

## تعیین مکان مناسب اندازه‌گیری رطوبت خاک در مدیریت آبیاری قطره‌ای - نواری ذرت

زهرا امیری<sup>۱</sup>، مهدی قیصری<sup>۱\*</sup>، محمدرضا مصدقی<sup>۲</sup>، مهسا سادات طباطبایی<sup>۱</sup> و مهرناز مرادیان‌نژاد<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۲)

### چکیده

مکان اندازه‌گیری رطوبت خاک در مدیریت آبیاری به دلیل تغییرات مکانی زیاد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و چگونگی توسعه ریشه گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این پژوهش، تعیین مکان مناسبی برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در مدیریت آبیاری قطره‌ای - نواری بود که بیانگر میانگین رطوبت خاک رخ ( $\theta_{avg}$ ) باشد. به همین منظور توزیع رطوبت خاک ( $\theta_{ij}$ ) در مرحله تاسل‌دهی ذرت و در طول یک دور آبیاری (۷۳-۶۸ روز پس از کاشت) در انتهای فصل رشد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیش از ۷۰ درصد طول ریشه گیاه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار دارد. با پذیرفتن  $\pm 10^\circ$  درصد خطا نسبت به میانگین رطوبت خاک رخ، محدوده‌ای از خاک رخ مشخص شد که در بازه خطای پذیرفته شده قرار گرفته و از طرفی بیشترین نزدیکی به میانگین رطوبت خاک دارد ( $0_{Rec} < 1/10_{avg} < 90_{avg} / 0$ ). از هم‌پوشانی  $0_{Rec}$  در طول یک دور آبیاری، مکان مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در فاصله افقی از نواری آبیاری تا ۲۰ سانتی‌متر و عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک به دست آمد. از جمله عواملی که در تعیین مکان مناسب اندازه‌گیری رطوبت خاک در راستای میانگین رطوبت خاک رخ بایستی در نظر گرفته شود، توجه به چگونگی توسعه سیستم ریشه و محدوده‌ای از خاک رخ است که تجمع بیشترین تراکم طول ریشه بوده و از طرفی حداکثر جذب آب از این ناحیه صورت می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای - نواری، توزیع رطوبت در خاک، توسعه سیستم ریشه، ذرت، میانگین رطوبت خاک رخ

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: gheysari@cc.iut.ac.ir

## مقدمه

آمده (۸، ۱۷، ۱۸ و ۲۶) یا بر پایه مدل‌های پیچیده ریاضی بوده است (۱۲ و ۲۸) که اغلب در شرایط مزرعه کاربرد ندارند. از طرفی محدوده مناسب اندازه‌گیری در الگوهای جریان یک‌بعدی آب در خاک (آبیاری بارانی) متفاوت از الگوهای جریان آب سه‌بعدی (آبیاری قطره‌ای) است. در سیستم‌های آبیاری بارانی، مکان اندازه‌گیری رطوبت خاک محدود به سیستم توسعه ریشه گیاه است در صورتی که در سیستم آبیاری قطره‌ای علاوه بر سیستم توسعه ریشه گیاه، الگوی توزیع آب در اطراف پیاز رطوبتی تشکیل شده نیز در تعیین مکان مناسب اندازه‌گیری رطوبت خاک مؤثر است (۸). مکان نصب سنسورهای رطوبتی به دلیل تشکیل الگوی غیریکنواخت توزیع آب در اطراف قطره‌چکان‌ها، به‌عنوان یک پارامتر کلیدی در برنامه‌ریزی آبیاری بر پایه رطوبت خاک شناخته شده است (۶).

در ایران کمبود منابع آب، تولید محصولات کشاورزی را به شدت تحت تأثیر قرار داده است و افزایش بهره‌وری مصرف آب برای تولید محصول و امنیت غذایی در کشور یک ضرورت است. در حال حاضر سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در سطح وسیعی توسعه یافته‌اند، اما همچنان مدیریت آبیاری در آنها بر اساس داده‌های تبخیر-تعرق بلندمدت که دقت کمی دارد (۱)، انجام می‌شود. برای استفاده بهینه از پتانسیل و ظرفیت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای-نواری در تولید محصولات کشاورزی انجام آبیاری دقیق (آبیاری بر اساس نیاز گیاه و در زمان مشخص) لازم است. در مدیریت آبیاری دقیق نیاز به اطلاع از وضعیت رطوبت و یا پتانسیل ماتریک خاک وجود دارد که باید در محدوده توسعه ریشه اندازه‌گیری شود. پژوهش‌های محدودی در مورد انتخاب مکان مناسب برای تعیین رطوبت خاک در پیاز رطوبتی سیستم آبیاری قطره‌ای (۱۰) انجام شده است، اما در مورد سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری مرجعی یافت نشد. بنابراین اهداف این پژوهش شامل ۱ بررسی وضعیت توزیع رطوبت در محدوده پیاز رطوبتی در یک دور آبیاری با مدیریت آبیاری قطره‌ای-نواری ذرت و ۲ تعیین

امروزه افزایش نیاز آبی در بخش‌های شهری، صنعت و کشاورزی و همچنین دسترسی محدود به منابع آب در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، سبب توجه به اهمیت کارایی مصرف آب در سیستم‌های آبیاری شده است. کاربرد موضعی آب و مواد مغذی و بهبود برنامه‌ریزی آبیاری در سیستم آبیاری قطره‌ای، مدیریت آب در مزرعه را آسان ساخته است؛ از این‌رو استفاده از این سیستم یکی از راهکارهای مؤثر در افزایش کارایی مصرف آب است (۲۵). پژوهش‌های متعددی نشان داده سیستم آبیاری قطره‌ای دارای پتانسیل زیادی در افزایش کارایی مصرف آب دارد (۲۷ و ۲۹). اما اگر مدیریت درستی صورت نگیرد، می‌تواند سبب هدررفت آب و آبتویی نمک‌های محلول و مواد غذایی خاک (از جمله نیترات) و یا تجمع املاح در اطراف ریشه می‌شود. هدف از برنامه‌ریزی آبیاری، کاربرد مقدار کافی آب در زمان و مکان مناسب و اطمینان از اینکه آب در زمان مورد نیاز در دسترس گیاه قرار خواهد گرفت، است (۲۵). برنامه‌ریزی آبیاری معمولاً بر اساس اندازه‌گیری‌های محیطی همانند تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و بررسی تنش آبی گیاه صورت می‌گیرد. اندازه‌گیری مستقیم تغییرات رطوبت خاک در طول زمان می‌تواند سبب بهبود کارایی آبیاری شود (۲۴). اگرچه آبیاری با تکیه بر رطوبت خاک سبب کاهش مقدار آب کاربردی (۴، ۱۵ و ۳۰)، فرونشست عمقی و آبتویی نیترات (۵ و ۲۱) می‌شود، اما همواره چالش اصلی در این شیوه مدیریت آبیاری تعیین مکان مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک است به‌طوری که مکان اندازه‌گیری رطوبت بتواند نماینده‌ای از شرایط رطوبتی خاک‌رخ در ناحیه توسعه ریشه باشد. عملکرد مدیریت آبیاری بر پایه رطوبت خاک بستگی زیادی به مکان نصب سنسورهای رطوبتی دارد (۹)، به‌طوری که اگر مکان مناسبی برای نصب سنسورهای رطوبتی انتخاب نشود، می‌تواند سبب کم‌آبیاری و یا برعکس بیش‌آبیاری شود. بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در این راستا به‌صورت تجربی بوده (۴، ۱۵، ۱۹، ۲۱ و ۳۰) و برای گیاه خاص و مکان خاصی به‌دست

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی

عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)	رس درصد	شن درصد	گنجایش زراعی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	چگالی ظاهری
۰-۲۰	۲۲/۲	۲۷/۹	۲۷/۹	۱/۳۸
۲۰-۴۰	۲۱/۴	۳۲/۴	۲۷/۱	۱/۵۷
۴۰-۶۰	۲۳/۸	۳۱/۰	۲۷/۰	۱/۴۴

و اعماق ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۵-۲۰، ۲۵-۳۰، ۳۵-۴۰ و ۴۵ سانتی‌متری از سطح خاک در سه نمونه‌گیری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر در راستای ردیف کاشت انجام شد (شکل ۱ و ۲) و رطوبت خاک به روش وزنی اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک در نیم‌رخ خاک در روزهای ۶۸، ۷۰ و ۷۳ روز پس از کاشت صورت گرفت، زمانی که ریشه گیاه حداکثر رشد خود را داشته و بیشترین جذب آب از ناحیه فعال ریشه اتفاق می‌افتد. با استفاده از نرم‌افزار ۱۳ Surfer توزیع دوبعدی رطوبت در خاک‌رخ رسم شد و میانگین رطوبت حجمی ( $\theta_{avg}$ ) کل خاک‌رخ محاسبه شد (۶). سپس رطوبت هر نقطه از خاک ( $\theta_{ij}$ ) به میانگین رطوبت حجمی خاک تقسیم شد و منحنی رطوبت نسبی خاک برای تمام روزهای نمونه‌برداری ترسیم شد. با در نظر گرفتن  $\pm 10\%$  درصد خطا نسبت به میانگین رطوبت حجمی خاک‌رخ، مساحتی از منحنی رطوبت نسبی مشخص شد که در بازه خطای پذیرفته شده قرار می‌گیرد ( $\theta_{avg} < 1/1 \theta_{Rec} < 0/9$ ) و از طرفی بیشترین نزدیکی به میانگین رطوبت خاک را دارد. مفهوم "مکان‌های معرف پایدار در زمان" (Time Stable Representative Positions) توسط سولیس و المال‌گلو در سال ۲۰۱۶ مطرح شد (۲۴). هدف از این مفهوم یافتن موقعیت‌های مکانی از خاک‌رخ است که بتواند در طول دور آبیاری برای پایش رطوبت خاک مناسب باشد. به همین منظور منحنی‌های رطوبت نسبی خاک در یک دور آبیاری روی یکدیگر قرار گرفتند تا محدوده مناسب در این یک دور آبیاری تعیین شود. ضریب تغییرات (Coefficient of Variation) رطوبت خاک‌رخ در روزهای نمونه‌برداری با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد. ضریب تغییرات می‌تواند معیار مناسبی برای سنجش میزان تغییرات رطوبت در خاک‌رخ باشد (۱۰):

محدوده‌ای از خاک‌رخ که بیانگر میانگین رطوبت خاک‌رخ در پیاز رطوبتی سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری ذرت باشد، بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در منطقه لورک (۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان) انجام شد. منطقه مورد مطالعه دارای موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی، ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی است و در ارتفاع ۱۶۳۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ با فواصل روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر در تاریخ هفتم تیرماه ۱۳۹۵ کاشته شد و تحت سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری، آبیاری شد. نوارهای آبیاری در فاصله پنج سانتی‌متری از گیاه قرار گرفت. نوار آبیاری مورد استفاده ساخت شرکت یورو درپ با فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و دبی برابر ۱/۴ لیتر بر ساعت بود. بافت خاک مزرعه لوم بود. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول (۱) ارائه شده است.

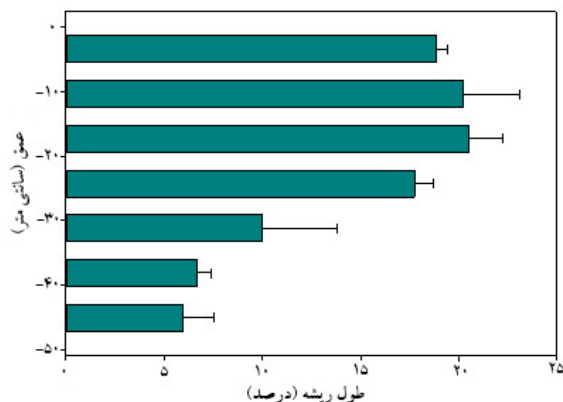
تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو- پنمن- مانتیث (FPM) و داده‌های هواشناسی به‌هنگام محاسبه شد. عمق آب در هر آبیاری بر اساس مقدار مجاز تخلیه رطوبت (۵۰ درصد) و عمق توسعه ریشه گیاه (۵۰ سانتی‌متر) محاسبه و تبخیر- تعرق روزانه گیاه محاسبه شد و با برابر شدن مجموع تبخیر- تعرق گیاه با مقدار مجاز تخلیه رطوبت از خاک (در این پژوهش تقریباً برابر با عمق آب در هر آبیاری)، آبیاری بعدی صورت گرفت (۱۶). به‌منظور بررسی حرکت آب در خاک، نمونه‌برداری با استفاده از استوانه‌های نمونه‌گیری در فواصل ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری از نوار آبیاری



شکل ۲. نمونه برداری ریشه از خاکرخ



شکل ۱. نمونه برداری از خاکرخ برای اندازه گیری رطوبت خاک



شکل ۳. الگوی توزیع طول ریشه در ۹۵ روز پس از کاشت

زیر قطره چکان و در عمق ۳/۵ سانتی متری از سطح خاک برابر با  $0.07 \text{ g cm}^{-3}$  بود، در واقع رطوبت بالا در زیر قطره چکان مکان مناسبی را برای رشد ریشه فراهم کرده است. بیشترین تراکم طولی ریشه ذرت تا عمق ۳۰ سانتی متری توسط سایر پژوهشگران (۷) نیز گزارش شده است. فشردگی خاک زیرین می تواند سبب رشد سطحی ریشه گیاه (تا عمق ۲۵ سانتی متر) شده باشد، از طرفی لایه میانی خاک به دلیل تنش های ناشی از عبور چرخ ماشین های کشاورزی در شیار شخم دارای چگالی ظاهری بالاتری ( $1.07 \text{ g cm}^{-3}$ ) نسبت به لایه های دیگر بود (جدول ۱)، در واقع فشردگی لایه میانی می تواند سبب کاهش تراکم طولی ریشه در این عمق شده و رشد ریشه را به لایه های بالایی محدود کرده باشد (۳ و ۲۳).

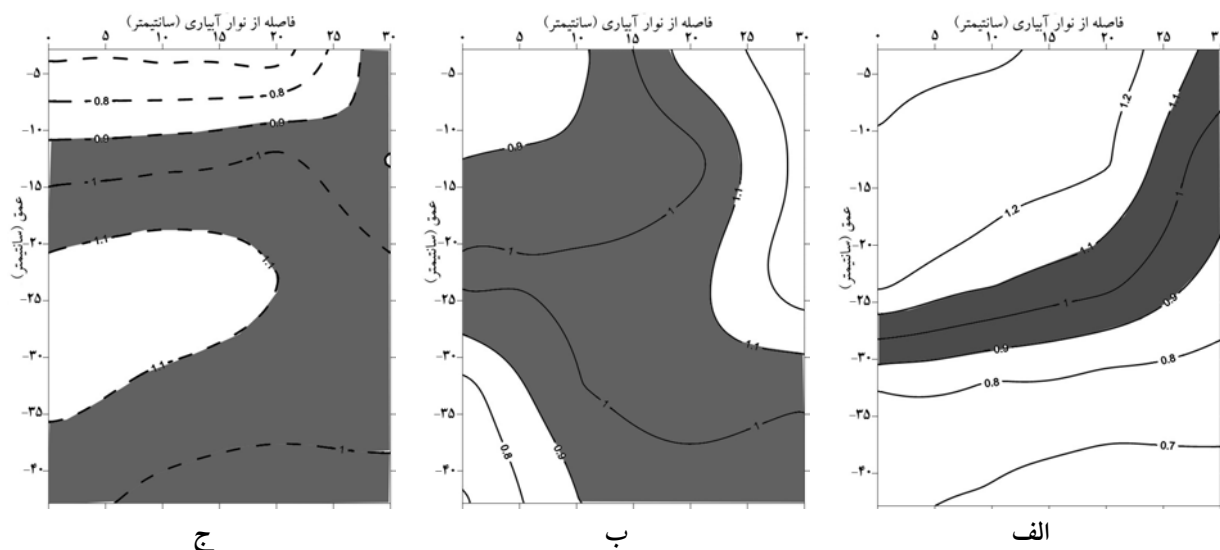
$$CV = \frac{S}{\theta_{avg}} \quad (1)$$

که در این رابطه CV ضریب تغییرات، S انحراف معیار رطوبت های اندازه گیری شده و  $\theta_{avg}$  میانگین رطوبت حجمی خاکرخ در یک روز نمونه برداری است.

## نتایج و بحث

### توزیع ریشه در خاکرخ (Root distribution in soil profile)

الگوی توزیع طول ریشه با عمق خاک بیانگر آن است که در انتهای فصل رشد، بیشترین تجمع طولی ریشه در لایه ۰-۲۵ سانتی متری قرار داشته و ۷۷/۴ درصد کل طول ریشه در این محدوده دیده شد (شکل ۳). بیشترین دانسیته وزن تر ریشه در



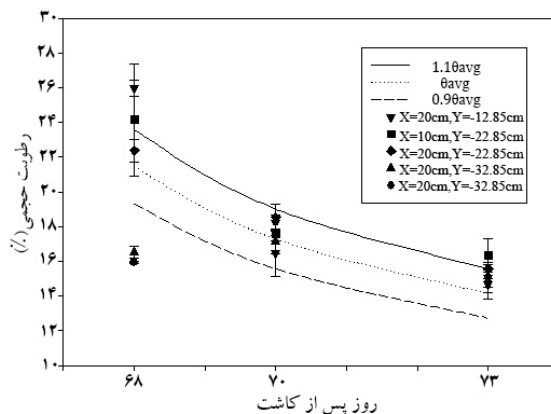
شکل ۴. منحنی‌های هم‌مقدار رطوبت نسبی خاک ( $\theta_{ij}/\theta_{avg}$ ): الف) ۱ روز پس از آبیاری، ب) ۳ روز پس از آبیاری و ج) ۶ روز پس از آبیاری (زمان انجام آبیاری ۶۷ روز پس از کاشت بوده است)، محدوده‌های رنگی شرایط  $\theta_{Rec} < 1/1 \theta_{avg} < 0.9/1 \theta_{avg}$  را نشان می‌دهند.

نتایج نشان داد یک روز پس از آبیاری ضریب تغییرات بالاتری برای رطوبت خاک را دارا است و به تبع آن درصد کمتری از خاک‌رخ مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک شناخته شد. از طرفی هرچه زمان بیشتری از آبیاری می‌گذرد، درصد بیشتری از رطوبت خاک‌رخ تخلیه شده، ضریب تغییرات رطوبت کمتر شده و مکان‌های مناسب برای نصب سنسورهای رطوبتی بیشتر و گسترده‌تر می‌شود. اگر چه در این شرایط محدود مجاز نصب سنسور افزایش یافته است، اما باید دقت کرد در مدیریت آبیاری دقیق این محدوده رطوبتی مطلوب ما نیست زیرا درصد زیادی از رطوبت خاک تخلیه شده است. در مدیریت آبیاری دقیق در منطقه توسعه ریشه، مقدار رطوبت نزدیک به رطوبت در حد گنجایش زراعی نگهداشته می‌شود تا گیاه آب را با سهولت بیشتری جذب کند. پژوهشگران قبلی بیان کرده‌اند تعیین مکان مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت در شرایطی که درصد رطوبت کمی از خاک تخلیه شده است، اهمیت دارد (۸).

کویلنو و آر با هدف یافتن مکان مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از مدل نیمه‌تحلیلی در سیستم آبیاری

#### توزیع رطوبت در خاک‌رخ (Soil water distribution)

مکان مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در روزهای ۶۸، ۷۰ و ۷۳ روز پس از کاشت یا به عبارتی یک، سه و شش روز پس از آبیاری در شکل (۴) ارائه شده است. دیده می‌شود که محدوده مناسب برای اندازه‌گیری  $\theta_{Rec}$  در یک و سه روز پس از آبیاری به ترتیب برابر با ۲۲ درصد و ۷۰ درصد کل خاک‌رخ بود. مکان‌های مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در سه روز پس از آبیاری در حدود سه برابر یک روز پس از آبیاری بود و میانگین رطوبت حجمی خاک‌رخ به ترتیب برابر با ۲۱/۵ و ۱۷/۳ درصد حجمی در ۱ و ۳ روز پس از آبیاری بود. در زمان پنج روز پس از آبیاری معادل یک روز پیش از آبیاری بعدی،  $\theta_{Rec}$  محدوده گسترده از ناحیه توسعه ریشه را در بر می‌گیرد (۶۷ درصد) و به‌طور میانگین دارای رطوبت حجمی ۱۴/۱ درصد بود. ضریب تغییرات رطوبت در خاک‌رخ در روزهای یک، سه و شش روز پس از آبیاری به ترتیب برابر با ۰/۲۵، ۰/۱۶ و ۰/۱۶ بود. بنابراین هرچه از زمان آبیاری می‌گذرد، مقدار ضریب تغییرات رطوبت در خاک‌رخ کاهش یافته و مکان مناسب برای نصب سنسور گسترده‌تر می‌شود.



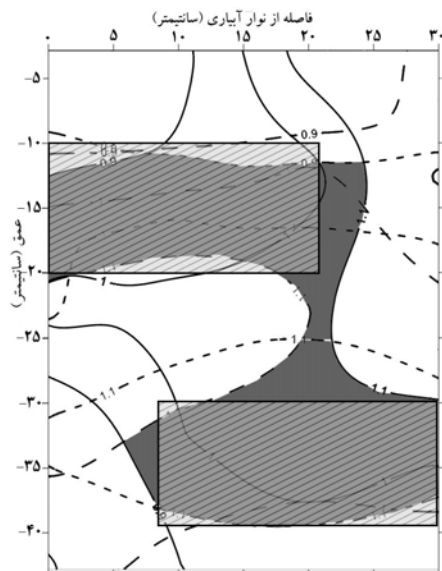
شکل ۵. مقایسه رطوبت خاک در نقاط مختلف خاک‌رخ با  $\theta_{Rec}$  و محدوده آن ( $0.9\theta_{avg} < \theta_{Rec} < 1.1\theta_{avg}$ ) در دور آبیاری ۶۸-۷۳ روز پس از کاشت

خاک‌رخ بیشترین مقدار بود (مقدار ۰/۲۵ در ۶۸ پس از کاشت در پژوهش حاضر). این الگوی رطوبتی ناپایدار بوده و تحت تأثیر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی) قرار دارد. از طرفی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در مزرعه از نظر موقعیت‌های مختلف مکانی، متفاوت و در طول زمان نیز بسیار متغیر بوده است و با گذشت زمان و تغییر الگوی توسعه سیستم ریشه می‌تواند سبب تشدید این ناپایداری شود (۱۴ و ۲۰). الگوی ناپایدار رطوبت خاک در یک روز پس از آبیاری سبب می‌شود که مکان اندازه‌گیری رطوبت به‌صورت نقطه‌ای شود؛ از طرفی اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای در سیستم آبیاری قطره‌ای به‌دلیل الگوی خیس‌شدگی ناپایدار از حساسیت بالا و اطمینان کمتری برخوردار است (۶). به همین دلیل در ادامه از الگوی توزیع رطوبت خاک در یک روز پس از آبیاری برای بررسی هم‌پوشانی به‌منظور تعیین محدوده مناسب اندازه‌گیری رطوبت خاک در طول دور آبیاری استفاده نشد. به کمک هم‌پوشانی منحنی‌های رطوبت نسبی خاک در ۷۰ و ۷۳ روز پس از کاشت، محدوده فاصله افقی از نوار آبیاری تا ۲۰ سانتی‌متری از آن و اعماق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک و فاصله افقی ۳۰-۱۰ سانتی‌متر و اعماق ۴۰-۳۰ سانتی‌متر (شکل ۶) به‌عنوان مکان مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک مشخص شد. لایه سطحی خاک (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر)

قطره‌ای دریافتند هرچه دور آبیاری افزایش یابد یا به‌عبارتی درصد بیشتری از رطوبت خاک تخلیه شود، درصد بیشتری از خاک‌رخ برای اندازه‌گیری رطوبت مناسب خواهد شد؛ در این پژوهش، در دور آبیاری یک روز، فاصله افقی ۲۵-۰ سانتی‌متر از نوار آبیاری و لایه ۳۰-۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک، مناسب برای نصب سنسور رطوبتی بوده در حالی که در دور آبیاری دو روز، فاصله افقی ۳۵-۰ سانتی‌متر و لایه ۳۵-۱۰ سانتی‌متر مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک تشخیص داده شد (۶).

#### تعیین مکان مناسب اندازه‌گیری رطوبت خاک در طول دور آبیاری

شکل (۵) مقایسه مقادیر رطوبت خاک در برخی از نقاط اندازه‌گیری‌شده متناظر با  $\theta_{Rec}$  به‌ترتیب در دور آبیاری ۶۸-۷۳ روز پس از کاشت را نشان می‌دهند. دیده می‌شود که در ۶۸-۷۳ روز پس از کاشت تنها فاصله ۲۰ سانتی‌متری از نوار آبیاری و عمق ۲۲/۸۵ سانتی‌متر ( $X=20\text{ cm}, Y=-22.85\text{ cm}$ ) مناسب و در محدوده خطای پذیرفته‌شده ( $\pm 10\%$  درصد) قرار گرفته و بیانگر میانگین رطوبت خاک‌رخ است. پژوهش‌های پیشین (۱۱) نیز نشان می‌دهد الگوی توزیع رطوبت خاک در یک روز پس از آبیاری برای تعیین مکان مناسب نصب سنسورهای رطوبتی در یک دور آبیاری می‌تواند گمراه‌کننده باشد، به‌طوری که در این زمان ضریب تغییرات رطوبت در



شکل ۶. هم‌پوشانی منحنی‌های رطوبت نسبی خاک در محدوده  $(0.9 < \theta_{avg} < 1.1)$  و  $(0.7 < \theta_{avg} < 0.9)$  روز پس از کاشت

نصب قطره‌چکان (عمق ۱۰ سانتی‌متر) به‌دست آوردند، در حالی که در این عمق به‌دلیل شرایط رطوبتی مناسب، بیشترین تراکم طولی ریشه ذرت وجود داشت (۱۱).

### نتیجه‌گیری

برای انجام مدیریت آبیاری دقیق در سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری بر اساس اندازه‌گیری رطوبت و یا پتانسیل ماتریک خاک در منطقه توسعه ریشه، عوامل متعددی شامل زمان پس از آبیاری، محدودیت‌های خاک و سیستم توسعه ریشه نقش دارند. مقادیر ضریب تغییرات رطوبت در منطقه توسعه ریشه تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای- نواری پس از آبیاری بیشترین و پیش از آبیاری کمترین بود. امکان تعیین مکان مناسب نصب سنسورهای اندازه‌گیری رطوبت خاک برای مدیریت آبیاری قطره‌ای- نواری به‌طوری که رطوبت آن منطقه نماینده میانگین رطوبت خاک‌رخ باشد، وجود داشت. در صورتی که دور آبیاری بیش از دو روز باشد، در خاک با بافت لوم و لایه فشرده در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متر، محدوده مناسب برای تعیین رطوبت خاک در مدیریت آبیاری قطره‌ای- نواری ذرت فاصله افقی از نوار آبیاری تا ۲۰ سانتی‌متری و عمق ۱۰-۲۰

نمی‌تواند برای پایش رطوبت خاک مناسب باشد چرا که این لایه همواره تحت تأثیر تبخیر از سطح خاک بوده و به سرعت خشک می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تغییرات رطوبت این لایه خاک می‌تواند سبب بیش‌آبیاری شود (۲) و (۲۶). از طرفی نصب سنسور در فاصله‌های افقی بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر سبب می‌شود زمان طولانی‌تری نیاز باشد تا جبهه رطوبتی ایجاد شده توسط نوار آبیاری در خاک به آن مکان برسد. بنابراین نیاز است حجم بیشتری از خاک خیس شود و این به معنای افزایش حجم آب آبیاری است و در نتیجه می‌تواند مقدار فرونشست عمقی افزایش یابد (۱۰).

اگر چه لایه ۳۰-۴۰ سانتی‌متری در این دور آبیاری مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک است اما تراکم طولی ریشه در این لایه نسبت به لایه‌های سطحی کمتر بوده به‌طوری که بیش از ۷۰ درصد از کل طول ریشه تا عمق ۲۵ سانتی‌متری قرار گرفته است. از این رو در تعیین مکان مناسب نصب سنسور توجه به محدودیت‌های خاک و الگوی توسعه ریشه ضروری است، این موضوع توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (۸). داباج و همکاران در مطالعه‌ای بر سیستم آبیاری زیرسطحی مکان بهینه برای نصب تانسیمتر را نزدیکی مکان

رطوبت در خاک، پارامترهای دیگری از جمله الگوی توسعه ریشه که به تبع تأثیرگذار بر جذب آب توسط ریشه است، بایستی در نظر گرفته شود. سانتی متری از سطح خاک بود به طوری که نوار آبیاری در نزدیکی ردیف کشت ذرت قرار بگیرد. در تعیین مکان مناسب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک علاوه بر چگونگی توزیع

### منابع مورد استفاده

1. Amiri, S., M. Gheysari and B. Movavejalahkami. 2012. Evaluation of efficiency of long-term weather data in trickle and sprinkler irrigation management. *Journal of Water and Soil Resources Conversation* 2(1): 1-11 (In Farsi).
2. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization, Land and Water, Rome, Italy.
3. Barraclough, P. B. and A. H. Weir. 1988. Effects of a compacted subsoil layer on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat. *Journal of Agricultural Science* 110(2): 207-216.
4. Blonquist, J. M., S. B. Jones and D. A. Robinson. 2006. Precise irrigation scheduling for turfgrass using a subsurface electromagnetic soil moisture sensor. *Agricultural Water Management* 84(1): 153-165.
5. Chighladze, G., A. Kaleita and S. Birrell. 2010. Sensitivity of capacitance soil moisture sensors to nitrate ions in soil solution. *Soil Science Society of America Journal* 74(6): 1987-1995.
6. Coelho, E. F. and D. Or. 1996. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. *Transactions of the ASAE* 39(6): 2007-2016.
7. Coelho, E. F. and D. Or. 1999. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. *Plant and Soil* 206(2): 123-136.
8. Coelho, E. F., D. B. D. Santos and C. A. de Azevedo. 2007. Sensor placement for soil water monitoring in lemon irrigated by micro sprinkler. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11(1): 46-52.
9. Dabach, S., N. Lazarovitch, J. Šimůnek and U. Shani. 2013. Numerical investigation of irrigation scheduling based on soil water status. *Irrigation Science* 31(1): 27-36.
10. Dabach, S., U. Shani and N. Lazarovitch. 2015. Optimal tensiometer placement for high-frequency subsurface drip irrigation management in heterogeneous soils. *Agricultural Water Management* 152: 91-98.
11. Dabach, S., U. Shani and N. Lazarovitch. 2016. The influence of water uptake on matric head variability in a drip-irrigated root zone. *Soil and Tillage Research* 155: 216-224.
12. Dursun, M. and S. Özden. 2017. Optimization of soil moisture sensor placement for a PV-powered drip irrigation system using a genetic algorithm and artificial neural network. *Electrical Engineering* 99(1): 407-419.
13. Gheysari, M., S. H. Sadeghi, H. W. Loescher, S. Amiri, M. J. Zareian, M. M. Majidi, P. Asgarinia and J. O. Payero. 2017. Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agricultural Water Management* 182: 126-138.
14. Greenwood, D. J., K. Zhang, H. W. Hilton and A. J. Thompson. 2010. Opportunities for improving irrigation efficiency with quantitative models, soil water sensors and wireless technology. *Journal of Agricultural Science* 148(1): 1-16.
15. Irmak, S., M. J. Burgert, H. S. Yang, K. G. Cassman, D. T. Walters, W. R. Rathje, J. O. Payero, P. Grassini, M. S. Kuzila, K. J. Brunkhorst and D. E. Eisenhauer. 2012. Large-scale on-farm implementation of soil moisture-based irrigation management strategies for increasing maize water productivity. *Transactions of the ASAE* 55(3): 881-894.
16. Kiani, M., M. Gheysari, B. Mostafazadeh-Fard, M. M. Majidi, K. Karchani and G. Hoogenboom. 2016. Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region. *Agricultural Water Management* 171: 162-172.
17. Lei, X., F. Li, S. Zhou, Y. Li, D. Chen, H. Liu, Y. Pan and X. Shen. Spatial variability and lateral location of soil moisture monitoring points on cotton mulched drip irrigation field. In: Proceeding of 2011 International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. Springer, Heidelberg, Berlin.
18. Müller, T., P. Perona and R. C. Bouleau. 2016. Optimizing drip irrigation for eggplant crops in semi-arid zones using evolving thresholds. *Agricultural Water Management* 177: 54-65.
19. Nolz, R. and W. Loiskandl. 2017. Evaluating soil water content data monitored at different locations in a vineyard with regard to irrigation control. *Soil and Water Research* 12(3): 1-9.
20. Nolz, R., W. Loiskandl, G. Kammerer and M. L. Himmelbauer. 2016. Survey of soil water distribution in a vineyard and implications for subsurface drip irrigation control. *Soil and Water Research* 11(4): 250-258.
21. Pathan, S. M., L. Barton and T. D. Colmer. 2007. Evaluation of a soil moisture sensor to reduce water and nutrient



- leaching in turfgrass (*Cynodon dactylon* cv. Wintergreen). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47(2): 215–222.
22. Regen Instruments Canada Inc., 1993-2009. WinRHIZO Pro V.2009b. www.regentinstruments.com.
23. Shierlaw, J. and A. M. Alston. 1984. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. *Plant and Soil* 77(1): 15–28.
24. Soulis, K. X. and S. Elmaloglou. 2016. Optimum soil water content sensors placement in drip irrigation scheduling systems: Concept of time stable representative positions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142(11): 1-9.
25. Soulis, K. X., S. Elmaloglou and N. Dercas. 2015. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. *Agricultural Water Management* 148: 258–268.
26. Stieber, T. D. and C. C. Shock. 1995. Placement of soil moisture sensors in sprinkler irrigated potatoes. *American Journal of Potato Research* 72(9): 533–543.
27. Tian, D., Y. Zhang, Y. Mu, Y. Zhou, C. Zhang and J. Liu. 2017. The effect of drip irrigation and drip fertigation on N<sub>2</sub>O and NO emissions, water saving and grain yields in a maize field in the North China Plain. *Science of the Total Environment* 575: 1034–1040.
28. Wu, X., M. Liu and Y. Wu. 2012. In-situ soil moisture sensing: Optimal sensor placement and field estimation. *ACM Transactions on Sensor Networks* 8(4): 1-33.
29. Zhang, G., C. Liu, C. Xiao, R. Xie, B. Ming, P. Hou, G. Liu, W. Xu, D. Shen, K. Wang and S. Li. 2017. Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China. *Field Crops Research* 211: 137–146.
30. Zotarelli, L., M. D. Duke, J. M. S. Scholberg, K. Femminella and R. Munoz-Carpena. 2010. Irrigation scheduling for green bell peppers using capacitance soil moisture sensors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 137(2): 73–81.

## Determination of the Suitable Location of Soil Moisture Sampling in Drip-Tape Irrigation Management in A Maize Field

Z. Amiri<sup>1</sup>, M. Gheysari<sup>1\*</sup>, M. R. Mosaddeghi<sup>2</sup>, M. S. Tabatabaei<sup>1</sup>  
and M. Moradiannezhad<sup>1</sup>

(Received: October 19-2017 ; Accepted: May 12-2018)

### Abstract

Location of soil moisture sampling in irrigation management is of special importance due to the spatial variability of soil hydraulic characteristics and the development of root system. The objective of this study was determination of the suitable location for soil moisture sampling in drip-tape irrigation management, which is representative of the average moisture in the soil profile ( $\theta_{avg}$ ) as well. For this purpose, soil moisture distribution ( $\theta_{ij}$ ) at the tassel stage of maize and one irrigation interval (68-73 day after plant) were measured at the end of season. The results showed more than 70% length of the root of plant was located in 30 cm of the soil depth. By accepting  $\pm 10\%$  error in relation to the averaged soil moisture, some region of soil profile was determined which was in the acceptable error range and also near the averaged soil moisture ( $0.9\theta_{avg} < \theta_{Rec} < 1.1\theta_{avg}$ ). By overlapping  $\theta_{Rec}$  in one irrigation interval, the appropriate location for soil moisture sampling was the horizontal distance from drip-tape line to 20 cm and the depth of 10-20 cm from the soil surface. To determine the appropriate place for soil moisture sampling, the development of root system and the maximum concentrated root length density in the soil profile extracting the maximal soil moisture should be taken in to account, parallel with the averaged soil moisture.

**Keywords:** Drip-tape irrigation, Soil moisture distribution, Root system development, Maize, Averaged soil moisture of the soil profile

1. Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2. Soil Science Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: gheysari@cc.iut.ac.ir