لیتر شد.

با افزایش غلظت منیزیم پراکنش رس به طور معنی‌داری کاهش یافت و کم‌ترین میزان پراکنش در غلظت 4 میلی‌مول بر لیتر به دست آمد، دلیل این امر را می‌توان به توانایی منیزیم در هم‌آوری ذرات و کاهش

نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف منیزیم بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها نشان‌دهنده آن است که بین میانگین تمامی تیمارها در سطح 1 درصد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. افزایش غلظت منیزیم تا 3 میلی‌مول بر لیتر منجر به افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها گردید به طوری که بیش‌ترین میزان آن در غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر مشاهده شد. در غلظت 5 میلی‌مول بر لیتر با وجود افزایش غلظت منیزیم پایداری خاکدانه‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت به غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر کاهش پیدا کرده است.

اثرات مخرب کاتیون‌هایی همچون سدیم نسبت داد. پس از غلظت 4 میلی‌مول بر لیتر روند کاهش پراکنش رس در حد قابل انتظار نبوده و در غلظت 5 میلی‌مول پراکنش رس دوباره افزایش یافته است. در تمامی غلظت‌های مورد بررسی منیزیم، هدایت هیدرولیکی اشباع نسبت به شاهد افزایش یافت. با این

حال بین غلظت‌های 3 و 5 میلی‌مول از نظر تأثیر بر هدایت هیدرولیکی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در واقع افزایش هدایت هیدرولیکی از افزایش غلظت تبعیت نکرده و در غلظت 5 میلی‌مول بر لیتر میزان هدایت هیدرولیکی کمتر از غلظت 4 میلی‌مول بر لیتر است (جدول 3).

جدول 3- مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف منیزیم بر صفات میانگین وزنی قطر خاکدانه، پایداری تر خاکدانه، پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی اشباع.

(K <sub>s</sub> ) (cm min <sup>-1</sup> )	(WAS) (-)	(DC) (%)	(MWD) (-)	سطوح تیمار (mmol L <sup>-1</sup> )	تیمار
0/418 <sup>e</sup>	22/63 <sup>e</sup>	0/926 <sup>a</sup>	0/193 <sup>e</sup>	0	
0/504 <sup>d</sup>	31/11 <sup>d</sup>	0/786 <sup>b</sup>	0/277 <sup>d</sup>	1	
0/622 <sup>c</sup>	38/6 <sup>c</sup>	0/6031 <sup>c</sup>	0/372 <sup>c</sup>	2	
0/717 <sup>ab</sup>	50/34 <sup>a</sup>	0/463 <sup>d</sup>	0/51 <sup>a</sup>	3	سولفات منیزیم (MgSO <sub>4</sub> )
0/754 <sup>a</sup>	45/26 <sup>b</sup>	0/372 <sup>e</sup>	0/471 <sup>ab</sup>	4	
0/686 <sup>b</sup>	43/103 <sup>b</sup>	0/421 <sup>de</sup>	0/438 <sup>b</sup>	5	

اعداد دارای حرف لاتین مشابه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. (P≤0.01)

رابطه همبستگی بین غلظت‌های مختلف منیزیم، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی و پراکنش رس در نمونه خاک بررسی شد، براساس نتایج به دست آمده پارامتر پراکنش رس با پارامترهای پایداری مرطوب خاکدانه‌ها، میانگین وزنی قطر خاکدانه-ها و هدایت هیدرولیکی همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. نتایج بررسی‌های تاجیک (1383) و ایگوه و یودگبونام (2008) در رابطه با شاخص‌های پایداری این مطلب را تایید نمود.

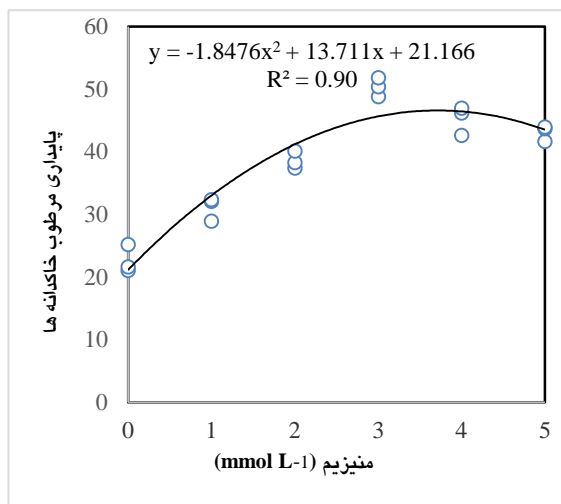
در این مطالعه برای به دست آوردن همبستگی بین پارامترهای مورد بررسی و تعیین نوع رابطه و مقدار تغییر در شاخص‌های پایداری خاکدانه، پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی اشباع به‌ازای تغییر در متغیر مستقل از رگرسیون استفاده شد (اشکال 1 تا 4).

نتایج نشان داد که منیزیم بر شاخص‌های پایداری خاکدانه، پراکنش رس و هدایت هیدرولیکی تأثیر معنی‌داری داشته است ولی روند آن‌ها به یک شکل نبوده است. با افزایش منیزیم تبدالی خاک میزان پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد اما پس از غلظت 3 میلی‌مول این روند کاهشی شده و شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با شیب کمی کاهش پیدا کرد در واقع روند افزایش پایداری از روند افزایش غلظت تبعیت نکرد (شکل 1).

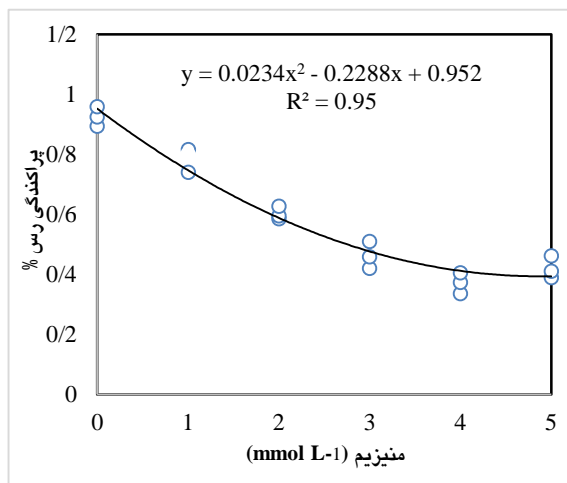
دلیل مشاهده چنین روندی این است که تا غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر منیزیم نقش به‌سزایی در کاهش اثرات سدیم ایفا می‌کند و موجب افزایش پایداری می‌شود اما به‌نظر می‌رسد کاهش نقش منیزیم در افزایش پایداری خاکدانه‌ها، پس از این غلظت به دلیل جایگزینی این کاتیون به جای کلسیم است که موجب می‌شود،

تخریب خاکدانه‌ها تشدید می‌شود در واقع منیزیم همراه با سدیم یا به تنهایی در تخریب خاک نقش به‌سزایی خواهد داشت.

ارتباط غلظت‌های مختلف منیزیم و پراکنش رس نیز غیرخطی و معنی‌دار ( $P \leq 0/01$ ) است به‌طوری‌که شیب روند کاهشی پراکنش رس از غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر منیزیم به بعد کاهش پیدا می‌کند و پس از غلظت 4 میلی‌مول روند کاهش پراکنش رس در حد قابل انتظار نمی‌باشد (شکل 3).

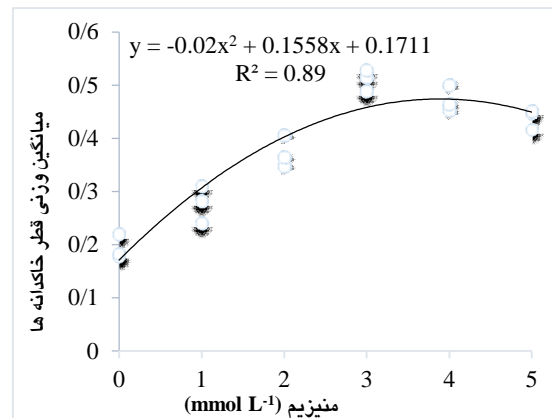


شکل 2- پایداری مرطوب خاکدانه‌ها در غلظت‌های مختلف منیزیم.



شکل 3- تغییرات پراکنش رس در غلظت‌های مختلف منیزیم.

شاخص پایداری خاک به طور معنی‌داری سیر نزولی پیدا کند. نتایج بررسی ژانگ و نورتون (2002) و کاراچه و همکاران (2004) نشان داد در صورتی‌که نسبت منیزیم به کلسیم در خاک افزایش پیدا کند تأثیرگذاری سدیم بیشتر و میزان پایداری کاهش پیدا می‌کند.



شکل 1- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در غلظت‌های مختلف منیزیم.

مطالعه بر روی نسبت‌های مختلف کلسیم و منیزیم توسط شینبرگ و همکاران (1988) و دونستوا و نورتون (2002) نیز نشان داد که منیزیم به دلیل خصوصیات ویژه یونی کم‌تر از کلسیم در بهبود ساختمان خاک موثر است. لذا با افزایش غلظت منیزیم و رسیدن به غلظت خاص پایداری خاک کاهش پیدا می‌کند و روند مورد انتظار را نشان نمی‌دهد.

با افزایش غلظت منیزیم شاخص پایداری مرطوب خاکدانه‌ها نیز افزایش داشته است اما این رابطه نیز خطی نبوده است و از روند یکنواختی برخوردار نیست (شکل 2)؛ در مورد این پارامتر سنجش پایداری نیز همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش غلظت منیزیم و کاهش اثر سدیم روند صعودی پایداری خاک ادامه پیدا کند این در حالی است که بر اساس بررسی‌های غدیر و اسچوبرت (2002)، بکایف و همکاران (2005) و کریمو و همکاران (2009) و با افزایش غلظت منیزیم و رسیدن آن به غلظت خاص اثرگذاری سدیم در شکست و

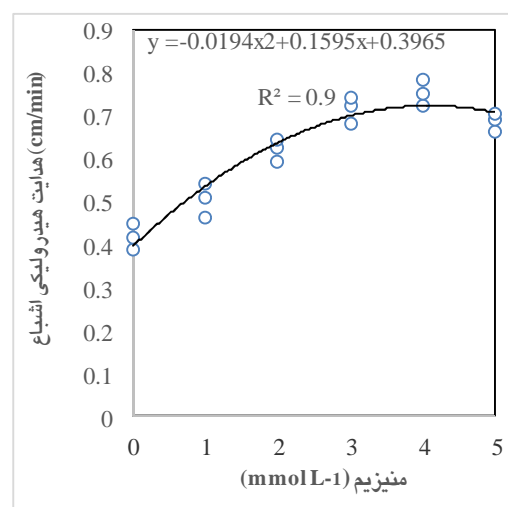
حضور منیزیم با غلظت غالب و جایگزینی آن به جای کلسیم دلیل مشاهده چنین روندی است. کاهش پایداری خاکدانه‌ها و پراکنش رس که از همین افزایش غلظت منیزیم ناشی می‌شود، موجب تشدید کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌گردد. به عبارتی دیگر همان‌طور که پیش از این اشاره شد با جایگزینی منیزیم به جای کلسیم و کاهش پایداری و افزایش آماس ساختار خاک تخریب و آرایش منافذ تغییر می‌کند و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش می‌یابد. بررسی آقاسی (1996) و ژانگ و نورتون (2002) نیز نشان داد که پراکنندگی رس نقش به‌سزایی در کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک دارد. دلیل کاهش شیب نمودار را می‌توان در تخریب ساختار خاک و تغییر آرایش منافذ جستجو کرد. به عبارتی دیگر نفوذ آب به داخل لایه‌های ذرات رس باعث انبساط، ایجاد شکاف و تغییر شکل خاکدانه می‌شود و در نهایت مسدود شدن خلل و فرج، سبب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌گردد (لادو و همکاران 2004).

### نتیجه‌گیری کلی

هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر افزایش میزان منیزیم تبدالی بر شاخص‌های پایداری خاک بوده است. با افزایش غلظت منیزیم در خاک در ابتدا میزان پایداری خاکدانه‌ها افزایش پیدا کرد که این امر به دلیل کاهش غلظت سدیم در محیط تبدالی در نتیجه جانشین شدن منیزیم می‌باشد، ولی پس از غلظت 3 میلی‌مول بر لیتر منیزیم، شاخص‌های پایداری خاکدانه روند کاهشی پیدا می‌کند که می‌تواند ناشی از جایگزینی منیزیم به جای کلسیم بر سطوح تبدالی کلویدهای رس باشد. در غلظت‌های بالای منیزیم شعاع هیدراته بالا، شعاع یونی کم و آنتروپی کم منیزیم باعث می‌شود مولکول‌های آب راحت‌تر در اطراف این کاتیون قرار بگیرند و این باعث فعل و انفعال و اثرگذاری بیشتر آب بر روی کلویدها می‌شود به طوری که این کاتیون در حضور آب باعث فاصله گرفتن لایه‌های رس، افزایش تورم و پراکنش رس می‌شود. این واکنش روند عملکرد منیزیم نسبت به

با افزایش غلظت منیزیم و جانشینی آن به جای سدیم در سطوح تبدالی، ساختار خاک حفظ، و میزان پراکنش رس کاهش پیدا می‌کند. در غلظت 5 میلی‌مول بر لیتر، منیزیم جایگزین کلسیم شده و به دلیل شعاع هیدراته بالا موجب می‌شود فاصله‌ی بین لایه‌های رس افزایش و در نتیجه‌ی آن میزان پراکنش رس نیز افزایش پیدا کند. بررسی‌های دونستوا و نورتون (2002) و ژانگ و نورتون (2002) فاصله گرفتن لایه‌های رس از یکدیگر در نتیجه شعاع هیدراته بالای منیزیم و همچنین انرژی هیدراته بیشتر منیزیم نسبت به کلسیم را دلیل این امر می‌دانند. لادو و همکاران (2004)؛ نیومن و سینگر (2004) و دونستوا و همکاران (2004) نیز منیزیم بالا را در افزایش میزان پراکنش رس موثر می‌دانند. در این مطالعه نیز افزایش غلظت منیزیم کاهش پایداری و شکست خاکدانه‌ها همراه با تورم رس را در پی داشته که این امر باعث می‌شود روند افزایشی مورد انتظار مشاهده نگردد.

در رابطه با هدایت هیدرولیکی پس از غلظت 3 میلی‌مول شیب صعودی کاهش پیدا می‌کند و روند صعودی هدایت هیدرولیکی پس از غلظت 4 میلی‌مول بر لیتر متوقف می‌گردد (شکل 4).



شکل 4- هدایت هیدرولیکی اشباع در غلظت‌های مختلف منیزیم.



تغییرات منیزیم در دامنه محدودی مورد بررسی قرار گرفت اما روند مشاهده‌شده نشان می‌دهد در خاک مورد آزمایش، غلظت بحرانی منیزیم 3 میلی مول بر لیتر می‌باشد و بیشتر از آن نمی‌توان تأثیر منیزیم بر حفظ پایداری خاک را همانند کلسیم دانست و با جایگزینی منیزیم به جای کلسیم میزان پایداری کاهش می‌یابد و پراکنش خاک حتمی خواهد بود.

کلسیم را متمایز می‌کند و باعث می‌شود تا این کاتیون نسبت به کلسیم توانایی کمتری در حفظ پایداری خاکدانه‌ها داشته باشد. کاهش روند صعودی هدایت هیدرولیکی پس از غلظت خاص ناشی از کاهش پایداری و شکست خاکدانه‌ها و کاهش منافذ درشت خاک است. تورم رس و تغییر در ساختار منافذ نیز هدایت هیدرولیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با وجود این که

#### منابع مورد استفاده

- تاجیک ف، 1383. ارزیابی پایداری خاکدانه در برخی مناطق ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال 8، شماره 1، صفحه‌های 107 تا 122.
- علیزاده ا، 1385. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.
- Adesodun JK, Mbagwu JSC and Oti N, 2005. Distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in water-stable aggregates of an organic waste amended Ultisol in southern Nigeria. *Bioresource Technology* 96(4): 509-516.
- Agar AI, 2012. Improvement of exchangeable Ca:Mg ratio by using gypsum and waste of sulfur in magnesium-affected soils. *African Journal of Agricultural Research* 7(14): 2205-2214.
- Agassi M, 1996. *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*. New York: Marcell Dekker.
- Armstrong ASB and Tanton TW, 1992. Gypsum applications to aggregated saline sodic clay topsoils. *Journal of Soil Science* 43: 249-260.
- Basaka SK, Chaudhariab D and Sharmaa K, 2015. Impact of varying Ca/Mg waters on ionic balance, dispersion, and clay flocculation of salt-affected soils. *Communications in soil Science and plant analysis* 46: 827-844.
- Bekbaev R, Vyshpolsky F, Ibatullin S, Mukhamedjanov Kh and Bekbaev U, 2005. Influence of application of phosphogypsum on infiltration rate of solonetzic soil. *Bull agriculture Science. kazakhstan (in Russian)* 7: 18-20.
- Ben-Hur M, Shainberg I, Bakker D and Keren R, 1985. Effect of soil texture and CaCO<sub>3</sub> content on water infiltration in crusted soil as related to water salinity. *Irrigation Science* 6: 281-294.
- Boix-Fayos C, Calvo-Cases A and Imeson AC, 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.
- Bronick CJ and Lal R, 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Chan KY and Heenan DP, 1999. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 63: 1841-1844.
- Dextor Ar and Chan KY, 1991. Soils mechanical properties as influenced by exchangeable cations. *Journal of Soil Science* 42: 219-226.
- Dontsova KM and Norton LD, 2002. Clay dispersion, infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. *Journal of Soil Science* 167: 184-193.
- Donstova KM, Norton D, Jonston C and Bigham J, 2004. Influence of exchangeable cations on water adsorption by soil clays. *american journal of soil science society* 68:1218-1227.
- Hadas A and Frenkel H, 1982. Infiltration as affected by long-term use of sodic-saline water for Irrigation. *Soil Science Society of America Journal* 46: 524-530.
- Igwe CA and Udegbonam ON, 2008. Soil properties influencing water-dispersible clay and silt in an ultisol in southern Nigeria. *International Agrophysics* 22: 319-325.

- Karajeh F, Karimov A, Mukhamedjanov V, Vyshpolsky F, Mukhamedjanov Kh, Ikramov R, Palvanov T and Novikova A, 2004. Improved on-farm water management strategies in central Asia. In: Ryan J, Vlek P and Paroda R (eds). Agriculture in central asia research for development. ICARDA, Aleppo, Syria, and center for development research, Bonn, Germany 76-89.
- Karimov A, Qadir M, Noble A, Vyshpolsky F and Anzelm K, 2009. The development of magnesium-dominant soils under irrigated agriculture in southern Kazakhstan. *Pedosphere* 19: 331-343.
- Kemper WD and Rosenau RC, 1986. Aggregate stability and size distribution. pp: 425-442.
- Klute A, 1986. Methods of soil analysis. Part 1: Physical and microbiological methods, second edition. american society of agronomy, Inc. soil science society of america, Inc. publisher madison, wisconsin.
- Lado M, Paz A, and Ben-Hur M, 2004. Organic matter and aggregate-size interactions in saturated hydraulic conductivity. *american journal of soil science society* 68:234-242.
- Lebron I, Suarez DL and Yoshida T, 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *american journal of soil science society* 66: 92-98.
- Levy GJ and Torrento JR, 1995. Clay dispersion and macro aggregate stability as affected by exchangeable K and Sodium. *Journal of soil science* 160: 352-358.
- Mamedov A and Levy GJ, 2001. Clay dispersivity and aggregate stability effects on seal formation and erosion in effluent-irrigated soils. *Journal of soil science* 166(9):631-639.
- Martinez J, 1999. Irrigation with saline water. *Agricultural Water Management* 40: 183-194.
- Neaman A and Singer A, 2004. The effects of palygorskite on chemical and physicochemical properties of soils: A review. *Geoderma* 123(3): 297-303.
- Orts JW, Sojka RE and Glenn GM, 2000. Biopolymer additives to reduce erosion induced soil losses during irrigation. *Industrial Crops and Products* 11: 19-26.
- Ogbonna C.S, Igwe C.A and Ogbonna P, 2013. Effects of exchangeable Ca:Mg ratio on the dispersion of soils some southern Nigeria soils. *Agro science* 2: 10-19.
- Page A. L, 1983. Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties (Agronomy), 2 sub edition. amer society of agronomy.
- Pojasok T and kay BD, 1990. Assessment of combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural stability of moist aggregate. *Canadian Journal of soil science* 70: 33-42.
- Qadir M and Schubert S, 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land degrad* 13:275-294.
- Shainberg I and Letey J, 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* 52: 1-57.
- Shainberg I Alperovitch N and Keren R, 1988. Effect of magnesium on the hydraulic conductivity of Na-smectite-sand mixtures. *Clays and clay minerals* 36(5): 432-438.
- Six J, Feller C, Denef K, Oglan SM, Moraes JC, and Albrecht A, 2002. Soil organic matter, biot and aggregation in temperate and tropical soils-effect of no tillage. *Agron* 22: 755-775.
- Spaccini R, Zena A, Igwe CA, Mbagwu JSC and Picolla A, 2001. Carbohydrate in water stable aggregates and particle size fractions in forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems. *Biogeochemistry* 53: 1-22.
- Turkoza M, Savasa H, Acaza A and Tosunb H, 2014. The effect of magnesium chloride solution on the engineering properties of clay soil with expansive and dispersive characteristics. *Applied clay science* 101:1-9.
- US Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and important of saline and alkali soils. USDA Handbook 60. US Gov. Print Office, Washington, DC.

- Vyshpolsky F, Qadir M, Karimov A, Mukhamedjanov K, Bekbaev U, Paroda R, Aw-Hassan A and Karajeh F, 2008. Enhancing the productivity of high-magnesium soil and water resources through the application of phosphogypsum in central Asia. *Land degrad* 19: 45-56.
- Zhang XC and Norton LD, 2002. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. *Journal of Hydrology* 260: 194-205.