بررسی توسعه ریشه ذرت و تأثیر آن بر کاهش مصرف آب در روش‌های مختلف آبیاری با پساب در دشت نیمه‌خشک کربال در استان فارس

محمدعلی ابراهیمی‌زاده و علی‌مراد حسن‌لی[۱*]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۵/۹)

چکیده

عمق ریشه یکی از پارامترهای تأثیرگذار در محاسبه مقدار آب قابل نگه‌داری در محدوده ریشه گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری محسوب می‌شود. مطالعه حاضر، با هدف بررسی روند توسعه ریشه در طول فصل رشد گیاه ذرت در روش‌های مختلف آبیاری با دو کیفیت متفاوت آب از یک سو و بررسی چگونگی تجمع ریشه، در نیمرخ خاک و تدوین مدل حرکت عمقی ریشه از سوی دیگر در قالب طرح یک بار خرد شده (اسپلیت پلات)، با تیمار اصلی روش آبیاری در سه سطح (جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی) و تیمار فرعی، کیفیت آب در دو سطح (پساب تصفیه شده شهری و آب معمولی)، در دو سال متوالی، در منطقه کربال فارس انجام شد. پایش عمق ریشه با روش حفر ترانشه و مشاهده نیم‌رخ خاک انجام شد. نمونه‌گیری در طول دوره رشد در ۱۶ نوبت، با فواصل ۷ روزه و اندازه‌گیری وزن ریشه در لایه‌های خاک نیز از روش برداشت مونولیت‌های خاک و شستشو در صافی‌های پلاستیکی با فشار آب انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اگر چه بیشترین عمق ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و کمترین آن در آبیاری جویچه‌ای مشاهده شد، اما عمق نهایی ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش آبیاری و کیفیت آب آبیاری قرار نگرفت. در این تحقیق، مدل حرکت عمقی ریشه در طول فصل رشد تدوین و دقت آن نیز برای شرایط انجام آزمایش کنترل گردید. عمق نهایی ریشه در شرایط آزمایش برای تیمارهای مختلف به‌طور متوسط ۷۷ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. محاسبه حجم آب در هر آبیاری با استفاده از جبران کمبود رطوبت در محدوده عمق واقعی ریشه، مقدار آب آبیاری را به میزان ۳۱ درصد نسبت به مدل خطی ، ۲۷ در صد نسبت به مدل بورگ و گریمز و ۴۱/۸ در صد نسبت به مدل کراپ‌وات کاهش داد. مجموع وزن خشک ریشه ذرت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری نسبت به روش‌های آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای سطحی افزایش نشان داد. کیفیت آب تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نشان نداد. بیشترین تجمع وزن خشک ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک، درحالی‌که در روش‌های قطره‌ای سطحی و جویچه‌ای در لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) مشاهده شد. ریشه‌ها در روش قطره‌ای زیرسطحی به‌طور یک‌نواخت‌تری در لایه‌های خاک توزیع شده بودند. تراکم ریشه در تمامی تیمارها، در عمق‌های پایین‌تر از ۶۵ سانتی‌متر ناچیز بود.

واژه‌های کلیدی: مدل توسعه ریشه، ذرت، قطره‌ای زیرسطحی، قطره‌ای سطحی، پساب فاضلاب، پایش ریشه

مقدمه

بر اساس شاخص فالکن مارک، کشور ایران در آستانه قرار گرفتن در بحران آبی است (۱). مدیریت مصرف آب که منجر به بهره‌وری بیشتر آب در بخش کشاورزی می‌شود، می‌تواند نقش بسیار مهمی در مصرف بهینه آب کشور داشته باشد (۶). این امر مستلزم به حداقل رساندن تلفات آب از

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و استادیار مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hassan@shirazu.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

طریق جریان‌های سطحی، نفوذ عمقی، تبخیر از زمین لخت، کنترل علف‌های هرز و مدیریت مزرعه می‌باشد (۲). برای کاهش تلفات عمقی آب (چنانچه نیازی به آبشویی نباشد) لازم است در هر آبیاری رطوبت در حد توسعه ریشه تأمین گردد. بنابراین در بررسی روابط آب، خاک و گیاه باید به سیستم ریشه گیاهان و نقش آن در جذب آب توجه ویژه‌ای شود (۵). پلرین و تاردیو (۲۴) با ارایه یک مدل عمومی تفهیمی برای سیستم ریشه ذرت گزارش کردند به علت تغییرات فراوان در پارامترهای مؤثر بر رشد ریشه، پیشگویی روند دقیق توسعه ریشه بسیار مشکل است.

نیکل و همکاران (۲۱) و لانگلی (۱۸) معتقدند ساخت یک مدل کامل برای رشد ریشه به‌دلیل وجود عوامل متغیر و تأثیرات متقابل این عوامل بر یکدیگر بسیار پیچیده و پرزحمت است. الیس و بارنز (۱۳) گزارش نمودند اگر خاک به‌مدت طولانی مرطوب باشد رشد طولی ریشه کندتر می‌شود و هر چه خاک خشک‌تر باشد وزن ریشه نیز کمتر می‌شود. بنابراین دور آبیاری کوتاه، باعث می‌شود خاک همیشه مرطوب بوده و رشد ریشه کاهش یابد. هاکت (۱۶) با مطالعه پنج گیاه زراعی از جمله ذرت، گزارش کرد توزیع ریشه در خاک بستگی به نوع گیاه و خواص خاک دارد، اما معمولاً مقدار وزن ریشه با افزایش عمق و فاصله گرفتن از ردیف کاشت کاهش می‌یابد. رمو و دیاز (۲۵) در آزمایشی که با هدف مقایسه روش‌های آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر توسعه ریشه درختان انجام شد، دریافتند در آبیاری قطره‌ای، ریشه‌ها در سطح تجمع بیشتری می‌یابند و در اعماق پایین، تراکم آنها کاهش می‌یابد. مدسن (۱۹) با مطالعه چگونگی توزیع ریشه گیاه جو در شرایط مختلف اقلیمی، اعلام کرد تراکم ریشه‌ها با افزایش عمق خاک به‌صورت لگاریتمی کاهش می‌یابد. باری و میلر (۱۰) گزارش کردند محدودیت‌هایی که باعث کاهش عمق ریشه گیاه ذرت می‌شوند، رشد اندام‌های هوایی را به‌طور چشم‌گیری کاهش نمی‌دهند. هرناندز و همکاران (۱۷) تجمع ریشه گیاه ذرت در لایه‌های مختلف خاک را در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی تا عمق ۷۰ سانتی‌متری بررسی و اعلام کردند وزن خشک ریشه گیاه ذرت در روش قطره‌ای زیرسطحی نسبت به روش قطره‌ای سطحی به‌طور معنی‌داری افزایش نشان می‌دهد. هم‌چنین بیشترین میزان تجمع ریشه گیاه ذرت در روش قطره‌ای سطحی، در لایه سطحی خاک (تا عمق ۱۰ سانتی‌متری) و در روش قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک گزارش شد. پاندا و همکاران (۲۳) اعلام کردند عمق مؤثر ریشه گیاه ذرت در ۳۰ تا ۴۰ روزگی ۴۵ سانتی‌متر، در ۴۰ تا ۵۵ روزگی ۶۰ سانتی‌متر و از آن پس تا بلوغ ۹۰ سانتی‌متر می‌باشد. فولت و همکاران(۱۴) در بررسی وضعیت رشد ریشه گیاه ذرت، در شرایط بالا بودن سطح آب زیرزمینی (بین ۱/۳ تا ۲/۶۴ متر) عمق نهایی ریشه گیاه ذرت را در شرایط آزمایش، ۹۱ سانتی‌متر و در خاک شنی، بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر گزارش کردند. چون ارتباط گیاه با آب از طریق ریشه صورت می‌گیرد، مقدار آب و مواد غذایی در دسترس گیاه، از روی حجم خاکی که با ریشه‌ها در تماس است بررسی می‌شود، حجم این خاک نیز بستگی به انتشار ریشه در جهات افقی و عمودی دارد (۵). توسعه ریشه گیاه، علاوه بر این‌که یک خصوصیت ژنتیکی است به شرایط محیط رشد گیاه همچون رطوبت، بافت خاک و عناصر غذایی بستگی دارد (۵). میرهادی (۸) در تحقیقی اعلام کرد در مرحله رسیدن گیاه ذرت، تنها حدود دو درصد از ریشه‌ها (از نظر وزنی) پایین‌تر از عمق ۶۰ سانتی‌متر قرار می‌گیرند. حاج‌عباسی (۳) معتقد است درصورت خشک شدن طولانی خاک، رشد طولی ریشه به طرف پایین سریع‌تر می‌شود و بین عمق ریشه، رطوبت قابل استفاده در خاک و بافت خاک ارتباط وجود دارد. عمق ریشه از عوامل تأثیرگذار در محاسبه میزان آبیاری در محدوده ریشه به منظور کاهش تلفات عمقی است. اما این مهم در بیشتر موارد برای گیاهان مختلف، به‌صورت تقریبی و بر اساس مدل‌ها یا مقادیر توصیه شده، محاسبه می‌شود، درحالی‌که توسعه ریشه هر گیاه، تحت تأثیر محیط رشد برای شرایط مختلف متفاوت است. عمق خالص آب در هر نوبت آبیاری به‌گونه‌ای که تلفات عمقی وجود نداشته باشد و تمام ستون

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

جدول۱. برخی خصوصیات آب آبیاری

کیفیت آب آبیاری	EC (dSm^{-1})	SAR	pH	میلی‌اکی‌والان در لیتر					
				HCO_3^-	SO_4^-	Cl^-	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+
پساب فاضلاب	۱/۴۶	۲/۶۶	۷/۸	۱۰	۰/۸	۴	۴/۸	۳/۷	۵/۵
آب معمولی	۰/۵۱	۰/۵۳	۷/۷۸	۴	۰/۴	۰/۹۵	۳	۱/۵	۰/۸

EC : قابلیت هدایت الکتریکی، SAR: نسبت جذب سدیم

جدول۲. برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه قبل از شروع آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	BD (g/cm^3)	θ_{fC} (٪)	EC dS/m	pH	کربن آلی(٪)	SAR	N (٪)	P (p.p.m)	K (p.p.m)
۰-۲۰	۴۴	۴۲	۱۴	۱/۲۹	۲۴	۰/۵۳	۸/۱۹	۱/۶۲	۱/۳۴	۰/۱۶	۱۸/۷۹	۵۵۰
۲۰-۴۰	۴۶	۴۰	۱۴	۱/۳	۲۴	۰/۶۲	۸/۲۶	۰/۴۴	۱/۰۳	۰/۰۴۲	۱۶/۷۱	۴۴۵
۴۰-۶۰	۵۰	۳۸	۱۲	۱/۳۶	۲۵	۰/۹۳	۸/۲۹	۰/۸۳	۱/۲۱	۰/۰۸	۱۴/۶۲	۴۱۰
۶۰-۸۰	۵۰	۳۶	۱۴	۱/۴۳	۲۳	۰/۸۵	۸/۴۷	۱/۰۳	۱/۲۱	۰/۰۹۸	۹/۶۱	۳۴۰

خاک در محدوده توسعه عمق ریشه خیس شود از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_w)\, BD \times R \qquad [۱]$$

d_n: عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)، θ_{fc}: رطوبت خاک در ظرفیت زراعی (٪)، θ_w: رطوبت خاک در زمان آبیاری (٪)، BD: چگالی ظاهری (نسبی) خاک (بدون واحد) و R: عمق ریشه در زمان آبیاری (میلی‌متر). در عمل معمولاً به‌دلیل نبودن اطلاعات کافی از عمق ریشه در زمان‌های مختلف، به‌خصوص عمق نهایی، عمق خالص آب آبیاری با تخمین عمق نهایی ریشه، محاسبه می‌شود این در حالی است که عمق ریشه در طول دوره رشد گیاه، با عمق نهایی ریشه تفاوت دارد.

برای جلوگیری از تلفات عمقی آب اطلاعات میدانی و آگاهی از چگونگی توسعه عمقی ریشه در هر منطقه، نوع خاک و مدیریت مزرعه که بخشی از آن توجه به روش‌های آبیاری و کیفیت‌های متفاوت آب می‌باشد از اهمیت بالایی برخوردار است.

هدف از انجام این تحقیق، اولاً بررسی چگونگی توسعه عمقی ریشه گیاه ذرت برای محاسبه دقیق‌تر مقدار خالص آب آبیاری در طول دوره رشد به‌گونه‌ای که از تلفات احتمالی نفوذ عمقی در هر آبیاری کاسته شود، ثانیاً بررسی چگونگی توسعه و توزیع ریشه گیاه ذرت در روش‌های جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی با پساب فاضلاب و آب معمولی و ثالثاً تدوین مدل ریاضی توسعه عمقی ریشه گیاه ذرت در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق، در ایستگاه تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مرودشت (ابتدای دشت کربال)، در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در قالب طرح کرت یک بار خرد شده (اسپلیت پلات)، با فاکتور اصلی روش آبیاری (جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی) و فاکتور فرعی کیفیت آب آبیاری (آب معمولی و پساب فاضلاب) و در چهار تکرار (جمعاً ۲۴ کرت به ابعاد ۷×۶ متر) اجرا گردید. جدول ۱ کیفیت آب آبیاری و جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه را نشان می‌دهد. به‌دلیل نوسانات آب زیرزمینی، پیرامون مزرعه آزمایشی، یک زهکش سطحی به عمق دو متر و با مقطع ذوزنقه حفر گردید. با پمپاژ پیوسته آب زهکش، سطح آب زیرزمینی در طول دوره رشد گیاه، پایین‌تر از

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل۱. چگونگی اندازه‌گیری عمق توسعه ریشه گیاه ذرت (الف و ب) و جداسازی ریشه‌ها از خاک (ج و د)

۱۸۰ سانتی‌متر کنترل گردید. گیاه ذرت رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ با فواصل ۱۸ سانتی‌متر در روی ردیف‌ها و ۷۵ سانتی‌متر در بین ردیف‌ها و با عمق کاشت ۳ تا ۵ سانتی‌متر در تاریخ‌های ۱۳۸۵/۳/۱۵ و ۱۳۸۴/۳/۲۰ کاشت و در تاریخ‌های ۱۳۸۵/۷/۱۰ و ۱۳۸۴/۷/۱۵ برداشت شد. جهت پایش عمق ریشه از روش حفر ترانشه و مشاهده نیمرخ خاک استفاده شد. هم‌زمان با کاشت، ترانشه‌هایی با عمق و عرض یک متر به موازات تعدادی ازکرت‌ها حفاری شد. برنامه‌ریزی آبیاری با روش پایش رطوبت خاک و پایش عمق ریشه با براورد کمبود رطوبت در هر آبیاری بر پایه رابطه۱ و با دور ۴ روزه انجام شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک در عمق‌های ۲۰ سانتی‌متری به‌طور مجزا، در محدوده ریشه و در هر نوبت آبیاری با روش وزنی انجام می‌شد.

اندازه‌گیری عمق ریشه در ۱۶ نوبت، با فواصل ۷ روزه در طول دوره رشد برای هر یک از شش تیمار انجام و عمق ریشه برای هر تیمار در سه تکرار و از هر تکرار، سه گیاه (جمعاً ۵۴ گیاه) اندازه‌گیری شد. در هر نوبت ریشه‌های گیاه حاشیه ترانشه با بیلچه‌ای از خاک جدا و عمق آنها با خط‌کش اندازه‌گیری می‌شد. عمق‌های متوسط ریشه در هر تیمار به‌عنوان مقیاسی برای محاسبه مقدار آب آبیاری خالص در هر نوبت در محدوده ریشه، برای رساندن رطوبت به ظرفیت زراعی استفاده شد. در شکل ۱ (عکس‌های الف و ب) نمایی از چگونگی اندازه‌گیری عمق ریشه گیاه ذرت نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری وزن ریشه در لایه‌های مختلف خاک از روش مونولیت خاک استفاده شد (۵). در این روش ستون‌هایی (مونولیت) از خاک به همراه ریشه گیاه برداشت شدند (۹). برای مطالعه دقیق‌تر باید از مونولیت‌های مکعبی استفاده شود (۵) که در این تحقیق با تقسیم‌بندی ستون خاک در جهت‌های عرضی، طولی و عمقی از این شیوه استفاده شد. افزون بر آن در پایان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

جدول۳. نتایج تجزیه واریانس عمق ریشه گیاه ذرت (سانتی‌متر) در طول دو دوره آزمایش

منابع تغییر	سال انجام آزمایش	میانگین مربعات ۱۴ روزگی	میانگین مربعات ۳۵ روزگی	میانگین مربعات ۵۶ روزگی	میانگین مربعات ۷۷ روزگی	میانگین مربعات ۹۸ روزگی
تکرار	۱۳۸۴	۲۱/۱۶^{ns}	۴/۵^{ns}	۲۱/۵^{ns}	۱۲/۵^{ns}	۱۷/۱۶^{ns}
	۱۳۸۵	۳/۱۶^{ns}	۱۲/۱۶^{ns}	۳۴/۶^{ns}	۳۷/۵**	۶/۱۶^{ns}
روش آبیاری	۱۳۸۴	۴/۵^{ns}	۱۶۵/۵*	۶۶/۵*	۳۷/۵^{ns}	۲۶^{ns}
	۱۳۸۵	۲۶*	۱۲۰/۵	۸^{ns}	۱۲/۵*	۶/۵^{ns}
کیفیت آب	۱۳۸۴	۲^{ns}	۲^{ns}	۲۴^{ns}	۲^{ns}	۱۸^{ns}
	۱۳۸۵	۱۲/۵^{ns}	۸^{ns}	۰/۵^{ns}	۱۸*	۲^{ns}
روش آبیاری × کیفیت آب	۱۳۸۴	۳/۵^{ns}	۴۵^{ns}	۶/۵^{ns}	۰/۵^{ns}	۰^{ns}
	۱۳۸۵	۸^{ns}	۱۵/۵^{ns}	۳۲^{ns}	۴۶/۵**	۲۴/۵^{ns}
خطا	۱۳۸۴	۷/۹	۴۳/۶۳	۲۷/۷	۲۱	۱۴/۸۱
	۱۳۸۵	۱۴/۶	۲۹/۲	۱۴/۹	۳۱/۹	۱۱/۵
ضریب تغییرات	۱۳۸۴	۶/۲۵	۲۲/۱	۱۴/۷	۹/۵	۴/۳
	۱۳۸۵	۱۲/۴	۸/۳	۱۰/۱	۶/۴	۱۱/۲

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

فصل رشد نیز از هر تیمار سه تکرار و از هر تکرار سه گیاه انتخاب شدند (جمعاً ۵۴ گیاه از ۱۸ کرت) و ترانشه‌هایی به طول، عرض و عمق تقریبی یک متر در وسط هر کرت حفر شدند (۹). سپس برای هر گیاه از دیواره ترانشه، لایه به لایه مونولیت‌هایی تهیه و خارج شدند. هر مونولیت به ابعاد ۲۵، ۲۰ و ۱۸ سانتی‌متر، در جهت عمق ریشه چهار مونولیت هر کدام با عمق ۲۰ سانتی‌متر، در جهت عمود بر ردیف‌های کاشت سه مونولیت هر کدام با طول ۲۵ سانتی‌متر (فاصله ردیف‌های کاشت از هم ۷۵ سانتی‌متر) و در جهت ردیف‌های کاشت یک مونولیت با عرض ۱۸ سانتی‌متر (فاصله دو گیاه در طول ردیف ۱۸ سانتی‌متر) جمعاً ۱۲ مونولیت خاک و ریشه برای هر گیاه برداشت شد. مونولیت‌های خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در تشت‌های پلاستیکی خیسانده شدند تا در هنگام شستشو، ریشه‌ها با سهولت بیشتری از خاک جدا شوند (۹). مرحله شستشوی ریشه‌ها با کمک فشار آب و به‌وسیله صافی‌های پلاستیکی ۵۰ مشی (تعداد منافذ در هر اینچ مربع) انجام شد (شکل۱، عکس‌های ج و د). نمونه‌های خیس ریشه چهار ساعت پس از قرار گرفتن در هوای آزاد به آون منتقل شدند تا برای مدت ۲۰ ساعت در گرم‌خانه‌ای با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شوند (۵). ریشه‌ها پس از خشک شدن، با ترازوی دیجیتال (با دقت یک صدم) توزین و نتایج آزمایش با کمک نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

عمق ریشه

نتایج تجزیه واریانس در طول دو دوره آزمایش نشان می‌دهد که در هیچ یک از دو سال آزمایش، عمق نهایی ریشه‌ها تحت تأثیر روش‌های آبیاری و کیفیت آب آبیاری قرار نگرفته است. جدول۳ نشان می‌دهد در هر دو سال آزمایش عمق نهایی ریشه در آبیاری جویچه‌ای کمترین و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بیشترین مقدار بوده اما این تفاوت در سطح پنج درصد معنی‌دار نشده است.

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

جدول۴. مقایسه میانگین عمق ریشه (سانتی‌متر) در مراحل رشد، تحت تأثیر روش آبیاری (دانکن ۵٪) در طول دو دوره آزمایش

روش آبیاری	سال انجام آزمایش	روز بعد از کاشت				
		۱۴ روزگی	۳۵ روزگی	۵۶ روزگی	۷۷ روزگی	۹۸ روزگی
جویچه‌ای	۱۳۸۴	۲۴(a)	۴۸/۵(b)	۶۳/۵(a)	۷۳/۵(a)	۷۵(a)
	۱۳۸۵	۲۳/۵(a)	۵۰/۵(b)	۶۹/۵(a)	۷۵(a)	۷۷/۵(a)
قطره‌ای سطحی	۱۳۸۴	۲۵/۵(a)	۵۳/۵(b)	۶۸(a)	۷۶(a)	۷۶(a)
	۱۳۸۵	۲۶/۵(a)	۵۱(b)	۶۹/۵(a)	۷۷/۵(a)	۷۹(a)
قطره‌ای زیرسطحی	۱۳۸۴	۲۵/۵(a)	۵۹(a)	۷۰(a)	۷۸/۵(a)	۷۹(a)
	۱۳۸۵	۲۷/۵(a)	۵۸/۵(a)	۷۱/۵(a)	۷۷/۵(a)	۷۹/۵(a)

کیفیت آب آبیاری نیز هیچ گونه تأثیری بر عمق نهایی ریشه نشان نداد. این نتایج بیانگر آن است که عمق نهایی ریشه گیاه ذرت، وقتی رطوبت در حد نیاز در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، تحت تأثیر روش و کیفیت آب آبیاری قرار ندارد، بلکه بر اساس بسیاری از تحقیقات تحت تأثیر خصوصیات خاک (بافت، ساختمان و مقاومت) و وضعیت تغذیه و تهویه و هم‌چنین عمق آب زیرزمینی قرار می‌گیرد (۱۲ و ۲۲). نتایج اندازه‌گیری‌ها در هر نوبت نشان داد، بیشترین عمق ریشه مربوط به روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و کمترین آن مربوط به روش آبیاری جویچه‌ای می‌باشد. چنانچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود در سال اول آزمایش، روش آبیاری در دومین و سومین نمونه‌گیری (۳۵ و ۵۶ روز بعد از کاشت) در سطح ۵ درصد، تأثیر معنی‌داری بر عمق ریشه داشت، اما کیفیت آب در هیچ یک از نمونه‌گیری‌ها تأثیر معنی‌داری بر عمق ریشه نشان نداد. در دومین سال آزمایش نیز تأثیر روش آبیاری در نمونه‌گیری‌های نوبت اول و چهارم (۱۴ و ۷۷ روز بعد از کاشت) در سطح ۵ درصد، معنی‌دار شد. کیفیت آب آبیاری نیز در چهارمین نمونه‌گیری (۷۷ روز بعد از کاشت) در سطح ۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر عمق ریشه نشان داد. ضمن این‌که اثر متقابل کیفیت آب با روش آبیاری نیز در نمونه‌گیری چهارم (۷۷ روز بعد از کاشت) در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج آزمون دانکن نیز نشان داد تنها در دومین نمونه‌گیری (۳۵ روز پس از کاشت) عمق ریشه در روش آبیاری زیرسطحی نسبت به دو روش دیگر در هر دو سال زراعی افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد و در سایر اندازه‌گیری‌ها این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۴). تنها در دومین سال آزمایش (۷۷ روز پس از کاشت)، افزایش معنی‌داری در عمق ریشه در آبیاری با پساب نسبت به آب معمولی مشاهده شد (جدول ۵).

روند توسعه عمقی ریشه گیاه ذرت در شرایط آزمایش، بر اساس داده‌های سال اول، در برنامه اکسل رسم و مدل‌های رگرسیونی مختلف برای این داده‌ها آزمایش گردید که از بین آنها مدل رگرسیونی پلی‌نومیال بیشترین ضریب هم‌بستگی را با داده‌های مذکور نشان داد (نمودار۱). این منحنی نشان می‌دهد روند توسعه عمقی ریشه گیاه ذرت در دشت کربال و در شرایط آزمایش به‌صورت معادله درجه دو به شکل محدب تغییر می‌کند. بر اساس این نمودار رشد ریشه در نیمه اول فصل رشد با شیب بسیار تند افزایش می‌یابد، اما به‌تدریج، از ۵۰ روزگی به بعد شیب آن کاهش می‌یابد و در حدود ۹۰ روزگی به حداکثر خود می‌رسد. معادله ریاضی این روند رشد با ضریب هم‌بستگی بالا (R^2=۰/۹۹۶) به‌صورت زیر می‌باشد:

$$Y = -۰/۰۰۹۸ X^{۲} + ۱/۷۱۳ X + ۳/۰۳ \qquad [۲]$$

Y: عمق ریشه (سانتی‌متر) و X: زمان پس از کاشت (روز).

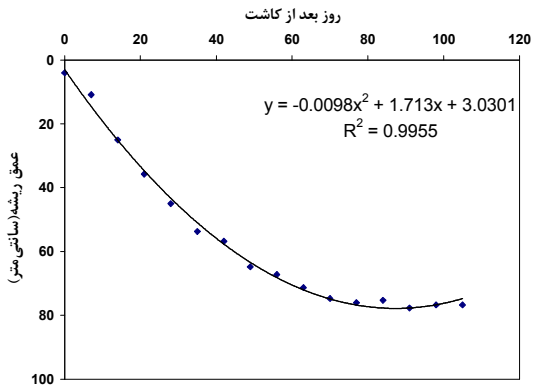
برای بررسی میزان دقت این مدل در تخمین عمق واقعی

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

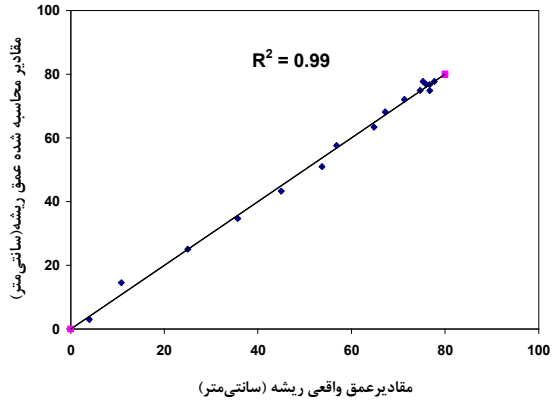
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

جدول۵. مقایسه میانگین عمق ریشه (سانتی‌متر) در مراحل رشد، تحت تأثیر کیفیت آب (دانکن ۵٪) در طول دو دوره آزمایش

کیفیت آب	سال انجام آزمایش	روز بعد از کاشت				
		۱۴ روزگی	۳۵ روزگی	۵۶ روزگی	۷۷روزگی	۹۸ روزگی
آبیاری با پساب	۱۳۸۴	۲۵/۳(a)	۵۴(a)	۶۸/۳(a)	۷۵/۷(a)	۷۵/۷(a)
	۱۳۸۵	۲۵(a)	۵۴(a)	۷۰(a)	۷۷/۷(a)	۷۹(a)
آبیاری با آب معمولی	۱۳۸۴	۲۴/۷(a)	۵۳/۳(a)	۶۶(a)	۷۶/۳(a)	۷۷/۷(a)
	۱۳۸۵	۲۶/۷(a)	۵۲/۷(a)	۷۰/۳(a)	۷۵/۷(b)	۷۸/۳(a)



نمودار ۱. منحنی توسعه عمق ریشه گیاه ذرت در طول دوره رشد بر اساس داده‌های سال اول آزمایش



نمودار۲. مقایسه مقادیر واقعی عمق ریشه با مقادیر محاسبه شده، توسط معادله تدوین شده در این تحقیق

ریشه، آزمایش برای سال دوم تکرار و مقادیر مشاهده شده ثبت گردید. برای مقادیر مختلف X سال دوم آزمایش ، مقادیر Y برای تمام نوبت‌های اندازه‌گیری محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده در سال دوم و مقادیر اندازه‌گیری شده همان سال در نمودار ۲ رسم گردید. بین مقادیر عمق واقعی ریشه و مقادیر محاسبه شده در معادله ۲، ضریب هم‌بستگی بالایی مشاهده شد به‌گونه‌ای که مقادیر حاصل از این معادله با خط Y = X به خوبی انطباق دارند. بنابراین می‌توان این مدل را برای دشت کربال و شرایط خاک و اقلیم محل آزمایش، با توجه به این‌که آب زیرزمینی نیز در عمق ۱۸۰ سانتی‌متری کنترل شود، برای تخمین عمق ریشه گیاه ذرت در طول دوره رشد با دقت نسبتاً بالا توصیه نمود. اما به‌منظور مقایسه این مدل در تخمین عمق ریشه گیاه ذرت با سایر مدل‌هایی که جهت براورد عمق ریشه ارایه شده‌اند، مدل خطی (مارتین و همکاران (۱۲)، (معادله ۳)، مدل بورگ و گریمز (۱۲)، (معادله ۵) و مدل CROPWAT بررسی قرار گرفتند. مدل خطی به شرح زیر می‌باشد:

$$R_d = R_{dmin} + (R_{dmax} - R_{dmin})\, R_f \qquad [۳]$$

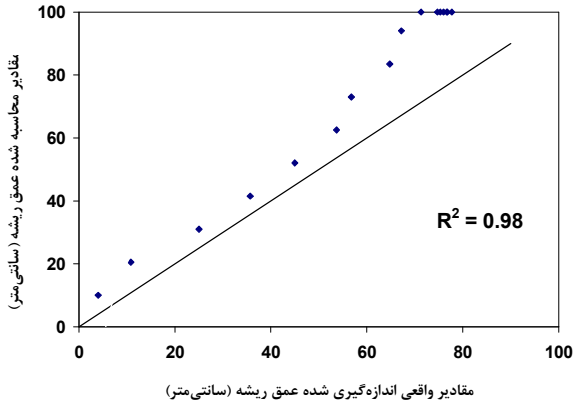
که در آن R_d: عمق ریشه در روز اندازه‌گیری (سانتی‌متر)، R_{dmin}: حداقل عمق ریشه، R_{dmax} : عمق نهایی ریشه و R_f : ضریب رشد ریشه هستند. در این مدل، حداقل عمق ریشه برای گیاهان مختلف بین ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر و دامنه تغییرات عمق نهایی ریشه گیاه ذرت نیز بین ۱ تا ۲ متر گزارش شده است (۲۰). ضریب رشد ریشه نشان دهنده نرخ رشد ریشه در طول فصل رشد می‌باشد که برای مدل خطی بالا از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_f = (D_{ag} / D_{tm}) \qquad [۴]$$

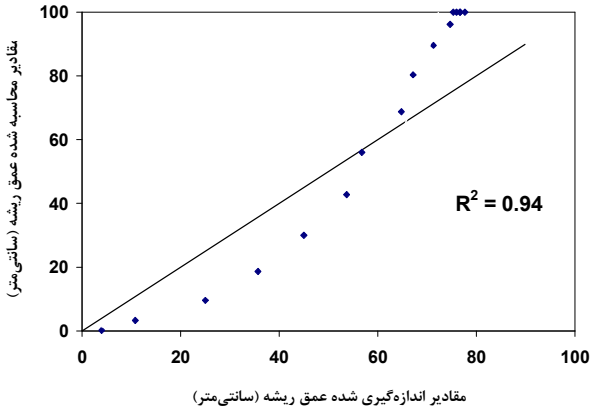
D_{ag} : فاصله زمان جوانه‌زنی تا روز اندازه‌گیری(روز) و D_{tm}: زمان جوانه‌زنی تا رسیدن به عمق نهایی ریشه (روز). مدل بورگ و گریمز به شرح زیر است:

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

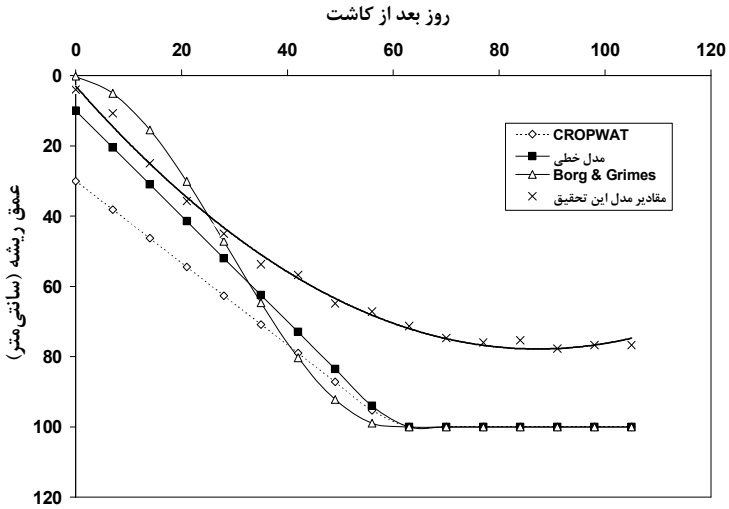
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]



نمودار۳. مقایسه مقادیر واقعی عمق ریشه گیاه ذرت با مقادیر محاسبه شده توسط مدل خطی



نمودار۴. مقایسه مقادیر واقعی عمق ریشه گیاه ذرت با مقادیر محاسبه شده توسط مدل بورگ و گریمز



نمودار۵. مقایسه براورد عمق ریشه گیاه ذرت توسط سه مدل خطی، بورگ و گریمز و مدل تدوین شده در تحقیق حاضر

$$R_d = R_{dmax} [۰/۵ + ۰/۵Sin(۳/۰۳ * (D_{ag}/D_{tm}) - ۱/۴۷)] \qquad [۵]$$

وضعیت قرار گرفتن نتایج حاصل از دو مدل بالا نسبت به مقادیر واقعی و خط Y = X در نمودارهای ۳ و ۴ نشان داده شده است. روند توسعه عمق ریشه توسط مدل‌های خطی، بورگ و گریمز و CROPWAT در نمودار ۵ با نتایج حاصل از معادله نهایی حاصل از تحقیق حاضر (معادله ۶) مقایسه گردید. چنانچه مشاهده می‌شود مدل CROPWAT، حداقل عمق ریشه را ۳۰ سانتی‌متر، درحالی‌که مدل خطی پیش‌فرض ۱۰ سانتی‌متر را برای پارامتر فوق در نظر می‌گیرد. هر دو مدل عمق ریشه گیاه ذرت برای دشت کربال را به میزان قابل توجهی بیشتر از مدل بورگ و گریمز، و مدل حاصل از این تحقیق تخمین می‌زنند و از حدود ۶۰ روز پس از کاشت تا پایان دوره رشد، عمق ریشه را به‌طور ثابت ۱۰۰ سانتی‌متر براورد می‌کنند. این درحالی است که مدل بورگ و گریمز نیز براورد دقیقی از عمق ریشه گیاه ذرت در منطقه مورد مطالعه ندارد، به‌گونه‌ای که تا حدود ۳۰ روز پس از کاشت عمق ریشه را کمتر از مقدار واقعی براورد می‌کند و پس از آن تا انتهای دوره رشد عمق ریشه را بیش از میزان واقعی تخمین می‌زند. این مدل نیز از حدود ۶۰ روز پس از کاشت تا پایان دوره، عمق ریشه را به‌طور ثابت ۱۰۰ سانتی‌متر براورد می‌کند

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

درحالی‌که عمق واقعی ریشه گیاه ذرت در محل آزمایش بر اساس اندازه‌گیری، ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد مدل خطی، عمق ریشه گیاه ذرت برای منطقه مورد مطالعه را در طول دوره رشد ۳۱ درصد بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند. از آنجائی که برای یک خاک مشخص با BD و θ_{fC} ثابت بین عمق ریشه و حجم آب خالص در هر نوبت آبیاری ارتباط مستقیمی وجود دارد (معادله ۱)، بنابراین می‌توان گفت در صورت ثابت فرض کردن سایر پارامترهای معادله ۱، مدل خطی، حجم آب آبیاری مورد نیاز ذرت را برای شرایط این منطقه به میزان ۳۱ درصد، بیش از میزان واقعی آبی که باید در محدوده ریشه قرار گیرد و تلفات عمقی نداشته باشد، براورد می‌کند. مدل بورگ و گریمز عمق ریشه و بالطبع حجم آب آبیاری را به میزان ۲۷ درصد و مدل CROPWAT به میزان ۴۱/۸ درصد بیشتر از میزان واقعی براورد می‌کنند. ضمن این‌که در مدل بورگ و گریمز در ۳۰ روز اول دوره رشد، گیاه احتمالاً تحت تنش کمبود رطوبت نیز قرار می‌گیرد. زیرا رطوبت، احتمالاً ستون خاک را تا عمق ریشه، به‌طور کامل خیس نمی‌کند. چنانچه در جدول ۵ مشاهده می‌شود، تمامی مدل‌های مورد مطالعه از زمان بلوغ گیاه (۶۰ روز پس از کاشت) تا پایان دوره رشد عمق نهایی ریشه برای گیاه ذرت را به‌طور پیش فرض ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر می‌گیرند، اما چنانچه عمق نهایی اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه (به‌طور متوسط ۸۰ سانتی‌متر) جایگزین پیش‌فرض این مدل‌ها شود، حجم آب قابل نگه‌داری در محدوده ریشه به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند، به‌گونه‌ای که حجم آب آبیاری که در آن نفوذ عمقی وجود نداشته باشد توسط مدل‌های خطی، CROPWAT و بورگ و گریمز به ترتیب، تنها ۵/۹ درصد، ۱۶/۶۷ درصد و ۱/۸۲ درصد بیش از میزان واقعی مورد نیاز، محاسبه خواهد شد (جدول ۶). برای افزایش بیشتر دقت مدل در براورد عمق ریشه برای دشت کربال، داده‌های سال اول و دوم با هم تلفیق و نتایج به صورت معادله ۶ با ضریب هم‌بستگی بیش از ۹۹ درصد که نشان دهنده دقت بالای معادله در تخمین عمق ریشه گیاه ذرت برای شرایط مورد مطالعه می‌باشد، به‌دست آمد.

$$Y = -0/0099 X^{2} + 1/73 X + 2/97 \qquad [6]$$

مقایسه روند توسعه عمق ریشه گیاه ذرت در روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی در نمودار ۶ نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود اختلاف بین روش‌های آبیاری تا حدود ۶۰ روزگی بسیار ناچیز و از آن پس، بیشترین عمق ریشه مربوط به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و کمترین میزان، مربوط به جویچه‌ای است. روند توسعه عمق ریشه کرت‌های پساب نسبت به آب معمولی در نمودار ۷ نشان می‌دهد گیاهان آبیاری شده با پساب در تمام دوره رشد، ریشه‌های عمیق‌تری نسبت به گیاهان آبیاری شده با آب معمولی داشته‌اند، اما این اختلاف معنی‌دار نیست. نتایج نشان می‌دهد توسعه ریشه در دو سال متوالی در تمامی تیمارها از روند یک‌نواختی پیروی می‌کند.

توزیع تراکم ریشه در خاک

بر اساس نتایج تجزیه آماری، تأثیر روش آبیاری بر مجموع وزن کل خشک ریشه گیاه ذرت در سطح یک درصد معنی‌دار نشد. نتایج آزمون دانکن نشان داد وزن کل خشک ریشه ذرت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور معنی‌داری نسبت به روش‌های آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای سطحی افزایش داشته است. وزن خشک ریشه در آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به جویچه‌ای بیشتر اما معنی‌دار نبود. کیفیت آب آبیاری نیز تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نشان نداد. بین وزن خشک ریشه گیاه ذرت و عمق نهایی ریشه رابطه مستقیم مشاهده شد و در هر دو مورد بیشترین مقدار مربوط به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود. بیشترین عملکرد نیز در هر دو سال آزمایش مربوط به آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌باشد (۱۲/۱۲ تن در هکتار). این نشان دهنده آن است که بین عملکرد دانه، وزن خشک ریشه و عمق ریشه گیاه ذرت ارتباط مستقیمی وجود دارد که با یافته‌های هرناندز و همکاران (۱۷) مطابقت دارد. نمودار ۸ نیز نشان می‌دهد بیشترین تجمع وزن خشک ریشه در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، در

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

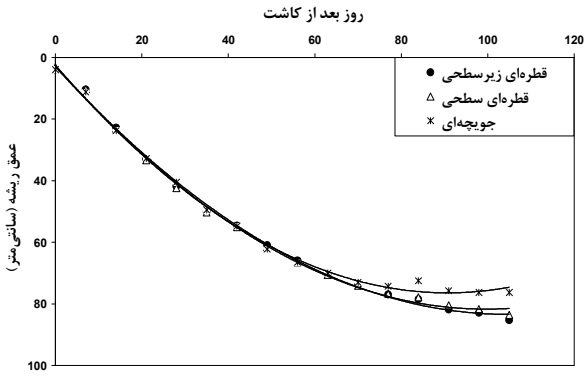
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

جدول۶. مقایسه مدل‌های بورگ و گریمز، خطی، CROPWAT و مدل این تحقیق در تخمین عمق ریشه(سانتی‌متر) و بر اساس آن حجم آب آبیاری (متر مکعب بر هکتار)

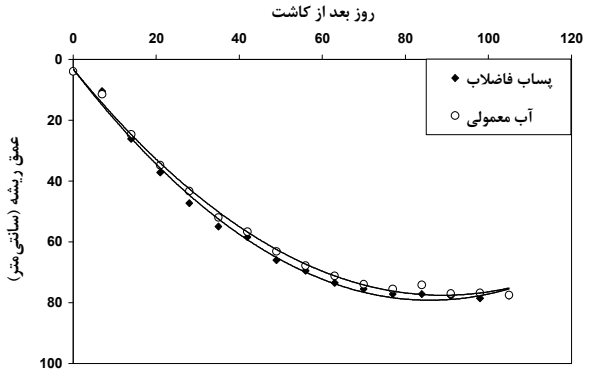
زمان اندازه‌گیری بعد از کاشت(روز)	عمق ریشه (cm)							
	مقادیر واقعی	مقادیر محاسبه شده مدل این تحقیق	مدل بورگ و گریمز	مدل بورگ* و گریمز	مدل خطی	مدل* خطی	مدل کراپ‌وات	مدل* کراپ‌وات
۰	۴	۳/۰۳	۰/۲۵	۰/۲	۱۰	۱۰	۳۰	۳۰
۷	۱۰/۸	۱۴/۵۴	۵/۰۷	۴/۰۵	۲۰/۵	۱۸/۱۷	۳۸/۱۷	۳۵/۸۳
۱۴	۲۵	۲۵/۰۹	۱۵/۴۴	۱۲/۳۶	۳۱	۲۶/۳	۴۶/۳۳	۴۱/۶۶
۲۱	۳۵/۷	۳۴/۶۸	۳۰/۰۹	۲۴/۰۷	۴۱/۵	۳۴/۵	۵۴/۵	۴۷/۵
۲۸	۴۵	۴۳/۳۱	۴۷/۲	۳۷/۷۶	۵۲	۴۲/۶۷	۶۲/۶۷	۵۳/۳۳
۳۵	۵۳/۷	۵۰/۹۸	۶۴/۶۶	۵۱/۷۲	۶۲/۵	۵۰/۸۳	۷۰/۸۳	۵۹/۱۶
۴۲	۵۶/۸	۵۷/۶۹	۸۰/۳	۶۴/۲۴	۷۳	۵۹	۷۹	۶۵
۴۹	۶۴/۸	۶۳/۴۴	۹۲/۲	۷۳/۷۵	۸۳/۵	۶۷/۱۷	۸۷/۱۶	۷۰/۸۳
۵۶	۶۷/۲	۶۸/۲۲	۹۸/۸۷	۷۹/۱	۹۴	۷۵/۳۳	۹۵/۳۳	۷۶/۶۶
۶۳	۷۱/۳	۷۲/۰۵	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰
۷۰	۷۴/۷	۷۴/۹۲	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰
۷۷	۷۶	۷۶/۸۳	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰
۸۴	۷۵/۳	۷۷/۷۷	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰
۹۱	۷۷/۷	۷۷/۷۶	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰
۹۸	۷۶/۷	۷۶/۷۸	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰
۱۰۵	۷۶/۷	۷۴/۸۵	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰
افزایش تخمین عمق ریشه نسبت به مقادیر واقعی(٪)	۰	۰/۰۶	۲۷/۲۲	۱/۸۲	۳۱/۰۲	۵/۹	۴۱/۸	۱۶/۶۷
براورد حجم آب بر اساس عمق ریشه (m^3/ha)	۶۴۳۹/۸	۶۴۴۳/۶	۸۱۹۲/۷	۶۵۵۷	۸۴۳۷/۴	۶۸۱۹/۷	۹۱۳۱/۶	۷۵۱۳/۳
افزایش مقدار آب تخمینی نسبت به مقدار واقعی(٪)	۰	۰/۰۶	۲۷/۲۲	۱/۸۲	۳۱/۰۲	۵/۹	۴۱/۸	۱۶/۶۷

[Downloaded from jstmar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

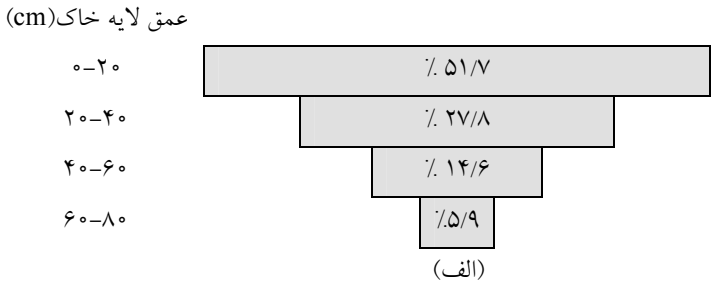
[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]



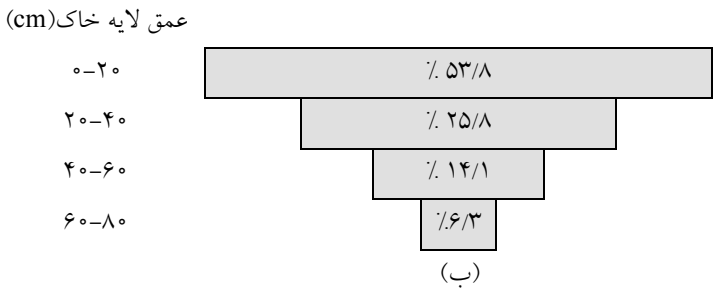
نمودار۶. مقایسه روند رشد طولی ریشه ذرت در روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی



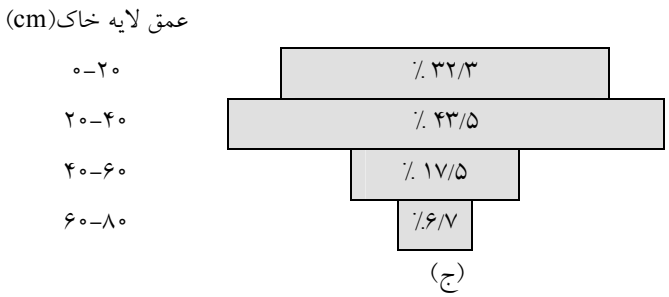
نمودار ۷. مقایسه روند رشد طولی ریشه ذرت در آبیاری با پساب فاضلاب و آب معمولی



(الف)



(ب)

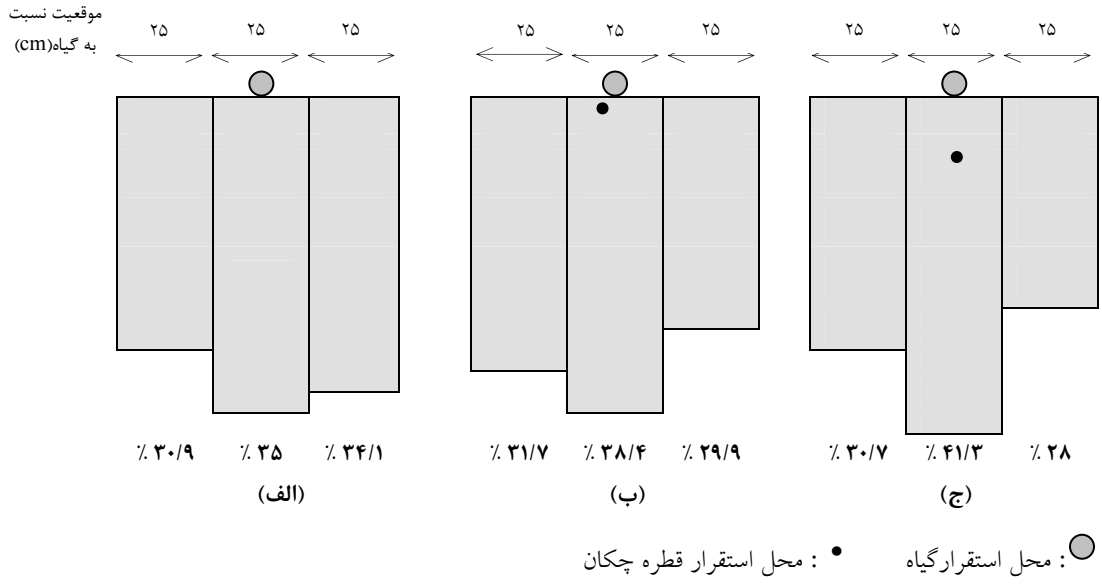


(ج)

نمودار۸. تراکم وزن خشک ریشه ذرت در نیمرخ خاک در (الف): آبیاری جویچه‌ای، (ب): قطره‌ای سطحی و (ج): قطره‌ای زیرسطحی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]



نمودار ۹. تراکم وزن خشک ریشه ذرت در ستون‌های جانبی خاک (طرفین محل استقرار گیاه و منبع آب) در (الف): آبیاری جویچه‌ای، (ب): قطره‌ای سطحی و (ج): قطره‌ای زیرسطحی

عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد (۴۳/۵ درصد)، زیرا قطره‌چکان‌ها در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک نصب شده بودند. اما در آبیاری قطره‌ای سطحی و جویچه‌ای بیشترین تجمع ریشه در لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) اندازه‌گیری شد (بیش از ۵۰ درصد). بر اساس این نمودار درصد وزن خشک ریشه در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌طور یک‌نواخت‌تری در لایه‌های مورد مطالعه (۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متر) توزیع شده است. در حالی‌که در آبیاری قطره‌ای سطحی و جویچه‌ای بیش از ۵۰ درصد وزن خشک ریشه در لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) متمرکز شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد، تراکم ریشه در همه تیمارها در اعماق پایین‌تر از ۶۵ سانتی‌متر ناچیز است (نمودار ۸). این نتیجه با دستاوردهای باریوسف و سگیو (۱۱) و هرناندز و همکاران (۱۷) همخوانی دارد. توزیع وزنی ریشه‌ها نسبت به محل استقرار گیاه (در طرفین آن) و محل خروج آب (قطره‌ای سطحی و زیرسطحی) در نمودار ۹ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد در آبیاری جویچه‌ای (۹- الف)، ریشه‌ها به‌صورت نسبتاً یک‌نواختی در ستون‌های خاک طرفین گیاه توزیع شده‌اند، اما در آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی (۹- ب و ج)، بیشترین تجمع ریشه در ستون میانی خاک نسبت به منبع آب و استقرار گیاه توزیع شده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج دو سال آزمایش نشان داد اگر چه در تمامی نمونه‌گیری‌ها بیشترین عمق نهایی ریشه، در روش قطره‌ای زیرسطحی و کمترین آن در روش جویچه‌ای مشاهده شد و آبیاری با پساب فاضلاب نیز عمق نهایی ریشه را در مقایسه با آب معمولی افزایش داده است، اما تأثیر روش‌های آبیاری و کیفیت آب بر عمق نهایی ریشه معنی‌دار نشد. روند توسعه رشد ریشه گیاه ذرت در طول فصل رشد نشان داد عمق نهایی ریشه در شرایط آزمایش برای تیمارهای مختلف (در حدود ۹۰ روزگی) به حداکثر خود (به‌طور متوسط ۷۷ سانتی‌متر) رسید. بیشترین تجمع وزن خشک ریشه گیاه ذرت در روش قطره‌ای زیرسطحی، در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و در قطره‌ای سطحی و جویچه‌ای در لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) متمرکز بود. بیشترین یک‌نواختی توزیع ریشه در لایه‌های خاک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

در روش قطره‌ای زیرسطحی مشاهده شد. از آنجایی که آب در آبیاری جویچه‌ای به‌طور گسترده و یک‌نواخت‌تری در سطح جویچه پخش می‌شود، یک‌نواختی توزیع ریشه در ستون‌های جانبی خاک، بیشتر از روش‌های قطره‌ای که آب به‌صورت موضعی به خاک می‌رسد مشاهده شد. مقایسه عمق ریشه ذرت اندازه‌گیری شده با نتایج تخمینی حاصل از مدل‌های خطی، بورگ و گریمز، CROPWAT و مدل حاصل از این تحقیق نشان داد با توجه به این‌که رشد عمقی ریشه گیاه متأثر از وضعیت خاک، وضعیت تغذیه و اقلیم و عمق آب زیرزمینی هر منطقه متغیر است، نمی‌توان از مدل‌های کلی که در شرایط مناطق دیگر تدوین شده‌اند، برای سایر مناطق با دقت قابل قبول استفاده کرد، بلکه توصیه می‌شود برای هر منطقه با توجه به نوع خاک، تغذیه، مدیریت و اقلیم آن، مدل تجربی جداگانه‌ای تدوین گردد تا امکان تأمین آب در محدوده ریشه بدون نگرانی از تلفات نفوذ عمقی و تنش کم‌آبی در طول دوره رشد فراهم گردد. چنانچه میزان آبیاری بر اساس پایش رطوبت خاک و عمق ریشه و جبران کمبود رطوبت نسبت به رطوبت بهینه در محدوده ریشه براورد گردد، آنگاه می‌توان با به حداقل رساندن تلفات عمقی آب آبیاری و پیرو آن تلفات عناصر غذایی، در مصرف آب آبیاری و عناصر غذایی صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را باعث شد.

سپاسگزاری

همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز و سازمان محترم مدیریت و برنامه‌ریزی استان فارس در تأمین اعتبار این تحقیق و مدیریت محترم شرکت آبفای مرودشت در تأمین محل آزمایش و آب مورد نیاز، قابل تقدیر و ستایش می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. احسانی، م. و ه. خالدی. ۱۳۸۳. شناخت و ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی به منظور تأمین امنیت آب و غذایی کشور. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، ۳-۴ دی‌ماه ۱۳۸۳، صفحات ۶۷۴-۶۵۷.

۲. احسانی، م. و ه . خالدی. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، گروه کار سیستم‌های آبیاری در مزرعه، ۱۰۹ صفحه.

۳. حاج‌عباسی، م. ع. ۱۳۷۸. *فیزیک خاک و ریشه گیاه*. انتشارات غزل، اصفهان.

۴. عابدی، م. ج. و پ. نجفی. ۱۳۸۰. *استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی*. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، تهران.

۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۳. *رابطه آب و خاک و گیاه*. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

۶. کشاورز، ع. و ک. صادق‌زاده. ۱۳۷۹. مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، برآورد تقاضا برای آینده، بحران‌های خشک‌سالی، وضعیت موجود، چشم‌اندازهای آینده و راه‌کارهایی جهت بهینه‌سازی مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش وترویج کشاورزی، کرج.

۷. مسیبی، م. ۱۳۷۸. *دیباچه‌ای بر منابع آب، شگفتی و چالش*. انتشارات چاپخانه اصفهان.

۸. میرهادی، م. ج. ۱۳۸۰. *ذرت*. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

9. Antony, A. and R. B. Singadhupe. 2004. Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of Capsicum (*Capsicum anum L.*). Agric.Water Manag. 65:121-132.
10. Barry, D. A. J. and M. H. Miller. 1986. Corn response to restricted nodal root growth with relevance to zero tillage. Can. J. Soil Sci. 55(4):689-699.
11. Bar-Yosef, B. and B. Sagiv. 1985. Potassium supply to field crops grown under drip irrigation and fertilization. Proc. Potassium Symposium Pretoria South Africa. PP. 185-193.
12. Borg, H. and D.W. Grimes. 1986. Depth development of roots with time: an empirical description. Trans. ASAE.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]

29:194–197.
13. Ellis, F. B. and B. T. Barnes. 1980. Growth and development of root system of winter cereals grown after different tillage methods including direct drilling. Plant Soil 55: 283-288.
14. Follett, R. F., R. R. Allmaras and G. A. Reichman. 1978. Distribution of corn roots in sandy soil with a declining water table. Agron. J. 66: 288-292.
15. Goosen, M. F. A. and W. H. Shayya. 1990. Water management purification and conservation in arid climates. CRC Press Inc., USA.
16. Hackett, C. 1969. A study of the root system of barley. II. Relationship between root dimensions and nutrient uptake. New Phytol. 68: 1023-1029.
17. Hernandez, J. J. M., B. Bar-Yosef and U. Kafkafi. 1990. Effect of surface and subsurface drip fertigation on sweet corn rooting, uptake, dry mater production and yield. Irrig. Sci.12: 153-159.
18. Lungley, D. R. 1973. The growth of root system - a numerical computer simulation model. Plant Soil 38: 145-151.
19. Madsen. H. B. 1985. Distribution of spring barley roots in Danish soils of different texture and under different climatic conditions. Plant Soil 88: 31-40.
20. Martin, D. L., E. C. Stegman and E. Fereres. 1990. Irrigation scheduling principles. PP: 155-203. *In*: Hoffman, J., T. A. Wowell and K. H. Soloman (Eds.). Management of Farm Irrigation Systems. ASAE.
21. Nickel, S. E., R. Kent Crookston and M. P. Russelle. 1995. Root growth and distribution are affected by corn-soybean cropping sequence. Agron. J. 87: 895-902.
22. Ong, C. K., J. Wilson, J. D. Deans, J. Mulayta, T. Raussen and N. Wajja musukwe. 2002. Tree-crop interactions: manipulation of water use and root function. Agric. Water Manag. 53: 171-186.
23. Panda, R. K., S. K. Behera and P. S. Kashyap. 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. Agric. Water Manag. 66: 181-203.
24. Pellerin S. and F. Tardieu. 1999. Distribution of maize root system. Some results obtained for elaboration of the concept of the three dimensional model. Zesz. Probl. Postepow Nauk Roln. PP. 385-394.
25. Romo, R. and D. H. Diaz. 1985. Root system and nutritional status of peaches under drip or flood irrigation in warm climates. Acta Hortic. 173: 167-171.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.44.6.1]