ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در برخی مناطق ایران

فؤاد تاجیک[۱]

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 ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک بر پایداری خاکدانه‌ها، نمونه‌های دست نخورده خاک (از دو عمق ۱۰-۰ 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 کی (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 = ۰/۷۲۳) در سطح احتمال ۰/۰۰۰۱) است، در حالی‌که 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

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

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

فرایندهایی مهم برای تولید محصول و سلامتی زیست بوم محسوب می‌گردند) اثر قابل توجهی دارد (۲۷). اندازه و پایداری خاکدانه‌ها می تواند 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 نگه‌دارندهٔ 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 پایدارسازی 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 کمّی 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 می توانند با افزایش بارهای سطحی منفی و کاهش تخلخل رس بر مقدار پراکنش رس افزوده و از سوی دیگر عامل پیوند دهندهٔ 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 واتز 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 (Wet Aggregate Stability)(WAS) و مقدار پراکنش رس (Dispersible Clay)(DC) 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 حالی‌که 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 معنی داری بر پایداری خاکدانه‌ها نداشته است. نتایج به دست آمده توسط پرفکت وهمکاران (۲۲) نیز نشان داده است که مقدار رطوبت خاک و تودهٔ 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

اولیه خاک قرار گرفته است.

تا چند دهه پیش تصور می‌شد که املاح کلسیم در پیوستن کلوئیدها 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 و۱۹۲۹ 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 حالی‌که 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 ایلایت 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 صورتی‌که کورتین و همکاران (۱۶) مقدار کل رس را عامل تعیین کننده‌ای 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 حالی‌که 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 دانر (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 حالی‌که 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 میلی متر را بیش از سایر روش‌ها دانسته است. سیبولد و هریک (۲۷) نیز بیان داشتند که خاکدانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی متر) 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

ساختمان خاک

- یافتن معادلات مربوط به رابطهٔ 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. نمونه های خاک با کاردک از عمق مورد نظر و از شکاف استوانه برداشت گردید. برای این نمونه‌گیر، درجه سطح (۲) برابر۷/۴۵ درصد بوده که نشانگر دست نخوردگی نمونه به آمده است. در هر محل نمونه‌برداری از حداقل شش نقطهٔ 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 ۲/۸-۲ 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 اندازه گیری 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 ۲/۸-۲ 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 لولهٔ 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 درجه‌سانتی‌گراد خشک شده و پس از توزین به منظور اندازه‌گیری ذرات شن بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی متر، 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.

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

که در آن، R جرم ذرات باقی مانده روی الک ۰/۲۵ میلی متر، 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 مرحلهٔ قبل، به یک بشر۲۵۰ میلی‌لیتر منتقل شده و۴۰ دقیقه پس از به هم زدن تعلیق، نمونه‌ای از محلول رویی آن برداشت و مقدار جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر قرائت‌گردید. پیش از قرائت مقدار جذب نمونه‌ها،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

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

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

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 نمونه های خاک (۹ نمونه به‌عنوان شاخص مناطق مختلف نمونه برداری) پس از خشک شدن در دمای ۱۱۰ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و افزودن ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر، به‌مدت 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 نمونه برداری 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 به عنوان نمونه در شکل ۱ و۲ 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 معنی دار بودن تفاوت میانگین‌ها به روش دانکن و در سطح احتمال پنج در صد 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.

تجزیه واریانس داده‌ها

نتایج تجزیه واریانس برای متغیرهای WAS وDC 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

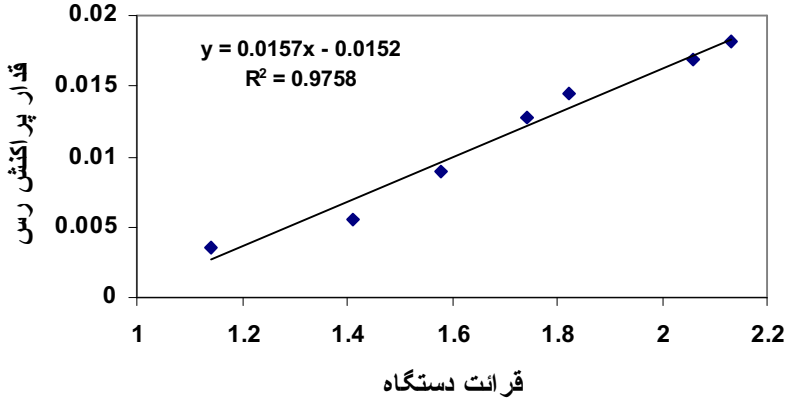
تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره برای مناطق مختلف نمونه‌برداری و مجموعه داده‌ها شامل تعیین مقادیر هم‌بستگی میان متغیرها (جدول ۷) و به‌دست آوردن مناسب ترین مدل‌های رگرسیون با استفاده از روش گام به گام (جدول ۸) بوده که در آن ویژگی‌های عمومی خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل و پارامترهای اندازه‌گیری شده WAS و DC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

بحث

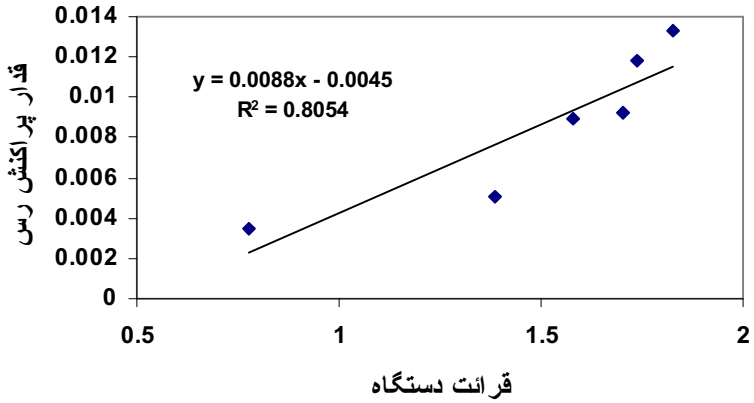
تجزیه واریانس داده‌های تحقیق برای پارامتر WAS (جدول ۲) نشانگر معنی‌دار بودن تفاوت خاک‌ها در سطح یک درصد در همه مناطق نمونه برداری بوده است که مبین صحت پیش فرض اولیه مبنی بر تنوع خاک‌هاست. هم‌چنین، معنی دار نبودن تفاوت تکرارها (جدول ۲ و ۳) نشان دهنده یکنواختی نمونه‌برداری خاک است. تفاوت عمق خاک‌ها نیز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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]



شکل۱. منحنی واسنجی پراکنش رس (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) برای داده‌های منطقه گرگان



شکل۲. منحنی واسنجی پراکنش رس (گرم در ۱۰۰ گرم خاک) برای داده‌های منطقه کرمانشاه

مناطق گلستان و مازندران معنی دار نبوده و در خاک‌های مناطق کرمانشاه و آذربایجان غربی در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است در حالی‌که 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 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 دراین 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. جدول۴ نیز نشانگر آن است که ترتیب بزرگی میانگین پایداری خاکدانه‌ها در مناطق نمونه برداری به‌صورت: مازندران > گلستان > کرمانشاه > آذربایجان غربی بوده است. میانگین پراکنش رس

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

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**
	آذربایجان‌غربی	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*
	آذربایجان‌غربی	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 **
	آذربایجان‌غربی	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
	آذربایجان‌غربی	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	–
	آذربایجان‌غربی	۱۷	۲۶۴/۹	۱۵/۶۰۰	–

** : تفاوت معنی دار در سطح ۱ درصد
* : تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد
ns :تفاوت معنی دار نیست.

(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 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 حدود۲۴ 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 وEC هم‌بستگی منفی داشته است. رابطه منفی پایداری با SAR در اغلب پژوهش‌ها مورد تأیید قرار گرفته ولی نتایج پژوهش برزگر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

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**
	آذربایجان‌غربی	۸	۰/۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۵**
عمق نمونه برداری	گلستان	۱	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۴۲۳ *
	مازندران	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۹۳۸۱ ns
	کرمانشاه	۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۱۹۶*
	آذربایجان‌غربی	۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۴	۰/۱۶۹۸ns
نمونه × عمق	گلستان	۹	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۸۸۳ ns
	مازندران	۱	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۵۹۶۵ ns
	کرمانشاه	۵	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۴	۰/۹۸۷۵ ns
	آذربایجان‌غربی	۸	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۲۹ **
تکرار	گلستان	۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۰۰۸	۰/۸۸۰۰ ns
	مازندران	۱	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۳۲۸۷ ns
	کرمانشاه	۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۳۲ ns
	آذربایجان‌غربی	۱	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۵۳۵۳ ns
خطا	گلستان	۱۹	۰/۰۰۰۰۶۶	۰/۰۰۰۰۰۳	–
	مازندران	۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۴	–
	کرمانشاه	۱۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۴	–
	آذربایجان‌غربی	۱۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۲	–

** : 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)

	آذربایجان‌غربی		کرمانشاه		مازندران		مازندران	گلستان	گلستان
	DC	WAS	DC	WAS	DC	WAS	DC	WAS	DC
تعداد مشاهدات	۳۶	۳۶	۲۴	۲۴	۸	۸	۸	۴۰	۴۰
میانگین	۰/۰۰۹۵	۲۷/۶۸۱	۰/۰۰۷۵	۳۵/۱۶۶	۰/۰۰۷۸	۵۹/۲۹۶	۰/۰۰۸۶	۳۷/۸۰۲	
ضریب تغییرات(CV%)	۴۳/۸۵۷	۱۴/۲۶۰	۲۵/۸۲۷	۱۱/۱۲۲	۲۶/۸۳۳	۵/۷۶۳	۲۱/۵۳۸	۱۰/۶۹۷	
میانگین مربعات خطا(MSE)	۰/۰۰۰۰۱۷	۱۵/۵۸۱	۰/۰۰۰۰۰۳۸	۱۵/۲۹۶	۰/۰۰۰۰۰۴۴	۱۱/۶۷۹	۰/۰۰۰۰۰۳۵	۱۶/۳۵۲	
R^2	۰/۸۴۹۴	۰/۹۸۲۹	۰/۷۵۸۶	۰/۹۶۵۴	۰/۸۴۵۱	۰/۹۳۹۹	۰/۹۲۵۷	۰/۹۵۹۷	

و همکـاران (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 انـدازه ذرات، نتایج این پژوهش با تحقیقات ذکر شده در مقدمه سـازگار نبوده است. علت آن احتمالاً تفاوت در شرایط و روش آزمـایش، خـاک‌هـا و تأثیـر مقـدار رطـوبت (که در این تحقیق بـررسـی نشـده است) و نیز پیچـیدگی‌هـای سیستـم باز خـاک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

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

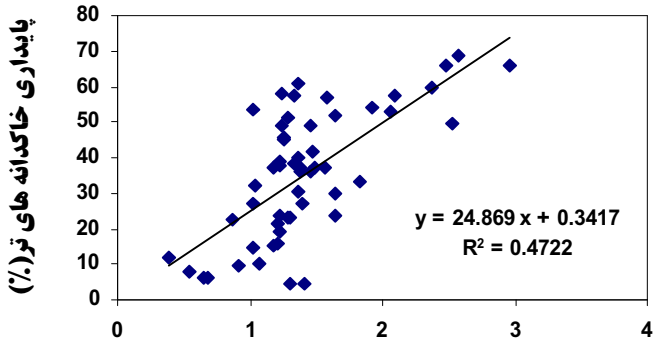
منطقه	نمونه خاک	پایداری خاکدانه‌ها (%)	پراکنش رس (g/100g)
گلستان	GH	۵۴/۴۲ a	۰/۰۰۳۶۰ c
	GEW	۴۰/۹۸۵ dc	۰/۰۱۲۳۳ a
	GED	۲۱/۰۸۷ g	۰/۰۱۴۱۵ a
	GAW	۱۷/۰۵۵ g	۰/۰۱۲۴۷ a
	GGP	۳۲/۴۳۲ ef	۰/۰۰۶۷۷ b
	GGW	۴۳/۶۲۲ bc	۰/۰۰۶۷۸ b
	GKS	۳۷/۰۵۵ de	۰/۰۰۳۴۷ c
	GKP	۴۸/۰۲۷ bc	۰/۰۰۳۴۷ c
	GD	۵۵/۶۱۷ a	۰/۰۰۲۳۳ a
	GAB	۲۷/۷۱۵ f	۰/۰۱۳۰۵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

جدول ۶ . مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح پنج درصد برای فاکتور عمق نمونه برداری خاک در مناطق مختلف (عمق ۱ : ۱۰ – ۰ سانتی‌متر، عمق۲ : ۲۰–۱۰ سانتی‌متر).

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

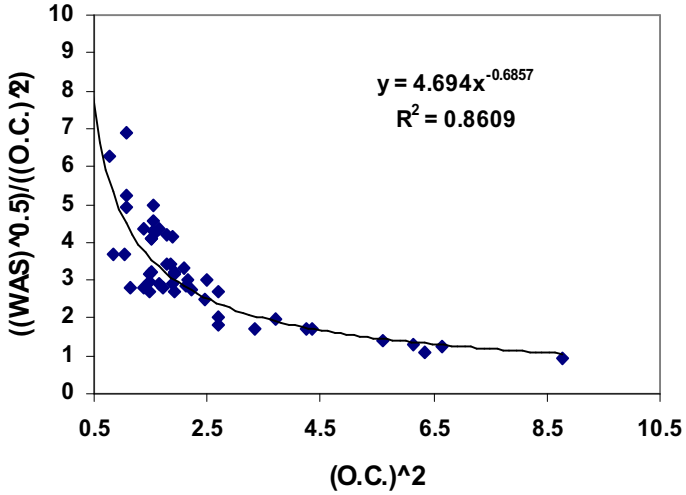
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

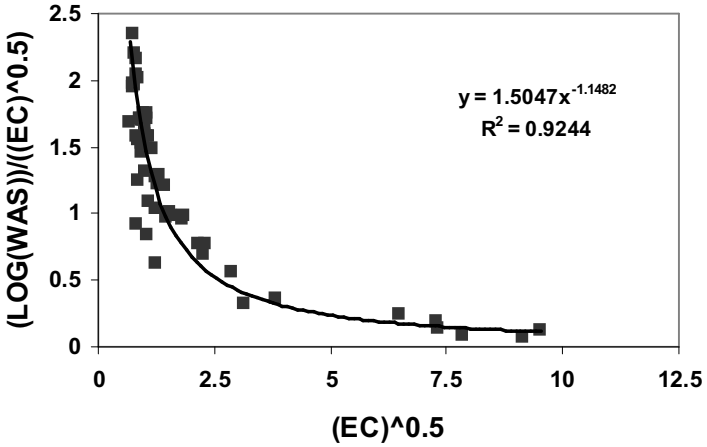


شکل۳. نمودار رگرسیون خطی یک متغیره رابطه پایداری خاکدانه‌های تر با درصد کربن آلی

.



شکل۴ . نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه پایداری خاکدانه‌های تر(WAS) با درصد کربن آلی(O.C.)



شکل۵ . نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه WAS با هدایت الکتریکی (EC)

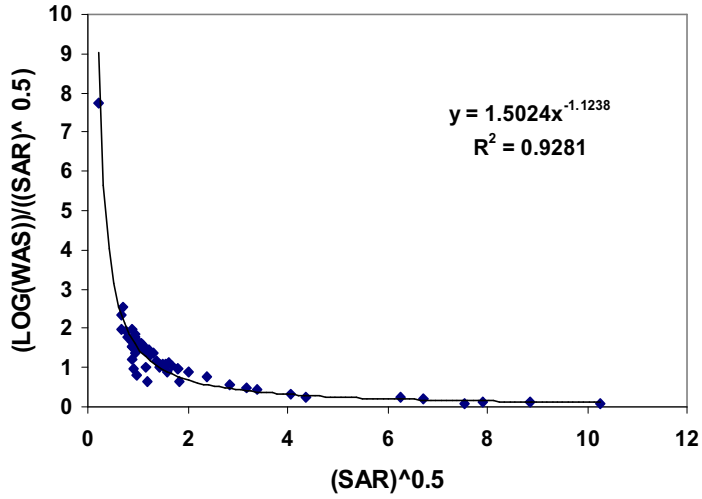
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

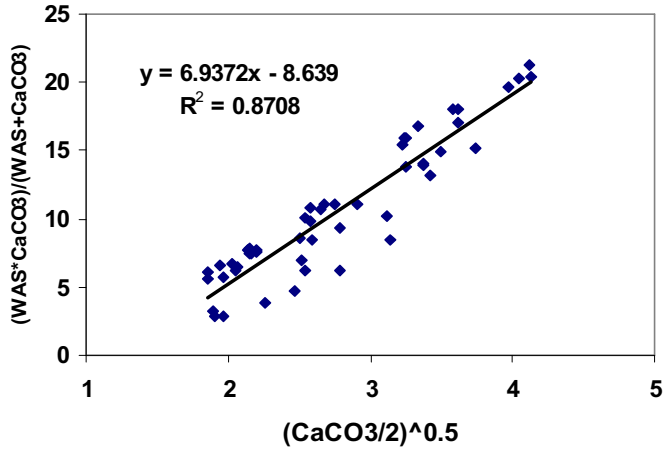
جدول ۷. مقادیر ضریب هم‌بستگی میان متغیرهای اندازه‌گیری شده برای مجموعه مناطق

	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	کربن آلی (٪)	آهک (٪)	SAR	EC (dS/m)	pH	WAS (%)	DC (g/100g)
شن (٪)	۱/۰۰۰۰۰۰									
سیلت (٪)	-۰/۵۵۹****	۱/۰۰۰۰۰۰								
رس(٪)	-۰/۵۲۴****	-۰/۴۱۱**	۱/۰۰۰۰۰۰							
کربن‌آلی(٪)	-۰/۲۵۰	۰/۱۸۵	۰/۰۸۱	۱/۰۰۰۰۰۰						
آهک (٪)	-۰/۱۹۲	-۰/۰۷۷	۰/۲۹۷*	۰/۰۸۳	۱/۰۰۰۰۰۰					
SAR	-۰/۱۵۸	۰/۰۵۹	۰/۱۰۸	-۰/۱۴۸	۰/۲۲۷*	۱/۰۰۰۰۰۰				
EC (dS/m)	-۰/۱۷۴	۰/۰۴۱	۰/۱۴۴	-۰/۱۴۴	۰/۲۳۳*	۰/۹۸۴****	۱/۰۰۰۰۰۰			
pH	۰/۲۲۱*	۰/۰۳۴	-۰/۲۷۶*	۰/۱۱۷	-۰/۲۵۰*	-۰/۶۰۶****	-۰/۵۸۲****	۱/۰۰۰۰۰۰		
WAS (%)	-۰/۴۱۶**	۰/۱۷۲	۰/۲۸۸*	۰/۷۲۳****	۰/۱۶۵	-۰/۳۱۵*	-۰/۲۹۳*	۰/۱۶۳	۱/۰۰۰۰۰۰	
DC(g/100g)	۰/۰۳۷	-۰/۱۲۲	۰/۰۸۱	-۰/۱۸۴	۰/۲۴۲*	۰/۲۴۷*	۰/۱۶۰	-۰/۲۳۵*	-۰/۲۶۹*	۱/۰۰۰۰۰۰

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



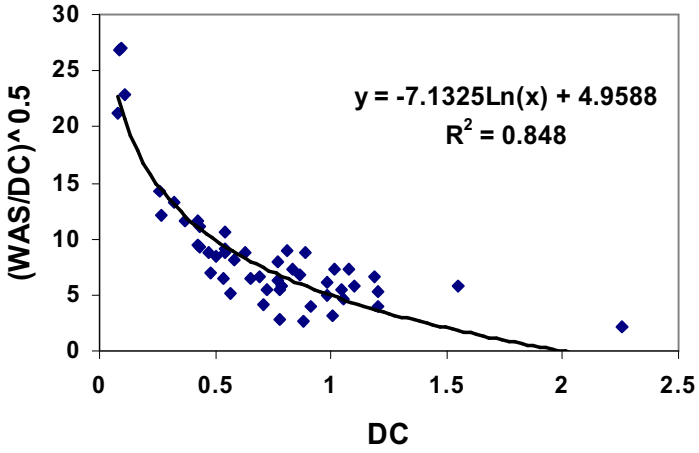
شکل۶ . نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه WAS با نسبت جذب سدیم(SAR)



شکل۷ . نمودار رگرسیون خطی (پس از تبدیل متغیرها) یک متغیره رابطه WAS با آهک($CaCO_3$)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]



شکل۸ . نمودار رگرسیون غیر خطی یک متغیره رابطه WAS با مقدار پراکنش رس(DC)

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

مناطق نمونه برداری		معادله های خطی به‌دست آمده	
مجموعه مناطق		%WAS = ۲۱/ ۲۷۴(درصد کربن آلی) + ۳/۴۱۳ (درصد شن) –۰/۲۹۲ (SAR) + ۳/۹۷۱ (درصد رس) + ۳/۷۲۷ (درصد سیلت) – ۳۹۶/۲۰۵	R^2 = ۰/۶۸۶
		DC = ۰/۰۷۱ (SAR) – ۰/۰۶۴ (EC) + ۰/۰۱۱ (درصد آهک) – ۰/۱۳۷ (درصد کربن آلی) + ۰/۶۲۵	R^2 = ۰/ ۳۵۶
آذربایجان غربی	گلستان	%WAS = ۰/۸۳۴(درصد رس) – ۰/۵۰۱ (SAR) – ۰ /۵۶۰ (درصد شن) + ۲۱/۴۴۸	R^2 = ۰/۷۱۰
	کرمانشاه	DC = ۰/۷۱۰ (EC) – ۰/۳۰۹ (درصد کربن آلی) +۱/۵	R^2 = ۰/ ۵۵۳
		%WAS = ۱۹/۰۱۲ (درصد کربن آلی) – ۰/۵۳۸ (SAR) –۰/۶۴۰ (درصد شن) + ۰/۶۵۸ (درصد آهک) + ۱۲/۸۱۷	R^2 = ۰/۹۴۱
		DC = – ۰/۶۸۲ (درصد کربن آلی) – ۰ /۰۲۶ (درصد شن) + ۲/۰۹۴	R^2 = ۰/ ۴۰۰

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، صرف‌نظر از اثر نوع مواد آلی، تاثیر مثبت مقدار مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها مورد تأیید قرار گرفته است. با توجه به معنی‌دار 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

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 می آید 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 می توان برای آن پیشنهاد نمود:

$$\%WAS = ۲۴/۶۴ (\text{درصد کربن آلی}) + ۱/۸۱ \quad R^{۲} = ۰/۵۲۳ \quad [۲]$$

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 کمّی از ساختمان خاک، در مطالعات خاکشناسی مد نظر قرار گیرد.

۲. نمونه برداری در انواع خاک‌های کشور (با مقادیر متفاوت مواد آلی، EC ، SAR ، رس و ...) به‌طور هم‌زمان و با روش یکسان صورت گرفته و پارامترهای WAS و DC اندازه‌گیری شود. نتایج حاصل از چنین داده‌هایی می تواند 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) می توان 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.

منابع مورد استفاده

۱. بای بوردی، م. ۱۳۷۲. *فیزیک خاک*. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۲. براجا، ام. اس. ۱۳۷۳. *اصول مهندسی خاک ـ مکانیک خاک*. ترجمه حسین صالح زاده، تهران، جلد اول.

۳. تاجیک، ف.، ا. پذیرا و ح. رحیمی. ۱۳۷۷. تأثیرمواد آلی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک (بررسی کلی). مجموعه مقالات علمی تخصصی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سال سوم، ۱۰:۱-۲۰.

٤. تاجیک، ف.، ا. پذیرا و ح. رحیمی. ۱۳۷۸. مروری بر روش‌های کمّی ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها. مجله علوم خاک و آب

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

۱۳(۱):۶۳-۷٤.

۵. رحیمی، ح.، ا. پذیرا و ف. تاجیک. ۱۳۷۶. بررسی اثرات شوری، سدیمی و مواد آلی برمشخصات مکانیکی خاک‌ها. نشریه شماره۹۰، 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 strenght 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 aggergate 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]

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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1383.8.1.9.5]