

پیش بینی تغییرات نیاز آبی برخی از محصولات کشاورزی دشت مشهد ناشی از تغییرات دمای هوا

بهاره شعبانی^۱، محمد موسوی بایگی^{۲*} و مهدی جباری نوقابی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- نویسنده مسئول، استاد هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- استادیار گروه آمار، دانشگاه فردوسی مشهد.

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۲۹

چکیده

دمای هوا یکی از مهم ترین شاخص های تغییر اقلیم در مقیاس جهانی و منطقه ای می باشد که تغییرات آن هم بر روند سایر پارامترهای اقلیمی و هم بر بخش های دیگری از جمله بخش کشاورزی و مسئله مصرف آب در این بخش تأثیر گذار خواهد بود. با افزایش دمای هوا انتظار می رود که قدرت تبخیر کنندگی هوا یا تبخیر و تعرق پتانسیل افزایش یابد. لذا در پژوهش حاضر با استفاده از روش سری های زمانی، مدل سازی و پیش بینی دمای حداکثر و حداقل ماهانه دشت مشهد انجام گرفت. سپس با کمک فرمول تجربی هارگریوز - سامانی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و با انتخاب ضریب گیاهی مناسب، نیاز آبی پنج محصول عمده زراعی و باغی دشت مشهد با بیشترین سطح زیر کشت آبی (گندم، چغندر قند، گوجه فرنگی، یونجه و سیب) در طول فصل رشد برای دهه آتی و دوره پایه محاسبه و میانگین دو دوره با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج پیش بینی مدل ها حاکی از آن است که دمای حداکثر و حداقل در آینده به ترتیب با افزایش برابر با ۱/۴ و ۱ درجه سانتی گراد همراه خواهند بود به طوری که دمای حداکثر بیشتر در فصول گرم سال (بهار و تابستان) و دمای حداقل بیشتر در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) افزایش خواهند داشت. پیش بینی تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داد که تغییرات آن بیشتر تحت تأثیر تغییرات دمای حداکثر خواهد بود. همچنین مقایسه نیاز آبی محصولات مختلف بین دو دوره آتی و پایه نشان دهنده افزایش تبخیر و تعرق گیاهان در آینده می باشد به طوری که بین پنج محصول منتخب در دشت مشهد، چغندر قند دارای بیشترین درصد تغییرات در نیاز آبی برابر با ۲/۸ درصد و معادل با ۲۹۰ مترمکعب آب مصرفی در هر هکتار خواهد بود.

کلید واژه ها: سری زمانی، نیاز آبی، تبخیر و تعرق.

Prediction of Water Requirement Changes some of Agricultural Products of Mashhad Plain due to Air Temperature Changes

B. shabani¹, M. Mousavi-Baygi^{2*} and M. Jabari -Noghabi³

1- MSc Student of Agrometeorology, Ferdowsi University of Mashhad.

2* - Professor in Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad.

3- Assistant Professor in statistic, Ferdowsi University of Mashhad.

Received: 19 November 2012

Accepted: 7 January 2014

Abstract

Air temperature is one of the most important indicators of climate change in global and regional scales, that its changes will affect also on the other climatic parameters and also on other sectors such as agriculture and water use in this section. With increasing air temperature is expected potential evapotranspiration increase. Therefore, in this study using time series were performed modeling and prediction monthly maximum and minimum temperatures of Mashhad plain. Then with the help of empirical formulas Hargreaves - Samani and by selecting crop coefficients were calculated potential evapotranspiration rates and crops water requirement of 5 major products with the largest area under irrigated including wheat, sugar beets, tomatoes,

alfalfa, and apples for the base period (1987-2008) and next 10-years period (2009-2018). During the growing season, and were compared with each other. The results show that the maximum and minimum temperatures will increase respectively by 1.4 and 1 ° C. So that the maximum temperature more in warm seasons and minimum temperature more in cold seasons will increase. Prediction of potential evapotranspiration showed that the changes will be more affected by maximum temperature changes Also the comparison of water requirement of different crops indicated increase evapotranspiration in the future between the future and the base periods. So that among the five selected crops in Mashhad plain, sugar beet has the highest percentage of changes in water requirement equal to 2.8% (290 m³/ha).

Keywords: Time series, Water requirement, Evapotranspiration.

مقدمه

افزایش دمای انتظار می‌رود که قدرت تبخیر کنندگی هوا یا تبخیر و تعرق پتانسیل افزایش یابد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به اینکه در سال‌های اخیر تغییرات متفاوتی در روند آستانه‌های دمای هوا (دمای حداکثر و حداقل) ملاحظه شده و با توجه به نقش این دو پارامتر بر عملکرد و نیاز آبی گیاهان، بنابراین پیش‌بینی و بررسی تغییرات آنها در آینده و به دنبال آن پیش‌بینی تغییرات نیاز آبی محصولات کشاورزی در نتیجه تغییرات دمای هوا، در مدیریت بهینه منابع آب تأثیر به‌سزایی خواهد داشت. در این میان مدل‌های اقلیمی که به منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی به کار برده می‌شوند عموماً می‌توان در دو گروه کلی قرار داد. این دو گروه شامل مدل‌های آماری-احتمالی و مدل‌های فیزیکی هستند (عساکره، ۱۳۸۶). در میان انواع مدل‌های اقلیمی مدل‌های که بر پایه اصول آمار-احتمال بنا نهاده شده‌اند از اهمیت ویژه و کاربرد پرشماری برخوردارند. روش‌های آماری ابزاری کارآمد و مفید برای درک و ارزیابی رفتار اقلیم به شمار می‌آیند (عساکره، ۱۳۸۸). کاربرد مدل‌های آماری در بازسازی مقادیر گذشته و بازآفرینی مقادیر آینده داده‌ها به تحلیل سری‌های زمانی^۲ موسوم است. در این قبیل مدل‌ها تنها بر اساس الگوی تاریخی گذشته‌ی عناصر اقلیمی، آینده آن‌ها را پیش‌بینی می‌کنند. یک سری زمانی مجموعه مشاهداتی است که بر حسب زمان مرتب شده‌اند (خرمی و بزرگ نیا، ۱۳۸۶) که اساساً از چهار جزء، شامل روند، تغییرات دوره‌ای، تغییرات فصلی و تغییرات نامنظم تشکیل شده است. به طور خلاصه می‌توان برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی دو هدف کلی را برشمرد: کشف و شناسایی الگوی مولد داده‌ها و پیش‌بینی مقادیر آینده سری. مدل‌سازی سری زمانی ابزاری قدرتمند در خصوص طراحی، مدیریت و تصمیم‌گیری در خصوص منابع آب و بررسی نوسانات اقلیمی است و عموماً به منظور تولید داده، پیش‌بینی، برآورد داده‌های مفقود و تطویل داده‌های هیدرولیک به کار گرفته می‌شود (کوهن و همکاران، ۲۰۰۲). مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی با استفاده از روش سری‌های زمانی بر پایه سری‌های ایستا استوارند. منظور از ایستایی سری زمانی

یکی از چالش‌های قرن ۲۱ میلادی موضوع نوسانات و تغییرات اقلیمی خواهد بود (هلم و همکاران، ۱۹۹۹). تغییر در تعادل اقلیمی موجب شده، متوسط دمای کره‌ی زمین تمایل به روند افزایشی را نشان دهد (بی نام، ۲۰۰۱). در سال‌های اخیر توجه بسیاری از متخصصان هیدرولوژی به مسأله گرم شدن هوا و تغییراتی که در اقلیم به وجود خواهد آمد، جلب شده است. به خصوص اینکه گرم شدن هوا بیشتر در مناطقی محسوس است که با خشکسالی نیز مواجه می‌باشند. لذا آنچه برای ما به عنوان کشوری خشک و نیمه خشک که در منطقه اقلیمی و جغرافیایی خاصی از کره زمین واقع بوده و مسأله آب در رأس مشکلات توسعه قرار دارد، حائز اهمیت می‌باشد، پیامدهای ناشی از گرم شدن هوا و توأم شدن آن با وقوع سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها و نقش آن بر مصرف آب است (علیزاده، ۱۳۸۶). با توجه به نقش دما در چرخه هیدرولوژی و تولید محصولات زراعی به ویژه در تعیین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل که در کلیه بررسی‌های هیدروکلیماتولوژی، بیلان آب و نیاز آبی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا می‌توان دما را یکی از عمده‌ترین و اساسی‌ترین عنصر اقلیمی هر منطقه که در تعیین سایر عناصر اقلیمی نیز عامل مؤثری به شمار می‌رود در نظر گرفت. رشد جمعیت و نیاز به محصولات کشاورزی و دامی و محدودیت منابع آب به عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی مسأله کم آبی را به گونه‌ای جدی فراروی برنامه ریزان استان خراسان رضوی قرار داده است. دشت مشهد در واقع قطب اصلی صنعت و کشاورزی استان می‌باشد و بیش از ۷۵ درصد برداشت آب از دشت مشهد به مصرف آبیاری گیاهان زراعی و محصولات باغی می‌رسد. زیرا متوسط بارندگی سالانه روی این دشت ۲۳۲ میلی‌متر است که عمدتاً در فصل زمستان و بهار صورت می‌گیرد و مقدار مؤثر آن برای آبیاری تابستانه ناچیز است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۱). خشکسالی‌های اخیر که توأم با افزایش دمای هوا بود، باعث گردید که زارعان آب بیشتری به مصرف کشاورزی برسانند. دمای هوا یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تغییر اقلیم در مقیاس جهانی و منطقه‌ای است. با

گرفتن مرتبه تفاضلی d ارائه نمودند. مدل اتورگرسیو- میانگین متحرک فصلی $(p,d,q)^{\circ}$: هرگاه در یک سری زمانی بعد از هر فاصله زمانی مشخص S شباهت‌هایی پیدا شود، سری دارای رفتار فصلی یا تناوبی با دوره تناوب S می‌شود. برای ساخت این مدل‌ها، چهار مرحله شناسایی مدل، برازش مدل، بررسی مناسبت مدل و در نهایت پیش بینی انجام می‌گیرد. در زمینه استفاده از سری‌های زمانی در مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی پژوهش‌ها و مطالعات فراوانی در سراسر جهان انجام گرفته است. آگیلرا و همکاران^۴ (۲۰۰۷) با ترکیب مدل آریمبا با مدل مؤلفه اصلی (PCA) مدلی کاربردی برای پیش بینی داده‌های دو طرف طول جغرافیایی ارائه داد. که آن را برای پیش بینی خطر پدیده ال نینو مناسب می‌داند. یورک لی و همکاران^۵ (۲۰۰۷) شبیه سازی تغییرات اقلیمی را با استفاده از روش تصادفی انجام دادند. آن‌ها از مدل آریمبا جهت پیش بینی پارامترهای نظیر تابش خورشید، دمای هوا، رطوبت نسبی روزانه با هدف یکپارچه کردن نتایج حاصل از مدل‌سازی با استراتژی کنترل تولیدات کشاورزی استفاده نمودند. هوگس و همکاران^۶ (۲۰۰۷) آنالیز آماری و مدل‌سازی سری‌زمانی را برای دمای حداکثر و حداقل ماهانه برای ایستگاه فارادی در بخش جنوبی اسپانیا برای دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۱ انجام دادند. تحلیل آماری سری زمانی دمای حداکثر و حداقل ماهانه نشان داده است که دمای حداقل در طی ۵۳ سال از ۲۰۰۳-۱۹۵۱ تقریباً ۶/۷ درجه سانتی گراد افزایش داشته است در حالی که دمای حداکثر ماهانه در طول مدت مشابه تغییر قابل توجهی نداشته است. همچنین در این مقاله با استفاده از مدل اتورگرسیو میانگین متحرک خطی دمای حداکثر و حداقل را مدل سازی کردند. زکائی^۷ (۱۹۹۸) با تأکید بر اهمیت تعداد نمونه در تعیین تغییرات اقلیمی، اشاره کرده است که به علت وجود خودهمبستگی در داده‌های اقلیمی نظیر دما، روش مدل‌سازی آریمبا از معتبرترین روش‌های بررسی تغییرات اقلیمی است. باکس و جنکینس^۸ (۱۹۷۶) در مطالعه خود علت استفاده از مدل سازی آماری مدل‌های میانگین متحرک تجمعی خود همبسته را، وجود خودهمبستگی در داده‌های اقلیمی با دارا بودن اثر فصل یا روند ذکر کرده و پیشنهاد کردند به منظور تعیین اثر خودهمبستگی از روش ضریبی اتورگرسیو میانگین متحرک فصلی استفاده شود. در کشور ایران به لحاظ سابقه کوتاه در بهره گیری از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم داده‌های جوی، از این روش کمتر استفاده شده است (خردمند نیا و عساکره، ۱۳۸۰). در این میان می‌توان به کار جلالی و کارگر^۹ (۱۳۹۰) در مدل سازی دمای سالانه ایستگاه بوشهر، فولادمند (۱۳۸۹) پیش بینی ماهانه

این است که سری در تعادل آماری باشد (نیرومند، ۱۳۸۹). به عبارتی دیگر میانگین و واریانس آن با گذشت زمان ثابت بماند. معمولاً از تبدیل توانی باکس- کاکس جهت رفع نالیستایی در واریانس استفاده می‌شود:

$$T(x_t) = x_t^{(\lambda)} = \frac{x_t^{\lambda} - 1}{\lambda} \quad (1)$$

که در آن x_t : مقدار اولیه واقعه در زمان t ، λ پارامتر تبدیل و $x_t^{(\lambda)}$ مقدار تبدیل یافته است. تبدیلات پایداری واریانس، فقط برای سری‌های مثبت به کار می‌رود با وجود این آن‌طور که به نظر می‌رسد محدودیتی وجود ندارد، زیرا همیشه می‌توان مقدار ثابتی را به سری افزود بدون اینکه ساختار همبستگی سری تغییر کند (نیرومند، ۱۳۸۶). همچنین جهت رفع نالیستایی در میانگین (در نتیجه وجود روند و یا تغییرات فصلی در سری) از روش تفاضل گیری با عملگرهای فصلی (حذف تغییرات فصلی) و غیر فصلی (حذف روند) که به صورت زیر تعریف می‌شود استفاده می‌گردد:

$$\Delta^d = (1 - B)^d \quad \text{عملگر تفاضلی غیر فصلی} \quad (2)$$

$$\nabla_S^D = (1 - B^S)^D \quad \text{عملگر تفاضلی فصلی} \quad (3)$$

در جهت مدل‌سازی از سری‌های زمانی، در اغلب موارد متخصصان از انواع متنوع مدل‌های ریاضی و آماری بهره می‌گیرند. به طوری که همبستگی‌های موجود ما بین زمان و مشاهدات مدنظر باشد. مدل‌های سری زمانی عبارتند از:

مدل تصادفی اتورگرسیو^۱ (p): اساس این مدل بر پایه زنجیره مارکوف در زنجیره زمانی بنا نهاده شده است. مدل میانگین متحرک (q): در این مدل متغیر در زمان t از روی مقدار تصادفی همان لحظه به علاوه q برابر مقدار تصادفی مربوط به زمان‌های قبل از t برآورد می‌شود. مدل اتورگرسیو- میانگین متحرک آریمبا (p,q): هرگاه دو مدل قبلی در یکدیگر ادغام شوند مدل آریمبا با مرتبه‌های p و q تصادفی مربوط به زمان‌های قبل از t برآورد می‌شود:

$$\varphi(B)x_t = \theta(B)z_t + \theta_0 \quad (4)$$

که در آن $\varphi(B)$ و $\theta(B)$ به ترتیب چند جمله‌ای مربوط به اتورگرسیو و میانگین متحرک^۲ می‌باشند و z_t جمله اغتشاش خالص و θ_0 به عنوان جمله ثابت مدل می‌باشد. مدل اتورگرسیو- میانگین متحرک تلفیق شده آریمبا (p,d,q): از آن جا که برای استفاده از مدل‌های فوق باید فرآیند ایستایی برقرار باشد، از این رو باکس و جنکینس^۳ در شرایط نالیستایی مدل آریمبا^۴ را با در نظر

- 4- ARIMA
- 5- SARIMA
- 6- Aguilra et al.
- 7 - Yurekli et al.
- 8- Hughes et al.
- 9- Zekai
- 10- Box and Jenkins

- 1- Auto Rregressive
- 2- Moving Average
- 3- Box and Jenkins

به پنج درصد رسیده است. تاکنون مطالعات انجام گرفته در خصوص استفاده از روش سری‌های زمانی، به مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی محدود شده اند و مطالعه‌ای به طور مشخص به بررسی اثر نتایج حاصل از پیش‌بینی‌ها با استفاده از روش فوق بر بخش‌های دیگر از جمله بخش کشاورزی و نیاز آبی گیاهان نپرداخته است. لذا در پژوهش حاضر سعی شده است تا با فرض اینکه تغییرات دمای هوا بر میزان مصرف آب کشاورزی تأثیر خواهد داشت دو هدف دنبال شود: پیش‌بینی تغییرات دمای هوا با استفاده از مدل‌های سری زمانی و پیش‌بینی تغییرات تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی ناشی از تغییرات دمای هوا در سال‌های آینده.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، دشت مشهد با وسعتی بالغ بر ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که از نظر شرایط آب و هوایی جز مناطق با اقلیم نیمه خشک محسوب می‌شود. ایستگاه مشهد و ایستگاه گل‌مکان (جدول ۱) معرف این دشت می‌باشند. به منظور مدل‌سازی دمای حداکثر و حداقل از آمار دراز مدت ماهانه و میانگین گیری شده بین دو ایستگاه فوق برای دوره آماری ۲۲ ساله (۱۹۸۷-۲۰۰۸) استفاده شد.

ساخت مدل با استفاده از روش سری‌های زمانی به طور کلی در سه مرحله انجام می‌گیرد:

تشخیص مدل: در این مرحله ابتدا ایستایی در واریانس براساس آزمون بارتلت و لون که یک روش متداول در تشخیص نالیستایی در واریانس است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶) و ایستایی در میانگین براساس آزمون معنی داری شیب خط روند زمانی و همچنین نمودار سری زمانی دمای حداکثر و حداقل ماهانه بررسی می‌شود و در صورت وجود روند و یا نوسانات فصلی از روش تفاضلی کردن به منظور ایستایی سری زمانی استفاده می‌گردد. سپس براساس نمودارهای توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی ($PACF$)، مراتب مدل اولیه شامل p ، q ، P و Q تعیین می‌شود. برازش مدل: در این مرحله، پس از تعیین مراتب مدل اولیه برای دو متغیر اقلیمی، با کمک نرم‌افزار مینی تب و براساس روش کمترین مربعات غیر شرطی پارامترهای مجهول مدل اولیه تعیین و معنی دار بودن پارامترها از طریق مقادیر آماره t و p -value مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تشخیص درستی مدل: این مرحله پس از تعیین پارامترهای مجهول مدل‌های اولیه برای دو متغیر اقلیمی، براساس روش تجزیه و تحلیل باقیمانده‌های مدل برازش داده شده از طریق بررسی سه فرض نرمال بودن باقیمانده‌ها، استقلال باقیمانده‌ها و ثابت بودن واریانس باقیمانده‌های مدل انجام می‌شود. به منظور بررسی دقت مدل‌های نهایی در شبیه سازی دمای حداکثر و حداقل ماهانه از ضریب تعیین (R^2) و شاخص‌های خطاسنجی

تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در استان فارس، شریفان و قهرمان (۱۳۸۶)، در ارزیابی پیش‌بینی باران با به‌کارگیری تکنیک ساریما در استان گلستان اشاره کرد. ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل‌های سری زمانی آریما به تحلیل پیش‌بینی روند بارش و دما در شهرستان کرمانشاه برای دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۶ پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که دمای حداکثر در سال‌های آینده در حال افزایش و بارش روند کاهشی خواهد داشت. همچنین جهانبخش و ترابی (۱۳۸۳) با استفاده از روش سری‌های زمانی و مدل آریما، پنج ایستگاه معرف در پنج ناحیه اقلیمی ایران را در فاصله سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۵ مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفته اند که مقادیر حداکثر و حداقل دما به جز در مناطق نیمه خشک گرم ایران (ایستگاه‌های حاشیه کویر و مناطق کم ارتفاع جنوبی) در سایر مناطق از جمله نواحی دریای خزر و نواحی کوهستانی تغییرات دمایی داشته‌اند. همچنین مطالعات و پژوهش‌های بسیاری در زمینه بررسی اثر افزایش دمای هوا بر مصرف آب کشاورزی در ایران و سایر نقاط جهان انجام گرفته است. باگویس و همکاران^۱ (۲۰۱۰) تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا با افزایش دما را در دهه‌های آتی در نواحی مرکزی بلژیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در خصوص محصولات بهاره و پاییزه نظیر گندم، افزایش نیاز آبی مورد توجه نخواهد بود اما در عوض در مورد محصولات بهاره-تابستانه نظیر گوجه فرنگی، افزایش معنی‌دار در نیاز آبی رخ خواهد داد. به نحوی که این افزایش تبخیر و تعرق حتی با بستن روزنه‌ها و کاهش دوره رشد نیز جبران نخواهد شد. بررسی پاو و همکاران^۲ (۲۰۰۰) نیز نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده، در مناطق خشک به علت افزایش تبخیر و تعرق در اثر افزایش دمای از یک سو و کاهش بارندگی از جهت دیگر، شاخص کمبود آب افزایش یافته، که اثرات قابل توجهی بر عملکرد محصولات خواهد داشت. در ایران نیز علیزاده و کمالی (۱۳۸۱) اثر تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که در اثر افزایش دمای هوا به میزان دو درجه سانتی گراد، نیاز خالص آبیاری با الگو و ترکیب کشت کنونی در آینده شش درصد افزایش خواهد یافت. فرشی و امداد (۱۳۷۸) در مطالعه‌ای اثر افزایش دما بر روی افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهان در سه اقلیم عمده کشور فراه خشک سرد مثل اصفهان، فراه خشک معتدل مثل یزد و نیمه خشک سرد مثل اراک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد که در اقلیم فراه خشک سرد و معتدل تا افزایش دو درجه سانتیگراد، به ازای هر درجه افزایش، هفت درصد نیاز آبی افزایش می‌یابد. پس از آن این افزایش در اقلیم فراه خشک سرد ۱۰ درصد و در اقلیم فراه خشک معتدل ۵ درصد می‌باشد. در اقلیم نیمه خشک سرد شدت نیاز آبی، تا افزایش سه درجه، چهار درصد و پس از آن

1 -Baguis et al.

2- Pouw et al.

نتایج و بحث

نتایج آزمون بارتلت و لون برای هر دو سری دمای حداکثر و حداقل ماهانه با *p-value* برابر با یک که از سطح خطای پنج صدم بیشتر است نشان دهنده ایستایی در واریانس می باشد. براساس آزمون معنی داری شیب خط روند (جدول ۲)، و مقادیر آماره *t* و *p-value* ملاحظه می شوند که سری زمانی دو متغیر اقلیمی فاقد روند معنی دار می باشند ($d=0$). همچنین براساس نمودارهای سری زمانی دمای حداکثر و حداقل (شکل ۱) وجود تغییرات فصلی که هر ۱۲ ماه تکرار می شوند کاملاً مشهود است. لذا با اعمال یک مرتبه تفاضل گیری فصلی ($D=1$) سری های مورد نظر ایستا می شوند. براساس نمودارهای *ACF* و *PACF* سری های تفاضلی شده حاصل (شکل ۲ و شکل ۳)، مدل $SARIMA(0,0,0)(0,1,1)$ برای دمای حداکثر ماهانه و مدل $SARIMA(0,0,0)(2,1,1)$ برای دمای حداقل ماهانه تعیین شدند در جدول ۳ و ۴ نتایج برازش مدل ها بر سری های زمانی دو متغیر اقلیمی، ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، مقادیر *p-value* برای تمام پارامترهای مدل ها، به استثناء پارامتر λ_1 مربوط به مدل دمای حداقل، در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار شده اند. لذا فرض صفر بودن آنها رد خواهد شد. البته عدم معنی داری یکی از پارامترهای مدل مربوط به دمای حداقل، مشکلی را ایجاد نخواهد کرد و می توان آن را از مدل حذف کرد، این مدل نسبت به سایر مدل های برازش داده شده به سری زمانی دمای حداقل، مدل مناسب تری تشخیص داده شد. وجود جمله ثابت معنی دار در مدل ها نشان دهنده وجود روند قطعی در هر دو مدل است.

میانگین انحراف خطا (*MBE*)، میانگین قدرمطلق خطا (*MSE*) و جذر میانگین مربعات خطا (*RMSE*) استفاده شد.

$$MBE = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)}{n} \quad \text{میانگین انحراف خطا} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \hat{x}_t|}{n} \quad \text{میانگین قدرمطلق خطا} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n}} \quad \text{جذر میانگین مربعات خطا} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{ضریب تعیین} \quad (8)$$

در این مرحله برای اعتبارسنجی مدل ها از دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۰۸ تا ۱۹۸۸) استفاده گردید. پس از بررسی دقت مدل ها، برای ۱۰ سال آینده (۲۰۱۸-۲۰۰۹) پیش بینی دمای حداکثر و حداقل ماهانه انجام گرفت و میانگین دمای حداکثر و حداقل در ماه های مختلف بین دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۸) و دوره ۱۰ ساله آتی دوره آتی نسبت به پایه در ماه های مختلف سال برآورد گردید. همچنین به منظور بررسی اثر تغییرات دمای هوا در آینده بر مصرف آب کشاورزی، براساس معادله تجربی هارگریوز-سامانی تبخیر و تعرق پتانسیل و با انتخاب ضریب گیاهی مناسب (*kc*) براساس روش پیشنهادی فائو، نیاز آبی به صورت پتانسیلی برای پنج محصول زراعی و باغی دشت مشهد با بیشترین سطح زیر کشت آبی شامل، گندم، چغندر قند، گوجه فرنگی، یونجه و سیب برای دوره پایه و دوره ۱۰ ساله آتی محاسبه و با هم مقایسه شد.

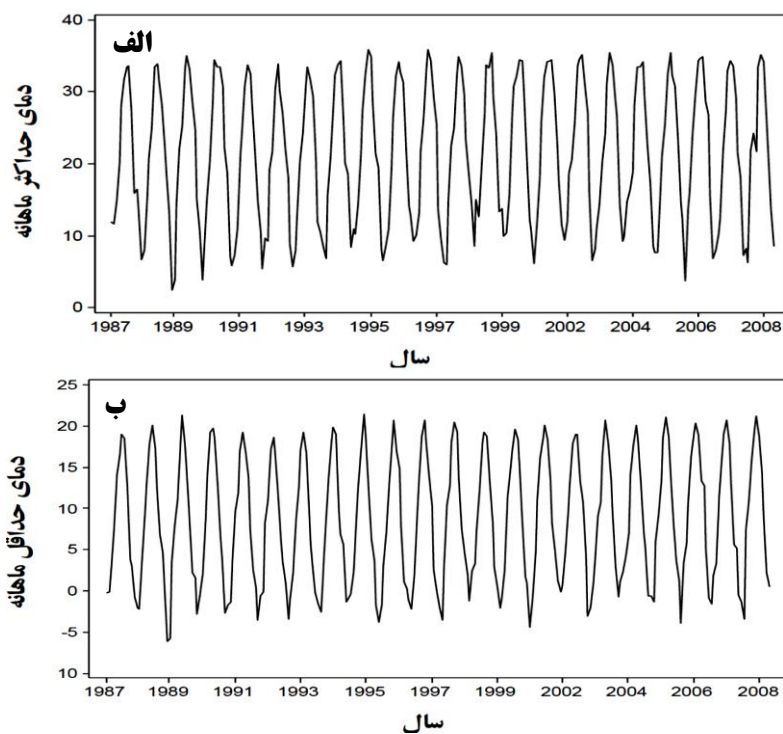
جدول ۱- خصوصیات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه های معرف دشت مشهد

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نوع اقلیم
مشهد	۳۶° ۱۶' N	۵۹° ۳۸' E	۹۹۹/۲	نیمه خشک
گلمکان	۳۶° ۲۹' N	۵۹° ۱۷' E	۱۱۷۶	نیمه خشک

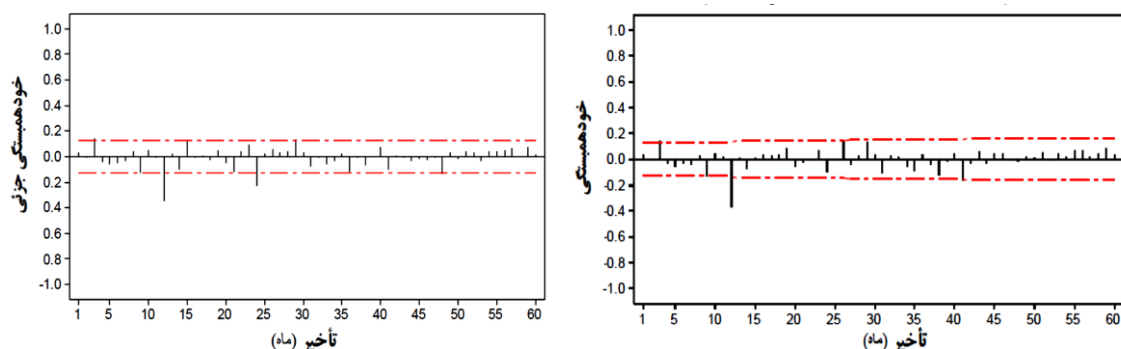
جدول ۲- نتایج تحلیل شیب خط روند زمانی دمای حداکثر و حداقل ماهانه دشت مشهد

شیب خط	تخمین	انحراف معیار	آماره <i>t</i>	مقدار P
شیب خط روند دمای حداکثر ماهانه	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۹۲	۰/۳۵۸
شیب خط روند دمای حداقل ماهانه	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۱/۲۷	۰/۲۰۶

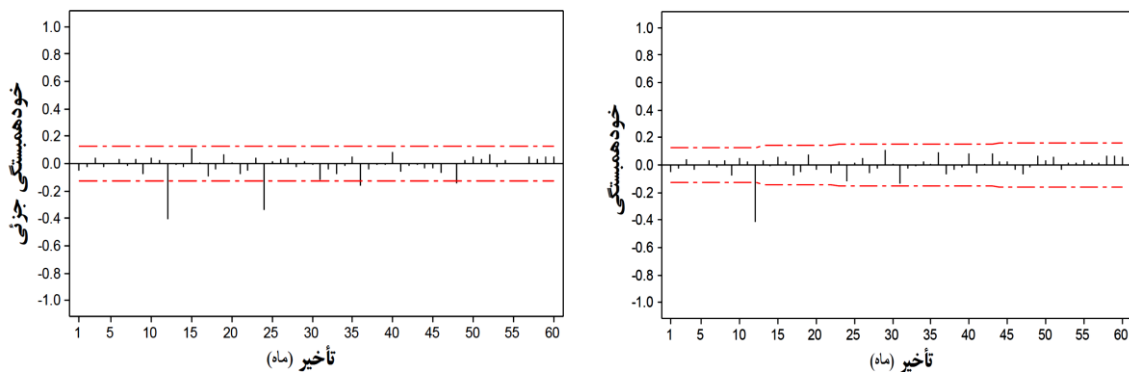
شعبانی و همکاران: پیش‌بینی تغییرات نیاز آبی برخی از محصولات کشاورزی...



شکل ۱- (الف) سری زمانی دمای حداکثر ماهانه دشت مشهد، (ب) سری زمانی دمای حداقل ماهانه دشت مشهد برای دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۰۸)



شکل ۲- خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری تفاضلی شده دمای حداکثر ماهانه



شکل ۳- خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری تفاضلی شده دمای حداقل ماهانه

باقیمانده های مدل ها (شکل های ۴ ج و ۴ د، ۵ ج و ۵ د) که تمام خودهمبستگی ها در حدود استاندارد قرار گرفته اند مورد تأیید قرار می گیرد و با توجه به نمودار باقیمانده ها در برابر زمان (شکل های ۴ ب و ۵ ب) که فاقد ساختار خاصی هستند، می توان فرض ثابت بودن واریانس باقیمانده ها را پذیرفت.

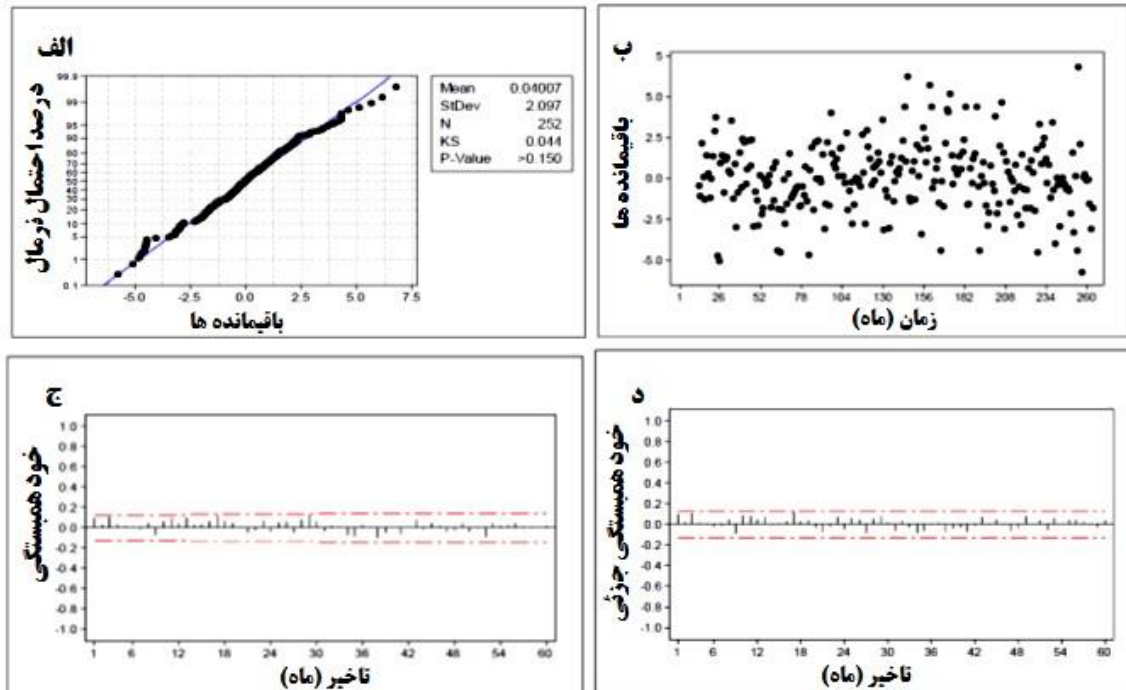
در بررسی مناسبیت مدل ها، فرض نرمال بودن باقیمانده های مدل های برازش داده شده براساس آزمون کلموگروف - اسمیرنوف با $p\text{-value} > 0.15$ (شکل های ۴ الف و ۵ الف) که از سطح خطای پنج درصد بیشتر است پذیرفته می شود و فرض استقلال باقیمانده ها با توجه به نمودارهای ACF و $PACF$

جدول ۳- نتایج برازش مدل $SARIMA(0,0,0)(0,1,1)_{12}$ بر سری زمانی دمای حداکثر ماهانه

نوع	برآورد	خطای معیار برآورد	آماره t	مقدار P
ضریب (γ_1)	۰/۹۲۷۰	۰/۰۳۶۸	۲۵/۲۲۰	< ۰/۰۰۱
جمله ثابت (θ_0)	۰/۰۶۴۸	۰/۰۱۷	۳/۸	< ۰/۰۰۱

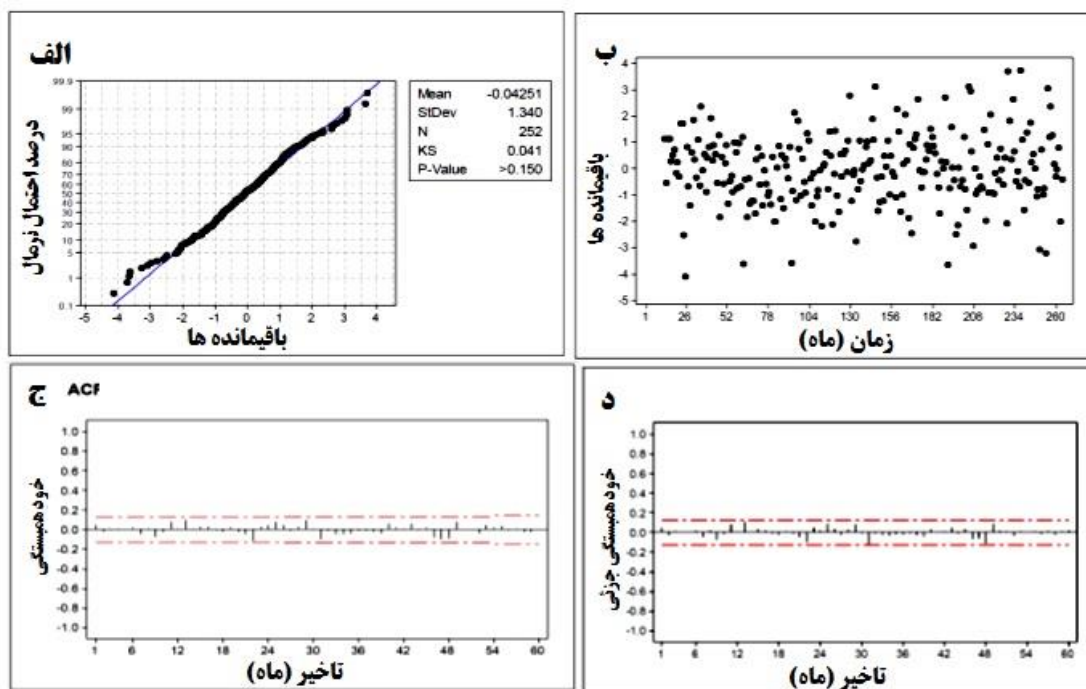
جدول ۴- نتایج برازش مدل $SARIMA(0,0,0)(2,1,1)$ بر سری زمانی دمای حداقل ماهانه

نوع	برآورد	خطای معیار برآورد	آماره t	-P مقدار
ضریب (λ_1)	-۰/۱۱۸	۰/۰۷۰۶	-۱/۶۸	۰/۰۹۵
ضریب (λ_2)	-۰/۲۱۵	۰/۰۷۱۶	۳	۰/۰۰۳
ضریب (γ_1)	-۰/۸۹۸	۰/۰۴۷۱	۱۹/۰۸	< ۰/۰۰۱
جمله ثابت (θ_0)	-۰/۱۱۶	۰/۰۱۱	۱۰/۴۸	< ۰/۰۰۱



شکل ۴- (الف): منحنی احتمال نرمال باقیمانده ها (ب): باقیمانده ها در برابر زمان (پ): ACF باقیمانده ها (ت): $PACF$ باقیمانده ها (دمای حداکثر ماهانه)

شعبانی و همکاران: پیش‌بینی تغییرات نیاز آبی برخی از محصولات کشاورزی...



شکل ۵- (الف): منحنی احتمال نرمال باقیمانده‌ها (ب): باقیمانده‌ها در برابر زمان (پ): ACF باقیمانده‌ها (ت): PACF باقیمانده‌ها (دمای حداقل ماهانه)

جدول ۵- بررسی شاخص‌های دقت مدل SARIMA(0,0,0)(0,1,1) دمای حداکثر ماهانه در دوره (۱۹۸۸-۲۰۰۸)

R ²	MBE	MAE	RMSE
۰/۹۵۴	۰/۰۴	۰/۲۹	۰/۳۰

جدول ۶- بررسی شاخص‌های دقت مدل SARIMA(0,0,0)(2,1,1)₁₂ دمای حداقل ماهانه در دوره (۱۹۸۸-۲۰۰۸)

R ²	MBE	MAE	RMSE
۰/۹۶۹	-۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۵

اعتبارسنجی مدل‌ها

مقایسه شد. شکل (۶) تغییرات دمای حداکثر از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۸ را نسبت به دوره ۱۰ ساله آبی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ در دشت مشهد را نشان می‌دهد. میانگین دمای حداکثر ماهانه در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد. بیشترین افزایش دما متعلق به ماه مارس به میزان ۱/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به شکل میزان افزایش دمای حداکثر در فصول گرم سال (بهار و تابستان) نسبت به فصول سرد (پاییز و زمستان) بیشتر خواهد بود. به طور کلی میانگین سالانه دمای حداکثر در دوره آبی نسبت به دوره پایه به میزان یک درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد.

جدول‌های (۴) و (۵)، نتایج بررسی دقت مدل‌های نهایی دمای حداکثر و حداقل ماهانه دشت مشهد را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، مقدار ضریب تعیین بالا و همچنین مقادیر شاخص‌های خطاسنجی نسبتاً پایین و نزدیک به صفر، مؤید انطباق قابل قبول مقادیر واقعی و نتایج مدل‌ها می‌باشد.

پیش‌بینی تغییرات دمای حداکثر و حداقل

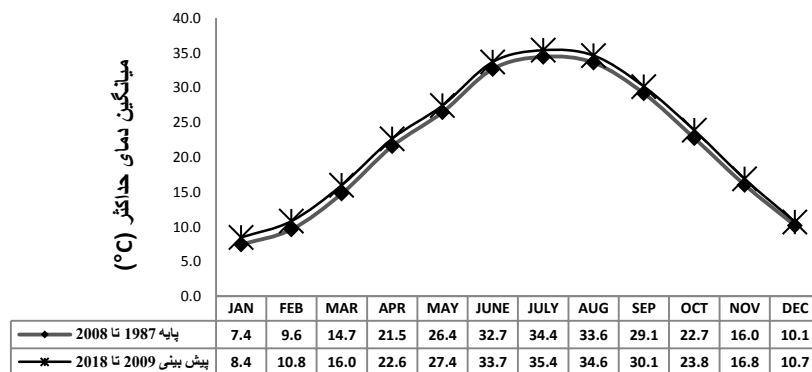
پس از بررسی دقت مدل‌های نهایی برای دمای حداکثر و حداقل ماهانه با استفاده از مدل‌های مربوطه برای دوره ۱۰ سال آبی (۲۰۰۹-۲۰۱۸) پیش‌بینی انجام گرفت و با دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۸)

ملاحظه می‌شود که تبخیر و تعرق به طور میانگین در تمام ماه‌ها افزایش پیدا خواهد کرد به طوری که بیشترین افزایش آن همانند دمای حداکثر در فصول گرم سال که همگام با شروع کشت‌های بهاره-تابستانه می‌باشد خواهد بود. این مسئله گویای این امر است که با وجود افزایش دو پارامتر حدی دمای هوا، تغییرات تبخیر و تعرق بیشتر تحت تأثیر تغییرات دمای حداکثر خواهد بود که این امر به مراتب موجب افزایش بیشتر مصرف آب کشاورزی خواهد شد. همچنین با توجه به جدول‌های (۶) و (۷)، به ترتیب میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل محصولات مختلف دشت مشهد را در هر ماه در دوره پایه و دوره ۱۰ ساله آتی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، ملاحظه می‌شود که تبخیر و تعرق گیاهان در نتیجه افزایش دما به طور متوسط برابر با ۱/۲ درجه سانتی گراد در طول فصل رشد، افزایش پیدا خواهد کرد.

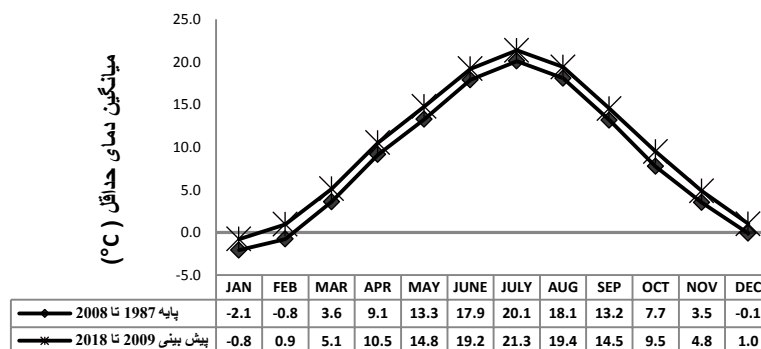
همچنین شکل (۷) تغییرات دمای حداقل از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۸ را نسبت به دوره ۱۰ ساله آتی از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ در دشت مشهد نشان می‌دهد. با توجه به شکل، میانگین دمای حداقل ماهانه در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. بیشترین افزایش دمای کمینه در ماه اکتبر به میزان ۱/۸ درجه سانتی گراد می‌باشد. نتایج پیش بینی حاکی از آن است که میزان افزایش دمای کمینه در فصول سرد نسبت به فصول گرم بیشتر خواهد بود. به طور کلی میانگین سالانه دمای حداقل در دوره آتی نسبت به دوره پایه به میزان ۱/۴ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت.

بررسی اثر تغییرات دمای هوا بر تبخیر و تعرق گیاهان زراعی و محصولات باغی

با توجه به شکل (۸) که تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل را تحت تأثیر تغییرات دمای هوا در دهه آتی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد

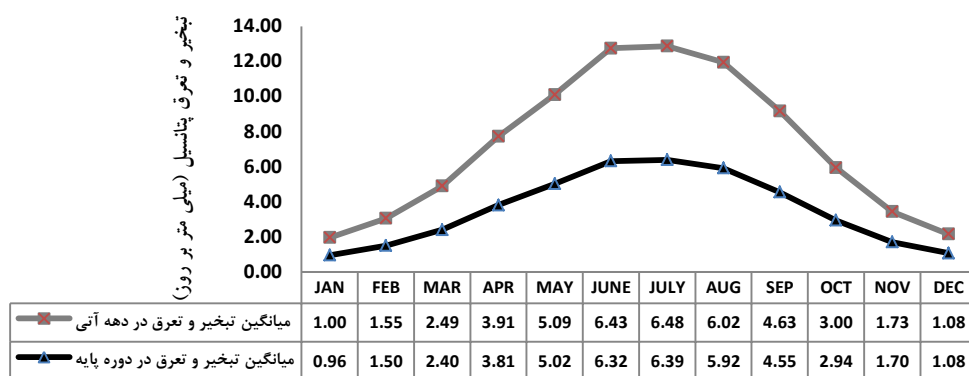


شکل ۶- تغییرات میانگین دمای حداکثر از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۸ نسبت به دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۸ در دشت مشهد



شکل ۷- تغییرات میانگین دمای حداقل از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۸ نسبت به دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۸ در دشت مشهد

شعبانی و همکاران: پیش‌بینی تغییرات نیاز آبی برخی از محصولات کشاورزی...



شکل ۸- تغییرات میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۹) در دشت مشهد

جدول ۷- تبخیر و تعرق پتانسیل محصولات زراعی و باغی دشت مشهد در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۸)

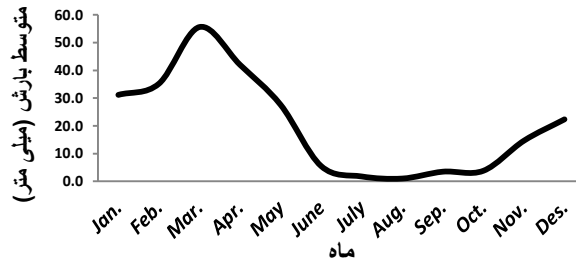
ماه	گندم	چغندر قند	گوجه‌فرنگی	یونجه	سیب
ژانویه	۰	۰	۰	۰	۰
فوریه	۱۳	۰	۰	۰	۰
مارس	۸۷	۰	۰	۳۰	۳۴
آوریل	۱۳۹	۰	۶۹	۴۶	۱۱۳
می	۱۸۶	۵۴	۱۸۷	۱۸۷	۱۶۰
جون	۶۳	۲۴۱	۲۳۰	۲۴۰	۲۰۶
جولای	۰	۲۵۲	۲۴۱	۲۵۲	۲۱۷
اگوست	۰	۲۳۲	۱۵۹	۲۳۲	۲۰۰
سپتامبر	۰	۱۷۱	۰	۱۷۳	۱۴۴
اکتبر	۰	۵۸	۰	۱۰۸	۹۲
نوامبر	۰	۳۱	۰	۰	۰
دسامبر	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۴۸۸	۱۰۳۹	۸۸۶	۱۲۶۸	۱۱۶۶
متر مکعب در هکتار	۴۸۸۰	۱۰۳۹۰	۸۸۶۰	۱۲۶۸۰	۱۱۶۶۰

جدول ۷- تبخیر و تعرق پتانسیل محصولات زراعی و باغی دشت مشهد در دوره ۱۰ ساله آتی (۲۰۰۹-۲۰۱۸)

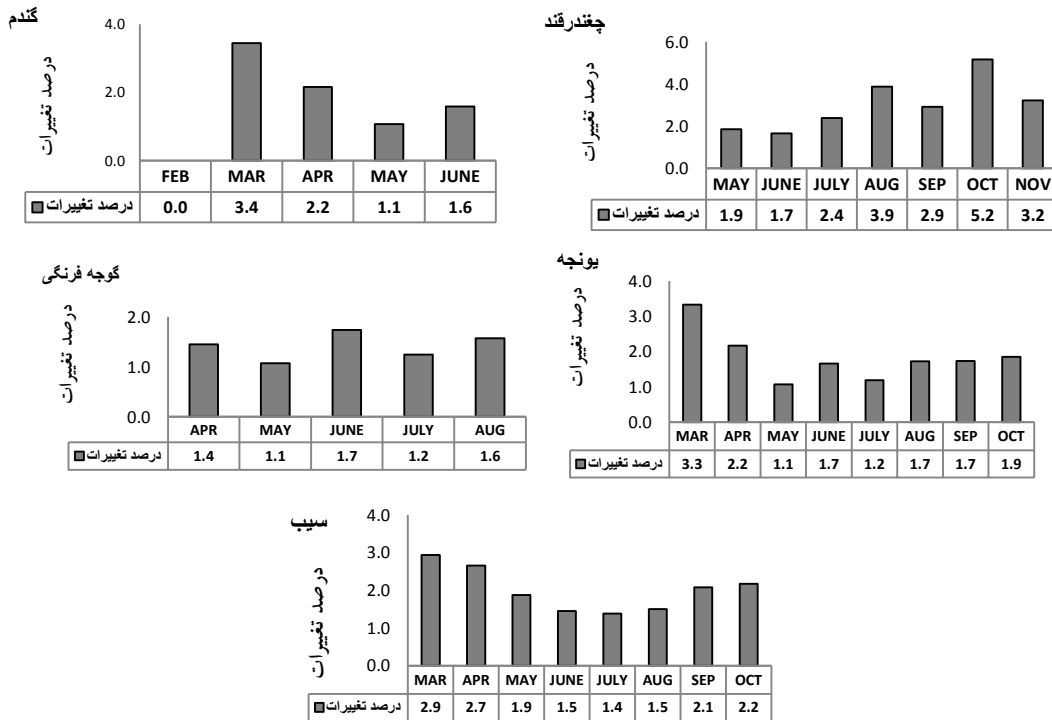
ماه	گندم	چغندر قند	گوجه‌فرنگی	یونجه	سیب
ژانویه	۰	۰	۰	۰	۰
فوریه	۱۳	۰	۰	۰	۰
مارس	۹۰	۰	۰	۳۱	۳۵
آوریل	۱۴۲	۰	۷۰	۴۷	۱۱۶
می	۱۸۸	۵۵	۱۸۹	۱۸۹	۱۶۳
جون	۶۴	۲۴۵	۲۳۴	۲۴۴	۲۰۹
جولای	۰	۲۵۸	۲۴۴	۲۵۵	۲۲۰
اگوست	۰	۲۴۱	۱۶۱	۲۳۶	۲۰۳
سپتامبر	۰	۱۷۶	۰	۱۷۶	۱۴۷
اکتبر	۰	۶۱	۰	۱۱۰	۹۴
نوامبر	۰	۳۲	۰	۰	۰
دسامبر	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۴۹۷	۱۰۶۸	۸۹۸	۱۲۸۸	۱۱۸۷
متر مکعب در	۴۹۷۰	۱۰۶۸۰	۸۹۸۰	۱۲۸۸۰	۱۱۸۷۰

همکاران (۲۰۱۰) که تاثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن هوا را با افزایش دما در دهه‌های آتی بر روی تبخیر و تعرق گیاهان زراعی در نواحی مرکزی بلژیک مورد بررسی قرار دادند مطابقت دارد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در مورد محصولات بهاره-تابستانه نظیر گوجه فرنگی، افزایش معنی‌دار در نیاز آبی رخ خواهد داد به نحوی که این افزایش تبخیر و تعرق حتی با بستن روزنه‌ها و کاهش دوره رشد گیاهان نیز جبران نخواهد شد. همچنین فرشی و امداد (۱۳۷۸) نتایج مشابهی را در بررسی اثر افزایش دمای هوا بر مصرف آب کشاورزی در اقلیم نیمه‌خشک سرد بدست آوردند نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش سه درجه سانتیگراد دمای هوا، چهار درصد بر شدت نیاز آبی افزوده خواهد شد. به طوری که در تحقیق حاضر، افزایش ۱/۲ درجه سانتیگراد میانگین دمای هوا، نیاز آبی محصولات کشاورزی دشت مشهد را به میزان ۱/۹ درصد افزایش می‌دهد.

همچنین با توجه به شکل (۱۰) که درصد تغییرات نیاز آبی محصولات مختلف را در دشت مشهد در دهه آتی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد، ملاحظه می‌شود که سه محصول گندم، یونجه و سیب بیشترین افزایش در نیاز آبی آنها در ماه مارس (۳/۴، ۳/۳ و ۲/۹ درصد) اتفاق می‌افتد که همگام با شروع بارندگی‌ها (شکل ۹) در دشت مشهد می‌باشد در حالی که گوجه فرنگی بیشترین تغییرات در نیاز آبی آن در ماه‌های خشک به ترتیب در جون و آگوست (۱/۷ و ۱/۶ درصد) و برای چغندر قند در ماه‌های آگوست و اکتبر (۳/۹ و ۵/۲ درصد) خواهد بود که تقریباً در این ماه‌ها میزان بارش مؤثر به صفر خواهد رسید. همچنین از بین پنج محصول منتخب در دشت مشهد، با توجه به جدول (۸) چغندر قند دارای بیشترین افزایش در نیاز آبی در ۱۰ سال آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد که این میزان افزایش برابر با ۲/۸ درصد یا معادل با ۲۹۰ مترمکعب افزایش در آب مصرفی در هر هکتار در کل فصل رشد خواهد بود. نتایج تحقیق حاضر با نتایج محققینی از جمله باگیس و



شکل ۹- میانگین بارش (میلی متر) دشت مشهد در دوره پایه



شکل ۱۰- درصد تغییرات نیاز آبی محصولات منتخب دشت مشهد در دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۸ نسبت به دوره پایه در طول فصل رشد

جدول ۸- مقایسه نیاز آبی سالانه محصولات دشت مشهد در دوره ۲۰۱۸-۲۰۰۹ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۸)

محصول	مجموع نیاز آبی ($\frac{m^3}{ha}$) در کل فصل رشد (پایه) (۱۹۸۷-۲۰۰۸)	مجموع نیاز آبی ($\frac{m^3}{ha}$) در کل فصل رشد (آبی) (۲۰۰۹-۲۰۱۸)	میزان افزایش مصرف آب ($\frac{m^3}{ha}$)	درصد تغییرات	میانگین تغییرات دمای هوا در کل فصل رشد ($^{\circ}C$)
گندم	۴۸۸۰	۴۹۷۰	۹۰	٪۱/۸	۱/۳
چغندر قند	۱۰۳۹۰	۱۰۶۸۰	۲۹۰	٪۲/۸	۱/۲
گوجه‌فرنگی	۸۸۶۰	۸۹۸۰	۱۲۰	٪۱/۴	۱/۲
یونجه	۱۲۶۸۰	۱۲۸۸۰	۲۰۰	٪۱/۶	۱/۲
سیب	۱۱۶۶۰	۱۱۸۷۰	۲۱۰	٪۱/۸	۱/۲

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با کمک سری‌های زمانی مدل $SARIMA(0,0,0)(0,1,1)_{12}$ برای دمای حداکثر ماهانه و مدل $SARIMA(0,0,0)(2,1,1)_{12}$ برای دمای حداقل ماهانه به عنوان مدل‌های نهایی تعیین شدند. با توجه به نتایج مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌ها و ضریب همبستگی بالا بین نتایج مدل‌ها و مقادیر واقعی دمای حداکثر و حداقل ماهانه می‌توان نتیجه گرفت که روش مدل‌سازی با به کارگیری روش $SARIMA$ یکی از روش‌های معتبر در شبیه‌سازی و پیش‌بینی مقادیر آینده پارامتر-های اقلیمی است. همچنین با توجه به نتایج پیش‌بینی حاصل از مدل‌ها می‌توان گفت در دشت مشهد پدیده گرمایش جهانی وجود داشته و افزایش دمای حداکثر به خصوص در فصول گرم و افزایش

دمای حداقل به خصوص در فصول سرد سال نشان‌دهنده‌ی این است که در آینده ماه‌ها و سال‌های گرم‌تری را پیش رو خواهیم داشت. پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاهان براساس پیش‌بینی دمای هوا و با استفاده از معادله هارگریوز-سامانی، نشان‌دهنده افزایش تبخیر و تعرق گیاهان در دشت مشهد می‌باشد. افزایش در نیاز آبی گیاهان، نیازمند مدیریت صحیح منابع آب در آینده خواهد بود. با توجه به افزایش دمای هوا در سال‌های آتی و تمرکز بارش در فصول زمستان و بهار در این دشت، توصیه می‌شود حتی الامکان از کشت محصولات تابستانه با دوره رشد طولانی مدت که مستلزم افزایش در مصرف آب کشاورزی است خودداری شود و محصولاتی با دوره رشد کوتاه که تطابق بیشتر با پراکنش بارش در بهار دارند استفاده گردد.

منابع

- احمدی، ف.، قهرمان، ب.، داوری، ک. و ح.ع نیرومند. ۱۳۸۶. کاربرد مدل‌های سری‌های زمانی در پیش‌بینی بارندگی ماهیانه و سالانه مشهد. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۲: ۲۱ تا ۳۲.
- جلالی، م و ح.کارگر. ۱۳۹۰. تحلیل و مدل‌سازی آماری دمای ایستگاه بوشهر (۲۰۰۵-۱۹۵۱). فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، ۳۳: ۱۴۹-۱۷۳.
- جهانبخش، س و س. ترابی. ۱۳۸۳. بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۴: ۱ تا ۲۲.
- خردمندنیان، م و ح. عساکره. ۱۳۸۰. الگوسازی $ARIMA$ برای متوسط دمای سالانه هوا در جاسک، سومین سمینار احتمال و فرآیند تصادفی، ۳: ۱۲۱-۱۳۲.
- خرمی، م و ا. بزرگ‌نیا. ۱۳۸۶. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم افزار $MNITAB 14$. انتشارات سخن گستر. ۳۳۶ صفحه.
- شریفان، ح و ب. قهرمان. ۱۳۸۶. ارزیابی پیش‌بینی باران با بکارگیری تکنیک $SARIMA$ در استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳: ۱۹۶-۲۰۹.
- عساکره، ح. ۱۳۸۶. تغییر اقلیم. انتشارات دانشگاه زنجان، ۲۳۴ صفحه.
- عساکره، ح. ۱۳۸۸. الگوی آریمما ($ARIMA$) برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۹۲: ۲۴ تا ۳.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۸۰۷ صفحه.
- علیزاده، ا.، ن. سیاری، م.ر. حسامی کرمانی، م. بنایان اول و ع. فرید حسینی. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف رود). نشریه آب و خاک، ۴: ۸۱۵ تا ۸۳۵.

- ۱۱- علیزاده ا و غ . کمالی. ۱۳۸۱. اثر تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی دشت مشهد. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳: ۱۹۰-۲۰۱.
- ۱۲- فولادمند، ح. ۱۳۸۹. پیش بینی ماهانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در استان فارس. مجله دانش آب و خاک. ۴: ۱۶۹-۱۵۷.
- ۱۳- فرشی، ع و م . امداد. ۱۳۷۸. بررسی اثر افزایش دمای کره زمین در افزایش مصرف آب کشاورزی. دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.
- ۱۴- نیرومند، ح. ع. ۱۳۸۶. تحلیل سری‌های یک متغیری و چند متغیری. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۸۶ صفحه.
- ۱۵- نیرومند، ح. ع. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۰۴ صفحه.
- ۱۶- ویسی پور، ح.، ج. معصوم پور سماکوش، ب . صحنه و ی . یوسفی. ۱۳۸۹. تحلیل پیش بینی روند بارش و دما با استفاده از مدل‌های سری زمانی (نمونه موردی: شهرستان کرمانشاه). فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا. ۳: ۷۷-۶۳.
- 17-Aguilera, A. M., Escabias, M and M.J Valderrama,. 2008. Forecasting binary longitudinal data by a Functional PC- ARIMA model. Computational Statistical & Data Analysis.52: 3187-3197.
- 18-Anonymous 2001. a. Climate Change (2001): Contribution of Working Group I to The Third Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- 19-Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., and V. Ntegeka. 2010. Climate change scenarios for precipitation and crop evapotranspiration over central Belgium. Theoretical Applied Climatology. 99: 273-286.
- 20- Box, G.E.P., and G.M Jenkins. 1976. Time series analysis forecasting and control. Holden-Day.
- 21-Cohen, S., Lanetz, A., and G. Stanhill, G. 2002. Evaporation climate change at Bet Dagan, 1964-1998. Agricultural and Forest Meteorol, 111: 83-91.
- 22-Hughes G.L., SubbaRao S., and SubbaRao T. 2007. statistical analysis and time-series models for minimum/maximum temperatures in the Antarctic peninsula. PROCEEDINGS- ROYAL SOCIETY OF LONDON A.463:241-260.
- 23-Hulme, M., Barrow, E.M., Arnell, N.W., Harisson, P.A., Joens , T.C., and T.E Downing. 1999. Relative impact of human-induced climate change and natural climatic variability. Nature. 397:688-691.
- 24-Pouw, E.D., Gbela, W., and H. Adamb. 2000. Agro meteorological aspect of agriculture and forestry in the arid zone of Nigeria 1961-1991. Journal of. Arid .Environ. 45: 263-288.
- 25-Zekai, S. 1998. Small sample estimation of the variance of time averages in climate time series. International Journal of Climatology.18: 1725-1732.
- 26- Yurekli, K., Simsek, H., Cemek, B., and S. Karaman, 2007. Simulating climatic variables by using stochastic approach. Building and Environment. 42: 3493-3499.