

اثر مواد آلی خاک، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بر مقاومت کششی خاک‌دانه‌ها

فؤاد تاجیک^۱، حسن رحیمی^۲ و ابراهیم پذیرا^۳

چکیده

ویژگی‌های خاک‌های متأثر از املاح و فرایند تخریب ساختمان خاک تا حدی شناخته شده، ولی اثر شرایط شور و سدیمی بر ویژگی‌های مکانیکی خاک‌ها، کمتر بررسی شده است. در این پژوهش، اثر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) بر مقاومت کششی خاک‌هایی که مقدار مواد آلی متفاوت دارند، در شرایط آزمایشگاهی بررسی گردیده است. نمونه‌های خاک از منطقه دشت ناز ساری تهیه شده و دارای نوع رس یکسان (با کانی غالب اپلایت) هستند. تفاوت عمدۀ خاک‌ها در مقدار مواد آلی آنها بوده که خسود، تابع مدیریت کشت است. محلول‌هایی با EC و SAR معین تیمارهای آزمایش را تشکیل می‌داد.

با افزایش SAR ، مقدار مقاومت کششی کاهش یافته است. در SAR مشابه، تیمارهای با EC زیادتر، مقاومت کششی بیشتری داشته‌اند. مقاومت کششی با مقدار مواد آلی خاک‌ها رابطه مستقیم داشته است. آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که در سطح یک درصد، بین انواع خاک‌ها (در چهار سطح)، عمق نمونه برداری (در دو سطح)، EC (در دو سطح) و SAR (در سه سطح)، تفاوت معنی‌داری در میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده وجود دارد. برای فاکتور خاک، ترتیب بزرگی میانگین‌ها چنین بوده است: خاک بکر > خاک تحت کشت علوفه دائم فسکیو > خاک تحت کشت فشرده با تناوب‌های منظم > خاک تحت کشت علوفه دائم آگروپایرون.

واژه‌های کلیدی: مواد آلی خاک، SAR ، EC ، مقاومت کششی خاک‌دانه‌ها

۱. مریم پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

۲. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. استاد پژوهشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

مقدمه

تغییر دهنده ویژگی‌های تخلخل، و یا پیوستگی میان خاک‌دانه‌ها ارتباط دارد (۱۳).

هیل (۱۲) مقاومت کششی خاک را به عنوان نیروی لازم برای انفصال یا گسیختن ذرات خاک تعریف کرده است. به سخن دیگر، مقاومت کششی عبارت است از مقدار نیرو در واحد سطح، که برای جدا کردن یک قسمت خاک از قسمت دیگر آن لازم است. دکستر و کروزبرگن (۱۱) نیز طی پژوهشی درباره روش‌های اندازه‌گیری مقاومت کششی، اظهار داشته‌اند که مقاومت کششی، احتمالاً مفیدترین مقیاس پایداری خاک‌دانه‌های منفرد در خاک است؛ زیرا با آزمون‌های ساده‌ای قابل تعیین می‌باشد، در دامنهٔ وسیعی از اندازهٔ خاک‌دانه‌ها قابل اندازه‌گیری است، و بالاخره شاخص بسیار حساسی از شرایط خاک محسوب می‌شود.

کاؤسرانو (۹) ضمن بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت کششی خاک‌دانه‌ها در دو خاک لوم شنی و رسی، دریافته است که در دامنهٔ رطوبتی بررسی شده (از حد ظرفیت زراعی تا حالت هوا-خشک)، مقاومت کششی در خاک لوم شنی (با دامنهٔ تغییرات کم مواد آلی) به مقدار رطوبت وابسته بوده است. برای خاک رسی (با دامنهٔ تغییرات $1/3$ تا $10/4$ درصد در مقدار مواد آلی)، به نظر می‌رسد که مواد آلی، خاک‌دانه‌های مرطوب را مقاوم‌تر می‌کنند ولی از مقاومت کششی خاک‌دانه‌های خشک می‌کاهند. مقاومت کششی کوچک‌ترین خاک‌دانه‌ها، حدود 50 درصد بیش از بزرگ‌ترین خاک‌دانه‌ها بوده و اثر اندازهٔ خاک‌دانه‌ها در مقادیر مختلف رطوبت، متفاوت بوده است (۹).

در مورد اثر اقلیم، کی و دکستر (۱۳) اظهار داشته‌اند که خشک و ترشدن دوره‌ای می‌تواند باعث کاهش مقاومت کششی طی فصول شود. کاهش مقاومت، حاصل اثر توأم هوای محبوس و انبساط موضعی در خاک‌دانه‌هاست. در فرایند خیس شدن، گسترهٔ نواحی گسیختگی متناسب با شدت خیس شدن و تعداد دوره‌های خشک و ترشدن افزایش می‌یابد، و می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات فصلی مقاومت کششی خاک در یک مدیریت زراعی معین، حاصل فرایندهای متناظر افزایش مقدار

مقاومت، شاخص مناسبی از وضعیت فیزیکی خاک محسوب می‌شود، که از راههای گوناگون (مانند انرژی لازم برای انجام عملیات خاک‌ورزی، نفوذ ریشه‌ها، جوانه‌زنی بذر) بر کاربری زراعی خاک مؤثر است. مقاومت خاک، متأثر از مقدار و نوع کاتیون‌های تبادلی، مقدار پراکنش رس (Dispersible clay) نوع و اندازهٔ ذرات رس، خاک‌دانه‌های پایدار در آب، غلظت و ترکیب محلول خاک، مواد آلی خاک و دوره‌های خشک و ترشدن است (۷). مقاومت خاک، عبارت است از ظرفیت آن برای تحمل نیروهای وارد، بدون آن که گسیخته شود. از نظر کمی، مقاومت خاک برابر حداقل تنشی است که می‌توان به خاکی اعمال کرد، بدون آن که گسیختگی در آن رخ دهد (۱۲).

خاک‌ها، به ویژه خاک‌های کشاورزی، به عنوان موادی شناخته می‌شوند که در برابر تنش‌های کششی وارد، پایداری کمی دارند. در عین حال، پیوندهای موجود در خاک، تا حد زیادی عامل پایداری در برابر عملیات خاک‌ورزی و اعمال بار افقی (در فرایند کشش) و قائم (در فرایند جابه‌جایی) در شرایط مزرعه هستند (۱۰). خاک‌هایی که حاوی خاک‌دانه‌های با مقاومت کششی (Tensile strength) بیشتر هستند، در برابر گسیختگی مکانیکی ناشی از خاک‌ورزی مقاوم‌ترند. کی و دکستر (۱۳) گزارش کرده‌اند که نواحی گسیختگی (Failure zones) در خاک، تعیین کننده واکنش آن نسبت به تنش‌های وارد (مانند خاک‌ورزی، برخورد قطرات باران، رشد ریشه و ...) است. به اعتقاد برانک و دکستر (۸) نیز مقاومت کششی، معیاری برای مقاومت ضعیفترین نواحی گسیختگی محسوب می‌شود. تغییرات مقاومت کششی نسبت به اندازه خاک‌دانه‌ها را نیز می‌توان به پیشنهاد اوتمو و دکستر (۱۵) به عنوان مقیاسی از تردی خاک (Soil friability) به کار برد. مقاومت کششی، یک ویژگی پویای خاک است و مقاومت نواحی گسیختگی در هر زمان، به وجود خلل و فرج پر از هوا، ترک‌های ریز و قدرت پیوندهای میان ذرات در داخل یا میان ترک‌های ریز، بستگی دارد. هم‌چنان، مقاومت کششی خاک با مقدار آب و فرایندهای

فرسایش، دشواری خاک‌ورزی، استقرار و رشد نامناسب گیاهان می‌شود. در خاک‌های ختنی تا قلیایی که سیلیکات‌های لایه‌ای غالب‌اند، پراکنش رس، به شدت متأثر از سدیم تبادلی و ترکیب آب موینه‌ای است (۷).

هدف مقاله حاضر، بررسی اثر EC (Electrical Conductivity) و SAR (به عنوان شاخص‌هایی از شرایط شور و سدیمی خاک) بر مقاومت کششی خاک‌های با مدیریت کشت (و بالطبع مقدار مواد آلی) مختلف در شرایط آزمایشگاهی است.

مواد و روش‌ها

منطقه نمونه‌برداری خاک و روش نمونه‌برداری

منطقه نمونه‌برداری در حد فاصل شهرهای ساری و نکا، و در حدود ۲۰ کیلومتری ساحل دریای مازندران واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه بیش از ۶۰۰ mm است. خاک‌های منطقه در تیپ دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای ارزیابی می‌شود، که دارای خاک خیلی عمیق (عمق بیش از ۱/۵ متر) به رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری خیلی تیره با بافت متوسط (لوم و لوم رسی) و رس غالب ایلایت، ساختمان دانه‌ای یا مکعبی و مقداری آهک به صورت پودر یا سخت شده است (۳ و ۵)، و به عنوان خاک‌های قهوه‌ای جنگلی (Brown forest soils) طبقه‌بندی شده‌اند (۵). در رده‌بندی آمریکایی، خاک‌های منطقه به عنوان اینسپیتی سول (Typic xerochrepts) (۵) یا مالیسول (Typic calcixerolls) (۳) طبقه‌بندی گردیده‌اند. EC خاک‌ها عمدتاً کمتر از یک دسی‌زیمنس بر متر است، ولی در شرق و غرب منطقه نمونه‌برداری، اراضی پست و شور نیز وجود دارد (۴). پیش از سال ۱۳۴۵، زمین‌های منطقه پوشیده از جنگل بوده و پس از آن عمدتاً جنگل تراشی شده و تحت کشت قرار گرفته است. نقاط نمونه‌برداری عبارت‌اند از:

- پارک حیات وحش دشت ناز (با کد P) که حدود صد سال بکر مانده و از سال ۱۳۴۵، به عنوان منطقه‌ای حفاظت شده، تحت نظارت سازمان حفاظت محیط زیست، به چراگاه حدود ۱۰۰ رأس گوزن زرد اختصاص یافته است.

مواد پیوند دهنده بین ذرات (از جمله رس پراکنده شده) از یک سو، و ایجاد نواحی گسیختگی ضعیف در حین دوره‌های خشک و تر شدن، از سوی دیگر است. شرایط اقلیمی می‌تواند از یک طرف موجب افزایش پراکنش رس و در نتیجه، افزایش مقاومت کششی خاک‌دانه‌های خشک شود، و از طرف دیگر، خشک و تر شدن دوره‌ای می‌تواند مقاومت کششی را کاهش دهد. هم‌چنین، مقدار افزایش مقاومت در نواحی گسیختگی (در اثر پیوستن ذرات) و کاهش مقاومت در اثر ضعیف شدن نواحی گسیختگی (در اثر خشک و تر شدن دوره‌ای متوالی) بستگی به مدیریت زراعی و تناوب کشت دارد؛ و بالعکس، اثر تناوب کشت بر مقاومت کششی، به شرایط اقلیمی گذشته وابسته است (۱۳).

در مناطق خشک و نیمه خشک، آب آبیاری یا آب زیرزمینی بر غلظت املاح و سدیمی شدن محلول خاک تأثیر می‌گذارد، که آن نیز به نوبه خود بر دینامیک ساختمان خاک مؤثر است. فرایند خاک‌دانه‌سازی، در اثر پراکنش رس یا خرد شدن خاک‌دانه‌ها (به ویژه در حین خیس شدن) به شدت کاهش می‌یابد. هر دو پدیده پراکنش رس و خرد شدن خاک‌دانه‌ها، به سله بستن و سخت شدن خاک سطحی منجر می‌شود، که این امر خود بر مقاومت خاک افزوده و سرعت نفوذ، تهویه و جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (۱).

برزگر و همکاران (۶) در خاک‌های آلفیسول (Alfisols) با شرایط کشت متفاوت، مشاهده کرده‌اند که افزایش SAR (Sodium Adsorption Ratio) منجر به افزایش مقدار پراکنش رس شده، مقاومت کششی نیز متناسب با SAR افزایش می‌یابد. ایشان نتیجه گرفته‌اند که با بهبود وضعیت مواد آلی خاک، تأثیر شرایط سدیمی بر مقاومت خاک تعديل می‌شود.

در خاک‌های سدیمی، پراکنش رس موجب فرو ریختن خلل و فرج خاک می‌شود، که سرانجام حرکت آب و هوا را در خاک محدود کرده و به افزایش مقاومت خاک خشک منجر می‌شود. مشکلات مدیریتی که مرتبط با ناپایداری ساختمانی خاک است، شامل آب گرفتگی، شرایط ماندابی، رواناب زیاد،

تهیه تیمارها

با توجه به هدف پژوهش، که تهیه نمونه‌هایی با EC و SAR مشخص در شرایط آزمایشگاهی بوده است، نمونه‌های خاکدانه به قطر ۲-۴ میلی‌متر، با محلول‌های دارای EC و SAR معین، در آزمایشگاه تیمار شدند. بدین منظور، محلول‌هایی با EC و SAR مشخص (EC در دو سطح $0/5$ و 4 دسی‌زیمنس بر متر و SAR در سه سطح صفر، 5 و 15) بر اساس محاسبات انجام شده، و با استفاده از نمک‌های خالص کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم، تهیه شد. برای جلوگیری از خرد شدن نمونه‌ها در حین تهیه تیمارها، از قیف‌های ویژه (Sintered glass funnels) (معروف به قیف هیتر) استفاده شد، که با پایین و بالا بردن لوله متصل به آن می‌توان خاکدانه‌ها را در مکش معین مرطوب نمود. تهیه هر تیمار شامل پنج دوره خشک و تر شدن 48 ساعته بوده است، که در هر دوره، پس از قرار گرفتن روی صفحه مکش قیف، نمونه به مدت 7 ساعت با محلول مربوطه در حالت غرقاب و سپس به مدت 17 ساعت در مکش 30 سانتی‌متر (معادل 3 کیلو پاسکال) قرار داده شد. پس از 24 ساعت، نمونه‌ها زهکشی شده و تا 24 ساعت بعد در حالت زهکشی باقی ماندند. پس از پایان دوره پنجم هر تیمار، برای حصول اطمینان از رسیدن خاکدانه‌ها به شرایط مورد نظر، مقدار EC و SAR در محلول تعادلی هر قیف تعیین شده، و سپس نمونه‌ها به مدت یک هفته در هوا خشک و برای انجام آزمایش‌های مربوطه نگهداری شدند.

تعیین مقاومت کششی خاکدانه‌ها

اندازه‌گیری مقاومت کششی خاکدانه‌ها به صورت غیر مستقیم و با استفاده از روش پیشنهادی دکستر و کروزبرگن (۱۱) صورت گرفته است. مبنای کار این روش، اندازه‌گیری نیروی لازم برای خرد کردن یک خاکدانه در میان دو صفحه صاف و موازی است. برای این منظور دستگاهی در مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ساخته شد، که تصویر آن در شکل ۱ دیده می‌شود (۱).

- مزارع تحت کشت شرکت سهامی دشت ناز وابسته به بنیاد مستضعفان و جانبازان (با کد W)، که در آنها کشاورزی فشرده با تناوب‌های منظم صورت می‌گیرد. در هنگام نمونه‌برداری، قطعه مورد نظر زیر کشت گندم قرار داشته و تناوب کشت عبارت از گندم-ذرت سویا-ذرت-گندم و سویا-ذرت و شبدر بوده است.

- ایستگاه تکثیر بذر نباتات علوفه‌ای دلمرز وابسته به جهاد سازندگی که از دو قطعه آن نمونه‌برداری شد. یکی از قطعات در ده سال گذشته تحت کشت دیم گیاه فسکیوی بلند [Tall Fescue (*Festuca arusdinaceae*)] (با کد F)، و دیگری در ده سال گذشته تحت کشت دیم گیاه علف [Tall Wheat grass (*Agropyron elengatum*)] (با کد E) بوده و طی این سال‌ها شخم نشده و تنها از علوفه آنها بذرگیری شده است.

در هر محل نمونه‌برداری، از حداقل ده نقطه مختلف، در عمق‌های صفر تا 10 و 10 تا 20 سانتی‌متر (صفرا تا 5 و 5 تا 10 سانتی‌متر در مورد خاک P) نمونه‌برداری شد. سپس، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی منتقل و در هوا خشک گردید و خاکدانه‌های به اندازه $4-2$ میلی‌متر از آن جدا شد تا برای تهیه تیمارها استفاده شود و ذرات کوچک‌تر از 2 mm نیز برای انجام آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی استفاده گردید. زمان نمونه‌برداری در تیرماه ۱۳۷۵ پس از برداشت محصول و پیش از شخم بوده است.

تعیین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی نمونه‌های خاک

ویژگی‌های تعیین شده خاک در ذرات کوچک‌تر از 2 mm عبارت از: pH و SAR در عصارة اشباع خاک؛ درصد آهک، رس، سیلت و شن؛ نوع رس با استفاده از روش تفرق اشعه ایکس؛ درصد کربن آلی به روش واکلی-بلک (۱۴) بوده است.

جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

خاک	عمق (cm)	pH	EC (dS/m)	SAR	کربن آلی	آهک	رس	درصد سیلت	درصد شن
W.1	۰-۱۰	۸/۰	۰/۰	۱/۴	۲/۲	۱۸/۹	۳۴	۲۹	۳۷
W.2	۱۰-۲۰	۸/۱	۰/۰	۱/۷	۲/۲	۱۷/۴	۳۳	۲۹	۳۸
E.1	۰-۱۰	۷/۸	۰/۰	۰/۷	۲/۴	۲۶/۴	۲۳	۳۹	۳۸
E.2	۱۰-۲۰	۷/۸	۰/۴	۰/۶	۲/۱	۳۰/۱	۲۰	۴۰	۴۰
F.1	۰-۱۰	۷/۴	۰/۸	۰/۶	۳/۴	۲۴/۳	۲۷	۳۶	۳۷
F.2	۱۰-۲۰	۷/۶	۰/۶	۰/۵	۲/۹	۲۷/۶	۲۲	۳۱	۳۷
P.1	۰-۵	۷/۳	۱/۰	۰/۳	۱۰/۳	۳/۶	۲۸	۳۰	۴۲
P.2	۵-۱۰	۷/۶	۰/۷	۰/۵	۷/۲	۷/۴	۳۳	۲۹	۳۸



شکل ۱. دستگاه اندازه‌گیری مقاومت کششی

$$F = [(M_C \times x_1/x_2) + M_U] \times g \quad [1]$$

که در آن، M_U جرم مجموعه صفحه رویی (U)، g شتاب جاذبه و برابر 9.807 متر بر می‌جذور ثانیه، M_C جرم آب و نسبت x_1/x_2 مربوط به طول اهرم است. روش‌گووسکی (به نقل از ۱۱) با فرض مقدار $0/5$ برای نسبت پواسون، رابطه 2 را برای مقاومت کششی ارائه کرده است.

$$Y = 0.576 F/d^2 \quad [2]$$

در این دستگاه قطعه‌ای که مستقیماً روی نمونه قرار می‌گیرد، از طریق یک اهرم و ظرف آب انتهای آن بر نمونه نیرو وارد می‌کند. با افزودن تدریجی آب، در مرحله‌ای که حد مقاومت خاکدانه است، اهرم ناگهان افت می‌کند و خاکدانه خرد می‌شود. در این لحظه، جریان آب قطع شده و جرم آب موجود در ظرف تعیین می‌شود. مقدار نیروی لازم برای شکستن خاکدانه (F) بر حسب نیوتون از رابطه 1 به دست می‌آید:

E<W<F<P است. برای فاکتور SAR (در سه سطح) نیز تفاوت در سطح یک درصد معنی دار بوده، و ترتیب بزرگی میانگین ها چنین است:

$$\text{SAR} = 15 < \text{SAR} = 5 < \text{SAR} = 0$$

جدول ۳ نیز خلاصه ای از نتایج آنالیز واریانس داده ها را نشان می دهد.

بحث

مقدار و نوع مواد آلی (در مراحل مختلف تجزیه)، از جمله عوامل مهم پایدار کننده ساختمان خاک محسوب می شوند. اثر دوگانه مواد آلی در افزایش پراکنش رس (بر اثر افزایش نیروهای دافعه میان ذرات، افزایش بار منفی خالص رس و تشدید حالت کلوییدی ذرات) و پایدارسازی خاک دانه ها (طی مکانیسم های تشکیل پیوند با کاتیون های سطح ذرات و افزایش مقاومت فیزیکی خاک دانه ها در برابر پراکنش) و پیچیدگی سیستم خاک، توضیح مکانیسم های دخیل در پایدار کردن ساختمان خاک را دشوار می سازد. نوع کشت و مدیریت اراضی نیز به واسطه تأثیر بر مقدار و نوع مواد آلی، بر پایداری ساختمان خاک تأثیر می گذاردند، که این تأثیر عمدتاً از طریق اثر فیزیکی و شیمیایی ریشه های گیاهی اعمال می شود. مواد آلی می توانند اثر منفی شرایط سدیمی را نیز تعدیل کنند. در شرایط سدیمی، خاک دانه ها در معرض پراکنش بوده و از پایداری آنها کاسته می شود. هم چنین، میزان کاهش پایداری در اثر وجود سدیم متأثر از مقدار کاتیون های موجود در محلول خاک (کلسیم، منیزیم، آهن، آلومینیوم و ...) بوده و با افزایش غلظت املاح، اثر منفی شرایط سدیمی تعدیل می شود. مقدار رطوبت و دوره های متناوب خشک و ترشدن نیز از عوامل مؤثر بر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک محسوب می شود ولی تعیین اثر کمی آن به شرایط آزمایش بستگی دارد (۱).

در پژوهش حاضر، دیده شد که با افزایش مواد آلی خاک ها، مقاومت کششی افزایش یافته است. افزایش SAR نیز با مقاومت کششی نسبت معکوس داشته است. در SAR مشابه و در

که در آن F نیروی اعمال شده در مرحله گسیختگی و d قطر ذره کروی بر حسب متر است (۱۱).

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز واریانس داده ها، طی آزمایش فاکتوریل (با فاکتور های خاک در چهار سطح، عمق نمونه برداری در دو سطح، EC در دو سطح و SAR در سه سطح)، و در یک طرح کاملاً تصادفی با دو تکرار انجام شده، و آزمون معنی دار بودن تفاوت میانگین ها به روش دانکن و در سطح احتمال یک درصد صورت گرفته است.

نتایج

مقادیر اندازه گیری شده مقاومت کششی برای هر تیمار و هر خاک در جدول ۲ درج شده است.

با توجه به مندرجات جدول ۱، ترتیب مقدار کربن آلی خاک ها چنین بوده است:

$$\text{P.1} > \text{P.2} > \text{F.1} > \text{F.2} > \text{E.1} > \text{W.1} > \text{W.2} > \text{E.2}$$

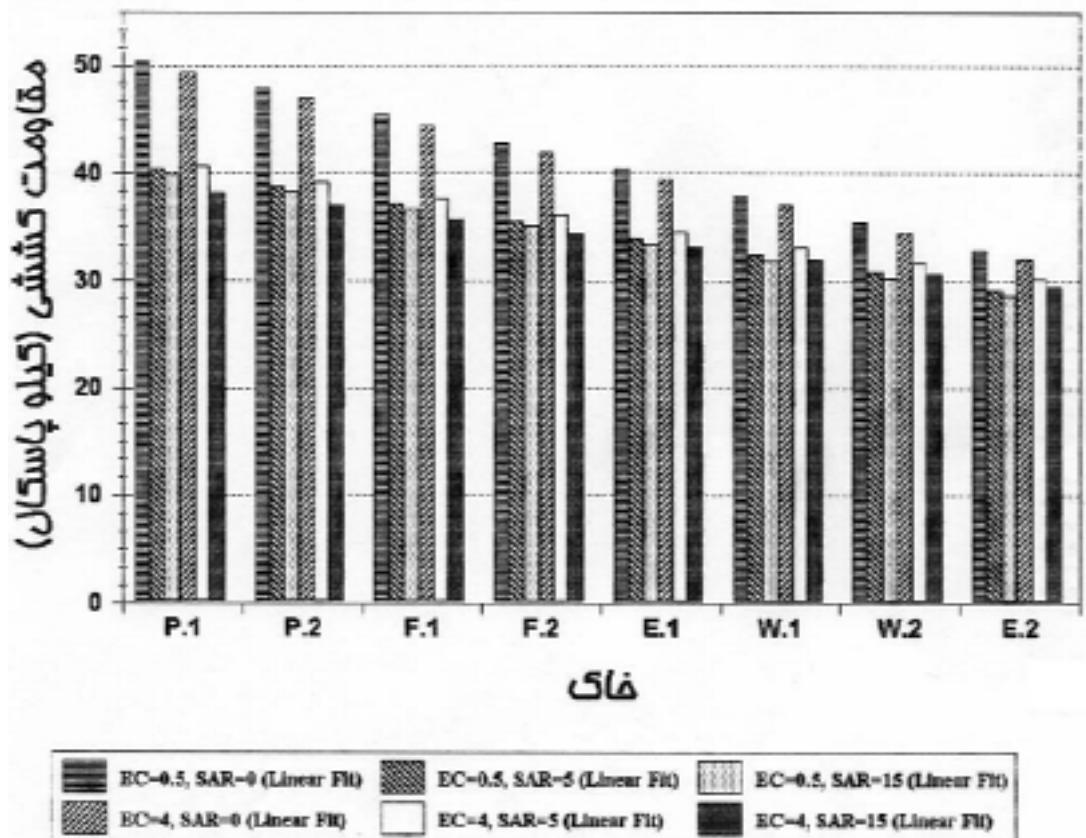
شکل ۲ مقادیر مقاومت کششی خاک ها را به ترتیب مقدار کربن آلی آنها و با توجه به تیمار های اعمال شده نشان می دهد. همان گونه که در این شکل دیده می شود، مقاومت کششی در هر تیمار، تابع مستقیم مقدار کربن آلی خاک هاست. در هر خاک، مقدار مقاومت کششی به تیمار مورد نظر بستگی دارد و مناسب با افزایش SAR، کاهش می یابد. در شکل ۲، معنی دار بودن تفاوت میانگین ها و ناپیوستگی در ترتیب مورد انتظار، با تجزیه و تحلیل واریانس داده ها توجیه خواهد شد.

اثر تیمار ها در شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل دیده می شود، در همه خاک ها، مقدار SAR با مقاومت کششی رابطه معکوس دارد. در SAR مشابه، تیمار های با EC زیادتر، مقاومت کششی بیشتر داشته اند.

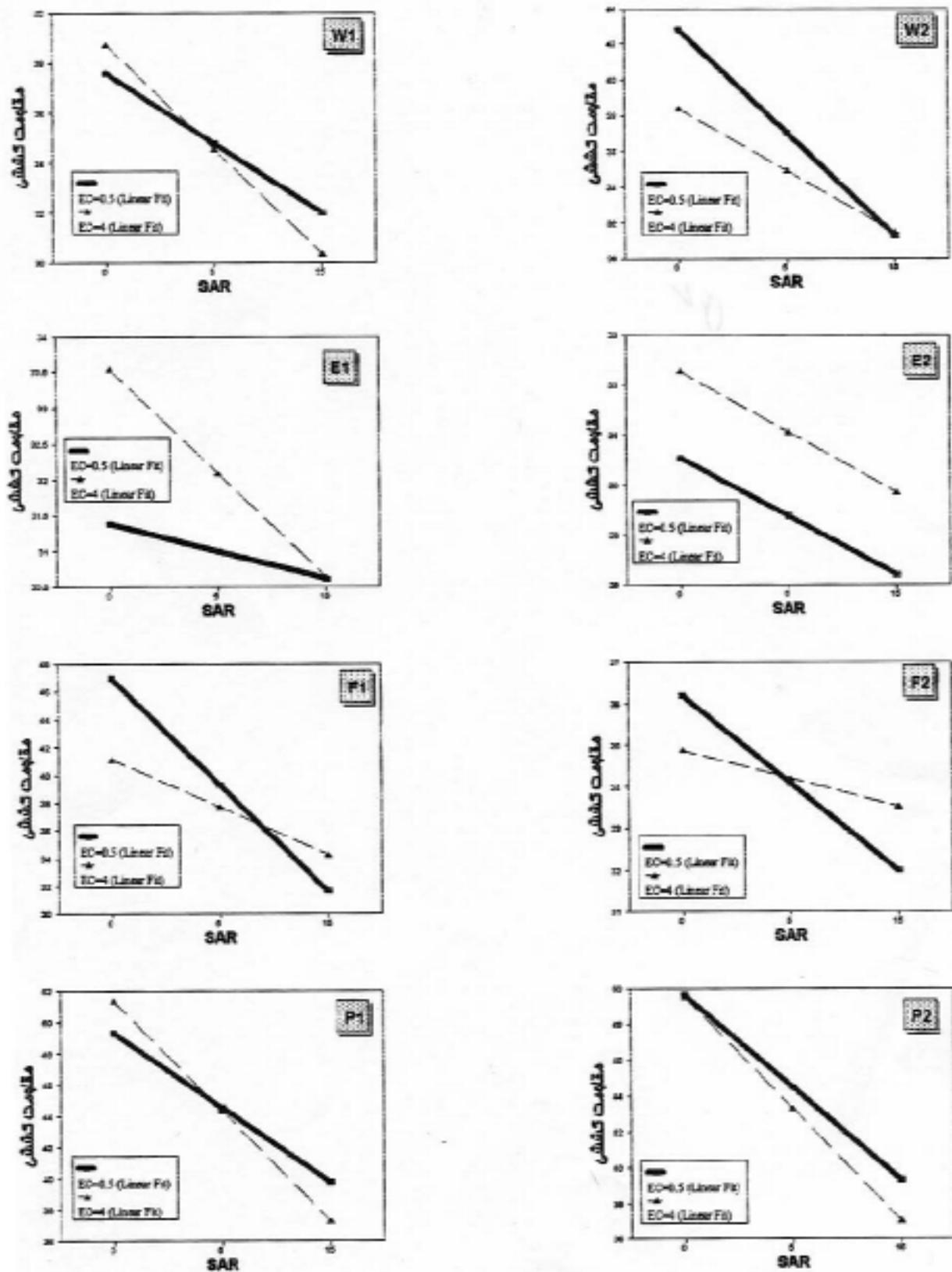
آزمون دانکن برای متغیر مقاومت کششی نشان داده است که برای فاکتور خاک (در چهار سطح) تفاوت ها در سطح یک درصد معنی دار بوده، و ترتیب بزرگی میانگین ها به صورت

جدول ۲. مقاومت کششی (بر حسب کیلوپاسکال) خاک‌های مورد بررسی و تیمارهای اعمال شده

P.2	P.1	F.2	F.1	E.2	E.1	W.2	W.1	تیمارها
۵۰/۰	۵۱/۷	۳۶/۶	۴۹/۸	۳۰/۸	۳۱/۵	۴۵/۱	۳۷/۷	EC = ۰/۵ dS/m
								SAR = ۰
۴۳/۹	۳۹/۹	۳۳/۲	۳۳/۵	۲۸/۹	۳۰/۸	۳۲/۵	۳۴/۶	EC = ۰/۵ dS/m
								SAR = ۰
۳۹/۶	۴۲/۱	۳۲/۴	۳۴/۵	۲۸/۴	۳۰/۷	۳۲/۵	۳۲/۱	EC = ۰/۵ dS/m
								SAR = ۱۵
۵۱/۲	۵۲/۲	۳۴/۹	۴۱/۷	۳۲/۴	۳۳/۹	۳۸/۵	۴۰/۰	EC = ۱ dS/m
								SAR = ۰
۴۰/۱	۴۲/۶	۳۴/۱	۳۶/۶	۳۰/۹	۳۱/۳	۳۴/۶	۳۲/۰	EC = ۱ dS/m
								SAR = ۰
۳۸/۷	۳۸/۲	۳۳/۶	۳۴/۸	۲۹/۹	۳۱/۰	۳۱/۶	۳۱/۶	EC = ۱ dS/m
								SAR = ۱۵



شکل ۲. نمودار مقاومت کششی خاک‌ها به ترتیب مقدار کربن آلی و بر حسب تیمارها



شکل ۳. نمودار رابطه خطی مقاومت کششی با SAR در دو سطح EC برای نمونه‌های مورد بررسی

جدول ۳. خلاصه نتایج آنالیز واریانس داده‌ها

مقاطومت کششی	منابع تغییر
**	خاک
**	عمق نمونه‌برداری
**	اثر متقابل خاک × عمق
*	EC
**	اثر متقابل خاک × EC
ns	اثر متقابل عمق × EC
**	اثر متقابل خاک × عمق × SAR
**	اثر متقابل خاک × SAR
**	اثر متقابل عمق × SAR
**	اثر متقابل خاک × عمق × EC × SAR
*	اثر متقابل خاک × عمق × EC × SAR
**	اثر متقابل خاک × SAR
ns	اثر متقابل عمق × EC × SAR
**	اثر متقابل خاک × عمق × EC × SAR × SAR

*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطوح پنج و یک درصد، و غیر معنی دار

آنالیز واریانس داده‌ها نیز وجود تفاوت معنی‌دار میان خاک‌ها، عمق نمونه‌برداری و سطوح EC و SAR تیمارها را نشان داده است. تفاوت میان خاک‌ها، با توجه به مقدار مواد آلی و نوع مدیریت آنها، مورد انتظار بوده، ولی نکته جالب توجه آن است که نمونه‌های F و E، که هر دو با مدیریت مشابه، تحت کشت دیم علوفه بوده و در یک محل نیز قرار گرفته‌اند، تفاوت معنی‌داری در مقادیر مقاومت کششی دارند. چنین وضعیتی را علاوه بر تفاوت در مقدار رس، آهک و کربن آلی خاک‌ها (خاک E کربن آلی و رس کمتر و آهک بیشتر دارد)، می‌توان به تفاوت در سیستم ریشه‌ای دو علوفه مورد نظر نسبت داد. علوفه فسکیو (در خاک F) دارای ریشه‌های عمیق و انبوهای از علوفه آگروپایرون (در خاک E) است (۲)، بنابراین خاک مربوط به آن مقاومت کششی بیشتری دارد.

تیمارهای با EC زیادتر، مقاومت کششی بیشتر بوده است، که نشان دهنده اثر تعديل کننده EC بر شرایط سدیمی است. گرچه در بررسی‌های انجام شده پیشین اظهار شده است که با افزایش SAR مقدار پراکنش رس افزایش یافته، و رس پراکنده شده (به علت افزایش نقاط تماس ذرات) به افزایش مقاومت کششی خاک‌دانه‌های خشک منجر می‌شود (۷)، در این بررسی روند معکوس مشاهده شده است. چنین تفاوتی را، علاوه بر دلایل عام (پیچیدگی سیستم خاک و اثر متقابل فاکتورهای مختلف)، می‌توان به اعمال دوره‌های خشک و تر شدن، که با افزایش نواحی گسیختگی از مقاومت کششی و پایداری خاک‌دانه‌ها می‌کاهند، و هم‌چنین، به مقدار زیاد کربن آلی (۱۰-۲ درصد) در خاک‌های موردن بررسی نسبت داد. مشاهدات عینی در حین تهیه تیمارها نیز مؤید رابطه معکوس مقاومت کششی با میزان SAR بوده است.

سپاسگزاری

آقایان دکتر توفیقی و دکتر عبدالرحمن برزگر، نقش مؤثری در پیشبرد امر پژوهش داشته است. بدین وسیله از افراد فوق و کلیه دوستان و همکارانی که در انجام این پژوهش ما را یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

این پژوهش با پشتیبانی مالی و تدارکاتی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی صورت گرفته است. همکاری بسیار نزدیک و صمیمانه مسئولین این مؤسسه، به انجام رسیدن این طرح پژوهشی را میسر ساخته است. همچنین، کمک‌های علمی

منابع مورد استفاده

1. تاجیک، ف. ۱۳۷۶. اثر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، و مواد آلی بر مقاومت کششی و پایداری خاک‌دانه‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
2. شیدایی، گ. و ن. نعمتی. ۱۳۵۷. مرتعداری نوین و تولید علوفه در ایران. سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران.
3. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۵۹. گزارش مطالعات خاک‌شناسی تفصیلی ایستگاه تحقیقات خاک و آب ماکران (ساری). نشریه فنی شماره ۵۸۵، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
4. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۷۴. نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان مازندران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.
5. مؤسسه خاک‌شناسی و حاصل‌خیزی خاک. ۱۳۵۵. گزارش مطالعات نیمه تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی استان مازندران (منطقه نکا-سیاهرود). نشریه شماره ۴۹۲، مؤسسه خاک‌شناسی و حاصل‌خیزی خاک، تهران.
6. 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.
7. Barzegar, A. R., P. Rengasamy and J. M. Oades. 1995. Effects of clay type and rate of wetting on the mellowing of compacted soils. *Geoderma* 68: 39-49.
8. Braunack, M. V. and A. R. Dexter. 1979. Brittle fracture of soil aggregates and the compaction of aggregate beds. *J. Soil Sci.* 30: 653-667.
9. Causarano, H. 1993. Factors affecting the tensile strength of soil aggregates. *Soil and Till. Res.* 28: 15-25.
10. Chancellor, W. J. 1994. Advances in Soil Dynamics. 1. Monograph No. 12, ASAE, USA.
11. Dexter, A. R. and B. Kroesbergen. 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *J. Agric. Eng. Res.* 31: 139-147.
12. Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, New York.
13. Kay, B. D. and A. R. Dexter. 1992. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth. *Austral. J. Soil Res.* 30: 297-310.
14. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. PP. 539-579. In: Methods of Soil Analysis. Part 2, ASA-SSSA, Madison, WIS.
15. Utomo, W. H. and A. R. Dexter. 1981. Soil friability. *J. Soil Sci.* 32: 203-213.