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 منطقهٔ دشت ناز ساری تهیه شده و دارای نوع رس یکسان (با کانی غالب ایلایت) هستند. تفاوت عمدهٔ خاک‌ها در مقدار مواد آلی آنها بوده که خود، 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 رابطهٔ مستقیم داشته است. آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که در سطح یک درصد، بین انواع خاک‌ها (در چهار سطح)، عمق نمونه‌برداری (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، EC، SAR، مقاومت کششی خاک‌دانه‌ها***

---

۱. مربی 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

مقدمه

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 تر شدن است (۷). مقاومت خاک، عبارت است از ظرفیت آن برای تحمل نیروهای وارده، بدون آن که گسیخته شود. از نظر کمّی، مقاومت خاک برابر حداکثر 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 وارده، 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 خاک دانه‌های 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 کنندهٔ واکنش آن نسبت به تنش‌های وارده (مانند خاک‌ورزی، برخورد قطرات باران، رشد ریشه و ...) است. به اعتقاد براناک 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 اوتومو 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. هم‌چنین، مقاومت کششی خاک با مقدار آب و فرایندهای تغییر دهندهٔ ویژگی‌های تخلخل، و یا پیوستگی میان خاک‌دانه‌ها ارتباط دارد (۱۳).

هیلل (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 دربارهٔ روش‌های اندازه‌گیری مقاومت کششی، اظهار داشته‌اند که مقاومت کششی، احتمالاً مفیدترین مقیاس پایداری خاک دانه‌های 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.

کاوسرانو (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 ۱/۳ تا ۱۰/٤ 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 ۵۰ 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 تر شدن 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 تر شدن افزایش می‌یابد، و می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات فصلی مقاومت کششی خاک در یک مدیریت زراعی معین، حاصل فرایندهای متقابل افزایش مقدار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

مواد پیوند دهندهٔ 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 نوبهٔ 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 پدیدهٔ 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 وجوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (٦).

برزگر و همکاران (٦) 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 تعدیل 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، فرسایش، دشواری خاک‌ورزی، استقرار و رشد نامناسب گیاهان می‌شود. در خاک‌های خنثی تا قلیایی که سیلیکات‌های لایه‌ای غالب‌اند، پراکنش رس، به شدت متأثر از سدیم تبادلی و ترکیب آب مویینه‌ای است (۷).

هدف مقالهٔ 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

منطقهٔ نمونه‌برداری خاک و روش نمونه‌برداری

منطقهٔ نمونه‌برداری در حد فاصل شهرهای ساری و نکا، و در حدود ۲۰ کیلومتری ساحل دریای مازندران واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه بیش از ٦۰۰ 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 اینسپتی 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 منطقهٔ نمونه‌برداری، اراضی پست و شور نیز وجود دارد (٤). پیش از سال ۱۳٤۵، 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 ۱۳٤۵، به عنوان منطقه‌ای حفاظت شده، تحت نظارت سازمان حفاظت محیط زیست، به چراگاه حدود ۱۰۰ رأس گوزن زرد اختصاص یافته است.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

- 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، قطعهٔ 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 قطعهٔ 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 گندمی بلند [(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 نقطهٔ مختلف، در عمق‌های صفر تا ۱۰ و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر (صفر تا ۵ و ۵ تا ۱۰ 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 اندازهٔ ۲-٤ میلی‌متر از آن جدا شد تا برای تهیهٔ تیمارها استفاده شود و ذرات کوچک‌تر از ۲ 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 شدهٔ خاک در ذرات کوچک‌تر از ۲ mm عبارت از: pH، EC و SAR در عصارهٔ اشباع خاک؛ درصد آهک، رس، سیلت و شن؛ نوع رس با استفاده از روش تفرق اشعه ایکس؛ درصد کربن آلی به روش واکلی-بلاک (١٤) بوده است.

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

تهیه تیمارها

با توجه به هدف پژوهش، که تهیهٔ نمونه‌هایی با EC و SAR مشخص در شرایط آزمایشگاهی بوده است، نمونه‌های خاک‌دانه به قطر ۲-٤ میلی‌متر، با محلول‌های دارای EC و SAR معین، در آزمایشگاه تیمار شدند. بدین منظور، محلول‌هایی با EC و SAR مشخص (EC در دو سطح ۰/۵ و ٤ دسی‌زیمنس بر متر و SAR در سه سطح صفر، ۵ و ۱۵) 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 تهیهٔ تیمارها، از قیف‌های ویژه (Sintered glass funnels) (معروف به قیف هینز) 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 ٤٨ ساعته بوده است، که در هر دوره، پس از قرار گرفتن روی صفحهٔ مکش قیف، نمونه به مدت ۷ ساعت با محلول مربوطه در حالت غرقاب و سپس به مدت ۱۷ ساعت در مکش ۳۰ سانتی‌متر (معادل ۳ کیلو پاسکال) قرار داده شد. پس از ٢٤ ساعت، نمونه‌ها زه‌کشی شده و تا ٢٤ 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 صفحهٔ صاف و موازی است. برای این منظور دستگاهی در مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ساخته شد، که تصویر آن در شکل ۱ دیده می‌شود (۱).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

خاک	عمق (cm)	pH	EC (dS/m)	SAR	درصد کربن آلی	درصد آهک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
W.1	۰–۱۰	۸/۰	۰/۵	۱/٤	۲/۲	۱۸/۹	۳٤	۲۹	۳۷
W.2	۱۰–۲۰	۸/۱	۰/۵	۱/۷	۲/۲	۱۷/٤	۳۳	۲۹	۳۸
E.1	۰–۱۰	۷/۸	۰/۵	۰/۷	۲/٤	۲٦/٤	۲۳	۳۹	۳۸
E.2	۱۰–۲۰	۷/۸	۰/٤	۰/٦	۲/۱	۳۰/۱	۲۰	٤۰	٤۰
F.1	۰–۱۰	۷/٤	۰/۸	۰/٦	۳/٤	۲٤/۳	۲۷	۳٦	۳۷
F.2	۱۰–۲۰	۷/٦	۰/٦	۰/۵	۲/۹	۲۷/٦	۳۲	۳۱	۳۷
P.1	۰–۵	۷/۳	۱/۰	۰/۳	۱۰/۳	۳/٦	۲۸	۳۰	٤۲
P.2	۵–۱۰	۷/٦	۰/٦	۰/۵	۷/۲	۷/٤	۳۳	۲۹	۳۸



شکل ۱. دستگاه اندازه‌گیری مقاومت کششی

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) برحسب نیوتن از رابطهٔ ۱ به دست می‌آید:

$$F = \left[\left(M_C \times x_1/x_2\right) + M_U\right] \times g \qquad [۱]$$

که در آن، M_U جرم مجموعهٔ صفحهٔ رویی (U)، g شتاب جاذبه و برابر ۹/۸۰۷ متر بر مجذور ثانیه، M_C جرم آب و نسبت x_1/x_2 مربوط به طول اهرم است. روگووسکی (به نقل از ۱۱) با فرض مقدار ۰/۵ برای نسبت پواسون، رابطهٔ ۲ را برای مقاومت کششی ارائه کرده است.

$$Y = 0.576\, F/d^2 \qquad [۲]$$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

که در آن F نیروی اعمال شده در مرحلـه گسـیختگی و d قطـر ذرهٔ کروی بر حسب متر است (۱۱).

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز واریانس داده‌ها، طـی آزمـایش فـاکتوریل (بـا فاکتورهـای خاک در چهار سطح، عمـق نمونـه‌برداری در دو سـطح، EC در دو سطح و SAR در سه سطح)، و در یک طرح کاملاً تصـادفی بـا دو تکـرار انجـام شـده، و آزمـون معنـی‌دار بـودن تفـاوت میانگین‌هـا بـه روش دانکـن و در سـطح احتمـال یـک درصـد صورت گرفته است.

نتایج

مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت کششی بـرای هـر تیمـار و هـر خاک در جدول ۲ درج شده است.

با توجه به مندرجات جـدول ۱، ترتیـب مقـدار کربـن آلـی خاک‌ها چنین بوده است:

P.1 > P.2 > F.1 > F.2 > E.1 > W.1 > W.2 > E.2

شکل ۲ مقادیر مقاومت کششی خاک‌ها را به ترتیـب مقـدار کربن آلی آنها و با توجه به تیمارهای اعمال شده نشان می‌دهـد. همان گونه که در این شکل دیده می‌شود، مقـاومت کششـی در هر تیمار، تابع مستقیم مقـدار کربـن آلـی خاک‌هاسـت. در هـر خاک، مقدار مقاومت کششی به تیمار مورد نظـر بسـتگی دارد و متناسب با افزایش SAR، کاهش می‌یابد. در شـکل ۲، معنـی‌دار بودن تفاوت میانگین‌ها و ناپیوستگی در ترتیب مورد انتظـار، بـا تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها توجیه خواهد شد.

اثر تیمارها در شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه کـه در این شکل دیده می‌شـود، در همـهٔ خاک‌هـا، مقـدار SAR بـا مقاومت کششی رابطهٔ معکوس دارد. در SAR مشابه، تیمارهـای با EC زیادتر، مقاومت کششی بیشتر داشته‌اند.

آزمون دانکن برای متغیر مقاومت کششـی نشـان داده اسـت که برای فاکتور خاک (در چهار سطح) تفاوت‌ها در سـطح یـک درصد معنی‌دار بوده، و ترتیب بزرگی میانگین‌هـا بـه صـورت E<W<F<P است. برای فاکتور SAR (در سه سطح) نیز تفاوت در سطح یک درصد معنی‌دار بوده، و ترتیب بـزرگی میانگین‌هـا چنین است:

SAR=۱۵<SAR=۵<SAR=۰

جدول ۳ نیز خلاصه‌ای از نتـایج آنـالیز واریـانس داده‌هـا را نشان می‌دهد.

بحث

مقدار و نوع مواد آلـی (در مراحـل مختلـف تجزیـه)، از جملـه عوامل مهم پایدار کنندهٔ ساختمان خاک محسوب می‌شـوند. اثـر دوگانـهٔ مـواد آلـی در افزایـش پراکنـش رس (بـر اثـر افزایـش نیروهای دافعهٔ میـان ذرات، افزایـش بـار منفـی خـالص رس و تشدید حالت کلوییدی ذرات) و پایدارسازی خاک‌دانـه‌ها (طـی مکانیسم‌های تشکیل پیوند با کاتیون‌های سطح ذرات و افزایـش مقـاومت فـیزیکی خاک‌دانـه‌ها در برابـر پراکنـش) و پیچیـدگی سیستم خـاک، توضیـح مکانیسـم‌های دخیـل در پـایدار کـردن ساختمان خاک را دشوار می‌سازد. نوع کشت و مدیریت اراضـی نیز به واسـطه تـأثیر بـر مقـدار و نـوع مـواد آلـی، بـر پـایداری ساختمان خاک تأثیر می‌گذارند، که این تأثیر عمدتاً از طریق اثـر فیزیکی و شیمیایی ریشه‌های گیاهی اعمال می‌شـود. مـواد آلـی می‌توانند اثر منفی شرایط سدیمی را نیز تعدیل کنند. در شـرایط سدیمی، خاک‌دانه‌ها در معرض پراکنش بوده و از پایداری آنـها کاسته می‌شود. هم‌چنین، میزان کـاهش پـایداری در اثـر وجـود سـدیم متـأثر از مقـدار کاتیون‌هـای موجـود در محلـول خـاک (کلسیم، منیزیم، آهن، آلومینیوم و ...) بوده و با افزایـش غلظـت املاح، اثر منفی شرایط سدیمی تعدیل می‌شود. مقدار رطوبت و دوره‌های متناوب خشـک و تـر شـدن نـیز از عوامـل مؤثـر بـر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خـاک محسـوب می‌شـود ولـی تعیین اثر کمّی آن به شرایط آزمایش بستگی دارد (۱).

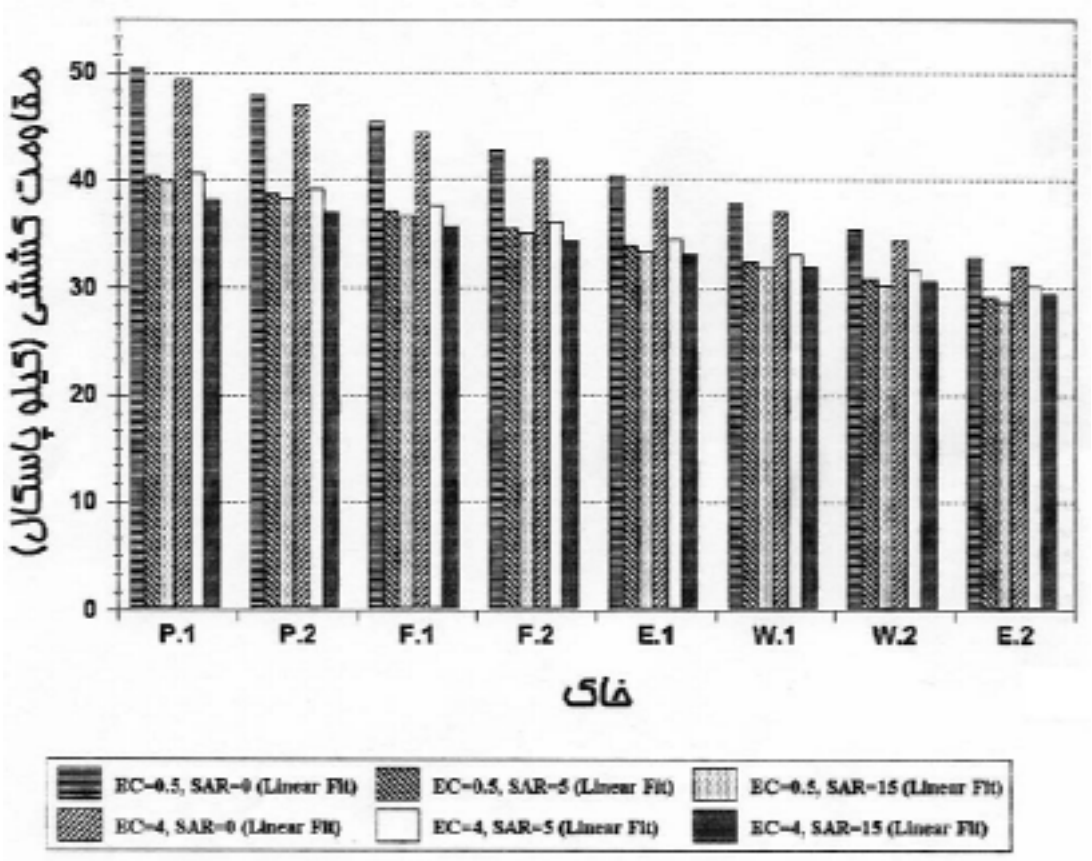
در پژوهش حاضر، دیده شد که با افزایش مواد آلی خاک‌ها، مقاومت کششی افزایش یافته است. افزایش SAR نیز با مقاومت کششی نسبت معکوس داشتـه اسـت. در SAR مشـابـه و در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

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

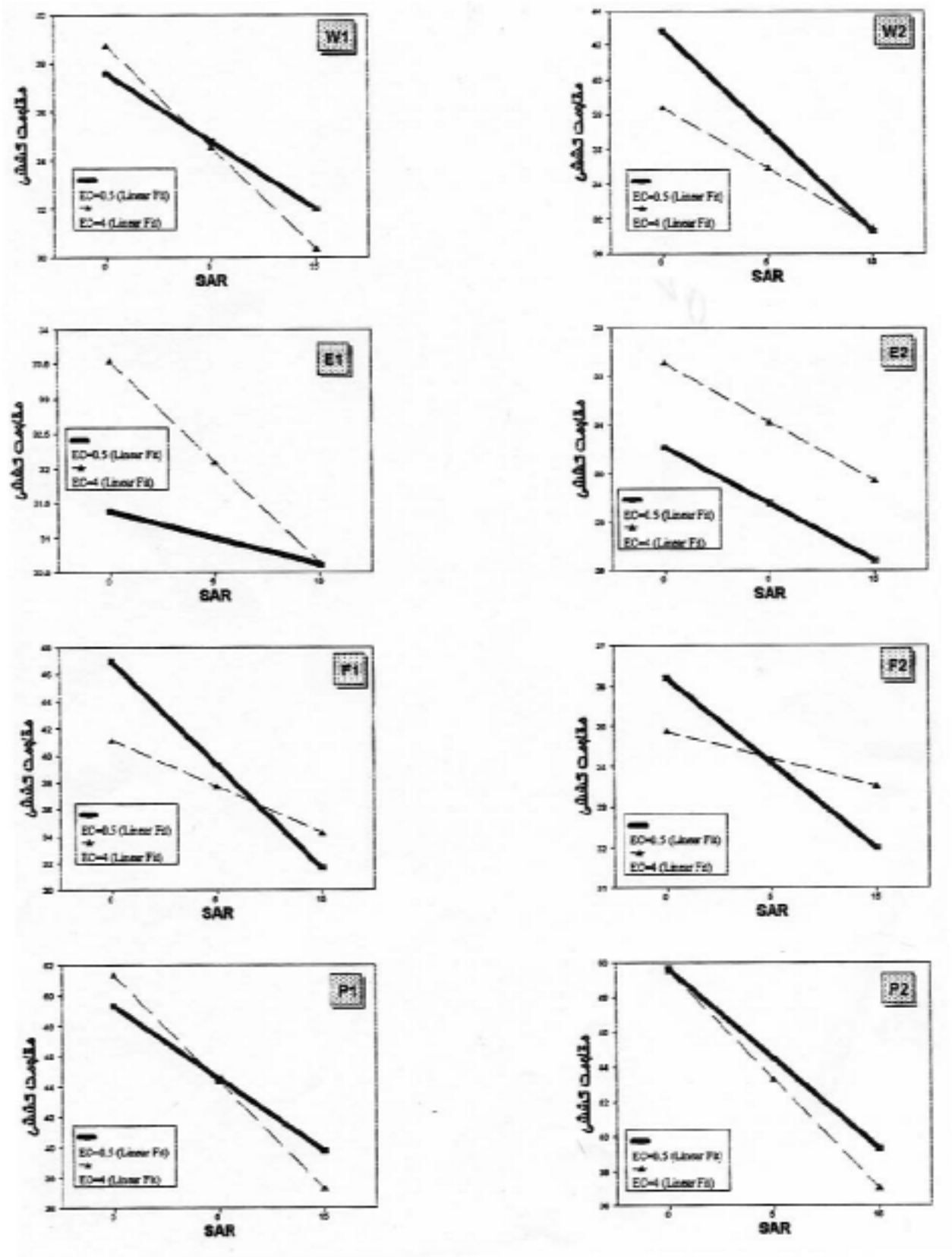
تیمارها	W.1	W.2	E.1	E.2	F.1	F.2	P.1	P.2
EC = ۰/۵ dS/m SAR = ۰	۳۷/۷	٤٥/۱	۳۱/٥	۳۰/۸	٤۹/۸	۳٦/٦	٥۱/۷	٥۰/۰
EC = ۰/۵ dS/m SAR = ٥	۳٤/٦	۳۲/٥	۳۰/۸	۲۸/۹	۳۳/٥	۳۳/۲	۳۹/۹	٤۳/۹
EC = ۰/۵ dS/m SAR = ۱٥	۳۲/۱	۳۲/٥	۳۰/۷	۲۸/٤	۳٤/٥	۳۲/٤	٤۲/۱	۳۹/٦
EC = ٤ dS/m SAR = ۰	٤۰/۰	۳۸/٥	۳۳/۹	۳۲/٤	٤۱/۷	۳٤/۹	٥۲/۲	٥۱/۲
EC = ٤ dS/m SAR = ٥	۳۲/۰	۳٤/٦	۳۱/۳	۳۰/۹	۳٦/٦	۳٤/۱	٤۲/٦	٤۰/۱
EC = ٤ dS/m SAR = ۱٥	۳۱/٦	۳۱/٦	۳۱/۰	۲۹/۹	۳٤/۸	۳۳/٦	۳۸/۲	۳۸/۷



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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]



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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

جدول ۳. خلاصهٔ نتایج آنالیز واریانس داده‌ها

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

*، ** و ns :به ترتیب معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد، و غیر معنی‌دار

تیمارهای با EC زیادتر، مقاومت کششی بیشتر بوده است، که نشان دهندهٔ اثر تعدیل کنندهٔ EC بر شرایط سدیمی است. گرچه در بررسی‌های انجام شدهٔ 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 (۲-۱۰ درصد) در خاک‌های مورد بررسی نسبت داد. مشاهدات عینی در حین تهیهٔ تیمارها نیز مؤید رابطهٔ معکوس مقاومت کششی با میزان SAR بوده است.

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 نکتهٔ 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 علوفهٔ مورد نظر نسبت داد. علوفهٔ فسکیو (در خاک F) دارای ریشه‌های عمیق و انبوه‌تر از علوفهٔ آگروپایرون (در خاک E) است (۲)، بنابراین خاک مربوط به آن مقاومت کششی بیشتری دارد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]

سپاسگزاری

این پژوهش با پشتیبانی مالی و تدارکاتی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی صورت گرفته است. همکاری بسیار نزدیک و صمیمانهٔ مسئولین این مؤسسه، به انجام رسیدن این طرح پژوهشی را میسر ساخته است. هم‌چنین، کمک‌های علمی آقایان دکتر توفیقی و دکتر عبدالرحمن برزگر، نقش مؤثری در پیشبرد امر پژوهش داشته است. بدین وسیله از افراد فوق و کلیهٔ دوستان و همکارانی که در انجام این پژوهش ما را یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. تاجیک، ف. ۱۳۷٦. اثر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، و مواد آلی بر مقاومت کششی و پایداری خاک‌دانه‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲. شیدایی، گ. و ن. نعمتی. ۱۳۵۷. *مرتعداری نوین و تولید علوفه در ایران*. سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران.

۳. مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب. ۱۳۵۹. گزارش مطالعات خاک‌شناسی تفصیلی ایستگاه تحقیقات خاک و آب ماکران (ساری). نشریهٔ فنی شماره ۵۸۵، مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، تهران.

٤. مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب. ۱۳۷٤. نقشهٔ ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان مازندران. مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب، تهران.

۵. مؤسسهٔ خاک‌شناسی و حاصل‌خیزی خاک. ۱۳۵۵. گزارش مطالعات نیمه تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی استان مازندران (منطقهٔ نکا–سیاهرود). نشریهٔ شمارهٔ ٤۹۲، 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1381.6.3.12.8]