

پهنه‌بندی شوری خاک در محدوده ریشه ذرت تحت تیمارهای مختلف آبیاری با استفاده از زمین آمار

فاطمه کاراندیش^{۱*} و علی شاهنظری^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۱۰

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل،

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Karandish_h@yahoo.com

چکیده

مطالعه در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد آبیاری کامل و با سه تکرار جهت ارزیابی روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزنی در تعیین توزیع مکانی هدایت الکتریکی خاک صورت گرفت. مقادیر هدایت الکتریکی خاک به عنوان مهمترین معیار شوری خاک با استفاده از سنسورهای Decagon 5TE اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه استخراج شده بین میزان رطوبت و هدایت الکتریکی خاک، و بر اساس داده‌های رطوبت بدست آمده با استفاده از شبکه منظم سنسورهای IDRGSMS T2، پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در محدوده ریشه در تمام تیمارها انجام شد. نتایج آنالیز واریوگرام‌ها نشان داد که میزان شعاع تاثیر در تمام تیمارها بیشتر از حداکثر فاصله مکانی بین داده‌های مشاهده‌ای بود. مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده هدایت الکتریکی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و بر اساس شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای انحراف (MBE) و شاخص همخوانی (d)، در این مطالعه نشان داد که همخوانی خوبی بین مقادیر دو سری داده مذکور وجود داشته است. نتایج آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ نشان داد که میزان شاخص‌های ارزیابی در روش کریجینگ در تمام تیمارها در حد معنی‌داری کمتر از سایر روش‌ها بوده و روش کوکریجینگ در رتبه دوم قرار دارد. همچنین اختلاف معنی‌داری در نتایج روش کوکریجینگ با لحاظ نمودن همزمان هدایت الکتریکی با یکی از متغیرهای دما و رطوبت به عنوان ورودی مدل، وجود نداشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری ناقص ریشه، پیوستگی مکانی، کریجینگ، کوکریجینگ، هدایت الکتریکی خاک

Zone Classification of Soil Salinity in Maize Root Zone Under Different Irrigation Treatments Using Geostatistical Methods

F Karandish^{1*} and A Shahnazari²

Received: 10 April 2013 Accepted: 2 October 2013

¹-Assist. Prof., Water Engin. Dept., Water and Soil Faculty, Zabol Univ., Zabol, Iran

²-Assist. Prof., Water Engin. Dept., Agronomy Engin. Faculty, Sari Agric. Sci. and Natural Resources Univ., Sari, Iran

*Corresponding Author Email: Karandish_h@yahoo.com

Abstract

This study was carried out as a complete block design with three treatments including, full irrigation, partial root-zone drying in two levels at 75% and 55% of full irrigation to evaluate three Geostatistical methods including Kriging, CoKriging and Weighting Moving Average for interpolating the values of soil electrical conductivity, as the best index for soil salinity. Soil electrical conductivity (EC) was measured using Decagon 5TE TDR sensors. Then zone classification maps of the EC were prepared using a linear relation between EC and soil water content values measured by IDRG SMS T2 sensors. Results of the variograms analysis showed that the effective range of variograms was higher than the maximum space between observed points in the all treatments. Comparing the observed and Geostatistical estimated values of EC based on the evaluation criteria including root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE), mean absolute error (MAE) and index of agreement (d) showed that there was a good agreement between observed and estimated EC values. Duncan test at 5% probability level showed that values of the evaluation criteria for the Kriging method were significantly lower than those for the other methods at the all treatments, and CoKriging method ranked as the second method ($p \leq 0.05$). Also there was no significant difference between the Cokriging methods by simultaneous consideration of the electrical conductivity with one of the temperature or soil moisture covariates as the model input.

Keywords: CoKriging, EC, Kriging, Partial root zone drying, Spatial structure

کشاورزی آبی در ایران در سالهای اخیر به ۴۴/۵ میلیون هکتار افزایش پیدا کرده است (بنایی و همکاران ۱۳۸۴). هدایت الکتریکی خاک به عنوان معیاری مناسب برای توصیف وضعیت شوری خاک و روند تغییرات آن از مدت‌ها قبل مورد استفاده بسیاری از محققان بوده

مقدمه

شوری خاک از جمله مهمترین معضلات در بیش از ۱۰۰ کشور دنیا بوده و بیش از ۲۰٪ از اراضی تحت پوشش کشاورزی آبی مستعد شور شدن هستند (نظامی و علیپور ۲۰۱۲). وسعت اراضی شور در نتیجه

همکاران ۱۹۹۴، مصطفی و یاموکو ۱۹۹۸ و هانی و حسینی عبری (۲۰۱۱). با این وجود، گوارتز (۱۹۹۷) بیان داشت که در صورت وجود یک همبستگی مناسب بین مقادیر شوری خاک و یک پارامتر کمکی دیگر، روش کوکریجینگ بهتر از روش کریجینگ خواهد بود. نظامی و علیپور (۲۰۱۲) نیز روش کوکریجینگ را در پهنه‌بندی مقادیر هدایت الکتریکی خاک در لایه ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک بهتر از سایر روش‌های زمین‌آمار دانسته‌اند.

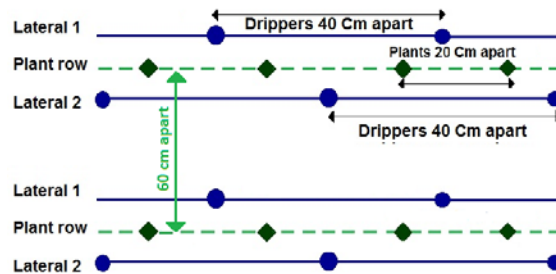
یکی از مهمترین عواملی که مقادیر هدایت الکتریکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، میزان رطوبت موجود در خاک می‌باشد (مورگان و همکاران ۲۰۰۱ و کاچانوسکی و همکاران ۱۹۸۸). لذا کنترل مناسب آن می‌تواند از افزایش شوری خاک جلوگیری نماید. روش آبیاری ناقص ریشه یکی از روش‌های نوین آبیاری طی سال‌های گذشته است که بر پایه تغییرات رطوبت در خاک ابداع شده و افزایش میزان محصول و کارایی مصرف آب در نتیجه اعمال آن در مطالعات بسیاری گزارش شده است (شاهنظری و همکاران ۲۰۰۷). نظر به شرایط خاص رطوبتی که در تکنیک آبیاری ناقص ریشه نسبت به آبیاری کامل و یا کم آبیاری معمول در خاک حاکم است، روند تغییرات میزان هدایت الکتریکی خاک به عنوان تابعی از رطوبت خاک نیز می‌تواند متفاوت از سایر روش‌های آبیاری باشد. نتایج مطالعات ریچاردز و همکاران (۱۹۵۴) و کامن و همکاران (۲۰۰۸) حاکی از کاهش میزان کل نمک وارد شده به محدوده ریشه در تیمار آبیاری ناقص ریشه در مقایسه با آبیاری کامل و کم آبیاری معمولی می‌باشد. با این وجود مطالعاتی در زمینه نحوه توزیع نمک و همچنین مقادیر نمک باقیمانده در محدوده ریشه تحت تیمار آبیاری ناقص ریشه تحت آبیاری قطره‌ای صورت نگرفته است. لذا در این مطالعه به تحلیل و پهنه‌بندی تغییرات مکانی هدایت الکتریکی در محدوده ریشه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و مقایسه شوری کل خاک در انتهای فصل رشد بین تیمارهای آبیاری کامل و آبیاری ناقص ریشه پرداخته شده است.

است (ادهیکاری و همکاران ۲۰۱۱ و کارل و همکاران ۲۰۰۱). نتایج برخی از مطالعات حاکی از افزایش میزان هدایت الکتریکی خاک در نتیجه افزایش میزان شوری خاک می‌باشد (سیلسپور و رشیدی ۲۰۰۸، دوسان و رای ۲۰۰۸). از اینرو محققان تلاش نموده‌اند تا با استفاده از تهیه نقشه‌های توزیع مکانی هدایت الکتریکی و بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی آن به استخراج خصوصیات مهم و تاثیرگذار در رشد گیاه از جمله وضعیت شوری خاک در نقاط گوناگون پرداخته و اقدامات مدیریتی لازم را در راستای نیل به یک کشاورزی پایدار انجام دهند (مک‌کاجون و همکاران ۲۰۰۶، ادهیکاری و همکاران ۲۰۱۱). تعیین روشهایی به منظور تعمیم داده‌های نقطه‌ای به سطح و تعیین مقادیر شوری خاک در نقاط اندازه‌گیری نشده از جمله مهمترین معضلی است که همواره ذهن محققان را به خود معطوف ساخته است. در این راستا روش‌های زمین‌آمار به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها از اهمیت بالاتری برخوردار بوده و در طول دهه گذشته به طور گسترده در تعیین برخی خواص خاک از جمله شوری آن مورد استفاده قرار گرفته است (هانی و حسینی عبری ۲۰۱۱). نتایج تحقیقات حاج‌رسولی‌ها و همکاران (۱۹۸۰) نشان داد که لحاظ نمودن ارتباط متغیرها به موقعیت مکانی آنها در پهنه‌بندی مقادیر شوری خاک موجب بهبود نقشه‌های تهیه‌شده می‌گردد. نتایج تحقیقات گالیچند و همکاران (۱۹۹۲) و جابرو و همکاران (۲۰۰۶) نیز نتایج مشابهی را در مورد استفاده از روش‌های زمین‌آمار به منظور تعیین پراکنش مکانی شوری خاک نشان می‌دهد. با این وجود لچ و همکاران (۱۹۹۵) بیان نمودند که در صورت عدم وجود پیوستگی مکانی داده‌ها، روش رگرسیون خطی نتایج بهتری را نسبت به روش‌های زمین‌آمار ارایه خواهد داد. محمدی (۱۳۷۸) به ارزیابی روش‌های زمین-آمار در تعیین نقاط شور در محدوده‌های عمقی مختلف خاک در اراضی کشاورزی منطقه رامهرمز پرداخته و روش کریجینگ را به عنوان دقیق‌ترین روش معرفی نموده‌اند. برتری این روش در پهنه‌بندی شوری خاک در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (حسینی و

مواد و روش‌ها

معرفی طرح و جمع‌آوری داده‌ها

طرح مذکور در سطح مزرعه و در زمینی به مساحت ۴۹۵ متر مربع (۳۳ در ۱۵) متر واقع در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری روی گیاه ذرت انجام شد. بافت خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری لوم رسی شنی و سپس تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری لوم رسی بوده است. همچنین میزان غلظت نمک آب آبیاری در این مطالعه برابر ۰/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. ذرت کشت شده در سطح مزرعه، رقم دیررس ۷۰۴ و زمان کشت آن اوایل اردیبهشت ۸۹ با فواصل کشت ۲۰ در ۶۰ سانتی‌متر و دوره رشد آن تا زمان رسیدن دانه‌ها، به مدت تقریبی ۴ ماه بود. در این مطالعه، سه تیمار آبیاری کامل^۱ (FI) و آبیاری ناقص ریشه^۲ در دو سطح ۷۵ (PRD₇₅) و ۵۵ درصد (PRD₅₅) تحت طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اعمال شد که مساحت هر تیمار با تکرارهایش معادل ۱۶۵ مترمربع بود. روش آبیاری در این تحقیق، آبیاری قطره‌ای سطحی با طرح لترال دوتایی^۳ با فواصل قطره چکان ۴۰ سانتی‌متر روی لترال و دبی قطره‌چکان دو لیتر بر ساعت بود (شکل ۱).



شکل ۱- نحوه آرایش لترال در طرفین گیاه؛ لترال‌ها در مجاورت ردیف‌های کشت می‌باشند، در این شکل، جهت وضوح بیشتر، لترال‌ها با کمی فاصله از خطوط کشت ترسیم شده‌اند.

آبیاری تیمار FI به صورت روزانه و با هدف رساندن میزان رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه انجام

و عمق آب آبیاری در این تیمار با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I_n = \sum_{i=1}^m ((\theta_{FCi} - \theta_{Bli}) \times D_i) \quad [1]$$

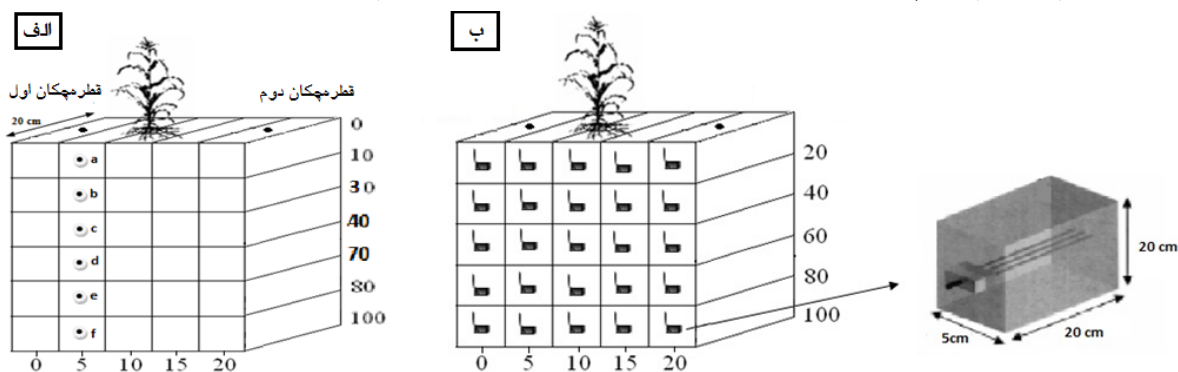
که در این رابطه θ_{FCi} درصد حجمی ظرفیت مزرعه، θ_{Bli} درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری، D_i عمق خاک آبیاری شده به میلی‌متر I_n عمق خالص آبیاری به میلی‌متر و i شماره هر لایه از خاک می‌باشد. زمان اعمال تیمار در این مطالعه از ۵۵ روز بعد از کاشت تا انتهای فصل رشد (۱۰۷ روز بعد از کاشت) بوده و تیمارهای PRD_{75} و PRD_{55} در هر نوبت آبیاری به ترتیب ۷۵ و ۵۵ درصد از عمق آب محاسبه شده در تیمار آبیاری کامل را در طول دوره اعمال در یک سمت گیاه دریافت نموده‌اند. در هر نوبت آبیاری در تیمار FI، در هر دو لترال جریان وجود داشت، اما در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری تنها در یک لترال جریان وجود داشت تا بخشی از گیاه خشک نگاه داشته شود. همچنین در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، شیفت آبیاری از سمت مرطوب به خشک به صورت هفتگی در طول دوره اعمال تیمار صورت گرفت. در این مطالعه، به منظور تأمین تمام داده‌های مورد نیاز، دو نوع سنسور رطوبت سنج TDR شامل Decagon TDR و IDR2-T2 در تمام تیمارها نصب شد. بررسی سیستم ریشه در تیمارهای مختلف نشان داد که هیچ ریشه‌ای در عمق پایین‌تر از ۱۰۰ سانتی‌متر وجود نداشته است. لذا سنسورهای مذکور در لایه‌های مختلف خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر نصب شدند. به منظور استخراج رابطه بین مقادیر هدایت الکتریکی و رطوبت و همچنین رابطه بین مقادیر دما و رطوبت، شش سنسور Decagon TDR در حدفاصل بین قطره چکان و گیاه به صورت عمودی و با فاصله ۵ سانتی‌متر از هم در اعماق (a) ۵-، (b) ۳۰-۱۰، (c) ۴۰-۳۵، (d) ۶۵-۴۵، (e) ۷۵-۷۰ و (f) ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متر در سه تکرار آبیاری کامل نصب شدند. سنسورهای a، c و e از نوع 5HS (Decagon, USA) برای اندازه‌گیری دما، هدایت الکتریکی و رطوبت و سنسورهای b، d و f از نوع 10TS (Decagon, USA) بوده که تنها برای اندازه‌گیری رطوبت به کار برده می-

¹ Full irrigation (FI)

² Partial root zone drying (PRD)

³ Double lateral layout

توزیع دو بعدی هدایت الکتریکی در تیمارهای مختلف، سنسورهای *IDRG-T2* در تمام تیمارها نصب شده و با استفاده از رابطه استخراج شده بین مقادیر هدایت الکتریکی و رطوبت، توزیع نمک در این تیمارها بدست آمد (مورگان و همکاران، ۲۰۰۱، کاجانوسکی و همکاران، ۱۹۸۸).



شکل ۲- الف) نحوه استقرار سنسورهای *TDR* و ب) نحوه استقرار سنسورهای *IDRG SMS T-2*

۱۰۵ درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت) و *EC* (با تهیه عصاره اشباع از نمونه‌های خاک) آنها بدست آمد. سپس این مقادیر با مقادیر برآورد شده توسط رابطه رطوبت و هدایت الکتریکی (که این رابطه بر اساس مقادیر مشاهده‌ای بوسیله سنسورهای *Decagon TDR* به دست آمد) مورد مقایسه قرار گرفت.

پهنه‌بندی نمک در منطقه ریشه

پس از جمع‌آوری داده‌های مشاهده‌ای، پهنه‌بندی میزان هدایت الکتریکی در محدوده توسعه ریشه ذرت در هر تیمار بر اساس روش‌های زمین آمار و با استفاده از برنامه *Geostatistics* در محیط *GIS* صورت گرفت. بدین منظور، از روش‌های میانگین متحرک وزنی^۱، کریجینگ^۲ و کوکریجینگ^۳ با لحاظ نمودن الف) هدایت الکتریکی، ب) هدایت الکتریکی و رطوبت و ج) هدایت الکتریکی و دما استفاده گردید. اساس درونیابی در این مطالعه بر اساس رابطه ۲ می‌باشد و تفاوت بین روش‌های مختلف در نحوه برآورد ضرایب این معادله است (ثقفیان و رحیمی بندرآبادی، ۲۰۰۸).

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad [2]$$

شود (شکل ۲-الف). در شکل ۲، قطره چکان اول روی لترال اول و قطره چکان دوم روی لترال دوم قرار دارد. لذا اگرچه فاصله قطره‌چکانها روی هر یک از لترال‌ها ۴۰ سانتی‌متر است، اما آرایش لترال‌ها در طرفین گیاه به گونه‌ای است که فواصل دو قطرچکان از هم ۲۰ سانتی-متر گردد (شکل ۱). همچنین به منظور تعیین روند

بدین منظور سنسورهای *IDRG-T2* در عمق‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ سانتی‌متر و به صورت افقی در پنج فاصله محل قطره‌چکان اول، ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر بعد از قطره چکان اول و در محل قطره چکان دوم (۲۰ سانتی‌متر بعد از قطره چکان اول) در خاک نصب (شکل ۲-ب) و داده‌های دما و رطوبت به صورت روزانه و در طول دوره رشد گیاه یک ساعت قبل و بعد از آبیاری قرائت شد. علاوه بر اندازه‌گیری‌های معمول پارامترهای دما، رطوبت و هدایت الکتریکی، به منظور بررسی همخوانی بین داده‌های بدست آمده از سنسورهای مختلف مقادیر این پارامترها در یک بازه زمانی ۱۰ روزه (۲۹ تیر لغایت ۷ مرداد ۸۹) در زمان‌های یک ساعت قبل از آبیاری، بلافاصله بعد، ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت بعد از آبیاری اندازه‌گیری شد.

همچنین به منظور بررسی صحت داده‌های بدست آمده با استفاده رابطه بین مقادیر رطوبت و هدایت الکتریکی، در تیمارهای *FI*، *PRD₇₅* و *PRD₅₅* طی هفت نوبت در طول دوره اعمال تیمار (در تاریخ‌های ۵۵، ۶۱، ۶۸، ۷۵، ۸۲، ۸۹، ۹۶ و ۱۰۳ روز بعد از کاشت) نمونه‌هایی از عمق‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ سانتی-متری در پای بوته برداشت شده و مقادیر رطوبت وزنی (با قرار دادن نمونه‌های خاک در آون با درجه حرارت

¹ Weighted Moving Average (WMA)

² Kriging

³ Co-Kriging

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2 \right] \right\}^{0.5} \quad [۶]$$

که در آنها: MAE ، میانگین قدر مطلق خطا، MBE میانگین خطای انحراف، $RMSE$ ، جذر میانگین مربعات خطا، $Z(x_i)$ ، مقدار مشاهده‌ای، $Z^*(x_i)$ ، مقدار برآورد شده هدایت الکتریکی و n تعداد داده‌ها می‌باشد. همچنین به منظور بررسی همخوانی دو سری داده بدست آمده با روش‌های مختلف، علاوه بر سه معیار فوق، از شاخص همخوانی^۴ به شرح ذیل استفاده شد (تافته و سپاسخواه، ۲۰۱۲):

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (|Z(x_i) - M1| + |Z^*(x_i) - M2|)^2} \right\} \quad [۷]$$

که در آن، d شاخص همخوانی مدل، $M1$ میانگین مقادیر مشاهداتی و $M2$ میانگین مقادیر محاسباتی می‌باشد.

آنالیز آماری

داده‌های بدست آمده در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار *SPSS* مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

تحلیل داده‌ها و واریوگرام‌ها

بررسی مقادیر همزمان رطوبت اندازه‌گیری شده با استفاده از سنسورهای *Decagon TDR* و *IDRG-T2* نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین مقادیر میانگین و انحراف از معیار داده‌های اندازه‌گیری شده با دو نوع سنسور مذکور وجود نداشته است. همچنین نتایج آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر رطوبت خاک به روش وزنی و مقدار قرائت شده توسط سنسورهای مذکور بوده و بررسی‌های آماری انجام شده، همخوانی مناسب بین این داده‌ها با شاخص

که در آن $Z^*(x)$ مقدار تخمین زده شده متغیر در نقطه x ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر در نقطه x_i ، n تعداد نقاط و λ وزن می‌باشد که در روش‌های مختلف به صورت مختلف تعریف می‌شود. نظر به اینکه در زمین-آمار برخلاف آمار کلاسیک، مقادیر نمونه‌ها به موقعیت آنها وابسته می‌باشد، لذا به منظور امکان استفاده از روش‌های زمین‌آمار باید وجود پیوستگی مکانی بین داده‌ها مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور، در این مطالعه از معیار نیم‌تغییر نمای تجربی (γ) به شرح ذیل استفاده شد (تقفیان و رحیمی بندرآبادی، ۲۰۰۸):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2.n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad [۳]$$

که در آن: $n(h)$ زوج نقاط تعیین شده بر اساس فاصله h ، $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت x_i و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در فاصله h از موقعیت x_i می‌باشد. فاصله‌ای که در آن مقدار نیم‌تغییر نما به حد ثابتی که همان آستانه نیم‌تغییر نما می‌باشد، می‌رسد دامنه تاثیر R و مقدار نیم‌تغییر نما در $h=0$ اثر قطعه‌ای (C_0) نام دارد. مقدار نیم‌تغییر نما در روش کریجینگ برای محاسبه اوزان مورد استفاده قرار گرفت.

معیارهای ارزیابی

برای بررسی دقت روش‌های زمین‌آمار و یا انتخاب پارامتر مناسب در آنها از روش ارزیابی تقاطعی استفاده شد. در این روش مقایسه‌ای میان نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی توسط روش‌های مورد استفاده، صورت می‌گیرد. انتخاب روش برتر بر اساس سه معیار میانگین خطای مطلق^۱، میانگین خطای انحراف^۲ جذر میانگین مربعات خطا^۳ به شرح روابط زیر استفاده شد (تقفیان و رحیمی بندرآبادی، ۲۰۰۸).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad [۴]$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad [۵]$$

^۱ Mean Absolute Error (MAE)

^۲ Mean Bias Error (MBE)

^۳ Root Mean Square Error (RMSE)

^۴ Index of agreement

باشد. لذا از مقادیر برآورد شده با استفاده از این رابطه برای پهنه‌بندی میزان هدایت الکتریکی در محدوده توسعه ریشه در تیمارهای مختلف استفاده شد.

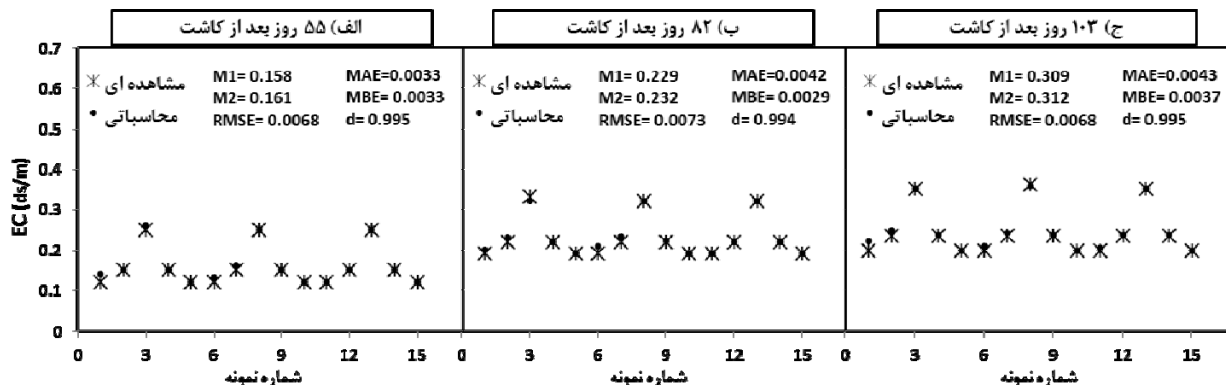
بررسی داده‌های هدایت الکتریکی حاکی از نرمال نبودن آنها در برخی روزهای مورد بررسی بود. لذا نظر به اهمیت شرط نرمال بودن داده‌ها در استفاده از روش‌های زمین‌آمار، مقادیر این داده‌ها با استفاده از روش لگاریتم نرمال شده و مقادیر چولگی و کشیدگی آنها به کمتر از ۰/۵ کاهش داده شد. بررسی مقادیر همزمان میزان هدایت الکتریکی، دما و رطوبت خاک توسط سنسورهای رطوبت سنج الکترومغناطیس *Decagon 5TE* در زمان‌های یک ساعت قبل و بعد از آبیاری نشان داد که یک رابطه نمایی با مجذور ضریب تبیین ۰/۸۷ بین میزان هدایت الکتریکی با تغییرات دما و یک رابطه خطی با ضریب تبیین ۰/۹۸ بین مقادیر هدایت الکتریکی و رطوبت خاک وجود دارد (شکل ۴). لذا این دو پارامتر به عنوان متغیری در جهت بهبود نتایج در روش کوکریجینگ استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و تعیین متغیر کمکی، به تحلیل واریوگرام‌ها پرداخته شد. بررسی واریوگرام تجربی در راستاهای مختلف حاکی از وجود ناهمسانگردی در داده‌ها بود. لذا از واریوگرام تجربی همه‌جانبه برای تمامی وقایع استفاده شد. جدول ۱ نتایج ارزیابی مدل‌های مختلف واریوگرام بر اساس معیار مجذور مجموع مربعات باقیمانده (*RSS*) را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، روش‌های گوسی و کروی واریوگرام‌های بهتری را در مقایسه با روش نمایی ارائه داده است. جابرو و همکاران (۲۰۰۶) نیز کمتر بودن خطای برازش مدل کروی بر واریوگرام تجربی مقادیر هدایت الکتریکی را گزارش نموده‌اند.

همخوانی بالاتر از ۰/۹۹۵ را در تاریخ‌های مورد بررسی به اثبات می‌رساند.

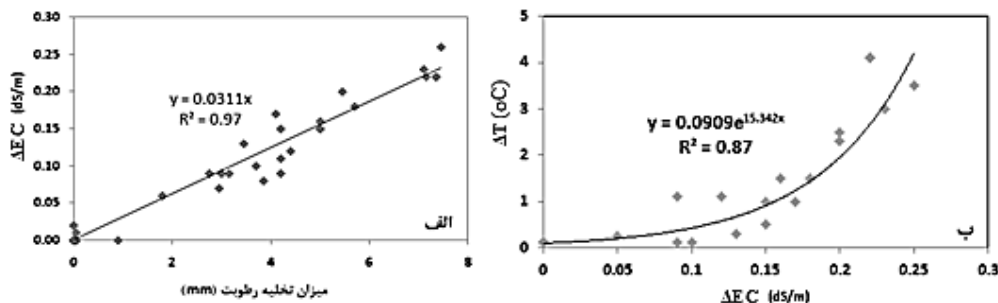
به منظور بررسی صحت سنسورهای *Decagon 5TE* در برآورد هدایت الکتریکی خاک، مقادیر هدایت الکتریکی در عصاره اشباع نمونه‌های خاک در تاریخ‌های ۵۵، ۶۱، ۶۸، ۷۵، ۸۲، ۸۹، ۹۶ و ۱۰۳ روز بعد از کاشت با استفاده از *EC* سنج^۱ در آزمایشگاه تعیین و به مقدار آن در رطوبت موجود در خاک در زمان اندازه‌گیری تعمیم داده شد. سپس این مقادیر، با مقادیر همزمان قرائت‌شده توسط سنسورهای *Decagon TDR* مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمون دانکن نشان داد که در هیچ یک از تاریخ‌های مذکور، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین مقادیر هدایت الکتریکی خاک اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و با استفاده از سنسورهای *Decagon 5TE* وجود نداشته است. نتایج این بررسی حاکی از همخوانی بین آنها با شاخص همخوانی ۰/۹۹۲ بوده است. همچنین حداکثر میزان پارامترهای *RMSE*، *MAE* و *MBE* در تاریخ‌های مذکور به ترتیب برابر با ۰/۰۰۶۲، ۰/۰۰۲۵ و ۰/۰۰۲۸ دسی-زیمنس برمتر (*dS/m*) بوده که حاکی از دقت بالای این سنسور در تعیین میزان هدایت الکتریکی خاک می‌باشد.

مقایسه مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده با استفاده از رابطه مستخرج شده بین میزان رطوبت و هدایت الکتریکی در این مطالعه و مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه در تاریخ‌های ۵۵، ۶۱، ۶۸، ۷۵ و ۸۲، ۸۹، ۹۶ و ۱۰۳ روز بعد از کاشت در رطوبت موجود در خاک در زمان اندازه‌گیری نشان داد که اختلاف معنی-داری بین میزان میانگین و انحراف از معیار دو سری داده در سطح احتمال ۵٪ وجود نداشته است. نتایج این بررسی در سه تاریخ ۵۵، ۸۲ و ۱۰۳ روز بعد از کاشت در شکل ۳ به تصویر کشیده شده است. همچنین نتایج این مطالعه حاکی از میزان شاخص همخوانی بالاتر از ۹۰٪ بین دو سری داده و دقت بالای سنسورهای *Decagon 5TE* در برآورد هدایت الکتریکی خاک بر اساس شاخص‌های آماری *RMSE*، *MAE* و *MBE* می-

^۱ EC meter



شکل ۳- مقایسه مقادیر EC اندازه گیری شده در آزمایشگاه (مشاهده ای) و اندازه گیری شده با سنسورهای Decagon 5TE (محاسباتی) در سه تاریخ های ۵۵، ۸۲ و ۱۰۳ روز بعد از کاشت.



شکل ۴- رابطه مقادیر هدایت الکتریکی (ΔEC) و تغییرات الف (رطوبت و ب) دما (ΔT).

جدول ۱- نتایج ارزیابی مدل های مختلف واریوگرام بر اساس معیار RSS

میزان RSS در مدل های مختلف			متغیر	تیمار
گوسی	نمایی	کروی	EC	
۰/۰۰۲c	۰/۰۰۵a	۰/۰۰۴b*	EC & θ	FI
۰/۰۲۲a	۰/۰۲۴a	۰/۰۲۲a	EC & T	
۰/۰۹b	۰/۲۳a	۰/۲۸a	EC	PRD ₇₅
۰/۰۷۵a	۰/۰۰۵b	۰/۰۰۳c	EC & θ	
۰/۰۰۹a	۰/۰۰۹a	۰/۰۰۸a	EC & T	
۰/۲۰b	۰/۳۱a	۰/۱۸b	EC	PRD ₅₅
۰/۰۰۷a	۰/۰۰۴b	۰/۰۰۳c	EC & θ	
۱/۱a	۱/۲a	۱/۱a	EC & T	
۰/۰۵c	۰/۲۳a	۰/۲۲b		

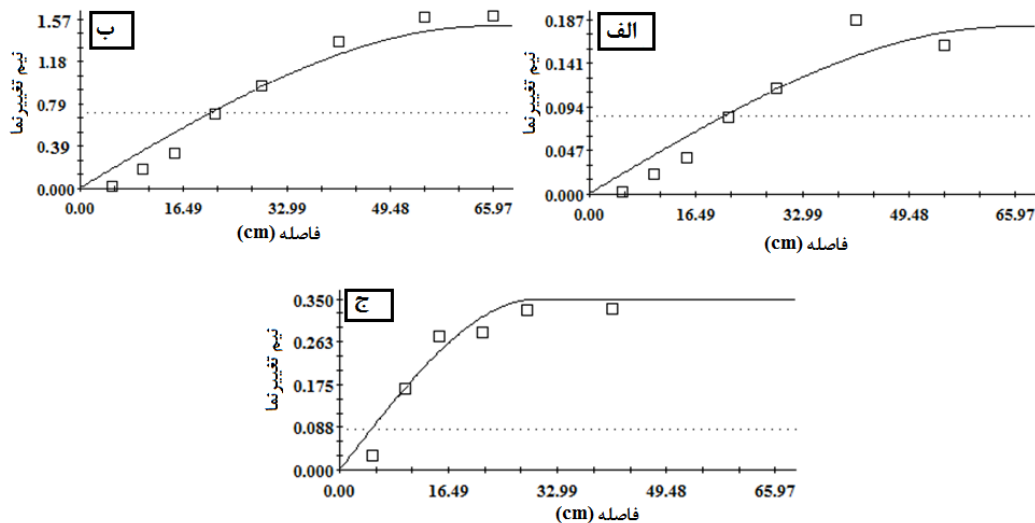
* حروف مشابه عدم اختلاف معنی داری بین مقادیر RSS در مدل های مختلف بر حسب آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ را نشان می دهد.

است. نتایج نشان می دهد که بر اساس معیار کامباردلا و همکاران (۱۹۹۴)، نسبت CO/CO+C در تمام واریوگرام های تئوری در تیمارهای FI و PRD₅₅ کمتر از ۰/۷۵ بوده و لذا ساختار مکانی متوسطی وجود دارد. اما این نسبت در تیمار PRD₇₅ کمی بیشتر از ۰/۷۵ بوده است. نتایج مطالعات نظامی و علیپور (۲۰۱۲) وجود یک

شکل ۵ واریوگرام تئوری و تجربی مقادیر هدایت الکتریکی، واریوگرام متقابل دما و هدایت الکتریکی و واریوگرام متقابل رطوبت و هدایت الکتریکی در تیمار PRD₇₅ را به عنوان نمونه به تصویر می کشد. همچنین خصوصیات مدل های برازش داده شده به واریوگرام های تجربی برای تمام تیمارها در جدول ۲ ارائه شده

برای مقادیر شوری خاک را در روش کریجینگ گزارش نموده‌اند.

ساختار مکانی ضعیف در هنگام استفاده از روش کوکریجینگ را به اثبات می‌رساند. همچنین جابرو و همکارن (۲۰۰۶) نیز وجود یک ساختار مکانی متوسط



شکل ۵- واریوگرام تئوری هدایت الکتریکی (الف) و واریوگرام متقابل (ب) دما و هدایت الکتریکی و (ج) رطوبت و هدایت الکتریکی (محور افقی فاصله زوج نقاط و محور عمودی میزان واریوگرام را نشان می‌دهد).

جدول ۲- خصوصیات واریوگرام‌های تئوری منتخب.

تیمار	واریوگرام	مدل	اثر قطعه ای	آستانه	شعاع تاثیر (cm)
	EC	گوسی	۰/۰۴	۰/۱۹	۳۴
<i>FI</i>	EC & T	کروی	-۰/۰۶	-۰/۲۵	۳۵
	EC & T	گوسی	-۰/۴	۱/۲	۳۳
	EC	کروی	-۰/۰۰۱	۰/۱۸	۶۵
<i>PRD₇₅</i>	EC & T	کروی	-۰/۰۰۱	۰/۳۵	۳۰
	EC & T	کروی	-۰/۰۰۱	۱/۵	۷۵
	EC	گوسی	-۰/۰۰۴	۰/۲۱	۳۴
<i>PRD₅₅</i>	EC & T	کروی	-۰/۰۵	۰/۲۱	۲۰
	EC & T	گوسی	-۰/۵	۱/۵	۳۵

هدایت الکتریکی و رطوبت در *FI* نیز معنی‌دار نیست. اما نتایج نشان داد که مقادیر شعاع تأثیر در واریوگرام متقابل هدایت الکتریکی و دما در تیمارهای *PRD₇₅* و *PRD₅₅* در حد معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بالاتر از مقادیر آن در واریوگرام متقابل هدایت الکتریکی و رطوبت می‌باشد. این نتیجه تأثیر مثبت لحاظ نمودن دما به عنوان متغیر کمکی در افزایش پیوستگی مکانی برای تعیین مقادیر هدایت الکتریکی در مقایسه با رطوبت را به اثبات می‌رساند.

بر اساس جدول ۲، میزان شعاع تأثیر در تمام تیمارها بیشتر از حداکثر فاصله مکانی بین داده‌های مشاهده‌ای (۲۰ سانتی‌متر) بود. لذا وجود پیوستگی مکانی در شعاعی بیشتر از فاصله داده‌های مشاهده‌ای امکان استفاده از روشهای زمین‌آمار در این مطالعه را فراهم می‌سازد. بر اساس جدول ۲، میزان شعاع تأثیر در واریوگرام‌های هدایت الکتریکی و واریوگرام متقابل هدایت الکتریکی با متغیرهای کمکی دما در تمام تیمارها اختلاف چندانی ندارد. همچنین این اختلاف بین واریوگرام تئوری هدایت الکتریکی و واریوگرام متقابل

ارزیابی روش‌های زمین‌آمار منتخب

نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار منتخب در این مطالعه برای روزهای ۵۵، ۸۲ و ۱۰۳ روز بعد از کاشت در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر اندک معیارهای ارزیابی، اختلاف غیرمعنی‌دار بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده و در نتیجه اعتبار روش‌های زمین‌آمار برای درون‌یابی مقادیر شوری خاک را نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد ضرایب همبستگی بین مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای در تمام روش‌ها بالاتر از ۸۰٪ می‌باشد. همچنین میزان شاخص همخوانی بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده در تمام تیمارها بالاتر از ۹۰٪ بدست آمد که حاکی از همخوانی مناسب دو سری داده را دارد. این نتیجه نشان می‌دهد که روش‌های منتخب در این مطالعه از دقت بالایی در

تخمین مقادیر هدایت الکتریکی خاک در نقاط فاقد داده برخوردار می‌باشد. با این وجود، نتایج آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ نشان داد که میزان معیارهای ارزیابی در روش کریجینگ در حد معنی‌داری کمتر از میزان آن در سایر روش‌ها بوده است. همچنین روش کوکریجینگ نیز در رتبه دوم قرار دارد. دقت بالای روش کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد مقادیر شوری لایه سطحی خاک (در محدوده ۲۰-۰ سانتی‌متر) در شرایط بدون کشت در مطالعات دیگری نیز به اثبات رسیده است (حسینی و همکاران ۱۹۹۴، مصطفی و یاموتو ۱۹۹۸، وو و همکاران ۲۰۰۶، یانل و همکاران ۲۰۰۷، هانی و حسینی عبری ۲۰۱۱ و نظامی و علیپور ۲۰۱۲).

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار منتخب.

روش منتخب	روش زمین‌آمار				معیارهای ارزیابی	تاریخ	نمابر
	CoKrig-Temperature	CoKrig-Teta	Kriging	WMA			
Kriging	0.008 ^a	0.008 ^a	0.004 ^b	**0.007 ^a	MAE	55 DAP	FI
	-0.002 ^b	-0.002 ^b	-0.001 ^a	-0.001 ^a	MBE		
	0.012 ^a	0.012 ^a	0.007 ^c	0.009 ^b	RMSE		
Kriging and CoKrg	0.008 ^b	0.008 ^b	0.007 ^b	0.026 ^a	MAE	89 DAP	
	-0.001 ^b	-0.001 ^b	-0.001 ^b	0.004 ^a	MBE		
	0.012 ^b	0.012 ^b	0.011 ^b	0.031 ^a	RMSE		
Kriging	0.008 ^a	0.008 ^a	0.004 ^c	0.007 ^b	MAE	103 DAP	
	-0.002 ^a	-0.002 ^a	-0.001 ^b	-0.001 ^b	MBE		
	0.012 ^a	0.012 ^a	0.007 ^c	0.009 ^b	RMSE		
Kriging	0.010 ^a	0.010 ^a	0.006 ^b	0.010 ^a	MAE	55 DAP	
	-0.004 ^a	-0.004 ^a	-0.004 ^a	-0.003 ^b	MBE		
	0.018 ^a	0.018 ^a	0.012 ^b	0.017 ^a	RMSE		
Kriging	0.008 ^b	0.008 ^b	0.007 ^b	0.030 ^a	MAE	89 DAP	PRD ₇₅
	-0.002 ^a	-0.002 ^a	-0.001 ^b	0.002 ^a	MBE		
	0.012 ^b	0.012 ^b	0.011 ^b	0.036 ^a	RMSE		
Kriging	0.010 ^a	0.010 ^a	0.006 ^b	0.010 ^a	MAE	103 DAP	
	-0.004 ^a	-0.004 ^a	-0.004 ^a	-0.003 ^b	MBE		
	0.018 ^a	0.018 ^a	0.012 ^b	0.017 ^a	RMSE		
Kriging	0.009 ^b	0.009 ^b	0.006 ^c	0.010 ^a	MAE	55 DAP	
	-0.007 ^a	-0.007 ^a	-0.006 ^a	-0.006 ^a	MBE		
	0.018 ^a	0.018 ^a	0.012 ^b	0.017 ^a	RMSE		
Kriging	0.006 ^b	0.006 ^b	0.006 ^b	0.025 ^a	MAE	89 DAP	PRD ₅₅
	-0.002 ^b	-0.002 ^b	-0.002 ^b	0.001 ^a	MBE		
	0.010 ^b	0.010 ^b	0.009 ^b	0.032 ^a	RMSE		
Kriging	0.009 ^a	0.009 ^a	0.006 ^b	0.010 ^a	MAE	103 DAP	
	-0.007 ^a	-0.007 ^a	-0.006 ^a	-0.006 ^a	MBE		
	0.018 ^a	0.018 ^a	0.012 ^b	0.017 ^a	RMSE		

** این حروف در جدول نتایج آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد را برای مقایسه مقادیر شاخص‌های ارزیابی بین روش‌های مختلف ارزیابی نشان می‌دهد. حروف مشابه به معنی عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیر مشابه به معنی وجود اختلاف معنی‌دار بین روش‌ها می‌باشد.

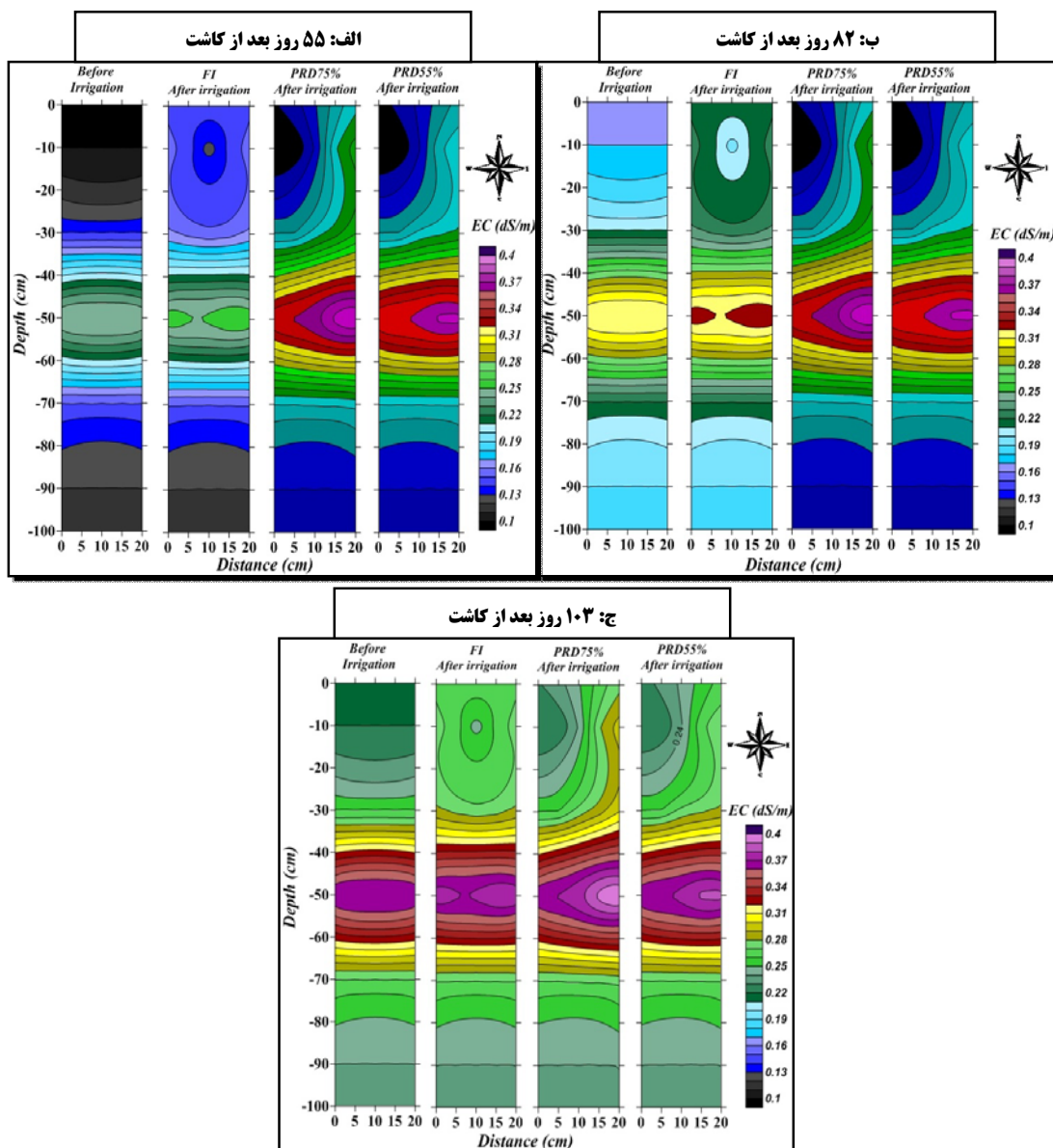
نحوه توزیع مکانی نمک در محدوده ریشه در تیمارهای مختلف پس از آبیاری

پس از بررسی‌های انجام شده و تعیین روش منتخب به منظور درون‌یابی مقادیر هدایت الکتریکی، نقشه توزیع دوبعدی هدایت الکتریکی در محدوده ریشه قبل و بعد از آبیاری در هر سه تیمار FI ، PRD_{75} و PRD_{55} ، با استفاده از روش‌های زمین‌آمار منتخب در محیط GIS تهیه شد. شکل ۶ این نقشه‌ها را برای نمونه در سه تیمار مذکور در تاریخ های ۵۵ (ابتدای دوره اعمال تیمار)، ۸۲ (حد واسط دوره اعمال تیمار) و ۱۰۳ (روزهای پایانی اعمال تیمار) روز بعد از کاشت به عنوان نمونه تصویر کشیده می‌کشد. در این تاریخ‌ها در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، دومین قطره چکان (۲۰) در حال تراوش بوده و محل اولین قطره چکان (۱۰) خشک می‌باشد. این در حالی است که در تیمار FI هر دو قطره‌چکان در حال تراوش می‌باشد. نقشه‌های بدست آمده حاکی از آن است که روش کریجینگ در این مطالعه به خوبی تمایز استراتژی‌های آبیاری مختلف (FI ، PRD_{75} و PRD_{55}) و تاثیر آن در نحوه تغییرات هدایت الکتریکی در محدوده ریشه بعد از آبیاری را نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌های توزیه مکانی هدایت الکتریکی نشان داد که بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی بعد از آبیاری در بخش مرطوب هر تیمار بوده و میزان تغییرات هدایت الکتریکی در قسمتهایی که آبی دریافت نداشته‌اند در حد معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ کمتر از مقدار آن در بخش‌هایی که آب دریافت نموده‌اند بوده است. نتایج پهنه‌بندی نمک در محدوده توسعه ریشه نشان داد که دامنه تغییرات هدایت الکتریکی در بخش مرطوب تیمار آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵٪ بیشتر از تیمار آبیاری کامل است. این در حالی است که این دامنه در تیمارهای آبیاری کامل و بخش مرطوب آبیاری ناقص ریشه در سطح ۵۵٪ تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. همچنین نحوه تجمع نمک بین دو قطره‌چکان در تیمار FI به صورت یکنواخت بوده ولی در تیمارهای PRD ، آبیاری موجب تجمع نمک در یک سمت شده و مقادیر نمک در نیمی از فاصله بین دو قطره‌چکان در حد کمتری در مقایسه با تیمار FI کنترل می‌گردد. به این

بررسی جدول ۳ نشان می‌دهد که علی‌رغم بالاتر بودن شعاع تأثیر در وارویگرام متقابل هدایت الکتریکی و دما در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، بین مقادیر شاخص‌های ارزیابی در روش‌های کوکریجینگ با لحاظ همزمان متغیر هدایت الکتریکی و دما و یا هدایت الکتریکی و رطوبت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ وجود نداشته است. به این ترتیب، هر دو پارامتر دما و رطوبت به یک اندازه زمینه افزایش دقت درون‌یابی با استفاده از روش کوکریجینگ را فراهم آورده است. از آنجایی‌که در تیمار آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری، کل حجم آب تنها به یک سمت ریشه ارایه می‌شود، لذا دامنه تغییرات رطوبتی در بخش آبیاری شده در تیمار آبیاری ناقص ریشه بالاتر از مقدار آن در سمت مشابه در تیمار آبیاری کامل خواهد بود، لذا عدم اختلاف معنی‌دار بین روش کوکریجینگ با لحاظ همزمان متغیر هدایت الکتریکی و دما و یا هدایت الکتریکی و رطوبت در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، که تغییرات رطوبتی در آن بالاتر از تیمار آبیاری کامل است، نشان می‌دهد که امکان استفاده از روش کوکریجینگ با لحاظ همزمان هدایت الکتریکی و رطوبت در شرایط تغییرات رطوبتی بالا نیز وجود دارد. جدول ۳ نشان می‌دهد که روش میانگین متحرک وزنی (WMA) در حد معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ میزان خطای تخمین را در مقایسه با دو روش کریجینگ و کوکریجینگ افزایش داده است. همچنین نتایج ارایه شده در جدول ۳ حاکی از آن است که میزان شاخص‌های ارزیابی در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه تا حدودی بیشتر از مقدار آن در تیمار کم‌آبیاری معمولی می‌باشد. با این وجود، عدم اختلاف معنی‌دار بین مقادیر میانگین و انحراف از معیار داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی در هر سه تیمار نشان داد که روش‌های منتخب در این مطالعه به خوبی قادر به درون‌یابی مقادیر هدایت الکتریکی در منطقه مطالعاتی در هر سه تیمار می‌باشد.

در این تیمارها در مقایسه با تیمار *FI* فراهم آورد.

ترتیب کنترل نمک در حد پایین در سمت خشک ریشه در تیمارهای *PRD* می‌تواند امکان کنترل شوری خاک را



شکل ۶- پهنه‌بندی میزان هدایت الکتریکی خاک در الف) ۵۵ روز بعد از کاشت، ب) ۸۲ روز بعد از کاشت و ج) ۱۰۳ روز بعد از کاشت با استفاده از روش کریجینگ.

بیشتر آب به لایه های پایینی در تیمار *PRD75* در مقایسه با تیمار شاهد موجبات تغییرات بیشتر نمک در لایه ۴۰-۶۰ را در این تیمار فراهم آورد. این در حالی است که روند تغییرات نمک در بخش مرطوب تیمار

بررسی نقشه‌های توزیع مکانی نمک نشان داد که بیشترین درصد افزایش نمک در تمام تیمارها در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر خاک بوده و میزان افزایش نمک در عمق‌های بالاتر از ۶۰ سانتی‌متر قابل اغماض است. نفوذ

سطح احتمال ۵٪ نشان داد که میزان شاخص‌های ارزیابی در روش کریجینگ در تمام تیمارها در حد معنی‌داری کمتر از سایر روش‌ها بوده و روش کوکریجینگ در رتبه دوم قرار دارد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که اگرچه استفاده همزمان از متغیر هدایت الکتریکی و دما در روش کوکریجینگ در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه میزان شعاع تاثیر را در حد معنی‌داری در مقایسه با استفاده همزمان از متغیر هدایت الکتریکی افزایش داده است، اما اختلاف معنی‌داری بین شاخص‌های ارزیابی در روش کوکریجینگ با دو حالت مذکور وجود نداشته و هر دو حالت به یک اندازه زمینه افزایش دقت درونیابی با استفاده از روش کوکریجینگ را فراهم آورده است. به این ترتیب می‌توان بیان داشت که حتی در شرایط رطوبتی خاص حاکم بر آبیاری ناقص ریشه نیز می‌توان از رطوبت به عنوان متغیری در جهت بهبود نتایج درونیابی در روش کوکریجینگ استفاده نمود.

PRD_{55} تقریباً مشابه تیمار FI بود. در مجموع ارایه حجم آب کمتر در تیمار PRD_{55} باعث شده تا میزان افزایش نمک در محدوده عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متر مقدار کمتری را نسبت به دو تیمار FI و PRD_{75} به خود اختصاص دهد.

نتیجه‌گیری کلی

وجود پیوستگی مکانی در شعاعی فراتر از فاصله بین نقاط مشاهده‌ای، کفایت تعداد داده‌های مشاهده‌ای و امکان استفاده از روش‌های زمین‌آمار در این مطالعه را مهیا می‌سازد. مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده هدایت الکتریکی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و بر اساس شاخص‌های MAE ، $RMSE$ ، MBE و d در این مطالعه نشان داد که همخوانی بالای ۰/۹۰ بین مقادیر دو سری داده مذکور وجود داشته است. این نتیجه اعتبار روش‌های منتخب در این مطالعه در پهنه-بندی میزان هدایت الکتریکی خاک در هر سه تیمار را به اثبات می‌رساند. با این وجود نتایج آزمون دانکن در

منابع مورد استفاده

- بنایی م ح، مومنی آ، بایوردی م و ملکوتی م ج، ۱۳۸۴. خاک‌های ایران. انتشارات سنا.
- محمدی ج، ۱۳۷۸. مطالعه تغییرات مکانی شوری خاک در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از ژئواستاتستیک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سوم، شماره اول، صفحه‌های ۱ تا ۷.
- Adhikari P, Shukla MK and Mexal JG, 2011. Spatial variability of electrical conductivity of desert soil irrigated with treated wastewater: implications for irrigation management. Applied and Environmental Soil Science. doi:10.1155/2011/504249.
- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF and Konopka AE, 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. American Journal of Soil Science 58: 1501-1511.
- Doussan C and Ruy S, 2008. Can we use electrical conductivity for predicting unsaturated soil hydraulic conductivity. Geophysical Research Abstracts 10: 41-63.
- Gallichand JG, Buckland D, Marcotte D and Hendry MJ, 1992. Spatial interpolation of soil salinity and sodicity for a saline soil in Southern Alberta. Canadian Journal of Soil Research 72:503-516.
- Goovaerts P, 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, London.
- Hani A and Hoseini Abari A, 2011. Determination of Cd, Zn, K, pH, TNV, organic material and electrical conductivity (EC) distribution in agricultural soils using geostatistics and GIS (Case study: south- western of Natanz- Iran). World Academy of Science, Engineering and Technology 60: 22-25.
- Hajrasuliha S, Baniabbassi N, Metthey J and Nielsen DR, 1980. Spatial variability of soil sampling for salinity studies in southwest Iran. Irrigation Science 1:197-208.
- Hosseini E, Gallichand J and Marcotte D, 1994. Theoretical and experimental. Performance of spatial interpolation methods for soil salinity analysis. ASAE 37(6): 1799-1807.
- Jabro JD, Evans RG, Kim Y, Stevens WB and Iversen WM, 2006. Characterization of spatial variability of soil electrical conductivity and cone index using coulter and penetrometer-type sensors. Soil science 171(8): 627-637.
- Kachanoski RG, DeJong E and Van-Wesenbeeck IJ, 1990. Field scale patterns of soil water storage from non-contacting measurements of bulk electrical conductivity. Canadian Journal of Soil Science 70:537-541.

- Kaman H, Çetin M and Kirda C, 2008. Soil salinity in a drip and furrow irrigated cotton field under influence of different deficit irrigation techniques. Pp.235-243. International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. Turkey.
- Karl A, Sonja S and Helge S, 2001. Influence of soil properties on electrical conductivity under humid water regimes. *Soil Science* 166(6): 382-390.
- Lesch SM, Strauss DJ and Rhoades JD, 1995. Spatial prediction of soil salinity using electromagnetic induction techniques 1. Statistical prediction models: A comparison of multiple linear regression and cokriging. *Water Resource* 31: 373-386.
- McCutcheon MC, Farahani HJ, Stednic JD, Buchleiter GW and Green TR, 2006. Effect of soil water on apparent soil electrical conductivity and texture relationships in a dryland field. *Biosyst Engng* 94:19-32.
- Morgan CLS, Norman JM, Wolkowski RP, Lowery B, Morgan GD and Schuler R, 2001. Two approaches to mapping plant available water: EM-38 measurements and inverse yield modeling [CD-ROM]. *Journal of Agronomy* 100(3): 830-836.
- Moustafa MM and Yomota A, 1998. Spatial modeling of soil properties for subsurface drainage projects. *Irrigation and Drainage Engineering* 124 (4): 218-228.
- Nezami M and Alipour ZT, 2012. Preparing of the soil salinity map using geostatistics method in the Qazvin Plain. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 3(2): 36-41.
- Richards LA, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. United States Department of Agriculture, Washington DC.
- Saghafian B and Rahimi Bondarabadi S, 2008. Validity of regional rainfall spatial distribution methods in mountainous areas. *Journal of Engineering Hydrology* 13(7): 531-540.
- Seilsepour M and Rashidi M, 2008. Modeling of soil sodium adsorption ratio based on soil electrical conductivity. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science* 3(5): 27-31.
- Shahnazari A, Liu F, Andersen MN, Jacobsen SE and Jensen CR, 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research* 100, 117-124.
- Tafteh, A and Sepaskhah, AR 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.
- Wu J, Norvell WA and Welch RM, 2006. Kriging on highly skewed data for DTPA-extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon. *Geoderma* 134: 187-199.
- Yanl LI, Zhou SHI, Ci-fang WU, Hong-yi LI and Feng LI, 2007. Improved Prediction and Reduction of Sampling Density for Soil Salinity by Different Geostatistical Methods. *Agricultural Sciences in China* 6(7): 832-841.