

بررسی تغییرات زمانی رطوبت خاک در نهشته‌های لسی منطقه هزارپیچ گرگان با استفاده از مدل ARIMA

حسن رضایی مقدم^{۱*}، محسن حسینعلی‌زاده^۲، واحد بردی شیخ^۳، رویا جعفری^۴

۱) دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسئول: hassan.rezaemoghadam@gmail.com)

۲) استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳) دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴) کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲

چکیده:

رطوبت خاک بخش مهمی از بیلان آبی را تشکیل داده و تقریباً در همه فرآیندهای هیدرولوژیکی و تبادلات انرژی بین طهوا و خاک موثر است. بنابراین پیش‌بینی آن نقش اساسی در برنامه‌ریزی‌ها، طراحی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها دارد. در این تحقیق، اندازه‌گیری رطوبت خاک (هفتگی) در نهشته‌های لسی هزارپیچ گرگان در محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۲۷ هکتار در سه محل (دو محل در گندم‌زار و یک محل در مرتع) در ۴۰ هفته متوالی در اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتیمتر با استفاده از دستگاه TDR انجام شد. مقادیر رطوبت در تمامی اعماق و مکان‌های مورد بررسی دارای روند بوده و بهترین مدل به تمامی آن‌ها با توجه به معیار آکائیک برازش داده شد. نتایج نشان داد مدل (۱، ۱) IMA در کاربری مرتع در عمق ۶۰ سانتی‌متری با ضریب همبستگی ۰/۹۴ و میانگین خطای مطلق ۰/۸۲، در محل شماره یک گندم‌زار در عمق ۲۰ سانتی‌متری با ضریب همبستگی ۰/۸۷ و میانگین خطای ۰/۳۷ و در محل شماره دو گندم‌زار در عمق ۲۰ سانتی‌متری با ضریب همبستگی ۰/۸۶ و میانگین خطای ۰/۵۴ به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی انتخاب شد. مدل (۱، ۱) IMA در تمامی موقعیت‌ها بیشترین فراوانی را در اعماق مختلف به خود اختصاص داده است همچنین نتایج نشان داد با توجه به عملیات خاک‌ورزی در کاربری گندم و به تبع آن ایجاد سله در عمق ۴۰ سانتی‌متر، مدل (۱، ۱) ARIMA به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی رطوبت خاک انتخاب شد.

کلید واژه‌ها: رطوبت خاک؛ TDR؛ سری زمانی؛ نهشته‌های لسی

مقدمه

را تشکیل می‌دهد، اما تقریباً همه فرآیندهای هیدرولوژیکی را در سطح یا نزدیک سطح زمین رخ می‌دهند را کنترل می‌کند. میزان رطوبت خاک سهمی از بارندگی را که به رواناب، ذخیره سطحی و زیرسطحی تبدیل می‌شوند، تنظیم می‌کند. همچنین این متغیر میزان رشد گیاه و تولید محصول را کنترل می‌نماید (Sheikh et al., 2009). رطوبت خاک، توزیع مکانی و پوشش گیاهی، دمای خاک و تجزیه مواد آلی توسط فعالیت‌های میکروبی را نیز تنظیم

رطوبت خاک یکی از عوامل بنیادی محیط زیست است که بر زندگی گیاهی، جانوری و میکروارگانیسم‌ها مستقیماً تأثیرگذار بوده و نقش عمده‌ای در تبادلات انرژی بین هوا و خاک ایفا می‌نماید (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۳). این عامل که ترکیبی از عوامل جوی، ویژگی‌های عوارض زمین، خاک و پوشش گیاهی می‌باشد (De Lannoy et al., 2006)، با اینکه بخش ناچیزی از بیلان آبی

جمع بسته برای سری‌های نایستا و مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک جمع بسته فصلی برای سری‌های نایستای فصلی است.

یکی از مهمترین روش‌های استنباط نتایج برای آینده بر اساس آنچه در گذشته اتفاق افتاده است، تحلیل سری‌های زمانی در راستای پیش‌بینی است (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۵). تحقیقات مختلف نشان داده است که روش‌های سری زمانی در مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی از عملکرد مناسبی برخوردار هستند. محققان مختلفی از سری زمانی برای تحلیل و پیش‌بینی پارامترهای مختلف استفاده نموده‌اند. مدل سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه قلعه شاهرخ با استفاده از روش باکس و جنکینز تهیه شد و مدل (۰، ۰، ۱) ARIMA به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید (مدرس، ۱۳۸۲). جریان ماهانه ورودی به سد شهید عباسپور از طریق مدل‌سازی سری‌های زمانی به روش مدل باکس و جنکینز (مدل‌های ARMA)، پیش‌بینی شد (کمالی و همکاران، ۱۳۸۵). در پیش‌بینی وقوع خشکسالی با استفاده از الگوهای سری زمانی، بر اساس روش خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، ارزیابی تمامی الگوهای احتمالی به لحاظ ایستا بودن، بررسی پارامترها و انواع مدل‌ها، مدل ARIMA با مرتبه‌های (۱، ۰، ۲)، (۲، ۰، ۳)، (۲، ۰، ۴)، (۱، ۰، ۱) و (۱، ۰، ۰) انتخاب شد (شمس‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). خشکسالی در استان خراسان رضوی با دو روش سری زمانی و شبکه عصبی پرسپترون پیش‌بینی شد که نتایج، برتری روش سری زمانی را تایید کرد (Salajegheh et al., 2008). امکان مدل‌سازی نفوذ توسط تکنیک سری زمانی بر اساس داده‌های تجربی به دست آمده از اندازه‌گیری نفوذ در ۵۶ نقطه مورد بررسی قرار گرفت. برای مدل‌سازی نفوذ تجمعی، مدل الگوی خود رگرسیونی میانگین متحرک تلفیق شده ARIMA(p,d,q) به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که عملکرد مدل‌سازی سری زمانی بهتر از معادله‌های

نموده و بنابراین متغیر مهمی است که توزیع مکانی- زمانی کربن خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Martinez et al., 2008). از طرفی وضعیت رطوبت پیشین خاک یک حوضه نیز عامل مهمی در مدل‌سازی هیدرولوژی محسوب می‌شود (Gómez Plaza et al., 2000)، به همین دلیل توزیع مکانی و تغییرات زمانی رطوبت خاک، یکی از اجزاء بسیار مهم در مدل‌های آب و هوایی، اکولوژی و هیدرولوژی در مقیاس‌های جهانی، منطقه‌ای و محلی محسوب می‌شود (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۳). از این رو پیش‌بینی رطوبت خاک نقش اساسی در برنامه‌ریزی‌ها، طراحی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها و همچنین مدیریت پایدار اراضی دارد. روش‌های پیش‌بینی مختلفی سعی در تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته داشته‌اند و مدل‌های مفهومی و آماری زیادی برای پیش‌بینی و پیش‌آگاهی متغیرهای اقلیمی استفاده شده است.

سری‌های زمانی، مشاهداتی هستند که در طول زمان جمع‌آوری می‌شوند. بنابراین فراوانی چنین مشاهداتی، تحلیل سری‌های زمانی را به یکی از کاربردی‌ترین شاخه‌های علم آمار تبدیل کرده‌است. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی معمولاً دو هدف را دنبال می‌کند که عبارتند از: درک یا مدل کردن مکانیسم تصادفی که به مشاهده سری منجر می‌شود و پیش‌بینی مقادیر آینده سری که بر مبنای گذشته آن صورت می‌گیرد (Niroomand., 2001). در مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک^۱ و تعمیم آن‌ها یعنی مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک جمع بسته^۲ و مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک جمع بسته فصلی علاوه بر رفتار ظاهری سری وابستگی‌های موجود بین عناصر سری نیز در نظر گرفته شده‌است. از مهمترین تعمیم‌هایی که توسط باکس و جنکینز (۱۹۹۴) صورت گرفته، ارائه مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک

¹ Autoregressive Moving Average

² Autoregressive Integrated Moving Average

پیش‌بینی رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Kim et al., 2011). مدل‌سازی سری زمانی پویایی رطوبت خاک در یک تپه کوهستانی شیب‌دار در کره جنوبی نشان داد که الگوی رطوبت خاک در عمق ۳۰ سانتی‌متر منجر به واکنش سریعتر و طولانی‌تر در جهت حرکت رطوبت می‌شود، در حالی که نتایج حاصل از عمق ۱۰ سانتی‌متر هیچ الگوی سازمان یافته فضایی را نشان نداد. همچنین ساختار مدل نهایی بهار پیچیده‌تر از پاییز به نظر می‌رسد. تفاوت فصلی در فعالیت‌های پوشش گیاهی در درجه اول مسئول تغییرات در ویژگی‌های نفوذ بود، که به باعث ایجاد تفاوت در مدل‌های پاییز و بهار شده است. توزیع مدل برای رطوبت خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متر نشان داد که حرکت غالب آب در نزدیکی سطح توسط نفوذ و تبخیر و تعرق اداره می‌شود (Kim, 2016).

داده‌های رطوبت خاک اهمیت زیادی در علوم گوناگون از جمله هیدرولوژی و کشاورزی (Amazirh et al., 2018)، و اقلیم‌شناسی و علوم خاک، اکولوژی و زراعت (He et al., 2018)، جنگلداری و مهندسی منابع آب (Mekonnen, 2009)، مبادله جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر کاربرد دارد (Wang et al., 2009). عوامل متعددی بر روی رطوبت خاک اثرگذار می‌باشد که می‌توان به متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک، نوع کشت، نوع کاربری و دوره رشد گیاه اشاره کرد (Lai et al., 2017) در بین این عوامل، متغیرهای اقلیمی (Williams et al., 2009) و نوع کاربری زمین (Zhu and Lin, 2011) نقش عمده‌ای در تغییرات رطوبت خاک ایفا می‌کنند. با توجه به دقت مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی و اهمیت تغییرات زمانی رطوبت خاک در مباحث هیدرولوژی و حفاظت آب و خاک، در این تحقیق توانایی سری‌های زمانی با تاکید بر مدل‌های ARIMA و IMA در پیش‌بینی و مدل‌سازی رطوبت خاک مورد بررسی قرار

معمول مورد استفاده برای توصیف نفوذ می‌باشد (et al., 2013). کاربرد مدل‌سازی سری زمانی در پیش‌بینی نفوذ در بافت‌های مختلف خاک نشان داد که مدل‌های سری زمانی ARX(p,x) و ARMAX(p,q,x) با درجات متفاوت ۱، ۲، ۳ در خاک‌های مختلف سبک، متوسط و سنگین، میزان نفوذ تجمعی را برای طول مدت به خوبی پیش‌بینی می‌کند (Vazirpour et al., 2016). پیش‌بینی دمای لایه‌های خاک با استفاده از مدل‌های سری زمانی نشان داد که دمای خاک از مدل فصلی SARIMA با مرتبه‌های (۲، ۰، ۰)، (۲، ۰، ۰)، (۱، ۰، ۰) و (۱، ۰، ۰) پیروی می‌کند (Khatar and Bahmani., 2015). تغییرات زمانی رطوبت خاک تحت تأثیر بارندگی و دما در شرایط آیش و کشت در کشتزار دیم در زنجان مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که دمای خاک به عنوان مؤثرترین ویژگی تعیین کننده رطوبت خاک در زمین‌های آیش و تحت کشت در منطقه است (مظلوم علی آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). سری زمانی متغیرهای محیطی برای مدل سازی تعرق تاج پوشش کاج تدا، با در نظر گرفتن کاهش رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد مدل سری زمانی ARIMA(۱،۱،۳) به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی رطوبت خاک انتخاب شد (Ford et al., 2005).

با استفاده از نوترون‌پروب و حسگرهای هدایت الکتریکی در عمق‌های مختلف، رطوبت و شوری خاک به صورت ماهانه و در شش سال اندازه‌گیری شد و با استفاده از مدل شبکه عصبی و سری زمانی مقادیر آینده رطوبت و شوری بدست آمد. نتایج نشان داد مدل سری زمانی ARIMA نسبت به شبکه عصبی بهترین مدل برای پیش‌بینی شوری و رطوبت خاک بشمار می‌آید (Zoua et al., 2010). رطوبت خاک برای پروفیل‌های عمودی خاک در یک تپه شیب دار در کره جنوبی با استفاده از مدل سری زمانی بردار مورد پژوهش قرار گرفت، نتایج نشان داد مدل اتورگرسیو برداری به عنوان بهترین مدل

از سطح دریا واقع شده است. موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و استان گلستان در شکل شماره ۱ آورده شده است.

روش کار

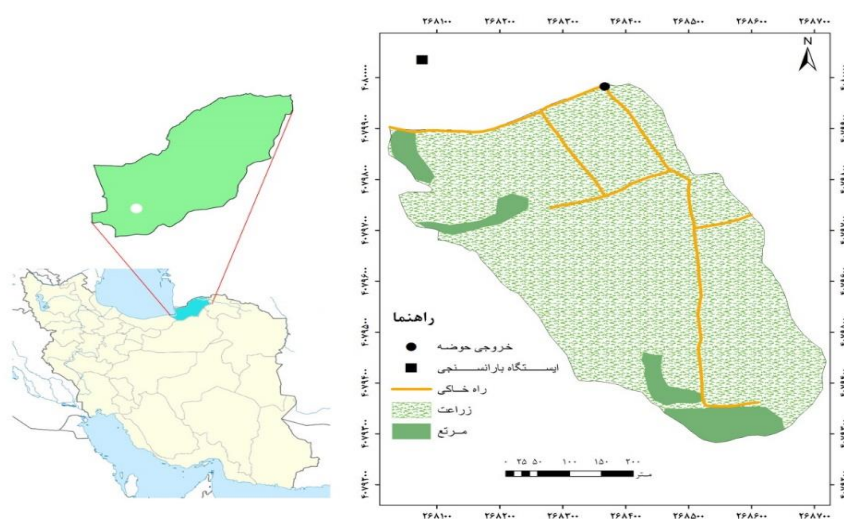
اندازه‌گیری رطوبت خاک در سه محل از محدوده مورد مطالعه با توجه به وسعت کاربری‌ها شامل دو محل در گندمزار و یک محل در کاربری مرتع از اردیبهشت تا بهمن ماه ۱۳۹۳ انجام شد (شکل ۲). بنابراین بعد از گذشت یک ماه از جاگذاری لوله‌های اندازه‌گیری رطوبت^۱، به اندازه‌گیری رطوبت پرداخته شد، تا فضای احتمالی ایجاد شده بین لوله‌ها و خاک در این زمان از بین برود و خاک به شرایط طبیعی خود برگردد. در این پژوهش اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR^۲ در ۴۰ هفته متوالی (هر هفته در روز دوشنبه و ساعت ۷ صبح تا ۱۰ صبح) در اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتیمتر با توجه به اندازه لوله‌های موجود انجام شد (شکل ۳). رطوبت خاک در فواصل ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک تا کف لوله در چهار جهت اندازه‌گیری شد و سپس از آنها میانگین گرفته و به عنوان رطوبت هر عمق در هر نوبت منظور گردید.

گرفت. به همین منظور مطالعه رطوبت خاک با هدف تعیین بهترین مدل پیش‌بینی در سه محل (دو نمونه در کاربری گندم و یک نمونه در کاربری مرتع) در اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتیمتر به مدت بیش از ۴۰ هفته از اردیبهشت تا بهمن ماه سال ۱۳۹۳ در زیر حوضه غربی شهرک بهزیستی شهرستان گرگان در استان گلستان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه هزارپنج گرگان در استان گلستان در ورودی غربی شهرستان گرگان و در حد فاصل طول جغرافیایی " ۵۴° ۲۳' ۵۵" تا " ۵۴° ۲۴' ۲۳" شرقی و عرض جغرافیایی " ۳۶° ۴۹' ۵۲" تا " ۳۶° ۵۰' ۱۴" شمالی با مساحت کل ۲۷/۶ هکتار با بافت سیلتی رسی واقع شده است. بارندگی متوسط سالانه زیر حوضه مورد مطالعه ۷۵۰ میلیمتر می‌باشد. زراعت دیم گندم، کاربری غالب حوزه آبخیز را به خود اختصاص داده بطوریکه از کل مساحت حوضه، ۲۵/۴ هکتار را گندمزار و ۲/۲ هکتار را کاربری مرتع تشکیل می‌دهد. پست‌ترین نقطه حوضه در ارتفاع ۱۲۹ متر و بلندترین نقطه در ارتفاع ۳۰۷ متر ارتفاع

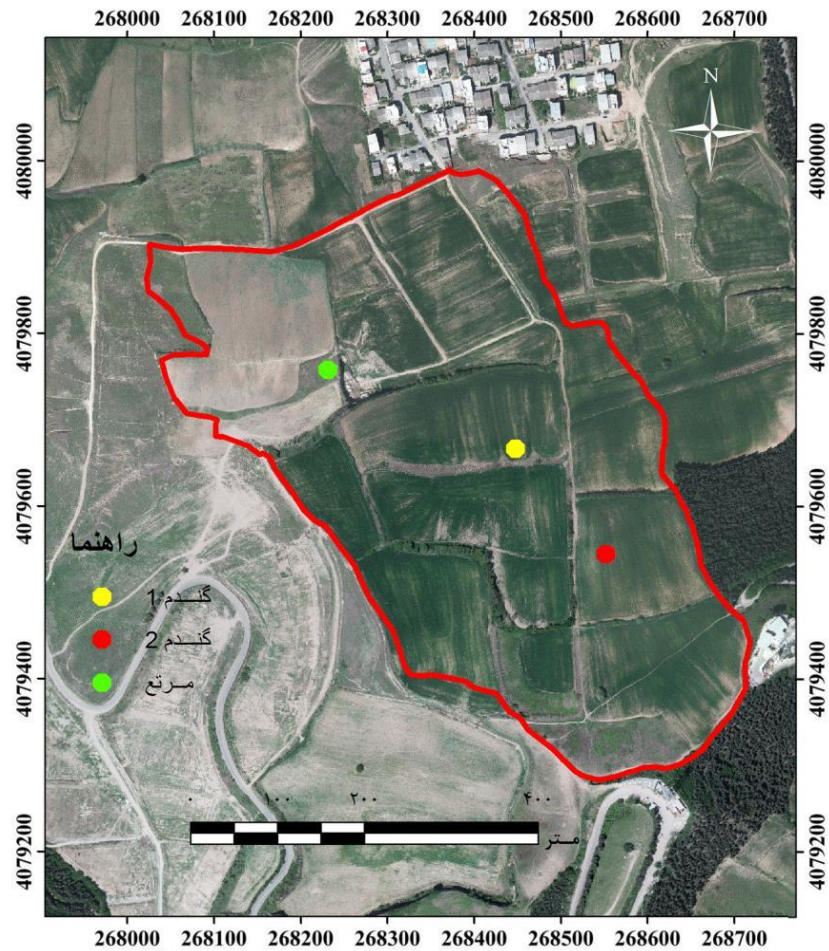


شکل ۱- موقعیت زیر حوضه غربی شهرک بهزیستی در ایران و استان گلستان بر حسب سیستم مختصات UTM^۱

^۱ Universal Transverse Mercator

^۲ Probe

^۳ Time Domain Reflectometry



شکل ۲- موقعیت محل‌های نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک



شکل ۳- اندازه‌گیری رطوبت خاک با دستگاه TDR

ایستاسازی داده‌ها

الگوهای پیش‌بینی باکس و جنکینز با سری‌های زمانی ایستا سر و کار دارند. یک سری زمانی، ایستا نامیده می‌شود هرگاه مشخصه‌های آماری آن مانند میانگین و

واریانس آن در طول زمان ثابت بماند. مفهوم اساسی ایستایی این است که قوانین احتمالی حاکم بر فرآیند با زمان تغییر نمی‌کند یعنی فرآیند در تعادل آماری باقی می‌ماند. اگر یک سری زمانی ایستا باشد منظور این است

اطمینان از صحت الگو، سایر الگوها با پارامترهای بیشتری به داده‌ها برازش داده شد. برای بررسی دقت الگوهای برازش داده شده، معیار آکائیک (AIC^۳) محاسبه گردید. بعد از برازش یک الگوی مناسب، سری زمانی مقادیر رطوبت خاک برای ۳ هفته آخر پیش‌بینی شد. جهت پیش‌بینی مقادیر رطوبت خاک از بسته تخصصی forecast (Hyndman et al., 2012) از نرم‌افزار R (Team., 2016) استفاده شده است.

دقت پیش‌بینی با معیارهایی از جمله ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) محاسبه گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad \text{معادله (۴)}$$

در این روابط n نشانگر تعداد داده‌های مورد استفاده، y مقادیر واقعی و \hat{y} مقادیر پیش‌بینی شده است.

نتایج و بحث

نمودار سری زمانی کلیه رطوبت‌های خاک قرائت شده در کاربری‌های موجود اعم از مرتع و گندم در اعماق مختلف ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متری و همچنین همبستگی‌نگارها نشان می‌دهد که این داده‌ها دارای روند بوده و نایستایی در میانگین را به دنبال دارند. بنابراین با وجود کاربری‌های مختلف و اعماق متفاوت ولی ثابت بودن نوع خاک، روند تغییرات رطوبت تقریباً در تمامی موقعیت‌ها یکسان بوده و ممکن است توسط عامل یا عوامل دیگر مانند مدل رقومی زمین و مشتقات اولیه و ثانویه آن تحت تاثیر باشد که در این مطالعه با توجه به کوچک بودن محدوده مورد مطالعه، ثابت در نظر گرفته شده است. در تمامی نمودارها منظور از پایه، تاخیر زمانی می‌باشد.

که این سری زمانی بطور تصادفی حول یک میانگین ثابت نوسان می‌کند و اگر سری نایستا باشد بدین معنی است که این سری هیچ میانگین ثابتی ندارد. یک سری دارای روند، سری نایستا است، به این دلیل که میانگین آن ثابت نیست و همراه با زمان در حال افزایش یا کاهش است. بنابراین لازم است که در صورت نایستا بودن سری ابتدا آن را به یک سری ایستا تبدیل کنیم (محمدی و اسفندیارپور بروجنی، ۱۳۸۷).

نایستایی در واریانس را با استفاده از تبدیل توانی باکس-کاکس (معادله ۱) و نایستایی در میانگین را با استفاده از تقاضلی کردن می‌توان برطرف کرد.

$$r(z_i) = z_i^{(\lambda)} = \frac{z_i^{(\lambda)} - 1}{\lambda} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن Z_i مقدار اولیه در زمان t ، λ پارامتر تبدیل و Z_i^λ مقدار تبدیل یافته است.

دسته مهمی از الگوهای خطی سری زمانی از ترکیب فرآیندهای میانگین متحرک^۱ (MA) و اتورگرسیو^۲ (AR) تشکیل می‌شود. همچنین یک فرآیند اتورگرسیو-میانگین متحرک مرکب (ARMA) که شامل P جمله اتورگرسیو (AR(P) و q جمله میانگین متحرک (MA(q) است از مرتبه (p, q) نامیده می‌شود و به صورت معادله ۲ بیان می‌شود.

$$x_t = \theta_1 x_{t-1} + \dots + \theta_p x_{t-p} + z_t + \theta_1 z_{t-1} + \dots + \theta_q z_{t-q} \quad \text{معادله (۲)}$$

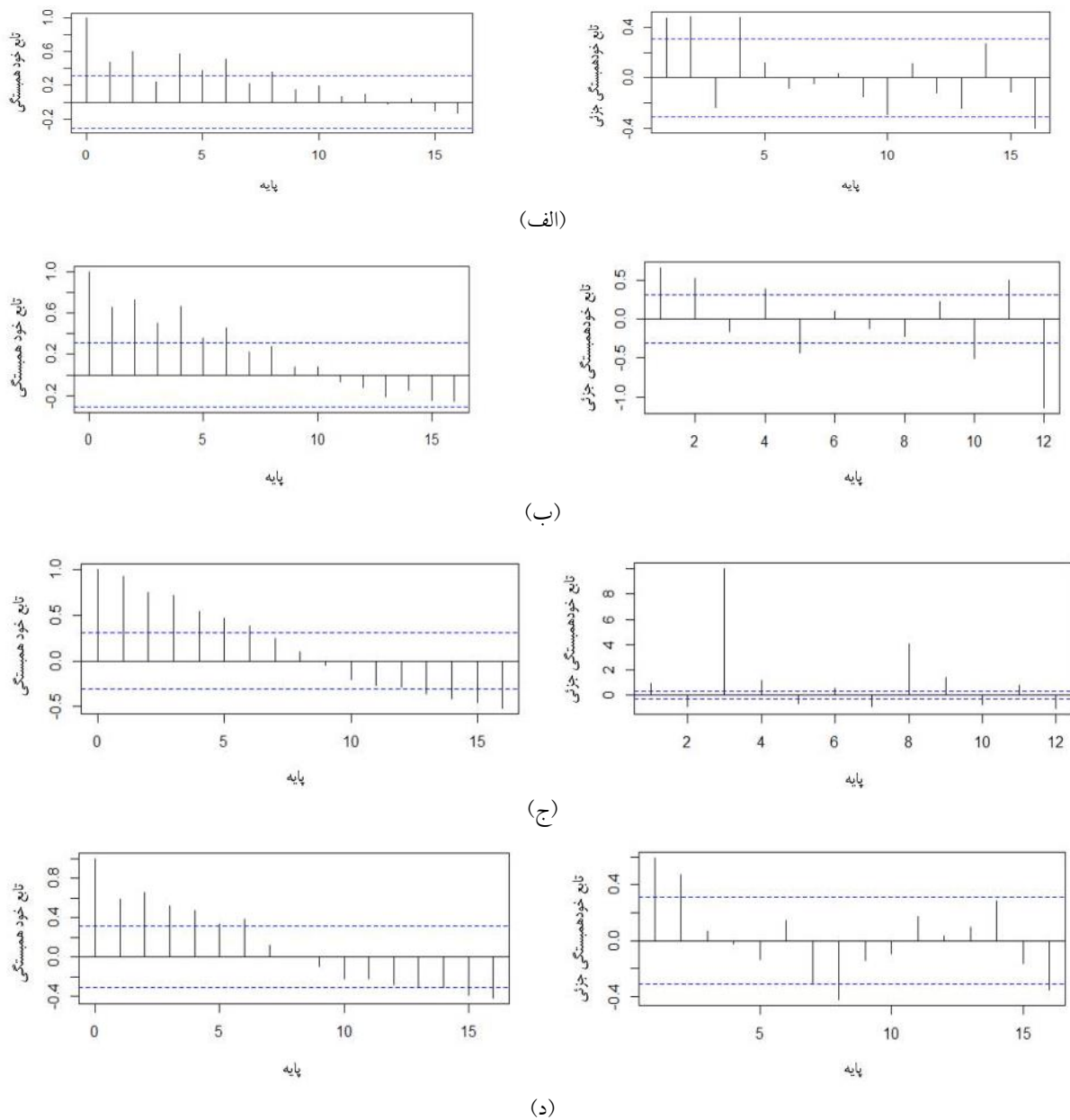
به طوری که Z_t یک فرآیند تصادفی محض است و X_{t-p} سری زمانی در تأخیر P و Z_{t-q} فرآیند تصادفی محض در تأخیر q است (Box and Jenkins, 1994).

رطوبت هفتگی خاک (بیش از ۴۰ هفته از اردیبهشت الی بهمن‌ماه سال ۱۳۹۳) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بررسی درستی تشخیص الگو، از طریق تحلیل باقیمانده‌ها و همچنین با استفاده از آزمون Ljung-Box در بسته تخصصی stats انجام شد (Coghlan, 2011). جهت

³ Akaike Information Criterion

¹ Moving average (MA)

² Auto regressive (AR)

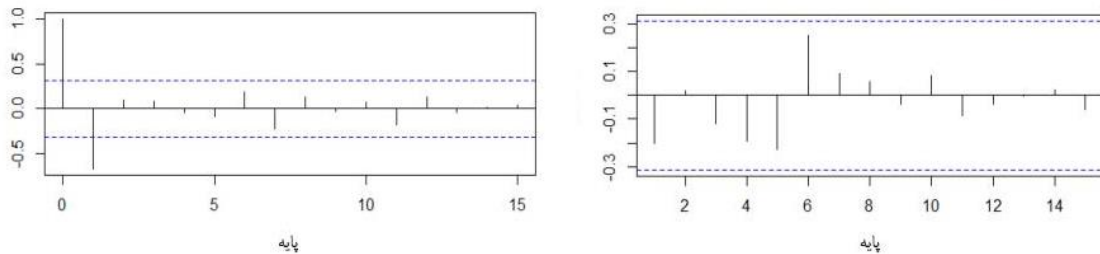


شکل ۴ - نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مقادیر رطوبت خاک در عمق‌های الف: ۲۰، (ب) ۴۰، (ج) ۶۰ و (د) ۸۰ سانتی متری مرتع

به این مطلب جهت ایستاسازی سری، تفاضلی کردن مورد استفاده قرار گرفت و برای تعیین مرتبه‌های الگو، نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری تفاضلی شده رسم شد. به عنوان مثال نمودارهای مقادیر تفاضلی شده رطوبت خاک در مرتع در عمق ۴۰ سانتی متری در شکل ۵ آورده شده است. جهت انجام مراحل پایدار کردن واریانس با استفاده از تبدیلات باکس کاکس و همچنین ایستاسازی

با توجه به نمودار سری و همچنین نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF)، مقادیر رطوبت در اعماق مختلف ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی متری در کاربری مرتع (شکل‌های ۴) می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر رطوبت در این اعماق دارای روند بوده و همراه با زمان در حال افزایش یا کاهش می‌باشد. همچنین مقادیر خودهمبستگی‌ها با سرعت معقولی به صفر نزدیک نمی‌شوند که نشان از نایستایی این داده‌ها است. با توجه

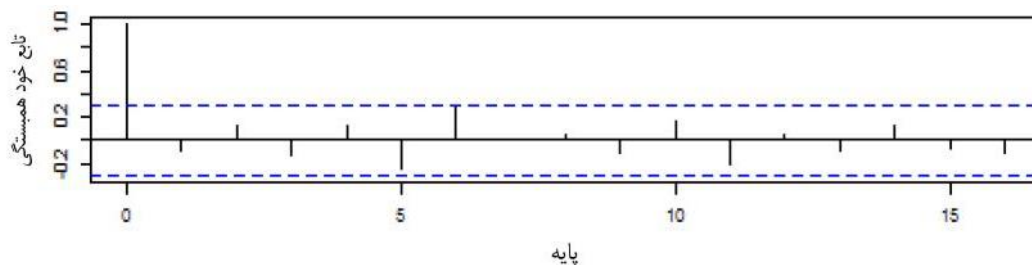
ناهمبستگی باقیمانده‌ها است. الگوهای دیگری (مدل‌های $ARIMA(1,1,1)$ ، $ARIMA(1,1,0)$ ، $ARIMA(0,1,2)$ ، $ARIMA(2,1,1)$) با پارامترهای بیشتر نیز به داده‌ها برازش داده شد و با توجه به کمترین آکائیک، مدل مناسب انتخاب شد (جدول ۱). در نتیجه مناسب‌ترین الگو، برای داده‌های رطوبت خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متری مرتع الگوی $ARIMA(0,1,1)$ و یا $IMA(1,1)$ تشخیص داده شد. الگوهای پیشنهادی داده‌های رطوبت خاک برای سایر اعماق خاک در کاربری مرتع در جدول ۲ ارائه شده است.



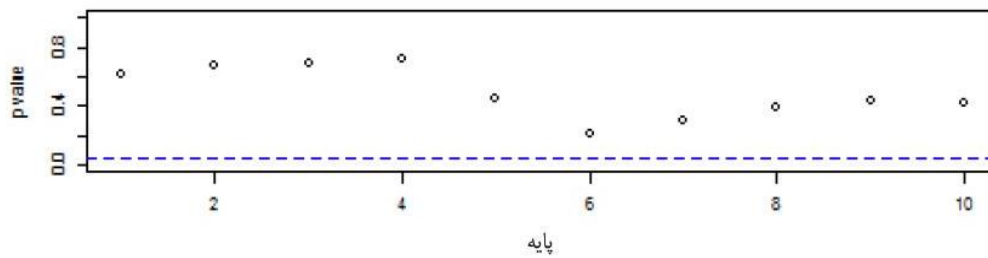
شکل ۵- نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری تفاضلی شده رطوبت خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متری مرتع

جدول ۱- الگوهای برازش شده در کاربری مرتع در عمق ۴۰ سانتی‌متری

AIC	مدل پیشنهادی
۱۶۰/۴۱	$ARIMA(1,1,1)$
۱۵۰	$ARIMA(0,1,2)$
۱۵۶/۸	$ARIMA(2,1,1)$
۱۳۹	$ARIMA(0,1,1)$



شکل ۶- نمودار خودهمبستگی باقیمانده‌های الگوی مقادیر رطوبت خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متری



شکل ۷- نمودار p-value آزمون Ljung-Box باقیمانده‌های الگوی مقادیر رطوبت خاک مرتع در عمق ۴۰ سانتی متری

جدول ۲- مدل‌های پیشنهادی برای مقادیر رطوبت خاک در کاربری مرتع در اعماق مختلف

اعماق (Cm)	مدل پیشنهادی	AIC	Ljung-Box آزمون p-value
۲۰	Integrated Moving Averages (۱,۱)	۱۹۰/۴۱	۰/۵۸
۴۰	Integrated Moving Averages (۱,۱)	۱۳۹	۰/۶۳
۶۰	Integrated Moving Averages (۱,۱)	۱۰۴/۹۴	۰/۵۴
۸۰	Autoregressive Integrated moving Average(۱,۱)	۱۳۴/۴۱	۰/۵۰

جدول ۳- ضریب همبستگی و میزان خطای داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده رطوبت خاک مرتع در اعماق مختلف

اعماق (Cm)	ضریب همبستگی (R)	RMSE	MAE
۲۰	۰/۸۰	۴/۲۳	۳/۰۴
۴۰	۰/۹۲	۱/۸۴	۱/۲۹
۶۰	۰/۹۴	۱/۰۶	۰/۸۲
۸۰	۰/۷۳	۱/۷۴	۱/۲۳

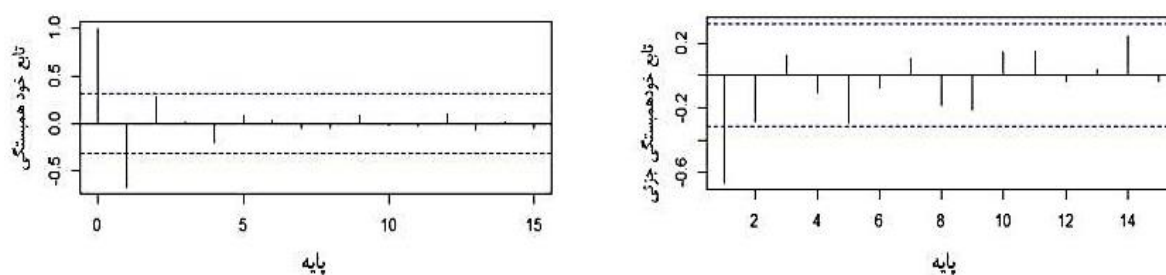
قبل از آن توسط تبدیل باکس-کاکس این نایستایی برطرف گردید. برای مثال نمودارهای مقادیر تفاضلی شده رطوبت خاک در گندم در محل شماره یک در عمق ۴۰ سانتی متری در شکل ۸ ارائه شده است.

با توجه به نمودارهای خودهمبستگی در داده‌های رطوبت در گندم در محل شماره یک برای اعماق مختلف خاک، مدل‌هایی پیشنهاد شد که صحت آن‌ها توسط تحلیل باقیمانده‌ها تأیید گردید. همچنین p-value آزمون Ljung-Box در تأخیرهای مختلف، بزرگتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ بوده که به‌عنوان نمونه برای عمق ۴۰ سانتی متری در شکل ۹ نشان داده شده است. الگوهای مختلف با پارامترهای بیشتر نیز به داده‌ها برازش داده شد که با توجه به کمترین آکائیک، مدل مناسب انتخاب گردید. مناسب‌ترین مدل‌ها برای داده‌های رطوبت خاک در اعماق مختلف برای گندم در محل شماره یک در جدول ۴ آورده شده است.

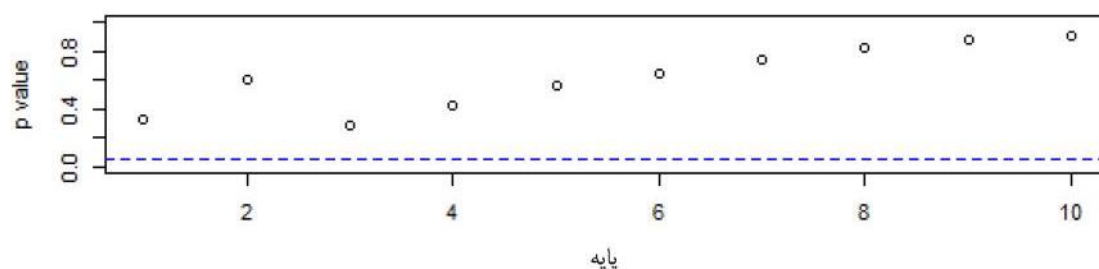
مقادیر رطوبت برای چند هفته اخیر بهمن ماه سال ۱۳۹۳ که در برازش الگو منظور نگردید، به کمک الگوهای پیشنهادی برای هر یک از اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی متری پیش‌بینی شد (جدول ۳).

تمامی این مراحل برای الگوسازی میزان رطوبت اندازه‌گیری شده کاربری زراعت (گندم در محلهای مختلف) در اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی متری نیز انجام گرفت که نتایج آن ارائه شده است.

نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مقادیر رطوبت خاک برای گندم در محل شماره یک در اعماق مختلف ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی متری حاکی از وجود روند در داده‌های رطوبت خاک بوده که جهت حذف روند، از تفاضلی کردن استفاده شد. لازم به ذکر است که داده‌های رطوبت در عمق ۲۰ سانتی متری علاوه بر نایستایی در میانگین، در واریانس نیز نایستا بوده که



شکل ۸- نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی مقادیر تفاضلی شده رطوبت خاک در محل شماره یک گندم در عمق ۴۰ سانتی متری



شکل ۹- نمودار p-value آزمون Ljung-Box باقیمانده‌های الگوی مقادیر رطوبت خاک در گندم در محل شماره یک در عمق ۴۰ سانتی متری

جدول ۴- مدل‌های پیشنهادی برای مقادیر رطوبت خاک در محل شماره یک گندم در اعماق مختلف

اعماق (Cm)	مدل پیشنهادی	AIC	p-value آزمون Ljung-Box
۲۰	Integrated Moving Averages(۱,۱)	۷۱/۶۹	۰/۸۲
۴۰	Autoregressive Integrated moving Average(۱,۱)	۱۳۲/۵۶	۰/۴
۶۰	Integrated Moving Averages (۱,۱)	۱۲۷/۴	۰/۴
۸۰	Integrated Moving Averages(۱,۱)	۸۲/۴۱	۰/۹۸

جدول ۵- ضریب همبستگی و میزان خطای داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده رطوبت خاک در محل شماره یک گندم در اعماق مختلف

اعماق (Cm)	ضریب همبستگی (R)	RMSE	MAE
۲۰	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۳۷
۴۰	۰/۸۴	۱/۷	۱/۲۶
۶۰	۰/۷۱	۱/۵۷	۱/۱۰
۸۰	۰/۳۷	۰/۸۲	۰/۶۸

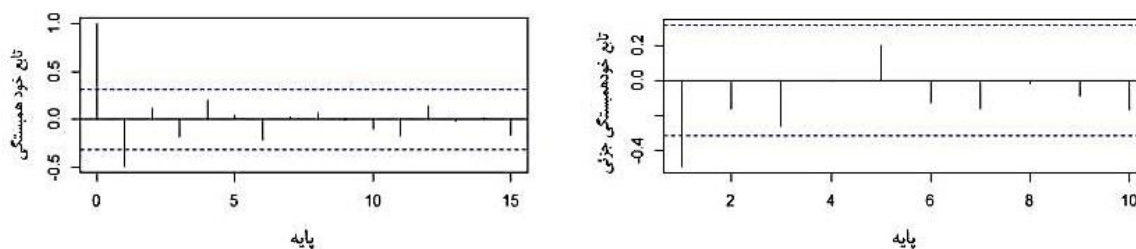
کردن، روند داده‌ها حذف شد که در شکل ۱۰ نمودارهای خود همبستگی مقادیر تفاضلی شده رطوبت خاک در گندم در محل شماره دو در عمق ۴۰ سانتی متری نشان داده شده‌است. برای گندم در محل شماره دو نیز داده‌های رطوبت خاک در عمق ۲۰ سانتی متری علاوه بر نایستایی در میانگین، در واریانس نیز نایستا بوده که این نایستایی توسط تبدیل باکس-کاکس برطرف گردید.

مقادیر رطوبت خاک در محل شماره یک گندم نیز برای چند هفته اخیر به کمک الگوهای پیشنهادی برای هر یک از اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی متری پیش‌بینی شد (جدول شماره ۵).

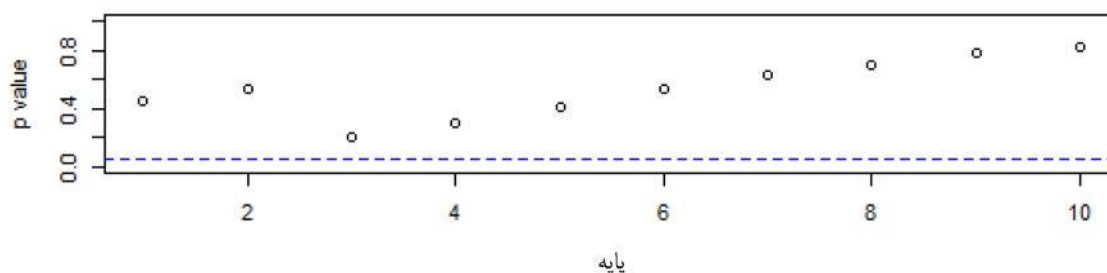
نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی مقادیر رطوبت خاک برای گندم در محل شماره دو نیز حاکی از وجود روند در داده‌های رطوبت خاک در اعماق مختلف می‌باشد. بنابراین با استفاده از فرآیند تفاضلی

عمق ۴۰ سانتی‌متری نشان از این صحت می‌باشد. مناسب‌ترین مدل‌ها برای داده‌های رطوبت خاک در اعماق مختلف در کاربری گندم در محل شماره دو در جدول شماره ۶ آورده شده‌است.

برای اعماق مختلف خاک در کاربری گندم در محل شماره دو، مدل‌هایی پیشنهاد شد که صحت آن‌ها توسط تحلیل باقیمانده‌ها تأیید گردید. با انجام آزمون Ljung-Box معلوم شد که در تأخیرهای مختلف، مقادیر p-value بزرگتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ بوده که شکل ۱۱ برای



شکل ۱۰- نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مقادیر رطوبت خاک در محل شماره دو گندم عمق ۴۰ سانتی‌متری



شکل ۱۱- نمودار p-value آزمون Ljung-Box باقیمانده‌های الگوی مقادیر رطوبت خاک در محل شماره دو گندم عمق ۴۰ سانتی‌متری

جدول ۶- مدل‌های پیشنهادی برای مقادیر رطوبت خاک در محل شماره دو گندم در اعماق مختلف

اعماق	مدل پیشنهادی	AIC	Ljung-Box p-value آزمون
۲۰	Integrated Moving Averages (۱,۱)	۸۳/۰۹	۰/۹۱
۴۰	Autoregressive Integrated moving Average(۱,۱)	۹۱/۷	۰/۶۵
۶۰	Integrated Moving Averages (۱,۱)	۸۲	۰/۸۷
۸۰	Integrated Moving Averages (۱,۱)	۱۰۸/۰۳	۰/۵۱

عملیات خاک‌ورزی در کاربری گندم در عمق ۴۰ سانتیمتر باعث ایجاد سله و تغییر در الگوی رطوبت خاک شده است. مدل ARIMA(1,1) در این عمق، به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی انتخاب شده است. با توجه به این مدل انتخابی برای عمق ۴۰ سانتیمتری در کاربری گندم محل شماره یک پیش‌بینی انجام شده دارای ضریب همبستگی ۰/۸۴ با میزان خطای مطلق ۱/۲۶ و در کاربری

مقادیر رطوبت خاک در محل شماره دو گندم نیز برای چند هفته اخیر به کمک الگوهای پیشنهادی برای هر یک از اعماق ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متری پیش‌بینی شد (جدول شماره ۷).

نتایج این پژوهش نشان داد رطوبت به عنوان یک متغیر پویا می‌باشد که در عمق‌های مختلف، مقادیر رطوبتی متفاوتی را ارائه می‌دهد که با نتایج Kim (۲۰۱۶) دال بر تغییر رطوبت در اعماق مختلف مطابقت دارد.

سخت کفه به عنوان یک محدودیت، رفتار رطوبت خاک را در گندم‌زار تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین در مدل‌های فرسایش و رسوب و هیدرولوژی تغییرات رطوبت این عمق با عدم قطعیت بالا مواجه است که نیاز به تحقیق بیشتر دارد. از طرفی با توجه به پیش‌بینی سری‌های زمانی، تغییرات رطوبت سطحی خاک نسبت به سایر اعماق، بهتر قابل پیش‌بینی است که این مهم را می‌توان به تاثیر رخدادهای جوی (بارندگی، تابش و باد) نسبت داد. جهت اطمینان بیشتر پیشنهاد می‌شود از فن سنسجش از دور در مطالعه تغییرات مکانی و زمانی این متغیر استفاده شود.

در کاربری مرتع، رطوبت خاک عمق ۸۰ سانتی‌متری نسبت به سایر اعماق مورد مطالعه رفتار متفاوتی را نشان می‌دهد. به عبارتی اعماق کمتر از ۸۰ سانتی‌متری محیط همگنی را برای تغییرات رطوبت خاک فراهم کرده‌اند. از طرفی با توجه به نفوذپذیری کم نهشته‌های لسی، لایه‌های فوقانی بیشتر تحت تاثیر رطوبت ناشی از باران قرار می‌گیرند و تغییرات بیشتری را متحمل می‌شوند، هرچند عامل توپوگرافی تشدید کننده این تغییرات است به نحوی که در مناطق پرشیب، نفوذپذیری کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه قریب به ۲۰ درصد از وسعت استان گلستان به نهشته‌های لسی اختصاص داشته و این نهشته‌های حاصلخیز و فرسایش‌پذیر نقش عمده‌ای را در هیدرولوژی و فرسایش به دنبال دارند لحاظ کردن عوامل مختلف به صورت توأم در مطالعه تغییرات رطوبت خاک به عنوان ورودی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

گندم محل شماره دو دارای ضریب همبستگی ۰/۸۳ با میزان خطای مطلق ۰/۶۶ بوده است.

در حالی که در کاربری مرتع که فاقد عملیات خاک-ورزی بوده است، مدل ARIMA(1,1) برای عمق ۸۰ سانتی‌متری به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی انتخاب شده است که با نتایج Ford و همکاران (۲۰۰۵) و Zoua و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر انتخاب مدل ARIMA به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی رطوبت خاک مطابقت دارد. با توجه به این مدل انتخابی برای عمق ۸۰ سانتی‌متری در کاربری مرتع پیش‌بینی انجام شده دارای ضریب همبستگی ۰/۷۳ با میزان خطای مطلق ۱/۲۳ می‌باشد. بنابراین مدل ARIMA(1,1) برای کاربری گندم، در عمق ۴۰ سانتی‌متری و برای کاربری مرتع، در عمق ۸۰ سانتی‌متری مدلی مناسب برآورد شده است.

نتیجه‌گیری

برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژی همچون سیل و فرسایش خاک، دسترسی به اطلاعات اولیه رطوبت خاک در محدوده مورد مطالعه امری ضروری است. در این تحقیق مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌های سری‌های زمانی هفتگی رطوبت خاک در کاربری‌های مختلف با استفاده از الگوهای اتورگرسیو و میانگین متحرک مورد بررسی قرار گرفت. در کاربری زراعت و محصول گندم تغییرات رفتار رطوبت خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متری در هر دو محل نسبت به سایر اعماق متفاوت است. این تفاوت ممکن است ناشی از عملیات زراعی و ایجاد سخت‌کفه ناشی از خاک‌ورزی باشد. تغییرات رفتار رطوبت خاک تحت تاثیر فعالیت‌های زراعی واقع شده، به نحوی که

جدول ۷- ضریب همبستگی و میزان خطای داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده رطوبت خاک در محل شماره دو گندم در اعماق مختلف

اعماق (CM)	ضریب همبستگی (R)	RMSE	MAE
۲۰	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۵۴
۴۰	۰/۸۳	۰/۹	۰/۶۶
۶۰	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۶۳
۸۰	۰/۷۷	۱/۱۷	۰/۹۵

منابع مورد استفاده

۱. بداق جمالی، ج.، احمدیان، ج.، جوانمرد، س.، گل‌مکانی، ت. و ملکی زاده، ص. ۱۳۸۳. ضرورت پایش رطوبت خاک در افزایش بهره‌وری آب کشاورزی. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه تهران.
۲. محمدی، ج. و اسفندیارپور بروجنی، ع. ۱۳۸۷. پدومتری: آمار زمانی، انتشارات تهران، ۳۷۰ صفحه.
۳. شمس‌نیا، س.ا.، پیرمردیان، ن. و امیری، س.ن. ۱۳۸۸. مدل‌سازی خشکسالی در استان فارس با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۴(۲۸): ۱۸۹-۱۶۵.
۴. کمالی، ج.، محمودیان شوشتری، م. و جلال کمالی، ن. ۱۳۸۵. پیش‌بینی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد شهید عباسپور با استفاده از مدل‌های سری زمانی Box-jenkins. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۷ صفحه.
۵. مدرس، ر. ۱۳۸۲. مدل‌سازی باکس و جنکینز سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه قلعه شاهرخ. همایش پیش‌بینی وضع هوا. ۱۳ صفحه.
۶. مظلوم علی‌آبادی، ی.، واعظی، ع.ر. و نیکبخت، ج. ۱۳۹۷. تغییرات زمانی رطوبت خاک تحت تأثیر بارندگی و دما در شرایط آیش و کشت در کشتزار دیم. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. (۲): ۸-۱۴۸-۱۳۶.
7. Box, G.P.E., and Jenkins, G.M., and Reinsel, G.C. 1994. Time Series Analysis: forecasting and Control, Holden-Day, 3th Edition.
8. Coghlan, A. 2011. A little book of R for time series. 71p.
9. De Lannoy, G. J., Verhoest, N. E., Houser, P. R., Gish, T. J., and Van Meirvenne, M. 2006. Spatial and temporal characteristics of soil moisture in an intensively monitored agricultural field (OPE 3). Journal of Hydrology. 331:719-730.
10. Gómez Plaza, A., Alvarez Rogel, J., Albaladejo, J., and Castillo, V. 2000. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment. Hydrological Processes. 14:1261-1277.
11. He, H., Dyck, M. F., Horton, R., Li, M., Jin, H. and Si, B. 2018. Distributed Temperature Sensing for Soil Physical Measurements and Its Similarity to Heat Pulse Method. In Advances in Agronomy, 148:173-230.
12. Hyndman, R.J., Razbash, S., Schmidt, D., and Zhou, Z. 2012. Forecast: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 3.25. <http://CRAN.R-project.org/package=forecast>.
13. Khatar, B., and O. Bahmani. 2015. Predicted Temperature of Deep Soil Layers Using Time Series Models. Journal of Soil Research. 29(2): 200-210. (in Persian).
14. Lai, X., Zhu, Q., Zhou, Z. and Liao, K. 2017. Influences of sampling size and pattern on the uncertainty of correlation estimation between soil water content and its influencing factors. Journal of Hydrology, 555: 41-50.
15. Martinez, C., Hancock, G., Kalma, J., and Wells, T. 2008. Spatio temporal distribution of nearsurface and root zone soil moisture at the catchment scale. Hydrological Processes. 22:2699-2714.
16. Mekonnen, D. F. 2009. Satellite remote sensing for soil moisture estimation: Gumara catchment, Ethiopia. ITC. Plauborg, F. 2002. Simple model for 10 cm soil temperature in different soils with short grass. Eur. J. Agron, 17:173-179.
17. Nasser, A., Neyshabori M.R., and Fakheri fard A. 2013. Time series analysis of furrow infiltration. Irrigation. and Drainage, 62: 640-648.
18. Niroomand, H.A. 2001. Time Series Analysis. Ferdowsi University of Mashhad press. 2nd edition. (in Persian).
19. Salajegheh, A., A. Fathabadi and M. Najafi Hajiva. 2008. Comparison of Application Time Series and Artificial Neural Network Models in Drought Forecasting (Case Study: Khorasan Razavi Provinces) Indices. jwmseir. 2 (4) :74-77. (in Persian).
20. Sheikh, V., Visser, S., and Stroosnijder, L. 2009. A simple model to predict soil moisture: Bridging Event and Continuous Hydrological (BEACH) modelling. Environmental Modelling & Software. 24:542-556.
21. Team, R.C. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

22. Vazirpour, S., H. Ebrahimian, H. Rafiee and F. Mirzaei Asl Shirkoohi. 2016. Application of Time-series Modeling to Predict Infiltration of Different Soil Textures. *Journal of Soil and Water*. 30(1): 41-51. (in Persian).
23. Wang, L. and Qu, J. J. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3(2): 237-247.
24. Williams, C. J., McNamara, J. P. and Chandler, D. G. 2009. Controls on the temporal and spatial variability of soil moisture in a mountainous landscape: the signature of snow and complex terrain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7): 13-25.
25. Zhu, Q. and Lin, H. 2011. Influences of soil, terrain, and crop growth on soil moisture variation from transect to farm scales. *Geoderma*, 163(1-2): 45-54.
26. Zoua, P., Yanga J., Fub J., Liu G., Li D. 2010. Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content. *Agricultural Water Management*, 97: 2009– 2019.
27. Ford, C.R., Goranson, C.E., Mitchell, R.J., Will, R.E. and Teskey, R.O., 2005. Modeling canopy transpiration using time series analysis: a case study illustrating the effect of soil moisture deficit on *Pinus taeda*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130(3-4), pp.163-175.
28. Kim, S., Sun, H. and Jung, S., 2011. Configuration of the relationship of soil moistures for vertical soil profiles on a steep hillslope using a vector time series model. *Journal of hydrology*, 399(3-4), pp.353-363.
29. Kim, S., 2016. Time series modeling of soil moisture dynamics on a steep mountainous hillside. *Journal of hydrology*, 536, pp.37-49.



ISSN 2251-7480

Time Series Analysis of Soil Moisture Content in Loess Deposits of Hezarpich using ARIMA model

Hasan Rezaii Moghadam^{*1}, Mohsen Hosseinalizadeh², Vahedberdi Sheikh³ and Roya Jafari⁴

1) PhD student. Watershed Management Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

*Corresponding author email: hassan.rezaemoghadam@gmail.com

2) Assistant Prof. Arid Zone Management Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

3) Associate Prof. Watershed Management Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

4) MSc Graduate, Watershed Management Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Received: 03-09-2019

Accepted: 10-11-2020

Abstract

Soil moisture content (SMC) as a small part of water balance, nearly considered in all hydrological process and soil and atmosphere tradeoff. Therefore its prediction is useful in planning, designing and decision making. For this, purposeweekly SMC in 40 weeks was measured by Time Domain Reflectometry in 3 different location of wheat and rangeland in Loess deposits (West of Gorgan with 27 ha area) at 20cm intervals down to the 80cm depth. SMC in all considered depths and locations had trend for study period and the best model was selected regards to Akaike information criterion (AIC). The best prediction model in rangeland belongs to 60cm depth ($R= 0.96$). For all considered depths except 40cm in one location in wheat, Integrated Moving Averages (1,1) was selected as the best model. For the other location in the same land cover, the best prediction model devoted to 20cm depth ($R= 0.86$). Integrated Moving Averages (1,1) for all study locations had the highest priority. Considering tillage practices in crop land and following plough pan in 40cm depth, Autoregressive Integrated moving Average (1,1) selected as the best model for prediction.

Keywords: Soil Moisture Content, TDR, Time Series, Loess Deposits.