

اثر خصوصیات سازه الیافی شیشه‌ای حصیری بر دقت حسگر بلوک متخلخل در پایش رطوبت خاک

مریم نوابیان^{۱*}، مصطفی جمشیدی اوانکی^۲

*دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان و عضو وابسته گروه آب و محیط زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

آستادیار گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

چکیده

اطلاع از وضعیت رطوبت خاک می‌تواند تاثیر بسزایی بر برنامه‌ریزی آبیاری و در نتیجه مدیریت آب بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب به همراه داشته باشد. اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش بلوک متخلخل مبتنی بر مقاومت‌سنجی جریان برق از جمله روش‌های اندازه‌گیری رطوبت است که توسعه دانش ساخت آن می‌تواند گام موثری در کاهش هزینه، افزایش دقت و سهولت اندازه‌گیری رطوبت و در نتیجه مدیریت مصرف آب کشاورزی باشد. هدف از این پژوهش، بررسی خصوصیات الیاف شیشه‌ای حصیری بر دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش بلوک متخلخل است. در این راستا، از دو الیاف P186 و P200 در ساخت بلوک مبتنی بر سازه الیافی استفاده گردید و دقت اندازه‌گیری رطوبت توسط آن در ۱۰ بافت خاک در سه تکرار بررسی شد. برای ارزیابی دقت بلوک‌ها، رطوبت اندازه‌گیری شده توسط آن‌ها با روش رطوبت وزنی مقایسه و شاخص‌های آماری R^2 ، RMSE، nRMSE، MAE و D-index محاسبه شدند. نتایج نشان داد که بلوک‌های ساخته شده با هر دو الیاف دقت قابل قبول در اندازه‌گیری رطوبت خاک دارند ($R^2=0.7-0.98$ ، $RMSE=0.05-0.07$ ، $nRMSE=16-20\%$ ، $MAE=0.05-0.06$ و $D-index=0.94-0.95$) اما الیاف P200 با خطای حدود ۵ درصد، دقت بیشتری به دست داده است. این بلوک‌ها در بافت خاک متوسط با حداقل و حداکثر شن به ترتیب ۲۰ و ۷۰ درصد و حداکثر رس ۳۰ درصد، نسبت به سایر بافت‌ها دقت بیشتری ($RMSE<0.06$) نشان دادند. دقت بلوک‌ها در حد بالای رطوبت خاک کاهش یافت به طوری که در محدوده دقت ۷ درصد قرار نگرفت. بنابراین، استفاده از آن‌ها برای دامنه رطوبت خاک ۴۰-۲۵ درصد وزنی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، تراکم الیاف، حسگر رطوبتی، خیس‌شدگی الیاف

مقدمه

مصرف‌کننده منابع آب است. کشاورزی عامل تضمین تولید غذا در جهان است که با افزایش جمعیت و محدودیت منابع، توسعه پایدار و توجه به استفاده بهینه و حفاظت از منابع مورد نیاز آن ضروری است. آب، خاک و عوامل موثر بر فتوسنتز از عوامل موثر بر عملکرد بخش کشاورزی است به طوری که گزارش شده است با آبیاری کردن زمین‌های تحت کشت به میزان ۲۰ درصد، تولید مواد غذایی تا ۴۰ درصد افزایش داشته است (World Bank, 2022). در دنیا به طور متوسط ۷۲ درصد آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود در

بروز و تداوم خشکسالی‌ها، کاهش میزان بارش‌ها و به تبع آن کاهش میزان رواناب، افت قابل توجه منابع آب زیرزمینی و خشک شدن تالاب‌ها از مصادیق بروز بحران‌های شدید آب در جهان است که در این بین کشور ایران شرایط سخت‌تری را نیز می‌گذراند. تغییرات اقلیمی شامل کاهش باران، افزایش دما و تبخیر محدودیت‌های منابع آب ایران را تشدید می‌کند (Rafiei-Sardooi, 2022). محدودیت منابع آب تاثیر بسزایی بر کشاورزی دارد که اصلی‌ترین

حالی که در ایران این میزان بیش از ۹۰ درصد است (FAO, 2017). با توجه به راندمان کل آبیاری گزارش شده در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ (۵۷/۲ درصد) (Abbasi & Abbasi, 2024)، مقادیر قابل توجهی از منابع آب بدون استفاده در مزرعه هدر می‌رود و بعضا مخاطرات محیط‌زیستی را افزایش می‌دهد. مدیریت آب در مزرعه از طریق تعیین مقدار و زمان مناسب آبیاری می‌تواند بر راندمان سامانه‌های آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب اثر بسزایی داشته باشد. برای مثال، رجا و همکاران (Raja, et al., 2019) گزارش کردند که بهبود راندمان آبیاری در دو منطقه درودزن و کربال استان فارس به ترتیب منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۱/۲ و ۱۰/۸ درصد شده است. در آمریکا نیز گزارش شده است که بهبود ۳۰-۶ درصد در راندمان سامانه آبیاری می‌تواند کاهش ۱۱-۶ درصد در مصرف آب در بخش کشاورزی را به دنبال داشته باشد (Wang, 2019). اندازه‌گیری پیوسته و بروز رطوبت خاک نقش موثری در تعیین مقدار و زمان آبیاری و در نتیجه مدیریت مصرف آب و افزایش کارایی آن دارد. از این رو دستیابی به روش‌های دقیق اندازه‌گیری رطوبت خاک مورد توجه است. روش‌های مختلفی از جمله روش وزنی (Campbell & Mulla, 1990)، بلوک‌های متخلخل (McCann et al., 1992; Spaans & Baker, 1992)، حسگرهای خازنی (Leib, 1998; Leib et al., 2002)، تانسیمتری (Prichard et al., 2004) و پخش نوترونی (Charlesworth, 2005) برای اندازه‌گیری رطوبت خاک وجود دارد اما اغلب آن‌ها گران‌قیمت‌اند و در قرائت عمق و تعداد نقاط محدودیت دارند و برای سلامت انسان زیانبارند. روش وزنی دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری رطوبت خاک است اما زمان‌بر بودن و نیاز به نمونه‌برداری از محدودیت‌های آن به شمار می‌آید. از این رو روش‌های غیرمستقیم مانند حسگرهای رطوبتی و بلوک‌های متخلخل در صورت دارا

بودن دقت مطلوب به دلیل هزینه کمتر و قابلیت نصب آسان توصیه می‌شوند (Ghanadzadeh, et al., 2009). بلوک‌های متخلخل از مواد متخلخل و الکتروود تشکیل شده‌اند و براساس قانون رسانایی جریان برق، رطوبت خاک را برآورد می‌کنند. بلوک‌ها پس از قرار گرفتن در خاک با آن تبادل رطوبتی برقرار می‌کنند و هم‌رطوبت با خاک می‌شوند. از این رو، با اندازه‌گیری رطوبت بلوک می‌توان رطوبت خاک را بیان کرد. تاکنون از گچ، ترکیب گچ و سیمان و الیاف شیشه‌ای (فایبرگلاس) به‌عنوان ماده متخلخل بلوک استفاده شده است (Werner, 2002). یزدانی کچویی (Yazdani, 1996) با مقایسه روش‌های بلوک‌های گچی با روش مستقیم وزنی در مزرعه‌ای با بافت تقریباً یکنواخت نشان داد که رطوبت اندازه‌گیری شده با بلوک گچی حدود دو درصد با رطوبت اندازه‌گیری شده با روش وزنی تفاوت دارد. کیهانی (Keyhani, 2001) نشان داد که تفاوت اندازه‌گیری بین بلوک گچی معمولی و اصلاح شده بر اساس دمای خاک، متاثر از عمق کارگذاری بلوک در خاک از ۶/۵ تا ۲/۴ درصد متغیر است و با افزایش عمق کارگذاری از میزان خطا کاسته می‌شود. اسماعیلی‌زاده و نیشابوری (Esmailzadeh & Nayshapori, 2001) توانستند با ارتقای طراحی و ساخت بلوک‌های گچی با استفاده از افزایش الکتروود، کارگذاری تصحیح‌کننده دما و افزایش بازه مقاومت‌سنجی بلوک، محدوده قرائت رطوبت خاک را از ۲۰-۴/۵ به ۲۶-۲/۵ درصد افزایش دهند. قنادزاده و همکاران (Ghanadzadeh et al., 2009) ساختمان مختلف بلوک گچی شامل گچ کشته، گچ نیمه‌کشته، معمولی و ترکیبی از گچ و سیمان را برای تعیین رطوبت خاک ارزیابی کردند و نشان دادند بلوک گچی از جنس گچ و سیمان در بافت خاک لوم رسی دقت بالاتری (جذب آب بیشتر و تغییرات یکنواخت رطوبت) برای اندازه‌گیری رطوبت خاک دارد. نتایج بررسی‌ها همچنین نشان داد هر چه فاصله بین الکتروودها بیشتر باشد

اثر خصوصیات سازه الیافی شیشه‌ای حصیری بر دقت حسگر بلوک متخلخل در پایش رطوبت خاک

دلیل استفاده از گچ در بلوک‌های متخلخل، میزان تخلخل و حالت کریستالی آن است که عامل انتقال موثرتر رطوبت است (Coleman & Hendrix, 1949). بلوک گچی بیش از شش دهه است که در کشاورزی استفاده می‌شود (Bouyoucos *et al.*, 1940) اما دما و میزان شوری خاک، پدیده پسماند، اندازه بلوک و عمق نصب آن بر نتایج آن تاثیر می‌گذارد. علاوه بر این، بلوک گچی به تغییرات مکش در خاک مرطوب در کمتر از 30 کیلوپاسکال حساس نیست و به‌خصوص در خاک‌های اسیدی حل می‌شود و در خاک‌های شنی دقت لازم را ندارد (Ghanadzadeh *et al.*, 2009). اما بلوک‌های فایبرگلاس به دلیل مناسب بودن قیمت، در دسترس بودن، استحکام کششی و انعطاف‌پذیری بالا، مقاومت شیمیایی و حرارتی بالا می‌توانند گزینه‌ای مناسب‌تر باشند (Aram & Meysami, 2010).

بررسی مطالعات پیشین نشان داد که بلوک‌های متخلخل نتایج قابل قبولی در اندازه‌گیری رطوبت خاک دارند. اما محدودیت‌های بلوک‌های متخلخل گچی و سهولت کاربرد و هزینه کم بلوک‌های متخلخل فایبرگلاس نسبت به دیگر روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک (Ansari & Hassanpour, 2015)، از دلایل مهم تلاش برای ارتقای دانش ساخت بلوک‌های متخلخل هستند. از آنجا که بلوک‌های مبتنی بر غشا مانند بلوک‌های الیافی شیشه‌ای حصیری در ایران در دسترس نیستند، در این پژوهش، بررسی اثر ویژگی‌های الیافی شیشه‌ای در ساخت بلوک متخلخل مبتنی بر سازه‌های الیافی (غشا) برای دستیابی به حسگر با دقت بیشتر در اندازه‌گیری رطوبت خاک مد نظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بلوک‌های متخلخل حسگرهایی هستند که بر اساس رسانایی یا مقاومت جریان برق، رطوبت خاک را اندازه‌گیری می‌کنند. در این پژوهش، برای افزایش دقت بلوک‌های متخلخل در اندازه‌گیری رطوبت و رفع محدودیت‌های بلوک

عدد مقاومت خوانده شده مربوط خواهد بود به حجم بیشتری از بلوک و اندازه‌گیری نیز دقیق‌تر است، هرچند افزایش دقت ایجاد شده معنی‌دار به دست نیامد.

بای و همکاران (Bai *et al.*, 2013) نشان دادند اگرچه ویژگی‌های فیزیکی بلوک متخلخل بر هدایت الکتریکی تاثیرگذار است اما خصوصیات خاک شامل درصد تراکم خاک (جرم مخصوص ظاهری) و تعداد تر و خشک شدن خاک نیز بر روند مقادیر هدایت الکتریکی موثر است به طوری که با افزایش تراکم خاک، دقت بلوک افزایش می‌یابد و بعد از چهار مرحله خشک و تر شدن خاک تغییرات هدایت الکتریکی کاهش خواهد یافت. رادنیک و همکاران (Rudnick *et al.*, 2015) بلوک گچی Watemark 200SS را در خاک رسی لومی در مقایسه با حسگر خازنی Delta-T PR1- capacitance توصیه کردند. مروج‌الاحکامی و باغشاهی (Moravejalahkami & Baghshahi, 2020) یک حسگر بلوک گچی را طراحی و دقت برآورد رطوبت خاک را با حسگر شرکت Watermark در بافت‌های خاک لوم رسی شنی، لومی و رس سیلتی ارزیابی کردند و نشان دادند حسگر Watermark در بافت خاک لومی و لوم رسی شنی قادر به برآورد نسبتاً دقیق رطوبت وزنی خاک است. در حالی که در بافت خاک رس سیلتی هر دو حسگر دقت مناسبی در برآورد رطوبت خاک ندارند. در این پژوهش مقدار nRMSE در بافت خاک لومی، لوم رسی شنی و رس سیلتی به ترتیب ۲۵/۹، ۲۵ و ۲۱/۹ درصد در حسگر Watermark و ۳۶/۳، ۲۱/۹ و ۳۸/۴ درصد در سنسور طراحی شده گزارش شد. همچنین، مقدار MAE در حسگر Watermark به میزان ۲/۶، ۱/۶ و ۳/۹ و در حسگر طراحی شده به میزان ۲/۸، ۱/۲ و ۶/۲ به ترتیب در بافت خاک‌های لومی، لوم رسی شنی و رس سیلتی به دست آمد. در پژوهشی دیگر، دقت بلوک گچی با روش وزنی اندازه‌گیری رطوبت خاک مقایسه و نتایج نشان داد که میانگین اختلاف میان روش وزنی با روش‌های بلوک گچی ۶/۳ درصد است (Ezekiel *et al.*, 2021).

با جنس گچ، بلوک متخلخلی در دانشگاه گیلان شامل دو الکتروود پیچیده شده با ۱۰ سانتی‌متر الیاف مورد نظر و جاسازی شده در قالب مشبک مکعبی به ابعاد 3×4 سانتی‌متر و ضخامت ۶ میلی‌متر ساخته شد (شکل ۱). از آنجا که الیاف شیشه‌ای حصیری قابلیت خوبی در انعطاف‌پذیری و عایق حرارت دارند، از این الیاف برای ساخت بلوک مبتنی بر سازه الیافی استفاده شد. خصوصیات غشا بر عملکرد بلوک تاثیرگذار است، از این رو دو نوع ساختمان بافت مختلف از الیاف شیشه‌ای موجود در ایران که تراکم متفاوتی داشتند بررسی شدند (جدول ۱). برای ارزیابی عملکرد دو الیاف انتخاب شده با یک نمونه خارجی، از یک بلوک با الیاف شیشه‌ای ساخت شرکت ELE International استفاده شد که با نام اختصاری ELE در این مقاله از آن ذکر می‌شود (شکل ۲). تراکم بافت عبارت است از تعداد نخ‌های تار یا پود در واحد طول که معمولا به صورت تعداد در ۱۰ سانتی‌متر در جهات تار یا پود بیان می‌شود که تعداد نخ تار در عرض غشا، تراکم عرضی و تعداد نخ پود در طول غشا،

تراکم طولی نامیده می‌شوند. از ویژگی‌های مهم بلوک‌های متخلخل در اندازه‌گیری رطوبت خاک، خیس‌شدگی و انتقال آب در هنگام قرار گرفتن بلوک در خاک است و این‌که تبادل و تعادل رطوبتی بین خاک و بلوک به درستی صورت گیرد. ارزیابی صعود کاپیلاری در الیاف شیشه‌ای یکی از معیارهای تشخیص میزان تمایل الیاف به خیس‌شدگی است که با آزمایش فیتیل‌های قابل اندازه‌گیری است. در این آزمایش طول ۱۵ سانتی‌متری از الیاف انتخاب و داخل محلول رنگی (ERIONYL BRILLIANT BLUE RL 200%) نگه‌داشته شد. پس از آن روند صعود محلول رنگی در هر یک از الیاف نسبت به زمان ثبت شد. شکل (۳) میزان صعود محلول رنگی در الیاف‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. برای بررسی روند کاهش رطوبت بلوک متناسب با کاهش رطوبت خاک، ۱۰ سانتی‌متر از الیاف به مدت ۴۸ ساعت اشباع کردن در آب مقطر، در آون با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و در زمان‌های مختلف وزن الیاف اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- شمایی از الیاف و الکتروود (سمت راست)، بلوک متخلخل (وسط) و رسانایی‌سنج طراحی شده (سمت چپ)
 Fig.1- Schematic of the fibers and electrode (right), the porous block (middle), and the designed conductivity meter (left)

اثر خصوصیات سازه الیافی شیشه‌ای حصیری بر دقت حسگر بلوک متخلخل در پایش رطوبت خاک



شکل ۲- شمایی از تراکم الیاف شیشه‌ای حصیری مورد استفاده در پژوهش (به ترتیب از سمت راست P200، P186 و ELE)
 Fig. 2 - Schematic of the density of glass mat fibers used in the research (from the right P200, P186 and ELE respectively)

جدول ۱- برخی ویژگی‌های مهم الیاف‌های مورد بررسی

Table 1- Some of important properties of fibers used in the research

ردیف	کد نمونه	نوع الیاف	ساختمان بافت	تراکم طولی (1/cm)	تراکم عرضی (1/cm)	وزن واحد سطح (g/m ²)
۱	P200		Plain	۸	۸	۲۰۰
۲	P186	شیشه	Plain	۲۰	۲۴	۱۸۶
۳	ELE		Plain	۱۲	۱۲	۱۷۵





شکل ۳- میزان صعود محلول رنگی در الیاف P200 (الف)، P186 (ب) و ELE (ج)

Fig. 3- The rate of dye solution capillary in P200 (a), P186 (b) and ELE (c) fibers

استخراج معادلات کالیبراسیون و ارزیابی دقت معادلات استفاده شدند. برای بیان دقت بلوک‌ها در اندازه‌گیری رطوبت، تقسیم شاخص‌های ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE)، ریشه میانگین مجذور خطای نرمال شده (nRMSE)، شاخص توافق ویلموت (D-index) و میانگین خطای مطلق (MAE) به دست آمدند. روابط (۱) تا (۵) به ترتیب این آماره‌ها را نشان می‌دهند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (3)$$

$$D-index = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (5)$$

در این روابط: P_i مقادیر تخمین زده شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده‌ای و n تعداد کل مشاهدات است. آماره R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر تخمین زده شده و مشاهداتی نشان می‌دهد که مقدار بیشتر

با توجه به تخلخل خاک، ارتباط خاک و بلوک و انتقال رطوبت بین این دو محیط می‌تواند متاثر از بافت خاک باشد، از این رو دقت بلوک‌های ساخته شده در بافت‌های مختلف خاک بررسی شد. برای ارزیابی بلوک‌های ساخته شده، نمونه خاک از اطراف شهرستان رشت تهیه شد. برای حصول اطمینان از بافت خاک، آزمایش هیدرومتری روی نمونه‌ها صورت گرفت. با توجه به بافت خاک‌های به دست آمده، دقت بلوک‌ها در ۱۰ بافت خاک شنی لومی، لوم، لوم شنی رسی، شنی، لوم رسی، لوم سیلتی رسی، لوم شنی، رسی، رسی سیلتی و لوم سیلتی ارزیابی شد.

برای ارزیابی دقت بلوک‌های ساخته شده در بافت‌های مختلف خاک، نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، کوبیدن و گذراندن از الک دو میلیمتری، در گلدان‌های به قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر ریخته و بلوک‌ها در عمق ۸ سانتی‌متری کار گذاشته شدند. بدین منظور از الیاف انتخاب شده (P200 و P186) سه بلوک برای جلوگیری از خطای ساخت بلوک، در گلدان استفاده شد. پس از اشباع شدن خاک گلدان، هر روز با تغییر رطوبت خاک، رسانایی بلوک‌ها قرائت و رطوبت خاک به روش وزنی اندازه‌گیری شد که دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری رطوبت خاک است (Rasheed *et al.*, 2022). در هر بافت خاک‌ها، داده‌ها به دو سری برای

اثر خصوصیات سازه الیافی شیشه‌ای حصیری بر دقت حسگر بلوک متخلخل در پایش رطوبت خاک

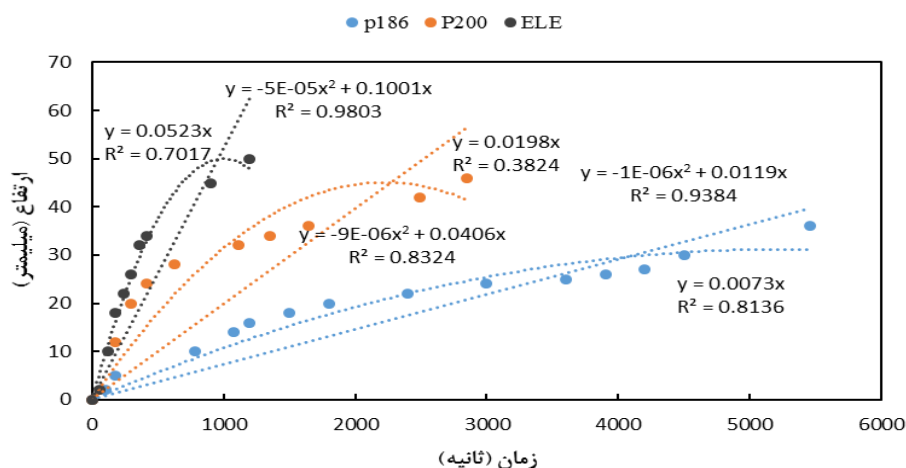
ترتیب در P200، ۱/۴ و ۲ برابر بیشتر نسبت به P186 به دست آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که الیاف شیشه‌ای ELE نسبت به دو الیاف P200 و P186 در زمان مشابه ۱۸۰ ثانیه به ترتیب ۲/۶ و ۰/۵ برابر بیشتر آب را جذب کرده است. مقایسه نوع منحنی برازشی بر رفتار فتیله‌ای دو الیاف نشان می‌دهد که منحنی درجه دوم نسبت به خط می‌تواند برازش بهتری را ایجاد کند. نتایج تحقیق همچنین نشان می‌دهد در P200 پس از حدود ۶۳۰ ثانیه و در P186 پس از حدود ۱۸۰ ثانیه، شیب افزایش جذب محلول کاهش می‌یابد. روند تغییر شیب در الیاف P200 پس از ۶۳۰ ثانیه اول با شیب تقریباً ثابت صعودی به دست آمد در حالی که شیب افزایشی در P186 پس از ۲۴۰۰ ثانیه مجدد ملایم‌تر شد. بنابراین به نظر می‌رسد الیاف P200 در جذب محلول و متعاقب آن آب محیط خاک می‌تواند موفق‌تر عمل کند و در خصوص سرعت رسیدن به تعادل رطوبتی با خاک موثرتر واقع شود. مقایسه شیب صعودی دو الیاف P200 و P186 با ELE نشان می‌دهد الیاف P200 در خصوص جذب آب رفتار نزدیک‌تری با الیاف ELE دارد. شکل (۵) روند خشک شدن الیاف‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است دو الیاف ELE و P200 تا ۱۵ دقیقه اول کاملاً روند کاهشی یکسانی را در رطوبت طی کرده‌اند اما بعد از ۱۵ دقیقه میزان کاهش رطوبت در P200 با شیب کمتری ادامه یافته و پس از ۳۰ دقیقه تغییر محسوسی در کاهش رطوبت نداشته است. با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار درصد کاهش رطوبت بین زمان‌های ۴۵ و ۳۰ دقیقه، می‌توان دریافت که الیاف تقریباً به وزن خشک اولیه‌اش برگشته است. این در حالی است که الیاف P186 با تفاوت به طور میانگین ۲۵ درصد کمتر، رفتار مشابه با الیاف ELE داشته‌است و پس از گذشت ۴۵ دقیقه هر دو الیاف به وزن خشک اولیه نرسیدند. رفتار مشابه الیاف ELE در زمان‌های اولیه و از دست دادن سریع‌تر رطوبت، می‌تواند بیان‌کننده رفتار بهتر الیاف در هنگام کاهش رطوبت خاک باشد که در الیاف P200 مشاهده شد.

از ۰/۷، ۰/۵-۰/۷ و ۰/۳-۰/۵ آن به ترتیب بیان‌کننده همبستگی خوب، متوسط و ضعیف بین داده‌هاست (Ozili, 2023). به‌منظور بیان میزان تفاوت بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی از RMSE استفاده می‌شود که کمتر بودن این شاخص بیان‌گر شبیه‌سازی بهتر مدل است (Savage, 1993). جامیسون و همکاران (Jamieson et al., 1991) روشی برای برآورد خطا پیشنهاد دادند که در آن میانگین مربعات خطا به‌عنوان درصدی از میانگین مشاهدات است که با nRMSE نمایش داده می‌شود. زمانی که این پارامتر در محدوده کمتر از ۱۰ درصد باشد نشان‌دهنده کارایی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بیان‌گر کارایی بسیار خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد بیان‌کننده کارایی متوسط و در بیشتر از ۳۰ درصد نیز نشان‌دهنده ضعیف بودن توانایی مدل در شبیه‌سازی است. این محدوده‌ها در بررسی‌های بنایان و هوگنوم (Bannayan & Hoogenboom, 2009) تأیید گردید. شاخص آماری توافق ویلموت (D-index) براساس اندازه پراکندگی بین داده‌هاست. محدوده این شاخص بین صفر و یک است که ۰/۲-۰/۱ توافق جزئی، ۰/۴-۰/۲۱ توافق نسبتاً خوب، ۰/۶-۰/۴۱ توافق متوسط، ۰/۸-۰/۶۱ توافق قابل توجه، ۰/۹۹-۰/۸۱ توافق نزدیک به کامل و عدد ۱ توافق کامل را بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی نشان می‌دهد (Willmott, 1982). MAE میانگین مطلق خطا را نشان می‌دهد و هر چه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است به طوری که مقدار کمتر از ۰/۱ آن وضعیت خوب و بالای ۰/۵ دقت نامناسب را نشان می‌دهد (Lewis, 1982).

نتایج و بحث

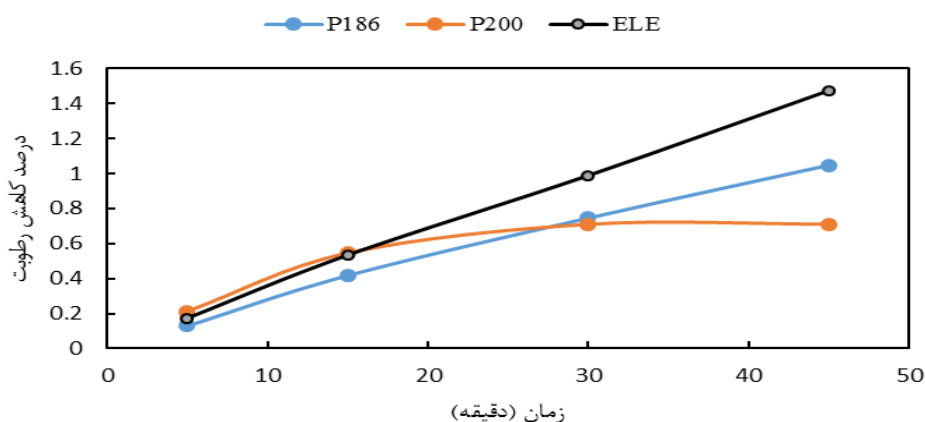
نتیجه روند خیس‌شدگی و رفتار فتیله‌ای الیاف در برابر محلول رنگی در شکل (۴) نشان داده شده است. در این شکل مشخص است که هر دو الیاف نسبت به زمان در جذب محلول روند صعودی را طی کرده‌اند اما روند افزایش جذب در P200 سریع‌تر از P186 است به طوری که در زمان‌های مشابه اندازه‌گیری ۱۸۰ و ۳۰۰۰ ثانیه روند جذب محلول به

شکل (۶) مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی دقت بلوک ساخته شده با الیاف P200 را در اندازه‌گیری رطوبت خاک نشان می‌دهد. مطابق شکل، معیار R^2 نشان داد که در بافت خاک‌های شنی لومی، لوم، لوم شنی، رسی و رسی سیلتی بین داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک به دو روش بلوک و وزنی همبستگی خوبی وجود دارد. میزان خطای میان مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده به دو روش وزنی و بلوک با سه شاخص MAE، nRMSE و D-index مشخص می‌شود. شاخص nRMSE با توجه به طبقه‌بندی جامیسون و همکاران (Jamieson et al., 1991) نشان می‌دهد که در



شکل ۴- میزان صعود محلول رنگی در الیاف‌های مورد بررسی

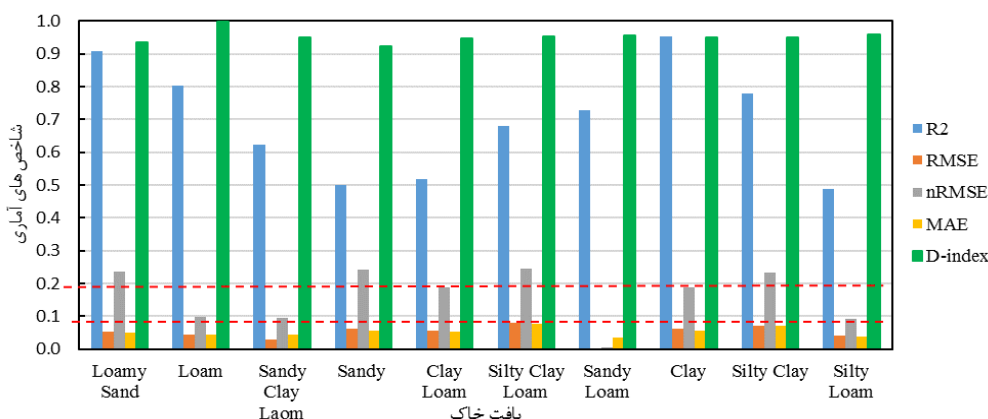
Fig. 4- Dye solution capillary value in fibres used in the research



شکل ۵- روند از دست دادن رطوبت در الیاف‌های مورد بررسی

Fig. 5 - Moisture loss trend in the fibers used in the research

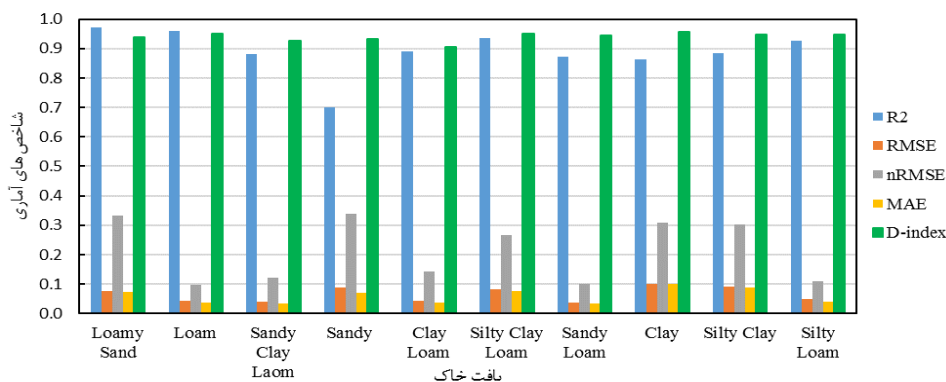
اثر خصوصیات سازه الیافی شیشه‌ای حصیری بر دقت حسگر بلوک متخلخل در پایش رطوبت خاک



شکل ۶- مقادیر شاخص‌های آماری در ارزیابی دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک در روش بلوک متخلخل با الیاف P200 و وزنی

Fig. 6- Values of statistical indexes in evaluating the accuracy of soil moisture measurement in the porous block with P200 fibers and gravimetric method

شکل (۷) مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی دقت بلوک ساخته شده با الیاف P186 در اندازه‌گیری رطوبت خاک را نشان می‌دهد. طبق شکل، معیار R^2 نشان داد که به غیر از بافت Sandy در بقیه بافت خاک‌ها، بین داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک به دو روش بلوک و وزنی همبستگی خوبی وجود دارد. شاخص nRMSE با توجه به طبقه‌بندی جامیسون و همکاران (Jamieson et al., 1991) نشان می‌دهد که در بافت خاک‌های لوم شنی و لوم دقت



شکل ۷- مقادیر شاخص‌های آماری در ارزیابی دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک در روش بلوک متخلخل با الیاف P186 و وزنی

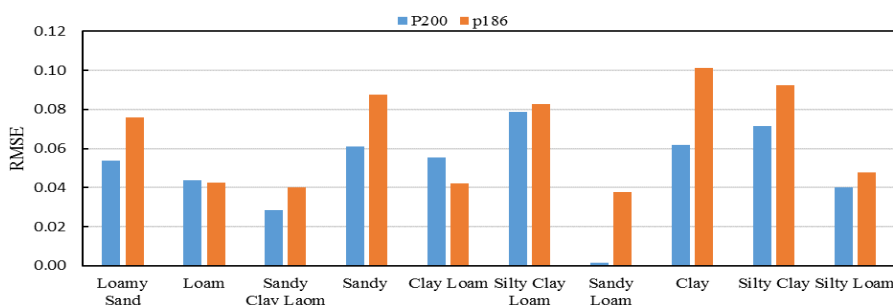
Fig. 7- Values of statistical indexes in evaluating the accuracy of soil moisture measurement in the porous block with P186 fibers and gravimetric method

از آنجا که شاخص‌های آماری هم‌واحد با پارامتر مورد بررسی (MAE و RMSE) برای نشان دادن خطا در اندازه‌گیری بیان بهتری دارند و به دلیل تبعیت مقادیر خطای محاسبه شده در شاخص‌های MAE و RMSE از توزیع نرمال، مقادیر شاخص آماری RMSE در بافت خاک‌های مختلف برای دو الیاف P200 و P186 در شکل (۸) نشان داده شده است. به طور میانگین، بلوک ساخته شده با الیاف P200 رطوبت خاک را با خطای ۵ درصد و بلوک ساخته شده با

تغییرات کم رطوبت در الیاف (شکل ۵)، به نظر می‌رسد بیش از ظرفیت خیس‌شدگی الیاف، آب وارد بلوک می‌شود. مروج‌الاحکامی و باغشاهی (Moravejalahkami & Baghshahi 2020) نشان دادند که بلوک گچی طراحی شده در بافت خاک لومی و لوم رسی شنی قادر به برآورد نسبتاً دقیق رطوبت خاک است در حالی‌که در بافت خاک رس سیلتی به دلیل تبادل دیرهنگام رطوبت، دقت مناسبی در برآورد رطوبت خاک ندارد.

میانگین شاخص‌های آماری در بافت خاک‌های مورد بررسی در شکل (۱۰) آمده است. بر اساس نتایج تمام میانگین شاخص‌های آماری محاسبه شده، استفاده از الیاف P200 در ساخت بلوک متخلخل، نسبت به الیاف P186، منجر به دقت بیشتری در اندازه‌گیری رطوبت خاک شده است. مطابق با طبقه‌بندی جامیسون و همکاران (Jamieson *et al.*, 1991)، الیاف P200 منجر به ساخت بلوک متخلخل با درجه دقت خوب (۱۰ تا ۲۰ درصد) در اندازه‌گیری رطوبت خاک شد در حالی که در الیاف P186 درجه دقت در حد متوسط (۲۰ تا ۳۰ درصد) به دست آمد. ارزیابی شاخص توافق ویلموت نشان می‌دهد که هر دو الیاف توافق تقریباً کامل بین مقادیر رطوبت خاک در دو روش بلوک و وزنی دارند. شاخص R^2 نشان داد که در الیاف P200 همبستگی خوبی بین مقادیر رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در دو روش وجود دارد. ازکیل و همکاران (Ezekiel *et al.*, 2021) نشان دادند میانگین اختلاف میان روش وزنی با روش‌های بلوک گچی، تانسیومتر و حسگر طراحی شده به ترتیب ۶/۳، ۳/۹۵ و ۳/۰۲ درصد است.

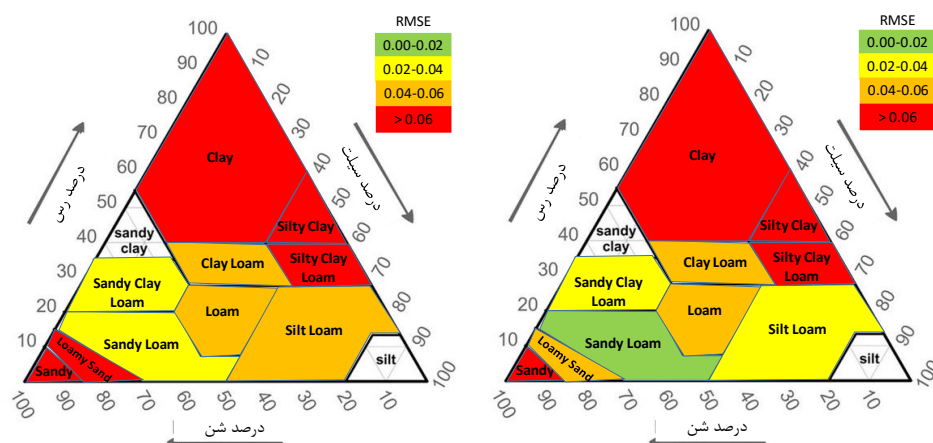
الیاف P186 رطوبت خاک را با خطای ۶/۵ درصد نسبت به روش وزنی اندازه‌گیری کرده‌اند. مقایسه RMSE در بافت خاک‌های مختلف نشان می‌دهد که به غیر از بافت خاک لوم رسی (که تفاوت RMSE آن در دو روش حدود ۲۴ درصد بیشتر است)، در سایر بافت خاک‌ها، بلوک ساخته شده با الیاف P200 دقت بیشتری نسبت به الیاف P186 دارد اگرچه در بافت خاک‌های لوم و لوم سیلتی رسی، دقت دو بلوک بسیار نزدیک به هم است. در بافت خاک لوم شنی تفاوت دو بلوک ساخته شده با دو الیاف بسیار زیاد است به طوری‌که بلوک ساخته شده با الیاف P200 حدود ۲۲ برابر رطوبت خاک را اندازه‌گیری کرده است. شکل (۹) دقت بلوک‌های متخلخل ساخته شده با دو الیاف را در مثلث بافت خاک نشان می‌دهد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد دقت دو الیاف در بافت خاک متوسط بیشتر است تا در دیگر بافت‌های خاک. در الیاف P186 بیشترین دقت در بافت خاک با مقدار شن در دامنه ۷۰-۵۰ درصد و میزان رس کمتر از ۳۵ درصد به دست آمده است. در الیاف P200، علاوه بر دامنه مقدار شن و رس ذکر شده در الیاف P186، در دامنه مقدار شن ۵۰-۲۰ درصد و میزان رس کمتر از حدود ۲۸ درصد نیز دقت مناسبی به دست می‌آید. مطابق با نتایج، در بافت خاک‌های با مقادیر رس یا شن بالا، الیاف P200 و P186 دقت بالایی در اندازه‌گیری رطوبت خاک ندارند. به نظر می‌رسد در خاک دارای مقادیر بالای رس، به دلیل ظرفیت بالای نگهداری آب در خاک، انتقال آب به الیاف داخل بلوک و خیس‌شدگی آن کند است. در خاک‌های با مقادیر بالای شن، به دلیل بالاتر بودن آب قابل دسترس خاک و با توجه به درصد



شکل ۸- شاخص آماری RMSE در بافت خاک‌های مورد بررسی

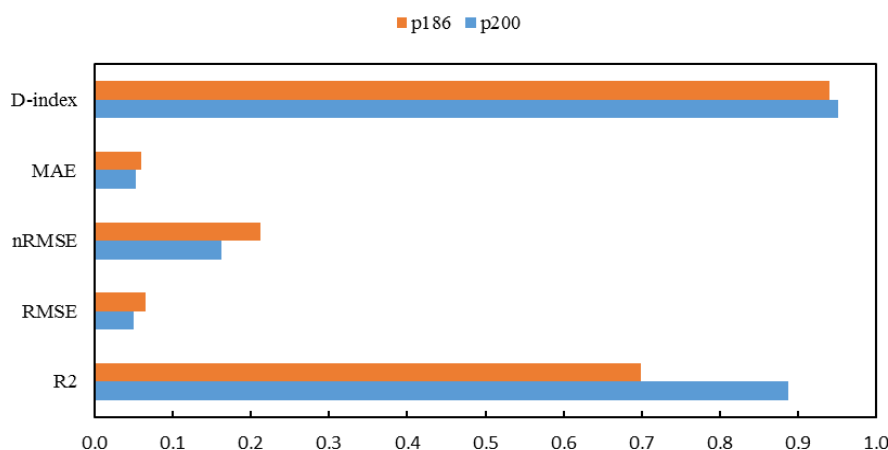
Fig. 8- RMSE statistical index in the soil texture of the research

اثر خصوصیات سازه ایالیف شبیه‌ای حصیری بر دقت حسگر بلوک متخلخل در پایش رطوبت خاک



شکل ۹- شاخص آماری RMSE اندازه‌گیری رطوبت خاک در بلوک‌های ساخته شده با الیاف P200 (سمت راست) و الیاف P186 (سمت چپ) در مثلث بافت خاک

Fig. 9 - RMSE statistical index of soil moisture measurement in blocks with P200 fibers (right) and P186 fibers (left) in the soil texture triangle



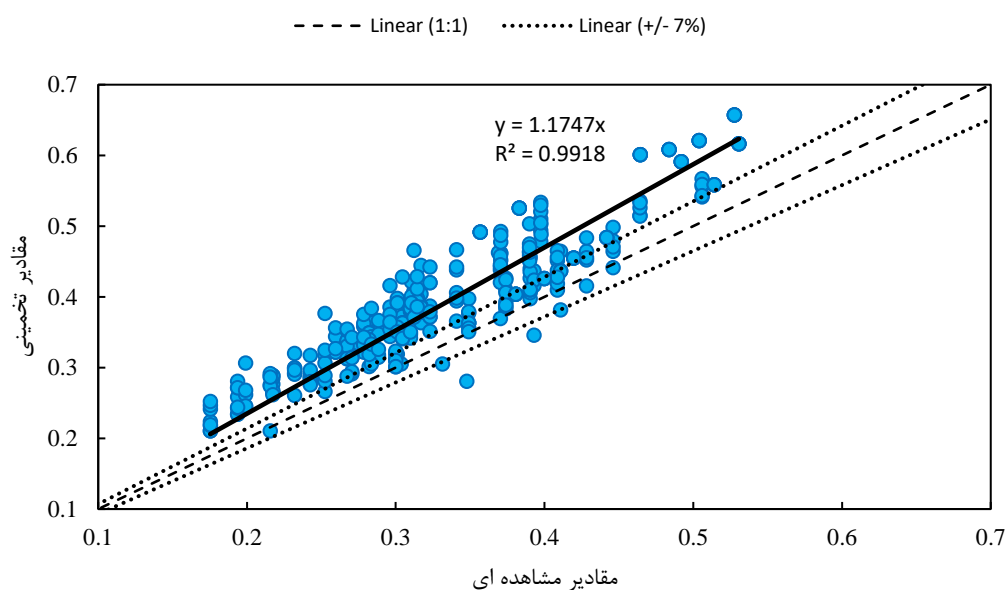
شکل ۱۰- میانگین شاخص‌های آماری برای ارزیابی دقت اندازه‌گیری رطوبت خاک در دو الیاف P200 و P186

Fig. 10- Average statistical indexes for evaluating the accuracy of soil moisture measurement in two fibers P200 and P186

روش وزنی، انتظار خطا وجود دارد. ناندی و شرستا (Nandi and Shrestha, 2024) نشان دادند که حسگرهای مقاومتی خطای ۴/۸، ۴/۴ و ۳/۸ درصد در بافت خاک‌های به ترتیب متوسط، ریز و درشت دارند. بر اساس نتایج شکل (۱۱) و نزدیکی نقاط به خط یک به یک می‌توان گفت در دامنه رطوبت ۲۵-۴۰ درصد وزنی، نتایج اندازه‌گیری رطوبت در بلوک به مقادیر رطوبت در روش وزنی نزدیک‌تر است و استفاده از بلوک در این گستره رطوبتی قابل توصیه است. با توجه روند تغییرات نسبت به زمان در شکل‌های (۴) و (۵)، به نظر می‌رسد فرآیند خیس‌شدگی (در هنگام بیشتر بودن

مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک به روش بلوک‌های متخلخل ساخته شده و وزنی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. مطابق با شکل، در اغلب اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک به روش بلوک مقادیر رطوبت بالای خط یک به یک است و بنابراین بیشتر از مقدار رطوبت وزنی به دست آمده است. این مسئله می‌تواند به دلیل وجود املاح در محلول خاک و تاثیر بر رسانایی یا مقاومت جریان قرائت شده توسط بلوک باشد. اگرچه میزان بیش‌برآورد رطوبت مطابق شکل (۱۱) و شاخص‌های آماری به نظر قابل قبول می‌رسد زیرا در هر روش غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت نسبت به

رطوبت خاک از رطوبت بلوک) و از دست دادن آب (در زمان خشک شدن خاک) الیاف در بازه رطوبتی ذکر شده در شرایط مناسبی نباشد. مروج‌الاحکامی و باغشاهی (Moravejalahkami & Baghshahi, 2020) گزارش کردند، حسگر طراحی شده در رطوبت‌های کمتر از ۵۰ درصد کل آب قابل دسترس قادر به تخمین نسبتاً دقیق رطوبت خاک است. این در حالی است که حسگر طراحی شده و نیز حسگر Watermark در رطوبت‌های بیشتر از حد زراعی تخمین دقیقی از رطوبت خاک ندارند. قائمی و رحمانی ثقیه (Ghaemi & Rahmani Soghayeh, 2014) نشان دادند که تانسیومتر و حسگرهای Watermark و Watermark 200ss-v در مکش‌های بالا، نسبت به مکش‌های پایین، اندازه‌گیری دقیق‌تری از مقدار رطوبت خاک را نشان می‌دهند.



شکل ۱۱ - مقایسه رطوبت خاک در دو روش وزنی و بلوک متخلخل ساخته شده با الیاف P200 و P186

Fig. 11 - Comparison of soil moisture in two gravimetric and porous blocks with P200 and P186 fibers methods

نتیجه‌گیری

اغلب به صورت بیش‌برآورد بود. استفاده از الیاف P200 نسبت به P186 منجر به ساخت بلوک متخلخل با خطای کمتر در اندازه‌گیری رطوبت خاک شد. دقت اندازه‌گیری رطوبت توسط بلوک‌های طراحی شده در بافت خاک متوسط نسبت به بافت‌های رسی و شنی بیشتر بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از بلوک‌های طراحی شده برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در پروژه‌های آبیاری به‌خصوص در مزارع دارای بافت خاک متوسط قابل توصیه است. برای دستیابی به بلوک‌های مبتنی بر سازه الیاف با دقت بالاتر، توصیه می‌شود دیگر الیاف موجود در بازار ایران نیز آزمایش شوند و اثر آن‌ها بر بهبود دقت بلوک‌ها ارزیابی شود.

در این پژوهش اثر ویژگی‌های الیاف شیشه‌ای حصیری بر امکان ساخت بلوک‌های متخلخل و بهبود دقت آن‌ها در اندازه‌گیری رطوبت خاک بررسی شد. الیاف P200 و P186 با توجه به تفاوت در تراکم تار و پود انتخاب و دقت آن‌ها در به‌کارگیری ساخت بلوک متخلخل در ده بافت خاک مختلف ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد که فرآیند خیس‌شدگی و از دست دادن رطوبت در الیاف مورد بررسی بر رفتار بلوک تاثیر دارد. مقادیر شاخص‌های آماری نشان داد که بلوک‌های ساخته شده با هر دو الیاف دقت قابل قبولی در اندازه‌گیری رطوبت خاک دارند. مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده با بلوک

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از نتایج طرح به شماره قرارداد ۲۵۵۶۸۴۲ با پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان است. بدین وسیله از حمایت‌های آن پژوهشکده محترم تقدیر می‌شود.

مراجع

- Abbasi, F., & Abbasi, N. (2024). An analysis of irrigation efficiencies over time in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 6(17): 1025-1033. (In Persian)
- Ansari, H., & Hassanpour, M. (2015). Design and construction of REC-P55 for reading of soil moisture, temperature and salinity. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 1(9): 32-43. (In Persian)
- Aram, M., & Meysami, H. (2010). Concrete with fiber, a method for producing high strength concrete shell. *Concrete Research*. 3(1): 51-59. (In Persian)
- Bai, W., Kong, L., & GuoState, L. (2013). Effects of physical properties on electrical conductivity of compacted lateritic soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 5: 406-411.
- Bannayan, M., & Hoogenboom, G. (2009). Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model. *Field crops research*. 111(3): 290-302.
- Bouyoucos, G.J., & Mick, A.H. (1940). *An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions*. Bull. 172. Michigan Agric. Exp. Stn., East Lansing. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
- Campbell, G.S., & Mulla, D.J. (1990). Measurement of soil water content and potential. Chapter 6 In Stewart B.A. and Nielsen D.R. (co-editors). *Irrigation of Agricultural Crops*. American Society of Agronomy. Madison, USA. 127-142.
- Charlesworth, P. (2005). Soil Water Monitoring, Irrigation Insights No. 1, Second Edition. Coelho E.F. and D. Or. 1996. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 39(6): 2007-2016.
- Coleman, E.A., & Hendrix, T.M. (1949). The fiberglass electrical soil- moisture instrument. *Soil Science*. 67: 425-438.
- Esmailzadeh, M., & Nayshapori, M. R. (2001). Design, manufacture and increase the efficiency of gypsum blocks for determining soil moisture. *Agricultural Sciences and Natural Resources*. 8(3): 3-11. (In Persian)
- Ezekiel, O., Danbaki, B.A., & Fabumi, G.T. (2021). Performance evaluation of gypsum block, tensiometer and moisture sensor for soil moisture content determination. *Journal of Agricultural Engineering and Technology*. 26 (2): 103-111.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). Water for Sustainable Food and Agriculture. A report produced for the G20 Presidency of Germany. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 33 pages.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017a). Water Scarcity – One of the Greatest Challenges of Our Time. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. (Accessed 15 March 2023).
- Ghaemi, A.A. & Rahmani Soghayeh, J. (2014). Investigation the Performance of Smart Sensors as a New Approach to Determine Soil Moisture Content. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 1(8): 16-25. (In Persian)
- Ghanadzadeh, M. A. Davari, K. & Ghahraman, B. (2009). Evaluation of some different types of gypsum blocks for determination of soil moisture. *Journal of Iranian Water Research*. 2 (2): 23-32. (In Persian)

- Jamieson, P.D., Porter, J.R., & Wilson, D.R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*. 27 (4): 337-350.
- Keyhani, A. (2001). Development of Mini-Gypsum Blocks for Soil Moisture Measurement and their Calibration to Compensate for Temperature. *Journal of Agricultural Science Technology*. 3: 141-145.
- Leib, B.G. (1998). *The 1998 survey of irrigation scheduling providers*. The Washington Irrigator News Letter. Washington State University. Prosser, WA.
- Leib, B.G., Hattendorf, M., Elliott, T. & Matthews, G. (2002). Adoption and of 1998. Agric. Water Manage. 55:105–120. Adaptation of Scientific Irrigation Scheduling: Trend from Washington, USA as of 1998. *Agriculture Water Management*. 55: 105–120.
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods*, London: Butterworths.
- McCann, I.R., Kincaid, D.C & Wang, D. (1992) Operational characteristics of the Watermark model 200 soil water potential sensor for irrigation management. *Applied Engineering in Agriculture*. 8 (5): 605- 609.
- Moravejalakhani, B. & Baghshahi, M. (2020). Feasibility study of the construction and evaluation of a soil moisture sensor in different soil textures. *Iran-Water Resources Research*. 16(1): 135-145. (In Persian)
- Nandi, R., & Shrestha, D. (2024). Assessment of Low-Cost and Higher-End Soil Moisture Sensors across Various Moisture Ranges and Soil Textures. *Sensors*. 24 (5886): 1-13.
- Ozili, P.K. (2023). The acceptable R-square in empirical modelling for social science research. MPR Paper No. 115769. Online at <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/115769/>
- Prichard, T., Hanson, B., Schwankl, L., Verdegaal, P., & Smith, R. (2004). Deficit irrigation of quality wine grapes using micro-irrigation techniques. University of California Cooperative Extension, PP. 91.
- Rafiei-Sardooi, E., Azareh, A., Joorabian Shooshtari, S., & Parteli, E.J.R. (2022). Long-term assessment of land-use and climate change on water scarcity in an arid basin in Iran *Ecol. Model.* 467, Article 109934.
- Raja, O. Parsinejad, M. & Sohrabi, T. (2019). Evaluation of management strategies to reduce water use in Marvdasht-Kharameh study area. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 8 (4): 67-85. (In Persian)
- Rasheed, M.W., Tang, J., Sarwar, A., Shah, S., Saddique, N., Khan, M. U., Imran Khan, M., Nawaz, S., Shamshiri, R. R., Aziz, M., & Sultan. M. (2022) .Soil Moisture Measuring Techniques and Factors Affecting the Moisture Dynamics: *A Comprehensive Review. Sustainability*. 14 (1153): 1-23.
- Rudnick, D. R., Djaman, K., & Irmak, S. (2015). Performance analysis of capacitance and electrical resistance type soil moisture sensors in a silt loam soil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 58 (3): 649-665.
- Savage, M. J. (1993). Statistical aspects of model validation. In a workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems. University of Pretoria, South Africa.
- Spaans, E.J.A., & Baker, J.M. (1992). Calibration of Watermark soil moisture sensors for soil matric potential and temperature. *Plant and Soil*. 143: 213-217.
- Wang, H. (2019). Irrigation efficiency and water withdrawal in US agriculture. *Water Policy*. 21: 768–786.
- Werner, H. (2002). Irrigation Management: using electrical resistance blocks to measure soil moisture. College of Agriculture & Biological Sciences publications page, which is at <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/FS899.pdf>.
- Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 63 (11): 1309-1313.
- Yazdani Kachouei, M. (1996). Comparison of methods for measuring soil moisture in the field. (M. Sc. Thesis), Faculty of Agriculture, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)



Original Research

Effect of fiber-based Sensors Structure on Block Sensor in soil Moisture monitoring performance

M. Navabian*, M. Jamshidi Avanaki

***Corresponding Author:** Associated Prof. of Water Eng. Dep., Agricultural Sciences Faculty, University of Guilan and and Dept. of Water Eng. and Environment, University of Guilan. Rasht, Iran

Received: 1 January 2025, **Accepted:** 29 January 2025

Email: Navabian@guilan.ac.ir

https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2025.368179.1605

Abstract

Knowledge of soil moisture status can significantly impact irrigation planning and, consequently, water management in the agricultural sector, which is the most expensive recipient of water resource allocation. Soil moisture measurement using the porous block method, based on electrical resistance measurement, is one of the techniques for assessing moisture levels. Developing an understanding of its construction can effectively reduce costs, increase accuracy, simplify moisture measurement, and achieve these goals. This study aims to enhance the understanding of soil moisture measurement through the development and assessment of porous blocks constructed with glass mat fibers, specifically P200 and P186 types.

Materials and Methods

In this regard, two types of glass fibers, P200 and P186, were used in the construction of a block with a fibrous structure. The accuracy of moisture measurement was then evaluated in 10 different soil textures. To prepare the soil, it was dried, pounded, and passed through a 2-mm sieve before being placed into a pot. After installing three replicates of each block in the pot, the soil was saturated. At various intervals until the soil dried, the electrical resistance of the block and the soil moisture were measured using the gravimetric method. To assess the accuracy of the blocks, the moisture readings from the blocks were compared with those obtained from the gravimetric method, and statistical indices such as R^2 (coefficient of determination), RMSE (root mean square error), nRMSE (normalized root mean square error), MAE (mean absolute error), and D-index (index of agreement) were calculated.

Results and Discussion

The results showed that ELE glass fibers absorbed 2.6 and 0.5 times more water than P200 and P186 fibers, respectively, over 180 seconds. A comparison of the fitting curves for the wicking behavior of the two fibers indicates that the quadratic curve provides a better fit than the linear curve. Additionally, the results showed that solution absorption in P186 decreased earlier than in P200. Therefore, it appears that P200 fibers are more effective at absorbing the solution and, subsequently, the water from the soil environment. The results also indicated that ELE and P200 fibers exhibited a similar decreasing trend in moisture over the first 15 minutes; however, after that point, the moisture reduction rate in P200 continued at a lower slope. P200 fibers demonstrated behavior more akin to ELE fibers during both moisture reduction and solution absorption. The findings reveal that the porous blocks constructed with P200 fibers achieved superior accuracy in measuring soil moisture, yielding an error margin of approximately 5%. Notably, the findings indicate that the P186 and P200 fibers exhibit optimal accuracy in medium soil textures, outperforming their performance in other soil types. Specifically, the P186 fibers achieve their highest accuracy in soil textures characterized by a sand content between 50-70% and clay content below 35%. Similarly, the P200 fibers also demonstrate robust accuracy within the same sand and clay content ranges, but they extend their effectiveness to include soils with sand content ranging from 20-50% and clay content around 28%. Conversely, the results

suggest that both P200 and P186 fibers struggle with accuracy in soil textures that exhibit either high clay or high sand content. This highlights the importance of soil composition in the performance of these fibers for measuring soil moisture, indicating that they are less reliable in extreme soil conditions. Furthermore, the study highlighted a decline in measurement accuracy at elevated soil moisture levels, indicating that these blocks are most effective within a soil moisture range of 25-40% by weight.

Conclusion

In conclusion, this research underscores the potential of utilizing glass mat fibers in the construction of porous blocks to improve soil moisture measurement accuracy. By refining this methodology, the findings contribute valuable insights toward optimizing irrigation practices and advancing water management strategies in agriculture. Enhanced accuracy in moisture readings not only promotes efficient water usage but also supports sustainable agricultural practices, ultimately benefiting food production and environmental conservation efforts.

Keywords: Fiber Density, Moisture Sensor, Soil Texture, Wetting of Fiber

<https://doi.org/10.22092/IDSER.2025.368179.1605>

Email: Navabian@guilan.ac.ir

نگارنده مسئول:



© 2023, The Author(s). Published by [Agricultural Engineering Research Institute](#). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).