

## ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در برخی مناطق ایران

### فؤاد تاجیک<sup>۱</sup>

#### چکیده

خاکدانه سازی فرایندی مهم و موقت در بحث ساختمان خاک است که علاوه بر خصوصیات ذاتی خاک متأثر از کاربری و مدیریت اراضی بوده و پایداری آن بر ویژگی‌های مهم خاک مانند نفوذپذیری، تهویه، مقاومت، فرسایش، انتقال آب، املاح، گازها و گرما اثر قابل توجهی دارد. در این پژوهش، با هدف بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر پایداری خاکدانه‌ها، نمونه‌های دست نخورده خاک (از دو عمق ۱۰-۱۰ و ۲۰-۱۰ سانتی متر) از مناطق گلستان، مازندران، کرمانشاه و آذربایجان غربی در تابستان سال ۱۳۷۸ برداشت شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، درصد پایداری در خاکدانه‌های ۲/۸-۲ میلی متر و مقدار پراکنش رس در آنها به روش پوجاسوک و کمی (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شده است.

تجزیه واریانس داده‌های پژوهش برای پارامتر پایداری خاکدانه‌های تر نشانگر معنی دار بودن تفاوت خاک‌ها در همه مناطق نمونه برداری بوده است. ترتیب بزرگی میانگین پایداری خاکدانه‌ها با آزمون دانکن و در سطح آماری پنج درصد چنین بوده است: مازندران < گلستان < کرمانشاه < آذربایجان غربی. تحلیل رگرسیون برای مجموعه مناطق و برای داده‌های هر منطقه نیز انجام شده و نشانگر آن بوده که در مجموعه مناطق، تغییرات پایداری خاکدانه‌ها به طور عمده متأثر از مقدار مواد آلی ( $R^2 = 0/723$ ) در سطح احتمال ۰/۰۰۱ است، در حالی که در منطقه گلستان مقدار رس و در منطقه آذربایجان غربی مقدار شن بیشترین تأثیر را داشته‌اند. نتایج تحلیل رگرسیون به روش گام به گام نیز منجر به ارائه معادله‌هایی شده است که از آنها مقدار پایداری خاکدانه‌های تر در مناطق مربوطه را می‌توان از روی متغیرهای دیگر خاک برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی: ساختمان خاک، پایداری خاکدانه‌های تر، مقدار پراکنش رس

#### مقدمه

پایداری آنها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری (ویژگی‌های هیدرولیک)، تهویه، مقاومت خاک، فرسایش و توانایی خاک برای انتقال مایعات، املاح، گازها و گرما (که

خاکدانه سازی (Aggregation) فرایندی وابسته به مکان و زمان و متأثر از کاربری و مدیریت خاک می‌باشد. اندازه خاکدانه‌ها و

۱. عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

فرایندهایی مهم برای تولید محصول و سلامتی زیست بوم محسوب می‌گردند) اثر قابل توجهی دارد (۲۷). اندازه و پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند شاخصی از تغییرات کیفیت خاک (Soil quality) ناشی از مدیریت‌های متفاوت در شرایط مشخص محسوب گردد (۹). از دیدگاهی دیگر، خاکدانه‌سازی را می‌توان فرایندی طبیعی محسوب نمود که طی آن مجموعه‌ای از ذرات خاک چنان در کنار هم قرار می‌گیرند که نیروهای نگه‌دارنده درونی آنها قوی‌تر از نیروهای میان خاکدانه‌های مجاور است. خاکدانه‌ها نخست طی فرایندهای فیزیکی تشکیل می‌شوند و به طور عمده فرایندهای شیمیایی و زیستی در پایداری آنها موثر است (۱۳). هم‌چنین، از دیدگاه کاربردی، اگر خاکدانه‌ها در اثر خیس شدن یا برخورد با ماشین‌ها و ادوات کشاورزی متلاشی نشوند، گویای این واقعیت خواهد بود که آبیاری، بارندگی، زه‌کشی و عملیات کاشت، داشت و برداشت تأثیر نامطلوبی در ساختمان خاک نداشته و خاک از پایداری نسبی مطلوبی برخوردار است (۱). مقدار کمی و تفسیر پایداری خاکدانه‌ها به ویژگی‌های ذاتی خاک و عوامل خارجی مثل روش اندازه‌گیری، اندازه خاکدانه‌ها و مقدار رطوبت خاک در هنگام نمونه برداری و انجام آزمایش بستگی دارد (۳۴).

ساز و کار اثر مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها نه تنها به مقدار و نوع مواد آلی بستگی دارد بلکه بیش از آن به آرایش و نحوه پیوندهای آن با اجزای معدنی خاک وابسته است (۸). معادلات مختلف و گاه متناقضی که تاکنون برای بیان اثر مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها ارائه شده است (۳) محقق را از ساده انگاری بر حذر داشته و جمع‌بندی نهایی نتایج را دشوار می‌سازد. مواد آلی از سویی می‌توانند با افزایش بارهای سطحی منفی و کاهش تخلخل رس بر مقدار پراکنش رس افزوده و از سوی دیگر عامل پیوند دهنده ذرات خاک به شمار آیند (۲۰). چگونگی اثر مواد آلی به ویژگی‌های دیگر خاک مانند نوع و مقدار رس، درجه سدیمی بودن خاک، نوع مواد آلی و شدت عملیات مکانیکی بستگی دارد (۱۰). مشاهدات واتر و دکستر (۳۱) نشان داده است که عملیات مدیریتی که در دراز مدت

باعث کاهش مواد آلی خاک و در نهایت منجر به کاهش پایداری خاکدانه‌ها شده و حساسیت ساختمان خاک‌ها به خاک ورزی را نیز افزایش می‌دهد. هم‌چنین، تفاوت پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های تحت کشت گیاهان مختلف، به قدرت تولید مواد پایدار کننده در محیط ریشه (Rizosphere) آنها نسبت داده شده است (۱۴) ولی بلر (۱۲) رابطه معنی‌داری میان کربن موجود در خاک و پایداری خاکدانه‌ها مشاهده نکرده است. ادسودون و همکاران (۶) نیز مشاهده نموده‌اند که پایداری خاکدانه‌ها هم‌بستگی بسیار کمی با کل کربوهیدرات‌ها و مقدار کربن آلی داشته که نشانگر اثر بسیار ناچیز منابع کربوهیدرات بر پایداری خاکدانه‌هاست.

راسیا و همکاران (۲۴) بیان داشتند که مقدار پایداری خاکدانه‌های تر (WAS) (Wet Aggregate Stability) و مقدار پراکنش رس (DC) (Dispersible Clay) به شدت متأثر از مقدار رطوبت است و میزان حساسیت آنها به ویژگی‌های دیگر خاک بستگی دارد. نتایج آزمایش آنها نشان داده است که مقدار WAS به طور خطی متناسب با افزایش مقدار رطوبت در زمان نمونه برداری کاهش می‌یابد در حالی که مقدار DC متناسب با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد. این در حالی است که در بررسی‌های یانگ و وندر (۳۳) رطوبت خاک در زمان نمونه برداری اثر معنی‌داری بر پایداری خاکدانه‌ها نداشته است. نتایج به دست آمده توسط پرفکت و همکاران (۲۲) نیز نشان داده است که مقدار رطوبت خاک و توده میکروبی، موثرترین عوامل در پایداری خاکدانه‌ها در طول فصل رشد گیاه بوده‌اند. با استفاده از این دو پارامتر، ۸۵ درصد تغییرات زمانی DC و WAS قابل توجیه بوده است. گلانی و همکاران (۱۸) نیز با مرطوب کردن خاک تا حد اشباع و سپس اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها، رابطه خطی منفی میان پایداری خاکدانه و مقدار رطوبت اولیه خاک را مشاهده نموده و بیان داشتند که کربن آلی و رطوبت اولیه خاک، مهم‌ترین متغیرهای مستقل برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها بوده و در خاک‌هایی که مقدار کربن آلی و رس زیاد داشته‌اند پایداری خاکدانه‌ها کمتر تحت تأثیر مقدار رطوبت

اولیه خاک قرار گرفته است.

تا چند دهه پیش تصور می‌شد که املاح کلسیم در پیوستن کلونیدها بسیار مؤثرند و آهک‌دهی به خاک، از طریق بهبود هم‌آوری رس‌های موجود در خاکدانه، بر پیوستگی درونی خاکدانه‌ها می‌افزاید، ولی به روایت امرسون و دتمن (۱۷) بیور در سال‌های ۱۹۲۸ و ۱۹۲۹ و کاپن در سال ۱۹۳۱، هیچ‌یک افزایش قابل توجهی در پایداری خاکدانه‌ها، ناشی از افزودن کلسیم (به‌جز در خاک‌های حاوی مقدار زیاد سدیم قابل تبادل) مشاهده نکرده‌اند (۱۷). راسیا و کی (۲۵) گزارش نموده‌اند که مقدار WAS متناسب با افزایش رس، مواد آلی و pH خاک افزایش یافته است. بویکس فایوس و همکاران (۱۳) نیز بیان کرده‌اند که مقدار کربنات کلسیم و pH با خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر هم‌بستگی مثبت دارد. در حالی که نتایج لبرون و سوارز (۲۱) نشانگر آن بوده است که افزایش pH به ویژه در شرایطی که مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) (Sodium Adsorption Ratio) در حدی است که ذرات کانی ایلیت را از هم جدا سازد، بر پراکنش رس می‌افزاید. هم‌چنین، وسترهوف و همکاران (۳۲) اظهار داشته‌اند که در سیستم‌های کشت مداوم که مواد آلی اندک دارند و تنش‌های مکانیکی گوناگون بر آنها اعمال می‌شود، افزودن آهک باعث افزایش خاکدانه‌های ریز در خاک سطحی و درنهایت ناپایداری ساختمان خاک می‌شود. سوینک و همکاران (۲۶) پایداری خاکدانه‌ها در اعماق پایین‌تر خاک را به‌طور عمده وابسته به اسیدیته و مقدار اشباع بازی خاک دانسته‌اند. آنان هم‌چنین مشاهده کردند که در خاک‌هایی با مواد آلی کمتر از ۵ درصد، پایداری خاکدانه‌ها به‌طور عمده متأثر از مقدار آهک بوده است. در مورد اثر رس، برزگر و همکاران (۱۱) بیان کردند که وقتی هم‌آوری ذرات رس و تشکیل خاکدانه، نتیجه حضور یون‌های کلسیم یا مواد آلی باشد، رس‌ها نمی‌توانند در پیوند ذرات چندان مؤثر باشند و بنابراین مقدار کل رس، اثر قابل توجهی بر مقاومت خاکدانه نمی‌گذارد. در صورتی که کورتین و همکاران (۱۶) مقدار کل رس را عامل تعیین‌کننده‌ای در

پراکنش رس و پایداری خاکدانه‌ها دانسته‌اند. اسکیدمور و لیتون (۲۸) نیز اظهار کردند که پایداری خاکدانه‌های خشک را می‌توان از مقدار رس ( $r=0.97$ ) برآورد نمود.

در مورد اثر الکترولیت‌ها، چاپل و همکاران (۱۵) بیان کردند که مقدار هدایت الکتریکی (EC) (Electrical Conductivity) و SAR با پایداری خاکدانه‌ها (اندازه‌گیری شده توسط دستگاه باران ساز) هم‌بستگی نداشته است، در حالی که الی و لتی (۷)، برزگر و همکاران (۱۰) و رحیمی و همکاران (۵) بر کاهش پایداری خاکدانه‌ها متناسب با افزایش SAR تأکید نموده‌اند. نتایج پژوهش گو و دانه (۱۹) نشان داده است که پایداری کلوییدی خاک قویاً متأثر از مواد آلی خاک به علاوه عواملی مانند pH، قدرت یونی و ترکیب یون‌هاست. در صورت فقدان کاتیون‌های چند ظرفیتی، مواد هومیکی حاوی بار منفی به ویژه اسید هومیک نمی‌تواند عامل پایداری خاک شود در حالی که حضور کاتیون‌های چند ظرفیتی همراه با مواد چند آنیونی می‌تواند از پراکنش رس جلوگیری کند.

ته بون سونگ (۲۹) کارایی روش اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌های مرطوب بزرگ‌تر از ۰/۳ میلی‌متر را بیش از سایر روش‌ها دانسته است. سیبولد و هریک (۲۷) نیز بیان داشتند که خاکدانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) بیشتر تحت تأثیر کاربری و مدیریت اراضی قرار می‌گیرند. در میان خاکدانه‌های درشت، معمولاً ذرات به اندازه ۲-۱ میلی‌متر برای تعیین پایداری استفاده می‌شوند، ولی نتایج سیبولد و هریک (۲۷) نشان داده است که خاکدانه‌های ۲-۰/۲۵ میلی‌متر حساسیت بیشتری به تیمارهای مدیریتی مختلف دارند.

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در برخی خاک‌های ایران و بررسی اثر ویژگی‌های ذاتی خاک و مدیریت کشت بر آن است. نتایج این پژوهش می‌تواند مقدمه‌ای برای:

- گسترش دامنه اندازه‌گیری به کل کشور

- به دست آوردن داده‌های کمیاب مربوط به ویژگی‌های

ساختمان خاک

- یافتن معادلات مربوط به رابطه پارامترهای خاک با پایداری خاکدانه‌ها  
- تاکید بر ضرورت اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخص مهم ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها محسوب گردد.

## مواد و روش‌ها

### مناطق و روش نمونه‌برداری

پیش فرض انتخاب محل‌های نمونه برداری، تنوع خاک‌ها از نظر شیمیایی و فیزیکی و به ویژه از جهت مقدار مواد آلی و شرایط شور یا سدیمی بوده است. مناطق نمونه برداری شامل استان‌های گلستان، مازندران، آذربایجان غربی و کرمانشاه بوده است. نمونه برداری توسط استوانه فولادی به طول ۵۰ سانتی‌متر، ضخامت ۶ میلی‌متر و قطر ۱۷ سانتی‌متر که با دو برش طولی حدود یک چهارم محیط آن برداشته شده صورت گرفته است. نمونه‌های خاک با کاردک از عمق مورد نظر و از شکاف استوانه برداشت گردید. برای این نمونه‌گیر، درجه سطح (۲) برابر ۷/۴۵ درصد بوده که نشانگر دست نخوردگی نمونه به آمده است. در هر محل نمونه‌برداری از حداقل شش نقطه مختلف و در عمق‌های ۱۰-۰ سانتی‌متر (کد ۱) و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر (کد ۲) نمونه‌برداری شد. سپس، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و در هوا خشک گردید و خاکدانه‌های به اندازه ۲-۲/۸ میلی‌متر برای اندازه‌گیری پایداری تفکیک شد. ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر نیز برای انجام آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه برداری خاک در تابستان سال ۱۳۷۸ انجام شده است.

### تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده شامل pH، EC و SAR در عصاره اشباع خاک، درصد آهک، درصد کربن آلی،

درصد سیلت، شن و رس بوده است (جدول ۱). در این پژوهش، با توجه به روش‌های مختلف ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها، از روش پیشنهادی پوجاسوک و کی (۲۳) استفاده شده است که از روش‌های معمول اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها، ساده‌تر و سریع‌تر بوده و با کاربرد وسایل و امکانات کمتر، دقت قابل قبولی نیز دارد (۴). پس از خشک کردن خاکدانه‌های به اندازه ۲-۲/۸ میلی‌متر در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، نمونه‌ای ۵ گرمی در لوله پلاستیکی به حجم ۶۰ میلی‌لیتر قرار گرفته و ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده شده است. پس از آن لوله محتوی نمونه به مدت ۵ دقیقه در دستگاه تکان دهنده دوار (End-over-end shaker) (با شعاع دوران ۲۰ سانتی‌متر و سرعت ۵۵ دور در دقیقه) قرار گرفته و سپس با استفاده از ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دو نوبت، محتوای لوله روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر تخلیه شد. ذرات باقی مانده روی الک به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و پس از توزین به منظور اندازه‌گیری ذرات شن بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر، ۲۰ میلی‌لیتر از محلول هگزامتا فسفات سدیم (۵ درصد با pH= ۸/۵) به آن افزوده شده و به مدت ۱۵ دقیقه تکان داده شده است. سپس تعلیق حاصله روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر تخلیه و با آب شسته شد و ذرات شن مانده روی الک بعد از خشک شدن در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، توزین گردید. مقدار پایداری خاکدانه‌های تر (WAS) از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$\%WAS = (R-S) / (T-S) * 100 \quad [1]$$

که در آن، R جرم ذرات باقی مانده روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر، S جرم ذرات شن مانده روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر و T جرم کل نمونه خاک است.

به‌منظور اندازه‌گیری مقدار پراکنش رس، تعلیق حاصل از شستشوی ذرات در مرحله قبل، به یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتر منتقل شده و ۴۰ دقیقه پس از به هم زدن تعلیق، نمونه‌ای از محلول رویی آن برداشت و مقدار جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر قرائت گردید. پیش از قرائت مقدار جذب نمونه‌ها،

جدول ۱. مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ، WAS و DC در نمونه‌های خاک

شماره	سیلت (%)	رس (%)	کربن آلی (%)	آهک (%)	SAR	EC (dS/m)	pH	DC (g/100g)	WAS(%)	نمونه خاک	منطقه نمونه برداری
۱۳/۶۱	۵۷/۴۴	۲۸/۹۶	۱/۶۴	۳۱/۶۳	۱/۱۹	۱/۰۶	۷/۲۳	۰/۲۵۶۹	۵۲/۰۸	GH1	گلستان
۹/۵۸	۵۲/۶۲	۳۷/۸۱	۱/۵۸	۳۳/۸۷	۰/۷۸	۰/۶۴	۷/۲۵	۰/۳۱۹۹	۵۶/۷۷	GH2	گلستان
۱۶/۵۳	۴۶/۸۲	۳۶/۶۶	۱/۴۵	۲۶/۲۵	۱/۳۲	۱/۷۵	۷/۲۲	۰/۷۶۷۱	۴۸/۹۴	GEW1	گلستان
۱۷/۰۶	۴۹/۵۲	۳۳/۴۳	۱/۸۳	۲۸	۰/۹۴	۰/۹۷	۷/۳۴	۱/۲۰۵۲	۳۳/۰۳	GEW2	گلستان
۱۵/۹۶	۵۱/۵۹	۳۲/۴۶	۱/۲۲	۳۲/۵	۰/۸۹	۱/۵۳	۷/۲۷	۱/۲۰۶۶	۱۹/۱۴	GED1	گلستان
۲۴/۸۶	۵۰/۴۵	۲۴/۷۰	۱/۳۱	۳۲/۶۳	۰/۸	۰/۸۸	۷/۲۵	۱/۰۵۴۰	۲۳/۰۴	GED2	گلستان
۱۱/۵۸	۶۴/۶۸	۲۳/۷۵	۱/۶۴	۱۵/۵	۱۶/۳۷	۱۴/۷۹	۶/۹۹	۰/۹۸۶۴	۲۳/۷۴	GAW1	گلستان
۲۰/۵۵	۵۳/۶۷	۲۵/۷۹	۱/۰۷	۱۵/۵	۱۹/۱۷	۹/۹۹	۷/۰۳	۱/۰۰۸۰	۱۰/۳۷	GAW2	گلستان
۹/۴۴	۶۴/۹۰	۲۵/۶۷	۱/۲۳	۹/۳۸	۱/۸۸	۰/۸۷	۷/۲۹	۰/۴۳۵۴	۳۸	GGP1	گلستان
۵۴/۹۵	۷/۴۹	۳۷/۵۷	۱/۳۹	۸/۵	۲/۰۲	۰/۸۸	۷/۲۵	۰/۶۴۹۰	۲۶/۸۷	GGP2	گلستان
۱۲/۱۵	۵۴/۱۰	۳۳/۷۶	۱/۲۵	۱۴	۱/۶	۱/۱۱	۷/۲۷	۰/۵۳۹۸	۴۵/۶۳	GGW1	گلستان
۱۱/۵۰	۵۲/۶۸	۳۵/۸۳	۱/۴۷	۱۵/۱۳	۱/۳۴	۱/۰۴	۷/۲۶	۰/۵۴۲۰	۴۱/۶۲	GGW2	گلستان
۸/۲۷	۶۶/۱۲	۲۵/۶۲	۱/۱۸	۸/۲۵	۲/۲۴	۲/۵۹	۷/۲۷	۰/۰۸۲۳	۳۷/۰۷	GKS1	گلستان
۱۲/۴۷	۶۱/۹۷	۲۵/۵۷	۱/۴۹	۹/۲۵	۲/۰۳	۱/۶۷	۷/۳۲	۰/۴۷۳۰	۳۷/۰۵	GKS2	گلستان
۴/۲۲	۷۲/۵۳	۳۰/۲۶	۱/۲۳	۱۳/۲۵	۱۰/۱۶	۸/۲۸	۷/۰۷	۰/۲۶۶۳	۳۸/۶	GKP1	گلستان
۲/۳۰	۴۲/۲۰	۵۰/۵۱	۱/۳۴	۱۳/۲۵	۳/۲۲	۳/۳۷	۱/۱۷	۰/۱۰۹۱	۵۷/۴۶	GKP2	گلستان
۳/۵۷	۴۶/۸۷	۴۹/۵۷	۲/۰۹	۷/۵	۱/۱۷	۱/۴۰	۷/۲۳	۱/۰۷۴۶	۵۷/۴۱	GD1	گلستان
۷/۷۷	۴۶/۸۲	۴۵/۴۲	۱/۹۳	۶/۸۸	۱/۴۶	۰/۷۴	۷/۱۸	۱/۰۱۰۲	۵۳/۸۳	GD2	گلستان
۶/۱۲	۶۴/۲۴	۲۹/۶۵	۱/۲۹	۱۳/۳۸	۴۵/۲۴	۵۳/۳۵	۷/۹۹	۰/۷۷۷۲	۲۳/۱۶	GAB1	گلستان
۳/۰۶	۶۰/۱۶	۳۶/۷۹	۱/۰۴	۱۶/۸۷	۳۹/۲۳	۴۲/۳۵	۷/۹۲	۱/۰۴۹۰	۳۲/۲۷	GAB2	گلستان
۲/۸۳	۶۲/۵۲	۳۴/۷۵	۲/۹۶	۲۱/۰۸	۱/۷۱	۱/۱۳	۷/۳۲	۰/۸۱۱۱	۶۵/۹۳	J1	مازندران
۹/۳۸	۶۵/۴۸	۲۵/۱۵	۲/۵۸	۲۲/۳۳	۲/۶	۱/۱	۷/۴۷	۰/۸۹۱۰	۶۸/۶۶	J2	مازندران
۱۹/۵۲	۶۲/۵۶	۱۷/۹۲	۲/۰۶	۹/۲۵	۳/۲۵	۰/۹۸	۸/۰۹	۰/۴۲۹۱	۵۲/۹۵	COL1	مازندران
۱۶/۳۸	۵۸/۷۱	۲۴/۹۲	۲/۵۲	۱۴/۳۳	۱/۵	۱/۰۱	۷/۳۱	۰/۳۶۷۲	۴۹/۶۵	COL2	مازندران
۵/۷۶	۵۳/۲۷	۴۰/۹۷	۱/۵۷	۲۲/۷۵	۰/۰۴	۰/۸۵	۷/۱۸	۰/۴۲۲۳	۳۷/۱	KSC1	کرمانشاه
۹/۸۷	۴۵/۱۵	۴۴/۹۸	۱/۳۴	۲۴/۳۷	۱/۰۷	۰/۶۵	۷/۲۷	۰/۵۷۹۳	۳۸/۱۳	KSC2	کرمانشاه
۳/۴۳	۵۴/۷۷	۴۱/۸۰	۱/۲۱	۱۹/۳۸	۰/۴۵	۰/۷۲	۷/۲۷	۰/۷۲۴۹	۲۱/۶	KSCO1	کرمانشاه
۳/۳۱	۵۵/۶۹	۴۱	۱/۰۲	۱۹/۷۵	۱/۳۷	۰/۴۸	۷/۳۰	۰/۹۱۵۶	۱۴/۷	KSCO2	کرمانشاه
۱/۰۳	۵۹/۹۶	۳۹/۰۱	۰/۸۷	۷/۷۵	۰/۷۸	۱/۰۶	۷/۳۷	۰/۵۳۱۴	۲۲/۶۳	KECA1	کرمانشاه
۱/۲۱	۵۰/۸۵	۴۷/۹۴	۱/۶۴	۶/۸۸	۰/۷۹	۰/۵۶	۷/۳۱	۰/۶۹۲۸	۳۰/۰۴	KECA2	کرمانشاه
۳/۳۳	۴۸/۷۸	۴۷/۸۹	۱/۲۳	۸/۳۸	۰/۶۱	۰/۷۸	۷/۳۱	۰/۴۸۱۶	۲۳/۴۸	KEC1	کرمانشاه
۲/۵۶	۵۱/۳۹	۴۶/۰۵	۱/۲۴	۹/۱۳	۰/۹۱	۰/۶۹	۷/۳۵	۰/۶۳۱۳	۴۹/۲۲	KEC2	کرمانشاه
۱/۱۱	۵۸/۹۸	۳۹/۹۱	۱/۲۴	۲۶/۲۵	۰/۹۱	۰/۶۷	۷/۳۲	۰/۴۲۷۸	۵۸/۱۹	KMW1	کرمانشاه
۱/۲۱	۶۱/۴۰	۴۱/۸۹	۱/۳۷	۲۵/۶۳	۰/۴۹	۰/۵۸	۷/۲۵	۰/۵۴۲۵	۶۰/۸۸	KMW2	کرمانشاه
۱/۶۱	۶۲/۷۰	۳۵/۶۹	۱/۳۸	۲۲/۷۵	۰/۴۴	۰/۸۳	۷/۳۲	۰/۵۰۱۳	۳۵/۸۸	KMA1	کرمانشاه
۱/۸۸	۶۳/۵۸	۳۴/۵۴	۱/۳۷	۲۳/۵	۰/۵۹	۰/۵۸	۷/۳۳	۰/۷۶۷۵	۳۰/۱۸	KMA2	کرمانشاه
۱۸/۷۵	۵۶/۴۴	۲۴/۸۲	۱/۰۳	۱۲/۵	۲/۵۲	۲/۲۴	۷/۲۹	۰/۷۸۸۴	۲۷/۳	UMN1	آذربایجان غربی
۲۱/۶۸	۵۵/۷۴	۲۲/۵۹	۱/۱۸	۱۲/۶۳	۳/۳۶	۱/۱۹	۷/۳۱	۰/۵۶۵۵	۱۵/۳۶	UMN2	آذربایجان غربی
۶/۸۳	۶۵/۳۷	۲۷/۹۱	۱/۳۸	۹/۶۳	۱۱/۴۹	۵/۲۶	۷/۱۶	۱/۱۰۰۳	۳۷/۲۴	UMS1	آذربایجان غربی
۷/۶۲	۶۳/۸۶	۲۸/۵۳	۱/۴۶	۹/۶۳	۸/۱	۲/۴۰	۱/۱۷	۰/۹۸۵۱	۳۶/۳	UMS2	آذربایجان غربی
۱۳/۶۰	۶۱/۲۷	۲۵/۲۳	۱/۲۶	۱۲/۸۸	۱/۰۵	۴/۷۲	۷/۲۲	۰/۸۳۵۱	۴۵/۲۳	UMW1	آذربایجان غربی
۱۸/۶۸	۵۶/۴۴	۲۴/۸۹	۱/۳۶	۲۱/۱۳	۲/۲۴	۱/۵۸	۷/۲۲	۰/۸۶۲۴	۴۰/۰۸	UMW2	آذربایجان غربی
۳۹/۵۴	۴۰/۲۸	۲۰/۱۹	۰/۵۴	۲۱/۱۳	۰/۸۶	۱/۱۶	۷/۳۵	۰/۴۳۰۹	۷/۷۹	UKI1	آذربایجان غربی
۳۱/۱۶	۵۳/۱۳	۱۵/۷۲	۰/۳۸	۱۲/۸۸	۰/۷۸	۰/۷۶	۷/۵۸	۰/۷۰۵۲	۱۲/۰۵	UKI2	آذربایجان غربی
۴۰/۶۴	۴۳/۳۰	۲۵/۰۷	۰/۶۸	۱۰/۲۵	۱/۴۳	۱/۶۱	۷/۲۷	۰/۸۷۷۸	۶/۲	UKC1	آذربایجان غربی
۲۸/۳۳	۴۱/۷۱	۲۹/۹۷	۰/۶۵	۷/۱۳	۰/۹۵	۰/۷۲	۷/۳۸	۰/۷۸۱۶	۵/۹۶	UKC2	آذربایجان غربی
۱/۳۲	۴۴/۹۹	۵۳/۷۰	۱/۲۱	۳۳	۷/۱۶۵	۹/۰۹	۶/۹۰	۰/۱۸۸۱	۱۵/۶۱	UWB1	آذربایجان غربی
۱۰/۸۹	۵۳/۱۹	۳۵/۹۳	۰/۹۲	۳۲/۸۷	۶۲/۵۹	۵۳/۹	۶/۸۴	۲/۲۵۵۲	۹/۸۲	UWB2	آذربایجان غربی
۶/۲۹	۳۶/۰۷	۵۷/۶۵	۱/۰۳	۳۲/۷۵	۲/۸	۲/۰۸	۷/۲۶	۱/۵۵۰۸	۵۳/۵۳	UWW1	آذربایجان غربی
۰/۸۰	۳۸/۸۰	۶۰/۴۱	۱/۲۸	۳۴/۱۳	۲/۴۲	۱/۱۸	۷/۱۷	۱/۱۸۵۹	۵۱	UWW2	آذربایجان غربی
-	-	-	۱/۴۱	۷/۲۵	۱۰۵/۰۶	۸۳/۹	۶/۷۹	۰/۲۴۸۷	۴/۵۸	UG1	آذربایجان غربی
-	-	-	۱/۳۱	۷/۷۵	۵۶/۹۸	۶۱/۷۵	۶/۷۳	۰/۱۱۸۰	۴/۴۲	UG2	آذربایجان غربی
۱۰/۶۹	۴۷/۳۴	۴۱/۹۴	۲/۴۸	۲۱	۴/۰۴	۳/۴۵	۷/۲۲	۰/۰۹۰۴	۶۵/۹۳	UI1	آذربایجان غربی
۱۴/۳۹	۵۰/۶۰	۳۵/۰۲	۲/۳۷	۲۰/۷۵	۵/۶۷	۵/۳	۷/۰۹	۰/۰۸۲۸	۵۹/۹۲	UI2	آذربایجان غربی

### تجزیه واریانس داده‌ها

نتایج تجزیه واریانس برای متغیرهای WAS و DC و معیارهای آماری مربوطه در جدول ۲ تا ۴ ارائه شده است. جدول ۵ و ۶ نیز نتایج آزمون دانکن برای متغیرهای مربوطه و فاکتورهای نوع و عمق خاک را نشان می‌دهد.

### تحلیل رگرسیون داده‌ها

#### رگرسیون یک متغیره

تحلیل رگرسیون خطی داده‌ها برای پارامترهای پایداری خاکدانه‌های تر (WAS) و مقدار پراکنش رس (DC) صورت گرفت و رابطه معنی‌داری به‌جز برای درصد کربن آلی (شکل ۳) دیده نشد.

با تبدیل متغیرها و اعمال برخی از توابع ریاضی (جذر، لگاریتم، تقسیم، ضرب و توان) رابطه رگرسیون میان پارامترهای مورد نظر با برخی متغیرها به‌دست آمد که در شکل‌های ۴ تا ۸ ارائه شده است.

#### رگرسیون خطی چند متغیره

تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره برای مناطق مختلف نمونه‌برداری و مجموعه داده‌ها شامل تعیین مقادیر هم‌بستگی میان متغیرها (جدول ۷) و به‌دست آوردن مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیون با استفاده از روش گام به گام (جدول ۸) بوده که در آن ویژگی‌های عمومی خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل و پارامترهای اندازه‌گیری شده WAS و DC به‌عنوان متغیرهای وابسته (سطح اطمینان ۹۵ درصد) در نظر گرفته شده‌اند.

### بحث

تجزیه واریانس داده‌های تحقیق برای پارامتر WAS (جدول ۲) نشانگر معنی‌دار بودن تفاوت خاک‌ها در سطح یک درصد در همه مناطق نمونه‌برداری بوده است که مبین صحت پیش فرض اولیه مبنی بر تنوع خاک‌هاست. همچنین، معنی‌دار نبودن تفاوت تکرارها (جدول ۲ و ۳) نشان‌دهنده یکنواختی نمونه‌برداری خاک است. تفاوت عمق خاک‌ها نیز در خاک‌های

دستگاه اسپکتروفتومتر با آب مقطر برای جذب صفر واسنجی شد. همچنین، برای به‌دست آوردن منحنی واسنجی هر خاک که قرائت دستگاه را به وزن رس پراکنده مرتبط می‌سازد به این ترتیب عمل شده است: نخست ۵ گرم از نمونه‌های خاک (۹ نمونه به‌عنوان شاخص مناطق مختلف نمونه‌برداری) پس از خشک شدن در دمای ۱۱۰ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و افزودن ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر، به مدت ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵، ۱۸ و ۲۰ دقیقه روی تکان دهنده دوار قرار گرفته و سپس روی الک ۰/۲۵ میلی‌متر تخلیه و با ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته شد. از تعلیق‌های به دست آمده پس از ۴۰ دقیقه نمونه‌برداری شد و مقدار جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. هم‌زمان، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول رویی هر تعلیق برداشت و پس از خشک کردن در دمای ۱۱۰ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، توزین گردید. منحنی‌های واسنجی مربوط به برخی از خاک‌های مورد بررسی به‌عنوان نمونه در شکل ۱ و ۲ دیده می‌شود.

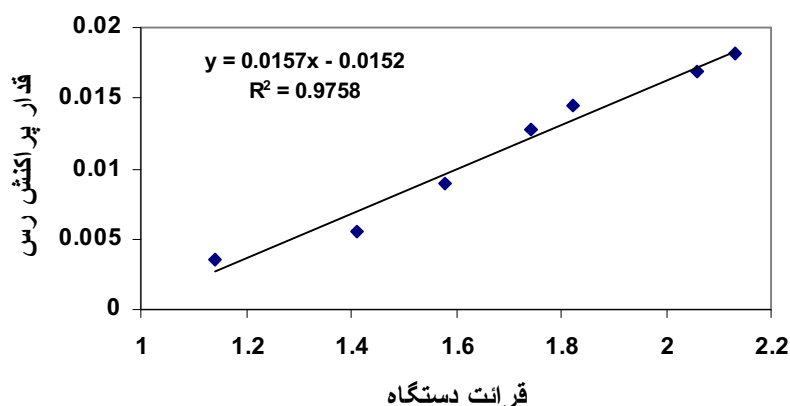
### روش‌های تجزیه و تحلیل آماری

بررسی آماری نتایج توسط نرم افزار Excel/97 و SAS/ver. 6.04 صورت گرفته است. شکل‌های مربوط به واسنجی مقادیر DC و رگرسیون یک متغیره از نرم افزار Excel و محاسبات مربوط به تجزیه واریانس و رگرسیون چند متغیره و تحلیل رگرسیون به روش گام به گام (Stepwise) از نرم افزار SAS به دست آمده است. تجزیه واریانس داده‌ها طی آزمایش فاکتوریل (با دو فاکتور نوع خاک و عمق خاک) در یک طرح بلوک تصادفی در دو تکرار صورت گرفته و آزمون معنی‌دار بودن تفاوت میانگین‌ها به روش دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شده است.

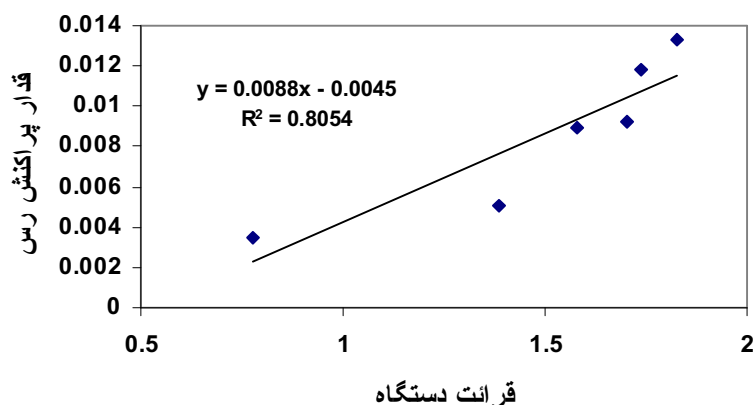
### نتایج

#### نتایج آزمایشگاهی

مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و پارامترهای WAS و DC در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. منحنی واسنجی پراکنش رس (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) برای داده‌های منطقه گرگان



شکل ۲. منحنی واسنجی پراکنش رس (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) برای داده‌های منطقه کرمانشاه

منطقه کرمانشاه می باشد که نشان‌دهنده مناسب نبودن نقاط نمونه برداری در کرمانشاه از جهت تنوع خاک‌هاست. معنی دار شدن تفاوت تکرارها در منطقه کرمانشاه نیز نشان‌دهنده نادرستی پیش فرض یکنواختی خاک‌ها در هر نقطه نمونه برداری در این منطقه است. برای فاکتور عمق خاک نتایج یکسان نیست. در منطقه گلستان و کرمانشاه تفاوت در سطح پنج درصد معنی دار شده است ولی در مناطق مازندران و آذربایجان غربی تفاوت معنی‌داری در فاکتور عمق خاک دیده نشده است. جدول ۴ نیز نشانگر آن است که ترتیب بزرگی میانگین پایداری خاکدانه‌ها در مناطق نمونه برداری به صورت: مازندران < گلستان < کرمانشاه < آذربایجان غربی بوده است. میانگین پراکنش رس

مناطق گلستان و مازندران معنی دار نبوده و در خاک‌های مناطق کرمانشاه و آذربایجان غربی در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است در حالی که نتایج پژوهش رحیمی و همکاران (۵) تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد میان عمق نمونه برداری را نشان داده است. علت این امر را می‌توان به تفاوت منشا و نوع خاک‌ها در مناطق نمونه برداری این پژوهش نسبت داد که در نمونه‌برداری‌های احتمالی بعدی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. تجزیه واریانس داده‌ها برای پارامتر DC (جدول ۳) نشانگر معنی‌دار بودن تفاوت خاک‌ها در سطح یک درصد در مناطق گلستان و آذربایجان غربی، معنی دار بودن در سطح ۵ درصد در منطقه مازندران و معنی دار نبودن تفاوت خاک‌ها در

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس WAS

منابع تغییرات	منطقه	درجه آزادی	SS	MS	Pr > F
نمونه های خاک	گلستان	۹	۶۳۳۲/۳	۷۰۳/۶	۰/۰۰۰۱**
	مازندران	۱	۵۱۱/۸۴	۵۱۱/۸	۰/۰۰۷**
	کرمانشاه	۵	۳۸۹۳/۳	۷۷۸/۷	۰/۰۰۰۱**
	آذربایجان غربی	۸	۱۴۹۴۹/۱	۱۸۶۸/۶	۰/۰۰۰۱**
عمق نمونه برداری	گلستان	۱	۱۳/۲۰۰	۱۳/۲۰۰	۰/۳۸۱۲ ns
	مازندران	۱	۱۸/۲۰۰	۱۸/۲۰۰	۰/۳۰۰۳ ns
	کرمانشاه	۱	۹۸/۱	۹۸/۱	۰/۰۲۷۹*
	آذربایجان غربی	۱	۹۰/۲	۹۰/۲	۰/۰۲۷۸*
نمونه عمق ×	گلستان	۹	۱۰۴۷/۸	۱۱۶/۴	۰/۰۰۰۲**
	مازندران	۱	۱۸/۲۰۰	۱۸/۲۰۰	۰/۳۰۰۳ ns
	کرمانشاه	۵	۷۰۷/۹	۱۴۱/۶	۰/۰۰۱۲**
	آذربایجان غربی	۸	۱۷۴/۰	۲۱/۸۰۰	۰/۲۶۶۹ ns
تکرار	گلستان	۱	۱۳/۸۰۰	۱۳/۸۰۰	۰/۳۶۹۹ ns
	مازندران	۱	۱۸/۲۰۰	۱۸/۲۰۰	۰/۳۰۰۳ ns
	کرمانشاه	۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۸۲۹۳ ns
	آذربایجان غربی	۱	۲/۸۰۰	۲/۸۰۰	۰/۶۷۹۱ ns
خطا	گلستان	۱۹	۳۱۰/۷	۱۶/۴۰۰	-
	مازندران	۳	۳۵/۰	۱۱/۷۰۰	-
	کرمانشاه	۱۱	۱۶۸/۳	۱۵/۳۰۰	-
	آذربایجان غربی	۱۷	۲۶۴/۹	۱۵/۶۰۰	-

\*\* : تفاوت معنی دار در سطح ۱ درصد

\* : تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد

ns : تفاوت معنی دار نیست.

از مقدار مواد آلی (در سطح احتمال ۰/۰۰۰۱) است. در منطقه گلستان مقدار رس و در منطقه آذربایجان غربی مقدار شن در تغییر پذیری پارامتر WAS بیشترین تأثیر را دارد. در مورد پارامتر DC حدود ۲۴ درصد از تغییر پذیری داده‌ها (در سطح احتمال ۰/۱) با متغیرهای مقدار آهک، SAR و pH توجیه می‌شود. هم‌چنین اثر متقابل متغیرهای EC، SAR و pH بسیار معنی‌دار بوده و به‌عنوان نتیجه‌ای ضمنی از این پژوهش قابل توجه است. در همین رابطه مشاهده می‌شود که در همه مناطق نمونه برداری، مقدار WAS با SAR و EC هم‌بستگی منفی داشته است. رابطه منفی پایداری با SAR در اغلب پژوهش‌ها مورد تأیید قرار گرفته ولی نتایج پژوهش برزرگر

(DC)، در منطقه کرمانشاه کمترین و منطقه آذربایجان غربی بیشترین مقدار میانگین را داشته است. مقدار C.V. (Coefficient of variation) نیز که نشان دهنده پراکندگی صفت مورد نظر و برابر مقداری از تغییر پذیری داده‌ها نسبت به میانگین است که با تجزیه واریانس قابل توجیه نمی‌باشد برای پارامتر WAS در حد مطلوب است ولی در مورد پارامتر DC مقدار آن زیاد بوده و نشانگر آن است که در این پژوهش، مقادیر پارامتر WAS قابل اعتمادترند. مقادیر  $R^2$  در جدول ۴ نیز نشان‌دهنده همین نکته است.

هم‌بستگی متقابل متغیرها (جدول ۷) نشانگر آن است که در مجموعه مناطق، تغییرات پایداری خاکدانه‌ها به طور عمده متأثر

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس DC

منابع تغییرات	منطقه	درجه آزادی	SS	MS	Pr>F
نمونه های خاک	گلستان	۹	۰/۰۰۰۷۴	۰/۰۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۱**
	مازندران	۱	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۳۱۴**
	کرمانشاه	۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۹۶۸**
	آذربایجان غربی	۸	۰/۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۵**
عمق نمونه برداری	گلستان	۱	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۴۲۳ *
	مازندران	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۹۳۸۱ ns
	کرمانشاه	۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۱۹۶*
	آذربایجان غربی	۱	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۱۶۹۸ns
نمونه × عمق	گلستان	۹	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۰۷	۰/۰۸۸۳ ns
	مازندران	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۵۹۶۵ ns
	کرمانشاه	۵	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴	۰/۹۸۷۵ ns
	آذربایجان غربی	۸	۰/۰۰۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۲۹ **
تکرار	گلستان	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸	۰/۸۸۰۰ ns
	مازندران	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶	۰/۳۲۸۷ ns
	کرمانشاه	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳۲ ns
	آذربایجان غربی	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۰۰۷	۰/۵۳۵۳ ns
خطا	گلستان	۱۹	۰/۰۰۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	-
	مازندران	۳	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۴	-
	کرمانشاه	۱۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۴	-
	آذربایجان غربی	۱۷	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۲	-

\*\* : تفاوت معنی دار در سطح ۱ درصد

\* : تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد

ns : تفاوت معنی دار نیست.

جدول ۴. معیارهای آماری داده‌های WAS (%) و DC (g/100g)

گلستان		مازندران		کرمانشاه		آذربایجان غربی		تعداد مشاهدات
WAS	DC	WAS	DC	WAS	DC	WAS	DC	
۴۰	۴۰	۸	۸	۲۴	۲۴	۳۶	۳۶	
۳۷/۸۰۲	۰/۰۰۸۶	۵۹/۲۹۶	۰/۰۰۷۸	۳۵/۱۶۶	۰/۰۰۷۵	۲۷/۶۸۱	۰/۰۰۹۵	میانگین
۱۰/۶۹۷	۲۱/۵۳۸	۵/۷۶۳	۲۶/۸۳۳	۱۱/۱۲۲	۲۵/۸۲۷	۱۴/۲۶۰	۴۳/۸۵۷	ضریب تغییرات (CV%)
۱۶/۳۵۲	۰/۰۰۰۰۰۳۵	۱۱/۶۷۹	۰/۰۰۰۰۰۰۴۴	۱۵/۲۹۶	۰/۰۰۰۰۰۰۳۸	۱۵/۵۸۱	۰/۰۰۰۰۱۷	میانگین مربعات خطا (MSE)
۰/۹۵۹۷	۰/۹۲۵۷	۰/۹۳۹۹	۰/۸۴۵۱	۰/۹۶۵۴	۰/۷۵۸۶	۰/۹۸۲۹	۰/۸۴۹۴	R <sup>2</sup>

اندازه ذرات، نتایج این پژوهش با تحقیقات ذکر شده در مقدمه سازگار نبوده است. علت آن احتمالاً تفاوت در شرایط و روش آزمایش، خاک‌ها و تأثیر مقدار رطوبت (که در این تحقیق بررسی نشده است) و نیز پیچیدگی‌های سیستم باز خاک

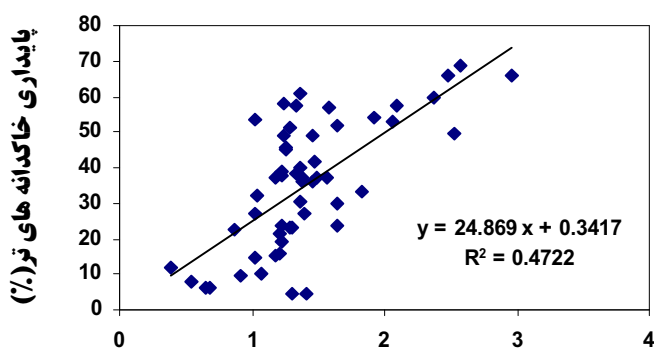
و همکاران (۱۰) و رحیمی و همکاران (۵) نشانگر رابطه مثبت پایداری با مقدار EC بوده است که یافتن دلایل آن مستلزم انجام بررسی‌های بیشتر می‌باشد. در مورد اثر مقدار رس، آهک و الکترولیت‌ها و همچنین اثر

جدول ۵. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح پنج درصد برای فاکتور نمونه خاک در مناطق مختلف نمونه برداری

منطقه	نمونه خاک	پایداری خاکدانه‌ها (%)	پراکنش رس (g/100g)
گلستان	GH	۵۴/۴۲ <sup>a</sup>	۰/۰۰۳۶۰ <sup>c</sup>
	GEW	۴۰/۹۸۵ <sup>dc</sup>	۰/۰۱۲۳۳ <sup>a</sup>
	GED	۲۱/۰۸۷ <sup>g</sup>	۰/۰۱۴۱۵ <sup>a</sup>
	GAW	۱۷/۰۵۵ <sup>g</sup>	۰/۰۱۲۴۷ <sup>a</sup>
	GGP	۳۲/۴۳۲ <sup>ef</sup>	۰/۰۰۶۷۷ <sup>b</sup>
	GGW	۴۳/۶۲۲ <sup>bc</sup>	۰/۰۰۶۷۸ <sup>b</sup>
	GKS	۳۷/۰۵۵ <sup>de</sup>	۰/۰۰۳۴۷ <sup>c</sup>
	GKP	۴۸/۰۲۷ <sup>bc</sup>	۰/۰۰۳۴۷ <sup>c</sup>
	GD	۵۵/۶۱۷ <sup>a</sup>	۰/۰۰۲۳۳ <sup>a</sup>
	GAB	۲۷/۷۱۵ <sup>f</sup>	۰/۰۱۳۰۵ <sup>a</sup>
مازندران	J	۶۷/۲۹۵ <sup>a</sup>	۰/۰۱۰۶۵ <sup>a</sup>
	COL	۵۱/۲۹۸ <sup>b</sup>	۰/۰۰۴۹۸ <sup>b</sup>
کرمانشاه	KSC	۳۷/۶۱۲ <sup>b</sup>	۰/۰۰۶۲۷ <sup>b</sup>
	KSCO	۱۸/۱۴۷ <sup>d</sup>	۰/۰۱۰۲۷ <sup>a</sup>
	KECA	۲۶/۳۳۳ <sup>c</sup>	۰/۰۰۷۶۵ <sup>ab</sup>
	KEC	۳۶/۳۴۵ <sup>b</sup>	۰/۰۰۶۹۵ <sup>b</sup>
	KMW	۵۹/۵۳۳ <sup>a</sup>	۰/۰۰۶۰۸ <sup>b</sup>
	KMA	۳۳/۰۲۷ <sup>b</sup>	۰/۰۰۷۹۲ <sup>ab</sup>
آذربایجان غربی	UMN	۲۱/۳۲۵ <sup>e</sup>	۰/۰۰۸۴۷ <sup>bdc</sup>
	UMS	۳۶/۷۶۵ <sup>d</sup>	۰/۰۱۳۰۲ <sup>abc</sup>
	UMW	۴۲/۶۵۵ <sup>c</sup>	۰/۰۱۰۶۲ <sup>abc</sup>
	UKI	۹/۹۱۵ <sup>fg</sup>	۰/۰۰۷۱۰ <sup>cde</sup>
	UKC	۶/۰۷۸ <sup>g</sup>	۰/۰۱۰۴۰ <sup>abc</sup>
	UWB	۱۲/۷۱۳ <sup>f</sup>	۰/۰۱۵۲۸ <sup>ab</sup>
	UWW	۵۲/۲۶۰ <sup>b</sup>	۰/۰۱۷۱۰ <sup>a</sup>
	UG	۴/۴۹۸ <sup>g</sup>	۰/۰۰۲۳۰ <sup>de</sup>
	UI	۶۲/۹۲۵ <sup>a</sup>	۰/۰۰۱۱۰ <sup>e</sup>

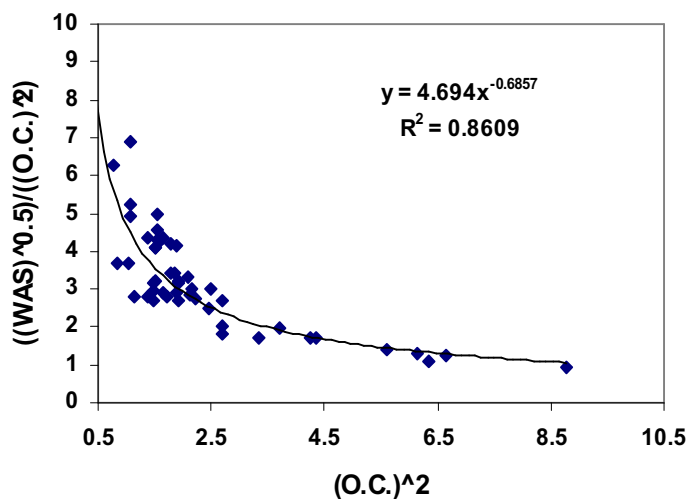
جدول ۶. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح پنج درصد برای فاکتور عمق نمونه برداری خاک در مناطق مختلف ( عمق ۱ : ۱۰ - ۲۰ سانتی متر، عمق ۲ : ۲۰ - ۱۰ سانتی متر).

منطقه نمونه برداری	عمق نمونه برداری	درصد پایداری خاکدانه‌ها	پراکنش رس (g/100g)
گلستان	۱	۳۸/۳۷۵ <sup>a</sup>	۰/۰۰۷۹۹۵ <sup>b</sup>
گلستان	۲	۳۷/۲۲۹ <sup>a</sup>	۰/۰۰۹۲۷۵ <sup>a</sup>
مازندران	۱	۵۹/۴۴۰ <sup>a</sup>	۰/۰۰۷۷۵ <sup>a</sup>
مازندران	۲	۵۹/۱۵۲ <sup>a</sup>	۰/۰۰۷۸۷ <sup>a</sup>
کرمانشاه	۱	۳۳/۱۴۵ <sup>a</sup>	۰/۰۰۶۴۴۲ <sup>a</sup>
کرمانشاه	۲	۳۷/۱۸۸ <sup>b</sup>	۰/۰۰۸۶۰۸ <sup>b</sup>
آذربایجان غربی	۱	۲۹/۲۶۴ <sup>a</sup>	۰/۰۰۸۴۹ <sup>a</sup>
آذربایجان غربی	۲	۲۶/۰۹۹ <sup>b</sup>	۰/۰۱۰۴۸ <sup>a</sup>

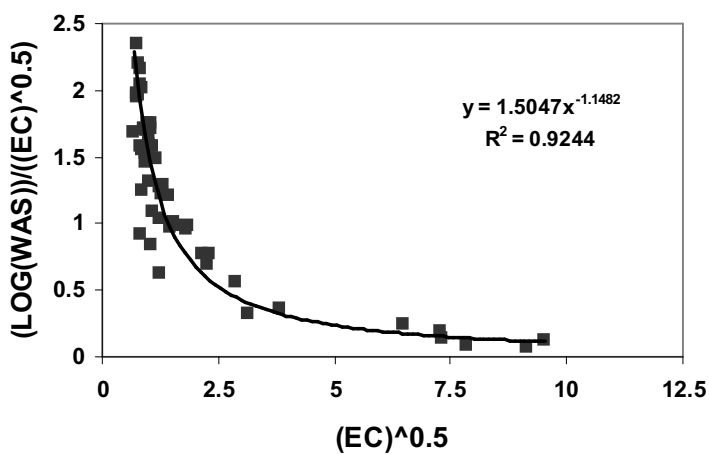


درصد کربن آلی

شکل ۳. نمودار رگرسیون خطی یک متغیره رابطه پایداری خاکدانه‌های تر با درصد کربن آلی



شکل ۴. نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه پایداری خاکدانه‌های تر (WAS) با درصد کربن آلی (O.C.)

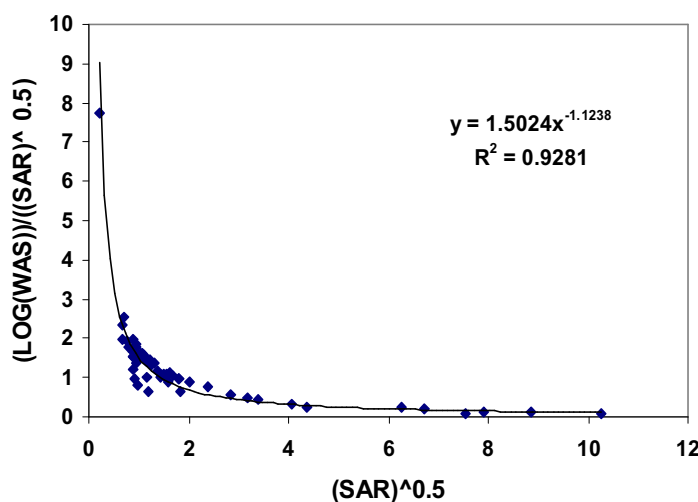


شکل ۵. نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه WAS با هدایت الکتریکی (EC)

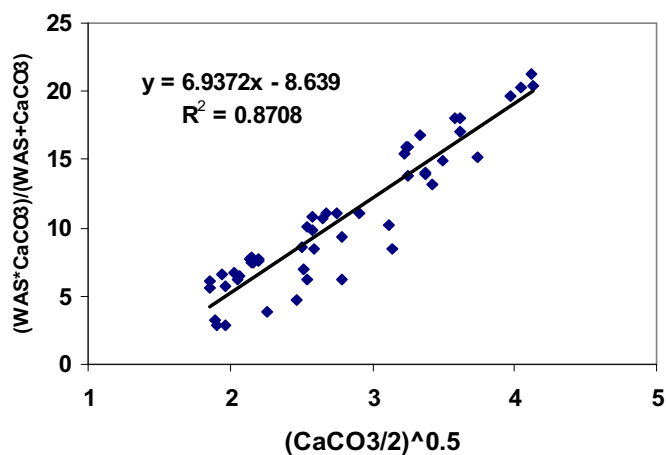
جدول ۷. مقادیر ضریب هم‌بستگی میان متغیرهای اندازه‌گیری شده برای مجموعه مناطق

	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربن آلی (%)	آهک (%)	SAR	EC (dS/m)	pH	WAS (%)	DC (g/100g)
شن (%)	۱/۰۰۰۰۰									
سیلت (%)	-۰/۵۵۹****	۱/۰۰۰۰۰								
رس (%)	-۰/۵۲۴****	-۰/۴۱۱**	۱/۰۰۰۰۰							
کربن آلی (%)	-۰/۲۵۰	۰/۱۸۵	۰/۰۸۱	۱/۰۰۰۰۰						
آهک (%)	-۰/۱۹۲	-۰/۰۷۷	۰/۲۹۷*	۰/۰۸۳	۱/۰۰۰۰۰					
SAR	-۰/۱۵۸	۰/۰۵۹	۰/۱۰۸	-۰/۱۴۸	۰/۲۲۷*	۱/۰۰۰۰۰				
EC (dS/m)	-۰/۱۷۴	۰/۰۴۱	۰/۱۴۴	-۰/۱۴۴	۰/۲۳۳*	۰/۹۸۴****	۱/۰۰۰۰۰			
pH	۰/۲۲۱*	۰/۰۳۴	-۰/۲۷۶*	۰/۱۱۷	-۰/۲۵۰*	-۰/۶۰۶****	-۰/۵۸۲****	۱/۰۰۰۰۰		
WAS (%)	-۰/۴۱۶**	۰/۱۷۲	۰/۲۸۸*	۰/۷۲۳****	۰/۱۶۵	-۰/۳۱۵*	-۰/۲۹۳*	۰/۱۶۳	۱/۰۰۰۰۰	
DC (g/100g)	۰/۰۳۷	-۰/۱۲۲	۰/۰۸۱	-۰/۱۸۴	۰/۲۴۲*	۰/۲۴۷*	۰/۱۶۰	-۰/۲۳۵*	-۰/۲۶۹*	۱/۰۰۰۰۰

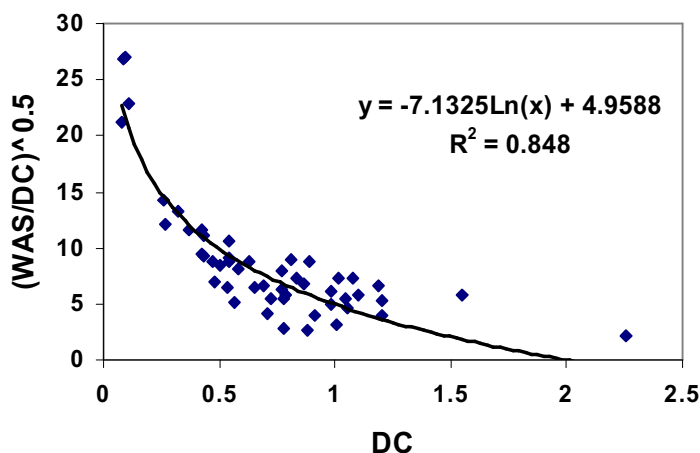
\*: معنی دار در سطح ۰/۱  
 \*\*: معنی دار در سطح ۰/۰۱  
 \*\*\*: معنی دار در سطح ۰/۰۰۱  
 \*\*\*\*: معنی دار در سطح ۰/۰۰۰۱



شکل ۶. نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه WAS با نسبت جذب سدیم (SAR)



شکل ۷. نمودار رگرسیون خطی (پس از تبدیل متغیرها) یک متغیره رابطه WAS با آهک (CaCO<sub>3</sub>)



شکل ۸. نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه WAS با مقدار پراکنش رس (DC)

جدول ۸. معادله‌های خطی به دست آمده از تحلیل رگرسیون به روش گام به گام

مناطق نمونه برداری	معادله های خطی به دست آمده
مجموعه مناطق	$\%WAS = 21/274(\text{آلی}) + 3/413(\text{شن}) - 0/292(\text{SAR}) + 3/971(\text{رس}) + 3/727(\text{درصد سیلت}) - 396/205$ $R^2 = 0/686$
	$DC = 0/071(\text{SAR}) - 0/064(\text{EC}) + 0/011(\text{درصد آهک}) - 0/137(\text{آلی}) + 0/625$ $R^2 = 0/356$
	$\%WAS = 0/834(\text{رس}) - 0/501(\text{SAR}) - 0/560(\text{درصد شن}) + 21/448$ $R^2 = 0/710$
گلستان	$DC = 0/710(\text{EC}) - 0/309(\text{آلی}) + 1/5$ $R^2 = 0/553$
کرمانشاه	$\%WAS = 19/012(\text{آلی}) - 0/528(\text{SAR}) - 0/640(\text{درصد شن}) + 0/658(\text{درصد آهک}) + 12/817$ $R^2 = 0/941$
آذربایجان غربی	$DC = -0/682(\text{آلی}) - 0/026(\text{درصد شن}) + 2/094$ $R^2 = 0/400$

شدن تفاوت نمونه‌های خاک (جدول ۲) و مشخصات عمومی خاک‌ها (طرح تحقیقاتی در دست انتشار در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی) می‌توان نتیجه گرفت که مقدار پایداری خاکدانه‌ها بیش از نوع مدیریت کشت، متأثر از مقدار مواد آلی بوده است. خاک UI در منطقه آذربایجان غربی در این

است که رسیدن به نتایج یکسان در پژوهش‌های مختلف را دشوار می‌سازد. در مورد اثر مواد آلی، موضوع بسیار پیچیده تر و نتایج گاه متناقض به نظر می‌رسد. در این پژوهش، صرف نظر از اثر نوع مواد آلی، تاثیر مثبت مقدار مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها مورد تأیید قرار گرفته است. با توجه به معنی دار

یکسان صورت گرفته و پارامترهای WAS و DC اندازه‌گیری شود. نتایج حاصل از چنین داده‌هایی می‌تواند در یافتن معادله‌های مناسب به کار رفته و در صورت لزوم بر اساس متغیرهای مهم طبقه بندی گردد. هم‌چنین، نتایج به دست آمده از مطالعه در سطح ملی را برای یافتن توابع تبدیلی خاک (PTF) (Pedo-Transfer Functions) می‌توان به‌کار برده و بر اساس انواع خاک یا اقلیم رده بندی نمود.

۳. مقدار رطوبت در زمان نمونه برداری و هنگام آزمایش، یکی از متغیرهای مهم موثر در پایداری خاکدانه‌هاست که در مطالعات بعدی باید به آن توجه شود.

۴. تنوع ویژگی‌های نمونه‌های خاک (از نظر EC، SAR، مواد آلی و ...) می‌تواند نتایج و معادلات به دست آمده را قابل اعتمادتر سازد.

### سپاسگزاری

انجام این پژوهش مرهون راهنمایی‌ها و یاری‌های صمیمانه همکاران محترم مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در کرج و استادان گرامی آقایان دکتر پذیرا، دکتر رحیمی و دکتر برزگر بوده است. نگارنده بر خود لازم می‌داند که از زحمات این اساتید و کلیه همکاران به ویژه جناب آقای دکتر اشرفی و سرکار خانم مغناطیسی تشکر و قدردانی شود.

مورد استثناست و به نظر می‌رسد بالا بودن پایداری خاکدانه‌ها و مقدار مواد آلی در آن به‌طور عمده متأثر از نوع مدیریت کشت (یونجه دائم) بوده است.

اگر چه معادله‌های جدول ۸ را برای همه خاک‌ها نمی‌توان به‌کار برد ولی از آنها برای برآورد اثر متغیرهای مختلف بر پارامترهای WAS و DC در مناطق مربوطه می‌توان بهره‌گیری نمود. با توجه به مقادیر ضریب هم‌بستگی جزئی متغیرها (طرح تحقیقاتی در دست انتشار در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی) معادلات ساده‌تری به‌دست می‌آید که در بررسی‌های بعدی می‌تواند مفید واقع شود. بر این اساس با در نظر گرفتن مجموعه مناطق، مشاهده شده است که بیش از ۵۰ درصد تغییرپذیری داده‌های WAS ناشی از مقدار مواد آلی بوده و معادله ۲ را می‌توان برای آن پیشنهاد نمود:

$$[2] \quad R^2 = 0.523 + 1/81 \text{ (درصد کربن آلی)} = 24/64 \% \text{ WAS}$$

نکته قابل توجه آن است که معادلات به دست آمده در شرایط تحقیق حاضر و برای خاک‌های حاوی ۳-۰/۳ درصد کربن آلی قابل استفاده است. افزون بر این، با توجه به یافته‌های تاجیک و همکاران (۳) و تیسدل و ادز (۳۰) باید ضمن پرهیز از هر گونه ساده انگاری، ساز و کار پیچیده پایداری خاکدانه‌ها همواره مدنظر قرار گیرد. با توجه به تجربه‌ها و نتایج به دست آمده از اجرای پژوهش حاضر پیشنهادات ذیل قابل ارائه می‌باشد:

۱. اندازه گیری پایداری خاکدانه‌ها به عنوان معیاری کمی از ساختمان خاک، در مطالعات خاکشناسی مد نظر قرار گیرد.

۲. نمونه برداری در انواع خاک‌های کشور (با مقادیر متفاوت مواد آلی، SAR، EC، رس و ...) به‌طور هم‌زمان و با روش

### منابع مورد استفاده

۱. بای بوردی، م. ۱۳۷۲. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۲. براجا، ام. اس. ۱۳۷۳. اصول مهندسی خاک - مکانیک خاک. ترجمه حسین صالح زاده، تهران، جلد اول.
۳. تاجیک، ف. ا. پذیرا و ح. رحیمی. ۱۳۷۷. تأثیر مواد آلی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک (بررسی کلی). مجموعه مقالات علمی تخصصی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سال سوم، ۱۰:۱-۲۰.
۴. تاجیک، ف. ا. پذیرا و ح. رحیمی. ۱۳۷۸. مروری بر روش‌های کمی ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها. مجله علوم خاک و آب

۵. رحیمی، ح.، ا. پذیرا و ف. تاجیک. ۱۳۷۶. بررسی اثرات شوری، سدیمی و مواد آلی برمشنخصات مکانیکی خاک‌ها. نشریه شماره ۹۰، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

6. Adesodun, J. K., J. S. C. Mbagwu and N. Oti. 2001. Structural stability and carbohydrate contents of an Ultisol under different management systems, *Soil & Till. Res.* 60:135-142.
7. Aly, S. M. and J. Letey. 1990. Physical properties of sodium-treated soil as affected by two polymers, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:501-504.
8. Aringhieri, R. and P. Sequi. 1979. The arrangement of organic matter in a soil crumb. PP. 145-150. *In: W.W. Emerson (Ed.), Modification of Soil Structure.* John Wiley & Sons, Chichester.
9. Arshad, M. A. and G. M. Coen. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *Amer. J. of Alternative Agric.* 7:25-31.
10. Barzegar, A. R., J. M. Oades, P. Rengasamy and L. Giles. 1994. Effect of sodicity and salinity on disaggregation and tensile strength of an Alfisol under different cropping systems. *Soil & Till. Res.* 32:329-345.
11. Barzegar, A. R., P. N. Nelson, J. M. Oades, P. Rengasamy and R. S. Murray. 1995. Tensile strength of dry, remoulded soils as affected by properties of the clay fraction. *Geoderma* 65:93-108.
12. Blair, N. 2000. Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a chromic luvisol Queensland, Australia. *Soil & Till. Res.* 55:183-191.
13. Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A. C. Imeson and M. D. Soriano-Soto. 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.
14. Chan, K. Y. and D. P. Heenan. 1996. The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. *Soil & Till. Res.* 37:113-125.
15. Chappell, N. A., J. L. Ternan and K. Bidin. 1999. Correlation of physiochemical properties and suberosional land forms with aggregate stability variation in a tropical disturbed by forestry operations. *Soil & Till. Res.* 50: 55-71.
16. Curtin, D., C. A. Campbell, R. P. Zentner and G. P. Lafond. 1994. Long-term management and clay dispersibility in two haploborolls in Saskatchewan. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 962-967.
17. Emerson, W.W. and M.G. Dettmann. 1960. The effect of pH on the wet strength of soil crumbs. *J. Soil Sci.* 11:149-158.
18. Gollany, H. T., T. E. Schumacher, P. D. Evenson and M. J. Lindstrom. 1991. Aggregate stability of an eroded and desurfaced typic Agriustoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:811-816.
19. Gu, B. and H. E. Doner. 1993. Dispersion and aggregation of soils as influenced by organic and inorganic polymers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:709-716.
20. Koutika, L. S., F. Bartoli, F. Andreux, C. C. Cerri, G. Burtin, Th. Chone and R. Philippy. 1997. Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pastures of increasing age in the eastern Amazon basin. *Geoderma* 76:87-112.
21. Lebron, I. and D. L. Suarez. 1992. Variation in soil stability within and among soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1412-1421.
22. Perfect, E., B. D. Kay, W. K. P. Vanloon, R. W. Sheard and T. Pojasok. 1990. Factors influencing soil structure stability within a growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:173-179.
23. Pojasok, T. and B. D. Kay. 1990. Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural stability of moist aggregates. *Canad. J. Soil Sci.* 70:33-42.
24. Rasiah, V., B. D. Kay and T. Martin. 1992. Variation of structural stability with water content: Influence of selected soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1604-1609.
25. Rasiah, V. and B. D. Kay. 1994. Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:935-942.
26. Sevink, J., J. M. Verstraten and J. Jongejans 1998. The relevance of humus forms for land degradation in Mediterranean mountainous areas. *Geomorph* 23:285-292.
27. Seybold, C. A. and J. E. Herrick 2001. Aggregate stability kit for soil quality assessment. *Catena* 44:37-45.
28. Skidmore, E. L. and J. B. Layton. 1992. Dry-soil aggregate stability as influenced by selected soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:557-561.
29. Teh Boon Sung, C. 1996. Soil aggregate stability: Its evaluation and relation to organic matter constituents and other soil properties. Ph.D. Thesis, University of Putra, Malaysia.
30. Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregate in Soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
31. Watts, C. W., A. R. Dexter. 1997. The influence of organic matter in reducing the destabilization of soil by

- simulated tillage. *Soil & Till. Res.* 42:253-275.
32. Westerhof, R., P. Buurman, C. VanGriethuysen, M. Ayarza, L. Vilela and W. Zech 1999. Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil. *Geoderma*. 90:277-290.
33. Yang, X. and M. Wander. 1998. Temporal changes in dry aggregate size and stability - tillage and crop effects on a silty loam Mollisol in Illinois. *Soil & Till. Res.* 49:173-183.
34. Zhang, B. and R. Horn. 2001. Mechanisms of aggregate stability in Ultisols from subtropical China. *Geoderma* 99:123-145.