

## کاربرد تحلیل سری‌های زمانی برای الگوبندی و پیش‌بینی حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای

ابوالفضل ناصری<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت ۱۳۹۲/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۲

مقاله برگرفته از پژوهش مولف است.

### چکیده

یکی از مهم‌ترین اصول طراحی آبیاری قطره‌ای که در تعیین دور آبیاری محصولات ردیفی نقش بنیادی دارد، حجم خاک خیس شده با گسیلنده‌ها می‌باشد. بنابراین اهمیت و نیز با توجه به توانمندی فن سری‌های زمانی در الگوبندی و پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولوژیک، یک مجموعه آزمایش، در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی در یک خاک لوم و لوم رسی با هدف الگوبندی و پیش‌بینی حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای با کاربرد فن سری‌های زمانی انجام شد. برای اجرای آزمایش، دبی جریان گسیلنده‌ها برابر ۴،۲ و ۸ لیتر در ساعت و نوع گسیلنده‌ها نقطه‌ای انتخاب شد. براساس داده‌های اندازه‌گیری شده پیشروی عمودی و جانبی رطوبت در زمان‌های مختلف و با فواصل مساوی، حجم خاک خیس شده با گسیلنده‌ها در زمان‌های مختلف برآورد گردید. نتایج نشان داد سری حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای در طول دوره اندازه‌گیری (۲۱۰ دقیقه) روند نایستائی داشت. برای ایستاسازی سری داده‌ها از عمل لگاریتمی نمودن و یک‌بار تفاضلی استفاده شد. الگوی مناسب برای بیان سری زمانی حجم خاک خیس شده توسط گسیلنده‌های نقطه‌ای به صورت ARIMA (1,1,0) تشخیص داده شد. براساس الگوی سری زمانی انتخاب شده، حجم خاک خیس شده از ۲۱۰ تا ۳۰۰ دقیقه (برای ۹۰ دقیقه بعدی) پیش‌بینی گردید. نتایج پیش‌بینی نشان داد میانگین حجم خاک خیس شده در انتهای ۳۰۰ دقیقه با کاربرد دبی‌های ۲، ۴ و ۸ لیتر بر ساعت به ترتیب برابر ۳۸، ۱۶۴ و ۲۲۳ هزارسانتی‌مترمکعب خواهد بود. توصیه می‌شود برای الگوبندی و پیش‌بینی حجم خاک خیس شده در شرایط خاک شناختی مشابه از الگوی ARIMA (1,1,0) استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای، حجم خاک خیس شده، سری‌های زمانی، گسیلنده نقطه‌ای.

<sup>۱</sup>عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تلفن تماس ۰۴۱۲-۲۶۶۳۹۱۵

آدرس پست الکترونیکی: [nasseri\\_ab@yahoo.com](mailto:nasseri_ab@yahoo.com)

## مقدمه

یکی از مهم‌ترین اصول طراحی آبیاری قطره‌ای که در تعیین دور آبیاری محصولات ردیفی نقش بنیادی دارد، حجم خاک خیس شده با گسیلنده‌ها می‌باشد. در روش آبیاری قطره‌ای معمولاً بخشی از حجم منطقه رشد بالقوه ریشه گیاه در خاک مرطوب می‌شود. و توسعه حجم ریشه گیاه به منطقه مرطوب اطراف هر گسیلنده محدود می‌گردد (علیزاده ۱۳۷۶، برهان ۱۳۵۴). وسعت حجم خاک مرطوب به دبی، فواصل گسیلنده‌ها و نوع خاک مزرعه بستگی دارد (زور<sup>۱</sup> ۱۹۹۶). برای تعیین الگوی جریان از گسیلنده‌های نقطه‌ای و صفحه‌ای برای هر دو حالت دائمی و غیردائمی گزارش بررسی‌های صورت گرفته حاکی از تطابق خوب نتایج الگوبندی با داده‌های آزمایشی است. فیلیپ<sup>۲</sup> (۱۹۷۱) و راتس<sup>۳</sup> (۱۹۷۱) برای الگوبندی رطوبت خاک از گسیلنده‌های نقطه‌ای و صفحه‌ای معادله ریچاردز را برای حالت دائمی تحلیل نمودند. روال<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۵) تئوری راتس را در حالت غیردائمی برای هردو مورد جبهه رطوبتی و نیمرخ محتوای رطوبتی خاک با یک گسیلنده نقطه‌ای تقریب‌سازی کردند. یتایئو<sup>۵</sup> و عالیخان<sup>۶</sup> (۱۹۹۵) حرکت آب و املاح را در یک مزرعه آزمایشی با اعمال تیمارهای دبی، حجم جریان و غلظت نمک از یک گسیلنده نقطه‌ای ارزیابی نمودند. در خصوص بررسی نفوذ از گسیلنده‌های خطی، تحقیقات صورت گرفته به خطی‌سازی حالت دائمی معادله جریان محدود بوده است. زاشمان و توماس<sup>۷</sup> (۱۹۷۳) نفوذ جریان از یک گسیلنده خطی واقع در یک صفحه افقی با خطوط موازی و با فاصله‌های مساوی را بررسی نموده و نتایج حاصل از خطی‌سازی را مورد قبول اعلام نموده‌اند. ولیدیس<sup>۸</sup> و اسماج سترل<sup>۹</sup> (۱۹۹۲) برای شبیه‌سازی نفوذ، توزیع مجدد و جذب آب از نیمرخ خاک مالچ پاشی و خوابانده شده که در روی سطح ایستابی کم عمق قرار داشته و با یک سیستم قطره‌ای با گسیلنده‌های خطی آبیاری می‌شده، شکل دو بعدی معادله جریان را با فن تفاضلات محدود تحلیل کردند. وریک و همکاران (۱۹۸۰) برای شبیه‌سازی جذب آب توسط گیاه در سه بعد (استوانه

ای) با کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای روشی را ارائه نمودند. پایه شبیه‌سازی ایشان بر دائمی بودن شرایط، یکنواختی خاک، وابستگی هدایت هیدرولیکی خاک به بار فشار و قابل اغماض بودن تلفات تبخیر از سطح بوده است. آنجلاکیس<sup>۹</sup> و همکاران (۱۹۹۳) اثر دبی قطره‌چکان و نوع خاک بر موقعیت جبهه رطوبتی و توزیع محتوای آب در خاک همگن را با گسیلنده‌های مدور بررسی نمودند. برانت<sup>۱۰</sup> و همکاران (۱۹۷۱) و تقوی و همکاران (۱۹۸۴) این معادله را با فن عناصر محدود تحلیل کردند. برسلا<sup>۱۱</sup> و همکاران (۱۹۷۱) تطابق خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و حل معادله جریان رطوبتی خاک با فن تفاضلات محدود را گزارش نموده‌اند. اخیراً ناصری و همکاران (۱۳۹۰) ضمن تحلیل رطوبت در خاک، الگوی تصمیم‌گیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را برای انتخاب مناسب‌ترین دبی گسیلنده نقطه‌ای معرفی و توصیه نموده‌اند.

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد الگوی جریان از انواع گسیلنده‌های نقطه‌ای، خطی، صفحه‌ای برای هردو حالت دائمی و غیردائمی در دو یا سه بعد، با استفاده از روش‌های عددی مانند تفاضلات محدود و عناصر محدود بررسی شده و عموماً تطابق نتایج آزمایش‌ها و کاربرد روش‌های تحلیل مناسب گزارش شده است. ولی پیچیدگی محاسبات عددی، زمان‌بر بودن تنظیم برنامه‌های محاسباتی، تعیین شرایط مرزی برای حل معادله و متنوع بودن نحوه تنظیم روابط بین برخی کمیت‌ها در بافت‌های مختلف خاک‌ها، به وجود آمدن مشکلاتی در پایداری و همگرایی روش‌های تحلیلی به کار رفته، از معایب کاربرد روش‌های عددی در تحلیل الگوی جریان از گسیلنده‌هاست.

می‌توان نتیجه گرفت ماهیت چند بعدی بودن جریان از گسیلنده‌های نقطه‌ای یا خطی موجب پیچیدگی الگوبندی توزیع رطوبت در خاک می‌گردد. الگوها انواع مختلفی از جمله فیزیکی، آنالوگ، استوکاستیک و ریاضی می‌توانند داشته باشند. الگوهای ریاضی شامل فرمول‌های ساده شده بر مبنای بیان حجم و تحلیل معادله ریچاردز برای حرکت آب می‌باشد که خلاصه پژوهش‌های انجام یافته در این خصوص ذکر شد. استفاده از تحلیل‌های استوکاستیک در تحلیل توزیع رطوبت از گسیلنده‌ها تاکنون توسعه زیادی نیافته است. گرچه استفاده از آن در تحلیل سایر مسائل

1-Zur  
2-Philip  
3-Raats  
4 Reval  
5 Yitayew  
6 Alikhan  
7 - Vellidis  
8 Smajstrla

اشاره نمود. در مورد بررسی حرکت آب در خاک، ناصری و همکاران (۱۳۸۳) با تحلیل سری‌های زمانی نفوذ آب و پیشروی و پسروی در جویچه‌های آبیاری، آنها به صورت ARIMA الگوبندی نموده‌اند.

این پژوهش با هدف ارزیابی کاربرد فن سری‌های زمانی برای الگوبندی و پیش‌بینی حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### الگوبندی و پیش‌بینی با فن سری زمانی

برای الگوبندی و پیش‌بینی حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای در این پژوهش از فن سری‌های زمانی استفاده گردید. یک سری زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات است که برحسب زمان مرتب شده باشد (نیرومند ۱۳۷۶، چتفیلد<sup>۱۶</sup> ۱۹۹۶). هدف از تحلیل سری زمانی توصیف، تشریح و پیش‌بینی مقادیر آینده یک فرآیند است (نیرومند ۱۳۷۶، چتفیلد ۱۹۹۶). توصیف فرآیند شامل رسم نمودار داده‌ها، تشخیص ایستائی و نایستائی آن و بررسی خود همبستگی سری است. پیش‌بینی شامل برآورد مقادیر آینده سری بر مبنای داده‌های مشاهده شده است (نیرومند ۱۳۷۶، چتفیلد ۱۹۹۶). سری‌های زمانی به دو نوع سری ایستا و نایستا تقسیم می‌شوند. یک سری وقتی ایستاست که تغییر منظمی در میانگین و واریانس آن وجود نداشته و تغییرات دوره‌ای اکید در آن حذف شده باشد. سری‌های نایستا را می‌توان با تفاضلی نمودن یا پایدار نمودن واریانس آن به سری‌های ایستا تبدیل نمود (نیرومند ۱۳۷۶، باکس و کاکس ۱۹۶۴، بروکوئل و دیویس ۱۹۹۶، چتفیلد ۱۹۹۶). استفاده از روش مذکور با کاربرد تبدیل توانی باکس و کاکس (۱۹۶۴) و به صورت زیر مقدور است:

$$T(Z_t) = \begin{cases} \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda} & \lambda \neq 0 \\ \log(Z_t) & \lambda = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$\lambda$  پارامتر تبدیل بوده و مقدار آن ۱- تا ۱ تغییر می‌کند. در این تحقیق  $Z_t$  شامل سری حجم خاک خیس شده، است. برای تشخیص الگوی اولیه برای یک سری ایستا از تابع خودهمبستگی نمونه (ACF) و تابع خودهمبستگی جزء نمونه (PACF) استفاده می‌شود (بروکوئل و دیویس

هیدرولوژی و مهندسی آب در حال توسعه و گسترش است. از جمله تحقیقات مربوط به الگوبندی و یا پیش‌بینی مسائل آب‌های زیرزمینی به چاو<sup>۱</sup> و کارلیوتیس<sup>۲</sup> (۱۹۷۰)، سامانی و همکاران (۱۹۹۴)، وانگیر<sup>۳</sup> (۱۹۹۶)، پدیلا<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۶)، بورلاندو<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۶)، آن (۲۰۰۰)، سامانی (۲۰۰۱)، برایت<sup>۶</sup> و هندری<sup>۷</sup> (۲۰۰۳)، رحمانی و سدهی (۱۳۸۳) و چیت‌سازان و همکاران (۱۳۸۶)، می‌توان اشاره نمود.

سالاس<sup>۸</sup> و همکاران (۱۹۸۰) مناسب‌ترین الگو برای تحلیل فرآیندها و پدیده‌های هیدرولوژی و اقلیمی را الگوی ARIMA معرفی نموده‌اند. از سوی دیگر در تایید این نظر، سن<sup>۹</sup> (۱۹۹۸) روش الگوبندی ARIMA را معتبرترین روش بررسی تغییرات اقلیمی معرفی نموده‌اند. خورشید دوست و همکاران (۱۳۸۸)، زاهدی و قویدل (۱۳۸۱)، تورکس<sup>۱۰</sup> و سوتک<sup>۱۱</sup> (۱۹۹۶)، لئی<sup>۱۲</sup> و همکاران (۱۹۹۶)، طاهری (۱۳۷۷)، ترابی (۱۳۸۰)، خردمندنیا و عساکره (۱۳۸۰)، جهانبخش و همکاران (۱۳۸۲)، بختیاری (۱۳۸۲)، آشگرطوسی (۲۰۰۳)، آنتونی<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۰۴)، شیر غلامی و قهرمان (۱۳۸۴)، هاشمی و جهانشاهی (۱۳۸۴)، عزیزی و همکاران (۱۳۸۴)، سلطانی و مدرس (۱۳۸۵)، شریفیان و قهرمان (۱۳۸۶)، سلاجقه و همکاران (۱۳۸۷)، جلالی و خنجر (۱۳۸۸)، ویسی پور و همکاران (۱۳۸۹)، جلیلی و همکاران (۱۳۹۰) و قهرمان و قره‌خانی (۱۳۹۰) از سری‌های زمانی برای تحلیل عوامل جوی استفاده نموده و عملکرد آن را بسیار رضایت‌بخش اعلام نموده‌اند.

از جمله تحقیقات مربوط به الگوبندی و یا پیش‌بینی جریان‌های رودخانه‌ای به قایمپو<sup>۱۴</sup> (۱۹۶۸)، بیگلری و سامانی (۱۳۸۲)، رحیمی و غیور (۱۳۸۹)، کسلانو-مندز<sup>۱۵</sup> و همکاران (۲۰۰۴)، طرازکار و صدق‌آمیز (۱۳۸۷)، فتح‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) و نخعی و همکاران (۱۳۸۹) می‌توان

- 1-Chow
- 2-Kareliotis
- 3-Vangeer
- 4-Padilla
- 5-Burlando
- 6-Brightte
- 7-Hendry
- 8-Salas
- 9-Sen
- 10-Turkes
- 11-Sutku
- 12-Leite
- 13-Anthony
- 14-Quimpo
- 15-Castellano-Mendez

اتورگرسیو<sup>(۵)</sup> (AR)، الگوهای ARMA<sup>(۶)</sup> و ARIMA<sup>(۷)</sup> استفاده می‌شود (نیرومند ۱۳۷۶، بروکویل و دیویس ۱۹۹۶ و چتفیلد ۱۹۹۶). هریک از الگوهای یادشده به صورت بسیار مختصر در زیر تشریح می‌گردد:

در فرآیند تصادفی محض متغیرهای تصادفی  $a_t$  به صورت دنباله‌ای از متغیرهای دو به دو مستقل و هم توزیع هستند (چتفیلد ۱۹۹۶). میانگین و واریانس این فرآیند ثابت بوده، ضریب خودهمبستگی آن در تأخیر صفر برابر یک و در تأخیرهای دیگر برابر صفر است. اگر  $\{a_t\}$  فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس  $\sigma_a^2$  باشد، در آن صورت  $\{Z_t\}$  فرآیند میانگین متحرک مرتبه  $q$  گفته می‌شود. اگر

$$Z_t = \theta(B)a_t \quad (۵)$$

باشد، که  $Z_t$  سری حجم خاک خیس شده،  $\theta(B)$  چندجمله‌ای مرتبه  $q$  نسبت به  $B$  و به صورت زیر است:

$$\theta(B) = \beta_0 + \beta_1 B + \dots + \beta_q B^q \quad (۶)$$

ضرایب  $\beta_i$  مقادیر ثابت بوده و  $B$  عملگر پس‌بر که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$B^j Z_t = Z_{t-j} \quad \text{برای تمام } j \text{ ها} \quad (۷)$$

شرط وارون پذیری MA آن است که ریشه‌های معادله  $\theta(B) = 0$  خارج دایره واحد واقع شده باشد (بروکویل و دیویس ۱۹۹۶، چتفیلد ۱۹۹۶).

فرآیند اتورگرسیو مرتبه  $p$  به صورت زیر تعریف می‌شود که در آن  $\alpha_1$  مقادیر ثابت است (بروکویل و دیویس ۱۹۹۶، چتفیلد ۱۹۹۶).

$$\phi(B) Z_t = a_t \quad (۸)$$

$$\phi(B) = 1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p \quad (۹)$$

۱۹۹۶، چتفیلد ۱۹۹۶). تابع خودهمبستگی نمونه در سری‌های مورد بررسی عبارت از همبستگی بین سری حجم خاک خیس شده با همان سری در تأخیر  $k$  است. مقدار ACF نمونه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (چتفیلد ۱۹۹۶):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z})^2} \quad (۲)$$

$r_k$  ضریب خودهمبستگی سری حجم خاک خیس شده در تأخیر  $k$ ،  $\bar{Z}$  میانگین سری حجم خاک خیس شده و  $Z_t$  مقدار سری در زمان  $t$  و  $n$  تعداد مشاهدات سری می‌باشد. بروکویل<sup>۱</sup> و دیویس<sup>۲</sup> (۱۹۹۶) برای تابع خودهمبستگی جزء، دامنه بحرانی را برابر  $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$  پیشنهاد نموده‌اند. مقادیر واقع در محدوده این دامنه، تفاوت معنی‌داری با مقدار صفر در سطح احتمال پنج درصد ندارند. تابع خودهمبستگی جزء (PACF) عبارت است از همبستگی بین سری حجم خاک خیس شده در  $t$  و  $t+k$  وقتی که وابستگی خطی سری حجم خاک خیس شده در  $t+1$  و... و  $t+k-1$  حذف شده باشد، تابع خودهمبستگی جزء نمونه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (نیرومند ۱۳۷۶):

$$\hat{\rho}_{k+1,k+1} = \frac{\hat{\rho}_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_j} \quad (۳)$$

$$\hat{\phi}_{k+1,j} \hat{\phi}_{k,k+1-j} - \hat{\phi}_{k+1,k+1} \hat{\phi}_{kj} = 0 \quad (۴)$$

نمودار تغییرات ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء تا تأخیرهای به تعداد یک سوم تعداد کل مشاهدات با خودهمبستگی نگار و خودهمبستگی جزءنگار نشان داده می‌شود و در آن دامنه بحرانی  $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$  به صورت خطوط موازی رسم می‌شوند. برای الگوبندی سری زمانی یک فرآیند از انواع مختلف فرآیندهای احتمالاتی از جمله: فرآیندهای تصادفی<sup>(۳)</sup>، میانگین متحرک<sup>(۴)</sup> (MA)

- 1 - Brockwell
- 2 - Davis
- 1-Purely random
- 2-Moving average
- 3-Autoregressive
- 4- Autoregressive moving average
- 5-Autoregressive-integrated-moving average

میانگین  $a_t, Z_t$  یعنی  $\bar{Z}$  و صفر به عنوان مقادیر اولیه آنها استفاده می‌شود. پس از برآورد کمیت‌های یادشده مقدار  $\hat{\sigma}_a^2$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{S(\hat{\phi}, \hat{\mu})}{n} \quad (14)$$

در تحلیل سری‌های زمانی ممکن است چندین مدل برای توصیف مجموعه‌ای از داده‌های معلوم تشخیص داده شوند (نیرومند ۱۳۷۶). برای انتخاب بهترین مدل از بین الگوهای مختلف، عموماً از معیار آگاهی آکائیک<sup>(۳)</sup> (AICC) استفاده می‌شود. این معیار به صورت زیر تعریف می‌شود (نیرومند ۱۳۷۶، چتفیلد ۱۹۹۶):

$$AICC = 2M - 2 \log L(\phi, \theta, \sigma^2) \quad (15)$$

که در آن  $M$  تعداد پارامترهای الگو است. بروکویل و داویس (۱۹۹۶) برای محاسبه آن رابطه زیر را پیشنهاد نموده‌اند.

$$M = \frac{2(p+q+1)n}{(n-p-q-2)} \quad (16)$$

حداقل بودن مقدار این معیار بر مناسب بودن مدل انتخاب شده دلالت دارد. پس از برازش الگوی سری زمانی، برای آزمون واقعی بودن توصیف داده‌ها با الگوی حاصل، باقیمانده‌های سری، تحلیل می‌شوند. مقدار باقیمانده‌ها از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$(17) \quad \text{مقدار پیش‌بینی شده} - \text{مقدار واقعی} = \text{مقدار باقیمانده}$$

در صورت مناسب بودن الگو، انتظار می‌رود نمودار تغییرات باقیمانده‌ها در طول زمان، طرح بدون روندی را نشان دهند یا ACF و PACF سری باقیمانده‌های الگوها عمدتاً در درون دامنه بحرانی قرار گرفته باشد (چتفیلد ۱۹۹۶).

الگوی اتورگرسیو میانگین متحرک ARMA (p,q) که شامل  $p$  جمله اتورگرسیو و  $q$  جمله میانگین متحرک بوده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi(B)Z_t = \theta(B)a_t \quad (10)$$

شرط وارون‌پذیری و ایستائی این مدل آن است که ریشه‌های معادله  $\theta(B) = 0$  و  $\phi(B) = 0$  خارج دایره واحد باشند (بروکویل و دیویس ۱۹۹۶، چتفیلد ۱۹۹۶). مدل اتورگرسیو میانگین متحرک تلفیق شده (ARIMA) برای سری‌های نایستا در میانگین به کار می‌رود. با انجام  $d$  مرتبه تفاضل در سری داده‌ها، این مدل از مرتبه  $(p,d,q)$  بوده و در حالت کلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi(B)U_t = \theta(B)a_t \quad (11)$$

که در آن  $U_t = \nabla^d Z_t$  بوده و عملگر  $\nabla^d$  تفاضلی شدن سری را به تعداد  $d$  مرتبه نشان می‌دهد (بروکویل و دیویس ۱۹۹۶، چتفیلد ۱۹۹۶).

پس از شناسایی آزمایشی مدل سری زمانی لازم است پارامترهای آن با یکی از روش‌ها مانند حداکثر درست‌نمایی<sup>(۱)</sup> برآورد شود. برای مدل اتورگرسیو میانگین متحرک درست‌نمایی گوسی<sup>(۲)</sup> به صورت زیر است (نیرومند ۱۳۷۶، بروکویل و دیویس ۱۹۹۶):

$$L(\phi, \theta, \sigma^2) = (2\pi\sigma_a^2)^{-\frac{n}{2}} (1 - \phi^2)^{0.5} \quad (12)$$

$$\exp\left(\frac{-1}{2\sigma_a^2} S(\phi, \mu)\right)$$

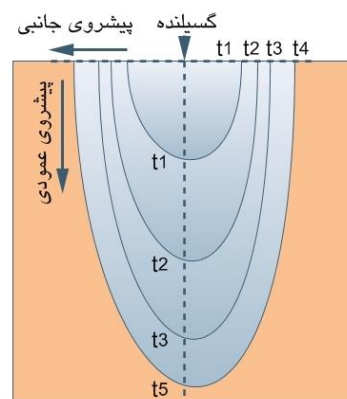
که در آن:

$$(13) \quad S(\phi, \mu) = \sum_{t=2}^n \left[ (Z_t - \mu) - \phi(Z_{t-1} - \mu) \right]^2 + (1 - \phi^2)(Z_1 - \mu)^2$$

است. کمیت‌های  $\hat{\mu}, \hat{\theta}, \hat{\phi}$  که لگاریتم معادله [۱۲] را حداکثر نماید به عنوان برآوردگرهای حداکثر درست‌نمایی تلقی شده و از حداقل نمودن  $S(\phi, \mu)$  حاصل می‌گردند. از

## آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی انجام شد. بافت خاک لوم و لوم رسی با هدایت الکتریکی ۴/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر بود. برای اجرای آزمایش، دبی جریان گسیلنده‌ها برابر ۴،۲ و ۸ لیتر در ساعت و نوع گسیلنده‌ها نقطه‌ای انتخاب شد. برای انجام آزمایش یک سامانه جریان با بار ثابت و فشار لازم برای کارکرد گسیلنده‌ها تامین شد. پس از برقراری جریان، دبی گسیلنده با یک استوانه مدرج با حجم مناسب و با یک زمان سنج اندازه‌گیری و کنترل شد. اندازه‌گیری پیشروی عمودی و جانبی رطوبت با نصب دو صفحه شیشه‌ای در یک برش سه گوش از خاک مزرعه در زمان‌های مختلف و با فواصل مساوی تا انتهای ۲۱۰ دقیقه بر روی شیشه رسم گردید (شکل ۱).



شکل (۱): الگوی خیس شدگی خاک توسط یک گسیلنده نقطه‌ای (از نگارنده).

برای برآورد حجم خاک خیس شده ( $V_s$ ) برحسب سانتی متر مکعب از رابطه زیر استفاده شد (اشپیگل ۱۹۶۸):

$$V_s = \frac{2\pi(LM)^2 VM}{3000} \quad (18)$$

که در آن  $LM$  و  $VM$  به ترتیب پیشروی جانبی و عمودی (به میلی‌متر) رطوبت در خاک است.

## نتایج و بحث

### حجم خاک خیس شده با یک گسیلنده نقطه‌ای

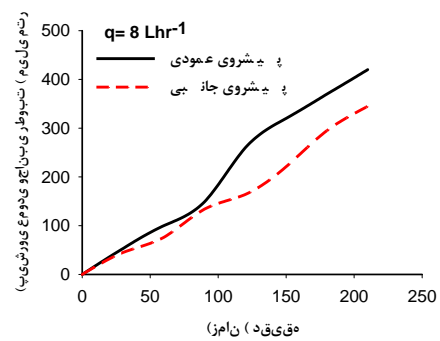
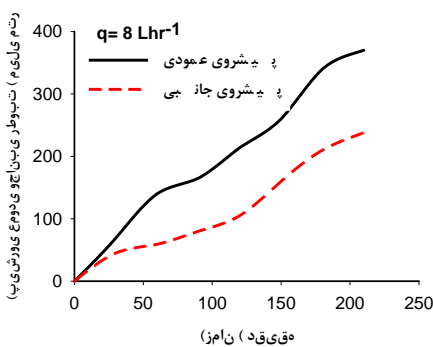
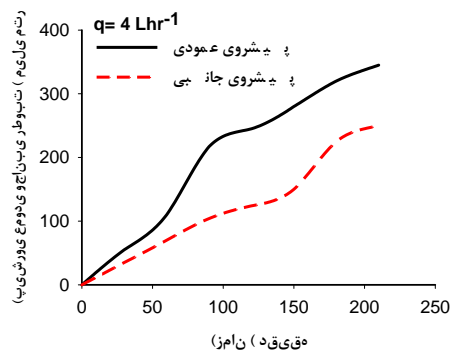
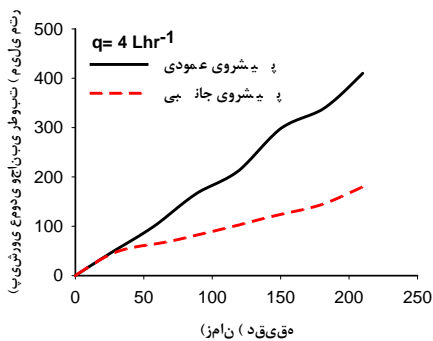
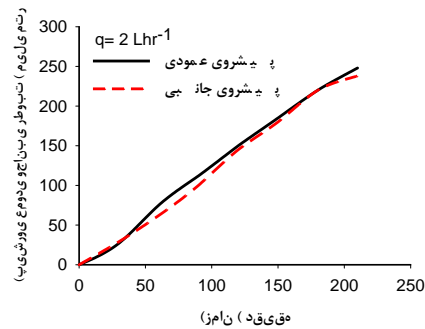
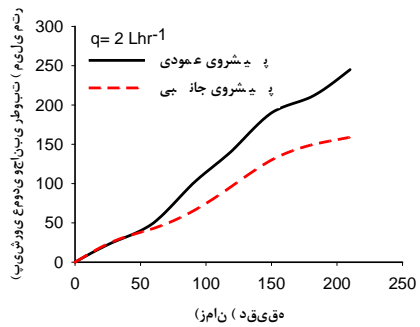
پیشروی عمودی و جانبی رطوبت خاک (به فاصله پنج دقیقه) تحت گسیلنده نقطه‌ای با دبی‌های ۴،۲ و ۸ لیتر بر ساعت در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد

میانگین پیشروی عمودی رطوبت در انتهای ۲۱۰ دقیقه با کاربرد دبی‌های ۴،۲ و ۸ لیتر بر ساعت به ترتیب برابر ۲۵، ۳۷ و ۳۹ سانتی‌متر بود. بنابراین، با افزایش جریان گسیلنده پیشروی عمودی رطوبت در خاک افزایش یافته است. به دلیل پیچیدگی فرآیند پیشروی جریان در خاک، دقیق سازی این روند افزایشی تنها با تکیه بر دبی جریان امکان پذیر نخواهد بود. میانگین پیشروی جانبی رطوبت در انتهای ۲۱۰ دقیقه با کاربرد دبی‌های ۴،۲ و ۸ لیتر بر ساعت برابر ۲۹ و ۲۲،۲۰ سانتی متر بود (شکل ۲). در این مورد نیز با افزایش جریان گسیلنده، پیشروی جانبی رطوبت خاک افزایش یافته است. پس می‌توان نتیجه گرفت با افزایش جریان گسیلنده، پیشروی عمودی و جانبی رطوبت در خاک افزایش یافته است. و این افزایش به طور عمده حالت واگرائی داشته و در یک زمان مشخص، پیشروی عمودی بیشتر از پیشروی جانبی بوده است.

حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای تحت جریان ۴،۲ و ۸ لیتر بر ساعت با استفاده از داده‌های پیشروی عمودی و جانبی رطوبت در خاک با رابطه (۱۸) برآورد و نتایج در زمان‌های مختلف با فاصله مساوی پنج دقیقه تا انتهای ۲۱۰ دقیقه در شکل ۳ ارائه شده است. میانگین حجم خاک خیس شده در انتهای ۲۱۰ دقیقه با کاربرد دبی‌های ۴،۲ و ۸ لیتر بر ساعت به ترتیب برابر ۲۱۰۰۰، ۳۶۰۰۰ و ۷۴۰۰۰ سانتی‌مترمکعب بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با افزایش جریان گسیلنده، حجم خاک خیس شده در خاک افزایش یافته است.

### الگوبندی سری زمانی حجم خاک خیس شده با یک گسیلنده نقطه‌ای

براساس داده‌های حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزء (PACF) تا تاخیرهای مجاز با استفاده از رابطه‌های (۲) تا (۴) محاسبه گردید (جدول ۱). نتایج نشان داد توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء به ترتیب تا تاخیر نه و اول معنی دار بودند. و ارزیابی اولیه نشان داد سری حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای در طول ۲۱۰ دقیقه روند نایستائی داشت. نایستائی حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای در میانگین و واریانس بود.



شکل (۲): پیشروی عمودی و جانبی رطوبت ناشی از دبی‌های مختلف. (شکل‌های سمت راست و چپ به ترتیب تکرارهای اول و دوم آزمایش می‌باشند).

جدول (۱): توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء برای سری داده‌های حجم خاک خیس شده (قبل از لگاریتمی و تفاضلی نمودن) با گسیلنده‌های نقطه‌ای تحت جریان ۲، ۴ و ۸ لیتر بر ساعت.

ACF						PACF					
۲		۴		۸		۲		۴		۸	
(لیتر بر ساعت)						(لیتر بر ساعت)					
تکرار		تکرار		تکرار		تکرار		تکرار		تکرار	
اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم
۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۳
۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۷۷	۰/۸۷	-۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴	-۰/۰۸	۰/۰۷
۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۸۱	-۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۶۰	۰/۰۳	۰/۰۰
۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۵۹	۰/۷۶	-۰/۰۸	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۰۸	۰/۰۰	-۰/۰۳
۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۷۰	-۰/۱	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۰۵
۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۶۴	-۰/۱۴	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۶
۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۳۹	۰/۵۷	-۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۷
۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۵۰	-۰/۰۷	-۰/۰۷	-۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۸
۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۲۸	۰/۴۳	-۰/۰۵	-۰/۰۷	-۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۷
۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۳۶	-۰/۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۶

ACF و PACF به ترتیب توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء می‌باشند.

رابطه‌های (۲) تا (۴) محاسبه گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد برای سری لگاریتمی و تفاضلی، توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء به ترتیب تا تاخیرهای دوم و اول معنی‌دار بودند (جدول ۲).

برای ایستا سازی سری داده‌ها با بهره‌گیری از رابطه (۱) از تبدیل لگاریتمی و یک‌بار تفاضلی استفاده شد. پس از ایستا نمودن سری داده‌ها، برای حجم خاک خیس شده ناشی از جریان‌های مختلف توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزء (PACF) تا تاخیرهای مجاز با استفاده از

جدول (۲): توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء برای سری داده‌های حجم خاک خیس شده (بعد از لگاریتمی و تفاضلی نمودن) با گسیلنده‌های نقطه‌ای تحت جریان ۲، ۴ و ۸ لیتر بر ساعت.

ACF						PACF					
۲		۴		۸		۲		۴		۸	
(لیتر بر ساعت)						(لیتر بر ساعت)					
تکرار		تکرار		تکرار		تکرار		تکرار		تکرار	
اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم
۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۵۷	۰/۳۳	۰/۷۷	۰/۴۵	۰/۶۴	۰/۴۷	۰/۵۷	۰/۳۳	۰/۷۷	۰/۴۵
۰/۳۵	۰/۲۴	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۵۹	۰/۲۳	-۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۱	-۰/۰۲	۰/۰۳
۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۴۶	۰/۰۸	-۰/۰۸	-۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۴	-۰/۰۵
۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۲۹	۰/۳۷	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۷	-۰/۱۶	-۰/۱۸	۰/۰۱	-۰/۰۸
۰/۱۴	-۰/۱۲	-۰/۰۵	۰/۳۰	۰/۳۰	-۰/۱۳	۰/۲۵	-۰/۰۹	-۰/۰۴	-۰/۱۶	۰/۰۱	-۰/۰۹
۰/۱۴	-۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۲۴	-۰/۱۹	-۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۰	-۰/۱۱
۰/۰۸	-۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۱۹	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۳
-۰/۱۵	-۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۱۵	-۰/۲۲	-۰/۳۲	-۰/۰۹	-۰/۰۹	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۱۳
-۰/۳۰	-۰/۲۱	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۱۱	-۰/۲۵	-۰/۰۴	-۰/۱۰	۰/۳۴	-۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۱۳
-۰/۳۵	-۰/۰۲	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۰۸	-۰/۲۵	-۰/۱۰	-۰/۱۶	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۰۱	-۰/۱۲

ACF و PACF به ترتیب توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء می‌باشند.

الگوهای مختلف سری زمانی با مقادیر از ۱ تا ۳ برای هر کدام از سهم‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک با کاربرد رابطه‌های (۵) تا (۱۱) آزمون شد. از بین الگوهای مختلف، ضرایب سهم‌های یادشده در حالت ARIMA (1,1,0) در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

علاوه بر آن، کاربرد رابطه‌های (۱۵) و (۱۶) کمترین مقدار معیار آگاهی آکائیک را برای این الگو به وجود آورد. بنابراین الگوی ARIMA (1,1,0) برای بیان سری زمانی حجم خاک خیس شده توسط گسیلنده‌های نقطه‌ای انتخاب شد. تحلیل آماری و ضرایب الگوهای سری زمانی داده‌های حجم خاک خیس شده در جدول ۳ ارائه شده است.



جدول (۳): ضرایب و آماره سنجش الگوی سری زمانی حجم خاک خیس شده بعد از لگاریتمی شدن.

دبی گسیلنده (لیتر بر ساعت)	الگوی سری زمانی	معیار آگاهی آکائیک	مقدار ضریب	خطای استاندارد ضریب	مقدار آماره t	سطح احتمال (کمتر از)
۲	ARIMA(1,1,0)	-۶۲	۰/۸۵۳	۰/۰۸	۱۱/۲	۰/۰۰۱
	ARIMA(1,1,0)	-۶۹	۰/۹۶۸	۰/۰۳	۳۳/۳	۰/۰۰۱
۴	ARIMA(1,1,0)	-۷۶	۰/۹۶۸	۰/۰۳	۳۲/۹	۰/۰۰۱
	ARIMA(1,1,0)	-۶۱	۰/۹۳۰	۰/۰۵	۱۹/۰	۰/۰۰۱
۸	ARIMA(1,1,0)	-۴۲	۰/۹۱۰	۰/۰۶	۱۵/۷	۰/۰۰۱
	ARIMA(1,1,0)	-۶۲	۰/۹۷۰	۰/۰۳	۳۸/۴	۰/۰۰۱

۱۳۸۹، طرازکار و صدق‌آمیز ۱۳۸۷، فتح آبادی و همکاران (۱۳۸۷) و دمای هوا (خردمند نیا و عساکره ۱۳۸۰، جهانبخش و باباپور ۱۳۸۲، جلالی و خنجر ۱۳۸۸، ویسی‌پور و همکاران ۱۳۸۹) و نفوذ آب در خاک (ناصری ۱۳۸۳) باشد. دلیل این تشابه از آنجا ناشی می‌شود که اولاً داده‌های سری حجم خاک خیس شده (و سری‌های هم‌رفتار مانند نفوذ آب در خاک، دمای هوا و تبخیر از تشت) دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌داری هستند و مقادیر سری در یک زمان مشخص به مقادیر سری در زمان ماقبل خود وابسته و همبسته می‌باشد. و همین ویژگی است که سهم الگوی اتورگرسیو را برجسته می‌نماید. در حالی که اگر همبستگی جزئی سری دارای مقایری معنی‌دار بود در آن صورت سهم میانگین متحرک الگو برجسته می‌نمود. ثانیاً تغییرات سری حجم خاک خیس شده (و سری‌های هم‌رفتار) در طول زمان اندازه‌گیری دارای روند بوده و برای الگوبندی این نوع سری‌ها باید روند سری را با تفاضلی نمودن تفکیک کرد و همین ویژگی سری داده‌هاست که الگوی ARIMA را به آن برانده می‌کند. از سوی دیگر با توجه به این‌که سن (۱۹۹۸) روش الگوبندی ARIMA را معتبرترین روش بررسی تغییرات اقلیمی معرفی نموده‌اند، بر پایه یافته این پژوهش می‌توان گفت که اعتبار این الگو برای تحلیل حجم خاک خیس شده نیز قابل تعمیم است.

#### پیش‌بینی سری زمانی حجم خاک خیس شده با یک گسیلنده نقطه‌ای

براساس الگوی سری زمانی انتخاب شده، حجم خاک خیس شده از ۲۱۰ تا ۳۰۰ دقیقه (برای ۹۰ دقیقه بعدی) پیش‌بینی گردید (شکل ۳). نتایج نشان داد میانگین حجم خاک خیس شده در انتهای ۳۰۰ دقیقه با کاربرد دبی‌های

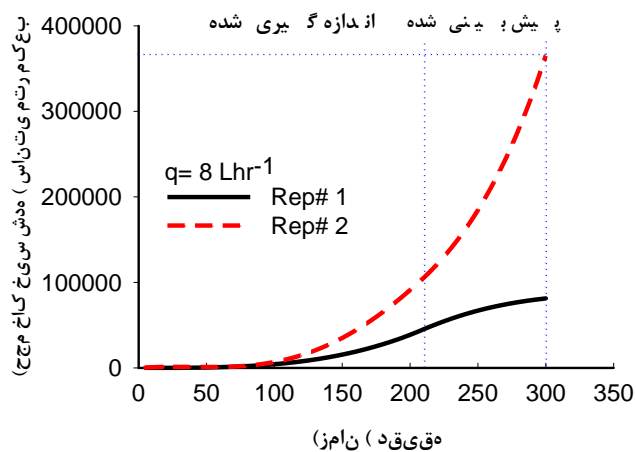
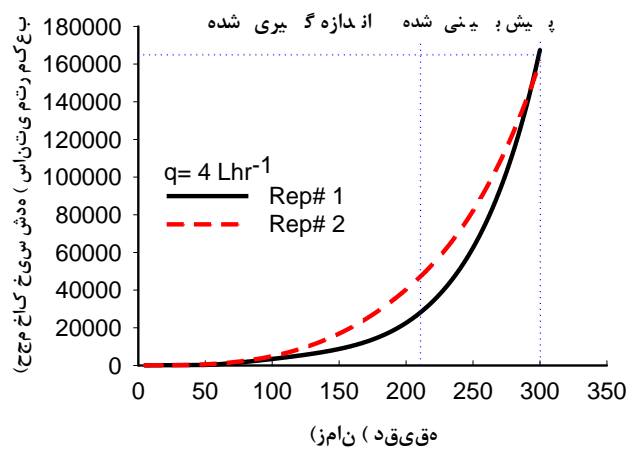
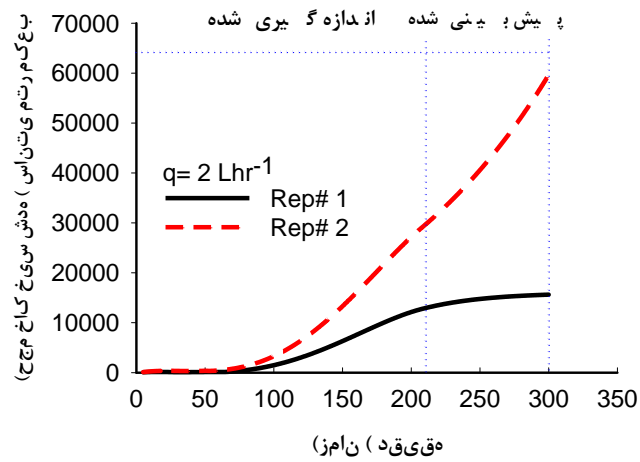
مقادیر ضریب الگوها با استفاده از رابطه‌های (۱۱) تا (۱۴) به دست آمد. مقدار ضریب الگوهای جدول ۳ بین ۰/۸۵۳ تا ۰/۹۷۰ متغیر بوده و میانگین آن برابر ۰/۹۳ بود. با توجه به ماهیت پیچیده توزیع آب در خاک، این ضریب را نمی‌توان تنها براساس متغیر مستقل دبی گسیلنده الگوبندی نمود. با توجه به رفتار الگوهای سری زمانی و فرآیند شکل‌گیری پیاز رطوبتی می‌توان گفت ضریب الگوهای سری زمانی تابع مقادیر قبل و اولیه حجم خاک خیس شده بوده است.

الگوبندی سری زمانی یک روش تکراری است که با شناسایی الگوها و برآورد پارامترها آغاز شده و پس از آن لازم است درستی تشخیص الگوها بررسی شود. با توجه به این‌که سری باقیمانده‌ها نتیجه برآورد پارامترهای الگو است. بنابراین بررسی درستی تشخیص الگو با تحلیل سری باقیمانده‌های حاصل از گاربرد رابطه (۱۷) صورت می‌گیرد. تغییرات باقیمانده‌ها روند خاصی را نشان نداد. برای بررسی تصادفی بودن باقیمانده‌ها، مقادیر ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء باقیمانده‌ها برآورد شد (به دلیل حجم زیاد داده‌ها و محدودیت تعداد صفحه‌های مقاله، نتایج ارائه نشده است). مقادیر ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزء باقیمانده‌ها روند مشخصی نداشته و از نظر آماری در هیچ تاخیری معنی‌دار نبود. بنابراین می‌توان گفت تغییرات باقیمانده‌ها تصادفی بوده و الگوی انتخاب شده ARIMA(1,1,0) مناسب بوده است. در نتیجه با پذیرش الگوی یادشده، می‌توان تغییرات حجم خاک خیس شده در زمان‌های بعدی را پیش‌بینی نمود.

به نظر می‌رسد رفتار سری‌های حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه‌ای مشابه رفتار سری‌های تبخیر از تشت (قهرمانی و قره‌خانی ۱۳۹۰)، شاخص خشکسالی SPI (سلاجقه و همکاران ۱۳۸۷)، دبی رودخانه (رحیمی و غیور

نگهداری آب در خاک و نیاز آبی گیاه می توان برای تعیین دور آبیاری محصولات ردیفی استفاده نمود (ناصری و همکاران ۱۳۹۰).

۲، ۴ و ۸ لیتر بر ساعت به ترتیب برابر ۳۸۰۰۰، ۱۶۴۰۰۰ و ۲۲۳۰۰۰ سانتی مترمکعب خواهد بود. از نتایج این گونه پیش بینی ها و بر مبنای کمبود رطوبت مجاز، طرفیت



شکل (۳): مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده حجم خاک خیس شده با گسیلنده نقطه ای تحت جریان های مختلف.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

رطوبت مجاز، ظرفیت نگهداری آب در خاک و نیاز آبی گیاه می‌توان برای تعیین دور آبیاری محصولات ردیفی استفاده نمود.

ه) پیشنهاد می‌شود برای الگوبندی و پیش‌بینی حجم خاک خیس‌شده از الگوی  $ARIMA(1,1,0)$  استفاده شود. (و) برای توسعه و گسترش دامنه کاربرد الگوی سری زمانی حجم خاک خیس‌شده پیشنهاد می‌شود در خاک‌های با بافت‌های مختلف آزمایش‌ها و تحلیل‌های مشابه صورت گرفته و کاربرد فن و الگوی پیشنهاد شده ارزیابی گردد.

## تقدیر و تشکر

نویسنده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی به خاطر تامین بخشی از مواد آزمایشی و از آقای مهندس سعید نخجوانی برای همکاری‌های ایشان قدردانی می‌کند.

الگوبندی و پیش‌بینی حجم خاک خیس‌شده با گسیلنده نقطه‌ای با کاربرد تحلیل سری‌های زمانی نتایج زیر را مشخص نمود:

الف) با افزایش جریان گسیلنده، پیشروی عمودی و جانبی رطوبت و حجم خاک خیس‌شده در خاک افزایش یافته است.

ب) سری حجم خاک خیس‌شده با گسیلنده نقطه‌ای در طول ۲۱۰ دقیقه روند ناپیوسته داشت. برای ایستاسازی سری داده‌ها از عمل لگاریتمی نمودن و یک‌بار تفاضلی استفاده شد.

ج) الگوی  $ARIMA(1,1,0)$  برای بیان سری زمانی حجم خاک خیس‌شده توسط گسیلنده‌های نقطه‌ای انتخاب شد.

د) براساس الگوی سری زمانی انتخاب شده، حجم خاک خیس‌شده از ۲۱۰ تا ۳۰۰ دقیقه (برای ۹۰ دقیقه بعدی) پیش‌بینی گردید. از نتایج پیش‌بینی‌ها و بر مبنای کمبود

## منابع

۱. آشگرطوسی، ش. ۱۳۸۴. الگوسازی و پیش‌بینی بارندگی های فصلی با مدلسازی SARIMA (مطالعه موردی: استان خراسان). مجله تحقیقات منابع آب، سال اول، شماره ۳. صفحه‌های ۵۳ تا ۶۱.
۲. بختیاری، ب. ۱۳۸۲. نگرش تحلیلی بر تغییر اقلیم بارندگی در دمای شهر کرمان. سومین کنفرانس تغییر اقلیم. دانشگاه اصفهان
۳. برهان، ا. ۱۳۵۴. اصول و طراحی آبیاری قطره‌ای (ترجمه). انتشارات آفتاب. تهران
۴. بیگلری، ب. ن. و م. سامانی. ۱۳۸۲. بررسی سری زمانی بارش- رواناب سطح و مطالعات زمان تاخیر در حوضه آبریز بازفت. هفتمین همایش زمین شناسی ایران. دانشگاه اصفهان.
۵. ترابی، س. ۱۳۸۰. بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران. پایان نامه دکتری جغرافیای طبیعی. دانشکده علوم انسانی واجتماعی. دانشگاه تبریز.
۶. جلالی، ا. و س. خنجر. ۱۳۸۸. بررسی نوسانات دمائی با استفاده از مدل سری‌های زمانی و توزیع احتمالاتی، مطالعه مورد شهرستان کرمانشاه. مجله فضای جغرافیائی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. جلد ۹، شماره ۲۷. صفحه‌های ۱۱۵ تا ۱۳۲.
۷. جلیلی، ش. س. مرید، ا. بناکار و ر. نامدار قنبری. ۱۳۹۰. ارزیابی تاثیر شاخص های اقلیمی NAO و SOI بر تغییرات تراز دریاچه ارومیه، کاربرد روش‌های آنالیز طیفی سری‌های زمانی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ۱. صفحه‌های ۱۴۰ تا ۱۴۹.
۸. جهانبخش، س. و ن. باباپور. ۱۳۸۲. بررسی و پیش‌بینی متوسط دما با استفاده از مدل ARIMA، فصلنامه تحقیقات جغرافیائی شماره ۷۰. صفحه‌های ۱۱۸۸۷ تا ۱۱۸۹۸.
۹. چیت‌سازان، م. س. ی. میرزائی و ر. چینی پرداز. ۱۳۸۶. منطقه‌بندی آبخوان شهرکرد با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی. مجله علوم. دانشگاه شهید چمران اهواز. قسمت ب. صفحه‌های ۱ تا ۱۵.
۱۰. خردمندیا، م. و ح. عساکره. ۱۳۸۰. الگوسازی ARIMA برای متوسط دمای سالانه هوا در جاسک. سومین سمینار احتمال و فرآیندهای تصادفی. دانشگاه اصفهان.

۱۱. خورشیددوست، ع.م.، ر. صنیعی و ی. قویدل رحیمی. ۱۳۸۸. پیش بینی دماهای کرانگین اصفهان با استفاده از روش سری‌های زمانی. مجله فضای جغرافیائی. دانشگاه آزاد اسلامی اهر. جلد ۹، شماره ۲۶. صفحه‌های ۳۱ تا ۴۸.
۱۲. رئیسی، ع. ۱۳۸۰. استفاده از روش های استوکستیک در مطالعه تغییرات آب و هوایی جنوب ایران. دومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
۱۳. رحمانی، ع.ر. و م. سدهی. ۱۳۸۳. پیش بینی تغییرات سطح آب زیر زمینی دشت همدان- بهار با مدل سری‌های زمانی. مجله آب و فاضلاب. جلد ۱۵ شماره ۳ صفحه‌های ۴۲ تا ۴۹.
۱۴. رحیمی، د. و ح. غیور. ۱۳۸۹. تحلیل دبی رودخانه کارون با تبدیل باکس-کاکس و سری‌های زمانی. مجله تحقیقات جغرافیایی، جلد ۲۵، شماره ۴. صفحه‌های ۱۳۵ تا ۱۵۱.
۱۵. زاهدی، م. و ی. قویدل رحیمی. ۱۳۸۱. شناخت، طبقه بندی و پیش‌بینی خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل سری زمانی هالت- وینترز. فضای جغرافیائی. جلد ۶. صفح های ۱۹ تا ۴۸.
۱۶. سلاجقه، ع.، او فتح آبادی و نجفی حاجی ور. ۱۳۸۷. مقایسه شبکه عصبی و سری‌های زمانی در پیش بینی خشکسالی (مطالعه موردی استان خراسان رضوی). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. جلد ۲، شماره ۴. صفحه‌های ۷۴ تا ۷۷.
۱۷. سلطانی، س. و ر. مدرس. ۱۳۸۵. پیش بینی مقادیر SPI با استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی. نخستین همایش منطقه ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود.
۱۸. شریفیان، ح. و ب. قهرمان. ۱۳۸۶. ارزیابی پیش‌بینی باران با بکارگیری تکنیک در استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۴، شماره ۳. صفحه های ۱۹ تا ۲۵.
۱۹. شیر غلامی، ه. و ب. قهرمان. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال نهم. جلد ۹، شماره اول صفحه‌های ۸ تا ۲۳.
۲۰. طاهری، م. ۱۳۷۷. مدل‌بندی میزان دما و بارش ۱۱ ایستگاه هواشناسی ایران و پیش‌بینی تا پایان سال ۲۰۰۰. تهران. سازمان هواشناسی کشور
۲۱. طرازکار، م.ح. و ع. صدق‌آمیز. ۱۳۸۷. مقایسه پیش بینی دبی جریان رودخانه کرخه با استفاده از روش‌های سری زمانی و هوش مصنوعی. مجله پژوهش و سازندگی. جلد ۲۱، شماره ۳. صفحه‌های ۵۱ تا ۵۸.
۲۲. عزیز، ق. و ع.ا. روشن. ۱۳۸۴. بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و امکان پیش‌بینی آنها با استفاده از مدل سری زمانی هالت وینترز در استان هرمزگان، فصلنامه تحقیقات جغرافیائی، جلد ۷۹: صفحه‌های ۱۳۴۴۱ تا ۱۳۴۵۶.
۲۳. علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
۲۴. فتح آبادی، ا.، ع. سلاجقه و م. مهدوی. ۱۳۸۷. پیش بینی دبی رودخانه با استفاده از روش‌های نوروفازی و مدل‌های سری‌های زمانی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. جلد ۲، شماره ۵. صفحه‌های ۲۱ تا ۳۰.
۲۵. قهرمان، ن. و ا. قره‌خانی. ۱۳۹۰. ارزیابی الگوهای تصادفی سری زمانی در برآورد تبخیر از تشت (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز). مجله پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۵، شماره ۱. صفحه های ۷۵-۸۱.
۲۶. ناصری، ا.، ح. بابازاده و س. نخجوانی. ۱۳۹۰. انتخاب مناسب‌ترین دبی گسیلنده با تحلیل توزیع رطوبت از یک گسیلنده نقطه‌ای. مجله حفاظت منابع آب و خاک. شماره ۱. صفحه‌های ۲۹-۴۳.
۲۷. ناصری، ا. ۱۳۸۳. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی نفوذ و توزیع زمانی مکانی جریان سطحی در آبیاری جویچه‌ای. پایان‌نامه دکتری علوم و مهندسی آبیاری. دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
۲۸. نخعی، م. و ع. میر عربی. ۱۳۸۹. پیش بینی سیلاب از طریق داده‌های سری زمانی دبی رودخانه سومبار با استفاده از مدل باکس-جنکینز. نشریه زمین شناسی مهندسی. شماره ۴، جلد ۱. صفحه‌های ۹۰۱ تا ۹۱۰.
۲۹. نیرومند، ح. ۱۳۷۶. تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک متغیری و چند متغیری (ترجمه). دانشگاه فردوسی مشهد.
۳۰. هاشمی، ر. و م. جهانشاهی. ۱۳۸۴. تحلیل و پیش‌بینی بارندگی ماهانه و سالانه در منطقه تربت حیدریه خراسان. پنجمین سمینار احتمال و فرآیند های تصادفی. بیرجند.

۳۱. ویسی پور، ح.، ج.ف. معصوم پور سماکش، ب. صحنه و ی. یوسفی. ۱۳۸۹. تحلیل پیش بینی روند بارش و دما با استفاده از مدل‌های سری‌های زمانی (ARIMA) نمونه موردی: شهرستان کرمانشاه. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. جلد ۲، شماره ۸. صفحه‌های ۲۱ تا ۳۰.

32. Ahn, H. 2000. Modeling of groundwater heads based on second order difference time series modelings. *J. Hydrology* 234: 82-94.
33. Angelakis, A.N., D.E. Rolston, T.N. Kadir and V.H. Scott. 1993. Soil-water distribution under trickle source. *Journal of irrigation and Drianage, ASCE*. 119(3):484-500.
34. Anthony, C.A. and N. Juddy. 2004. The influence of climate variability and climate change on agricultural production in Nigeria. *EMS annual Meeting abstracts*, 1: 449-449
35. Box GEP and Cox DR, 1964. An analysis of transformation. *Roy. Stat.Soc.,Se.26*:211-252.
36. Brandt, A., E.E. Bresler, N. Diner, I. Ben-asher, J. Heller and D. Goldberg. 1971. Infiltration from a tricklr source: I. Mathematical models. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 675-682.
37. Breseler, E., G. Heller, N. Diner, I. Ben-Asher, A. Brandtand and D. Goldberg. 1971. Infiltration from a trickle source: II Experimental data and theoretical predictions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*35:683-689.
38. Brightte, E.J. and M.J. Hendry. 2003. Application of harmonic analysis of water levels to determine vertical hydraulic conductivity. *Groundwater*, 41(40): 514-522
39. Brockwell, P.J. and R.A. Davis. 1996. *Introduction to time series and forecasting*. Springer-Verlag, New York, Inc.
40. Burlando, P., A. Montana and R. Raze. 1996. Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and liner models, *Atmospheric Research*, 42: 199-216.
41. Castellano-Mendez, M., W. Gonzalez-Manteiga, M. Febrcro- Bende, J.M., Prada-Sanchez and R. Lozano-Calderon. 2004. Modeling of monthly and daily behavior of the run off the Xallas river using Box-Jenkins and Neural networks methods, *Journal of Hydrology*. 296: 38-58.
42. Chatfield, C. 1996. *the analysisi of time series: an introduction*. 5th edition. Chapman and Hall. UK.
43. Chow, V.T. and S.J. Kareliotis. 1970. Analysis of stochastic hydrologic systems. *Water Resources Research*. 16: 1569-1582.
44. Leite, S. and J. Peixoto. 1996. The autoregressive model climatologically time series an application to the longest time series in Portugal. *International Journal of Climatology*. 16: 1165-1173
45. Nakayama, F. and D.A. Bucks. 1986. *Trickle irrigation for crop production*. Elsevier Science Publishers. 383p.
46. Padilla, A., A. Puldo-Bosch, M. Cavache and A. Vallejos. 1996. The ARMA model applied to the flow of Karst Spring. *Water Resources Bulletin*. 32:917-928.
47. Philip, J.R. 1971. General theorem on steady infiltration from surface sources with application to point and line sources. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 709-714.
48. Quimpo, R.G. 1968. Autocorrelation and spectral analysis in hydrology. *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 94(2): 363-373
49. Raats PAC. 1971. Steady infiltration from point sources, cavities and basins. *Soil Sci. Am. Proc.* 35: 689-694.
50. Revol, Ph., B.E. Clothier, B. Lesaffre and G. Vachaud. 1995. An approximate time-dependent solution for point-source infiltration. *Proceeding of the fifth international microirrigation congress: Microirrigation for a change world: Conserving Resouces/Preserving the Enviromental*, Ed.:Lamma,F. R.April 2-6 .Florida. 603-609.
51. Salas, J.D., J.W. Delleur, V.M. Yevjevich and W.L. Lane. 1980. *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resources publications. Littleton, Co.
52. Samani, N., E. Raeissi and A. Soltani. 1994. Modeling the stochastic behavior of the Fars river. *J. Science. IRI*. 5 ( 1& 2): 49-58
53. Samani, N. 2001. Response of karest aquifer to rainfall and evaporation, Maharlu basin, Iran. *Journal of Cave and Karest Studies*, 63: 23-40.
54. Sen, Z. 1998. Small sample estimation of the time average in climate time series. *International Journal of Climatology*. 18; 1725-1732
55. Spiegel, M.H. 1968. *Mathematical Handbook of Formulas and Tables*. Schaum's Outline Series. McGraw-Hill Book Company, 271p

56. Taghavi, S.A., M.A. Marino MA and Rolston DE, 1984. Infiltration from a trickle source. J. Irrig. And Drain. , ASCE, 110(4):331-341
57. Turkes, M. and M. Sutku. 1996. Observed change temperature in turkey. International Journal of climatology. 1: 456- 466
58. Vangeer, F.C. 1996. An estimation of Box Jenkins transfer noise models for spatial interpolation of ground water head series: Journal of Hydrology, 192: 65-80
59. Vellidis, G. and A.G. Smajstrla. 1992. Modeling soil water redistribution and extraction patterns of drip-irrigated tomatoes above a shallow water table. Transaction of the ASAE,35(1):183-191.
60. Warrick, A., W. Lomen & D.O. Amoozegar-fard. 1980. Linearized moisture flow with root extraction for three dimensional steady conditions. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:911-914.
61. Yitayew, M. and A. Alikhan. 1995. Field evaluation of water and solute movement from a point source. Proceeding of the fifth international microirrigation congress: Microirrigation for a change world: Conserving Resouces/Preserving the Enviromental, Ed: Lamma, F. R. April 2-6 .Florida. 609-614.
62. Zachmann, D.W. and A.W. Thomas. 1973. A mathematical investigation of steady infiltration from line sources. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37:495-500.
63. Zur, B. 1996. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. Irrigation Science. 16: 101-105.

## Time Series Application to Model and Forecast Wetted Soil Volume from a Point Source Emitter

Abolfazl Nasserri

### Abstract

The wetted soil volume (WSV) is the most important principle in drip irrigation designing which is applied to determine irrigation intervals of raw crops. Therefore and based on time series techniques ability in modeling and forecasting of hydrological phenomena, a set experiments were conducted at East Azarbaijan Research Center for Agriculture and Natural Resources, Tabriz, Iran with the aim of time series modeling and forecasting of WSV from a point source. The point source discharges were selected as 2, 4 and 8 Lh<sup>-1</sup> and WSV were estimated based on vertical and horizontal advance of moisture. Also, wetted soil volumes were estimated for several times. Results showed that WSV had non-stationary behavior during 210 min. Differencing natural logarithm of WSV data were applied to make stationary behavior for WES data. Accordingly, to describe WSV from point sources, ARIMA (1, 1, 0) was recognized as a suitable time series model. Based on achieved model, WSV series were forecasted as 38, 164 and 223×1000 cm<sup>3</sup> for the next 90 min (from 210 to 300 min). It is recommended that ARIMA (1,1,0) can be applied to model and forecast wetted soil volume in similar soil condition.

**Keywords:** Drip irrigation, Point source, Time series, Wetted soil volum.