بررسی اثر دمای محیط بر پایداری خاکدانه به روش اصلاح‌شده انتشار در آب پیشنهادی امرسون

حمید کلیشادی[۱]، محمد رضا مصدقی[۲] و شمس‌اله ایوبی[۲]
۱ و ۲-به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

پایداری خاکدانه یکی از ویژگی‌های اساسی و اثرگذار بر بسیاری از فرایندها و ویژگی‌های خاک است. دمای محیط یکی از ویژگی‌های اثرگذار بر پایداری خاکدانه می‌تواند باشد. در این پژوهش پایداری خاکدانه در ۲۶ نمونه خاک با دامنه‌ی گسترده‌ای از بافت، ماده آلی و کربنات کلسیم به روش اصلاح‌شده انتشار در آب پیشنهادی امرسون در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس در زمان‌های ۵، ۱۲۰ و ۱۴۴۰ دقیقه پس از غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دمای محیط، پایداری خاکدانه کاهش می‌یابد و اثر دما بر پایداری خاکدانه در زمان‌های اولیه چشم‌گیرتر است. وابستگی نرخ آب‌گیری، حلالیت کربنات‌ها و هوا در آب به دما سه عامل اثرگذار بر تغییرات پایداری خاکدانه با دما هستند. با افزایش دما نرخ آب‌گیری افزایش یافته و حلالیت کربنات‌ها و هوا در محلول خاک کاهش یافته و در نتیجه پایداری خاکدانه در آب کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه، دما، روش اصلاح‌شده انتشار در آب امرسون، نرخ آب‌گیری

مقدمه

آرایش ذرات اولیه خاک در غالب اجزای ثانویه (خاکدانه)، ساختمان خاک نامیده می‌شود. پایداری ساختمان خاک عبارت است از توانایی خاک برای نگه‌داشت ذرات جامد و فضاها (خاکدانه ها و منافذ) هنگامی که تحت تنش خارجی (خاک‌ورزی، کشت و کار، تراکم، آبیاری و نیروهای فرساینده آب و باد) قرار می گیرد (Mamedov and Levy, 2013). ساختمان خاک یک ویژگی اساسی کیفیت خاک است که بر فرایندهای مختلف (نگه‌داشت آب، زه‌کشی، تولید آب و فرسایش) در خاک و محیط تاثیر می‌گذارد (Amezketa, 1999; Mamedov and Levy, 2013). روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک وجود دارد اما هنوز یک روش منحصر به فرد که در تمامی خاک‌ها کاربرد داشته باشد وجود ندارد (Le Biossonnais, 1996). پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند به عنوان مقاومت خاک در برابر نیروهای تخریب‌کننده خارجی مانند بارندگی، روان‌آب و باد تعریف شود. پایداری خاکدانه‌ها هم‌چنین ارتباط نزدیکی با بسیاری از ویژگی‌های ذاتی خاک مانند ماده آلی، بافت، تخلخل، مدیریت کاربری زمین (شخم)، ریشه گیاهان، تغییرات کربن و هدررفت نیتروژن دارند (Cerda, 2000: Six et al., 2001; Barthes and Roose, 2002). به طور کلی پایداری خاکدانه‌ها تحت تأثیر دو گروه از عوامل اصلی است: ۱) ویژگی‌های ذاتی خاک مانند غلظت الکترولیت‌های محلول عصاره‌گیری‌شده با آب، نوع کاتیون‌های تبادلی (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم)، نسبت جذب سدیم، نوع کانی رسی، میزان گچ، کربنات کلسیم، مواد آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم، و ۲) فاکتورهای خارجی مانند اقلیم، فرایندهای تشکیل خاک، عوامل بیولوژیکی و مدیریت کشاورزی. این عوامل ممکن است بر یکدیگر برهم‌کنش داشته باشند و در بسیاری موارد آثار برهم‌کنش از آثار منحصر به فرد یک فاکتور بیش‌تر است (Amezketa, 1999).

Idowu (۲۰۰۳) دریافت که موقعیت جغرافیایی و نوع خاک نقش مهمی در تعیین رابطه بین پایداری خاکدانه و ویژگی‌های خاک دارد. رابطه بین پایداری خاکدانه و ویژگی‌های خاک با تغییر شرایط اقلیمی و نوع خاک تغییر می‌کند و این رابطه باید برای هر منطقه بررسی شود و ویژگی‌هایی که مدیریت آنها باعث بهبود پایداری ساختمان خاک می‌شوند مشخص شود.

دما یکی از عواملی است که در نتیجه تغییرات اقلیمی و گرم‌شدن کره زمین می‌تواند بر ویژگی‌ها و فرایندهای خاک اثر بگذارد. در پژوهش‌های پیشین اثر دما بر هدایت هیدرولیکی (Constantz, 1982)، نفوذپذیری (Ronan et al., 1998)، نگه‌داشت آب (Bachmann et al., 2002; Jacinto et al., 2009)، روان‌آب و فرسایش خاک (Sachs and Pariente, 2016) بررسی شده است. نظریه کشش سطحی-سیال لزج[1] (STVF) یک نظریه پذیرفته‌شده برای بیان تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی خاک با

[1] Surface tension-viscous flow theory

تدما است. اما نتایج Jacinto et al. (2009) نشان داد (به ویژه در دماهای بالا و مکش‌های ماتریک کم) کاهش نگه‌داشت آب با افزایش دما بیش‌تر از تغییرات پیش‌بینی‌شده با نظریه STVF است. She and Sleep (1998) و Bachmann et al. (2002) بیان کردند کاهش واقعی مکش ماتریک ناشی از افزایش دما بسیار بیش‌تر از مقادیر پیش‌بینی‌شده ناشی از کاهش کشش سطحی آب با دما است. Sachs and Pariente (2016) دریافتند که با افزایش تفاوت دمای باران و سطح خاک (افزایش دمای باران از ۲۰ به ۳۵ درجه سلسیوس)، فرسایش و هدررفت خاک از ۵/۲ به ۱۸/۳ گرم بر متر مربع افزایش می‌یابد. Ariathurai and Arulanandan (1978) بیان کردند که افزایش دمای خاک ممکن است نیروی پیوند بین ذرات خاک را کاهش دهد.

بنابراین بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، فرضیه مورد بررسی در این پژوهش آن است که یکی از دلایل تفاوت تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (مکش ماتریک، نگه‌داشت آب، و هدایت هیدرولیکی) از پیش‌بینی‌های نظریه STVF و هم‌چنین تغییرات هدررفت خاک با دما می‌تواند ناشی از وابستگی پایداری ساختمان خاک به دما باشد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر دما بر پایداری خاکدانه به روش امرسون اصلاح‌شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایشگاهی انجام شد. در ابتدا با توجه به بانک اطلاعاتی موجود، تعداد ۲۶ نمونه خاک با دامنه گسترده‌ای از بافت، ماده آلی و آهک از خاک‌های سطحی استان‌های چهارمحال و بختیاری و اصفهان در شهریورماه ۱۳۹۴ جمع‌آوری شد. اکثر خاک‌ها روی سازندهای آهکی دوران سوم زمین‌شناسی قرار داشتند. کاربری‌های مرتع، دیم، کشت آبی و آیش عمده کاربری‌های نمونه‌های خاک مورد بررسی بودند. در جدول ۱ آماره‌های ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۱: آماره‌های ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی

ویژگی	واحد	بیشینه	کمینه	میانگین	ضریب تغییرات
شن	٪	۵۱/۲	۱/۴	۱۷/۶	۷۴/۰
سیلت	٪	۷۴/۰	۳۴/۶	۵۷/۹	۱۴/۳
رس	٪	۳۵/۰	۱۱/۳	۲۴/۵	۲۶/۶
کربن آلی	٪	۸/۸۸	۰/۰۸	۱/۱۷	۱۴۵/۲
کربنات کلسیم	٪	۶۳/۲	۱۰/۷	۳۶/۳	۳۷/۵

برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه، کلوخه‌های موجود در نمونه‌های خاک برداشت‌شده ابتدا با اسپری‌کردن آب مرطوب شده و پس از رسیدن به رطوبت مناسب با دست نرم شدند تا با کم‌ترین آسیب، کلوخه‌ها به ذرات کوچک‌تر (خاکدانه) خرد شوند. سپس با استفاده از الک، خاکدانه‌های با قطر ۴/۸-۴ میلی‌متر جدا شدند. پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از روش اصلاح‌شده انتشار در آب پیشنهادی امرسون (۱۹۶۷) اندازه‌گیری شد. در این روش تعداد ۱۰ خاکدانه با قطر ۴/۸-۴ میلی‌متر در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور شده و در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه، ۱۲۰ دقیقه (۲ ساعت) و ۱۴۴۰ دقیقه (۲۴ ساعت) درجه انتشار خاکدانه‌ها (در مقیاس ۰ تا ۴) بررسی می‌شود: درجه ۰: بدون انتشار، خاکدانه‌ها کاملاً سالم هستند؛ درجه ۱: برخی ذرات انتشار یافته‌اند، حالت شیری اطراف خاکدانه؛ درجه ۲: برخی از ذرات خاکدانه جدا شده یا به قسمت‌های کوچک‌تر تبدیل شده‌اند؛ درجه ۳: انتشار قابل توجه، عمده خاکدانه انتشار یافته و حالت شیری اطراف خاکدانه بزرگ است؛ درجه ۴: انتشار کامل، خاکدانه کاملاً انتشار یافته و وارفته می‌شود.

در این پژوهش پایداری خاکدانه‌ها به روش ذکرشده در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس (در کل ۱۵۶۰ خاکدانه) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا تعداد ۱۰ خاکدانه از هر نمونه خاک و مقداری آب مقطر در دمای مورد نظر درون انکوباتور به مدت ۲۴ ساعت پیش از انجام آزمایش قرار داده شدند. پس از به تعادل رسیدن دمای آب و خاکدانه‌ها با

دمای مورد نظر، این خاکدانه‌ها در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر هم‌دما غوطه‌ور شدند و وضعیت انتشار و وارفتگی خاکدانه‌ها پس از زمان‌های ذکرشده درون انکوباتور بررسی شد.

تجزیه و تحلیل آماری بررسی اثر دما بر پایداری خاکدانه در غالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD, 0.05) توسط نرم‌افزار SAS9.0 انجام شد.

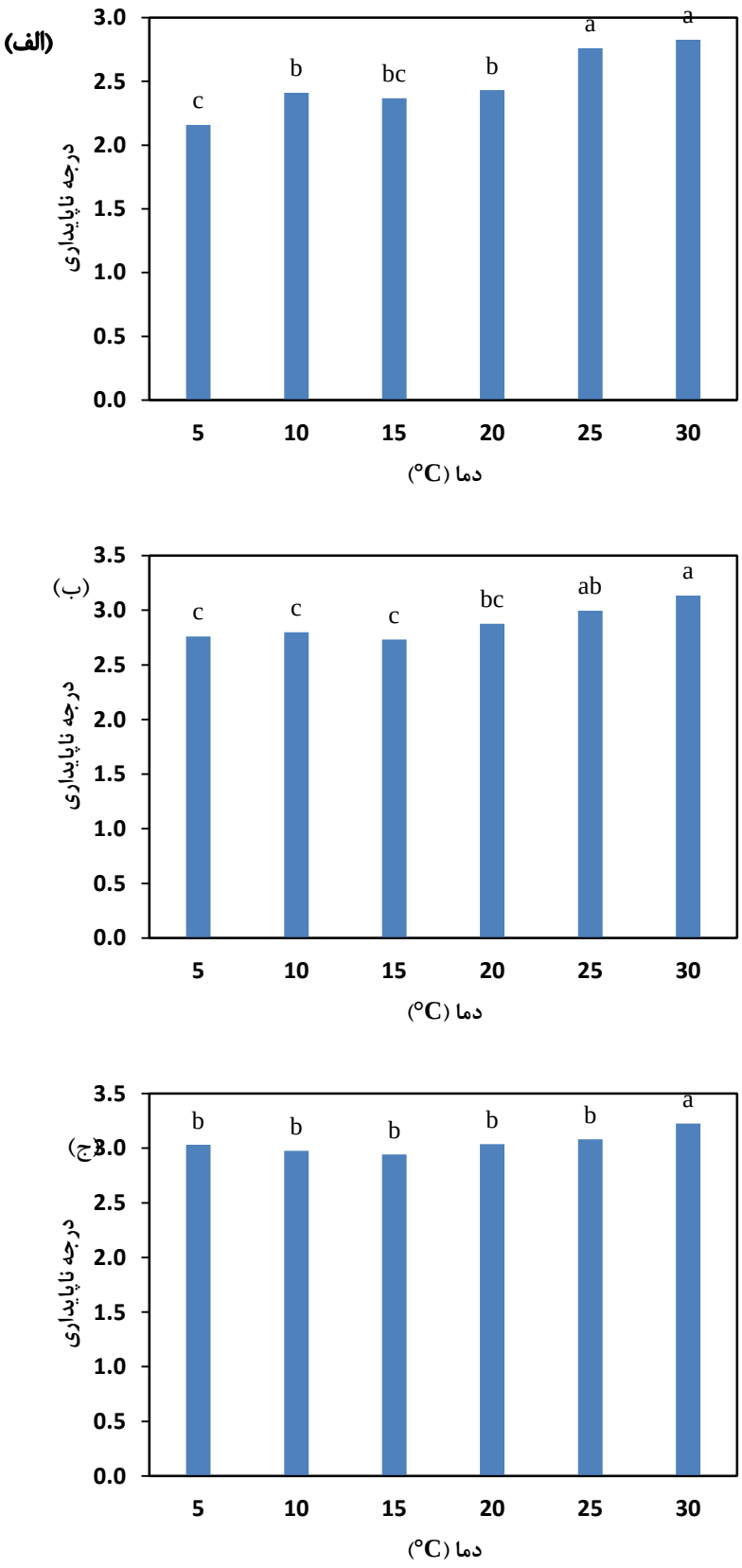
نتایج و بحث

جدول ۲ میانگین درجه انتشار (ناپایداری) خاکدانه‌ها در آب را در زمان‌های مختلف و در دماهای مختلف نشان می دهد. اعداد بزرگ‌تر در این جدول نشان‌دهنده ناپایداری بیش‌تر خاکدانه در آب هستند. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر پایداری خاکدانه با لگاریتم زمان یک رابطه خطی نسبتاً قوی دارند که شیب این خط در ستون پنجم جدول ۲ ارائه شده است. نتایج این آزمون پایداری ساختمان خاک نشان داد که خاک‌های مورد آزمایش عمدتاً ناپایدار بوده و با گذشت زمان غوطه‌وری ناپایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود با افزایش دما شیب رابطه خطی درجه انتشار (ناپایداری) خاکدانه با گذشت زمان کاهش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان گفت در دماهای بالاتر عمده تخریب خاکدانه در زمان‌های ابتدایی غوطه‌وری در آب رخ می‌دهد.

جدول ۲: میانگین درجه انتشار (ناپایداری) خاکدانه‌ها در زمان‌ها و دماهای مختلف

دما (°C)	زمان پس از غوطه‌وری (دقیقه)			شیب رابطه درجه انتشار با زمان	R^2
	۵	۱۲۰	۱۴۴۰		
۵	۲/۱۵۸	۲/۷۶۱	۳/۰۱۳	۰/۳۵۹	۰/۹۸
۱۰	۲/۴۱۱	۲/۸۰۰	۲/۹۷۷	۰/۲۳۲	۰/۹۸
۱۵	۲/۳۶۹	۲/۷۳۱	۲/۹۴۲	۰/۲۳۴	۰/۹۹
۲۰	۲/۴۳۱	۲/۸۷۷	۳/۰۳۸	۰/۲۵۰	۰/۹۶
۲۵	۲/۷۶۱	۲/۹۹۶	۳/۰۸۱	۰/۱۳۱	۰/۹۶
۳۰	۲/۸۲۷	۳/۱۳۵	۳/۲۷۷	۰/۱۸۴	۰/۹۸

شکل‌های ۱ (الف-پ) روند تغییرات پایداری خاکدانه در دماهای مختلف در زمان‌های مشابه را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۱-الف دیده می‌شود، در زمان ۵ دقیقه با افزایش دما تقریباً به طور خطی انتشار خاکدانه‌ها در آب افزایش یافته و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد. ولی در زمان‌های ۱۲۰ و ۱۴۴۰ دقیقه در دمای ۱۵ درجه سلسیوس از لحاظ عددی پایداری خاکدانه نسبت به دماهای دیگر بیش‌تر است ولی تفاوت آن با دماهای ۵ و ۱۰ درجه سلسیوس معنی‌دار نیست (شکل ۱ ب-پ). در هر سه زمان، انتشار خاکدانه‌ها در آب در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بیش‌تر است و در نتیجه در این دما خاکدانه‌ها ناپایدارتر هستند. این نتایج نشان می‌دهد با افزایش دما (به ویژه در دماهای بالا) پایداری خاکدانه‌ها در آب به طور معنی‌دار کاهش می‌یابد.



شکل ۱: اثر دما بر درجه انتشار (ناپایداری) خاکدانه‌ها در دماهای مختلف در زمان‌های الف) ۵، ب) ۱۲۰ و پ) ۱۴۴۰ دقیقه.

با در نظر گرفتن سه عامل اثر دما بر زاویه تماس خاک-آب، حلالیت کربنات‌ها و حلالیت گازها در آب، اثر دما بر پایداری خاکدانه توجیه‌پذیر است. پژوهش‌های Bachmann et al. (2002) نشان داد که با افزایش دما، زاویه خیس‌شدن (زاویه تماس خاک-آب) کاهش می‌یابد. کاهش زاویه خیس‌شدن باعث افزایش آب‌پذیری و نرخ آب‌گیری خاک می‌شود. افزایش نرخ خیس‌شدن می‌تواند باعث افزایش هوای محبوس و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها شود. از طرفی حلالیت همه گازها در آب با افزایش دما کاهش می‌یابد؛ بنابراین احتمال تشکیل حباب‌های ریز هوا در دماهای بالا بیش‌تر می‌شود. تشکیل حباب‌های ریز بیش‌تر و ترکیدن آنها می‌تواند باعث افزایش تخریب خاکدانه‌ها در دماهای بالا شود. Dexter et al. (2010) بیان کردند طول دیبای (λ_D) یکی دیگر از ویژگی‌های خاک است که تحت تاثیر دما است. λ_D با مجذور دما رابطه مستقیم و با مجذور قدرت یونی محلول خاک رابطه معکوس دارد. مقادیر بزرگ‌تر λ_D نشان‌دهنده هم‌پوشانی بیش‌تر لایه‌های مضاعف پخشیده (DDL) و در نتیجه دافعه بیش‌تر بین ذرات است. بنابراین با افزایش دما، λ_D افزایش و نیروهای دافعه بین ذرات افزایش می‌یابد. از طرفی پژوهش‌های Plummer and Busenberg (1982) نشان داد که با افزایش دما، حلالیت کلسیت، آراگونیت و واتریت در آب کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت در خاک‌های کربناتی (آهکی)، با کاهش دما غلظت Ca^{++} در محلول خاک افزایش یافته، در نتیجه قدرت یونی محلول خاک افزایش یافته و در نتیجه λ_D و نیروهای دافعه بین ذرات کاهش می‌یابد.

در این پژوهش اثر معنی‌دار دمای محیط بر پایداری خاکدانه در زمان‌های کوتاه (۵ دقیقه) بیش‌تر قابل توجه بود. در روش مورد استفاده در این پژوهش برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه، عامل اصلی ناپایداری خاکدانه وارفتگی در اثر جذب سریع آب و حبس هوا است. در دماهای پایین حلالیت هوا در آب بیش‌تر است و احتمال تشکیل حباب هوا کاهش می‌یابد. از طرفی در دماهای پایین نرخ آب‌گیری کم‌تر (زاویه تماس بزرگ‌تر) شده و احتمال حبس هوا کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت نرخ آب‌گیری و تشکیل حباب هوای کم‌تر علت پایداری بیش‌تر خاکدانه‌ها در دماهای پایین در زمان‌های کوتاه است. شاید بتوان گفت علت پایداری بیش‌تر خاکدانه‌ها در زمان‌های ۱۲۰ و ۱۴۴۰ دقیقه در دماهای پایین به دلیل اثر دما بر حلالیت کربنات‌ها باشد. اکثر خاک‌های مورد بررسی در این پژوهش دارای مقادیری از کربنات کلسیم (میانگین ٪۳۶/۳ و دامنه ٪۱۰/۷-۶۳/۲) بودند (جدول ۱). از آنجایی که حلالیت کربنات کلسیم در دماهای پایین بیش‌تر است، بنابراین در دماهای پایین غلظت Ca^{++} در محلول خاک افزایش یافته و در نتیجه نیروهای دافعه بین ذرات کاهش می‌یابد؛ بنابراین پایداری خاکدانه‌ها در دماهای پایین بیش‌تر است. از طرفی Ca^{++} می‌تواند به عنوان عامل پیوند بین ذرات عمل کند و مقادیر بیش‌تر Ca^{++} در دماهای پایین می‌توان باعث افزایش پایداری خاکدانه در زمان‌های طولانی شود.

بنابراین بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تغییرات اقلیمی (گرم‌شدن کره زمین) می‌تواند سبب کاهش پایداری ساختمان خاک شود و یکی از دلایل تفاوت تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از پیش‌بینی‌های نظریه STVF و هم‌چنین تغییرات فرسایش و هدررفت خاک با دما می‌تواند ناشی از وابستگی پایداری ساختمان خاک به دما باشد.

منابع

Amezketa E. 1999. Soil aggregate stability: a review. J. Sustain. Agric. 14(2): 83–151.

Ariathurai R. and Arulanandan K. 1978. Erosion rates of cohesive soils. J. Hydr. Div. ASCE 104: 279–283.

Bachmann J., Horton R., Grant S.A. and van der Ploeg P.A. 2002. Temperature dependence of water retention curves for wettable and water-repellent soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 44–52.

Barthes B. and Roose E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena 47: 133–149.

Cerda A. 2000. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. Soil Till. Res. 57: 159–166.

Constantz J. 1982. Temperature dependence of unsaturated hydraulic conductivity of two soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46(3): 466–470.

Dexter A.R., Richard G., Czyż E.A. and Giot G. 2010. Changes in the matric potential of soil water with time and temperature. Soil Sci. 175: 320–328.

Emerson W.W. 1967. A classification of soil aggregate base on their coherence in water. Aust. J. Soil Res. 5: 47–57.

Idowu O.J. 2003. Relationships between aggregate stability and selected soil properties in humid tropical environment. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 34: 695–708.

Jacinto A.C., Villar M.V., Gómez-Espina R. and Ledesma A. 2009. Adaptation of the van Genuchten expression to the effects of temperature and density for compacted bentonites. Appl. Clay Sci. 42: 575–582.

Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. Eur. J. Soil Sci. 47: 425–437.

Plummer L.N. and Busenberg E. 1982. The solubilities of calcite, aragonite and vaterite in CO_2-H_2O solution between 0 and 90°C, and the evaluation of the aqueous model for the system $CaCO_3$-CO_2-H_2O. Geochim. Cosmochim. Ac. 46: 1011–1040.

Ronan A.D., Prudic D.E., Thodal C.E. and Constantz J. 1998. Field study and simulation of diurnal temperature effects on infiltration and variably saturated flow beneath an ephemeral stream. Water Resour. Res. 34: 2137–2153.

Sachs E. and Pariente S. 2016. Effect of raindrop temperatures on soil runoff and erosion in dry and wet soils. A laboratory experiment. Land Degrad. Develop., *doi:* 10.1002/ldr.2682.

She H.Y. and Sleep B.E. 1998. The effect of temperature on capillary pressure-saturation relationships for air-water and perchloroethylene-water systems. Water Resour. Res. 34: 2587–2597.

Six J., Elliot E.T. and Paustian K., 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1042–1049.

Evaluating ambient temperature's effect on aggregate stability as determined by modified Emerson's water dispersion test

H. Kelishadi1, M. Mosaddeghi2, Sh. Ayoubi2
1 and 2- PhD Student and Professor of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Abstract
Aggregate stability is one of important soil properties affecting several soil properties and processes. Ambient temperature might affect soil aggregate stability. In this study, aggregate stability of 26 soil samples with wide range of texture, organic matter and carbonate contents was measured using modified Emerson's water dispersion test. Aggregate stability was measure in six ambient temperatures (5, 10, 15, 20, 25 and 30 °C) at 5, 120 and 1440 min after immersion of aggregates in water. The results of this study showed that aggregate stability decreased with an increase in ambient temperature. The effect of temperature on aggregate stability was more considerable at the initial times. Temperature-dependence of hydration rate, solubility of carbonates and air in the water are three factors which could be effective on aggregate stability variation with temperature. With an increment of temperature, the hydration rate increases and solubility of carbonates and air in the soil solution decrease, and as a consequence, the aggregate stability in water would decrease.
Keywords: Aggregate stability, Temperature, Modified Emerson's water dispersion test, Hydration rate