بررسی عوامل مؤثر بر رفتار ترک‌پذیری خاک‌های شالیزاری (مطالعه موردی استان گیلان)

محمدرضا یزدانی[۱*]، مسعود پارسی‌نژاد[۲]، علیرضا سپاسخواه[۳]، ناصر دوات‌گر[۱] و شهاب عراقی‌نژاد[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۶)

چکیده

آبیاری تناوبی با فواصل زیاد در شالیزارها می‌تواند موجب بروز ترک در خاک، تلفات آب و به‌دنبال آن آسیب به گیاه گردد. این مطالعه با هدف بررسی روند ترک‌پذیری و عوامل مؤثر بر آن در خاک چهار نقطه از شالیزارهای استان گیلان (مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت، آستانه، شاندرمن و خمام) که از نظر واحدهای فیزیوگرافی متفاوت بودند از طریق اندازه‌گیری و ثبت مشخصه‌های مربوط به‌روند ترک برداری در سطح مزرعه و پس از قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی گیاه برنج انجام شد. تجزیه خاک نشان داد که علی‌رغم تشابه در نوع کانی غالب، ضریب انبساط خطی در خاک مؤسسه و خمام نسبت به دو خاک دیگر بیشتر است. ابعاد ترک‌ها هم‌بستگی معنی‌داری با رطوبت حجمی و مقدار رس **خاک نشان دادند. روند زمانی توسعه ترک (عمق و پهنا و تراکم) نشان داد که این روند در خاک‌های مختلف متفاوت بوده اما متأثر از رطوبت خاک می‌باشدکه این متغیر نیز خود متأثر از عمق آب زیرزمینی می‌باشد. عمق ترکها در هیچ‌کدام از خاک‌ها از سخت لایه شخمی عبور نکرد. خاک‌های مورد مطالعه دارای یک حد آستانه نسبتاً مشخص در رابطه با پهنا و عمق ترک در فاصله زمانی حدود ۲۰ تا ۲۵ روز پس از قطع آبیاری** بودند، به‌طوری که پس از این زمان، مقدار نسبتاً ثابتی از پهنا در حدود ۳، ۲، ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر و عمق ترک در حدود۲۰، ۲۵، ۱۷ و ۲۷ سانتی **متر به ترتیب برای خاک‌های آستانه، خمام، شاندرمن و مؤسسه را نشان دادند.**

واژه‌های کلیدی: شالیزار، ترک، آبیاری، انقباض، بار مکش، عمق آب زیرزمینی

۱. موسسه تحقیقات برنج
۲. گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: smryazdany@yahoo.cam

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]

مقدمه

منابع آب قابل تخصیص برای کشاورزی از نظر کمیت و کیفیت در حال کاهش است. ساخت تعداد زیادی سد در سرشاخه‌های رودخانه سپیدرود (قزل‌اوزن و شاهرود) که مهم‌ترین منبع تأمین آب برای اراضی شالیزاری استان گیلان است؛ این اراضی را با مشکل جدی از نظر کمّیت و کیفیت آب مواجه ساخته و در سال‌های آینده با بهره‌برداری بیشتراز سدهای در دست ساخت این مشکل تشدید خواهد شد (۱). یافته‌های مختلف تحقیقاتی در زمینه مدیریت آب در اراضی شالیزاری در سطوح ملی و جهانی منجر به ارائه روش آبیاری غرقابی متناوب در مقابل آبیاری غرقابی دائم گردیده است (۱۳،۱۰، ۲۹، ۳۶ و ۳۸). اما والندر وهمکاران (۳۶) نشان دادند که در آبیاری تناوبی با افزایش فاصله آبیاری‌ها احتمال ظهور ترک در خاک زیاد است. تحت شرایط آبیاری تناوبی با فواصل زیادتر، بررسی روند ترک برداری و عوامل مؤثر بر آن در مدیریت آبیاری در خاک‌های شالیزاری مختلف استان به‌منظور جلوگیری از تلفات آب و کاهش شدید عملکرد گیاه ضروری می باشد.

دوات‌گر و همکاران (۳) با اندازه‌گیری بافت خاک و بررسی منابع علمی مرتبط با نتایج کانی‌شناسی استان گیلان نشان دادند که مقدار رس در بیشتر خاک‌های شالیزاری استان گیلان زیاد و کانی غالب در بسیاری از اراضی شالیزاری استان گیلان، کانی انبساط‌پذیر اسمکتیت و بعد از آن کانی با انبساط‌پذیری محدود ورمی‌کولایت است و در نتیجه این خاک ها از پتانسیل زیادی برای انبساط و انقباض و حساسیت به ترک برخوردارند.

آبیاری و زهکشی در خاک های ترکدار به‌طور بارزی با دیگر خاک‌ها تفاوت دارد (۳۶). میچل و ون‌گنوختن (۲۱) نشان دادند که در آبیاری خاک های ترک‌دار بخش زیادی از آب برای پر کردن درز و ترک ها مصرف می‌گردد. عرض ترک یک پارامتر مهم برای تعیین چگونگی جریان آب در خاک‌های ترک‌دار است. در خاک‌های با ترک‌های بزرگتر نیاز به‌زمان بیشتری است تا خاک اشباع گردد (۱۶ و ۳۴). بروز ترک‌های بزرگ‌تر می‌تواند منجر به پارگی ریشه‌های موئین و بروز خسارات به گیاه گردد که در دوره حساس رشد گیاه ترمیم‌پذیر نبوده و می‌تواند کاهش شدید عملکرد گیاه را به دنبال داشته باشد (۱۷ و۱۸). هم‌چنین کاهش آب در این نوع خاک‌ها سبب خشک شدن خاک تا عمق قابل‌توجهی می‌شود و با توجه به عرض ترک‌ها و افزایش سطح تماس با هوا تبخیر سطحی سه تا چهار برابر بیشتر از سطح خاک بدون ترک می‌گردد و راندمان کاربرد آب در این مزارع به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد (۱۹).

کابانگون و تونگ (۱۲) در یک مطالعه صحرایی در فیلیپین تلفات آب در کرت‌های ترک‌خورده را بسیار زیاد (۲۳۵-۱۵۲ میلی‌متر) گزارش نمودند. این در حالی است که حتی پس از آبیاری ممکن است این ترک‌ها بسته نشوند و جریان جانبی تا مرحله گلخرابی مجدد ادامه داشته باشد.

متغیرهای ذاتی خاک مانند مقدار رس، مقدار مواد آلی، فعالیت میکروارگانیسم و شوری بر الگوی توسعه ترک مؤثر هستند (۳۷ و ۳۰) اما عوامل مدیریتی و محیطی مانند شدت گلخرابی، فاصله کشت، شدت تعرق از گیاه و مدیریت آبیاری به ویژه در شرایط مزرعه نیز می‌توانند روند توسعه ترک را تغییر دهند (۴۱). پارکر و همکاران (۲۷) نشان دادند که مقدار رس، نوع رس، گنجایش تبادل کاتیونی، ترکیب کاتیونی و مقدار مواد آلی در فرآیند انقباض خاک‌ها در هنگام خشک شدن مؤثر هستند. مونتس (۲۳) نشان داد که پتانسیل انقباض خاک تابعی از رطوبت نسبی خاک و کاتیون‌های بین لایه‌ای است.

باندیوپادهایای و همکاران (۶) نشان دادند که پارامترهای ترک (پهنا، عمق، سطح) با مقدار رطوبت خاک و چگالی ظاهری خاک در عمق۱۵-۰ سانتی‌متری خاک دارای هم بستگی معنی‌دار است. بویوین و همکاران (۸) نشان دادند که انبساط خاک در ارتباط با ساختار رس است، در حالی‌که انقباض حجمی خاک تابعی از ساختمان خاک است. به‌طوری‌که در یک خاک با ساختمان محکم و انبساط‌ناپذیر، وجود رس با بیشترین خاصیت انبساط‌پذیری هم سبب انبساط خاک نخواهد شد. آنها هم چنین نشان دادند که به‌علت قرارگیری مرتب و موازی ذرات رس در اسمکتایت در برابر ذرات نامرتب در کائولینیت، در

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]

خاک های با رس غالب کائولینیت، انقباض کمتری نسبت به خاک‌های با رس غالب اسمکتایت بوجود می‌آید.

مطالعات رفتار انقباضی خاک‌های متورم‌شونده که معمولاً با استفاده از کلوخه‌ها و یا استوانه‌های کوچک نمونه‌برداری برای خاک های دست‌خورده در آزمایشگاه انجام می‌شود، لزوماً نشان‌دهنده تنش واقعی در مزرعه نیستند. میشل و ون‌گنوختن (۲۱)، پیلاری و مک‌گاری (۲۸) و یوشیدا و آداچی (۴۱) نشان دادند که سیستم ریشه‌های گیاه اثر معنی‌داری بر رفتار تورمی- انقباضی خاک ها دارند. اندازه‌گیری انقباض خاک در آزمایشگاه شاخص خوبی از توانایی خاک در ایجاد انقباض در شرایط استاندارد و یکنواخت در آزمایشگاه است. اما، این نوع اندازه‌گیری‌ها نمی‌توانند نشان‌دهنده رفتار انقباض خاک در مزرعه، در شرایطی که ریشه گیاه وجود دارد، باشند (۴۱).

موذنی (۵) اثر سطوح مختلف مخلوط کردن بقایای گیاهی با خاک را بر اندازه و شدت انقباض در چند خاک شالیزاری استان گیلان در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که رطوبت وزنی خاک و چگالی ظاهری تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر مؤلفه‌های انقباض دارند. در این مطالعه عمق ترک با مقدار رس و رطوبت خاک رابطه لگاریتمی داشت(۵).

بومن و همکاران (۹) نشان دادند که اگر مکش در یک خاک گلخراب از ۱۰۰ کیلوپاسکال تجاوز نماید، شکاف‌ها به داخل سخت لایه فشرده نفوذ می‌کنند.

جعفری (۲) نشان داد که در اراضی شالیزاری با کاهش رطوبت خاک به کمتر از حد اشباع، تا حد ظرفیت زراعی شدت توسعه ترک از گسترش چندانی برخوردار نیست اما با کاهش رطوبت خاک به کمتر از حد ظرفیت زراعی، پهنا و عمق ترک افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. رزمی و سپاسخواه (۳۱) نشان دادند که بین عمق ترک و عرض آن یک رابطه مثبت معنی‌دار وجود دارد و کاربرد زئولیت در اراضی ترکدار در آبیاری تناوبی می‌تواند منجر به کاهش تلفات آب گردد. شیرازی و همکاران (۳۲) اثرات تغییرات عمق آب زیرزمینی در خاک‌های مختلف شالیزاری را بررسی نمودند وضمن ارائه روابط جداگانه رگرسیونی بین عمق آب زیر زمینی و رطوبت و عملکرد گیاه برنج نشان دادند که روابط رگرسیونی بین عمق آب زیر زمینی و رطوبت خاک سطحی و هم‌چنین عملکرد گیاه برنج در خاک‌های مختلف متفاوت می باشد. شمس و سپاسخواه (۴) معادلات تجربی و نظری برای تعیین ظرفیت ذخیره آب در خاک در سطوح ایستابی متفاوت در دو حالت با و بدون هوای محبوس در خاک را ارائه دادند و نشان دادند که در نظر نگرفتن هوای محبوس می‌تواند تفاوت معنی‌دار بین نتایج روش‌های نظری و تجربی ایجاد نماید. لیو و همکاران (۲۰) در مطالعه لایسیمتری نشان دادند که مقدار متوسط تبخیر از سطح آب زیر زمینی به عمق آن بستگی داشته و با افزایش عمق آب زیر زمینی و تعداد دفعات آبیاری به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. یانگ و همکاران (۳۹) به‌منظور بهبود جدول زمانبندی آبیاری یک معادله تجربی برای تخمین صعود مویئبنه از سفره آب زیرزمینی و تأثیر آن بر مقدار رطوبت ناحیه ریشه و تبخیر- تعرق گندم به‌دست آوردند.

بر پایه بررسی انجام شده تاکنون چگونگی توسعه ترک در خاک های شالیزاری با ویژگی‌های متفاوت فیزیکی وشیمیایی خاک در ایران مقایسه نگردیدند. از سوی دیگر تأثیر عمق سطح آب زیرزمینی و هم‌چنین تأثیر وجود گیاه بر چگونگی توسعه ترک مطالعه نشده است. این مطالعه با هدف تعیین روند توسعه ترک در خاک‌های مختلف شالیزار با عمق آب زیرزمینی متفاوت و بررسی عوامل فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر توسعه ترک در مزرعه در شرایط استان گیلان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

تشریح مناطق مطالعاتی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک هر منطقه

به‌منظور بررسی خاک‌های شالیزاری، چهار مزرعه در محدوده شبکه آبیاری سپیدرود شامل بخش شرقی (آستانه اشرفیه، واقع در رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای در حاشیه رودخانه سپیدرود)،

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]

بخش غربی (شاندرمن، واقع در دشت دامنه‌ای)، بخش جنوبی (مؤسسه تحقیقات برنج در رشت واقع در دشت دامنه‌ای) و بخش شمالی (خمام، واقع رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای در دلتای سپیدرود) استان گیلان انتخاب شدند (شکل ۱).

به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از هر مزرعه به تعداد یک نمونه خاک دست خورده ودست نخورده از افق سطحی (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به‌عنوان عمق توسعه ریشه) در زمان پیش از کاشت گیاه و شروع عملیات گلخرابی، تهیه گردید و پارامترهای فیزیکی وشیمیایی از قبیل چگالی ظاهری، چگالی حقیقی، درصد کربن‌آلی، گنجایش تبادل کاتیونی و بافت به‌روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۲۶). علاوه بر آن در هر منطقه یک نیمرخ خاک به عمق ۷۰ سانتی‌متر برای تعیین عمق افق‌های مختلف هیدرولیکی مانند لایه گلخراب، سخت لایه شخمی و خاک غیر اشباع زیر سخت لایه حفر گردید (۹).

از آنجا که نوع و مقدار هر کانی در چگونگی ایجاد ترک در خاک مؤثر است، برای تعیین نوع کانی پس از حذف مواد آلی، آهک و سزکویی اکسیدها از خاک کانی‌های رسی، پس از اشباع نمونه‌های رس با پتاسیم و منیزیم توسط دستگاه اشعه X (XRD) مورد مطالعه‌و شناسایی‌قرار گرفتند (۲۴). برای تعیین رابطه پتانسیل ماتریک آب خاک و توسعه ترک‌ها منحنی مشخصه رطوبتی خاک‌ها با استفاده از نمونه‌های گلخراب در دستگاه صفحه فشاری در پتانسیل‌های ماتریک (مکش) ۰، ۰/۰۳، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ مگاپاسکال اندازه‌گیری وسپس با استفاده از مدل ون‌گنوختن (۳۵) و عملگر بهینه ساز غیرخطی Solver در نرم‌افزار Excel با استفاده از حداقل مربعات خطا به منحنی مشخصه آب خاک تبدیل شد (جدول و شکل ۲).

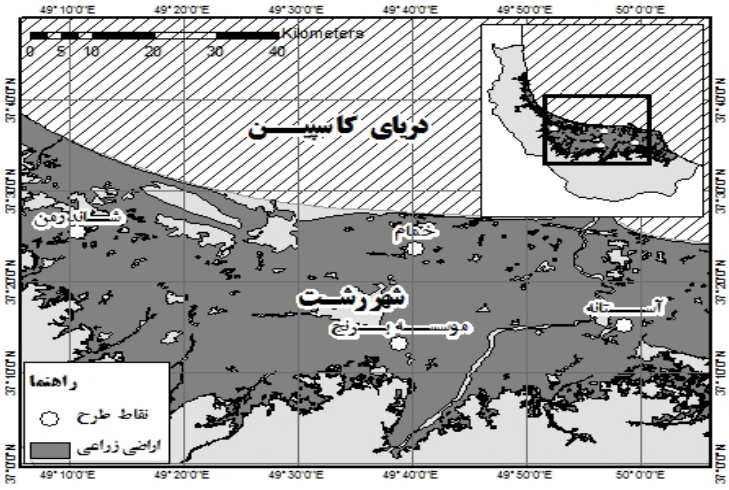
اندازه‌گیری‌های صحرایی و آزمایشگاهی انقباض- انبساط

برای بررسی روند توسعه ترک در حضور گیاه برنج در هر یک از چهار مزرعه یک کرت شالیزار مربع شکل به مساحت چهار متر مربع انتخاب شد. به منظور حصول اطمینان از عدم ورود روان آب سطحی و جریان‌های جانبی و زیرسطحی آب به بدنه خاک در کرت‌های آزمایشی در دوره قطع آبیاری علاوه بر ایجاد مرزی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر اطراف هرکدام از کرت‌ها، تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متر بوسیله چند لایه پلاستیک ضخیم از خاک اطراف جدا گردید. سطح خاک کرت‌ها به‌منظور جلوگیری از ورود آب باران در هنگام بارندگی با سایه بان پوشیده شد. در داخل هر کرت رطوبت خاک از عمق‌های مختلف با فاصله زمانی منظم هر ۳ روز یک بار با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج مدل TRIME-FM ساخت کارخانه IMKO (با نصب لوله‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متری) و نمونه‌برداری دستی با استفاده از آگر اندازه‌گیری شد. پس از هر بار نمونه‌برداری حفره ایجاد شده به وسیله آگر دوباره با خاک پر گردید.

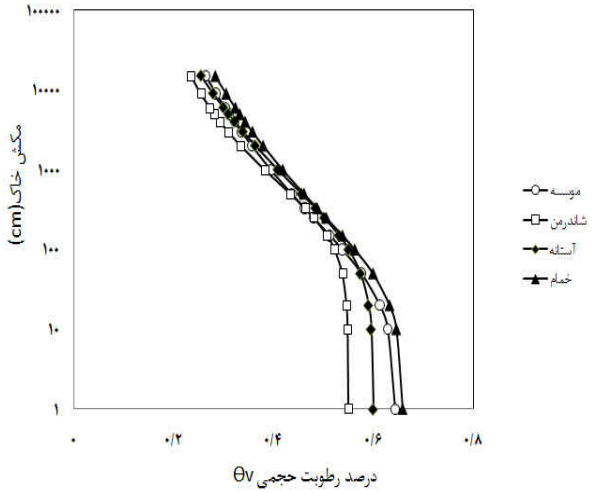
عملیات آماده‌سازی زمین، کشت نشای برنج (رقم هاشمی) و مدیریت‌های زراعی در کرت‌های مجزا شده بر پایه عرف زارعین در هر منطقه انجام شد. از آنجا که زمان قطع آبیاری و مرحله رشد گیاه می‌تواند در نتیجه آزمایش مؤثر باشد زمان قطع آبیاری پس از پایان دوره رشد رویشی و در آغاز مرحله زایشی گیاه انتخاب گردید که منطبق با حساس‌ترین مرحله رشد گیاه نسبت به تنش خشکی و هم‌چنین مصادف با دوره اوج تبخیر-تعرق گیاه برنج در منطقه باشد. از این مرحله تا انتهای دوره رشد از ورود هرگونه آبی به داخل کرت‌ها جلوگیری شد. با قطع آبیاری سطح خاک خشک شده و به مرور ترک‌ها پدیدار شدند. به منظور بررسی روند شکل‌گیری و گسترش ابعاد ترک شامل پهنا، عمق و تراکم (نسبت سطح ترک در واحد سطح خاک)، چهار ترک در هر کرت به عنوان تکرار انتخاب و روند تشکیل ترک‌ها تا انتهای دوره رشد زایشی با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شدند (۴۲). برای تعیین نوسانات سطح آب زیرزمینی چاهک‌های لوله‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر در هر مزرعه نصب گردید و عمق آب در هر چاهک در فاصله‌های زمانی منظم هر سه روز یک بار با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]



شکل ۱. نقشه پراکنش خاک‌های مورد مطالعه



شکل ۲. منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک‌های مطالعه شده

یکی دیگر از شاخص‌های انقباض و انبساط خاک، ضریب انبساط‌پذیری خطی می‌باشد. خاک‌های شالیزاری دارای رطوبت بیشتری از رطوبت ظرفیت زراعی هستند. به این علت در اندازه‌گیری ضریب انبساط پذیری خطی به‌جای روش رایج اندازه‌گیری حجم خاک در مکش‌های ۳۳۰ سانتی‌متر و هوا خشک از روش پیشنهادی برانزوجیک و اورزورمایر (۱۱) استفاده شد که در آن حجم خاک در حد رطوبتی اشباع و هواخشک اندازه‌گیری شدند.

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

مشخصات برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار کربن آلی، قابلیت هدایت الکتریکی خاک و گنجایش تبادل کاتیونی که از عوامل مؤثر در بهم پیوستگی ذرات خاک است در خاک‌های مؤسسه و شاندرمن کمتر از آستانه و خمام است. از سوی دیگر بافت خاک‌های آستانه و شاندرمن به دلیل داشتن رس کمتر از دو خاک دیگر سبک‌تر (سیلتی رسی لوم) می‌باشند. بر پایه گروه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2] [Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

جدول ۱. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده

مکان	درصد رطوبت حجمی اشباع	موقعیت و ضخامت سخت لایه شخم(cm)	CEC (m.e.q/100 g)	EC $dS.m^{-1}$	O.C* (٪)	Sand (٪)	Silt (٪)	Clay (٪)	COLE*	Pd*	Bd*	کانی غالب *
مؤسسه	۰/۶۴	۱۵-۴۰	۳۵	۰/۶۲	۱/۲۲	۶	۴۷	۴۷	۰/۲	۲/۶۲	۰/۹۷	S ≈ M > K ≈ V > Chl > HIS
آستانه	۰/۶	۱۵-۴۰	۳۹	۱/۲۸	۲/۳۷	۱۲	۴۹	۳۹	۰/۱۵	۲/۳	۰/۹۱	S > M > K > V > Chl
خمام	۰/۶۶	۱۳-۳۰	۴۳	۱/۲	۲/۵	۸	۴۱	۵۱	۰/۲۳	۲/۵۴	۰/۹	S > M > K > V > Chl
شاندرمن	۰/۵۵	۱۵-۳۵	۳۴	۰/۵۴	۱/۲۸	۱۶	۴۷	۳۷	۰/۱۶	۲/۶۶	۱/۰۸	S > M > K > HIS > Chl

* S= اسمکتیت ؛ M= میکا؛ K= کائولینیت؛ V= ورمیکولیت؛ Chl = کلریت و HIS = اسمکتیت با هیدروکسید بین لایه‌ای؛

COLE= (ضریب انبساط خطی)؛ P_d= چگالی ذرات خاک ($g.cm^{-3}$)؛ B_d= چگالی ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)؛ O.C= کربن آلی خاک

جدول ۲. پارامترهای معادله ون گنوختن در خاک‌های مطالعه شده

مکان	α (۱/cm)	n	θsat (٪)	θr (٪)	m	RMSE	R^2
موسسه	۰/۰۲۶	۱/۱۵۰	۰/۶۴۵	۰/۰۰۱	۰/۱۳۰	۰/۰۱۱	۰/۹۹
شاندرمن	۰/۰۰۴	۱/۳۲۴	۰/۵۵۰	۰/۱۲۲	۰/۲۴۵	۰/۰۱۱	۰/۹۵
آستانه	۰/۰۰۸	۱/۱۸۰	۰/۶۰۰	۰/۰۰۱	۰/۱۵۳	۰/۰۱۱	۰/۹۶
خمام	۰/۰۲۲	۱/۱۴۶	۰/۶۶۰	۰/۰۰۱	۰/۱۲۷	۰/۰۱۱	۰/۹۵

بندی پارکر و همکاران (۲۷) ضریب انبساط‌پذیری خطی که شاخصی از پتانسیل انقباض و انبساط است در خاک‌های مطالعه شده در گروه با پتانسیل انقباض و انبساط خیلی زیاد قرار دارند، اما مقدار این شاخص در خاک‌های مؤسسه و خمام که دارای مقدار رس بیشتری بودند از دیگر خاک‌ها بیشتر است. منحنی مشخصه رطوبتی خاک‌های مطالعه شده در شکل ۲ نشان داده شده است. مقایسه میانگین ها نشان داد که علیرغم تفاوت ظاهری در مقادیر نزدیک به نقطه اشباع (مکش ۱ تا ۱۰۰سانتی‌متر)، در محدوده کل‌مکش‌ها (هم در مقادیراصلی و هم در مقادیر بهینه شده) تفاوت معنی‌داری بین مقادیر مکش خاک‌ها وجود ندارد و می‌توان نتیجه گرفت که منحنی‌های مشخصه در دامنه مکش‌های تحت بررسی در این مطالعه، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). در جدول ۲ پارامترهای معادله ون‌گنوختن برای خاک‌های مختلف ارائه شده است. براساس این جدول مقادیر RMSE پایین (۰/۰۱۱ برای همه خاک‌ها) و ضرایب تبیین ۰/۹۹، ۰/۹۵، ۰/۹۶ و ۰/۹۵ به‌ترتیب برای خاک‌های مؤسسه، شاندرمن، آستانه و خمام، بین مقادیر واقعی و بهینه شده به‌دست آمده است که بیانگر بالا بودن درجه هم‌بستگی بین آنها می‌باشد.

کانی‌شناسی و انقباض و انبساط خاک

کانی غالب در تمام خاک‌های مطالعه شده اسمکتیت است (جدول۱). اسمکتیت دارای بیشترین خاصیت انبساط و انقباض‌پذیری است (۷). هم‌چنین در این خاک‌ها (به‌استثنای شاندرمن) کانی ورمیکولیت به‌عنوان کانی همراه با خاصیت انبساط‌پذیری محدود وجود دارد. پتانسیل انبساط و انقباض تحت اثر مقدار و نوع رس قرار دارد. خاک‌های مطالعه شده بر پایه ضریب انبساط خطی در گروه با پتانسیل انقباض و انبساط خیلی زیاد قرار داشتند (جدول ۱). انتظار بر این است که خاک‌های با کانی غالب اسمکتیت و ورمی‌کولایت تغییرات حجم بزرگ‌تری را در هنگام خشک و تر شدن نسبت به خاک‌های با کانی غالب، کائولینیت و میکا داشته باشند (۲۲). تیسیر و پدرو (۳۳) افزایش گنجایش انبساط و انقباض در خاک‌های غنی از اسمکتیت را به انباشت موازی ذرات رس نسبت به انباشت غیرموازی در خاک‌های غنی از کانی‌های غیر انبساط‌پذیر می‌دانند. دیاموند (۱۴) افزایش گنجایش انقباض در خاک‌های غنی از اسمکتیت را به‌وجود منافذ کوچک‌تر و تخلخل بیشتر نسبت می‌دهد.

روابط رگرسیونی

بهترین روابط رگرسیونی برای حداکثر پهنا، حداکثر عمق ترک، تراکم ترک و سطح آب زیرزمینی با ویژگی‌های مطالعه شده خاک در معادلات زیر نشان داده شدند:

$$w = ۰/۰۰۶۱ + ۹/۹۴۲۰\theta v - ۰/۴۳۰۶\ \theta v^{۲} \qquad [۱]$$

$$R^{۲} = ۰/۸۱\ (p < ۰/۰۵)$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]

$$d = ۶۲/۲۱۴\ C - ۴/۸۱۳\ C^{۲} \quad [۲]$$

$$R^{۲} = ۰/۸۱\ (p < ۰/۰۵)$$

$$I = -۱/۸۹۹\ WT + ۱۲/۴۸\ WT^{۲} \quad [۳]$$

$$R^{۲} = ۰/۵۶\ (p < ۰/۰۵)$$

$$\theta_v = ۶۲/۲۴ - ۰/۱۶۷\ WT - ۰/۰۲۰۲\ h \quad [۴]$$

$$R^{۲} = ۰/۶۵\ (p < ۰/۰۱)$$

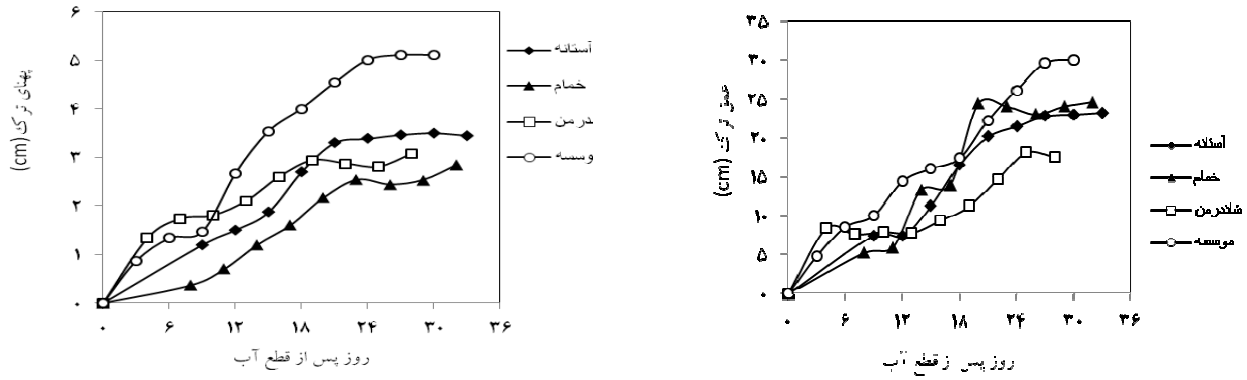
که در آنها w حداکثر پهنای ترک (cm)، d حداکثر عمق ترک (cm) ، I تراکم ترک ($cm^{۲}.m^{-۲}$) ، WT عمق آب زیرزمینی (cm) ، θ_v رطوبت حجمی خاک ($cm^{۳}.cm^{-۳}$)، C رس (٪) و h بار مکش آب خاک (MPa) است. حداکثر پهنای ترک دارای رابطه درجه دوم قوی و معنی‌دار با رطوبت حجمی خاک می‌باشد. اما حداکثر عمق ترک تابعی درجه دوم از مقدار رس خاک است. بر پایه ضریب تعیین، عمق آب زیرزمینی ۵۶ درصد از رفتار تراکم ترک را توجیه نمود. بر پایه معادله (۴) به‌نظر می‌رسد که سطح آب زیرزمینی با تأثیر بر مقدار رطوبت حجمی و بار مکشبر توسعه ترک مؤثر می باشد. در شرایط محدودیت آب لازم است فاصله زمانی آبیاری به گونه‌ای مدیریت شود که از کاهش سطح آب زیرزمینی به عنوان متغیر غیر ذاتی و قابل کنترل جلوگیری شود.

روند انقباض و انبساط خاک در مزرعه

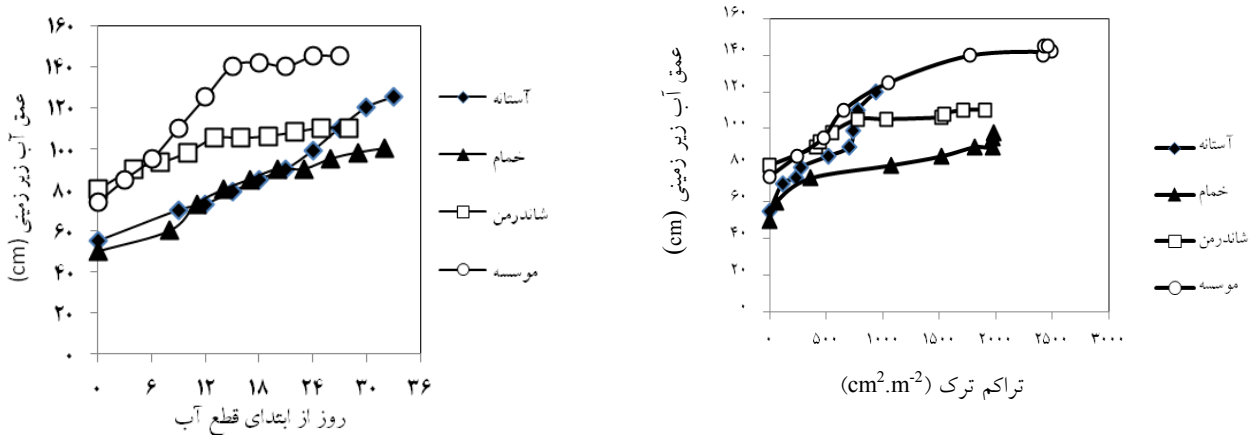
در شرایط حاضر مدیریت آبیاری تناوبی اعمال شده از سوی شرکت بهره‌برداری آبیاری سد سپیدرود بر پایه یک فاصله زمانی مساوی در کل ناحیه تحت پوشش دریچه‌های اصلی اعمال می‌گردد، درصورتی‌که نتایج این تحقیق نشان داد که خاک‌های ناحیه از نظر حساسیت به وقوع ترک متفاوت هستند. روند توسعه تَرک (عمق و عرض) نسبت به زمان (تعداد روزهای سپری شده از آغاز خشک کردن خاک) در شکل ۳ نشان داده شده است. روند توسعه ترک‌ها (عمق و پهنا) و شدت ایجاد آنها به همراه تغییرات در شرایط مزرعه تفاوت محسوسی نشان می‌دهد. نواک وهمکاران (۲۵) نشان دادند که هندسه ترک‌ها بسته به رطوبت خاک در طول زمان تغییر می‌کند. بیشترین عمق (۲۷ سانتی‌متر) و پهنای تَرک (۵/۱ سانتی‌متر) در خاک مؤسسه دیده شد (شکل ۳)، اما حتی در این خاک نیز ترک به انتهای سخت لایه شخمی که در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داشت و دارای ضخامت ۲۵ سانتی‌متر بود (در مجموع تا عمق ۴۰ سانتی‌متر)، نرسید. که می‌تواند به‌دلیل سیمانی شدن ذرات رس با اکسیدهای آهن، آلومینیم و سیلیس، سخت لایه شخمی از مقاومت برشی بیشتری نسبت به افق سطحی گلخراب برخوردار شده باشد (۱۵). خاک خمام علیرغم دارا بودن رس زیاد از اندازه توسعه ترک کمتری برخوردار بود که می تواند به دلیل بالا بودن سطح آب زیر زمینی در این منطقه باشد. تغییرات سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که در آستانه و خمام سطح آب در بازه زمانی قطع آبیاری به نسبت ثابت و نزدیک‌تر به سطح خاک است (شکل ۴) که مؤید نتایج لیو و همکاران (۲۰) مبنی بر تأثیر سطح آب زیر زمینی در مقدار تبخیر از سطح خاک و به تبع آن در مشخصات ترک در خاک سطحی می باشد. خاک‌های مورد مطالعه دارای یک حد آستانه نسبتا مشخص در رابطه با پهنا و عمق ترک در فاصله زمانی حدود ۲۰ تا ۲۵ روز پس از قطع آبیاری بودند، به گونه‌ای که پس از این زمان، مقدار نسبتاً ثابتی از پهنا در حدود ۳، ۲، ۲/۵ و ۵ سانتی متر و عمق ترک در حدود۲۰، ۲۵، ۱۷ و ۲۷ سانتی متر به‌ترتیب برای خاک‌های آستانه، خمام، شاندرمن و مؤسسه را نشان دادند. این حد آستانه با روند مشابه، در توسعه پهنای ترک‌ها نسبت به رطوبت حجمی هم دیده می‌شود (شکلهای ۳ و ۵). نوواک و همکاران (۲۵) بیان کردند که ابعاد ترک‌ها تابعی از مقدار رطوبت حجمی و ویژگی‌های مکانیکی خاک است. رزمی و سپاسخواه (۳۱) در ارزیابی اثر اضافه نمودن زئولیت در اراضی شالیزاری ترکدار نشان دادند که تراکم ترک تابعی از مقدار زئولیت و مقدار رطوبت حجمی خاک است. یاسوگلو و همکاران (۴۰) نیز با اندازه‌گیری مشخصه‌های ترک و ارتباط آنها با رطوبت حجمی نشان دادند که پهنای ترک در ابتدا با کاهش مقدار رطوبت خاک به سرعت (تا قبل از رسیدن به یک حد بحرانی) افزایش یافته و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

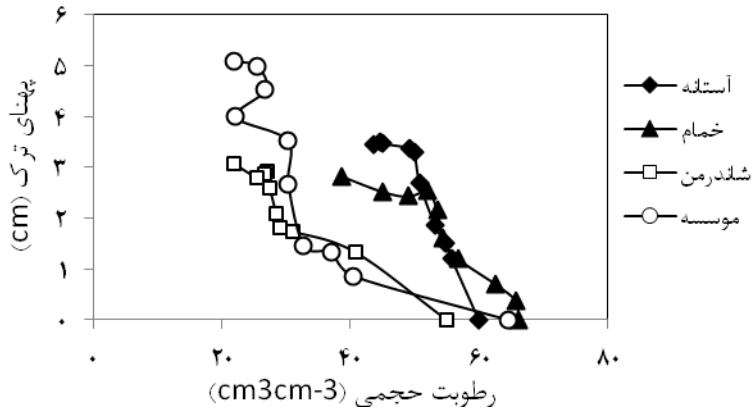
[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]



شکل۳. روند توسعه (پهنا و عمق) ترک نسبت به زمان در شرایط مزرعه



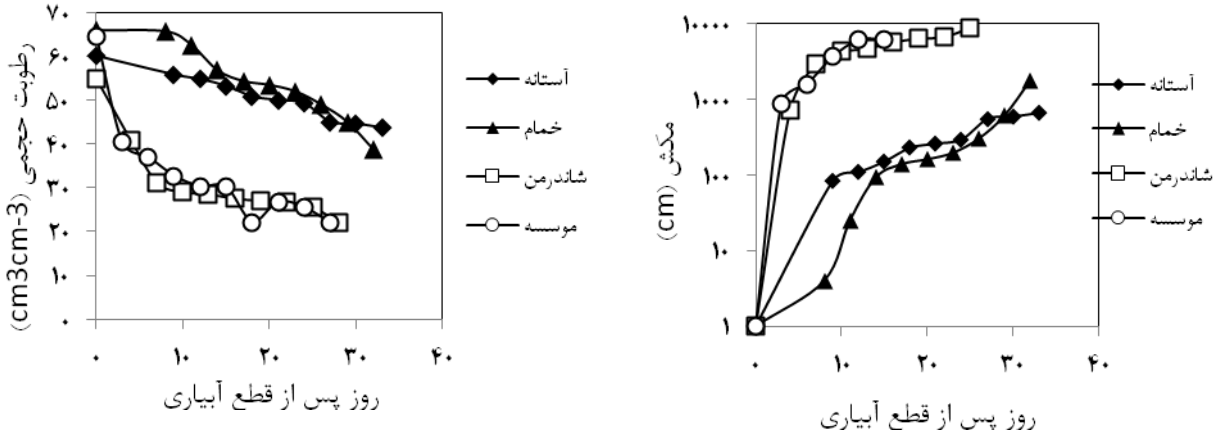
شکل ۴. تغییرات عمق آب زیرزمینی در خاک‌های مطالعه شده نسبت به زمان و تراکم ترک



شکل ۵ . تغییرات پهنای ترک نسبت به رطوبت حجمی در خاک‌های مطالعه شده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]



شکل ۶. تغییرات زمانی رطوبت حجمی و مکش رطوبتی خاک‌های مطالعه شده در مزرعه

در مرحله‌های بعد از حد بحرانی افزایش پهنا با سرعت کمتری تا رسیدن به حداکثر اندازه آن ادامه می‌یابد.

تغییرات زمانی رطوبت حجمی و مکش رطوبتی خاک در شکل۶ نشان داده شده است. روند نزولی مقدار رطوبت حجمی و به دنبال آن افزایش مکش رطوبتی نسبت به زمان برای خاک‌های مؤسسه و شاندرمن نسبت به خاک‌های آستانه و خمام شدیدتر بود. در خاک‌های آستانه و خمام از زمان قطع آبیاری خاک تا ۳۰ روز پس آن، رطوبت حجمی خاک از ۶۲ درصد به ۳۹ درصد میل نمود. در حالیکه در خاک‌های مؤسسه و شاندرمن این متغیر به حدود۲۷ درصد کاهش یافت که نزدیک به نقطه پژمردگی دائم بود. خاک‌های مؤسسه و شاندرمن دارای کربن آلی کمتری بوده و در نتیجه دارای توانایی کمتری برای نگهداری رطوبت خاک هستند؛ از سوی دیگر سطح آب زیرزمینی در این دو خاک در عمق پایین تری قرار داشت، بنابراین با کاهش رطوبت خاک و خشکی بیشتری مواجه گردیدند.

در خاک‌های مطالعه شده، رطوبت حجمی خاک و بار مکش در ارتباط با عمق آب زیرزمینی تغییر کرده است (رابطه ۴). بنابراین سفره آب زیر زمینی می‌تواند ضمن تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه با صعود مؤئینه، موجب حفظ رطوبت خاک در لایه سطح خاک و کاهش مکش رطوبتی خاک شده و از توسعه ترک برای رسیدن به حد بالقوه آن جلوگیری کند. شیرازی و همکاران(۳۲) نشان دادند که رابطه بین عمق آب زیر زمینی و رطوبت خاک سطحی و هم‌چنین عملکرد گیاه برنج در خاک‌های مختلف متفاوت می‌باشد. لیو و همکاران (۲۰) نشان دادند که مقدار متوسط تبخیر از سطح آب زیر زمینی به عمق آن بستگی دارد. یانگ نشان داد که صعود مویئبنه از سفره آب زیرزمینی و بر مقدار رطوبت ناحیه ریشه و تبخیر – تعرق گندم وبه دنبال آن بر جدول زمانبندی آبیاری تأثیر دارد.

نتیجه‌گیری

اندازه انقباض خاک با افزایش مقدار رس افزایش نشان داد. ابعاد ترک‌ها (پهنا وعمق ترک) هم‌بستگی معنی‌داری با رطوبت حجمی خاک و مقدار رس نشان دادند. بررسی روند توسعه تَرک (عمق و پهنا و تراکم) نسبت به زمان (تعداد روزهای سپری شده از آغاز خشک کردن خاک) نشان داد که این روند در خاک‌های مختلف متفاوت بوده و می‌توانند متأثر از رطوبت خاک و سایر خصوصیات آن باشد که این متغیر خود متأثر از عمق سطح آب زیرزمینی بود. در نظر گرفتن این مؤلفه در مدیریت آبیاری خاک‌های تَرک‌دار در شرایط کم‌آبی می‌تواند در

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]

افزایش راندمان آب و حفظ عملکرد اقتصادی شالیزار مؤثر باشد. این نتایج نشان داد که برای تعیین فاصله زمانی مناسب در آبیاری تناوبی در خاک‌های مختلف باید به وضعیت انقباضی خاک نیز توجه نمود چرا که در یک مقدار ثابت از رطوبت و پتانسیل ماتریک خاک، مقادیر عرض، عمق و تراکم ترک در خاک‌های مختلف متفاوت می‌باشند. از سوی دیگر در صورت استفاده از عرض و عمق ترک به عنوان شاخص مدیریتی آسان وکاربردی برای مدیریت آبیاری تناوبی در خاک‌های ترکدار با توجه به تفاوت رفتار منحنی انقباضی در خاک‌های مختلف، لازم است به رابطه خاص مزرعه‌ای رطوبت یا مکش و شاخص‌های ذکر شده مانند عمق سطح آب زیرزمینی در هر منطقه توجه گردد.

منابع مورد استفاده

۱. پیله‌ور جاوید، م. ۱۳۸۹. سبب خشکسالی در گیلان ـ بحران کم‌آبی یا بحران مدیریت؟. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت الگوی مصرف. دانشگاه گیلان. ۸ ص.

۲. جعفری، ف. ۱۳۸۶. مدیریت آبیاری در خاک‌های ترک‌دار شالیزاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۰۴ص.

۳. دواتگر، ن.، م. کاوسی، م. ح. علی نیا و م. پیکان. ۱۳۸۴. بررسی وضعیت پتاسیم و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در شالیزارهای استان گیلان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۰ : ۸۹-۷۱

۴. شمس، ش.، ع. سپاسخواه. ۱۳۸۷. برآورد ذخیره آب در خاک سیلتی لوم با سطح ایستابی کم عمق. مجله علوم ومهندسی آبخیزداری ایران. سال دوم. شماره ۴. ۱۱ ص.

۵. موذنی، م. ۱۳۸۷. اثر بقایای گیاهی بر خواص هیدرولیکی و وضعیت رطوبتی خاک‌های شالیزاری استان گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۰۷ ص.

6. Bandyopadhayay, K. K., M. Mohanty, D. K. Pianuli, A. K. Misra, K. M. Hatli, K. G. Mandal, P. K.Ghosh, R. S. Chaudhary and C. L. Acharrya. 2003. Influence of tillage practices and nutrient management on crack parameters in a vertisol of central India. Soil Till. Res. 71:133-142.
7. Bohn, H. L., B. L. McNeal and G. A. Oconor. 1979. Soil Chemistry. John Wiley & Sons. Hoboken.
8. Boivin, P., P. Garnier and D. Tessier. 2004. Relationship between clay content, clay type and shrinkage properties of soil samples. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1145-1153.
9. Bouman, B. A. M., M. J. Kropff, T. P. Tuong, M. C. S. Wopereis, M. F. M. Ten Berge and H. H. Van Laar. 2001. ORYZA 2000: Modeling Lowland Rice. IRRI. The Philippines.
10. Bouman, B. A. M., T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agric. Water Manage. 49(1, 2): 11-30.
11. Bronswijk, J. J. B., J. J. Evers-Vermeer. 1990. Shrinkage of Dutch clay soil aggregates. Neth. J. Agric. Sci. 38: 175–194.
12. Cabangon, R. J. and T. P. Toung. 2000. Management of crack soils for water saving during land preparation for rice cultivation. Soil Till. Res. 56:105-116.
13. Chapagain.T., E. Yamaji. 2010. The effects of irrigation method, age of seedling and spacing on crop performance, productivity and water-wise rice production in Japan. Paddy Water Environ. 8:81–90.
14. Diamond, S. 1970. Pore size distribution in clays. Clay's Clay Miner. 18: 7-23.
15. Greenland, D. G. 1985. Soil Physics and Rice. International Rice Research Institute (IRRI). The Philippines.
16. Ishiguro, M. 1992. Effects of shrinkage and swelling of soils on water management in paddy fields. Soil and water Engineering for paddy field Management. 258-267.
17. Islam, M. J., G. Mowla, M. S. Islam and P. B. Leeds-Harrison. 2003. Model for efficient use of limited water for rice production. Pakistan J. Biolog. Sci. 6:1600-1607.
18. Islam, M. J., G. Mowla, S. S. Parul, A. B. M B. U. Pathan, M. A. Quasem and M. S. Islam. 2004a. Influence of Cracking on rice seasons and irrigation in Bangladesh. J. Biolog. Sci. 4:11-14.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]

19. Islam, M. J., G. Mowla, S. S. Parul, M. Z. Alam and M. S. Islam. 2004b. Management of cracking puddle soils and its impact on infiltration. J. Biolog. Sci. 4:21-26.
20. Luo. Y. M. and M. Sophocleous. 2010. Seasonal groundwater contribution to crop-water use assessed with lysimeter observation and model simulation. J. of Hydrol. 389. 325-335.
21. Mitchell, A. R. and M. Th. van Genuchten. 1993. Flood irrigation of a cracked soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 490-497.
22. Mitchell, J. K. and K. Soga. 2005. Fundamentals of Soil Behavior, 3rd ed. John Wiley & Sons, Hoboken
23. Montes, G. H. 2005. Swelling-shrinkage measurements of bentonic using coupled environmental scanning electron microscopy and digital image analysis. J. Colloid Interface Sci. 284:271-277.
24. Moore, D. M. and R. C. Reynolds. 1989. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford. University Press. Axford. UK. Appendix. 311-325.
25. Novak, V., J. Simunek and M.Th. van Genuchten. 2000. Infiltration of water into soil with cracks. J. Irrig. Drain. Eng. 126(1):41-47.
26. NRCS, 1986. Soil survey laboratory methods manual. Saur. Invest. Rep. 42. Version 3.0. NRCS, Washington, DC.
27. Parker, J. C., D. F. Amos and L. W. Zelazny. 1982. Water adsorption and swelling of clay minerals in soil systems. Soil Soc. Am. J. 41: 1059- 1064.
28. Pillari, U. P. and D. McGarry. 1999. Structure repair of a compacted vertisol with wet-dry cycles and crops. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:201-210.
29. Pirmoradian, N., A. R. Sepaskhah and M. Maftoun. 2004. Effects of water saving irrigation and nitrogen fertilization on yield component of rice (Oryza sativa L.). Plant Prod. Sci. 7(3): 336-545.
30. Preston, S., B. S. Griffiths and I. M. Young. 1999. Links between substrate additions, native microbes and the structural complexity and stability of soils. Soil Biol. Biochem. 31: 1541- 1547.
31. Razmi, Z. and A. R. Sepaskhah. 2012. Effect of zeolite on saturated hydraulic conductivity and crack behavior of silty clay paddled soil. Arch. Agron. Soil Sci. 58(7): 805-816.
32. Shirazi, S. M., Sh. Akib, F. A. Salman, J. Alengaram and M. Jameel. 2010. Agro- ecological aspects of groundwater utilization : A case study. Sci. Res. Essays 5(18): 2786-2795.
33. Tessier, D. and G. Pedro. 1980. Sur les properties de gonflement des argiles dansles sols. (In French) C. R. Acad. Sci. Paris. 291 D: 461- 467.
34. Toung, T. P., R. J. Cabangon and M. C. S. Wopereis. 1996. Quantifying flow processes during land soaking of cracked rice soils. Soil Sci. Am. J. 60:872-879.
35. Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Am. J. 44: 892-898.
36. Wallender, W. W., K. K. Tangi, J. R. Gilley, R. W. Hill, J. M. Lord, C. V. Moore, R. R. Robinson and E. C., Stegman. 2006. Water flow and salt transport in cracking clay soils of the Imperial Valley, California. J. Irrig. Drain. Syst. 20: 361-387.
37. Waller, P. M. and W. W. Wallender. 1993. Changes in cracking, water content and bulk density of salinized swelling clay field soils. Soil Sci. 156: 414- 423.
38. Watanabe. H., Y. Kakegava and V. S. Hong. 2010. Evaluation of the management practice for controlling herbicide runoff from paddy fields using intermittent and spillover-irrigation schemes. Paddy Water Environ. 8: 81–90
39. Yang. J, S. Wan, W. Deng and G. Zhang. 2007. Water fluxes at a fluctuating water table and groundwater contributions to wheat water use in the lower Yellow River flood plain, china. Hydrol. Proc. 21. 717-724.
40. Yassoglou, N., C. S. Kosmas, N. Maustakasa, E. Tzianis and N. G. Danalatos. 1994. Cracking in recent alluvial soils as related to easily determined soil properties. Geoderma 63: 289-298.
41. Yoshida, S. and K. Adachi. 2001. Effects of cropping and paddling practices on the cracking patterns in paddy fields. Soil Sci. Plant. Nutr. 47: 519- 532.
42. Zein El Abedine, A. and H. G. Robinson. 1971. A study on cracking in some vertisoils of the Sudan. Geoderma 5:229-241

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.69.5.2]