

## بررسی تغییرات عمق توسعه ریشه گیاه گندم در شرایط شور

آرش تافته<sup>۱\*</sup>، نیازعلی ابراهیمی پاک<sup>۲</sup> و محمدرضا امداد<sup>۲</sup>

(۱) استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(۲) دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

\* ایمیل نویسنده مسئول: arash\_tafteh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹

### چکیده:

از آنجایی که در بررسی راندمان آبیاری و معادله اصلی آن عمق توسعه ریشه به صورت عامل مهم و غیرقابل اغماض در نظر گرفته شده است. لذا تعیین دقیق عمق توسعه ریشه در مراحل مختلف رشد گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق با استفاده از حفر پروفیل به صورت مستقیم عمق تغییرات ریشه گندم در مناطق حمیدیه، کوثر، عتابیه، یاسمین فردوس، داریون، ویس، شادگان و هندیجان با خاک‌هایی به ترتیب با شوری‌های مختلف ۷/۳، ۲۳/۱، ۱۲/۸، ۱۲/۷، ۴/۹، ۲۴/۷ و ۱۰/۷ و ۱۴/۲۲ دسی زیمنس بر متر در عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین شوری آب در هر یک از پایلوت‌های فوق به ترتیب ۱/۸، ۱/۹، ۲/۵، ۲/۲، ۱/۷، ۲/۴، ۶/۴ و ۳/۲ دسی زیمنس بر متر بود. در این راستا مدل عمق توسعه ریشه رابطه Borg و Grimes (۱۹۸۶) بر اساس اطلاعات FAO و اطلاعات بومی به دست آمده از منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اطلاعات FAO موجب ایجاد خطای زیادی در حدود ۱۷۶ درصد می‌باشد و استفاده از رابطه‌های بومی در کلاس‌های مختلف شوری خاک نشان می‌دهد که با استفاده از این معادلات با خطای متوسط ۱۸ درصد می‌توان برآورد مناسب‌تری از تغییرات عمق ریشه در این مناطق داشت.

کلید واژه‌ها: شوری؛ عمق ریشه؛ گندم؛ مدلسازی

### مقدمه

در تعیین راندمان کاربرد آب (نسبت عمق آب ذخیره شده در عمق ریشه به حجم آب داده شده به مزرعه) در مزارع آبی، یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده که معمولاً در تحقیقات مورد توجه قرار نمی‌گیرد تغییرات عمق ریشه گیاه در طول فصل کشت است در این راستا

مدل‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی رشد گندم بکار برده می‌شوند. از طرفی درک فرایند جذب آب توسط ریشه مهم‌ترین کلید مدیریت آبیاری به‌ویژه در روش‌های سطحی است. میزان رشد و توسعه ریشه متأثر از فاکتورهای متعددی شامل نوع مصرف ریشه‌های زیرین، تراکم کشت، مدیریت مزرعه، عملیات سم‌پاشی و حضور

به تنش خشکی، ممکن است اثرات نامطلوب خشکی بر عملکرد گیاهان زراعی را کاهش دهد وقتی ریشه گیاه در معرض کمبود آب خاک قرار می‌گیرد، میزان رشد و تمایز سلول‌های ریشه تغییر می‌کند و معماری سیستم ریشه از نظر میزان انشعاب یا میزان طول شدن انشعاب ریشه تغییر می‌یابد. به هر روی، برنامه‌های به‌نژادی در زمینه ویژگی‌های رشدی ریشه، پیچیده‌تر از ویژگی‌های رشدی اندام هوایی است (Wasson et al., 2012) از این رو، درک جامع از چگونگی توسعه سیستم ریشه‌ای در شرایط تنش خشکی، امری ضروری است. در چنین شرایطی، با شناخت معماری سیستم ریشه‌ای می‌توان فرصت مناسبی برای غلبه بر اثرات نامطلوب خشکی و افزایش عملکرد گیاهان زراعی فراهم آورد.

نتایج آزمایشگاهی و مزرعه‌ای نشان می‌دهد که این صفات می‌توانند اثرات تنش را با افزایش جذب آب، از طریق افزایش طول و تراکم ریشه و نیز استخراج بیشتر آب، از طریق افزایش نفوذ ریشه در عمق تعدیل کنند. گیاهان دارای ریشه‌های عمیق‌تر با قابلیت دسترسی به آب بیشتر، قادر به حفظ هدایت روزنه‌ای بالا و در نتیجه فتوسنتز بالاتر هستند و تاج پوشش خنک‌تری نیز دارند (Lopes & Reynolds, 2010). با توجه به تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر و کاهش شدید بارندگی و به تبع آن کم‌آبی، لازم است ارقامی از گندم که به خشکی متحمل‌تر باشند انتخاب شود در این مسیر توانایی ارقام مختلف در داشتن ریشه‌های گسترده‌تر و کارآمدتر می‌تواند مثر شمر باشد. مقیمی مقدم و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقاتی نشان دادند که صفات طول و عرض، نسبت ریشه به اندام هوایی و حجم ریشه در تنش‌های خشکی با اطمینان ۹۹٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند همچنین در مورد ارقام طول ریشه، وزن خشک ریشه و حجم ریشه و کارایی مصرف آب با اطمینان ۹۵٪ باهم اختلاف معنی‌دار دارند. عرض ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی در اثر متقابل رقم و خشکی با اطمینان ۹۹٪ اختلاف معنی‌داری داشتند.

و رقابت گیاهان در مصرف آب و مواد غذایی می‌باشد. رویکرد مدل‌های روابط آب و گیاه در طی دو دهه اخیر بر پایه دو مفهوم اصلی توسعه‌یافته است مدل‌های شبیه‌سازی رشد و باردهی محصول که نیاز به زیرمدلی از رشد ریشه دارد و باید توضیحات کافی از سیستم ریشه با در نظر گرفتن رشد و اثرات متقابل بین رشد ساقه و محیط خاک داشته باشد. محققین بسیاری در زمینه اهمیت مدل جذب ریشه کار کرده‌اند و نشان داده‌اند که شبیه‌سازی رشد ریشه در تعیین دقت مدل‌های امروزی بسیار پراهمیت است (Clothier and Green, 1994). اطلاعات بافت خاک و سیستم ریشه گیاه که تابعی از آن و مقدار تراکم خاک می‌باشد تأثیر بسزایی در تعیین حجم آبیاری و دور آبیاری ایفا می‌کند (Coelho and Or, 1996). مدیریت صحیح آبیاری و در دیدی کلان‌تر مدیریت آب در مزرعه به‌طور کامل به این پارامتر اساسی وابسته است. شناسایی تنوع ژنتیکی در ویژگی‌های رشدی ریشه می‌تواند از طریق به‌نژادی گیاهی، به بهبود استقرار گیاه چه در خاک‌های خشک و شور و در نتیجه بهبود عملکرد گیاهان زراعی منتهی شود (Richards, 2008). Hupet و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقاتی نشان دادند که ساده‌ترین روش برای تخمین مقدار جذب آب توسط ریشه بیلان آبی است که توسط عامل تخلیه در مدل ریچاردز در نظر گرفته می‌شود و در مدل‌های پیشرفته امروزی نیز از آن استفاده می‌شود. در تحقیقاتی که Sepaskhah و Tafteh (۲۰۱۲) بر روی تغییرات رشد گیاه کلزا و مدل کردن آن در منطقه باجگاه انجام دادند، گزارش نمودند که مدل رشد ریشه در مدل Hydrus در خروجی نتایج بسیار مؤثر بوده و در تابع جذب آب در ریشه تأثیر چشمگیری دارد. لذا پیشنهاد نمودند که مدل تغییرات عمق ریشه برای سیستم کشت واسنجی و سپس برای مدل تعریف گردد. مشخص شده است که گیاهان مقاوم و سازگار با محیط‌های خشک، از نظر توسعه سیستم ریشه‌ای، دارای انعطاف‌پذیری زیادی هستند و این انعطاف‌پذیری ریشه

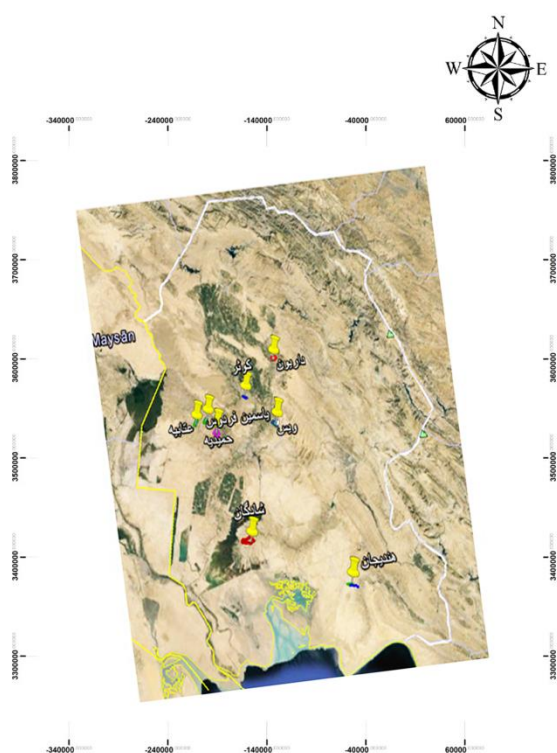
لذا تنش‌های آبی تأثیر به‌سزایی در کاهش عمق ریشه‌دارند.

توسعه گیاهان زراعی با صفات مطلوب ریشه‌ای، آن‌ها را قادر می‌سازد تا در خاک‌های شور و دارای محدودیت آبی، عملکرد بالاتری داشته باشند. هدف از اجرای این مطالعه، تعیین سطوح موردنظر پتانسیل آب خاک، به‌منظور دستیابی به واکنش‌های رشدی ریشه و شناسایی تفاوت ژنو تپیی از نظر طول ریشه اصلی و انشعابات ریشه در پاسخ به تنش خشکی بود. حسینعلی پور و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی نشان دادند که در مرحله رویشی گندم، تنش خشکی در پتانسیل آب خاک ۷- تا ۸- مگا پاسکال، به‌عنوان پتانسیل مناسب برای ایجاد پاسخ رشدی معنی‌دار ریشه قابل توصیه می‌باشد. بین ارقام گندم از نظر واکنش رشدی ریشه به تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری گزارش نمودند و نشان دادند که خشکی سبب کاهش رشد سیستم ریشه‌ای همه ارقام از جمله طول ریشه‌های اصلی به میزان ۱۹ درصد در مقایسه با شاهد شده است. کاهش مقادیر صفات رشدی ریشه برای ارقام متحمل به خشکی در مقایسه با ارقام حساس، کمتر بوده و تفاوت ژنو تپیی در پاسخ رشدی ریشه به تنش خشکی در ارقام گندم، بیانگر وجود فرصت‌های مناسب برای بهبود تحمل به خشکی از طریق به‌نژادی گیاهی است.

در نشریه فائو ۳۳ مقدار عمق توسعه ریشه گندم زمستانه ۱/۲ تا ۱/۵ متر گزارش شده است (Doorenbos and Kassam, 1979) و در نشریه فائو ۵۶ مقدار عمق توسعه ریشه را ۱/۵ تا ۱/۸ متر گزارش نموده‌اند (Allen et al., 1998). با توجه به موارد مذکور بررسی تغییرات رشد گیاه گندم در دوره‌های چهارگانه رشد گیاه جهت مدیریت مناسب آب در مزرعه و افزایش راندمان کاربرد آب امری است ضروری که در این تحقیق به بررسی تغییرات عمق توسعه ریشه پرداخته شده است تا بت تعیین دقیق‌تر آن دید بهتری در مورد راندمان و شرایط آب در محیط ریشه ارائه شود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در ۸ پایلوت مجزا در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در خوزستان انجام شد. کشت گندم در ۱۵ آبان هرسال و برداشت آن در هفته اول اردیبهشت انجام شد. در پایلوت‌ها از رقم چمران ۲ استفاده شد. مختصات پایلوت‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت پایلوت‌های انتخابی در استان خوزستان

در این پژوهش در هر پایلوت سه مزرعه مجزا انتخاب شدند و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک این مزارع در جدول ۱ ارائه شده است. نکته قابل توجه این است که مقادیر ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و رطوبت اشباع به‌صورت حجمی ارائه شده است.

همچنین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری در هر پایلوت نیز در جدول ۲ ارائه شده است. در این پژوهش در دوره‌های مختلف رشد گیاه گندم در هر

ریشه‌ها جدا گردد و عمق ریشه اصلی تعیین شود (Kashiwagi et al. 2006).

سه مزرعه واقع در پایلوت‌های مذکور پس از ۴۸ ساعت از گذشت آبیاری که خاک نرم باشد ریشه‌ها همراه با خاک چسبیده به آن به صورت پروفیل افقی در کنار گیاه خارج شد و با آب به آرامی شسته شدند تا خاک از

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مزارع منتخب

پایلوت	مزرعه	pH	EC ds/m	OC %	Clay %	Silt %	Sand %	OM %	Θ s %	FC %	PWP %
حمیدیه	مزرعه ۱	۷/۴	۷/۷	۱/۰	۲۶	۴۶	۲۸	۱/۷	۵۱	۳۳	۲۴
	مزرعه ۲	۷/۷	۷/۱	۰/۶	۲۴	۴۰	۳۶	۱/۱	۴۹	۳۴	۲۳
	مزرعه ۳	۷/۶	۷/۲	۰/۷	۲۴	۴۰	۳۶	۱/۲	۴۹	۳۰	۲۳
کوثر	مزرعه ۱	۸/۱	۲۲/۸	۰/۶۵	۳۶	۴۴	۲۰	۱/۱	۵۲	۳۶	۲۸
	مزرعه ۲	۸/۰	۲۵/۲	۰/۵۸	۴۲	۴۰	۱۸	۰/۹	۵۳	۳۹	۳۰
	مزرعه ۳	۸/۵	۲۱/۱	۰/۴۷	۲۶	۴۰	۳۴	۰/۸	۴۹	۳۹	۲۵
عتابیه	مزرعه ۱	۷/۸	۷/۵	۰/۶۹	۴۰	۴۲	۱۸	۱/۲	۵۴	۳۵	۲۱
	مزرعه ۲	۷/۵	۱۵/۹	۰/۹۹	۳۸	۳۸	۲۴	۱/۷	۵۳	۳۶	۲۱
	مزرعه ۳	۸/۰	۱۵/۲	۰/۴۶	۳۶	۳۸	۲۶	۰/۸	۵۲	۳۷	۲۴
یاسمین	مزرعه ۱	۷/۶	۱۲/۷	۰/۴۰	۲۷	۴۳	۳۰	۰/۷	۴۹	۳۰	۱۷
	مزرعه ۲	۷/۷	۱۱/۸	۰/۹۰	۳۸	۳۸	۲۴	۱/۵	۵۳	۳۶	۲۳
	مزرعه ۳	۷/۷	۱۳/۷	۰/۹۰	۳۶	۳۸	۲۶	۱/۶	۵۳	۳۵	۲۴
داریون	مزرعه ۱	۷/۳	۴/۵	۰/۹۷	۴۱	۵۲	۷	۱/۷	۵۵	۴۰	۲۷
	مزرعه ۲	۷/۰	۶/۱	۱/۰۶	۱۸	۵۵	۲۷	۱/۸	۵۰	۳۰	۲۰
	مزرعه ۳	۷/۵	۴/۴	۰/۹۰	۲۷	۵۹	۱۴	۱/۵	۵۲	۳۴	۲۱
ویس	مزرعه ۱	۷/۳	۲۸/۰	۰/۹۷	۴۱	۵۶	۷	۱/۷	۵۵	۳۵	۲۰
	مزرعه ۲	۷/۰	۲۰/۲	۱/۰۶	۱۸	۵۵	۲۷	۱/۸	۵۰	۳۳	۲۲
	مزرعه ۳	۷/۵	۲۳/۴	۰/۹۰	۲۷	۵۹	۱۴	۱/۵	۵۲	۳۲	۲۰
شادگان	مزرعه ۱	۶/۹	۱۰/۵	۰/۹۶	۳۸	۴۴	۱۸	۱/۷	۵۳	۳۷	۲۹
	مزرعه ۲	۷/۳	۱۱/۰	۰/۶۹	۳۶	۵۰	۱۴	۱/۲	۵۳	۳۷	۲۴
	مزرعه ۳	۸/۳	۱۰/۰	۰/۴۲	۳۲	۵۴	۱۴	۰/۷	۴۵	۳۶	۲۳
هندیجان	مزرعه ۱	۷/۵	۱۲/۵	۰/۵۶	۳۰	۴۶	۲۴	۱/۱	۴۷	۳۵	۲۳
	مزرعه ۲	۸/۲	۱۹/۳	۰/۷۴	۲۶	۴۶	۲۸	۰/۹	۵۰	۳۶	۲۴
	مزرعه ۳	۷/۸	۱۱/۱	۰/۸۳	۳۴	۳۸	۲۸	۱/۰	۴۶	۳۵	۲۴

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری در مزارع منتخب

نام پایلوت	EC	pH	Hco3 mg/l	CL mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	SAR
حمیدیه	۱/۸	۷/۸	۱/۶	۸/۸	۴/۲	۳/۶	۷/۴	-
کوثر	۱/۹	۸/۰	۰/۸	۹/۲	۷/۰	۴/۴	۸/۶	۳/۶
یاسمین فردوس	۲/۳	۶/۵	۱/۶	۱۱/۲	۶/۸	۵/۶	۱۰/۰	۴/۰
عتابیه	۲/۳	۷/۹	۱/۹	۹/۸	۶/۴	۴/۶	۹/۱	۳/۷
داریون	۱/۳	۷/۸	۱/۶	۷/۲	۴/۸	۲/۲	۵/۸	۳/۱
ویس	۲/۳	۷/۳	۲/۰	۱۲/۰	۱۱/۴	۴/۲	۱۱/۲	۴/۰

۱۳/۲	۳۹/۸	۱۱/۴	۶/۷	۳۹/۵	۴/۹	۷/۶	۵/۶	شادگان
۱۰/۲	۲۵/۶	۵/۵	۷/۰	۲۵/۱	۲/۲	۷/۲	۳/۲	هندیجان



شکل ۲. تعیین تغییرات رشد ریشه گندم

که در آن  $n$ : تعداد داده‌ها،  $X$ : داده اندازه‌گیری شده و  $Y$ : داده تخمین زده‌شده توسط مدل می‌باشد.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\bar{X}} \quad (۳)$$

که در آن  $n$ : تعداد داده‌ها،  $X$ : داده اندازه‌گیری شده،  $Y$ : داده تخمین زده‌شده توسط مدل و  $\bar{X}$ : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{X}| + |y_i - \bar{Y}|)^2} \right] \quad (۴)$$

که در آن  $n$ : تعداد داده‌ها،  $X$ : داده اندازه‌گیری شده،  $Y$ : داده تخمین زده‌شده توسط مدل،  $\bar{X}$ : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و  $\bar{Y}$ : میانگین داده‌های تخمین زده‌شده توسط مدل می‌باشد.

#### نتایج و بحث

آنالیز آماری دانکن توسط نرم‌افزار SPSS در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین درصد ذرات رس (جدول ۲) وجود ندارد. ولی در منطقه ویس و داریون از نظر درصد ذرات سیلت (جدول ۲) اختلاف معنی‌داری با سایر پایلوت‌ها وجود دارد. از نظر درصد

سپس با استفاده از رابطه Borg و Grimes (۱۹۸۶) مقدار تغییرات عمق توسعه ریشه شبیه‌سازی شد که رابطه آن به صورت معادله ۱ ارائه شده است:

$$Z_r = R_{DM} \left[ 0.5 + 0.5 \sin \left( \frac{3.03 D_{AS}}{D_{TM}} - 1.47 \right) \right] \quad (۱)$$

که در آن  $R_{DM}$ : حداکثر عمق ریشه برحسب سانتی‌متر،  $D_{TM}$ : تعداد روز لازم جهت رسیدن به حداکثر عمق،  $D_{AS}$ : تعداد روز بعد از کشت می‌باشند. میزان حداکثر عمق ریشه با استفاده از اطلاعات FAO، اطلاعات بومی اندازه‌گیری شده به معادله ۱ داده شد و مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت جداگانه شبیه‌سازی شد و سپس با استفاده از شاخص‌های آماری زیر مورد مقایسه قرار گرفت (تافته و سپاسخواه، ۲۰۱۲). جهت بررسی دقت تخمین مدل از شاخص‌های آماری مانند شاخص توافق ( $d$ )، شاخص RMSE و NRMSE و آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شد که معادلات آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (۲)$$

برای بررسی بیشتر با استفاده از ابزار Curve Estimation در نرم افزار SPSS معادلات استاندارد مختلف بر روی پارامترهای موجود انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج نشان می دهد که پارامترهای شوری (EC)، ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی (PWP) در تعیین عمق نهایی رشد ریشه طبق آزمون دانکن دارای رابطه معنی داری هستند. از این رو توابع مختلف با استفاده از جدول ۵ بر اساس ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

ذرات شن نیز (جدول ۲) اختلاف معنی داری بین پایلوت های داریون، ویس و شادگان با حمیدیه وجود دارد.

نتایج جدول ۳ نشان می دهد که پارامترهای بافت خاک در پایلوت هایی که دارای عمق توسعه ریشه نهایی یکسان هستند و اختلاف معنی داری ندارند لذا بافت خاک در این پایلوت ها عامل مؤثری بر عمق توسعه ریشه نمی باشد چون بافت ها خاک تقریباً یکسان هستند از این رو می بایست به دنبال عوامل مهم تری در توسعه ریشه بود. از طرف دیگر نتایج معنی داری پایلوت ها از نظر شوری بر عمق نهایی توسعه ریشه در پایلوت ها منطبق تر می باشد.

جدول ۳. تفکیک نتایج آنالیز معنی داری در سطح ۵ درصد ذرات خاک در پایلوت ها

پایلوت	درصد ذرات رس	درصد ذرات سیلت	درصد ذرات شن	بافت خاک	شوری	عمق نهایی ریشه
حمیدیه	۲۴/۶ a	۴۲/۰ c	۳۳/۳ a	لومی	۷/۳ cd	۴۵/۰ a
کوثر	۳۴/۶ a	۴۱/۳ c	۲۴/۰ ab	رسی لومی	۲۳/۱ a	۳۵/۳ d
عتابیه	۳۸/۰ a	۳۹/۳ c	۲۲/۶ ab	رسی لومی	۱۲/۸ b	۴۱/۶ b
یاسمین	۳۳/۶ a	۳۹/۶ c	۲۶/۶ ab	رسی لومی	۱۲/۷ b	۴۱/۳ b
داریون	۲۸/۶ a	۵۵/۳ a	۱۶/۰ b	سیلنتی رسی لومی	۵/۰ d	۴۶/۶ a
ویس	۲۸/۶ a	۵۵/۳ a	۱۶/۰ b	سیلنتی رسی لومی	۲۳/۸ a	۳۷/۳ cd
شادگان	۳۵/۳ a	۴۹/۳ ab	۱۵/۳ b	سیلنتی رسی لومی	۱۰/۵ bc	۴۰/۳ bc
هندیجان	۳۰/۰ a	۴۳/۳ bc	۲۶/۶ ab	رسی لومی	۱۴/۳ b	۳۹/۰ bc

جدول ۴. تفکیک نتایج آنالیز معنی داری پارامترهای خاک مؤثر بر عمق ریشه در پایلوت ها

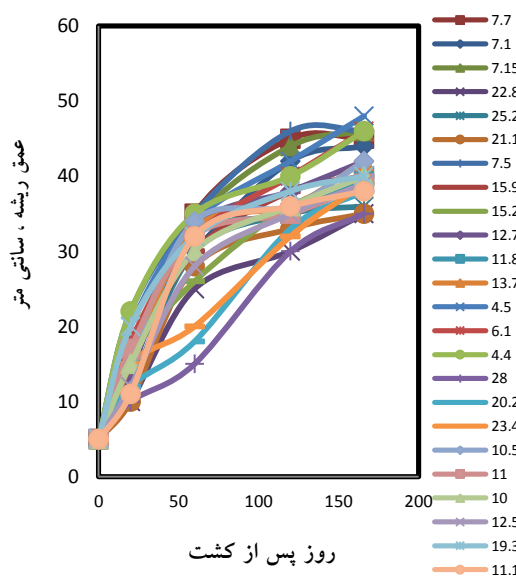
تابع	pH	EC	OC	Clay	Silt	Sand	OM	θ s	FC	PWP
خطی	۰/۰۶۴ns	۰/۰۰۰**	۰/۱۸۹ns	۰/۳۱۰ns	۰/۴۶۵ns	۰/۷۹۴ns	۰/۱۲۷ns	۰/۰۷۲ns	۰/۰۱۵*	۰/۰۰۰**
لگاریتمی	۰/۰۷۰ns	۰/۰۰۰**	۰/۱۹۹ns	۰/۲۹۵ns	۰/۴۶۷ns	۰/۹۵۰ns	۰/۱۲۹ns	۰/۰۸۸ns	۰/۰۱۰*	۰/۰۰۱**
معکوس	۰/۰۷۷ns	۰/۰۰۰**	۰/۲۲۳ns	۰/۲۹۶ns	۰/۴۶۹ns	۰/۹۱۸ns	۰/۱۴۵ns	۰/۱۱۵ns	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۴**
درجه ۲	۰/۰۹۴ns	۰/۰۰۰**	۰/۴۳۱ns	۰/۵۴۵ns	۰/۷۶۸ns	۰/۶۳۶ns	۰/۳۱۴ns	۰/۱۶۹ns	۰/۰۱۸*	۰/۰۰۱**
درجه ۳	۰/۰۹۴ns	۰/۰۰۰**	۰/۴۳۱ns	۰/۵۳۱ns	۰/۷۶۶ns	۰/۸۰۸ns	۰/۳۱۰ns	۰/۱۶۸ns	۰/۰۱۸*	۰/۰۰۲**
توانی	۰/۰۶۸ns	۰/۰۰۰**	۰/۰۹۴ns	۰/۰۹۵ns	۰/۴۹۱ns	۰/۰۹۷ns	۰/۱۳۶ns	۰/۰۸۴ns	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۲**
S	۰/۰۹۰ns	۰/۰۰۰**	۰/۰۹۴ns	۰/۰۹۵ns	۰/۴۹۴ns	۰/۰۹۷ns	۰/۱۵۴ns	۰/۱۰۸ns	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۶**
رشد	۰/۰۹۰ns	۰/۰۰۰**	۰/۰۹۳ns	۰/۰۹۵ns	۰/۴۸۷ns	۰/۷۵۱ns	۰/۱۳۳ns	۰/۰۷۲ns	۰/۰۱۳*	۰/۰۰۰**
نمایی	۰/۰۶۲ns	۰/۰۰۰**	۰/۰۹۳ns	۰/۰۹۵ns	۰/۴۸۷ns	۰/۷۵۱ns	۰/۱۳۳ns	۰/۰۷۲ns	۰/۰۱۳*	۰/۰۰۰**

ns: معنی دار نیست،\*: معنی در سطح ۵ درصد و \*\*: معنی در سطح ۱ درصد معنی دار است.

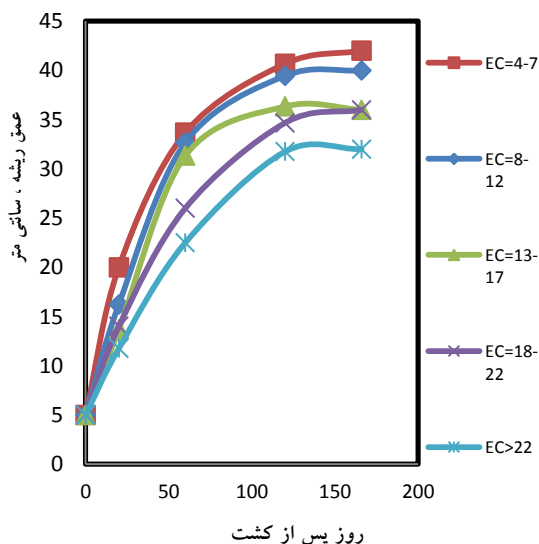
هم تلفیق و با استفاده از ابزار Nonlinear Functions توابع ترکیبی منطبق با این پارامترها برآورد گردید که رابطه آن به شرح ذیل می باشد.

با استفاده از نتایج جدول ۵ مشخص شد که برای پارامترهای معنی دار شده تابع درجه دو و سه بهترین حالت ممکن را دارد لذا بر اساس ضرایب درجه ۲ معادلات در

در ادامه با توجه به سطح بالای معنی‌داری پارامتر شوری در نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها در شکل ۴ به بررسی روند توسعه عمق ریشه در شوری‌های مختلف پرداخته شد. با توجه به عدم تشخیص مناسب در تأثیر شوری در شکل ۴ شوری مزراع دسته‌بندی شد و در شکل ۵ به صورت بازه‌های شوری بیان شد.



شکل ۴. تغییرات روند رشد ریشه گیاه گندم در مزارع منتخب در شوری‌های مختلف



شکل ۵. تغییرات روند رشد ریشه گیاه گندم در مزارع منتخب در کلاس‌های مختلف شوری

$$\text{RootDepth} = -3.42(\text{EC}) + 0.18(\text{EC})^2 - 0.0035(\text{EC})^3 - 13.82(\text{FC}) + 0.34(\text{FC})^2 - 0.0029(\text{FC})^3 + 0.91(\text{PWP}) - 0.062(\text{PWP})^2 + 0.0011(\text{PWP})^3 + 240.79$$

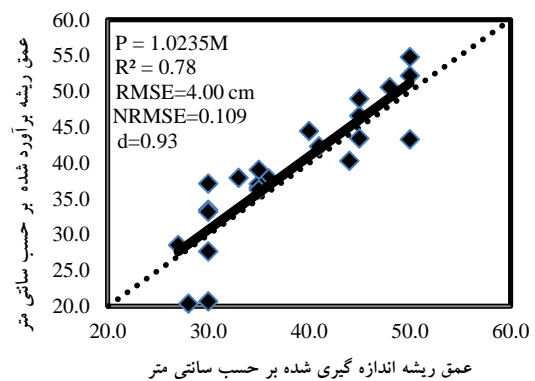
$R^2=0.88, P=4.99379E-05, SE=1.72, RMSE=0.96, NRMSE=0.025, d=0.98$

لذا این رابطه جهت تعیین عمق نهایی توسعه ریشه در مزارع منتخب در سطح پایلوت‌ها پیشنهاد می‌گردد. جهت ارزیابی نتایج به دست آمده این رابطه برای ۲۳ داده مستقل که در خارج از مزارع برای پهنه‌بندی انجام گرفته بود انجام شد و نسبت به خط یک‌به‌یک ترسیم گردید که نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. بنابراین با اعتماد مناسبی (خطای حدود ۱۰ درصد) می‌توان از این مدل در جهت تعیین عمق توسعه ریشه در پایلوت‌ها استفاده نمود.

جدول ۵. تفکیک نتایج ضریب تبیین ( $R^2$ ) پارامترهای خاک بر

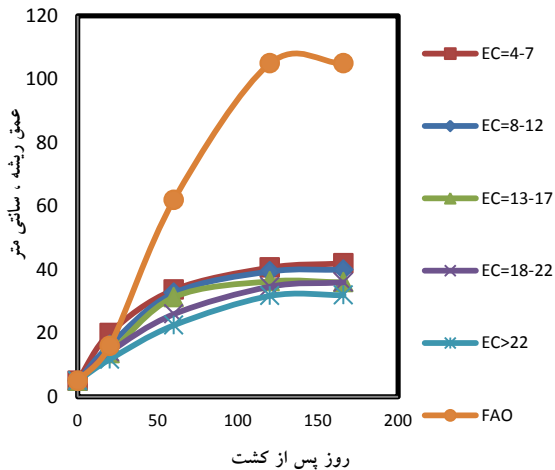
عمق ریشه با معادلات مختلف

تابع	EC	FC	PWP
خطی	۰/۷۵	۰/۲۴	۰/۴۹
لگاریتمی	۰/۸۱	۰/۲۶	۰/۳۹
معکوس	۰/۷۷	۰/۲۹	۰/۳۲
درجه ۲	۰/۸۱	۰/۳۱	۰/۴۹
درجه ۳	۰/۸۳	۰/۳۲	۰/۵۲
توانی	۰/۸۱	۰/۲۸	۰/۳۶
S	۰/۷۵	۰/۲۹	۰/۳۰
رشد	۰/۷۶	۰/۲۵	۰/۴۷
نمایی	۰/۷۶	۰/۲۵	۰/۴۷



شکل ۳. مقایسه عمق ریشه اندازه‌گیری شده و برآورد شده نسبت به خط یک‌به‌یک

نمی‌رسد. بنابراین اطلاعات بومی و اندازه‌گیری مستقیم می‌تواند در حد بسیار مطلوبی تغییرات عمق توسعه ریشه را تخمین بزند.



شکل ۶. مقایسه تغییرات عمق توسعه ریشه گیاه گندم و مقادیر اندازه‌گیری شده در حمیدیه

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از اطلاعات بومی منطقه می‌تواند تا حد بسیار زیادی در تخمین تغییرات عمق توسعه ریشه مؤثر باشد. نتایج آنالیز آماری نیز در جدول ۷ ارائه شده است:

جدول ۷. ضرایب واسنجی شده با روش‌های مختلف و مقدار خطای هر یک

روش	$D_{TM}$	$R_{DM}$	RMSE	NRMSE	d
فانو	۱۰۵	۱۰۰	۳۸/۵	۱/۷۶	۰/۴۴
شوری ۴-۷ ds/m	۱۳۴	۴۲	۵/۶	۰/۲۰	۰/۹۹
شوری ۸-۱۲ ds/m	۱۳۳	۴۰	۵/۴	۰/۱۹	۰/۹۹
شوری ۱۳-۱۷ ds/m	۱۳۲	۳۶	۵/۴	۰/۲۰	۰/۹۹
شوری ۱۸-۲۲ ds/m	۱۳۲	۳۶	۳/۶	۰/۱۵	۰/۹۹
شوری < ۲۲ ds/m	۱۱۸	۳۲	۳/۸	۰/۱۷	۰/۹۹

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که روش FAO موجب می‌شود تا در تخمین عمق توسعه ریشه حدود ۳۸ سانتی‌متر خطا وجود داشته باشد درحالی‌که استفاده از داده‌های بومی تنها بین ۴ تا ۵/۶ سانتی‌متر خطا دارند. بنابراین استفاده از اطلاعات بومی به‌طور متوسط با ۱۸

نتایج در شکل ۵ نشان می‌دهد که روند توسعه عمق ریشه تا شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر یکنواخت بوده و در شوری ۱۳ تا ۱۷ دسی زیمنس بر متر سرعت رشد ریشه کندتر شده و در شوری بیشتر از ۱۸ دسی زیمنس بر متر عمق نهایی رشد ریشه نیز تغییر زیادی می‌یابد و از حدود ۵۰ سانتی‌متر به ۳۵ سانتی‌متر کاهش می‌یابد. جهت بررسی سطوح معنی‌داری و یا عدم معنی‌دار بودن اطلاعات به‌دست‌آمده در جدول ۶ نتایج آنالیز آماری دانکن نشان داده شده است.

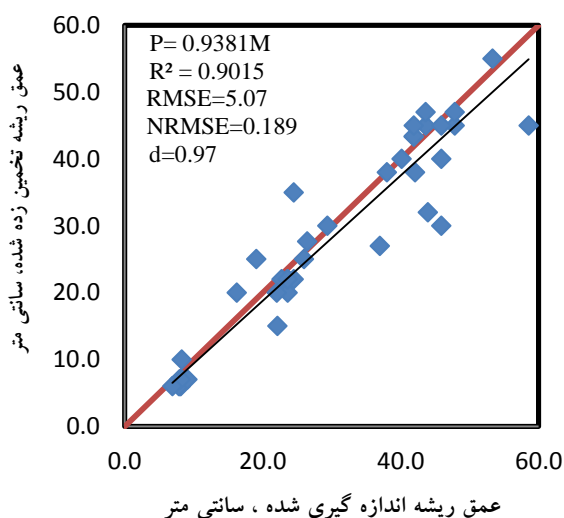
جدول ۶. تغییرات عمق ریشه گیاه گندم در شوری‌های مختلف

روز پس از کشت	Ec (ds/m)				
۰	۴-۷	۸-۱۲	۱۳-۱۷	۱۸-۲۲	>۲۲
۲۰	۵ a	۵ a	۵ a	۵ a	۵ a
۶۰	۲۰ a	۱۶ b	۱۴ bc	۱۴ bc	۱۲ c
۱۲۰	۳۴ a	۳۳ ab	۳۱ ab	۲۶ bc	۲۳ c
۱۶۶	۴۱ a	۳۹ ab	۳۶ ab	۳۵ ab	۳۲ b
	۴۲ a	۴۰ ab	۳۶ ab	۳۶ ab	۳۲ b

نتایج نشان می‌دهد که در شوری‌های کمتر از ۷ دسی زیمنس اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح شوری در تمام دوره رشد داشته است. همچنین شوری بالاتر از ۲۲ دسی زیمنس اختلاف معنی‌داری با شوری‌های کمتر از ۷ دسی زیمنس دارد. این نتایج نشان می‌دهد که شوری بالای ۲۲ دسی زیمنس به‌شدت رشد ریشه گیاه را محدود نموده که این امر موجب تغییر در عمق آبیاری و تغییرات مهمی در محاسبه نیاز آبیاری و آبشویی در محیط ریشه دارد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مقادیر عمق توسعه رشد گیاه گندم در حمیدیه شبیه‌سازی شده توسط اطلاعات FAO، شبیه‌سازی شده توسط اطلاعات بومی منطقه و مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های به‌دست‌آمده از روش FAO بسیار بیش برآورد بوده و عمق توسعه ریشه به این عمق





شکل ۷. مقایسه نتایج معادلات تعیین عمق ریشه و مقادیر

اندازه‌گیری شده نسبت به خط یک‌به‌یک

بنابراین با استفاده از معادلات فوق می‌توان مقادیر عمق ریشه گندم را در مناطق مورد مطالعه در استان خوزستان که دارای بافت خاک سنگین و مشابه باشند به دست آورد و در محاسبات و مدیریت آبیاری و راندمان آبیاری از آن بهره برد. این روابط می‌توانند تا حد زیادی از حجم مازادی که به دلیل یک متر فرض شدن عمق توسعه ریشه در جذب آب فرض می‌گردد بکاهند و برآورد مناسبی را از آب مصرفی در مناطق مختلف خوزستان بر اساس آن‌ها داشت و این دیدگاه کمک زیادی در افزایش بهره‌وری مصرف آب خواهد داشت.

#### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که پارامتر شوری و ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی از پارامترهای مؤثر در تعیین عمق توسعه ریشه گندم در خوزستان هستند و با استفاده از این پارامترها با دقت مناسبی می‌توان عمق نهایی توسعه ریشه را در پایلوت‌های مختلف تعیین نمود. از طرفی شبیه‌سازی رشد ریشه گندم در بازه‌های زمانی مختلف رشد نشان داد که رابطه Borg و Grimes (۱۹۸۶) با داده‌های فائو مناسب نبوده و برای استفاده مناسب از این معادله نیاز است تا با داده‌های بومی منطقه واسنجی شود که ضرایب مناسب آن در این تحقیق

درصد خطا نسبت به توصیه‌های FAO با ۱۷۶ درصد خطا ارجحیت داشته و لذا استفاده از اطلاعات بومی و اندازه‌گیری مستقیم جهت تعیین عمق توسعه ریشه در کلاس‌های مختلف شوری در مراحل مختلف رشد نیز توصیه می‌شود. بنابراین تغییرات عمق توسعه ریشه به صورت معادلات جدول ۸ پیشنهاد می‌گردد تا بر اساس آن مدیریت آب در مزرعه و تعیین نیاز آبیاری انجام پذیرد.

جدول ۸. معادلات پیشنهادی جهت تعیین عمق توسعه ریشه در کلاس‌های شوری مختلف

معادلات	کلاس شوری
$Z_r = 42 \left[ 0.5 + 0.5 \sin \left( \frac{3.03 D_{AS}}{134} - 1.47 \right) \right]$	شوری ۴-۷ ds/m
$Z_r = 40 \left[ 0.5 + 0.5 \sin \left( \frac{3.03 D_{AS}}{133} - 1.47 \right) \right]$	شوری ۸-۱۲ ds/m
$Z_r = 36 \left[ 0.5 + 0.5 \sin \left( \frac{3.03 D_{AS}}{132} - 1.47 \right) \right]$	شوری ۱۳-۱۷ ds/m
$Z_r = 36 \left[ 0.5 + 0.5 \sin \left( \frac{3.03 D_{AS}}{132} - 1.47 \right) \right]$	شوری ۱۸-۲۲ ds/m
$Z_r = 32 \left[ 0.5 + 0.5 \sin \left( \frac{3.03 D_{AS}}{118} - 1.47 \right) \right]$	شوری < ۲۲ ds/m

جهت ارزیابی نتایج به دست آمده این رابطه برای ۱۰ داده مستقل که در خارج از مزارع برای پهنه‌بندی انجام گرفته بود انجام شد و نسبت به خط یک‌به‌یک ترسیم گردید که نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که این روابط با ۱۹ درصد خطا (حدود ۵ سانتی‌متر) برآورد مناسبی از تغییرات عمق ریشه داشته است.

برآورد و ارائه شد و پیشنهاد می‌گردد بر اساس کلاس شوری خاک خود از این ضرایب استفاده نمایید.

### منابع مورد استفاده

- ابریشم‌کش، س.، فاضلی سنگانی، م.، رمضان پور، ح.، نوروزی، م.، شعبانی ع. ۱۳۹۹. اثر کاربرد سوسپانسیون بیوچار بر حسینعلی پور، بهاره، راهنما، افراسیاب، فرخیان فیروزی، احمد. (۱۳۹۹). اثر تنش خشکی بر رشد و معماری ریشه گندم در مرحله رشد رویشی. علوم گیاهان زراعی ایران. ۱(۱)۵۱: ۶۳-۷۵.
- مقیم‌ی مقدم، س.، کلارستاقی، ک.، صدر آبادی، ر. (۱۳۹۳). بررسی اثرات توسعه ریشه در ارتباط با تحمل به خشکی در چهار رقم گندم. دوفصلنامه ی علوم به زراعی گیاهی، ۴(۲): ۹-۱۳.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, FAO, 300 pp.
- Borg, H., Grimes, D.W., 1986. Depth development of roots with time: An empirical description. Trans of the ASAE, 29, 194-197.
- Clothier BE and Green SR, 1994. Rootzone processes and the efficient use of irrigation water. Agric Water Manag 25:1-12.
- Coelho EF and Or D, 1996. A parametric model for two-dimensional water uptake by corn roots under drip irrigation. Soil Soc Am J 60, 1039-1049.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 33, FAO, Rome, Italy. 193 pp.
- Hupet F, Lambot S, Feddes RA, van Dam JC and Vanclouster M, 2003. Estimation of root water uptake parameters by inverse modeling with soil water content data. Water Resour Res 39(11) 1312.
- Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Crouch, J.H., Serraj, R., 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. Field Crops Research. 95,171-181.
- Lopes, M. S. & Reynolds, M. P. (2010). Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. Functional Plant Biology, 37: 147-156.
- Richards, R. A. (2008). Genetic opportunities to improve cereal root systems for dryland agriculture. Plant Production Science, 11(1): 12-16.
- Tafteh, A. and Sepaskhah, A.R. 2012. Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. Agricultural Water Management. 113: 19-29.
- Wasson, A. P., Richards, R. A., Chatrath, R., Misra, S. C., Sai Prasad, S. V., Rebetzke, G. J., Kirkegaard, J. A., Christopher, J. & Watt, M. (2012). Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. Journal of Experimental Botany, 63(9): 3485-3498.



## Investigating Wheat Root Development Depth under Saline Conditions

Arash Tafteh<sup>1\*</sup>, Niazali Ebrahimipak<sup>2</sup> and Mohammad Reza Emdad<sup>2</sup>

1) Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

2) Associated professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

\*Corresponding author email: arash\_tafteh@yahoo.com

Received: 09-10-2021

Accepted: 14-11-2021

### Abstract

In the study, irrigation efficiency and its main equation, the depth of root development has been considered as an important and indisputable factor. Therefore, determining the exact depth of root development at different stages of plant growth is important. In this research, by digging profiles directly, the depth of wheat root changes in Hamidiyeh, Kowsar, Atabiyeh, Yasmin Ferdows, Daryoun, Weiss, Shadegan and Hindijan regions with soils with different salinities of 7.3, 23.1, 12.8, 12.7, 4.9, 24, 10.7, 14.22 dS/m respectively, were measured at a depth of 0 to 60 cm. Also, water salinity in each of the above pilots was 1.8, 1.9, 2.5, 2.2, 1.7, 2.4, 6.4 and 3.2 dS / m, respectively. The predominant soil texture of these areas is Clay Loam and Silty Clay Loam, respectively. As the results show, the texture of these pilots is heavy and the results of this research can be generalized in the same range of soil texture. In this regard, the Borg-Grimes (1986) root development depth model was evaluated based on FAO information and indigenous information obtained from the region. The results show that FAO data cause a large error of about 176% and the use of indigenous relationships in different soil salinity classes shows that using these equations with an average error of 18% can be a more appropriate estimate of Root depth various in these areas.

**Keywords:** Modeling, Root depth, Salinity, Wheat