

## روند تغییرات شوری خاک و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی (مطالعه موردی: کرج)

مسعود پورغلام آمیجی<sup>۱\*</sup>، محمد انصاری قوجقار<sup>۲</sup>، مجتبی خوش‌روش<sup>۳</sup> و عبدالمجید لیاقت<sup>۴</sup>

### چکیده

در این پژوهش، از اطلاعات اقلیمی شامل: رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای خاک و همچنین شوری اعماق مختلف خاک (پنج، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) مربوط به بازه زمانی ده‌ساله (۲۰۰۸-۲۰۱۷) باهدف بررسی روند ارتباط پارامترهای اقلیمی و نوسانات شوری خاک استفاده شد. برای این منظور، از داده‌های شوری خاک کشت برنج که قبلاً اندازه‌گیری شده بود، استفاده شد. در هر فصل کشت برنج که دو فصل بود (انجام‌شده در یکی از نهالستان‌های استان البرز)، نوسانات شوری در اعماق مختلف خاک در دوره پنج تا هفت روز ثبت شد و شوری خاک موردنیاز برای اهداف این پژوهش از آن به دست آمد. همچنین از آزمون هرست برای یافتن واریانس کافی داده‌ها جهت تحلیل روند سری‌های زمانی و آزمون من-کندال، اسپیرمن و رگرسیون چند متغیره برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که تمامی پارامترهای مورد مطالعه با توجه به ضریب هرست بزرگ‌تر از ۰/۵، از واریانس کافی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی برخوردار هستند. نتایج بخش آزمون من-کندال و اسپیرمن نشان داد که در لایه‌های سطحی خاک (۵ و ۱۰ سانتی‌متر)، باگذشت از بازه ده‌ساله موردنظر، شوری خاک روند نزولی گرفته اما در لایه‌های عمیق (۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر)، هر دو آزمون روند افزایشی و صعودی را داشته و عمق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر، دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد بود. نتایج آزمون رگرسیون چند متغیره نشان داد که دمای عمق پنج سانتی‌متر و متوسط رطوبت نسبی هر کدام با ۱۶ درصد و متوسط سرعت نسبی با ۶ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر شوری عمق مذکور خاک داشتند. همچنین در چهار عمق از شش عمق موجود، دمای عمق پنج سانتی‌متر خاک بیشترین تأثیر را بر شوری اعماق مختلف خاک داشت. به‌عنوان یک نتیجه کلی باید گفت که در مناطقی که شرایط مطالعه حاضر را دارند، کاشت گیاهان با ریشه‌های سطحی امکان‌پذیر است زیرا نوسانات شوری در لایه‌های سطحی اندک بوده و خطری گیاه تحت کشت را تهدید نمی‌کند اما کشت گیاهان با ریشه‌های عمیق با محدودیت مواجه می‌باشد زیرا نوسانات شوری روند افزایشی داشته که باید تدابیری اندیشیده شود تا شوری خاک، اثر کاهشی بر عملکرد گیاه نگذارد.

**واژه‌های کلیدی:** پارامترهای اقلیمی، رگرسیون چندمتغیره، عملکرد، من-کندال و اسپیرمن، نوسانات شوری.

### مقدمه

با توجه به اینکه در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت رشد

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. (\* نویسنده مسئول: Mpourgholam6@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

<sup>۴</sup> استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۱

قابل توجهی داشته و در پی آن نیاز به تولید مواد غذایی و گیاهی بیشتر شده است، لذا موجب استفاده بیشتر و گسترده‌تر انسان از منابع طبیعی به‌خصوص منابع آبی گردیده است (اکبری نودهی، ۱۳۹۶؛ نجارچی و همکاران، ۱۳۹۸). برابر پیش‌بینی‌ها طی ۲۵ سال آینده نیاز به تولیدات گیاهی دو برابر خواهد شد اما اراضی دارای مشکلات شوری مانعی در برابر استفاده بهینه و تولید محصولات کشاورزی خواهد بود. همچنین شوری منابع آب و خاک در حال تبدیل شدن به یک مشکل روزافزون در جهان و ازجمله مهم‌ترین موانع موجود بر سر راه افزایش عملکرد گیاهان زراعی در سراسر کره زمین است (Iqbal, 2016).

از طرفی درک تأثیرات اقتصادی ناشی از تغییرات روند شوری خاک بر اثر تغییرات اقلیمی، در سراسر جهان ضروری است. بررسی مطالعات

و مهاجرت داخلی و بین‌المللی جمعیت در جنوب آسیا دارد (Chen and Mueller, 2015). در نتیجه، اهمیت بررسی روند تغییرات شوری خاک و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی را به‌خوبی بیان می‌کند که چگونه بر اقتصاد، کشاورزی، مهاجرت و کل تولیدات یک کشور می‌تواند اثرگذار باشد.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک با سطح آب زیرزمینی کم‌عمق و شور، مقدار قابل‌توجهی آب از این منبع از طریق صعود مویینگی در سطح خاک تبخیر و نمک‌های خود را در خاک باقی گذاشته و به‌تدریج سبب شور شدن آن می‌گردد. در همین رابطه، رحمان و همکاران تأثیر تغییرات آب و هوایی بر شوری خاک در سواحل بنگلادش را در فواصل ۵ ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست موردبررسی قراردادند (Rahman et al., 2018). نتیجه مطالعه نشان داد که شوری خاک در بیشتر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه طی مدت ۲۵ سال به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. همچنین پراکندگی خاک‌های با شوری بالا در منطقه موردنظر بسیار افزایش داشته و از کمتر از ۱ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۳۳ درصد در سال ۲۰۱۵ رسیده که برای رشد کشاورزی در این منطقه بسیار نگران‌کننده است.

نتایج تحقیق پارسافر و معروفی (۱۳۹۰) در برآورد دمای اعماق مختلف خاک از دمای هوا با به‌کارگیری روابط رگرسیونی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی در کرمانشاه نشان داد که در یک دوره ۱۴ ساله؛ بهترین و بدترین برآورد دمای هوا و خاک به‌ترتیب در عمق‌های پنج سانتی‌متر و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک مشاهده شد. در مطالعه بذرافشان و دهقان پیر (۱۳۹۵) نیز به این نتایج اشاره شده است.

چائب و همکاران اثرات متقابل اقلیم و توپوگرافی بر شوری خاک و پهنه‌بندی پوشش گیاهی در شمال آفریقا را موردبررسی قراردادند. نتایج بیانگر آن بود که خشکی آب‌هوا، شیب شوری و ساختار پوشش گیاهی را تغییر می‌دهد. مقدار شوری با افزایش میزان خشکی افزایش یافت اما با افزایش رطوبت، مقدار آن کاهش یافت (Chaieb et al., 2019).

آب سطحی و همین‌طور آب زیرزمینی شور باعث شوری خاک، مشکلات جذب آب برای گیاه و در نتیجه تأثیر آن بر رشد و عملکرد محصولات خواهد شد. لذا این عامل یک ویژگی تأثیرگذار در زراعت محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. در نتیجه، با توجه به نکات مذکور و اهمیت موضوع تولید محصول و از طرفی شوری خاک بسیاری از اراضی کشور، یک پژوهش علمی با توجه به در نظر گرفتن تأثیر

نشان می‌دهد که چگونگی تغییرات آب و هوایی منجر به گسترش شوری خاک و تأثیر آن بر تولید محصولات کشاورزی می‌شود؛ بنابراین، تجزیه‌وتحلیل اقتصادی برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات آب و هوایی در شوری خاک لازم و ضروری می‌باشد (Susmita et al., 2014).

تجمع املاح و شور شدن اراضی (آب‌وخاک) یکی از مشکلات اساسی توسعه طرح‌های آبیاری و از موانع مهم در توسعه کشاورزی محسوب می‌شود زیرا در بسیاری از مناطق ایران مقدار تبخیر و تعرق بیشتر از بارندگی است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۸؛ مؤمنی، ۱۳۸۹). در همین رابطه النجار و آشور اثر تغییرات آب و هوایی و شوری خاک بر تقاضای آب آبیاری در نواز غزه را بررسی کردند (Al-Najar and Ashour, 2013). نتایج مطالعه نشان داد که افزایش دمای ۱-۲ درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش میانگین تبخیر و تعرق سالانه به میزان ۹۱-۴۵ میلی‌متر نسبت به شرایط آب و هوایی فعلی شده و منجر به افزایش نیاز آبیاری ۶/۶۸-۳/۲۸ درصد می‌شود. به‌طور کلی، تأثیر افزایش شوری بر نیاز آبیاری بسیار بیشتر از تأثیر تبخیر و تعرق بوده و دلیل آن افزایش دما به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارندگی ۱۰ درصد است زیرا منجر به افزایش شدت آبشویی شده و از آنجایی که آبشویی جز نیاز آبیاری و شستن املاح از خاک محسوب می‌شود، لذا بر مقدار آب مصرفی گیاه تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین تأثیر افزایش شوری بر نیاز آبیاری بسیار بیشتر از تأثیر تغییرات آب و هوایی است.

دما پارامتری است که در بررسی‌های تغییر اقلیم و کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری‌که افزایش درجه حرارت یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی بشر به‌حساب می‌آید (زارعی و مقیمی، ۱۳۹۵). لذا بررسی دقیق میزان تغییرات شاخص‌های اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست، خاک و منابع آبی در هر نقطه از کره خاکی امری اجتناب‌ناپذیر است (سالاری و همکاران، ۱۳۹۴).

براساس مطالعات انجام‌شده، پیش‌بینی پارامترهای مهم مانند رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و به‌ویژه دمای خاک در یک دوره درازمدت به‌منظور یافتن روند تغییرات شوری و چگونگی نوسانات آن در طول فصل، ضروری است. مقدار کلیه فرایندهای فیزیکی خاک به‌طور مستقیم وابسته به دما بوده و نوسانات شوری در منطقه ریشه نیز، وابستگی به دمای محیط و دمای خاک داشته زیرا ارتباط مستقیم با آن دارد (Jacobs et al., 2011; Yeşilirmak, 2014).

نتایج مطالعه چن و مولر نشان داد که شوری خاک ناشی از تأثیرات اقلیمی در سال‌های اخیر، تأثیر مستقیم بر محدودیت تولیدات کشاورزی

بدین منظور بود تا تغییرات اقلیمی و پارامترهای هواشناسی در چندسال قبل از آزمایش و همچنین بعد از کشت برنج (۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) مورد بررسی قرار گیرد تا از خطاهای احتمالی یا بررسی کوتاه در همان دوره دوساله کشت برنج جلوگیری شود.

### بررسی خصوصیات خاک مورد آزمایش

با توجه به اینکه به طور معمول پروفیل خاک شالیزارها متشکل از سه لایه است، لایه ابتدایی به عمق ۲۰ سانتی متر از سطح خاک برای عمل گل خرابی در نظر گرفته شد. همچنین، لایه بعدی سخت لایه<sup>۱</sup> به ضخامت ۲۰ سانتی متر بوده و لایه زیرین به عمق ۴۰ سانتی متر در زیر سخت لایه در نظر گرفته شد. برای محاسبه درصد رس، سیلت و شن و طبقه‌بندی آن‌ها از روش هیدرومتری استفاده شد و با استفاده از طبقه‌بندی به روش<sup>۲</sup> USDA کلاس بافت خاک‌ها تعیین شدند. برای محاسبه ظرفیت مزرعه از روش صفحات فشاری استفاده شد. مشخصات فیزیکی خاک در جدول (۱) ارائه شده است. نوع خاک در لایه‌های مختلف عمدتاً سنگین بود و این حالت دقیقاً مناسب برای کشت برنج در اراضی شالیزاری برای نگهداشت مطلوب آب است.

در هر دوره کشت، آزمایش در زمینی به مساحت ۱۰ تا ۱۵ مترمربع انجام شد. در ابتدا عمل گل‌خرابی و آماده‌سازی لایه بالایی خاک به عمق حدود ۳۰ سانتی متر صورت گرفته و بذر برنج در خزانه‌ای که از قبل آماده شده و به مرحله نشاء رسیده بود، در زمین اصلی بافاصله ۲۰ سانتی متر از هم کاشته شد. مقدار کوددهی برنج، متناسب با شیوه مرسوم در اراضی شالیزاری اعمال شد. آبیاری برنج با آب معمولی به شیوه غرقابی بوده و همواره ارتفاع آب روی سطح خاک حدود پنج سانتی متر بود. ضمن اینکه زهکشی میان فصل و پایان فصل هم انجام گردید و در زهکشی میان فصل پس از پنج روز، زهکش مجدداً بسته شد و شرایط غرقاب ایجاد شد. اعمال شوری از طریق زیرزمینی و با لوله‌هایی که از قبل کار گذاشته بود، تزریق شد. شوری آب اعمال شده در حد شوری مجاز و قابل تحمل برنج در حدود ۴ dS/m به‌طور ثابت نگهداری شد. به‌صورت کلی آبیاری، از سطح خاک با آب غیر شور انجام شد اما در عمق ۴۰ سانتی متر خاک، آب زیرزمینی کم‌عمق و شور به‌صورت دائم وجود داشت.

عوامل اقلیمی بر تغییرات شوری در خاک ضروری به نظر رسیده و نیاز به مطالعه‌ای دقیق دارد؛ بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی روند تغییرات شوری در اعماق مختلف خاک با استفاده از داده‌های شوری دوره دوساله کشت برنج و داده‌های ده‌ساله متوسط سرعت باد، متوسط رطوبت نسبی و دمای اعماق مختلف خاک می‌باشد. از آنجاکه مطالعه‌ای همانند پژوهش حاضر انجام نشده است، لذا بررسی منابع به‌منظور صحت سنجی کار محدود بوده و این کار می‌تواند به‌منزله ایجاد رابطه‌ای بین پارامترهای اقلیمی و شوری خاک باشد.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد بررسی

در پژوهش حاضر از اطلاعات دوساله شوری خاک (۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) برای کشت برنج در یکی از نهالستان‌های استان البرز در شهرستان کرج، استفاده شد. طبق آمار و داده‌های درازمدت، منطقه دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد است. برابر آمار موجود، متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۷/۸ میلی‌متر، میانگین حداکثر درجه حرارت ماهیانه در تیرماه ۲۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت ماهیانه در دی‌ماه یک درجه سانتی‌گراد است. همچنین میانگین سالیانه دمای هوا ۱۵/۹۳ درجه سانتی‌گراد بوده که بیشینه و کمینه مطلق آن به ترتیب ۴۲ و ۱۷- درجه سانتی‌گراد به ثبت رسید. دیگر پارامترهای هواشناسی منطقه شامل میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد، تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر، سرعت متوسط باد روزانه ۲/۲ متر بر ثانیه و جهت غالب آن شمال غرب به جنوب شرق می‌باشد. حدود ۴۳٪ از باران سالانه در فصل زمستان، ۲۸٪ در فصل پاییز، ۲۸٪ در فصل بهار و تنها یک درصد در فصل تابستان می‌بارد (پورغلام آمیچی و همکاران، ۱۳۹۷).

داده‌های اقلیمی استفاده‌شده در این پژوهش، مربوط به بازه زمانی ده‌ساله (۲۰۰۸-۲۰۱۷) و مربوط به پارامترهای متوسط سرعت باد، متوسط رطوبت نسبی و دمای خاک در اعماق مختلف خاک (پنج، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) می‌باشند. مشاهده پارامترهای اقلیمی بدین صورت بود که دمای عمق پنج تا ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در سه ساعت مختلف در روز و میانگین آن در ایستگاه سینوپتیک کرج ثبت گردید. برای ثبت پارامترهای رطوبت نسبی و سرعت باد، این کار سه بار در روز انجام شده و بیشینه، کمینه و مقدار میانگین پارامترهای مذکور حاصل شد. دلیل انتخاب دوره ده‌ساله مذکور (۲۰۰۸-۲۰۱۷)

<sup>۱</sup> Hard Pan

<sup>۲</sup> United States Department of Agriculture

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک

عمق (cm)	بافت	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	چگالی ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	$\theta_{Fc}$ (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )
۲۰	لوم رسی	۳۲/۵۸	۴۰/۹۲	۲۵/۶۰	۱/۳۶	۵۳	۴۲/۵
۲۰	رسی	۵۲/۴۱	۲۵/۴۹	۲۲/۱۰	۱/۲۵	۵۸/۳	۴۰/۸
۴۰	لوم	۱۵/۵۱	۴۰/۶۵	۴۳/۸۴	۱/۳۱	۴۵/۵	۳۷/۱

جدول ۲- زمان بندی انجام کل عملیات زراعی صورت گرفته در هر دوره کشت

گل خرابی و آماده سازی زمین	نشا برنج	اعمال شوری و شروع تیمار	اولین برداشت شوری خاک	فاصله برداشت شوری ها	آخرین برداشت شوری خاک	برداشت محصول
اوایل آبان	اواخر مهر	پنج تا هفت روز	اوایل شهریور	دو هفته بعد نشا	اوایل مرداد	اواسط تیر تا مرداد

دامنه اولین انحراف تجمعی از میانگین می باشد. برای محاسبه R ابتدا باید سری S تشکیل شود.

$$S_n = \sum_{K=1}^N (x_k - \bar{x}) \quad (2)$$

در رابطه (۲)،  $x_k$  مقدار هر داده،  $\bar{x}$  میانگین و S انحراف استاندارد آن است. برای محاسبه سری فوق کافی است هریک از اعداد سری موردنظر را از میانگین داده ها کم کرد. این سری به صورت تجمعی در طول زمان رسم می گردد. پس از محاسبه مقادیر S با توجه به بیشترین و کمترین مقدار S، پارامتر K محاسبه می گردد:

$$R = S_{max} - S_{min} \quad (3)$$

اگر مقدار ضریب هرست بیشتر از ۰/۵ باشد، حاکی از کفایت طول سری داده ها جهت تحلیل روند و مدل سازی می باشد و در غیر این صورت می بایست با استفاده از روش های مختلف به تطویل داده ها پرداخت (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۶) که در بازه موردبررسی ده ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۸)، داده های اقلیمی از واریانس کافی جهت تحلیل روند سری های زمانی برخوردار بودند.

### آزمون من-کندال

این آزمون ابتدا توسط من<sup>۲</sup> (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال<sup>۳</sup>

بعد از تغذیه آب شور زیرزمینی و گذشت دو هفته برای فرصت تبادل یونی بین محلول خاک و ذرات جامد خاک، برداشت نمونه خاک آغاز شده و از شروع تا انتهای دوره کشت (بافاصله زمانی پنج تا هفت روز)، شوری عصاره اشباع خاک موردبررسی قرار گرفت. در طول هر دوره کشت، ۱۲ بار شوری خاک در اعماق پنج، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متر (در مجموع شش عمق) اندازه گیری و ثبت شد. در هر فصل کشت برنج (دو فصل)، آزمایش تغییرات و نوسانات شوری در اعماق مختلف خاک انجام شد. جدول (۲) میانگین زمان بندی کل انجام عملیات صورت گرفته را نشان می دهد. آزمون های آماری انجام شده برای تعیین اثر پارامترهای اقلیمی (دما، رطوبت و سرعت باد) بر نحوه تغییرات شوری خاک در بخش های زیر توضیح داده شده است.

### ضریب هرست<sup>۱</sup>

به منظور تحلیل روند و مدل سازی سری های زمانی هیدرولوژیکی، طول سری باید به نحوی انتخاب شود که کلیه دوره های خشکسالی، ترسالی و نرمال را شامل شود. برای این منظور از ضریب هرست استفاده می گردد. ضریب هرست برای سنجش حافظه بلندمدت سری های زمانی به کار می رود (Granero et al., 2008). برای به دست آوردن ضریب هرست از رابطه زیر استفاده شد.

$$K = \frac{\log\left(\frac{R}{\sigma}\right)}{\log\left(\frac{N}{2}\right)} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $\sigma$  انحراف معیار داده ها و N تعداد داده ها است. R نیز

<sup>۲</sup> Mann

<sup>۳</sup> Kendall

<sup>۱</sup> Hurst coefficient

در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (۸)$$

که  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_{\alpha}$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده شده است. در مطالعه حاضر، این آزمون برای سطح اعتماد ۹۵٪ استفاده شد. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

### آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن

این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن<sup>۱</sup> ابداع گردید. ضریب همبستگی اسپیرمن که آن را با  $\rho$  نمایش می‌دهند همواره بین +۱ و -۱ در نوسان است و از لحاظ سطح سنجش نیز ترتیبی و از نوع متقارن می‌باشد.

$$\rho = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (۹)$$

که در آن  $\rho$  ضریب همبستگی اسپیرمن،  $n$  تعداد مشاهده‌ها و  $\sum d_i^2$  مجموع مجذور تفاوت دو رتبه است. برای آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن از رابطه زیر آماره  $t$  محاسبه می‌شود که بعد از مقایسه آن با  $t$  جدول با درجه آزادی  $n-2$  تصمیم‌گیری انجام می‌شود.

$$t = \frac{\rho \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (۱۰)$$

### رگرسیون چند متغیره

میزان تغییر یک متغیر از متغیر دیگر را ضریب رگرسیون می‌گویند که عبارت است از میزان تغییری که در متغیر وابسته، بر اثر یک واحد تغییر در متغیر مستقل بروز می‌کند. در این روش یک معادله چند متغیری استفاده می‌شود که از مقادیر اندازه‌گیری شده، ارتباط متغیرهای

(۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری-های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است. الف) محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر  $S$  به شرح زیر است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n (x_j - x_k) \quad (۴)$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری،  $XJ$  و  $XK$  به ترتیب داده‌های زام و  $k$ ام سری می‌باشند. تابع علامت نیز به شرح زیر مورد محاسبه می‌باشد.

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

ب) محاسبه واریانس

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n-5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۶)$$

که  $n$  تعداد داده‌های مشاهده‌ای و  $m$  معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.  $t_i$  نیز بیانگر فراوانی داده‌های بارزش یکسان است.

پ) استخراج آماره  $Z$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۷)$$

<sup>۱</sup> Charles Spearman

دهساله (۲۰۰۸-۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، تمامی پارامترهای مورد مطالعه با توجه به ضریب هرست بزرگ‌تر از ۰/۵ از واریانس کافی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی برخوردار هستند و این ضریب نشان‌دهنده این موضوع است که داده‌های جمع‌آوری شده دارای طول دوره آماری کافی جهت تجزیه و تحلیل می‌باشد. در جدول (۴) مقادیر آماره من-کندال و اسپیرمن برای متغیرهای متوسط سرعت باد، متوسط رطوبت نسبی، دما و شوری خاک در اعماق مختلف و سپس متوسط شوری در دوره آماری دهساله (۲۰۰۸-۲۰۱۷) برای منطقه مورد مطالعه به دست آمده است. بررسی نتایج آزمون من-کندال و اسپیرمن برای متوسط سرعت باد و متوسط رطوبت نسبی به ترتیب روند صعودی و بدون روند را نشان می‌دهد. همین آماره‌ها برای دمای اعماق کم خاک (پنج تا ۲۰ سانتی‌متر) روند نزولی را نشان داده و برای اعماق بیشتر (۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر)، بیانگر روند صعودی و به‌ویژه عمق ۱۰۰ سانتی‌متر روند معنی‌دار مثبت در سطح معنی‌داری ۵ درصد است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با گذشت زمان در طی دوره آماری مذکور، دمای قسمت کم‌عمق خاک و لایه‌های سطحی روند متناقض یا نزولی را در پیش‌گرفته اما دمای خاک در قسمت عمیق، تأثیر بیشتری را پذیرفته و رو به افزایش است.

مستقل و متغیر وابسته را در یک فرمول خلاصه می‌کند. ضرایب معادله برای هر متغیر، بر اساس اهمیت آن در پیش‌بینی متغیرها ملاک محاسبه و تعیین می‌شود. درجه همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده به وسیله ضرایب نشان داده می‌شود. برای تعیین رگرسیون در این پژوهش، از رابطه زیر استفاده شده است:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (11)$$

که در آن Y متغیر وابسته،  $\beta_0$  ضریب ثابت،  $\square$  میزان خطا و  $X_1, X_2, \dots, X_n$  متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های به کار گرفته شده در این پژوهش هستند. لازم به ذکر است که تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری و ترسیم گرافها در این مطالعه در محیط آماری و برنامه‌نویسی R انجام گرفته است. در این مطالعه، مقادیر اندازه‌گیری شده همان شوری اعماق مختلف خاک در دوره‌های کشت برنج به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های اقلیمی یا هواشناسی به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند.

## نتایج و بحث

نتایج ضریب هرست برای پارامترهای دمای خاک در اعماق مختلف، متوسط رطوبت نسبی و میانگین سرعت باد در یک دوره

جدول ۳- نتایج آزمون هرست

پارامتر	آزمون هرست
متوسط سرعت باد (m/s)	۰/۶۹
متوسط رطوبت نسبی (%)	۰/۸۲
دمای خاک در عمق ۵ cm (°C)	۰/۵۵
دمای خاک در عمق ۱۰ cm (°C)	۰/۶۶
دمای خاک در عمق ۲۰ cm (°C)	۰/۵۷
دمای خاک در عمق ۳۰ cm (°C)	۰/۶۱
دمای خاک در عمق ۵۰ cm (°C)	۰/۵۶
دمای خاک در عمق ۱۰۰ cm (°C)	۰/۵۲
شوری خاک در عمق ۵ cm (dS/m)	۰/۵۱
شوری خاک در عمق ۱۰ cm (dS/m)	۰/۵۰
شوری خاک در عمق ۲۰ cm (dS/m)	۰/۶۳
شوری خاک در عمق ۳۰ cm (dS/m)	۰/۵۰
شوری خاک در عمق ۵۰ cm (dS/m)	۰/۵۷
شوری خاک در عمق ۱۰۰ cm (dS/m)	۰/۶۳
متوسط میزان شوری (dS/m)	۰/۵۹

پارامترهای اقلیمی و شوری در اکثر موارد شبیه به هم بوده و روش اسپیرمن هم‌راستا با روش من-کندال عمل کرده است. نکته بعدی اینکه، به‌طور کلی لایه‌های کم‌عمق دارای روند نزولی یا بدون روند در طول بازه موردبررسی بودند و بر مقدار دما و شوری خاک در لایه‌های عمیق افزوده می‌شود. این به‌عنوان نتیجه کلی است که می‌تواند در این بخش مطرح شود. کم‌ترین آماره مربوط به آزمون من-کندال برای دما در عمق پنج سانتی‌متر خاک با روند نزولی معنی‌دار بوده و بیشترین آماره، بازمه مربوط به آزمون من-کندال برای دمای در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک با روند صعودی معنی‌دار می‌باشد. برای درک هر چه بیشتر توضیحات فوق، شکل‌های (۱ تا ۳) رسم گردید تا روند تغییرات آماره آزمون پارامترهای اقلیمی (رطوبت نسبی، سرعت باد و دمای خاک) و شوری خاک در یک دوره ده‌ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۸) را به‌طور دقیق‌تر نشان دهد.

لازم به ذکر است شوری تزریق‌شده زیرزمینی به‌صورت ثابت انجام شد و نوسانات ایجادشده به شوری‌های مختلف ورودی مرتبط نیست؛ به عبارتی هدف بررسی تغییرات شوری خاک با توجه به تغییر نوسانات اقلیمی و تأثیر آن بر روند تغییرات شوری خاک بوده است. روند افزایشی برای شوری خاک در لایه‌های عمیق نیز تکرار شده است. با این توضیح که در لایه‌های سطحی خاک (۵ و ۱۰ سانتی‌متر)، با گذشت از بازه ده‌ساله موردنظر، شوری خاک روند نزولی گرفته و رو به کاهش است زیرا آبشویی خاک تأثیر بالایی در شستن املاح و این روند نزولی داشته است اما در لایه‌های عمیق (۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر)، هر دو آزمون روند افزایشی و صعودی را داشته و عمق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر، دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. برای متوسط شوری نیز روند صعودی با گذشت زمان تکرار شده است. به‌طور کلی و با توجه به جدول (۴)، نتایج دو آزمون آماری برای

جدول ۴- نتایج آزمون من-کندال و اسپیرمن

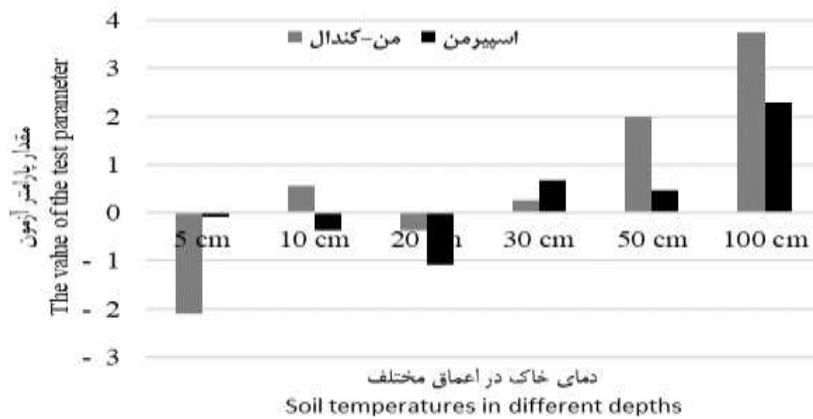
پارامتر	آزمون من-کندال	آزمون اسپیرمن	روند
متوسط سرعت باد (m/s)	۱/۰۲۰	۰/۱۷۰	صعودی
متوسط رطوبت نسبی (%)	۰/۰۰۷	-۰/۴۶۰	بدون روند
دمای خاک در عمق ۵ cm (°C)	-۲/۱۱۰*	-۰/۰۸۶	نزولی
دمای خاک در عمق ۱۰ cm (°C)	۰/۵۶۰	-۰/۳۷۰	بدون روند
دمای خاک در عمق ۲۰ cm (°C)	-۰/۳۷۰	-۱/۰۸۰	نزولی
دمای خاک در عمق ۳۰ cm (°C)	۰/۲۵۰	۰/۶۷۲	صعودی
دمای خاک در عمق ۵۰ cm (°C)	۱/۹۸۸*	۰/۴۷۳	صعودی
دمای خاک در عمق ۱۰۰ cm (°C)	۳/۷۵۴*	۲/۲۹۹*	صعودی
شوری خاک در عمق ۵ cm (dS/m)	-۰/۳۷۰	-۰/۷۱۰	نزولی
شوری خاک در عمق ۱۰ cm (dS/m)	-۱/۰۶۰	-۰/۳۳۰	نزولی
شوری خاک در عمق ۲۰ cm (dS/m)	۰/۶۱۰	۱/۴۹۰	صعودی
شوری خاک در عمق ۳۰ cm (dS/m)	۱/۱۷۰	۱/۵۲۰	صعودی
شوری خاک در عمق ۵۰ cm (dS/m)	۲/۷۲۰*	۰/۴۷۰	صعودی
شوری خاک در عمق ۱۰۰ cm (dS/m)	۱/۱۵۰	۲/۴۴۰*	صعودی
متوسط میزان شوری (dS/m)	۱/۱۴۰	۲/۳۵۰*	صعودی

\* معنی‌دار در سطح ۵ درصد

که بدون روند است، در بقیه اعماق مقدار آماره‌های آزمون من-کندال و اسپیرمن دارای رفتار یکسان بوده و هر دو آماره در هر عمق موردبررسی، روند مشابهی را نشان می‌دهند. دمای خاک در عمق پنج و ۲۰ سانتی‌متر دارای روند کاهشی بوده و با حرکت به لایه‌های عمیق‌تر صعودی در سطح معنی‌داری ۵ درصد در بازه موردبررسی می‌باشد. این

در شکل (۱) روند تغییرات دمای خاک در دوره بررسی ده‌ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۸) در منطقه موردبررسی نشان داده‌شده است. روند تغییرات دمای خاک در اعماق مختلف دارای روند یکسانی نیست (شکل ۱). همان‌طور که در شکل مشخص است، به‌جز در عمق ۱۰ سانتی‌متر خاک، بر مقدار عددی این پارامترها افزوده‌شده و لایه آخر دارای روند

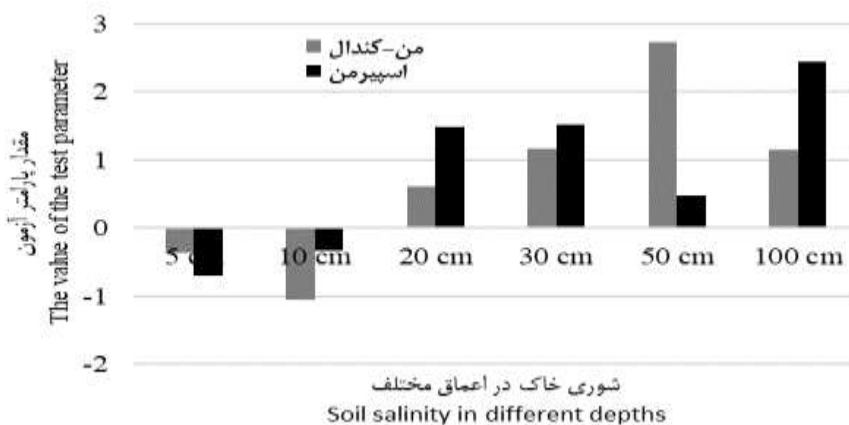
نتایج بامطالعه پارسافر و معروفی (۱۳۹۰) و بذرافشان و دهقان پیر (۱۳۹۵) مطابقت دارد.



شکل ۱- نحوه تغییرات روند دمای خاک در اعماق مختلف با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن

می‌توان با توجه به اشکال (۱)، (۲) و (۳) بیان کرد این است که روند تغییرات دما و شوری خاک در اعماق ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر و نیز متوسط شوری کاملاً صعودی و گاهی صعودی معنی‌دار بوده و برای لایه‌های سطحی دارای روند نزولی می‌باشد. ضمن این‌که متوسط رطوبت نسبی در این بازه ده‌ساله بدون روند بوده اما متوسط سرعت باد دارای روند افزایشی است و با نتیجه تحقیق انجام‌شده Djaman و همکاران؛ Chaieb و همکاران و Al-Najar و Ashour در تطابق است. (Djaman et al., 2017; Chaieb et al., 2019; Al-Nagar and Ashoue, 2013)

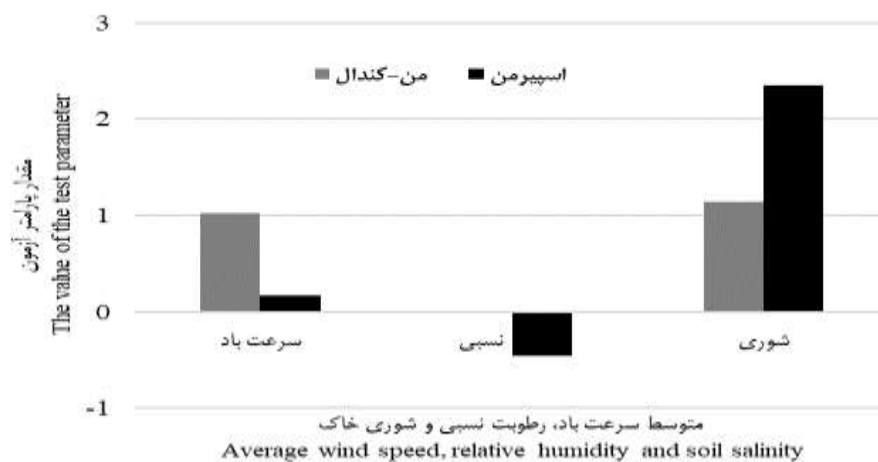
در شکل (۲) نیز نحوه تغییرات شوری خاک در اعماق مختلف در دوره بررسی ده‌ساله (۲۰۰۸-۲۰۱۷) در منطقه موردبررسی نشان داده‌شده است. توضیحات شکل (۱)، برای نحوه تغییرات شوری خاک در اعماق مختلف در بازه ده‌ساله موردبررسی (۲۰۰۸-۲۰۱۷) نیز صادق است. با توجه به شکل (۲)، هر دو آماره من-کندال و اسپیرمن روند نزولی تغییرات شوری خاک در اعماق پنج و ۱۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهند؛ اما برای لایه‌های عمیق این روند صعودی بوده و رو به افزایش می‌باشد. بازهم مقدار دو آماره هم‌روند بوده و در لایه عمیق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. نکته‌ای که



شکل ۲- نحوه تغییرات روند شوری خاک در اعماق مختلف با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن



آماره اسپیرمن نیز برای این پارامتر در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار شده است که با نتیجه تحقیق Dasgupta و همکاران و Rahman و همکاران تطابق دارد. (Dasgupta et al., 2016; Rahman et al., 2018). در ادامه و در راستای آزمون‌های انجام‌شده، جهت بررسی ارتباط روند تغییرات شوری خاک در اعماق مختلف با متوسط سرعت باد، رطوبت نسبی و دمای اعماق مختلف خاک آزمون رگرسیون چند متغیره هم انجام شد تا تأثیر دقیق هر پارامتر اقلیمی بر پارامتر شوری به‌صورت جداگانه در هر عمق بیان شود.



شکل ۳- نحوه تغییرات روند سرعت باد، رطوبت نسبی و شوری خاک با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن

مختلف خاک، متوسط رطوبت نسبی و متوسط سرعت باد در شوری خاک عمق مذکور را نشان می‌دهد. برای دیگر پارامترهای اقلیمی و شوری اعماق مختلف خاک همین روند تکرار شده است که منجر به تولید معادله ۱۲ شد. ضمن اینکه کمترین تأثیرگذاری پارامتر اقلیمی بر شوری خاک مربوط به متوسط سرعت باد و شوری در عمق ۱۰۰ سانتی‌متر با ضریب ۰/۱۱ می‌باشد. همچنین بیشترین تأثیرگذاری پارامتر اقلیمی بر شوری خاک مربوط به دما و شوری خاک در عمق پنج سانتی‌متر و دمای در عمق ۱۰۰ سانتی‌متر برای شوری در عمق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر همگی با ضریب ۰/۵۳ می‌باشند که در راستای نتایج تحقیق Sarker و همکاران و Rahman و همکاران قرار دارد. (Saraker et al., 2012; Rahman et al., 2017). رابطه تولیدشده برای متوسط شوری خاک در منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های ورودی (دمای خاک در اعماق مختلف، متوسط سرعت باد و

در شکل (۳)، تعیین روند متوسط سرعت باد، رطوبت نسبی و شوری خاک در دوره زمانی مورد بررسی و منطقه مدنظر نشان داده شده است. در شکل (۳) و برای روند متوسط سرعت باد، رطوبت نسبی و شوری خاک، هر دو آماره روند صعودی را برای متوسط سرعت باد نشان می‌دهند اما در سطح اطمینان موردنظر معنی‌دار نمی‌باشند. اما برای رطوبت نسبی روند متناقضی به‌دست آمده است زیرا یک آماره روند صعودی و آماره دیگر روند نزولی را نشان می‌دهد و بیانگر بدون روند بودن این پارامتر باگذشت زمان می‌باشد. نکته قابل توجه مربوط به روند صعودی و افزایشی متوسط شوری در بازه مورد بررسی بوده و مقدار

جدول (۵) نتایج آزمون رگرسیون چند متغیره انجام‌شده برای تأثیر پارامترهای اقلیمی یا متغیرهای مستقل (دمای خاک در اعماق مختلف، متوسط سرعت باد و متوسط سرعت نسبی) بر متغیر وابسته (شوری خاک در اعماق مختلف) را نشان می‌دهد. مقدار عددی هر کدام از اعداد درون جدول دارای مقادیر بین ۱- تا ۱+ بوده و دارای قدر مطلق می‌باشند. نکته بعدی اینکه چون شوری خاک به‌طور مستقیم بر عملکرد محصولات اثر می‌گذارد به‌عنوان پارامترهای وابسته یا تأثیرپذیر و متغیرهای اقلیمی، به‌عنوان متغیر مستقل یا تأثیرگذار به‌صورت جدول (۵) تشکیل شدند.

مطابق جدول (۵)، هر کدام از متغیرهای مستقل بر شوری در اعماق مختلف خاک تأثیر جداگانه‌ای می‌گذارد. برای مثال برای دمای خاک در عمق پنج سانتی‌متر و شوری در عمق پنج سانتی‌متر ضریب ۰/۵۳ حاصل شده است که این عدد، بیشترین تأثیر در بین دماهای اعماق

در فرمول فوق،  $0/004$  ضریب ثابت،  $X_1$  تا  $X_6$  دمای خاک در اعماق پنج تا  $100$  سانتی‌متر با واحد درجه سانتی‌گراد ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $X_7$  متوسط رطوبت نسبی با واحد درصد ( $\%$ )،  $X_8$  متوسط سرعت باد با واحد متر بر ثانیه ( $\text{m/s}$ )،  $\varepsilon$  میزان خطا و  $y$  متوسط شوری با واحد دسی‌زیمنس بر متر ( $\text{dS/m}$ ) است. بجای  $\varepsilon$  می‌توان میزان  $R^2$  را نیز قرارداد که به عبارتی بیانگر خطا است. برای مقدار شوری در اعماق پنج تا  $100$  سانتی‌متر مطابق همین فرمول یک رابطه استخراج می‌شود که با داشتن متغیرهای مستقل، مقدار شوری در عمق مربوطه به‌دست می‌آید.

متوسط رطوبت نسبی) به‌صورت زیر است و معرفی پارامترها در بخش آزمون رگرسیون چند متغیره توضیح داده‌شده است. برای بقیه عمق‌ها نیز مطابق رابطه (۱۲) یک معادله قابل استخراج می‌باشد.

**رابطه ایجادشده برای متوسط شوری خاک با توجه به پارامترهای مستقل و ضریب ثابت:**

$$y = 0/004 + 0/48 X_1 + 0/43 X_2 + 0/37 X_3 + 0/33 X_4 + 0/39 X_5 + 0/46 X_6 + 0/41 X_7 + 0/34 X_8 + \varepsilon \quad (12)$$

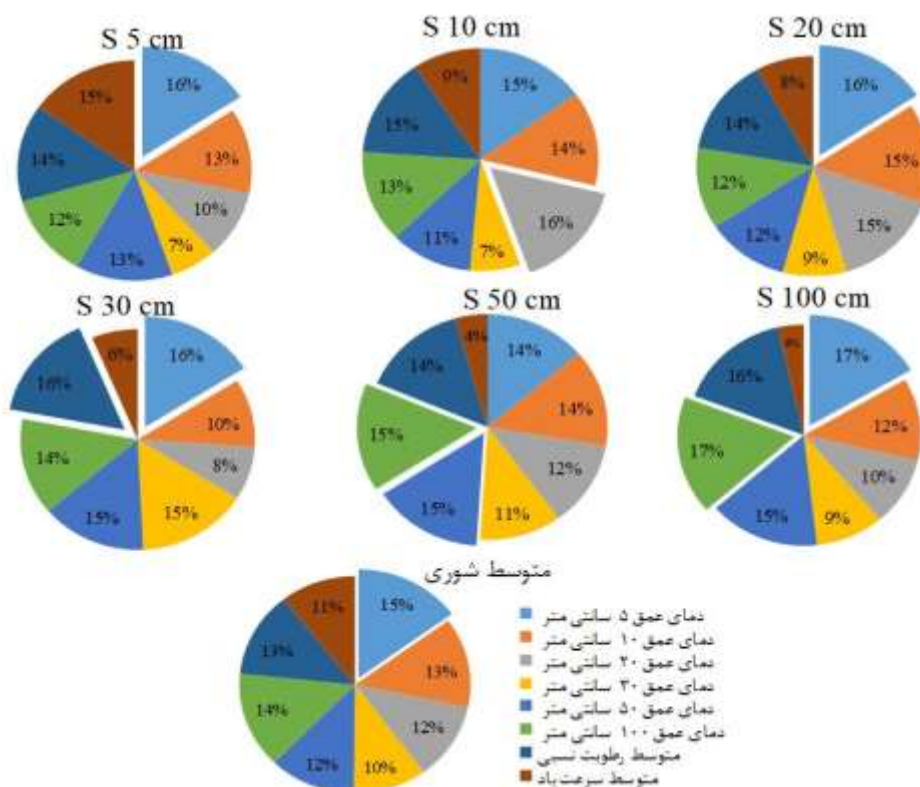
**جدول ۵- نتایج آزمون رگرسیون چند متغیره**

متوسط شوری	متغیرهای وابسته						متغیرهای مستقل
	S 100 cm	S 50 cm	S 30 cm	S 20 cm	S 10 cm	S 5 cm	
0/48	0/51	0/47	0/43	0/41	0/37	0/53	دمای خاک در عمق 5 cm
0/43	0/37	0/48	0/27	0/38	0/34	0/42	دمای خاک در عمق 10 cm
0/37	0/31	0/42	0/21	0/39	0/39	0/33	دمای خاک در عمق 20 cm
0/33	0/29	0/38	0/41	0/23	0/17	0/22	دمای خاک در عمق 30 cm
0/39	0/47	0/51	0/39	0/30	0/28	0/45	دمای خاک در عمق 50 cm
0/46	0/53	0/53	0/38	0/31	0/33	0/41	دمای خاک در عمق 100 cm
0/41	0/48	0/49	0/42	0/37	0/36	0/48	متوسط رطوبت نسبی
0/34	0/11	0/15	0/17	0/21	0/23	0/51	متوسط سرعت باد
0/004	0/013	0/017	0/020	0/011	0/007	0/003	ضریب ثابت

منظور از S در متغیرهای وابسته، مقدار شوری در اعماق مختلف خاک برحسب  $\text{dS/m}$  می‌باشد. ضمن اینکه واحد دمای اعماق مختلف خاک، متوسط رطوبت نسبی و میانگین سرعت باد به ترتیب:  $^{\circ}\text{C}$ ،  $\%$  و  $\text{m/s}$  است.

شوری خاک را به‌طور خاص نشان دهد. قابل‌مشاهده است که در چهار عمق از شش عمق موجود، دمای عمق پنج سانتی‌متر خاک بیشترین درصد را به خود اختصاص داده است. این شکل و دیگر شکل‌ها و جدول به‌عنوان مبنا و معیار در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و اقلیم‌های مشابه با این پژوهش، قابلیت تعمیم داشته و می‌تواند به کار گرفته شود. نتایج این بخش نیز هم‌راستا با مطالعات انجام‌شده توسط سوسمیتا و همکاران، رحمان و همکاران، چن و مولر و چایب و همکاران می‌باشد. (Susmita et al., 2014; Rahman et al., 2017; Chen and Mueller, 2018; Chaieb et al., 2019)

شکل (۴) جمع‌بندی بحث انجام‌شده در اشکال (۱) تا (۳) و جدول (۵) بوده و به صورتی دیگر تأثیرگذاری هر کدام از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته را با واحد درصد نشان می‌دهد. در شکل (۴)؛ برای مثال  $S 5 \text{ cm}$  دمای عمق پنج سانتی‌متر با  $16$  درصد بیشترین و دمای عمق  $30$  سانتی‌متر با هفت درصد کمترین تأثیر را بر شوری عمق پنج سانتی‌متر خاک داشته است. برای شوری مابقی اعماق خاک و متوسط شوری همین توضیح صادق است. ضمن اینکه در شکل (۴)، قطعه‌هایی که از مجموع دایره‌ها خارج شده‌اند، بیشترین تأثیر پارامتر اقلیمی بر شوری اعماق مختلف خاک را نشان می‌دهد. این شکل در جهت تکمیل جدول (۵) رسم گردید تا تأثیر و سهم هر یک از پارامترهای اقلیمی بر



شکل ۴- تأثیر متغیرهای مستقل (دمای اعماق مختلف خاک، متوسط رطوبت نسبی و سرعت باد) بر روی شوری خاک در عمق‌های مختلف (پنج، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر) و متوسط شوری

### رهیافت ترویجی

روند معنی‌دار مثبت در سطح معنی‌داری ۵ درصد است. نتیجه کلی نشان می‌دهد که باگذشت زمان در طی دوره آماری مذکور، دمای قسمت کم‌عمق خاک و لایه‌های سطحی روند متناقص یا نزولی را در پیش گرفته اما دمای خاک در قسمت عمیق، تأثیر بیشتری را پذیرفته و رو به افزایش است. نتایج آزمون‌های مذکور برای شوری خاک نشان داد که در لایه‌های سطحی خاک (۵ و ۱۰ سانتی‌متر)، باگذشت از بازه ده‌ساله موردنظر، شوری خاک روند نزولی گرفته و رو به کاهش است؛ اما در لایه‌های عمیق (۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر)، هر دو آزمون روند افزایشی و صعودی را داشته و عمق ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر، دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. برای متوسط شوری نیز روند صعودی باگذشت زمان تکرار شده است. در ادامه و در راستای آزمون‌های انجام‌شده، جهت بررسی و آشکارسازی ارتباط روند تغییرات شوری خاک در اعماق مختلف با متوسط سرعت باد، رطوبت نسبی و

هدف این پژوهش یافتن رابطه آماری بین نوسانات شوری خاک و پارامترهای اقلیمی بود تا در مناطق اقلیمی مختلف، تأثیر دمای خاک و سایر پارامترهای هواشناسی بر شوری خاک مشخص گردد زیرا عمق ریشه محصولات مختلف بوده و با تنها دانستن شوری خاک در یک عمق خاص می‌توان، با توجه به اقلیم هر منطقه، یک محصول موردنظر را تحت کشت برد تا از نظر شوری آسیب جدی به گیاه وارد نشود. چون پارامترهای اقلیمی بر تغییرات شوری خاک اثر گذاشته و شرایط را از آن چیزی که هست، حادث می‌کنند. بررسی نتایج آزمون من-کندال و اسپیرمن در دوره آماری ده‌ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۸) برای متوسط سرعت باد و متوسط رطوبت نسبی به ترتیب روند صعودی و بدون روند را طی گذشت زمان نشان داد. همین آمارها برای دمای اعماق کم خاک (پنج تا ۲۰ سانتی‌متر) روند نزولی را نشان داده و برای اعماق بیشتر (۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر)، بیانگر روند صعودی و به‌ویژه عمق ۱۰۰ سانتی‌متر

سطح ایستابی کم عمق و شور. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۲(۶): ۱۴۳۴-۱۴۱۸.

زارعی، ع. و مقیمی، س. م. م. ۱۳۹۵. پیش‌بینی و بررسی متوسط دمای ماهانه با استفاده از مدل‌های سری زمانی. مهندسی آبیاری و آب. ۷(۱۲): ۱۵۱-۱۴۲.

سالاری، ا.، توکل صدرآبادی، م.، زارعی، ع. و بهرامی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص‌های اقلیمی و روند کلی تغییرات اقلیم؛ مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک شیراز. مهندسی آبیاری و آب. ۶(۲۲): ۱۵۰-۱۳۸.

شریفی، ا.، افضل‌ی گروه، ا. و بابایی، م. ۱۳۹۸. شناسایی چالش‌های توسعه کشاورزی پایدار در جنوب استان کرمان. جغرافیا و پایداری محیط. ۹(۱): ۱۰۶-۹۱.

فاطمی، ا.، حافظ پرست مودت، م و رحیمی فر، ه. ۱۳۹۶. هیدرولوژی استوکستیک و کاربردهای آن. انتشارات دانشگاه رازی کرمانشاه. چاپ اول، ۳۶۴ ص.

مؤمنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۴(۳): ۲۱۵-۲۰۳.

نجرچی، م.، شکر، ح. ر.، جعفری‌نیا، ر.، مختاری، ش. و علیزاده، ح. ع. ۱۳۹۸. بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آب در سطوح مختلف آبیاری برای مناطق گرم و خشک (مطالعه موردی، دشت‌های دهلران استان ایلام). تحقیقات آب‌و خاک ایران. ۵۰(۶): ۱۳۶۱-۱۳۵۱.

Al-Najar, H. and Ashour, E.K. 2013. The impact of climate change and soil salinity in irrigation water demand on the Gaza Strip. Journal of water and climate change. 4(2): 118-130.

Chaieb, G., Abdelly, C. and Michalet, R. 2019. Interactive effects of climate and topography on soil salinity and vegetation zonation in North- African continental saline depressions. Journal of Vegetation Science. 30(2): 312-321.

Chen, J. and Mueller, V. 2018. Coastal climate change, soil salinity and human migration in Bangladesh. Nature Climate Change. 8(11): 981-985.

Dasgupta, S., Hossain, M. M., Huq, M. and Wheeler, D. 2018. Climate change, salinization and high-yield Rice production in coastal Bangladesh. Agricultural and Resource Economics Review. 47(1): 66-89.

دمای اعماق مختلف خاک، آزمون رگرسیون چند متغیره هم انجام شد تا تأثیر دقیق هر پارامتر اقلیمی بر پارامتر شوری به صورت جداگانه در هر عمق بیان شود. با توجه به مقدار تأثیر هر پارامتر اقلیمی بر شوری خاک با یک ضریب و درصد مشخص، منجر به تولید روابطی شد که با درست داشتن پارامترهای اقلیمی، شوری اعماق مختلف خاک را نشان می‌دهد. در ادامه تأثیرگذاری هر پارامتر بر متغیر شوری خاک در غالب یک‌شکل ارائه گردید که می‌تواند به‌عنوان یک راهنمای کلی در منطقه مورد مطالعه استفاده شود. به‌طور ساده به این معنی که در مناطقی که شرایط تحقیق حاضر را داشته، کاشت گیاهان باریشه‌های سطحی امکان‌پذیر است زیرا نوسانات شوری در لایه‌های سطحی اندک بوده و خطری گیاه تحت کشت را تهدید نمی‌کند اما در شرایط کشت گیاهان باریشه‌های عمیق، شرایط متفاوت است. به این دلیل که روند تغییرات شوری با پارامترهای اقلیمی صعودی بوده و رو به افزایش می‌باشد. به عبارتی در مناطقی که اقلیم مشابه با این پژوهش را دارند، کاشت گیاهان باریشه‌های عمیق با محدودیت مواجه می‌باشد که باید تدابیری اندیشیده شود تا شوری خاک، اثر کاهشی بر عملکرد گیاه نگذارد و شرایط کشت را مختل نکند. به‌نوعی عامل محدودکننده محسوب می‌شود. نتایج این مطالعه به همراه روابط استخراج‌شده، در مناطق خشک، نیمه‌خشک و هم اقلیم با این پژوهش قابل‌تعمیم است.

## مراجع

اکبری نودهی، د. ۱۳۹۶. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و راندمان مصرف آب ذرت. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۳۱۸-۳۰۵.

بذرافشان، ا. و دهقان‌پیر، ش. ۱۳۹۵. برآورد دمای خاک در اعماق مختلف با استفاده از متغیرهای هیدرواقلیمی در بیابان‌های ساحلی (مطالعه موردی: بندرعباس). سامانه‌های سطوح آبیگیر باران. ۴(۱۰): ۱۳-۲۴.

پارسافر، ن. و معروفی، ص. ۱۳۹۰. برآورد دمای عمق‌های مختلف خاک از دمای هوا با به‌کارگیری روابط رگرسیونی، شبکه عصبی و شبکه عصبی-فازی (مطالعه موردی: منطقه کرمانشاه). دانش آب‌و خاک. ۳(۲۱): ۱۵۲-۱۳۹.

پورغلام آمیجی، م.، لیاقت، ع.، نازی قمشلو، آ. و خوش‌روش، م. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل Drainmod-S برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی و غلظت نمک در نیمرخ خاک، در اراضی شالیزاری دارای

- Djaman, K., Balde, A. B., Rudnick, D. R., Ndiaye, O. and Irmak, S. 2017. Long- term trend analysis in climate variables and agricultural adaptation strategies to climate change in the Senegal River Basin. *International Journal of Climatology*. 37(6): 2873-2888.
- Granero, M. S., Segovia, J. T. and Pérez, J. G. 2008. Some comments on Hurst exponent and the long memory processes on capital markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its applications*. 387(22): 5543-5551.
- Iqbal, T. 2016. Rice straw amendment ameliorates harmful effect of salinity and increases nitrogen availability in a saline paddy soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Jacobs, A. F., Heusinkveld, B. G. and Holtslag, A. A. 2011. Long-term record and analysis of soil temperatures and soil heat fluxes in a grassland area, The Netherlands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151(7): 774-780.
- Rahman, M. S., Di, L., Eugene, G. Y., Tang, J., Lin, L., Zhang, C. ... and Gaigalas, J. 2018. Impact of Climate Change on Soil Salinity: A remote sensing based investigation in Coastal Bangladesh. In 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics), (pp. 1-5). IEEE.
- Rahman, S., Sarker, M. R. H. and Mia, M. Y. 2017. Spatial and Temporal Variation of Soil and Water Salinity in the South- Western and South- Central Coastal Region of Bangladesh. *Irrigation and drainage*, 66(5): 854-871.
- Sarker, M. A. R., Alam, K., & Gow, J. (2012). Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: An analysis of time series data. *Agricultural Systems*. 112: 11-16.
- Susmita, D., Hossain, M. M., Mainul, H. and Wheeler, D. 2014. Climate change, soil salinity, and the economics of high-yield rice production in coastal Bangladesh. *Policy Research Working Paper-World Bank*, (7140).
- Yeşilirmak, E. 2014. Soil temperature trends in Büyük Menderes Basin, Turkey. *Meteorological Applications*. 21(4): 859-866.

## Trends of Soil Salinity Changes and Its Relation to Climate Variables (Case Study: Karaj)

M. Pourgholam-Amiji<sup>1\*</sup>, M. Ansari Ghojghar<sup>2</sup>, M. Khoshravesh<sup>3</sup> and A. Liaghat<sup>4</sup>

### Abstract

This research was used from climate information such as average humidity, average wind speed, soil temperature and salinity of different soil depths (5, 10, 20, 30, 50, and 100 centimeters) in 10 years (2008-2017). The purpose of this study was to investigate the relationship between climate parameters and soil salinity fluctuations. For this purpose, rice soil salinity data were used which were previously measured. In both seasons of rice cultivation (conducted in one of the nurseries of Alborz province), salinity fluctuations at different depths of soil were recorded over a period of five to seven days, and soil salinity required for the purposes of this study was obtained, and then with the required meteorological data, the research was done. Also, Hurst test to find enough variance of the data to analyze the time series trend, and Mann-Kendal, spearman, and multivariate regression tests were applied for data analysis. The results showed that all parameters of the study based on the Hurst coefficient bigger than 0.5, had a significant variance for time series analysis. The results of Mann-Kendal and spearman tests showed that in surface soil layers (5 and 10 cm) after 10 years period, the soil salinity had a descending trend. However, both tests had an increasing trend in deeper layers (20, 30, 50 and 100 cm) and at depths of 50 and 100 cm observed the significantly increasing trend at a 5% level. Result of the multivariate regression test illustrated that the temperature in depth of 5 cm and average relative humidity (each 16%) and average speed of 60% had the most and the least effect, respectively on the soil salinity in the mentioned soil depth. Also, in four depths of six depths, the temperature in depth of 5 cm was the most effect on soil salinity of different soil depths. As a general result, in areas where the conditions of this present study, cultivation of plants with surface roots is possible because salinity fluctuations in the surface layers are low and it does not pose a threat to the plant under cultivation but crop cultivation with deep roots is limited because salinity fluctuations is an increasing trend that should be addressed so that soil salinity does not have a detrimental effect on plant yield.

**Keywords:** Climate Parameters, Man-Kendal and Spearman, Multivariate Regression, Salinity Variations, Yield.

<sup>1</sup> Ph.D. Candidate, Irrigation and Drainage Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (\*Corresponding Author: Mpourgholam6@ut.ac.ir)

<sup>2</sup> Ph.D. Candidate, Water Resource Engineering, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Campus of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

<sup>3</sup> Assistant Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

<sup>4</sup> Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 9 January 2020

Accepted: 1 March 2020