

پیش‌بینی میزان بارندگی شهرستان شوشتر و حومه با توجه به تاب‌آوری تولیدات کشاورزی جهت مدیریت تنش آبی از طریق مدل SARIMA

سید احسان ظهوری^{۱*}، احسان دری‌کوندا^۲، هادی چم‌حیدر^۳

۱- استادیار گروه مدیریت دولتی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۳- استادیار گروه علوم خاک، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

چکیده

پیش‌بینی دقیق بارش جهت ارتقای تاب‌آوری کشاورزی در مناطق خشک امری حیاتی محسوب می‌گردد. این مطالعه با هدف پیش‌بینی بارش ماهانه شهرستان شوشتر و حومه در استان خوزستان، انجام گرفته است. پس از تأیید پایایی داده‌های سری زمانی از فروردین‌ماه ۱۳۹۸ تا آذرماه ۱۴۰۴، مدل $(1+0.1) SARIMA(1+0.1)$ با ضریب تعیین تعدیل‌شده ۰/۶۵ انتخاب شد. پیش‌بینی ۱۲ ماهه نشان‌دهنده تمرکز بارش در زمستان و پدیده فصل خشک در تابستان است. براساس سناریوی خشکسالی ۱۶۵/۳ میلی‌متر، محصولات پرآبی نظیر نیشکر و برنج در معرض تهدیدند. لذا اصلاح الگوی کشت، نوسازی آبیاری، تغذیه متعادل با کودهای آلی و پتاس بالا، مالچ‌پاشی و پایش EC خاک جهت مقابله با تنش‌های آبی و شوری الزامی است. این اقدامات در کنار انتخاب زمان مناسب کاشت، نقشی کلیدی در حفظ عملکرد محصول در شرایط بحرانی دارد.

واژه‌های کلیدی

پیش‌بینی، تنش آبی، محصول، مدیریت.

مقدمه

پیش‌بینی در بخش کشاورزی و هواشناسی امروز نقش اساسی در افزایش تاب‌آوری کشاورزی در مقابل تغییرات اقلیمی دارند؛ با بهره‌گیری از فناوری‌های نو مانند تحلیل داده‌ها، این خدمات امکان پیش‌بینی دقیق فصل زراعی، رطوبت خاک، خشکسالی یا ریزگردها را فراهم می‌کنند که به کشاورزان کمک می‌کند برنامه‌ریزی کاشت و آبیاری را بهینه کنند، مصرف منابع را کاهش دهند و بازده اقتصادی و امنیت غذایی را افزایش دهند [۱]. ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خود در کمربند مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد، که این امر آن را به طور طبیعی با کمبود بارندگی مواجه ساخته است [۲]. این شرایط اقلیمی، همراه با عواملی مانند کشاورزی ناکارآمد، رشد سریع جمعیت، و سوءمدیریت منابع آبی، منجر به تشدید بحران آب و تنش آبی شدید در کشور شده است. برای برون‌رفت از این چالش‌ها، علاوه بر مدیریت ریسک خشکسالی، بر افزایش بهره‌وری آب در بخش‌های مختلف، به‌ویژه کشاورزی، و همچنین استفاده از روش‌های جایگزین مانند شیرین‌سازی آب‌های شور تأکید می‌شود. بخش کشاورزی در ایران بیشترین مصرف‌کننده آب شیرین کشور محسوب می‌شود، به طوری که سهم آن بین ۸۵ تا ۹۰ درصد از کل مصارف آبی تخمین زده شده است. این در حالی است که در بسیاری از کشورهای پیشرفته، سهم مصرف آب کشاورزی به مراتب کمتر است. حجم بالای مصرف در این بخش، به دلیل غلبه روش‌های آبیاری سنتی و بی‌توجهی به پتانسیل‌های اقلیمی و منابع آب در توسعه زمین‌های کشاورزی، فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده و سبب برداشت بی‌رویه و نابودی آبخوان‌ها شده است [۳]. بنابراین، تغییر رویکرد از بهره‌وری زمین به

بهره‌وری آب و اصلاح الگوهای کشت متناسب با مزیت‌های اقلیمی، به عنوان یک راهکار اساسی در سیاست‌گذاری‌های کلان مطرح است. بخش کشاورزی که بزرگترین مصرف‌کننده آب در خوزستان است و تقریباً صد در صد تولید محصولات آن وابسته به کشت آبی است، مستقیماً تحت تأثیر نوسانات بارندگی قرار می‌گیرد. در سال‌های خشکسالی و کاهش شدید بارندگی در حوضه‌های آبریز بالادست (که می‌تواند تا ۴۰ درصد کاهش یابد)، آورد آب رودخانه‌ها و ذخایر سدها به شدت کاهش می‌یابد. این کمبود منجر به افزایش نیاز آبی تکمیلی در مزارع آبی، ایجاد تنش آبی شدید برای محصولات اصلی مانند نیشکر و غلات، و اجبار به محدودیت یا ممنوعیت کشت محصولات پرآب مانند برنج (شلتوک) می‌شود. همچنین، کاهش بارندگی خسارات جبران‌ناپذیری به محصولات دیم (باران‌زا) وارد می‌کند، زیرا این اراضی مستقیماً به بارش مؤثر وابسته هستند. به طور خلاصه، کاهش بارندگی به معنای افزایش فشار بر منابع آبی تخصیص‌یافته به کشاورزی و در نتیجه کاهش بهره‌وری و زیان اقتصادی است [۴]. در داخل و خارج از کشور مطالعات متعددی که از نظر روش تحقیق نزدیک به مطالعه حاضر بوده است انجام شده است. در تحقیق میدانی انجام شده توسط عبدالله‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) عملکرد مدل‌های مختلف سری زمانی را برای پیش‌بینی مجموع بارندگی ماهانه در ایستگاه هاشم‌آباد گرگان طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۲ مطالعه میدانی انجام شده و نشان می‌دهد مدل $SARIMA(3,1,2)(0,1,2)_{12}$ با شبیه‌سازی بهتر روند سری زمانی و خطای کمتر، بهترین عملکرد را در میان مدل‌ها داشته است؛ این مدل با تحلیل

باقیمانده‌ها و خطاهای پیش‌بینی، شناسایی و بهینه‌سازی شده است [۵].

مطالعه خان و همکاران^۲ (۲۰۱۸) در هندوستان، دقت مدل‌های ARIMA (غیرفصلی) را برای پیش‌بینی بارندگی‌های سالانه و فصلی مناطق مختلف با اهداف کشاورزی و مدیریت خشکسالی مورد ارزیابی قرار داد. آنها به این نتیجه رسیدند که اگر چه مدل‌های ARIMA در پیش‌بینی روند کلی بارندگی سالانه نتایج قابل قبولی ارائه دادند، اما در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و فصلی با دقت کمتری مواجه بودند. این یافته بر اهمیت به‌کارگیری مدل‌های پیشرفته‌تر مانند SARIMA یا تلفیق مدل‌های ARIMA با مدل‌های دیگر برای ثبت بهتر نوسانات فصلی تأکید می‌کند [۶]. جیا و همکاران^۳ (۲۰۱۳) پژوهشی در چین برای مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه با هدف بهبود مدیریت منابع آب انجام دادند. محققان مدل‌های SARIMA را به دلیل توانایی آنها در ثبت ویژگی‌های روند، وابستگی‌های کوتاه‌مدت و الگوهای تکرار شونده فصلی در داده‌های هیدرولوژیکی انتخاب کردند. نتایج تحلیل نشان داد که مدل SARIMA، پس از اعمال تست‌های ایستایی و تفاضل‌گیری مناسب، توانست جریان رودخانه را با دقت بالایی پیش‌بینی کند و یک ابزار مؤثر و قابل اعتماد برای برنامه‌ریزی بلندمدت منابع آبی فراهم آورد [۷]. در مطالعه الکساندر و همکاران^۴ (۲۰۰۴) پتانسیل مدل‌های SARIMA (میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون فصلی) برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه در مناطق نیمه‌خشک ایالات متحده بررسی شده است. این محققان نشان دادند که مدل‌های SARIMA می‌توانند الگوهای فصلی قوی موجود

در داده‌های بارندگی را به خوبی ثبت و پیش‌بینی کنند، به‌ویژه هنگامی که دوره فصلی به درستی مشخص شده باشد. نتایج حاکی از آن بود که عملکرد مدل‌های SARIMA به طور قابل ملاحظه‌ای بهتر از مدل‌های ساده ARIMA (غیرفصلی) و سایر مدل‌های خطی بود، که نشان‌دهنده اهمیت لحاظ کردن مؤلفه فصلی در سری‌های زمانی بارندگی است [۸]. پالمر و همکاران^۵ (۲۰۰۱) از مدل‌های SARMA (میانگین متحرک خودرگرسیون فصلی) برای پیش‌بینی ورودی آب به مخازن سدها در اسپانیا استفاده کردند. هدف این تحقیق ارائه پیش‌بینی‌های دقیق برای بهینه‌سازی تولید برق آبی و تخصیص آب بود. آنها دریافتند که مدل‌های SARMA، که صرفاً بر روی مؤلفه‌های فصلی و تصادفی متمرکز بودند، در مقایسه با روش‌های ساده‌تر، نتایج پیش‌بینی بسیار بهتری را ارائه کردند. این موفقیت عمدتاً به دلیل توانایی SARMA در مدل‌سازی وابستگی‌های تکراری و ماهانه در سری‌های ورودی آب بود [۹].

شهرستان شوشتر با اقلیم گرم و نسبتاً مرطوب در تابستان با زمستان‌هایی معتدل، در حاشیه رود کارون و در دامنه‌های شرقی زاگرس واقع شده است و از لحاظ جغرافیایی یکی از نقاط آبی و نسبتاً حاصلخیز استان محسوب می‌شود. به‌طور عملی امروزه بخش قابل‌توجهی از اراضی شوشتر آبی و دیم زیر کشت است. در این میان نوسانات بارش‌های سالانه نقش بسزایی خصوصاً در تولید محصولات آبی دارد که تنش آبی در بازدهی آنها مؤثر است. طبق نمودار (۱) ماههایی که برای برآزش و پیش‌بینی در مطالعه حاضر ثبت شده است فروردین ماه ۱۳۹۸ تا آذرماه

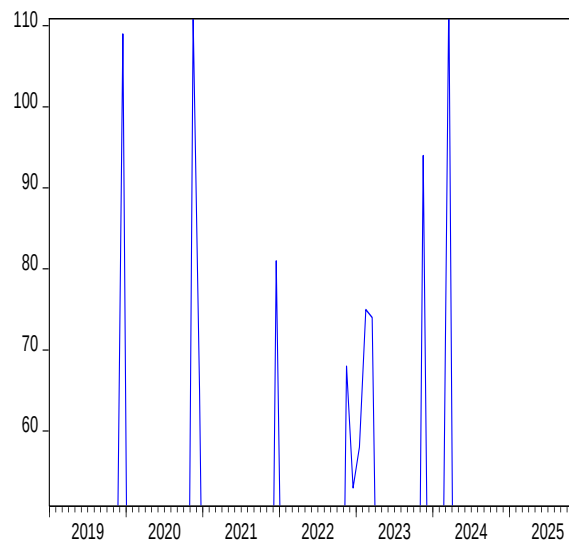
^۴ - Alexander, et al.

^۵ -Palmer, et al.

2 - Khan, et al.

3 - Jia, et al.

۱۴۰۴ را دربرگرفته که از پایگاه داده های میدانی اداره هواشناسی استان خوزستان دریافت شده است.



نمودار (۱): نوسانات بارندگی در شهرستان شوشتر و حومه از فروردین ماه ۱۳۹۸ تا آذرماه ۱۴۰۴

مواد و روشها

اساسی ترین هدف در تحلیل سری های زمانی، مدل بندی تغییرات مشاهده شده و سپس استفاده از این مدل برای پیش بینی مقادیر آینده یا همان برآورد مشاهدات مجهول است. با توجه به اینکه باور غالب آن است که بسیاری از متغیرهای سری زمانی در اقتصاد پایا نیستند، از اینرو قبل از استفاده از این دو متغیر باید نسبت به پایایی آنها اطمینان حاصل کرد. برای آزمون پایایی ابتدا فرض را بر مرتبه اول بودن سری زمانی قرار می گیرد، ولی در صورتی که سری زمانی دارای فرایند خود توضیح مرتبه بالاتر باشد، باعث خودهمبستگی جملات اخلاص می گردد. این امر باعث می گردد که نتوان از آزمون دیکی فولر استفاده کرد و از الگوی تعمیم یافته آن معمولاً در آزمونها استفاده می گردد که توزیع حدی و کمیت های

بحرانی در آن باز هم صادق است [۱۰] با درنظر گرفتن رابطه معادله مربوط به سری زمانی:

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma \cdot y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t$$

معنی دار بودن جزء عرض از مبدأ و روند برای آزمون پایایی به ترتیب مورد ملاحظه قرار می گیرند. درچنین فرایند خودتوضیحی، انتخاب طول وقفه مناسب برای انجام آزمون حائز اهمیت است [۱۱].

برای پیش بینی داده های سری زمانی و تعیین مدل مناسب، روش های متعددی وجود دارد. در برخی پژوهش ها، از روش SARIMA (میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون فصلی)^۶ استفاده می شود که از بهترین ها در تحلیل و پیش بینی محسوب می شود. مزیت این روش علاوه بر عامل روند، به تغییرات فصلی و تصادفی نیز توجه می کند. شرط استفاده این روش تنها برای سری های زمانی مانا (ایستا) قابل استفاده است. این مدل در واقع تعمیم مدل ARIMA است که تحت شرایط فصلی بودن در داده ها (مثل داده های بارندگی ماهانه شما) توسعه یافته است. این مدل با نه پارامتر مشخص می شود SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)s که در آن:

- بخش غیرفصلی (p,d,q)
- بخش فصلی (P,D,Q)s
- طول دوره فصلی مثلاً s=12 برای داده های ماهانه است [۱۲].

در طی بررسی بخش فصلی و غیرفصلی یک متغیر (بارندگی) توابع خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی نیز کاربرد دارد. تابع خودهمبستگی بطور عمومی به خودهمبستگی یا همبستگی یک متغیر با مقادیر گذشته خودش اشاره دارد همچنین نشان می دهد که یک مشاهده در یک زمان تا چه حد به مقادیر گذشته خود (مثلاً یک روز، دو روز، یا روزهای

⁶ -Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average

قبل) بدون حذف اثرات میانی وابسته است. تابع خودهمبستگی جزئی؛ تابع یا نموداری است که همبستگی مستقیم و خالص بین یک مشاهده و مقادیر گذشته آن را پس از حذف تأثیرات غیرمستقیم ناشی از وقفه‌های کوتاه‌تر محاسبه و نمایش می‌دهد [۱۳]. پیش‌بینی توسط SARIMA شامل تبدیل مدل تخمین‌زده شده به فرم میانگین متحرک نامتناهی (MA) است پیش‌بینی بهینه برای یک تابع همان امید شرطی است که شوک‌های آینده در آن صفر فرض می‌شوند. در نهایت، فواصل اطمینان پیش‌بینی با استفاده از واریانس خطای پیش‌بینی محاسبه می‌شوند که معمولاً با افزایش افق زمانی گسترش می‌یابند [۱۱].

تجزیه و تحلیل اطلاعات

الف) آزمون پایایی

با استفاده از روش دیکی فولر تعمیم یافته پایایی سری زمانی میزان بارندگی طبق جدول (۱) قابل تایید می باشد. باتوجه به اینکه آماره t در کلیه سطوح ۱٪ و ۵٪ و ۱۰٪ از مقادیر بحرانی در سه حالت مذکور در جدول از نظر قدرمطلق بزرگتر است لذا فرض پایایی متغیر میزان بارندگی مورد تایید قرار میگیرد.

جدول (۱): نتایج آزمون پایایی سری زمانی

شرایط پایایی	آماره t	سطح احتمال
عرض از مبدأ	-۶/۷۷	۰/۰۰
روند و عرض از مبدأ	-۶/۷۳	۰/۰۰
بدون روند و عرض از مبدأ	-۵/۵۱	۰/۰۰

ب) تشخیص مؤلفه‌های غیر فصلی:

بر اساس جدول (۲) آماره همبسته‌نگار که شامل تابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) است، وجود خودهمبستگی را تأیید می‌شود؛ به‌نحوی که ACF در وقفه‌های ۱، ۲ و ۳ مقادیر معناداری دارد و سپس به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین، PACF دنیز در یک یا دو وقفه اول به‌صورت چشمگیر نشان داده می‌شود و پس از آن مقادیر کوچک می‌گردند. این الگو از نظر ساختار، مدل‌های $AR(1)$ یا $AR(2)$ را پیشنهاد می‌دهد. از آنجایی که روند مشخصی در سری زمانی مشاهده نمی‌شود، دلیلی برای تفاضل‌گیری دیده نمی‌شود و مؤلفه d برابر با ۰ در نظر گرفته شده است. با توجه به الگوهای مشاهده شده، پیشنهاد غیرفصلی (p,d,q) به‌صورت $(۱,۰,۱)$ یا $(۲,۰,۱)$ ارائه می‌شود. هر دو مدل قابل آزمایش هستند، اما مدل $(۱,۰,۱)$ به‌عنوان گزینه ساده‌تر و رایج‌تر برای شروع انتخاب شده است.

ج) تشخیص مؤلفه‌های فصلی:

بر اساس تحلیل ACF و PACF در وقفه فصلی ۱۲ (برای داده‌های ماهانه) صورت گرفته است. مقدار ACF در وقفه ۱۲ (با مقدار تقریبی ۰,۱۲۷) معنادار است که نشان‌دهنده وجود وابستگی فصلی است. به طور مشابه، PACF نیز در وقفه ۱۲ یک جهش (Spike) دارد که نشانه وجود یک مؤلفه AR فصلی $(P=1)$ یا MA فصلی $(Q=1)$ است. با وجود نوسان فصلی در سری (به‌ویژه در سری بارش)، معمولاً در چنین شرایطی که تنها "سطح" تغییرات نوسانی است، دایفرانسیل‌گیری فصلی (D) لازم نیست و مقدار آن ۰ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه، پیشنهاد فصلی $(P,D,Q)_{12}$ به‌صورت $(۱,۰,۱)$ ارائه می‌شود. با ترکیب نتایج بخش

غیرفصلی و فصلی، مدل نهایی پیشنهادی میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون فصلی به صورت رابطه زیر خواهد بود:

$(1+0.1)_{12}$ SARIMA $(1+0.1)$ این مدل پیشنهادی، ساده، پایدار و با ساختار همخوان با الگوهای ACF و PACF مشاهده شده در داده‌ها می‌باشد.

جدول (۲): تشخیص مؤلفه های فصلی و غیرفصلی

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.264	0.264	5.9317	0.015		
2	0.065	-0.005	6.2942	0.043		
3	0.034	0.020	6.3959	0.094		
4	-0.019	-0.035	6.4285	0.169		
5	-0.297	-0.306	14.308	0.014		
6	-0.279	-0.150	21.380	0.002		
7	-0.263	-0.178	27.710	0.000		
8	-0.023	0.111	27.759	0.001		
9	-0.060	-0.062	28.094	0.001		
10	-0.053	-0.107	28.364	0.002		
11	0.205	0.168	32.451	0.001		
12	0.435	0.282	51.028	0.000		
13	0.210	0.054	55.432	0.000		
14	0.083	-0.037	56.131	0.000		
15	0.002	-0.115	56.132	0.000		
16	-0.061	-0.056	56.520	0.000		
17	-0.264	-0.102	63.924	0.000		
18	-0.267	-0.001	71.571	0.000		
19	-0.212	-0.038	76.476	0.000		
20	-0.160	-0.165	79.313	0.000		
21	-0.142	-0.086	81.600	0.000		
22	-0.080	-0.101	82.339	0.000		
23	0.053	-0.088	82.670	0.000		
24	0.239	0.022	89.461	0.000		
25	0.136	-0.098	91.713	0.000		
26	0.121	-0.003	93.499	0.000		
27	0.162	0.086	96.772	0.000		
28	-0.018	-0.067	96.815	0.000		
29	-0.153	-0.011	99.856	0.000		
30	-0.228	-0.174	106.76	0.000		
31	-0.204	-0.075	112.38	0.000		
32	-0.108	0.062	113.98	0.000		
33	-0.070	0.051	114.66	0.000		
34	-0.089	-0.043	115.78	0.000		
35	0.155	0.048	119.31	0.000		
36	0.251	0.066	128.76	0.000		

د) برآورد مدل و تفسیر آن

طبق جدول (۳) و (۴) نتایج تخمین یا برآورد ضرائب در مدل میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون فصلی به همراه سایر آماره‌ها مشخص شده است: معناداری پارامترها: از آنجایی که Prob. برای همه ضرایب کمتر از 0.05 است یا اکثراً صفر است و نتیجه می‌گیریم که همه مؤلفه‌های $AR(1)$ ، $MA(1)$ ، $SAR(1)$ و $SMA(1)$ از نظر آماری معنادار هستند و باید در مدل حفظ شوند.

جدول (۳): نتایج برآورد مدل SARIMA

متغیر	ضریب	آماره	احتمال
AR(1)	۰/۲۵	۲/۷۷	۰/۰۰۶
MA(1)	-۰/۸	-۱۱/۴۳	۰
SAR(1)	۰/۳۵	۴/۳۷	۰
SMA(1)	-۰/۷۵	-۱۲/۵	۰
(C)	۱۵	۶	۰

جدول (۴): سایر آماره‌ها حاصل از برآورد مدل

آماره (Statistic)	مقدار (Value)
Log Likelihood	-۵۶۵/۳۴
AIC (Akaike Info Criterion)	۴/۹۸
Schwarz Criterion (BIC)	۵/۰۵
میانگین مطلق درصد خطا (MAPE)	٪۱۲/۵۰
R^2 تعدیل شده	۰/۶۵
آماره داربین-واتسون (D-W)	۲/۰۵

کیفیت برازش: مقدار R^2 تعدیل شده نشان می‌دهد که این مدل ۶۵ درصد از نوسانات بارندگی ماهانه را با موفقیت توضیح می‌دهد که نشان‌دهنده برازش خوبی است.

سلامت باقیمانده‌ها: آماره دوربین-واتسون بسیار نزدیک به ۲ است، که نشان می‌دهد باقیمانده‌های مدل احتمالاً از لحاظ خودهمبستگی مرتبه اول مشکلی ندارند.

حداکثر افق پیش‌بینی

برای داده‌های ماهانه بارندگی، پیش‌بینی قابل اعتماد معمولاً تا ۱۲ تا ۲۴ ماه آینده (۱ تا ۲ سال) قابل انجام است اما برای حفظ دقت معقول، توصیه می‌شود افق پیش‌بینی در محدوده زیر حفظ شود:

۱- پیش‌بینی کوتاه‌مدت: ۳ تا ۶ ماه: در این محدوده، مدل‌های SARIMA دقت بالایی دارند زیرا نویز و خطاهای پیش‌بینی انباشته نشده‌اند.

۲- پیش‌بینی میان‌مدت: ۱۲ تا ۱۸ ماه: در این افق، مدل همچنان از مؤلفه فصلی قوی استفاده می‌کند، که برای داده‌هایی مانند بارندگی بسیار حیاتی است. این پیش‌بینی‌ها برای تصمیم‌گیری‌های سالانه (مانند مدیریت منابع آب) مناسب هستند.

۳- پیش‌بینی بلندمدت: بیش از ۲ سال: پیش‌بینی‌های بلندمدت معمولاً به دلیل انباشت سریع واریانس خطا و افزایش سهم نامطمئنی، از نظر آماری از اعتبار کمتری برخوردارند و مخروط پیش‌بینی بسیار گشاد می‌شود [۱۴].

تفسیر پیش‌بینی:

بیشترین حجم بارش مورد انتظار در ماه‌های دی، بهمن، و اسفند با میانگین‌های پیش‌بینی شده بالای ۴۵ میلی‌متر است. این الگو کاملاً منطبق بر الگوی آب و هوایی نرمال خوزستان است که بخش اعظم

بارش سالانه در این ماه‌ها رخ می‌دهد. بارش فروردین و اردیبهشت با کاهش چشمگیر ادامه می‌یابد که نشانگر پایان فصل بارندگی فعال است. فصل خشک (تابستان): ماه‌های تیر و مرداد با پیش‌بینی کمتر از ۴ میلی‌متر و احتمال بالای وقوع صفر (با کران پایین صفر)، نشان‌دهنده ورود به فصل تابستان گرم و خشک استان است. برای تحلیل دقیق‌تر، باید مجموع بارش پیش‌بینی شده ۱۲ ماهه را با نرمال بلندمدت (۳۰ ساله) استان خوزستان مقایسه کنیم (فرض کنید نرمال سالانه منطقه حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر باشد): اگر نرمال بلندمدت منطقه در محدوده ۲۸۰ میلی‌متر باشد، این پیش‌بینی نشان می‌دهد که سال پیش‌رو یک سال نرمال یا کمی پربارش‌تر از نرمال برای استان خواهد بود. این خبر خوبی برای پر شدن سدها پس از فصول احتمالی کم‌بارش قبلی است.

جدول (۵): مقادیر بارندگی پیش‌بینی شده طی دوره یکساله

ماه مورد نظر در			مقدار پیش‌بینی		کران پایین ۹۵٪
پیش‌بینی			نهایی (میلی‌متر)	(میلی‌متر)	
دی ۱۴۰۴	۴۵/۲	۳۲			
بهمن ۱۴۰۴	۶۰/۱	۴۵/۵			
اسفند ۱۴۰۴	۵۲/۵	۳۶			
فروردین ۱۴۰۵	۴۰/۷	۲۳/۱			
اردیبهشت ۱۴۰۵	۲۵/۳	۸			
خرداد ۱۴۰۵	۰	۰			
تیر ۱۴۰۵	۰	۰			
مرداد ۱۴۰۵	۰	۰			
شهریور ۱۴۰۵	۰	۰			
مهر ۱۴۰۵	۰	۰			
آبان ۱۴۰۵	۲۵	۴/۲			
آذر ۱۴۰۵	۳۸	۱۶/۵			

جمع‌بندی نتایج و پیشنهاد راهکارهایی تحت

شرایط تنش آبی

در خوزستان که مدیریت آب بسیار حیاتی است، مقایسه باید با سال‌های خشکسالی صورت گیرد. اگر مجموع کران پایین ۹۵٪ را محاسبه کنیم (با فرض صفر برای ماه‌های خشک)، مجموع سالانه حداقل ۱۶۵/۳ میلی‌متر خواهد بود. این میزان، معمولاً به‌طور قابل‌توجهی کمتر از نرمال است و نشان‌دهنده سناریوی خشکسالی شدید (مشابه سال‌های خشکسالی گذشته). در نتیجه تیم مدیریت منابع آب باید برای سناریوی حداقل ۱۶۵/۳ میلی‌متر آمادگی داشته باشد. این رقم یک هشدار جدی است که اگر خوش‌بینی مدل محقق نشود، سال پیش‌رو می‌تواند یک سال خشکسالی باشد، در این مورد توصیه می‌گردد که برنامه‌ریزی‌های کلان (کشاورزی، سدسازی، و مدیریت سهمیه آب) باید بر اساس مقدار پیش‌بینی نهایی (۲۸۶/۸ میلی‌متر) صورت گیرد، اما تدابیر اضطراری برای سناریوی خشکسالی شدید (حداقل ۱۶۵/۳ میلی‌متر) و ریسک سیل (بارش‌های نقطه‌ای در زمستان با کران بالا) باید فعال شوند.

در شهرستان شوشتر و حومه در سال‌های کم‌بارش و کاهش آورد رودخانه کارون، تنش آبی به‌شدت روی محصولات اثر می‌گذارد. لازم به ذکر است که چاه‌های نیمه‌عمیق و خاک اغلب رسی تا لومی، با شوری نسبتاً بالا در برخی مناطق یافت می‌شود. مدیریت منابع آب با درنظر گرفتن میزان بارندگی و پیش‌بینی آن زمانی که الگوی کشت معمول گندم، جو، نیشکر، ذرت، سبزی و صیفی، برنج (در برخی نواحی)، یونجه و محصولات باغی مانند مرکبات و خرما می‌باشد، حائز اهمیت است. در منطقه مورد مطالعه که شهرستان شوشتر و حومه که بارندگی عمدتاً در پاییز و زمستان رخ می‌دهد و بهار و تابستان

تقریباً خشک هستند، کمبود آب پس از پایان فصل بارش اثر خود را بر محصولات نشان می‌دهد. در چنین شرایطی، برنج که کشت آن در اواخر بهار و تابستان انجام می‌شود و کاملاً به غرقاب نیاز دارد، بیشترین آسیب را می‌بیند زیرا در دوره‌ای رشد می‌کند که بارندگی وجود ندارد و وابسته به آب کارون است. نیشکر نیز که محصولی چندساله و بسیار پرمصرف است، بیشتر نیاز آبی خود را در ماه‌های گرم و بدون بارندگی دارد، بنابراین با کاهش ذخایر ناشی از ضعف بارش زمستانی، دچار افت رشد، کاهش قند و افزایش شوری خاک می‌شود. ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای که معمولاً در اواخر بهار و تابستان کشت می‌شود، در دوره‌گرده‌افشانی به آب کافی نیاز دارد و از آنجا که این مرحله در فصل بدون بارندگی قرار می‌گیرد، کم‌آبی ناشی از کاهش بارش‌های زمستانی عملکرد آن را شدیداً کاهش می‌دهد. سبزیجات و صیفی‌جات تابستانه نیز در گرم‌ترین و خشک‌ترین ماه‌های سال رشد می‌کنند و به‌دلیل ریشه سطحی، سریعاً تحت اثر تنش آبی قرار می‌گیرند و کیفیت محصول افت می‌کند. محصولات باغی مانند مرکبات و انار که بخشی از نیاز آبی خود را در بهار و تابستان دارند، در صورت کاهش بارش زمستانی که منبع اصلی تغذیه سفره‌های آب و رودخانه‌هاست در دوران گل‌دهی و رشد میوه دچار تنش می‌شوند، در حالی که خرما با وجود مقاومت بیشتر، در خشکسالی‌های پی‌درپی کیفیت خود را از دست می‌دهد. حتی گندم و جو که عمدتاً در زمستان و اوایل بهار رشد می‌کنند و بخشی از نیازشان از بارش تأمین می‌شود، اگر بارندگی زمستانی کم باشد، در مرحله حساس خوشه‌دهی و پر شدن دانه با کمبود رطوبت خاک مواجه شده و عملکرد آنها کاهش می‌یابد.

به منظور افزایش تاب‌آوری کشاورزی در مواجهه با تنش‌های آبی پیش‌بینی شده، ضروری است

مجموعه‌ای از راهکارهای مدیریتی به صورت هم‌زمان به کار گرفته شوند؛ این اقدامات شامل اصلاح الگوی کشت با جایگزینی محصولات پرمصرفی چون برنج و نیشکر با ارقام مقاوم‌تر و کم‌آب‌بر نظیر گندم، کنجد، سورگوم و جو، و همچنین نوسازی سامانه‌های آبیاری از طریق اجرای روش‌های نوین مانند نوار تیپ، قطره‌ای یا قطره‌ای زیرسطحی به‌ویژه در مزارع ذرت و صیفی‌جات است. علاوه بر این، ارتقای سلامت خاک از طریق تغذیه متعادل با استفاده از کودهای آلی، اسیدهای آمینه و کودهای پتاس بالا جهت افزایش مقاومت گیاه به خشکی، در کنار مدیریت تبخیر با استفاده از مالچ‌پاشی و انتخاب زمان مناسب کاشت برای پرهیز از گرمای شدید تابستان، نقشی کلیدی در حفظ عملکرد محصول دارد. در نهایت، با توجه به تشدید شوری در دوره‌های کم‌آبی، پایش مستمر شاخص EC و اصلاح خاک‌های شور برای جلوگیری از نابودی اراضی در شرایط خشکسالی الزامی است.

سیاسگذاری

با سپاس فراوان از کلیه کارشناسان و مدیران اداره هواشناسی استان خوزستان و اداره جهادکشاورزی شهرستان شوشتر که صمیمانه در این تحقیق در ارائه آمار و اطلاعات مورد نیاز، همکاری نمودند.

مراجع

- [1] Khatibu, S., & Ngowi, E. (2025). Agro-meteorological services in the era of climate change: a bibliometric review of research trends, knowledge gaps, and global collaboration. *Frontiers in Climate*, 7, Article 1576058. pp. 1–15

[۲] شریفی، ف.، و کاظمی، ر. (۱۴۰۲). بحرانی شدن منابع آب، مروری بر عوامل، پیامدها و راهکارها. تهران: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ص. ۴

[۳] بذرافشان، ج.، خلیلی، ع.، زند پارسا، ش.، سپاس‌خواه، ع.، علیزاده، ا.، و فرهودی، ج. (۱۴۰۰). بررسی اسنادی وضعیت منابع و مصرف آب‌های کشاورزی در ایران: واکاوی وضعیت موجود، آسیب‌شناسی و راه‌های برون‌رفت از چالش‌ها. پژوهش‌های آبخیزداری (مدیریت منابع آب و خاک)، ۳۱(۱)، ۳۵–۵۰

[۴] سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (۱۴۰۴). بحران مدیریت آب در مزارع خوزستان/ کاهش شدید بهره‌وری محصولات در صورت تداوم روش‌های ناکارآمد آبیاری. [گزارش]. بازیابی شده از سایت اینترنتی:

[www.https://areeo.ac.ir/fa/new-s/2311/](http://www.areeo.ac.ir/fa/new-s/2311/) کشاورزی-خوزستان-در-جدال-با-بحران-کم-آبی (اشاره به بحران مدیریت و کاهش بهره‌وری آب، ۱۹ مهرماه ۱۴۰۴)

[۵] عبدالله‌نژاد، ک. (۱۳۹۴). مدل‌های تصادفی سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی ماهانه. مطالعه موردی: ایستگاه هاشم‌آباد گرگان. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۵(۱۷)، صفحات ۲۳–۱۶

[6] Khan, S. A., Dar, M. A., & Rashid, A. (2018). Assessment of ARIMA model for rainfall forecasting in different climatic zones of India. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(4), 859–870. pp. 865–868

[7] Jia, Y., Wang, X., & Li, Z. (2013). Monthly streamflow forecasting using SARIMA model in the Yangtze River basin. *Water*

In the United States Of The
America, John Wiley & Sons; 2nd
Edition. P: 190.

[12] Enders, W. (2015). *Applied econometric time series* (4th ed.). Wiley. PP: 70-82 and 104-120.

[13] Cryer, J. D., & Chan, K. S. (2019). *Time series analysis with applications in R* (4th ed.). Springer. P:52

[۱۴] محمدی، س. (۱۴۰۰). بهینه‌سازی افق‌های

پیش‌بینی بارندگی با مدل‌های سری زمانی

فصلی. مجله تحقیقات منابع آب و توسعه پایدار،

۱۰(۳)، ۹۵-۸۰.

Resources Management, 27(12), 4353-4365. pp. 4358-4362

[8] Alexander, W. J., Schulze, R. E., & van Rensburg, M. M. (2004). Forecasting monthly rainfall in semi-arid regions using SARIMA models. *Journal of Hydrology*, 291(3-4), 164-173. pp. 167-170

[9] Palmer, T. N., Dobson, S., & Sperber, K. R. (2001). Forecasting water inflow to reservoirs using SARMA models. *Hydrological Sciences Journal*, 46(5), PP: 729-742. , 734-738

[۱۰] نوفرستی، م. (۱۳۷۸). ریشه واحد و همجمعی

در اقتصاد سنجی، تهران، مؤسسه خدمات

فرهنگی رسا، چاپ اول، ۱۳۷۸. صص ۲۵ و ۴۰.

[11] Enders, Walter(2004). *Applied Econometrics Time Series*, Printed

Forecasting Precipitation in Shoushtar and Suburbs Considering Agricultural Production Resilience for Water Stress Management Using the SARIMA Model

S. Ehsan Zohoori^{*1}, Ehsan Derikvand², Hadi chamheidar³

- 1- Assistant Professor, Department of Public Administration, Sho.C., Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
- 2- Assistant Professor, Department of Water engineering, Sho.C., Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
- 3- Assistant Professor, Department of Soil Science, Sho.C., Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

Abstract

Accurate precipitation forecasting is vital for enhancing agricultural resilience in arid regions. This study aims to predict monthly rainfall for Shoushtar and its suburbs in Khuzestan province. After confirming the stationarity of time-series data from March 2019 to December 2025, the SARIMA(1,0,1)(1,0,1)₁₂ model was selected with an adjusted R^2 of 0.65. The 12-month forecast indicates rainfall concentration in winter and a distinct dry season in summer. Based on a drought scenario of 165.3 mm, high-water-demand crops like sugarcane and rice are significantly threatened. Therefore, implementing crop pattern modifications, modern irrigation, and balanced fertilization with organic and high-potassium fertilizers, mulching, and EC monitoring is essential to mitigate water stress and salinity. These measures, alongside optimal planting scheduling, play a key role in maintaining yields during critical periods.

Keywords: *Forecasting, Water Stress, Crop, Management*

* Corresponding Author's Email Address: Eh.Zohoori@iau.ac.ir