Archive of SID

نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۴ / شماره ۴/ ۱۳۹۹

تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک مؤثر بر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای

مهدی زنگی‌آبادی[۱]

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان‌رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

m.zangiabadi@areeo.ac.ir

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

در راستای مدیریت و ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی، توجه به ویژگی‌های فیزیکی خاک یک اصل محسوب می‌گردد. بر این اساس مطالعه حاضر با هدف بررسی رابطه مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق در استان خراسان‌رضوی انجام شد. در این مطالعه تعداد ۳۰ کرت با مساحت ۱۵ مترمربع، با خاک‌های متفاوت از نظر بافت و ساختمان، به‌عنوان کرت‌های آزمایشی انتخاب گردید و کلیه عملیات کاشت، داشت و برداشت به صورت یکنواخت برای کل کرت‌ها انجام شد. گیاه ذرت به صورت دستی کشت شد و آبیاری سطحی با استفاده از تانکر و شمارنده، به انجام رسید و در هر نوبت، آبیاری برای کل کرت‌ها در یک روز و به یک میزان صورت گرفت. پس از تهیه نمونه‌های خاک از کرت‌های آزمایشی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و صحرایی، تعداد ۳۵ ویژگی فیزیکی خاک، تعیین شد. محصول ذرت به صورت دستی در هر کرت برداشت شد و مقادیر میانگین بهره‌وری مصرف آب (عملکرد کل زیست‌توده هوایی به ازاء واحد آب کاربردی) در دو سال متوالی، ملاک محاسبات آماری قرار گرفت. داده‌ها با استفاده از روش‌های تجزیه مؤلفه‌های اصلی، ضریب همبستگی پیرسون، رگرسیون خطی چندمتغیره و تجزیه مسیر (علیت) تحلیل شد. نتایج نشان داد که از مجموع ۳۵ ویژگی فیزیکی مطالعه شده، ویژگی‌های آب قابل استفاده (ظرفیت مزرعه در مکش ۱۰۰ سانتی‌متر) با ضریب تبیین ۵۴ درصد، انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (ظرفیت مزرعه در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر) با ضریب تبیین ۲۰ درصد و میانگین قطر خلل و فرج خاک با ضریب تبیین چهار درصد، توانسته‌اند مجموعاً ۷۸ درصد تغییرات بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای را توجیه نمایند. در مجموع می‌توان ویژگی‌های مقدار و انرژی آب قابل استفاده و قطر خلل و فرج خاک را به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی مؤثر بر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای بر شمرد.

واژه‌های کلیدی: آب قابل استفاده خاک، اندازه خلل و فرج، انرژی انتگرالی

۱- آدرس نویسنده مسئول: مشهد- بزرگراه شهید سردار سلیمانی- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان‌رضوی- بخش تحقیقات خاک و آب

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

طبق آمارهای رسمی و به اعتقاد کارشناسان، ایران درآستانه بحران آب به سر می‌برد و طی سال‌های آینده تامین آب به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های کشور تبدیل خواهد شد. با این وجود، مشکل اصلی در عدم بهره‌وری صحیح آب به خصوص در بخش کشاورزی و عدم برنامه-ریزی برای افزایش آن است. میانگین آب مصرفی در بخش کشاورزی کشور در دوره هفت ساله حدود ۷۵ میلیارد مترمکعب معادل حدود ۷۱ درصد آب‌های تجدیدپذیر گزارش شده است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶) اما به علت انجام آبیاری سنتی و عدم توجه به شرایط خاک، بهره‌وری آب در این بخش بسیار کم می‌باشد. بهره‌وری مصرف آب[1]، به مقدار محصولی که توسط گیاه به ازاء هر مترمکعب آب حاصل می‌گردد اطلاق می‌شود. در ایران به ازاء هر مترمکعب آب به‌طور متوسط از ۰/۸۷ تا ۱/۳۲ (میانگین ۱/۰۹) کیلوگرم محصول کشاورزی تولید می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶) که تفاوت چشم‌گیری با مقدار متوسط جهانی این شاخص دارد. پایداری در کشاورزی، اساساً به حفظ ظرفیت باروری، همراه با استمرار بقاء منابع پایه و به طور ویژه خاک و آب گفته می‌شود. زمان‌بر بودن بروز و قابلیت مشاهده علائم تغییرات کمی و کیفی خاک یکی از مهم‌ترین عواملی است که از اهمیت توجه به نحوه استفاده از خاک و ارتباط آن با بهره‌وری مصرف آب کاسته است. بر اساس نظر انجمن علوم خاک آمریکا، کیفیت خاک عبارت است از قابلیت یک خاک مشخص در حفظ تولید گیاه و دام، حفظ و ارتقاء کیفیت آب و خاک و حفظ سلامت انسان و زیست بوم در محدوده مرزهای زیست‌بوم طبیعی یا مدیریت‌شده (آپاریسیو و کاستا، ۲۰۰۷). از آنجا که خاک یک محیط فوق‌العاده پیچیده است، کیفیت خاک-های کشاورزی در پاره‌ای موارد به کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی تفکیک می‌شود. با این حال تحقیقات نشان داده است که این اجزا روابط متقابل دارند و به طور کامل قابل تفکیک نیستند. ایماز و همکاران (۲۰۱۰) معتقدند که در بحث ارزیابی کیفیت خاک باید کلیه خصوصیات ذاتی و همچنین پویای خاک لحاظ گردد و کلیه برهم‌کنش‌ها و فرآیندهای خاکی مدنظر قرار گیرند.

تعیین شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک در ارتباط با رشد گیاه مستلزم انجام تعداد زیادی آزمایشات مختلف می‌باشد. با استفاده از کوچک‌ترین مجموعه داده‌ها[2] می‌توان تعداد این اندازه‌گیری‌ها را کاهش داده و با استفاده از تعداد کمتری از عوامل یا شاخص‌ها، کیفیت فیزیکی خاک را ارزیابی نمود. نظرات مختلفی در خصوص کوچک-ترین مجموعه داده‌ها و نحوه ارزیابی آنها ارائه شده است اما این مجموعه عوامل را نمی‌توان به صورت کلی به شرایط مختلف تعمیم داد و باید با اهداف مشخص تحقیقاتی و در خاک‌های مختلف بررسی گردد (رضایی و همکاران، ۲۰۰۶).

محققین معتقدند که آب خاک علاوه بر مدیریت وضعیت فیزیکی خاک، وضعیت شیمیایی و زیستی خاک مانند جذب عناصر غذایی توسط گیاه و همچنین فعالیت ریزجانداران را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین مدیریت آب خاک در سامانه‌های کشاورزی یکی از ارکان اصلی محسوب می‌گردد (عسگرزاده و همکاران، ۲۰۱۰).

لتی (۱۹۸۵) معتقد است که رشد گیاهان تحت تأثیر چهار عامل فیزیکی خاک شامل آب، تهویه، مقاومت فروروی و دما می‌باشد. شاخص کیفی دامنه رطوبتی بدون محدودیت[3] که توسط لتی (۱۹۸۵) پیشنهاد و توسط داسیلوا و همکاران (۱۹۹۴) به صورت شاخص کمی دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت[4] ارائه شد، دو ویژگی فیزیکی محدودکننده شامل تهویه و مقاومت فروروی خاک در مقابل نفوذ ریشه را با مقادیر بحرانی ویژه‌ای به عوامل رطوبت ظرفیت مزرعه و رطوبت نقطه پژمردگی دائم اضافه نمود که معایب آب قابل استفاده[5] با تعریف رایج را برطرف نماید. بر اساس نظر این محققین در این دامنه رطوبتی،

1- Water use productivity
2- Minimum data set (MDS)
3- Non limiting water range (NLWR)
4- Least limiting water range (LLWR)
5- Plant available water (PAW)

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت‌های رشد گیاه که با پتانسیل ماتریک، تهویه و مقاومت فروروی ارتباط پیدا می‌کنند به صفر یا حداقل می‌رسد.

بتز و همکاران (۱۹۹۸) و گرانولت و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که جذب آب توسط گیاه به حالت پیوسته با پتانسیل ماتریک، تهویه و مقاومت فروروی تغییر می‌کند و اثر محدودکننده‌های فیزیکی خاک بر جذب آب توسط گیاهان تدریجی و پیوسته بوده و به شکل مقطعی نمی‌باشد لذا شاخص دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت که در آن حدود بالایی و پائینی به صورت خیلی دقیق و قطعی تعیین شده است، دارای ایراداتی می‌باشد. در این راستا گرانولت و همکاران (۲۰۰۱) آب قابل استفاده با عوامل محدودکننده آن‌را به صورت تابعی پیوسته در نظر گرفتند و گنجایش انتگرالی آب[1] را به عنوان مفهومی جدید برای تعیین آب قابل استفاده گیاه ارائه و معرفی نمودند. در شاخص گنجایش انتگرالی آب، محدودیت‌های مختلف جذب آب شامل کمبود تهویه و زهکشی سریع بر اثر نیروی ثقل در سمت مرطوب منحنی رطوبتی خاک[2] و هدایت هیدرولیکی کم و مقاومت فروروی زیاد خاک در مقابل نفوذ ریشه در سمت خشک منحنی رطوبتی خاک در قالب توابع وزن‌دهی پیوسته که مقادیر آنها تحت تأثیر مکش آب تغییر می‌کند، لحاظ می‌شوند.

محققین معتقدند که با وجود همبستگی خوب عملکرد و پاسخ گیاه با کل مقدار آب قابل استفاده برای گیاهان، برای جذب واحد وزن آب موجود در خاک توسط گیاه انرژی مشخصی مورد نیاز است که تابعی از نقاط شروع و خاتمه دامنه رطوبتی در خاک می‌باشد. بر این اساس میناسنی و مک‌براتنی (۲۰۰۳) انرژی انتگرالی[3] را به‌عنوان معیاری برای برآورد آب قابل استفاده گیاه ارائه نموده و اعلام نمودند که رشد و عملکرد گیاه و به‌تبع آن بهره‌وری مصرف آب در خاک‌های مشابه از نظر مقدار آب قابل استفاده و متفاوت از نظر مقدار انرژی انتگرالی، متفاوت خواهد بود. آنها نشان دادند که منحنی رطوبتی خاک ابزاری مناسب درخصوص برآورد انرژی مورد نیاز گیاه جهت غلبه بر انرژی آب در خاک و جذب واحد حجم آب می‌باشد. بر این اساس انرژی انتگرالی آب در هر دامنه رطوبتی را حاصل انتگرال قدرمطلق شیب منحنی رطوبتی خاک در همان دامنه رطوبتی تعریف نمودند.مطالعات این محققین در خصوص ارتباط شاخص انرژی انتگرالی با دیگر خصوصیات خاک نشان داد که این شاخص با مقدار شن و عامل شکل منحنی رطوبتی خاک دارای همبستگی منفی و معنی‌دار و با مقدار رس خاک دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بوده است.

رینولدز و همکاران (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) گزارش نموده‌اند که آب قابل استفاده گیاه، به شیوه مدیریت خاک حساسیتی ندارد یعنی اگر در شرایطی با افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، آب قابل استفاده گیاه به دلیل افزایش متناظر رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم ثابت بماند، اثر افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک بر آب قابل استفاده گیاه نشان داده نخواهد شد ولی در همان خاک با افزایش جرم مخصوص ظاهری، انرژی انتگرالی آب افزایش خواهد یافت.

با توجه به اینکه ویژگی‌های فیزیکی خاک یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح در ارتقاء بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی محسوب می‌گردد لذا با تعیین و شناخت ویژگی‌ها و شاخص‌های مهم فیزیکی خاک و همچنین نوع و میزان اثر آنها بر بهره‌وری مصرف آب، می‌توان راه‌کارهای مدیریتی مؤثر برای تقویت شاخص‌های مهم و یا به بیان دیگر افزایش کیفیت فیزیکی خاک و توان تولید آن، ارائه نمود. از این شاخص‌ها می‌توان برای پهنه‌بندی خاک مزارع بزرگ، از نظر کیفیت و شرایط بهینه رشد و تولید محصول استفاده نمود و در شرایط بروز محدودیت‌های مختلف از جمله کمبود نهاده‌ها و یا محدودیت منابع آب که به طور عمده در کشور ما محدودیت اصلی در بخش کشاورزی محسوب می‌گردد، اولویت‌بندی بین قطعات

1- Integral water capacity (IWC)
2- Soil moisture release curve (SMRC)
3- Integral energy (EI)

www.SID.ir

Archive of SID

پهنه‌بندی شده برای کشت محصول صورت گیرد تا حداکثر بازدهی اقتصادی برای بهره‌بردار حاصل شود.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر با هدف تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک مؤثر بر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق انجام شد. این ایستگاه به عنوان یکی از ایستگاه‌های مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی با مساحتی حدود ۲۲۰ هکتار و ارتفاع متوسط ۱۰۱۰ متر از سطح دریا، در جنوب شرقی شهر مشهد و در مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۴/۱۶ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه و ۷/۴۹ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۰/۷۴ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه و ۵۵/۷۵ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ایستگاه تحقیقات طرق، وجود تنوع در خصوصیات خاک به ویژه بافت خاک می‌باشد. با توجه به توزیع کلاس‌های بافت خاک در سه استان خراسان-رضوی، شمالی و جنوبی، ۹۶/۷ درصد خاک‌های این سه استان در قالب پنج کلاس بافتی لوم، لوم شنی، لوم سیلتی و لوم رسی و لوم رسی سیلتی قرار می‌گیرند (شهبازی و بشارتی، ۱۳۹۲) و ویژگی بارز این ایستگاه، طبقه‌بندی بافت خاک آن در پنج کلاس بافتی ذکر شده می‌باشد. به‌بیان دیگر این ایستگاه را می‌توان به‌عنوان نمونه‌ای بسیار جامع از مجموعه خاک‌های کشاورزی سه استان خراسان‌رضوی، شمالی و جنوبی در نظر گرفت. از طرف دیگر تجمیع خاک‌های با خصوصیات مختلف در یک اقلیم، شرایط بسیار مناسبی برای کشت گیاه و برقراری ارتباط بین عملکرد محصول با خصوصیات خاک و به‌طور خاص، ویژگی‌های فیزیکی آن را فراهم آورده است. یکسان‌سازی شرایط کشت محصول در خاک‌های با خصوصیات فیزیکی متفاوت، لازمه دست‌یابی به اهداف تعیین شده این مطالعه بود. لذا در قسمت‌های مختلف اراضی ایستگاه که بر اساس مطالعات خاک‌شناسی انجام شده (صاحب‌جمع، ۱۳۸۱)، خاک دارای بافت و ساختمان متفاوت بود، تعداد ۳۰ کرت با ابعاد ۱۵ مترمربع (۵×۳ متر) به عنوان کرت‌های ثابت برای کشت ذرت علوفه‌ای انتخاب شد.

شکل ۱ توزیع و موقعیت کرت‌های آزمایشی در اراضی ایستگاه تحقیقات طرق را نشان می‌دهد. کشت به صورت دستی با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ۲۰ سانتی‌متر بر روی ردیف‌های کشت انجام شد. نیاز کودی کرت‌ها بر اساس آزمون خاک و از یک نوع منبع کودی تأمین گردید. به منظور یکسان‌سازی شرایط کشت و آبیاری برای کلیه کرت‌ها و محدود نمودن اختلاف عملکرد حاصل از مقدار و زمان آب دریافتی توسط کرت‌ها، آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای با استفاده از تانکر و شمارنده[1] دو اینچی و با دور متعارف منطقه و با متوسط نه روز انجام گردید. به طوری‌که در هر نوبت آبیاری کلیه کرت‌ها در یک روز و به یک میزان مشخص آبیاری می‌شدند. کل میزان آب کاربردی در سال اول کشت معادل ۵۲۰۵ مترمکعب در هکتار (۵۰۶۷ مترمکعب در هکتار از طریق آبیاری و ۱۳۸ مترمکعب در هکتار از طریق بارندگی) و در سال دوم معادل ۶۲۶۷ مترمکعب در هکتار بود. سطح سفره آب زیرزمینی در منطقه بسیار عمیق بوده و آب مورد نیاز برای اراضی کشاورزی این ایستگاه از طریق چهار حلقه چاه عمیق تأمین می‌گردد.

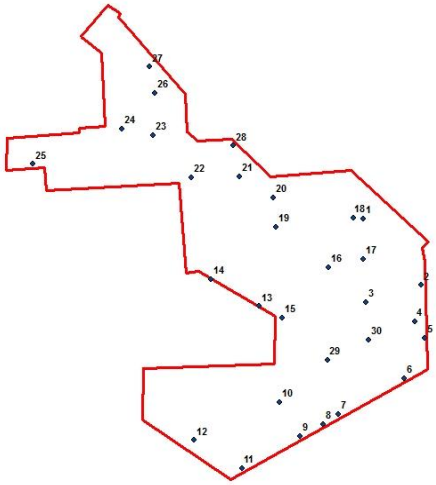
هدایت الکتریکی آب معادل ۰/۹۳ دسی‌زیمنس بر متر، نسبت جذب سدیم معادل ۱/۵ و واکنش شیمیایی معادل ۷/۷ می‌باشد. لذا بر اساس طبقه‌بندی ویل‌کاکس برای آبیاری در کلاس C3S1 قرار می‌گیرد. عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز (دستی)، کودپاشی سرک اوره، محلول‌پاشی و کودآبیاری به صورت کاملاً یکنواخت برای کلیه کرت‌های آزمایشی در زمان مشخص صورت گرفت. در نهایت برداشت محصول ذرت (کل بوته) از کرت‌های آزمایشی در مرحله خمیری شدن دانه‌ها و به صورت دستی

1-Counter

www.SID.ir

Archive of SID

و کف‌بر از مساحتی مشخص، در سال اول ۱۰۰ روز پس از کشت و در سال دوم ۱۰۶ روز پس از کشت انجام گردید و میزان عملکرد کل زیست‌توده هوایی در هر کرت اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- توزیع و موقعیت کرت‌های آزمایشی در اراضی ایستگاه تحقیقات طرق

برای اندازه‌گیری خصوصیات مختلف خاک از هر کرت دو نمونه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، شامل یک نمونه دست‌خورده و یک نمونه دست‌نخورده با استفاده از استوانه‌های فلزی با قطر ۵ و ارتفاع ۵/۳ سانتی‌متر تهیه شد. ضرایب منحنی رطوبتی خاک با برازش معادله وان‌گنوختن (وان‌گنوختن، ۱۹۸۰) در برنامه RETC[1] به داده‌های رطوبتی خاک در مکش‌های ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر (با استفاده از دستگاه جعبه شن[2]) و مکش‌های ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر (با استفاده از صفحات فشاری) به‌دست آمد (رینولدز و تاپ، ۲۰۰۷؛ عسگرزاده و همکاران، ۲۰۱۰). توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری دو زمانه (کروش و وانگ، ۲۰۰۷)، اجزاء شن بر اساس طبقه‌بندی آمریکایی[3] با استفاده از الک‌های مطبق و جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش نمونه دست‌نخورده (هاو و همکاران، ۲۰۰۷)، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه[4] در خاک هواخشک با استفاده از الک‌های مطبق (لارنی، ۲۰۰۷) و کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (جمستاد و بالداک، ۲۰۰۷) اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین مقاومت فروروی خاک از فروسنج[5] مخروطی ساخت شرکت Eijkelkamp با قابلیت اندازه‌گیری و ثبت مقاطع یک سانتی‌متری تا عمق ۵۰ سانتی‌متر و مخروط دارای زاویه ۶۰ درجه و سطح مقطع یک سانتی‌متر مربع، استفاده گردید. این اندازه‌گیری پنج مرتبه و در رطوبت‌هایی متفاوت پس از برداشت محصول ذرت انجام شد. هم‌زمان با هر اندازه‌گیری، یک نمونه خاک برای تعیین میزان رطوبت تهیه و پس از تعیین درصد وزنی رطوبت، با استفاده از ضرایب منحنی رطوبتی همان خاک، مکش متناظر با هر مقدار مقاومت فروروی خاک تعیین گردید.

در نهایت خصوصیات مختلف فیزیکی خاک شامل شاخص پایداری خاک‌دانه[6] در قالب نسبت کربن آلی به مجموع رس و سیلت خاک (رینولدز و همکاران، ۲۰۰۹)، شاخص S[7] از طریق محاسبه شیب منحنی رطوبتی خاک در حالت خشک شدن در نقطه عطف آن (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶)، تخلخل[8] و گنجایش هوایی خاک[9] به تفکیک خلل و فرج درشت و ریز (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵)، شاخص‌های موقعیت و شکل منحنی توزیع قطر

1- Retention Curve Program (RETC)
2- Sand Box
3- United states department of agriculture (USDA) system
4- Mean weight diameter (MWD)
5- Penetrometer
6- Stability index (SI)
7- S-index
8- Soil porosity (POR)
9- Soil air capacity (AC)

www.SID.ir

Archive of SID

خلل و فرج[1] (رینولدز و همکاران، ۲۰۰۹؛ زنگی‌آبادی و همکاران ۱۳۹۶)، ظرفیت مزرعه نسبی[2] در قالب نسبت رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه به رطوبت در نقطه اشباع (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵)، آب قابل استفاده و دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت ۱۰۰ و ۳۳۰ (ظرفیت مزرعه در دو مکش ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر) (عسگرزاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶)، گنجایش انتگرالی آب (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵) و انرژی انتگرالی آب در دامنه‌های مختلف رطوبتی (عسگرزاده و همکاران، ۲۰۱۱؛ زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) با استفاده از روابط مربوطه که مفصلاً در منابع توضیح داده شده است، محاسبه گردید. در این مطالعه برای انجام محاسبات انتگرالی در راستای تعیین مقدار گنجایش انتگرالی آب و انرژی انتگرالی آب در دامنه‌های رطوبتی مختلف، از نرم‌افزار Mathcad Prime 3 استفاده شد.

در خاتمه با استفاده از نرم افزارهای آماری JMP نسخه ۹/۰۲ و Path-Coefficients Analysis و استفاده از روش‌های همبستگی پیرسون، رگرسیون خطی چند-متغیره، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تجزیه مسیر (علیت) بین ویژگی‌های مختلف فیزیکی خاک و میزان محصول ذرت به ازاء واحد آب کاربردی به عنوان نتیجه برهم‌کنش و برآیند کلیه عوامل فیزیکی خاک ارتباط برقرار و مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک که بتوانند قسمت اعظم تفاوت بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای را توجیه نمایند، تعیین شد.

نتایج و بحث

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، خاک کرت‌های آزمایشی در پنج کلاس بافتی لوم، لوم شنی، لوم سیلتی و لوم رسی و لوم رسی سیلتی قرار گرفتند. نتایج تجزیه شن نشان داد که از بین پنج جزء شن، به طور متوسط شن خیلی-ریز و شن خیلی‌درشت به ترتیب بیشترین و کمترین سهم را به خود اختصاص دادند. جرم مخصوص ظاهری خاک در کرت‌های مطالعه شده بین ۱/۵۶–۱/۲۹ و میانگین ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کربن آلی خاک دارای دامنه‌ای بین ۱/۰۵–۰/۲۶ و به طور میانگین ۰/۵۳ درصد بود. توزیع اندازه خاک‌دانه در نمونه‌های بررسی شده نشان داد که به طور میانگین خاک‌دانه‌های با قطر ۱–۰/۵ میلی‌متر بیشترین سهم و خاک‌دانه‌های با قطر ۰/۲۵–۰ میلی‌متر کمترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند و محاسبه میانگین وزنی قطر خاک‌دانه با استفاده از توزیع مذکور نشان داد که مقدار این شاخص دارای دامنه‌ای بین ۲/۸۸–۰/۹۴ میلی‌متر و میانگینی برابر با ۱/۹۳ میلی‌متر می‌باشد. نتایج محاسبه شاخص پایداری خاک‌دانه در محدوده مورد مطالعه نشان داد که مقدار این شاخص دارای دامنه‌ای بین ۲/۶۱–۰/۷۶ درصد و میانگین برابر با ۱/۳۰ درصد می‌باشد. کم بودن مقدار شاخص پایداری خاک‌دانه را می‌توان به کم بودن مقدار کربن آلی خاک و سهم قابل توجه جزء سیلت در خاک این محدوده نسبت داد.

نتایج بررسی‌ها و پایش رشد و عملکرد محصول ذرت در ۳۰ کرت آزمایشی نشان داد که با اعمال شرایط یکسان مدیریت زراعی و مدیریت مزرعه، عملکرد محصول ذرت در کرت‌های مختلف متفاوت بود. این اختلاف ناشی از ویژگی‌های خاک و به طور ویژه خصوصیات فیزیکی کیفیت خاک در کرت‌های آزمایشی بود.

میانگین عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای (کل زیست‌توده هوایی) در سال اول معادل ۴۸۸۷۷ و در سال دوم معادل ۳۶۲۱۳ کیلوگرم در هکتار بود. بررسی میزان محصول تولید شده به ازاء واحد آب کاربردی (بهره‌وری مصرف آب) در طول دوره رشد گیاه ذرت در ۳۰ کرت آزمایشی حاکی از تولید به ترتیب ۹/۳۹ و ۵/۷۸ کیلوگرم محصول به ازاء هر مترمکعب آب کاربردی در سال‌های اول و دوم بود. در این مطالعه، میانگین بهره‌وری مصرف آب در دو سال متوالی برای هر کرت آزمایشی ملاک محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل آنها قرار گرفت.

1-Pore size distribution (PSD)

2- Relative field capacity (RFC)

www.SID.ir

Archive of SID

برای بررسی ارتباط بین ۳۵ ویژگی و شاخص فیزیکی خاک با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت به‌عنوان تابعی از وضعیت فیزیکی خاک‌های مطالعه شده، از ضریب همبستگی ساده و رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. جدول ۱ ضرائب همبستگی و سطوح معنی‌داری کل متغیرها و شاخص‌های فیزیکی خاک با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت را نشان می‌دهد.

نتایج این تجزیه نشان داد که از بین ۳۵ متغیر اندازه‌گیری شده بر روی ۳۰ نمونه خاک، تعداد ۱۰ متغیر دارای ضریب همبستگی معنی‌دار با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت می‌باشند. از این بین، سه شاخص آب قابل استفاده (۱۰۰)، انحراف‌معیار توزیع قطر خلل و فرج و شاخص S بیشترین ارتباط معنی‌دار را با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت نشان دادند، به‌گونه‌ای که افزایش آب قابل استفاده (۱۰۰) و شاخص S و کاهش انحراف‌معیار توزیع قطر خلل و فرج (کاهش تنوع در قطر خلل و فرج) با افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب در این محصول همراه است. نتایج این تجزیه نشان داد که کاهش انرژی انتگرالی آب در دامنه‌های مختلف رطوبتی، افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب در گیاه را به دنبال داشته است. به بیان دیگر، در خاک‌هایی که آب با سهولت بیشتری توسط ریشه گیاه جذب شده است، مقدار محصول تولید شده به ازاء هر مترمکعب آب کاربردی افزایش یافته است که کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. ضرایب مثبت و معنی‌دار ($P < 0.01$) بین شاخص‌های کشیدگی و افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج خاک با بهره‌وری مصرف آب حاکی از آن است که افزایش قطر خلل و فرج و همچنین تمایل منحنی توزیع اندازه خلل و فرج خاک به بلندتر بودن در مرکز و کشیده‌تر بودن آن در دو انتهای منحنی نسبت به حالت لوگ نرمال منجر به افزایش بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت شده است. رابطه مثبت و معنی‌دار ($P < 0.05$) اندازه دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (۱۰۰) با بهره‌وری مصرف آب در این مطالعه نیز بیان‌گر این واقعیت است که با بزرگ‌تر شدن اندازه این دامنه، تأثیر محدودیت‌های رشد گیاه که با پتانسیل ماتریک، تهویه و مقاومت فروروی خاک ارتباط پیدا می‌کنند، به حداقل می‌رسد. این نتیجه با نتایج گزارش شده توسط داسیلوا و کی (۱۹۹۶) مطابقت دارد.

رابطه رگرسیونی بین بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای به‌عنوان متغیر وابسته و کل مجموعه ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه رگرسیونی حاکی از ورود سه ویژگی آب قابل استفاده (۱۰۰)، انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)، شاخص افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج خاک به رابطه تخمین‌گر بهره‌وری مصرف آب با استفاده از کل مجموعه متغیرها و شاخص‌های فیزیکی خاک بود. در این رابطه، مقدار آب قابل استفاده (۱۰۰) با ضریب مثبت به تنهایی ۵۴ درصد و انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) با ضریب منفی و شاخص افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج با ضریب مثبت به‌ترتیب ۲۰ و ۷ درصد و در مجموع ۸۱ درصد تغییرات بهره‌وری مصرف آب در خاک‌های مطالعه شده را توجیه نمودند.

برای کاهش تعداد متغیرهای فیزیکی بررسی شده در این مطالعه از تجزیه مؤلفه‌های اصلی استفاده گردید. نتایج حاصل از این تجزیه در قالب جدول ۳ ارائه شده است. نتایج این بررسی نشان داد که به‌جای استفاده از ۳۵ متغیر، تنها شش ویژگی فیزیکی خاک به عنوان کوچک‌ترین مجموعه داده‌ها می‌توانند حدود ۹۰ درصد مجموع واریانس خاک‌های مورد مطالعه را توجیه نمایند. مشابه این نتیجه در خصوص تخلخل کل و آب قابل استفاده قبلاً توسط شون-هولتز و همکاران (۲۰۰۰) و رینولدز و همکارن (۲۰۰۸) نیز گزارش شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- ضرائب همبستگی و سطوح معنی‌داری کل مجموعه متغیرها و شاخص‌های فیزیکی خاک با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای (n=30)

متغیر ها	ضریب همبستگی	متغیر ها	ضریب همبستگی
جرم مخصوص ظاهری	-۰/۰۱ ns	میانه قطر خلل و فرج	-۰/۱۰ ns
شن خیلی درشت	-۰/۳۲ ns	مد قطر خلل و فرج	-۰/۳۲ ns
شن درشت	-۰/۲۰ ns	میانگین قطر خلل و فرج	۰/۱۰ ns
شن متوسط	-۰/۰۶ ns	انحراف‌معیار توزیع قطر خلل و فرج	-۰/۶۰ ***
شن ریز	۰/۰۳ ns	کشیدگی توزیع قطر خلل و فرج	۰/۴۹ **
شن خیلی ریز	۰/۱۸ ns	افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج	۰/۵۰ **
شن	-۰/۰۵ ns	ظرفیت مزرعه نسبی (۳۳۰)	-۰/۱۸ ns
سیلت	۰/۰۸ ns	آب قابل استفاده (۱۰۰)	۰/۷۳ ***
رس	-۰/۰۱ ns	آب قابل استفاده (۳۳۰)	۰/۱۴ ns
کربن‌آلی	-۰/۲۳ ns	دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (۱۰۰)	۰/۳۹ *
شاخص پایداری خاک‌دانه	-۰/۳۱ ns	دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (۳۳۰)	-۰/۰۹ ns
میانگین وزنی قطر خاک‌دانه	۰/۱۴ ns	گنجایش انتگرالی آب	۰/۳۳ ns
شاخص S	۰/۵۵ **	انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۱۰۰)	-۰/۵۰ **
تخلخل کل	۰/۱۷ ns	انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)	-۰/۲۹ ns
تخلخل خلل و فرج درشت	-۰/۲۲ ns	انرژی انتگرالی آب دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (۱۰۰)	-۰/۵۰ **
تخلخل خلل و فرج ریز	۰/۳۳ ns	انرژی انتگرالی آب دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (۳۳۰)	-۰/۴۰ *
گنجایش هوایی کل	۰/۱۸ ns	انرژی انتگرالی گنجایش انتگرالی آب	-۰/۴۹ **
گنجایش هوایی خلل و فرج ریز	۰/۳۳ ns		

***: معنی‌دار در سطح ۰/۱٪ **: معنی‌دار در سطح ۱٪ *: معنی‌دار در سطح ۵٪ ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۲- تجزیه رگرسیون خطی چندمتغیره بین کل مجموعه متغیرها با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای (n=30)

متغیر وابسته	متغیر مستقل	واحد	ضریب	ضریب تبیین	سطح معنی‌داری
بهره‌وری مصرف آب ($kg\ m^{-3}$)	آب قابل استفاده (۱۰۰)	($cm^3\ cm^{-3}$)	۲۴/۷۰۸	۰/۵۴	۰/۰۰۰
	انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)	($J\ kg^{-1}$)	-۰/۰۱۳	۰/۷۴	۰/۰۰۰
	افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج	-	۳۸/۸۳۱	۰/۸۱	۰/۰۰۲
	عرض از مبداء	-	-۳۸/۹۴۳	-	-

جدول ۳- متغیرهای کوچک‌ترین مجموعه داده بر اساس نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس همبستگی

مؤلفه	متغیر انتخاب شده	واحد	حداکثر	حداقل	میانگین
مؤلفه اول	میانگین قطر خلل و فرج	µm	۲۵/۱	۰/۵۰	۶/۵
مؤلفه دوم	آب قابل استفاده (۱۰۰)	$cm^3\ cm^{-3}$	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۲۰
مؤلفه سوم	تخلخل کل	$cm^3\ cm^{-3}$	۰/۵۱	۰/۴۰	۰/۴۶
مؤلفه چهارم	انرژی انتگرالی آب دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت (۳۳۰)	$J\ kg^{-1}$	۲۷۰	۴۷	۱۸۴
مؤلفه پنجم	شاخص پایداری خاک‌دانه	%	۲/۶۱	۰/۷۶	۱/۳۰
مؤلفه ششم	آب قابل استفاده (۳۳۰)	$cm^3\ cm^{-3}$	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۱۶

به‌منظور بررسی میزان و نوع ارتباط متغیرهای کوچک‌ترین مجموعه داده حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت، مجدداً از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده گردید. به‌گونه‌ای که بهره‌وری مصرف آب توسط گیاه در خاک‌های مورد مطالعه به عنوان متغیر وابسته و شش خصوصیت در قالب کوچک-ترین مجموعه داده به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- تجزیه رگرسیون خطی چند متغیره بین متغیرهای کوچک‌ترین مجموعه داده با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای (n=30)

متغیر وابسته	متغیر مستقل	واحد	ضریب	ضریب تبیین	سطح معنی‌داری
	آب قابل استفاده (۱۰۰)	($cm^3\ cm^{-3}$)	۲۷/۹۹۸	۰/۵۴	۰/۰۰۰
بهره‌وری	میانگین قطر خلل و فرج	(µm)	۰/۱۱۵	۰/۶۶	۰/۰۰۴
مصرف آب	آب قابل استفاده (۳۳۰)	($cm^3\ cm^{-3}$)	۲۱/۴۶۷	۰/۸۱	۰/۰۰۰
($kg\ m^{-3}$)	شاخص پایداری خاک‌دانه	(%)	−۰/۴۲۴	۰/۸۷	۰/۰۰۱
	عرض از مبداء	-	−۱/۵۶۰	−	−

ضریب تبیین رابطه رگرسیونی بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت با متغیرهای کوچک‌ترین مجموعه داده، نشان داد که متغیرهای ذکرشده را می‌توان به عنوان شاخص‌های مناسبی از کل متغیرهای بررسی شده در این مطالعه فرض نمود.

به منظور بررسی و تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل که وارد روابط رگرسیونی تخمین‌گر میزان بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت به‌عنوان متغیر وابسته شدند، از تجزیه مسیر یا علیت استفاده گردید. نتایج تجزیه مسیر متغیرهای واردشده به روابط رگرسیونی تخمین‌گر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت با استفاده از کل مجموعه متغیرها و کوچک‌ترین مجموعه داده‌ها به‌ترتیب در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج تجزیه مسیر متغیرهای واردشده به رابطه رگرسیونی تخمین‌گر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای با استفاده از کل مجموعه متغیرها

متغیر ها	آب قابل استفاده (۱۰۰)	انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)	افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج
آب قابل استفاده (۱۰۰)	۰/۷۰	۰/۱۴	۰/۲۸
انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)	−۰/۱	−۰/۴۹	−۰/۰۹
افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۳۱
ضریب همبستگی با بهره‌وری مصرف آب	۰/۷۳	−۰/۲۹	۰/۵۰

(اثرات باقی‌مانده[1]: ۰/۴۳)

در تجزیه مسیر، جمع جبری مقادیر مندرج در هر ستون جدول معادل ضریب همبستگی متغیر مربوطه با بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. مقادیر زیرخط بیان‌گر تأثیر مستقیم متغیر مربوطه بر بهره‌وری مصرف آب است، به‌گونه‌ای که تأثیر افزایش یا کاهش‌دهنده دیگر متغیرها از طریق متغیر مورد نظر حذف می‌گردد. بر این اساس، نتایج مندرج در جدول ۵ نشان داد که افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج خاک باعث افزایش و انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) منجر به کاهش اثر آب قابل استفاده (۱۰۰) بر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت شده است. در خصوص اثر انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) بر بهره‌وری مصرف آب، نتایج نشان داد که اثر مستقیم این شاخص از ضریب همبستگی آن با بهره‌وری مصرف آب بیشتر بوده و دو متغیر آب قابل استفاده (۱۰۰) و افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج خاک منجر به کاهش اثر این شاخص بر میزان بهره‌وری مصرف آب شده است. این موضوع در خصوص متغیر دیگر حالت معکوس داشته، به گونه‌ای که اثر مستقیم افراشتگی توزیع قطر خلل و فرج خاک کمتر از ضریب همبستگی آن با میزان بهره‌وری مصرف آب بوده و دیگر متغیرها منجر به افزایش ضریب همبستگی آن شده‌اند. بر این اساس متغیر ذکر شده از روند محاسبات حذف و در رابطه رگرسیونی نهایی لحاظ نشد.

1- Residual effects

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- نتایج تجزیه مسیر متغیرهای واردشده به رابطه رگرسیونی تخمین‌گر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای با استفاده از کوچک‌ترین مجموعه داده‌ها

متغیر ها	آب قابل استفاده (۱۰۰)	میانگین قطر خلل و فرج	آب قابل استفاده (۳۳۰)	شاخص پایداری خاک‌دانه
آب قابل استفاده (۱۰۰)	۰/۷۹	-۰/۲۵	۰/۲۱	-۰/۰۹
میانگین قطر خلل و فرج	-۰/۳۰	۰/۹۷	-۰/۸۰	-۰/۱۱
آب قابل استفاده (۳۳۰)	۰/۲۱	-۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۱۵
شاخص پایداری خاک‌دانه	۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۰۶	-۰/۲۶
ضریب همبستگی با بهره‌وری مصرف آب	۰/۷۳	۰/۱	۰/۱۴	-۰/۳۱

(اثرات باقی‌مانده: ۰/۳۶)

اثرات باقی‌مانده در تجزیه مسیر نشان می‌دهد که چه مقدار از تغییرات توسط متغیرهای مورد بررسی قابل تبیین نبوده و مربوط به سایر متغیرها می‌باشد. لذا در این تجزیه، مقادیر اثرات باقی مانده کمتر، مطلوب‌تر بوده و نشان می‌دهد که متغیرهای مطالعه شده سهم بزرگتری از تغییرات را تبیین می‌نمایند. بر این اساس و با توجه به اثرات باقی‌مانده مربوط به دو تجزیه مسیر ذکر شده (۰/۴۳ و ۰/۳۶)، کوچک‌ترین مجموعه داده حاصل از ماتریس همبستگی، تغییرات بهره‌وری مصرف آب را بهتر تبیین می‌کند.

نتایج تجزیه مسیر بر روی متغیرهای وارد شده به رابطه رگرسیون خطی چند متغیره بین کوچک‌ترین مجموعه داده به‌عنوان متغیر های مستقل و بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت به‌عنوان متغیر وابسته (جدول ۶) نشان داد که تأثیر مستقیم سه متغیر آب قابل استفاده (۱۰۰)، میانگین قطر خلل و فرج و آب قابل استفاده (۳۳۰) بر میزان بهره‌وری مصرف آب، بیشتر از ضریب همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و بهره‌وری می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، این اختلاف در خصوص دو متغیر میانگین قطر خلل و فرج و آب قابل استفاده (۳۳۰) بسیار قابل ملاحظه است. با بررسی دقیق‌تر مقادیر دو ستون مربوط به متغیرهای میانگین قطر خلل و فرج و آب قابل استفاده (۳۳۰) مشخص گردید که قسمت اعظم (۰/۶۵-) کاهش تأثیر میانگین قطر خلل و فرج بر بهره‌وری مصرف آب از طریق متغیر آب قابل استفاده (۳۳۰) و قسمت اعظم (۰/۸۰-) کاهش تأثیر آب قابل استفاده (۳۳۰) بر بهره‌وری مصرف آب از طریق متغیر میانگین قطر خلل و فرج حاصل شده است. ضریب همبستگی قوی بین این دو متغیر (۰/۸۳-) باعث کاهش ضریب همبستگی این دو متغیر با بهره‌وری مصرف آب شده است. لذا برای جلوگیری از ایجاد هم‌راستایی خطی، به منظور انتخاب مناسب‌ترین ویژگی فیزیکی خاک در رابطه با بهره‌وری مصرف آب باید یکی از دو متغیر ذکرشده حذف گردد. از آنجا که تأثیر مستقیم شاخص میانگین قطر خلل و فرج خاک (۰/۶۴) بیشتر از تأثیر مستقیم آب قابل استفاده (۳۳۰) (۰/۵۷) بود، لذا متغیر آب قابل استفاده (۳۳۰) از روند محاسبات آماری حذف گردید.

در نهایت به منظور دست‌یابی به رابطه‌ای برای تخمین زود هنگام بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای، از ویژگی‌های آب قابل استفاده (۱۰۰) و انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) مستخرج از رابطه اول و ویژگی‌های میانگین قطر خلل و فرج و شاخص پایداری خاک‌دانه که از رابطه دوم استخراج شدند به‌عنوان متغیرهای مستقل و بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت به‌عنوان متغیر وابسته در قالب تجزیه رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. نتایج این تجزیه در جدول ۷ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۷ سه ویژگی آب قابل استفاده (۱۰۰)، انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) و میانگین قطر خلل و فرج خاک توانسته‌اند ۷۸ درصد تغییرات بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت را توجیه نمایند که از این بین ۵۴ درصد توسط ویژگی آب قابل استفاده (۱۰۰)، ۲۰ درصد توسط انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) و ۴ درصد توسط میانگین قطر خلل و فرج

www.SID.ir

Archive of SID

خاک توجیه می‌گردد. جدول ۸ ضرائب همبستگی و سطوح معنی‌داری متغیرهای مستقل وارد شده به رابطه رگرسیونی نهایی را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که هیچ‌گونه ارتباط معنی‌دار و هم‌راستایی خطی بین متغیرهای وارد شده به رابطه نهایی تخمین‌گر بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت وجود نداشته و متغیرهای ذکر شده کاملا مستقل و از ویژگی‌های متمایز کننده خاک‌های مطالعه شده (نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی) محسوب می‌گردند.

جدول ۷- تجزیه رگرسیون خطی چندمتغیره بین متغیرهای منتخب حاصل از تجزیه مسیر با بهره‌وری مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای (n=30)

متغیر وابسته	متغیر مستقل	واحد	ضریب	ضریب تبیین	سطح معنی‌داری
بهره‌وری مصرف آب ($kg\ m^{-3}$)	آب قابل استفاده (۱۰۰)	($cm^3\ cm^{-3}$)	۳۱/۰۹۱	۰/۵۴	۰/۰۰۰
	انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)	($J\ kg^{-1}$)	−۰/۰۱۰	۰/۷۴	۰/۰۰۰
	میانگین قطر خلل و فرج	(µm)	۰/۰۲۸	۰/۷۸	۰/۰۲۴
	عرض از مبداء	-	۳/۶۰۷	–	–

جدول ۸- ضرائب همبستگی و سطوح معنی‌داری متغیرهای مستقل وارد شده به رابطه رگرسیونی نهایی (n=30)

متغیرهای مستقل	آب قابل استفاده (۱۰۰)	انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)	میانگین قطر معادل خلل و فرج
آب قابل استفاده (۱۰۰)	۱/۰۰		
انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰)	۰/۱۹^{ns}	۱/۰۰	
میانگین قطر معادل خلل و فرج	−۰/۳۱^{ns}	−۰/۳۳^{ns}	۱/۰۰

^{ns}: غیرمعنی‌دار

در مجموع می‌توان بیان نمود که از تعداد ۳۵ ویژگی فیزیکی بررسی شده در این مطالعه، به طور کلی ویژگی‌های مقدار و انرژی آب قابل استفاده و قطر خلل و فرج خاک مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک برای کشت محصول ذرت در خاک‌های مطالعه‌شده می‌باشند.

رینولدز و همکاران (۲۰۰۸) نیز آب قابل استفاده را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک تعیین نمودند. در مطالعه‌ای مشابه توسط مورا و همکاران (۲۰۰۹)، گزارش شده است که هیچ‌یک از خصوصیات خاک به تنهایی نمی‌توانند سهم قابل توجهی از تغییرات عملکرد ذرت را توجیه نمایند، لذا استفاده از مجموعه متغیرها در این خصوص توصیه می‌گردد.

لازم به ذکر است که نتایج این مطالعه برای مقادیر ۰/۲۳-۰/۱۲ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب آب قابل استفاده (۱۰۰)، مقادیر ۳۰۵/۶-۱۵۶/۱ ژول بر کیلوگرم انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) و مقادیر ۲۵/۱-۰/۵ میکرون میانگین قطر خلل و فرج خاک و برای پنج کلاس بافتی مطالعه شده صادق بوده و تعمیم این نتایج به مقادیر خارج از دامنه‌های ذکر شده و کلاس‌های بافتی دیگر، مستلزم مطالعه و واسنجی نتایج ارائه شده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که سه ویژگی فیزیکی خاک شامل میزان آب قابل استفاده (۱۰۰)، انرژی انتگرالی آب قابل استفاده (۳۳۰) و میانگین قطر خلل و فرج خاک در پنج کلاس بافتی لوم، لوم شنی، لوم سیلتی، لوم رسی و لوم رسی سیلتی به عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک برای کشت محصول ذرت علوفه‌ای محسوب می‌گردند و می‌توانند حدود ۸۰ درصد میزان عملکرد گیاه به ازاء واحد آب کاربردی را توجیه نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

۱. شهبازی، ک. و بشارتی، ح. ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی، جلد ۱، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۱۵.

۲. صاحب‌جمع، ع.ا. ۱۳۸۱. مطالعات تفصیلی دقیق خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق- استان خراسان رضوی. گزارش نهایی. نشریه شماره ۱۱۴۶. مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۳. زنگی‌آبادی، م.، گرجی اناری، م.، شرفا، م.، خاوری خراسانی، س. و سعادت، س. ۱۳۹۵. رابطه شاخص گنجایش انتگرالی آب با برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در استان خراسان رضوی. نشریه آب و خاک، جلد ۳۰، شماره ۴، صفحه‌های ۱۱۹۲ تا ۱۲۰۱.

۴. زنگی‌آبادی، م.، گرجی اناری، م.، شرفا، م.، کشاورز، پ. و سعادت، س. ۱۳۹۶. ارتباط انرژی انتگرالی آب در دامنه‌های مختلف رطوبتی با شاخص S در خاک‌های با بافت متوسط و سبک. نشریه آب و خاک، جلد ۳۱، شماره ۲، صفحه‌های ۳۸۶ تا ۳۹۸.

۵. زنگی‌آبادی، م.، گرجی اناری، م.، غالبی، س. و رمضانی‌مقدم، م.ر. ۱۳۹۶. تأثیر توزیع اندازه تخلخل خاک بر میزان انرژی انتگرالی آب در دامنه‌های مختلف رطوبتی. نشریه پژوهش‌های خاک، جلد ۳۱، شماره ۳، صفحه‌های ۴۶۳ تا ۴۷۲.

۶. عباسی، ف.، عباسی، ن. و توکلی، ع.ر. ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. نشریه آب و توسعه پایدار، جلد ۴، شماره ۱، صفحه‌های ۱۴۱ تا ۱۴۴.

۷. ناصری، ا.، عباسی، ف. و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۸، شماره ۶۸، صفحه‌های ۱۷ تا ۳۲.

8. Aparicio, V. and Costa, J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. Soil & Tillage Research, 96: 155–165.
9. Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Nosrati, A. and Dexter, A.R. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. Plant and Soil, 335: 229–244.
10. Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Nosrati, A. and Dexter, A.R. 2011. Integral energy of conventional available water, least limiting water range and integral water capacity for better characterization of water availability and soil physical quality. Geoderma, 166: 34– 42.
11. Betz, C.L., Allmaras, R.R., Copeland, S.M. and Randall, G.W. 1998. Least limiting water range: traffic and long term tillage influences in a Webster soil. Soil Science Society of America Journal, 62: 1384–1393.
12. Da Silva, A.P., Kay, B.D. and Perfect, E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Science Society of America Journal, 58: 1775–1781.
13. Da Silva, A.P. and Kay, B.D. 1996. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. Plant and Soil, 184: 323–329.
14. Da Silva, A.P. and Kay B.D. 2004. Linking process capability analysis and least limiting water range for assessing soil physical quality. Soil & Tillage Research, 79: 167–174.
15. Groenevelt, P.H., Grant, C.D. and Semetsa, S. 2001. A new procedure to determine soil water availability. Australian Journal of Soil Research, 39: 577–598.
16. Hao, X., Ball, B.C., Culley, J.L.B., Carter, M.R. and Parkin, G.W. 2007. Soil density and porosity. In Carter, M.R. and Gregorich, E.G. (eds.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Taylor & Francis, Abingdon. 743–759.
17. Imaz, M.J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O. and Karlen D.L. 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. Soil & Tillage Research, 107: 17–25.

www.SID.ir

Archive of SID

18. Kroetsch, D. and Wang, C. 2007. Particle size distribution. In Carter, M.R. and Gregorich, E.G. (eds.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Taylor & Francis, Abingdon. 713–725.
19. Larney, F.J. 2007. Dry-aggregate size distribution. In Carter, M.R. and Gregorich, E.G. (eds.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Taylor & Francis, Abingdon. 821–831.
20. Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Advances in Soil Science, 1: 277–294.
21. Minasny, B. and McBratney, A.B. 2003. Integral energy as a measure of soil–water availability. Plant and Soil, 249: 253–262.
22. Moura, E.G., Moura, N.G., Marques, E.S., Pinheiro, K.M., Costa, Sobrinho, J.R.S. and Aguiar, A.C.F. 2009. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. Soil Use and Management, 25: 368–375.
23. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A. and Yang, X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma, 152: 252– 263.
24. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M., Fox, C.A., Tan, C.S. and Zhang, T.Q. 2007. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. Soil & Tillage Research, 96: 316–330.
25. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Yang, X.M. and Tan, C.S. 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. Geoderma, 146: 466–474.
26. Reynolds, W.D. and Topp, G.C. 2007. Soil water desorption and imbibition: tension and pressure techniques. In Carter, M.R. and Gregorich, E.G. (eds.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Taylor & Francis, Abingdon. 981–997.
27. Rezaei, A., Gilkes, R.J. and Andrews, S.S. 2006. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. Geoderma, 136: 229–234.
28. Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H. and Burger, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest Ecology and Management, 138: 335-356.
29. Skjemstad, J.O. and Baldock, J.A. 2007. Total and organic carbon. In Carter, M.R. and Gregorich, E.G. (eds.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Taylor & Francis, Abingdon. 225–237.
30. Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44: 892–898.

www.SID.ir