نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد نهم، شماره چهارم، ۱۳۹۸
۱۴۵-۱۵۸
http://ejsms.gau.ac.ir

بازتعریف مفهوم شاخص آب قابل‌استفاده خاک در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک اراضی شالیزاری

***فاطمه مسکینی ویشکایی[۱] و ناصر دواتگر[۲]**

[۱]استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران، [۲]استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: کیفیت فیزیکی خاک، نقشی اساسی در مطالعات کیفیت خاک دارد و بررسی آن برای تولید پایدار اقتصادی، حفظ محیط زیست و جلوگیری از تخریب خاک، ضروری به‌نظر می‌رسد. در تعیین شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک و محدوده بهینه آن‌ها باید شرایط خاص کاربری اراضی و نوع گیاه کشت شده نیز در نظر گرفته شود. در اراضی شالیزاری برخلاف دیگر کاربری‌ها، با اضافه کردن آب به خاک و گلخراب کردن بسیاری از ویژگی‌ها و رفتارهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک تغییر می‌کند، از این‌رو انتظار بر این است که محدودیت‌های آن نیز با دیگر خاک‌ها متفاوت باشد. بنابراین این پژوهش با هدف بازنگری تعریف شاخص آب قابل‌استفاده خاک در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک براساس شرایط خاص گیاه برنج و عملیات آماده‌سازی اراضی شالیزاری انجام شد.

مواد و روش‌ها: ۴۰ نمونه خاک سطحی از اراضی شالیزاری استان گیلان انتخاب و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. علاوه بر شاخص S دکستر، شاخص آب قابل‌استفاده گیاه (PAW) به سه روش مختلف ۱) با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۱۰۰ سانتی‌متر به‌عنوان حد بالای قابلیت دسترسی آب خاک (PAW_{100}) ۲) با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر (PAW_{330}) و ۳) بازتعریف شاخص PAW با استفاده از رطوبت اشباع و رطوبت در مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر به‌ترتیب به‌عنوان حد بالا و پایین آب قابل استفاده گیاه برنج (PAW_{rice}) محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۶۵ و ۵۵ درصد نمونه‌های خاک دارای کیفیت فیزیکی مناسبی بودند. در حالی‌که بازنگری شاخص PAW در اراضی شالیزاری (محاسبه شاخص با استفاده از روش سوم، PAW_{rice}) بیانگر کیفیت فیزیکی خوب تا عالی در ۵/۵۷ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه بود. در نمونه‌های مورد مطالعه، استفاده از PAW_{100} مقدار آب قابل‌استفاده خاک را در تمامی کلاس‌های بافت خاک بیش از مقدار واقعی برآورد نمود. درحالی‌که استفاده از مفهوم PAW_{330} موجب بیش‌برآورد آب قابل‌استفاده خاک در کلاس‌های بافت خاک متوسط (شامل بافت‌های لوم سیلتی و لوم رسی سیلتی) گردید. اما، با سنگین‌تر شدن بافت خاک، مقدار آب قابل‌استفاده خاک را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد نمود. تغییرات میانگین شاخص S دکستر و PAW_{rice} در کلاس‌های بافت خاک مورد مطالعه با روند مشابه و به‌صورت بافت خاک لوم

* مسئول مکاتبه: fatemeh.meskini@yahoo.com

سیلتی > بافت رس سیلتی > بافت لوم رسی سیلتی > بافت لوم رسی > بافت رسی مشاهده شد. باید به این نکته نیز توجه نمود بر خلاف بازنگری در تعریف شاخص آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری مقدار شاخص S دکستر در محدوده مطلوب شاخص مذکور در خاک‌های مورد مطالعه بیش از ۰/۰۳۵ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: تفاوت در محدوده قابلیت دسترسی آب خاک در اراضی شالیزاری و اثر آن بر عملکرد گیاه برنج بیانگر لزوم بازنگری در تعریف شاخص آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری بود. علاوه بر این، بر خلاف بازنگری شاخص آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری، نتایج نشان داد که احتمالاً حد آستانه ۰/۰۳۵ برای شاخص S دکستر برای ارزیابی کیفیت فیزیکی خوب خاک از لحاظ قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه در اراضی شالیزاری مناسب است.

واژه‌های کلیدی: برنج، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، شاخص S دکستر

مقدمه

کیفیت خاک معمولاً از سه جنبه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ارزیابی می‌شود. مطالعات کیفیت خاک به‌منظور ارزیابی وسعت تخریب اراضی و تعیین عملیات مدیریتی برای کاربری پایدار اراضی ضروری است (۷). کیفیت فیزیکی خاک‌های کشاورزی عمدتاً به پایداری ساختمان خاک و توانایی آن‌ها در انتقال و ذخیره آب در ناحیه توسعه ریشه بستگی دارد (۱۹ و ۲۵). با بررسی شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک می‌توان از وضعیت خاک از نظر تهویه، سرعت نفوذ آب و دیگر شرایطی که برای رشد بهینه محصول مورد نیاز است، آگاه شد. هم‌چنین این بخش از کیفیت خاک، تأثیر زیادی بر فرآیندهای شیمیایی و بیولوژی در خاک و جذب آب و عناصر غذایی خاک توسط گیاه دارد (۷). بنابراین شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک، نقشی اساسی در مطالعات کیفیت خاک دارد و بررسی آن برای حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از تخریب خاک، ضروری به‌نظر می‌رسد (۲۰).

منحنی مشخصه آب خاک به‌دلیل تأثیرپذیری قابل‌توجه از اندازه و آرایش منافذ خاک به‌عنوان یک ویژگی معرف کیفیت پویای خاک نسبت به تغییر کاربری اراضی و اعمال مدیریت‌های مختلف حساس و تأثیرپذیر است (۷ و ١٦)، بنابراین شاخص‌های مختلفی با استفاده از این ویژگی خاک به‌منظور ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک بسط داده شد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک پیشنهادی توسط دکستر (٢٠٠٤) شیب منحنی مشخصه آب خاک در نقطه عطف آن می‌باشد که به‌عنوان شاخص S بیانگر جنبه‌های مختلف کیفیت فیزیکی خاک مانند نفوذ، سخت‌شدگی و فشردگی است (۸). از دیگر شاخص‌های مهم کیفیت فیزیکی خاک می‌توان به آب قابل‌استفاده گیاه اشاره نمود (۱۹). شاخص مذکور با استفاده از دو نقطه از منحنی مشخصه آب خاک شامل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به‌عنوان حد بالای آب قابل‌استفاده و رطوبت نقطه پژمردگی دائم به‌عنوان حد پایین آب قابل‌استفاده خاک محاسبه می‌شود. در زمین‌های کشاورزی وقتی شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت خاک در محدوده بهینه قرار داشته باشند، عملکرد محصول به بیش‌ترین مقدار می‌رسد و تخریب خاک و محیط زیست کاهش می‌یابد (۲۰). اما باید به این نکته توجه نمود که برای ارزیابی وضعیت کیفیت خاک، دامنه‌ای برای مقادیر بهینه شاخص‌های مختلف پیشنهاد شده است که ممکن است برای تمام خاک‌ها صدق نکند (۱۷). بنابراین، در تعیین محدوده بهینه شاخص‌های کیفیت خاک باید شرایط خاص خاک و گیاه کشت شده را نیز در نظر گرفت.

استان گیلان ۳۱/٦۹ درصد از سطح زیرکشت و ۲۷/۸۸ درصد از کل تولید شلتوک برنج در ایران را بر عهده دارد (۹). حدود ۱۵/٦ درصد کل مساحت استان گیلان و ٦۰ درصد از زمین‌های زراعی آن را کشت برنج تشکیل می‌دهد. سطح زیر کشت برنج در این استان نزدیک به ۲۰۰ هزار هکتار و متوسط عملکرد آن نیز نزدیک به چهار تن در هکتار می‌باشد (۱). طی سال‌های اخیر ارزیابی کیفیت فیزیکی اراضی شالیزاری استان گیلان مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است (۱٤ و ۲۱). رضایی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی برای ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک‌های شالیزاری استان گیلان از شاخص S دکستر استفاده نموده و نشان دادند که بر مبنای این شاخص، تمامی خاک‌های مورد مطالعه از کیفیت خوبی برخوردار بودند (۲۱). در پژوهشی دیگر مسکینی- ویشکایی و دوات‌گر (۲۰۱۸)، امکان استفاده از مفهوم انرژی انتگرالی در محدوده آب قابل‌استفاده خاک را به‌عنوان شاخصی از کیفیت فیزیکی خاک در اراضی شالیزاری ارزیابی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که کلاس‌های بافت خاک دارای بیش‌ترین مقدار انرژی انتگرالی، کم‌ترین مقدار شاخص S دکستر را نیز به خود اختصاص دادند (۱۵). اما توجه به این نکته ضروری است که خاک‌های شالیزاری با خاک دیگر اراضی کشاورزی متفاوت هستند. در این خاک‌ها که به‌نوعی مصنوع دست بشر هستند، اراضی آبیاری شده و کشاورزان با گلخراب‌کردن خاک، تخریب ساختمان خاک و تبدیل منافذ درشت خاک به فضاهای منفذی کوچک، نیازآبی گیاه برنج رابا ایجاد لایه‌ای با هدایت هیدرولیکی کم کاهش می‌دهند (۳ و ۲٦). در اراضی شالیزاری بر خلاف دیگر کاربری‌ها، با اضافه‌کردن آب به خاک و گلخراب‌کردن بسیاری از ویژگی‌ها و رفتارهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک تغییر می‌کند، از این‌رو انتظار بر این است که محدوده بهینه شاخص‌ها برای اعمال مدیریت مناسب برای رشد گیاه و هم‌چنین محدودیت‌ها با دیگر خاک‌ها و کاربری‌ها متفاوت باشد. نتایج پژوهش‌های بسیاری نشان داده است استفاده از رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه‌ای (مکش ۱۰۰ یا ۳۳۰ سانتی‌متر) به‌عنوان حد بالای آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری مناسب نبوده و جذب آب توسط برنج در مکش‌های نزدیک اشباع آغاز می‌شود (۳ و ٦). نتایج شارما (۱۹۸۹) بیانگر کاهش ۸ و ۱۳ درصدی عملکرد برنج در رطوبت خاک در مکش‌های ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متری بود (۲٤). علاوه بر این، بومن و تانگ (۲۰۰۱) نیز نشان دادند که در دامنه مکش خاک ۱۰۰ سانتی‌متر کاهش عملکرد گیاه برنج آغاز می‌شود (۳). نتایج مطالعات صدرالدینی و سلحشور دلیوند (۲۰۱۲) نیز در اراضی شالیزاری استان گیلان نشان داد که وقتی رطوبت خاک به مکش ۱۷٦ سانتی‌متر می‌رسد به‌دلیل افزایش پهنا و عمق ترک‌های ایجاد شده در سطح خاک، نشت جانبی آب افزایش یافته و در نتیجه قابلیت دسترسی آن برای گیاه کاهش می‌یابد (۲۲). بنابراین، استفاده از رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در روش‌های متداول (۱۰۰ یا ۳۳۰ سانتی‌متر) به‌عنوان حد بالای آب قابل‌استفاده در اراضی شالیزاری نمی‌تواند صحیح باشد. از این‌رو، این پژوهش با هدف بازنگری حدود رطوبتی بالا و پایین در محاسبه شاخص آب قابل‌استفاده خاک در ارزیابی کیفیت فیزیکی اراضی شالیزاری استان گیلان با در نظر گرفتن شرایط خاص رشد گیاه برنج انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان گیلان با مساحتی برابر ۱٤۷۰۰۰۰ هکتار در محدوده ۳٦ درجه و ۳٦ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ٤۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳٤ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است که ۳٤۰۰۰۰ هکتار از آن را اراضی کشاورزی (حدود ۲۳ درصد) تشکیل می‌دهد. آب و هوای منطقه مرطوب و متوسط بارندگی سالیانه در استان ۱۵۰٦ میلی‌متر است.

میانگین حداکثر حرارت در حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل حرارت ٦/٦ درجه سانتی‌گراد و تبخیر سالیانه حدود ۹۰ میلی‌متر است. در این پژوهش ٤۰ نمونه خاک دست‌خورده از اراضی شالیزاری استان گیلان به‌صورت تصادفی از خاک سطحی نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از کوبیدن و خشک‌نمودن از الک دو میلی‌متری برای انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتر و الک (۱۰) و جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از نمونه دست‌نخورده و به روش سیلندر (۱۱) تعیین گردید. به‌منظور تعیین منحنی مشخصه آب خاک، ابتدا نمونه‌ها با محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ نرمال از پائین اشباع و رطوبت آن‌ها با استفاده از ستون قیف آویزان (در مکش ۱۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر)، دستگاه صفحات فشاری (در مکش ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ سانتی‌متر) و غشای فشاری (در مکش ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد (۵). با استفاده از نرم‌افزار RETC معادله ون‌گنوختن (۲۵) (رابطه ۱) بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری‌شده برازش داده شد:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^m} \qquad (1)$$

که در آن، θ_r و θ_S به‌ترتیب رطوبت حجمی باقی‌مانده و اشباع (cm^3cm^{-3})، h مکش ماتریک خاک (cm)، α عکس مکش ورود هوا (cm^{-1}) و n پارامترهای تعیین‌کننده شکل منحنی مشخصه آب خاک هستند. علاوه بر این، از فرض $m = 1 - \frac{1}{n}$ استفاده شد. میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه براساس کلاس‌های مختلف بافت خاک در جدول ۱ ارائه شده است. نمونه‌های مورد مطالعه دارای ۳۵ درصد بافت خاک لوم رسی سیلتی (١٤ نمونه خاک)، ۲۰ درصد بافت رس سیلتی (۸ نمونه)، ۲۰ درصد بافت لوم سیلتی (۸ نمونه)، ۱۷/۵ درصد بافت لوم رسی (۷ نمونه) و ۷/۵ درصد بافت خاک رسی (۳ نمونه) بودند.

جدول ۱- میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و پارامترهای حاصل از برازش معادله ون‌گنوختن (رابطه ۱) بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک و ضرایب رطوبتی خاک در کلاس‌های بافت خاک مورد مطالعه.

Table 1. The average of some soil physical properties and fitted parameters of van Genuchten equation (eq. 1) on soil water characteristic curves and soil moisture coefficients for the studied soil textural classes.

θ_{PWP} ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_{FC330} ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_{FC100} ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_S ($cm^3 cm^{-3}$)	n (-)	BD ($g\ cm^{-3}$)	رس ($kg\ kg^{-1}$)	بافت خاک Soil texture
0.16 (±0.03)	0.36 (±0.12)	0.40 (±0.14)	0.43 (±0.14)	1.24 (±0.12)	1.34 (±0.20)	33 (± 3.5)*	لوم رسی سیلتی Silty clay loam
0.18 (±0.02)	0.38 (±0.08)	0.44 (±0.08)	0.48 (±0.07)	1.27 (±0.18)	1.21 (±0.19)	45 (± 3)	رس سیلتی Silty Clay
0.17 (±0.05)	0.40 (±0.08)	0.46 (±0.10)	0.50 (±0.12)	1.28 (±0.12)	1.20 (±0.20)	21 (± 5)	لوم سیلتی Silty loam
0.16 (±0.03)	0.28 (±0.08)	0.32 (±0.09)	0.36 (±0.10)	1.15 (±0.05)	1.47 (±0.22)	30 (± 2)	لوم رسی Clay loam
0.21 (±0.03)	0.29 (±0.03)	0.31 (±0.03)	0.35 (±0.04)	1.08 (±0.02)	1.42 (±0.02)	55 (± 1)	رسی Clay
0.17 (±0.03)	0.36 (±0.10)	0.40 (±0.11)	0.44 (±0.12)	1.23 (±0.13)	1.31 (±0.21)	34 (± 10)	کل نمونه‌ها Total

BD: جرم مخصوص ظاهری خاک، θ_S: رطوبت اشباع خاک، θ_{FC100} و θ_{FC330}: رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای به‌ترتیب در مکش‌های ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر، θ_{PWP}: رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم. * اعداد داخل پرانتز انحراف معیار مقادیر هر ویژگی در هر کلاس بافت خاک می‌باشند.

BD: Bulk density; θ_s: Soil saturation moisture; θ_{FC100} and θ_{FC330}: Field capacity at soil suction of 100 and 300 cm, respectively; θ_{PWP}: Soil moisture at permanent wilting point. * Bracketted values are standard error of each property for each soil textural class.

شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک

شاخص S دکستر: شیب منحنی مشخصه آب خاک در نقطه عطف را شاخص S دکستر می‌نامند که با استفاده از پارامترهای معادله ون‌گنوختن (رابطه ۱) قابل‌برآورد می‌باشد (۷):

$$S = -n(\theta_{sg} - \theta_{rg})\left[\frac{2n-1}{n-1}\right]^{(\frac{1}{n}-2)} \qquad (۲)$$

که در آن، θ_{rg} و θ_{Sg} به‌ترتیب رطوبت جرمی باقی‌مانده و اشباع خاک ($kg\ kg^{-1}$) هستند که از تقسیم رطوبت‌های حجمی باقی‌مانده و اشباع بر جرم مخصوص ظاهری هر خاک محاسبه شدند. قدرمطلق مقدار محاسبه‌شده با استفاده از رابطه ۲ به‌عنوان مقدار شاخص S دکستر گزارش می‌شود. از نظر کیفیت فیزیکی خاک و بر مبنای شاخص S دکستر، خاک‌ها در ٤ گروه کیفیت فیزیکی خیلی‌ضعیف ($S<$ ۰/۰۲۰)، ضعیف (۰/۰۲۰ $\leq S<$ ۰/۰۳۵)، خوب (۰/۰۳۵ $\leq S<$ ۰/۰۵۰) و خیلی‌خوب ($S\geq$ ۰/۰۵۰) قرار دارند (۷).

شاخص آب قابل‌استفاده خاک ($PAW, cm^3\ cm^{-3}$): نشان‌دهنده توانایی خاک برای ذخیره و فراهم نمودن آب قابل‌استفاده برای ریشه گیاهان می‌باشد. وهمیر و هندریکسون (۱۹۲۷) شاخص آب قابل‌استفاده را رطوبت نگه‌داری‌شده بین رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) تعریف نمودند (رابطه ۳).

$$PAW = \theta_{FC} - \theta_{PWP} \quad ; 0 \leq PAW \leq \theta_{FC} \qquad (۳)$$

که در آن، θ_{PWP} مقدار رطوبت خاک در مکش خاک معادل ۱۵۰۰۰ cm است. برای گروه‌بندی مقادیر $PAW\geq$ ۰/۲۰ $cm^3\ cm^{-3}$ به‌عنوان شرایط "عالی" برای حداکثر رشد ریشه (٤)، ۰/۱۵ $\leq PAW <$ ۰/۲۰ $cm^3 cm^{-3}$ به‌عنوان شرایط "خوب"، ۰/۱۰ $\leq PAW <$ ۰/۱۵ $cm^3 cm^{-3}$ شرایط "محدود" و $PAW <$ ۰/۱۰ $cm^3 cm^{-3}$ شرایط "ضعیف و خشک" (۲۹ و ۳۱) در نظر گرفته می‌شوند.

در این پژوهش برای تعیین مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای از دو مکش ۱۰۰ سانتی‌متر (FC_{100}) و ۳۳۰ سانتی‌متر (FC_{330}) استفاده خواهد شد. بنابراین، شاخص آب قابل‌استفاده گیاه (PAW_{100}, PAW_{330}) با توجه به مکش معادل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، مقادیر متفاوتی خواهد داشت.

بازنگری مفهوم شاخص آب قابل‌استفاده خاک برای گیاه برنج در اراضی شالیزاری

شاخص آب قابل‌استفاده گیاه برنج (PAW_{rice}): ریشه گیاه برنج قادر است در شرایط بی‌هوازی آب جذب نماید از این‌رو، در حد بالای آب قابل‌استفاده گیاه در اراضی شالیزاری باید از رطوبت اشباع خاک استفاده نمود (۳ و ٦). این در حالی است که پژوهشگران بسیاری گزارش نموده‌اند که ریشه برنج حداکثر تا مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر قادر به جذب آب خاک است و با افزایش بیش‌تر مکش خاک، فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه متوقف می‌شود (٦ و ۳۲). بنابراین، در این پژوهش برای محاسبه مقدار آب قابل‌استفاده خاک برای گیاه برنج از رابطه (۵) استفاده شد:

$$PAW_{rice} = \theta_S - \theta_{2000} \qquad (۵)$$

تجزیه و تحلیل آماری، آنالیز همبستگی و مقایسه میانگین نمونه‌های خاک با استفاده از آزمون T-test جفت‌شده، تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون دانکن در نرم‌افزار SPSS v19 انجام شد.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی مقادیر شاخص‌های محاسبه شده در خاک‌های مورد مطالعه و گروه‌بندی خاک‌ها به‌ترتیب در جدول ۲ و شکل ۱ ارائه شده است. میانگین شاخص S دکستر در مجموع ٤٠ نمونه خاک بیش از ۰/۰۳۵ به‌دست آمد (جدول ۲) که با نتایج پژوهش‌های رضایی و همکاران (۲۰۱۷)، مسکینی-ویشکایی و دواتگر (۲۰۱۸) در اراضی شالیزاری استان گیلان مطابقت دارد (۱۵ و ۲۲). براساس شاخص S دکستر، ٤۲/۵ درصد از نمونه‌های خاک در گروه کیفیت فیزیکی خیلی‌ضعیف و ضعیف ($S < ۰/۰۳۵$)، قرار گرفتند، در حالی‌که ۲۰ و ۳۷/۵ درصد از نمونه‌های خاک به‌ترتیب از کیفیت فیزیکی خوب ($۰/۰۳۵ \geq S > ۰/۰۵$) و خیلی‌خوب ($S > ۰/۰۵$) برخوردار بودند (شکل ۱- الف).

جدول ۲- آماره‌های توصیفی شاخص‌های S دکستر، ظرفیت هوا و آب قابل‌استفاده گیاه با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر.

Table 2. Descriptive criteria of Dexter's S and soil available water indices by different assumptions.

PAW_{rice} ($cm^3\ cm^{-3}$)	PAW_{330} ($cm^3\ cm^{-3}$)	PAW_{100} ($cm^3\ cm^{-3}$)	شاخص S (-) S index(-)	
0.413	0.436	0.530	0.148	بیشینه maximum
0.083	0.064	0.086	0.011	کمینه minimum
0.181	0.186	0.232	0.050	میانگین average
45	54	51	74	ضریب تغییرات (٪) Variation coefficient

PAW_{100} و PAW_{330} به‌ترتیب شاخص آب قابل‌استفاده خاک با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک در مکش ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان حد بالای قابلیت دسترسی آب خاک؛ PAW_{rice} شاخص بازنگری‌شده آب قابل‌استفاده خاک برای گیاه برنج در اراضی شالیزاری است.

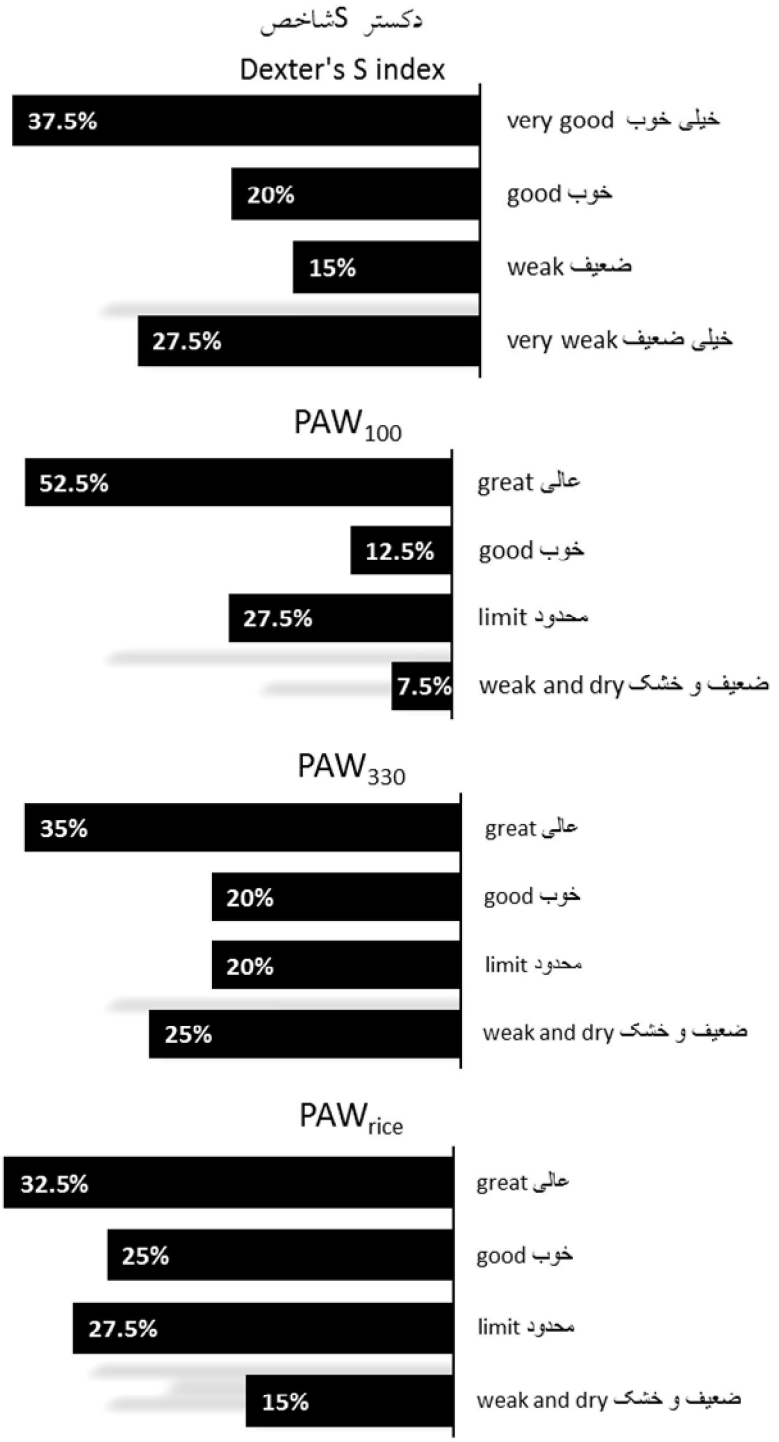
PAW_{100} and PAW_{330} are soil available water indicators by assumption of soil field capacity moisture at soil suction of 100 and 330 cm, respectively, as upper limit of soil water availability; PAW_{rice} is redefined soil available water indicator for rice in paddy fields.

مقادیر شاخص آب قابل‌استفاده خاک محاسبه‌شده با فرض FC_{100} (PAW_{100}) نشان داد که میانگین مقدار PAW_{100} در نمونه‌های خاک مورد مطالعه $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۲۳۲ بود و ٦۵ درصد از نمونه‌های خاک مورد مطالعه در گروه خوب تا عالی ($PAW \geq ۰/۱۵\ cm^3\ cm^{-3}$) قرار گرفتند (شکل ۱- ب). در حالی‌که محاسبه شاخص آب قابل‌استفاده خاک با فرض رطوبت FC_{330} (PAW_{330}) موجب شد که درصد بیش‌تری از نمونه خاک‌های مورد مطالعه از لحاظ مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در دو گروه ضعیف و خشک و محدود واقع شوند ($PAW < ۰/۱۵\ cm^3\ cm^{-3}$). نتایج نشان داد که ۵۵ درصد از نمونه‌های خاک براساس شاخص PAW_{330} در گروه خوب تا عالی ($PAW \geq ۰/۱۵\ cm^3\ cm^{-3}$) قرار گرفتند (شکل ۱- ج).

شاخص PAW_{rice} مقدار واقعی آبی است که گیاه برنج قادر به جذب آن از خاک در اراضی شالیزاری

می‌باشد. نتایج نشان داد که میانگین مقدار PAW_{rice} در نمونه‌های خاک مورد مطالعه ۰/۱۸۱ $cm^3\ cm^{-3}$ و محدوده تغییرات آن از ۰/۰۸٤ تا ۰/٤۱۳ $cm^3\ cm^{-3}$ بود (جدول ۲). گروه‌بندی نمونه‌های خاک مورد مطالعه براساس شاخص PAW_{rice} نشان داد که ۱۵ درصد نمونه‌های خاک در گروه ضعیف و خشک ($PAW < ۰/۱۰\ cm^3\ cm^{-3}$)، ۲۷/۵ درصد نمونه‌های خاک در گروه محدود ($۰/۱۰ \leq PAW < ۰/۱۵\ cm^3\ cm^{-3}$) و به‌ترتیب ۲۵ و ۳۲/۵ درصد نمونه‌ها در گروه خوب ($۰/۱۵ \leq PAW < ۰/۲۰\ cm^3\ cm^{-3}$) و عالی ($PAW \geq ۰/۲۰\ cm^3\ cm^{-3}$) از نظر مقدار آب قابل‌استفاده گیاه قرار گرفتند (شکل ۱).

مقایسه میانگین مقدار واقعی آب قابل‌استفاده گیاه برنج (PAW_{rice}) با مقادیر محاسبه شده برای شاخص PAW به روش متداول بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین دو روش PAW_{rice} و PAW_{330} بود. در حالی‌که بین دو روش PAW_{rice} و PAW_{100} اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در واقع در نمونه‌های خاک مورد مطالعه در این پژوهش، مقدار رطوبت خاک موجود بین رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر و نقطه پژمردگی دائم تقریباً مشابه مقدار رطوبت موجود در محدوده رطوبت اشباع خاک تا مکش ۲۰۰۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر PAW_{rice} و PAW_{330} در هر یک از نمونه‌های خاک با استفاده از آزمون T-test جفت‌شده نیز تأییدی بر این مدعا است. بر خلاف این‌که نتایج پژوهش مسکینی- ویشکایی و دواتگر (۲۰۱۸) نیز نشان داد که بین مقدار انرژی انتگرالی در محدوده آب قابل‌استفاده خاک براساس تعریف PAW_{330} همبستگی‌های معنی‌دار بیش‌تری با ویژگی‌های پایه خاک در اراضی شالیزاری نسبت به PAW_{100} وجود داشت (۱۵). اما در استفاده از این شاخص باید به این نکته توجه نمود که با وجود برآورد مقدار مشابه آب قابل‌استفاده خاک در دو روش PAW_{rice} و PAW_{330}، محدوده مکش خاک که در آن آب خاک در دسترس گیاه قرار می‌گیرد، در دو روش مذکور متفاوت است که در برنامه‌ریزی آبیاری بسیار مهم است و همین امر بیانگر ضرورت بازنگری شاخص آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری است. بنابراین، با توجه به این‌که استفاده از مفهوم آب قابل‌استفاده خاک، تنها به هدف ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک نبوده و مبنای برنامه‌ریزی آبیاری در مزارع می‌باشد، از این‌رو، نمی‌توان از مفهوم PAW_{330} برای تعیین مقدار آب قابل‌استفاده گیاه در اراضی شالیزاری استفاده نمود. نتایج صدرالدینی و سلحشور دلیوند (۲۰۱۲) نیز نشان داد که رطوبت آستانه کاهش جذب آب در اراضی شالیزاری در گیاه برنج رقم هاشمی در مکش‌های کم‌تر از ۳۳۰ سانتی‌متر (در مکش معادل ۲۵۱ سانتی‌متر) رخ می‌دهد (۲۲). بنابراین نمی‌توان از رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۳۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان حدبالای قابلیت دسترسی آب خاک در اراضی شالیزاری استفاده نمود.



شکل ۱- گروه‌بندی نمونه‌های خاک مورد مطالعه براساس شاخص S دکستر و شاخص آب قابل‌استفاده خاک (PAW_{100} و PAW_{330}: شاخص آب قابل‌استفاده خاک به‌ترتیب با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر؛ PAW_{rice}: شاخص بازنگری شده آب قابل‌استفاده خاک برای برنج در اراضی شالیزاری).

Figure 1. The classification of studied soil samples based on Dexter's S and soil available water indicators (PAW_{100} and PAW_{330} are soil available water index by assumption of soil field capacity moisture at soil suction of 100 and 330 cm, respectively, as upper limit of soil water availability; PAW_{rice} is redefined soil available water index for rice in paddy fields.).

در جدول ۳ مقادیر میانگین و انحراف معیار شاخص S دکستر و شاخص آب قابل‌استفاده خاک محاسبه شده با فرضیات مختلف PAW_{100}، PAW_{330} و PAW_{rice} در کلاس‌های مختلف بافت خاک نمونه‌های خاک مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار میانگین شاخص S دکستر در بافت خاک لوم سیلتی به‌دست آمد. علاوه بر این، نمونه‌های خاک با بافت لوم سیلتی، بیش‌ترین مقدار میانگین شاخص آب قابل‌استفاده خاک را در هر سه روش برآورد به خود اختصاص داد. روند تغییرات میانگین شاخص S دکستر در نمونه‌های خاک مورد مطالعه به‌صورت بافت خاک لوم سیلتی > رس سیلتی > لوم رسی سیلتی > لوم رسی > رسی بود. در مورد تغییرات مقدار میانگین PAW_{rice} نیز روند مشابهی مشاهده شد. مقایسه مقدار آب قابل‌استفاده برآورده شده با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای در مکش ۱۰۰ سانتی‌متر به‌عنوان حد بالای قابلیت دسترسی آب خاک با میانگین مقادیر PAW_{rice} در هر کلاس بافت خاک نشان داد که استفاده از PAW_{100} موجب بیش‌برآورد مقدار آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری می‌گردد. در حالی‌که استفاده از مفهوم PAW_{330} موجب بیش‌برآورد آب قابل‌استفاده خاک در کلاس‌های بافت خاک متوسط (شامل بافت‌های لوم سیلتی و لوم رسی سیلتی) گردید و با سنگین‌تر شدن بافت خاک، روش PAW_{330} مقدار آب قابل‌استفاده خاک را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد نمود (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین شاخص S دکستر و شاخص آب قابل‌استفاده خاک با فرضیات مختلف در کلاس‌های بافت خاک مورد مطالعه.

Table 3. The average values of Dexter's S and soil available water indicators by different assumptions for studied soil textural classes.

PAW_{rice} ($cm^3\ cm^{-3}$)	PAW_{330} ($cm^3\ cm^{-3}$)	PAW_{100} ($cm^3\ cm^{-3}$)	شاخص S (-) S index (-)	کلاس بافت خاک Soil textural class
0.178 (± 0.088)	0.201 (± 0.121)	0.244 (± 0.139)	0.053 (± 0.044)*	لوم رسی سیلتی Silty clay loam
0.204 (± 0.059)	0.207 (± 0.077)	0.259 (± 0.087)	0.059 (± 0.029)	رس سیلتی Silty clay
0.227 (± 0.092)	0.238 (± 0.088)	0.294 (± 0.105)	0.079 (± 0.038)	لوم سیلتی Silty loam
0.144 (± 0.058)	0.122 (± 0.056)	0.160 (± 0.074)	0.029 (± 0.018)	لوم رسی Clay loam
0.096 (± 0.013)	0.076 (± 0.011)	0.100 (± 0.012)	0.015 (± 0.002)	رسی Clay
0.181 (± 0.081)	0.186 (± 0.101)	0.231 (± 0.118)	0.050 (± 0.037)	کل نمونه‌ها Total

PAW_{100} و PAW_{330} به‌ترتیب شاخص آب قابل‌استفاده خاک با فرض رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای خاک در مکش ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان حد بالای قابلیت دسترسی آب خاک؛ PAW_{rice} شاخص بازنگری‌شده آب قابل‌استفاده خاک برای گیاه برنج در اراضی شالیزاری است. * اعداد داخل پرانتز انحراف معیار مقادیر هر ویژگی در هر کلاس بافت خاک می‌باشند.

PAW_{100} and PAW_{330} are soil available water index by assumption of soil field capacity moisture at soil suction of 100 and 330 cm, respectively, as upper limit of soil water availability; PAW_{rice} is redefined soil available water index for rice in paddy fields. *Bracketted values are standard error which can be used to estimate the confidence interval around the corresponding mean.

نتایج آنالیز همبستگی بین مقادیر شاخص PAW_{rice} با ویژگی‌های زودیافت خاک در جدول ٤ ارائه شده است. بین PAW_{rice} با رطوبت اشباع، کربن آلی خاک و نسبت کربن آلی به رس خاک همبستگی معنی‌دار مثبت و با جرم مخصوص ظاهری خاک همبستگی معنی‌دار منفی مشاهده شد ($P<۰/۰۱$). وجود همبستگی

بسیار قوی بین PAW_{rice} با رطوبت اشباع خاک به‌دلیل استفاده از رطوبت اشباع خاک در محاسبه شاخص مذکور به‌عنوان حدبالای قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه برنج است. دومین ویژگی خاک دارای بیش‌ترین همبستگی خطی با PAW_{rice}، مقدار کربن آلی خاک است (r=۰/۸٤٤). افزایش ماده آلی خاک به‌دلیل تأثیر بر خاکدانه‌سازی خاک (ساختمان خاک) و توزیع اندازه منافذ خاک موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌گردد (۱۲ و ۲۳). اثر تغییر مقدار کربن آلی خاک بر مقدار رطوبت خاک متأثر از بافت خاک به‌ویژه مقدار رس خاک است. در کلاس‌های بافت خاک حاوی مقادیر بالاتر رس، اثرات افزایش مقدار ماده آلی بر نگهداشت رطوبت خاک کم‌تر مشهود است (۲۳). بنابراین در خاک‌هایی با بافت درشت نسبت به خاک‌های با بافت ریز، مقدار ماده آلی خاک تأثیر بیش‌تری بر ظرفیت نگهداشت آب خاک دارد، به‌گونه‌ای که حتی در خاک‌های حاوی مقادیر بسیار بالای رس خاک (خاک‌های ورتی‌سول) افزایش کربن آلی خاک ممکن است موجب کاهش توانایی نگهداشت رطوبت خاک گردد. دلیل این امر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک‌های مذکور در اثر افزایش کربن آلی خاک و کاهش مقدار رطوبت حجمی خاک است هر چند ممکن است مقدار رطوبت وزنی افزایش یابد (۱۸). بین جرم مخصوص ظاهری خاک و مقدار آب قابل‌استفاده خاک برای برنج همبستگی منفی مشاهده شد که دلیل این امر کاهش منافذ درشت خاک در اثر فشردگی خاک است (۲۳).

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های پایه خاک با شاخص بازنگری شده مقدار آب قابل‌استفاده خاک برای گیاه برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان.

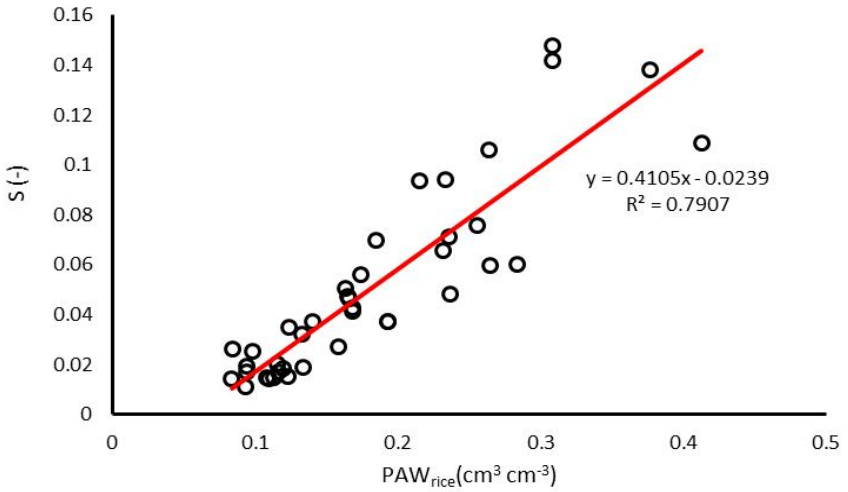
Table 4. The correlation coefficients between redefined indicator of soil available water for rice in paddy fields of Guilan province.

	ماده آلی Organic matter	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	جرم مخصوص ظاهری Bulk density	رطوبت اشباع Saturation moisture	نسبت ماده آلی به رس Organic matter to clay ratio
ماده آلی Organic matter	1						
شن Sand	0.027	1					
سیلت Silt	0.232	0.069	1				
رس Clay	-0.187	-0.684**	-0.775**	1			
جرم مخصوص ظاهری Bulk density	-0.822**	0.187	-0.298	0.100	1		
رطوبت اشباع Saturation moisture	0.850**	-0.119	0.284	-0.132	-0.882**	1	
نسبت ماده آلی به رس Organic matter to clay ratio	0.821**	0.127	0.525**	-0.555**	-0.734**	0.733**	1
PAW_{rice}	0.844**	-0.011	0.300	-0.212	-0.820**	0.962**	0.746**

PAW_{rice}: شاخص بازنگری شده مقدار آب قابل‌استفاده خاک برای برنج در اراضی شالیزاری. ** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن همبستگی در سطح احتمال ۱ درصد است.

PAW_{rice} is redefined soil available water indicator for rice in paddy fields. ** Significant at 1% probability level.

باید به این نکته توجه نمود بر خلاف بازنگری شاخص آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری، مقدار شاخص S دکستر در محدوده مطلوب شاخص PAW_{rice} بیش از ۰/۰۳۵ به‌دست آمد. در خاک‌هایی با مقدار مناسب آب قابل‌استفاده خاک برای کشت برنج، مقدار شاخص S دکستر به‌طور میانگین ۰/۰۸۷ بود. رابطه بسط داده شده بین شاخص S دکستر و PAW_{rice} (شکل ۲) و جایگزاری محدوده مطلوب مقدار آب قابل‌استفاده ($PAW > ۰/۱۵ \ cm^3 \ cm^{-3}$) در رابطه بسط داده شده بیانگر مناسب‌بودن حد ۰/۰۳۵ به‌عنوان حد آستانه کیفیت فیزیکی مناسب خاک براساس شاخص S دکستر است. باید به این نکته نیز توجه نمود که با استفاده از هر دو شاخص S دکستر و PAW_{rice}، ۵۷/۵ درصد از نمونه خاک‌های شالیزاری مورد مطالعه دارای کیفیت فیزیکی مناسبی بودند. البته ذکر این مورد ضروری است که در این پژوهش تنها کیفیت فیزیکی از لحاظ مقدار آب قابل‌استفاده خاک برای گیاه مدنظر قرار گرفته و سایر جنبه‌های کیفیت فیزیکی خاک هم‌چون تهویه، منافذ درشت خاک، تعادل بین هوا و آب در خاک، مقاومت مکانیکی خاک و ... در نظر گرفته نشده است. مفاهیمی هم‌چون کمبود تهویه (شاخص ظرفیت هوا، منافذ درشت خاک) و تعادل بین هوا و آب (شاخص نسبت رطوبت ظرفیت زراعی به رطوبت اشباع) در خاک شالیزاری کاملاً متفاوت از سایر خاک‌هاست، بنابراین این شاخص‌ها نیز باید برای خاک‌های شالیزاری بازنگری و بازتعریف گردند. بنابراین در صورت بررسی سایر محدودیت‌ها، احتمالاً استفاده از شاخص S دکستر به‌تنهایی برای ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک کافی نخواهد بود. نتایج پژوهشگران بسیاری نشان داد که برای ارزیابی جامع کیفیت خاک و در نظر گرفتن تمام جنبه‌های کیفیت فیزیکی خاک مؤثر بر رشد گیاه لازم است علاوه بر شاخص S دکستر، سایر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک نیز در نظر گرفته شود (۱۵ و ۲۰).



شکل ۲- رابطه بین شاخص S دکستر و شاخص آب قابل‌استفاده گیاه برنج (PAW_{rice}) در ٤٠ نمونه خاک اراضی شالیزاری استان گیلان.

Figure 2. The relation between Dexter's S index and soil available water indicator for rice (PAW_{rice}) in 40 soil samples of paddy fields of Guilan province.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی کیفیت فیزیکی اراضی شالیزاری، مفهوم شاخص آب قابل‌استفاده خاک با در نظر گرفتن شرایط خاص خاک در اراضی شالیزاری، عملیات آماده‌سازی آن‌ها و شرایط رشد گیاه برنج بازتعریف گردید. با وجود این‌که مقادیر شاخص بازنگری شده آب قابل‌استفاده خاک تاحدی مشابه با مقادیر شاخص محاسبه‌شده به روش‌های متداول بود اما، با توجه به تفاوت در محدوده قابلیت دسترسی آب خاک و تأثیر مستقیم آن در مدیریت آبیاری مزارع و عملکرد گیاه برنج، نتایج این پژوهش بیانگر لزوم بازنگری در تعریف شاخص آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری بود. بر خلاف بازنگری و تغییر حدود بالا و پایین در تعریف شاخص آب قابل‌استفاده خاک در اراضی شالیزاری، نتایج نشان داد که خاک‌هایی با مقادیر مناسب آب قابل‌استفاده خاک دارای مقدار شاخص S دکستر بالاتر از ۰/۰۳۵ نیز بودند. نتایج نشان داد که مقدار شاخص S دکستر ۰/۰۳۵ به‌عنوان حد آستانه در ارزیابی کیفیت فیزیکی مناسب خاک از لحاظ قابلیت دسترسی آب خاک برای گیاه برنج در اراضی شالیزاری تقریباً قابل‌پذیرش است.

منابع

1. Agricultural annual report. 2018. Agricultural and horticultural crops. Ministry of Jahade Agriculture Press. Deputy of Economic Planning Officer, Office of Statistics and Information Technology. 124p.
2. Armindo, R.A., and Wendroth, O. 2016. Physical soil structure evaluation based on hydraulic energy functions. Soil Sci. Soc. Amer. Jo. 80: 1167-1180.
3. Bouman, B.A.M., and Tuong, T.P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. Agricultural Water Management. 49: 11-30.
4. Cockroft, B., and Olsson, K.A. 1997. Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. P 339-350. In: E.G. Gregorich and M.R. Carter, (eds.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science. Elsevier. New York, NY.
5. Dane, J.H., and Hopmans, J.W. 2002. Pressure cell. P 684-688. In: J.H. Dane and G.C. Topp, (eds.), Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods: Soil Science Society of America Book Series. Soil Science Society of America. Madison, WI.
6. Davatgar, N., Neishabouri, M.R., Sepaskhah, A.R., and Soltani, A. 2009. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. Inter. J. Plant Prod. (IJPP). 3: 4. 19-32.
7. Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality. Part I: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma. 120: 201-214.
8. Dexter, A.R., and Richard, G. 2009. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions. Soil and Tillage Research. 103: 113-118.
9. Ebrahimi, M.S., Kalantri, Kh., Asadi, A., Movahed Mohammadi, H., and Saleh, I. 2012. Investigation of the change of production in farmers of on farm development program (case study in Gilan province). J. Agric. Sci. Sust. Prod. 22: 183-191.
10. Gee, G.W., and Or, D. 2002. Particle-size analysis. P 255-293. In: J.H. Dane and G.C. Topp (eds.), Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods: Soil Science Society of America Book Series, Madison.
11. Grossman, R.B., and Reinsch, T.G. 2002. Bulk density and linear extensibility. P 201-228. In: J.H. Dane and G.C. Clake (eds.), Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods: Soil Science Society of America Book Series (no. 5). Madison, Wisconsin, USA.

12.Hudson, B. 1994. Soil organic matter and available water capacity. J. Soil Water Cons. 49: 189-193.
13. Kirkham, M.B. 2005. Principles of soil and plant water relations, Elsevier Academic Press, Amsterdam. 500p.
14. Meskini-Vishkaee, F., and Davatgar, N. 2019. Evaluation the integral energy to estimate soil water availability in paddy soils of Guilan province. Iran. J. Soil Water Res. (IJSWR). 50: 5. 1053-1062. (In Persian)
15.Meskini-Vishkaee, F., and Mirkhani, R. 2019. Effect of field capacity moisture in determination and evaluation of the soil physical quality indices. Iran. J. Soil Water Res. (IJSWR). 50: 4. 836-845. (In Persian)
16.Moebius, B.N., van Es, H.M., Schindelbeck, R.R., Idowu, O.J., Clune, D.J., and Thies, J.E. 2007. Evaluation of laboratory-measured soil properties as indicator of soil physical quality. Soil Science. 172: 11. 895-912.
17.Moncada, M.P., Ball, B.C., Gabriels, D., Lobo, D., and Cornelis, W.M. 2015. Evaluation of soil physical quality index S for some tropical and temperate medium-textured soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 79: 9-19.
18.Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M., and Bloodworth, H. 2003. Effect of soil organic on soil water retention. Geoderma. 116: 61-76.
19.Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S., and Lu, X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. Geoderma. 110: 131-146.
20.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.
21.Rezaee, L., Moosavi, A.A., Davatgar, N., and Shabanpor Shahrestani, M. 2017. Comparison of different soil water retention curve models for evaluation of soil quality index (S) in paddy soils. Iran. J. Soil Res. 31: 509-524. (In Persian)
22.Sadradini, A.A., and Salahshour Dalivand, F. 2012. The effect of salinity and irrigation regimes on yield and water productivity in cracked paddy rice field. Cereal Research. 2: 3. 193-208. (In Persian)
23.Saxton, K.E., and Rawls, W.J. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil Sci. Soc. Amer. J. 70: 1569-1578.
24.Sharma, P.K. 1989. Effect of period moisture stress on water-use efficiency in wetland rice. Oryza. 26: 252-257.
25.Topp, G.C., Reynolds, W.D., Cook, F.J., Kirby, J.M., and Carter, M.R. 1997. Physical attributes of soil quality. P 21-58. In: E.G. Gregorich and M.R. Carter (eds.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science. Elsevier.
26.Toung, T.P., Wopereis, M.S.C., Marques, J.A., and Kropff, M.J. 1994. Mechanisms and control of percolation losses in puddle rice fields. Soil Sci. Soc. Amer. J. 58: 1794-1803.
27.van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44: 892-897.
28.Veihmeyer, F.J., and Hendrickson, A.H. 1927. The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. Proceeding the 1st International Congress of Soil Science, 3: 498-513.
29.Warrick, A.W. 2002. Soil Physics Companion. CRC Press LLC, Boca Raton, USA. 400p.
30.Wesseling, J., and van Wijk, W.R. 1957. Soil physical conditions in relation to drain depth. P 461-504. In: J.N. Luthin (eds.), Drainage of agricultural lands: American Society of Agronomy. Madison, Wisconson.
31.White, R.E. 2006. Principles and Practice of Soil Science. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 363p.
32.Wopereis, M.S.C., Kropff, M.J., Maligaya, A.R., and Tuong, T.P. 1996. Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. Field Crop Research. 46: 21-39.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 9(4), 2020
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Redefining the soil available water indicator to assess the soil physical quality in the rice paddies

***F. Meskini-Vishkaee[1] and N. Davatgar[2]**

[1]Assistant Prof., Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran, [2]Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 04.15.2019; Accepted: 07.21.2019

Abstract

Background and Objectives: Soil physical quality plays a major role in soil quality studies and it is considered necessary for sustainable economic production, conservation of the environment and prevention of soil degradation. To determine the soil physical quality indicators and their optimal range, the specific conditions of land use and type of cultivated plant should also be considered. Unlike other land uses in rice paddies, many soil physical, chemical and biological behavior and properties are altered by adding water to the soil and puddling. Hence, it is expected that its limitations will vary with other soils. Therefore, this study was conducted with the aim of reviewing the definition of soil available water index in assessing soil physical quality based on specific conditions of rice plant and land preparation operations.

Materials and Methods: 40 soil samples were selected from rice paddies of Guilan province, and soil physical and chemical properties were measured. In addition to Dexter's S index, the soil available water index for plant (PAW) was calculated in three different ways including 1) by assumption of filed capacity at soil suction of 100 cm as upper limit of soil water availability (PAW_{100}), 2) by assumption of filed capacity at soil suction of 330 cm (PAW_{330}), and 3) Redefining of PAW using soil saturation moisture and soil moisture at a suction of 2000 cm as the upper and lower limits of soil available water indicator for rice, respectively (PAW_{rice}).

Results: The results showed that assuming the moisture content of the field capacity at the soil suctions of 100 and 330 cm, 65 and 55 percent of the soil samples had a good physical quality, respectively. While redefining of the PAW indicator of rice paddies (PAW_{rice}) confirmed a good to great soil physical quality in 57.5% of the studied samples. In the studied samples, the use of PAW_{100} overestimated the amount of soil available water in all soil texture classes. While the use of the PAW_{330} concept has led to an overestimation of the soil available water value in medium soil textural classes (i.e. silty loam and silty clay loam). However, as the soil texture becomes clayey, the estimated soil available water using PAW_{330} was less than actual value. The variation of the average values of Dexter S and PAW_{rice} indicators in different soil texture classes was observed by the same trend and as silty loam > silty clay > silty clay loam > clay loam > clay. It should be noted that despite the redefining of the soil available water indicator in rice paddies, the value of Dexter's S index in its optimal range for studied soils was more than 0.035.

Conclusion: Difference in the range of soil water availability in rice paddy fields and its effect on rice yields confirmed the need to redefine soil available water indicator paddy fields. In addition, despite the redefining the soil available water indicator, the results indicated that the Threshold value of 0.035 for S index is probably suitable to evaluate soil good physical quality based on the soil water availability for plant in rice paddies.

Keywords: Dexter's S index, Field capacity, Rice

* Corresponding Author; Email: fatemeh.meskini@yahoo.com