

بررسی کمی تأثیر خشک‌سالی بر عملکرد محصول جو در آذربایجان شرقی به روش رگرسیون چندمتغیره

الهام رحمانی^{۱*}، علی خلیلی^۲ و عبدالمجید لیاقت^۲

(تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۸)

چکیده

متغیرهای آب و هوایی به ویژه بارندگی در سال زراعی نقش اصلی را در پیش‌بینی عملکرد محصول ایفا می‌کنند. هدف از این تحقیق تخمین عملکرد محصول با استفاده از پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی به روش کلاسیک بود. برای رسیدن به این هدف در ابتدا ده پارامتر هواشناسی و دوازده شاخص خشک‌سالی در ایستگاه‌های تبریز و میانه از نظر نرمال بودن و هم‌راستایی سنجش شدند. سپس تحلیل هم‌بستگی یک و چندمتغیره بین عملکرد محصول جو با پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی انجام گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که از بین شاخص‌های مطالعه شده، شاخص‌های نگوین، ترانسو تغییر یافته، استاندارد شده بارش ۲۴ ماهه و ناهنجاری بارش بیشترین اثر را بر عملکرد دارند. هم‌چنین مشخص شد که برای پیش‌بینی عملکرد محصول، مدل‌های چندمتغیره بسیار بهتر از مدل‌های یک متغیره می‌باشند. در نهایت روابط به‌دست آمده در این تحقیق براساس شاخص‌های آماری R و $RMSE$ و MBE رتبه‌بندی شدند که رابطه چند متغیره بین پارامترهای متوسط سرعت باد، بارش، مجموع دمای بیش از ۱۰ درجه، تعداد ساعات آفتابی، شاخص نگوین و عملکرد جو دیم در میانه با دوره آماری ۱۷ سال بهترین مدل شناخته شد. در این رابطه پارامترهای سرعت متوسط باد و شاخص خشک‌سالی نگوین با داشتن ضرایب بزرگ‌تری نسبت به بقیه پارامترها بیشترین اثر را بر عملکرد دارا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: خشک‌سالی، عملکرد جو، شاخص‌های خشک‌سالی، پارامترهای هواشناسی، روش‌های کلاسیک

مقدمه

خسارات شدیدی به محصولات کشاورزی وارد آورده و در نتیجه، عملکرد محصولات کاهش می‌یابد (۷). تاکنون بیش از ۱۵۰ تعریف مختلف برای خشک‌سالی ارائه شده است که همگی آنها بر اساس میزان باران نازل شده استوار هستند (۷). به‌عبارتی، در تمامی شاخص‌های معرف خشک‌سالی، بارندگی جایگاه اصلی را به خود اختصاص می‌دهد (۵). دانشمندان تنها روی تعاریف بسیار کلی خشک‌سالی اتفاق نظر دارند. به‌عنوان مثال یکی از تعاریف، مشخصه اصلی خشک‌سالی را کاهش

خشک‌سالی کشاورزی از پیچیده‌ترین و مهم‌ترین بلایای طبیعی است که مناطق وسیعی را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث کاهش و افت شدید در تولیدات غذایی می‌شود. پایش و پیش‌بینی این پدیده بسیار مشکل است (۷). بررسی‌های آماری نشان داده که ۱۱٪ بلایای طبیعی مربوط به خشک‌سالی‌ها در جهان است (۵). به‌طور کلی، از نظر مفهومی خشک‌سالی کشاورزی عبارت است از یک دوره کمبود بارندگی که

۱. کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. به ترتیب استاد و دانشیار مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: erahmani@daad-alumni.de

دسترسی به آب در یک دوره زمانی مشخص و در یک ناحیه مشخص می‌داند (۷). تعریف دیگر، خشک‌سالی را کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی می‌داند (۷). در این تعریف واژه مستمر، بیانگر زمان آغاز تا پایان خشک‌سالی یا زمان تداوم بوده و واژه غیرطبیعی، به انحراف یا نوسان منفی نسبت به شرایط میانگین طبیعی دلالت دارد. داده‌های آب و هوایی به‌طور معمول برای تخمین عملکرد محصول و خشک‌سالی کشاورزی استفاده می‌شود ولی با توجه به شدت و دوام خشک‌سالی که ممکن است بر عملکرد سال‌های بعد نیز تأثیر بگذارد در نقاط مختلف جهان سعی شده که به نوعی رابطه این بلیه طبیعی را با عملکرد محصولات مختلف یافته و به نحوی آن را کنترل نمایند (۷).

در مناطق شمالی مکزیک برای تعیین کمیت خشک‌سالی کشاورزی، یک سری روابط کمی بین SPI-x و عملکرد محصولات لوبیا و ذرت به‌دست آمد (x نشان‌دهنده دوره برگشت ۳، ۴، ۵ و ۶ ماهه است). از بین آنها فقط روابط بین SPI-3 و عملکرد دارای ضریب تبیین بهتری (۰/۵۴ - ۰/۲۶) بود. در این تحقیق اظهار شد که دلیل ممکن برای پایین بودن ضریب هم‌بستگی این است که مقادیر SPI برای کل ایالت میانگین‌گیری شده است و یکی از راه‌های اصلاح این است که ایالت به مناطق محلی تقسیم شده و سپس آنالیز هم‌بستگی بین عملکرد محلی و مقادیر SPI انجام شود. دلیل دیگر چنین مطرح شد که SPI تنها به بارندگی بستگی دارد که آن هم یکی از چندین پارامتر اثرگذار روی عملکرد محصول است. در این تحقیق هم چنین نتیجه‌گیری شد که شاخص ساده SPI نمی‌تواند به تنهایی جهت پیش‌بینی عملکرد محصول و تعیین مقدار کمی خشک‌سالی در مکزیک موفقیت‌آمیز باشد و شاخص دیگری نیاز است تا بتواند جهت پیش‌بینی خشک‌سالی کشاورزی و عملکرد محصولات عمده، مورد استفاده قرار گیرد (۷).

در تحقیقی دیگر، از یک مدل بیلان آبی برای بررسی اثرات خشک‌سالی کشاورزی روی گیاه ارزن در کشور نیجریه استفاده شد. بررسی‌های انجام شده در نیجریه کارایی مدل را برای مطالعه رخدادهای تاریخی خشک‌سالی کشاورزی تأیید نمود،

اما به‌کارگیری آن جهت پیش‌آگاهی خشک‌سالی کشاورزی و قحطی نیازمند بررسی‌های بیشتر در زمینه تبخیر و تعرق و تنش آبی گیاه طی مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن می‌باشد (۷). شاخص Palmer نیز برای برزیل تعدیل و تغییر یافته و در ایالت سائوپائولو (Saopaulo) جهت پایش شرایط خشک‌سالی ماهانه و دهه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و رابطه بین عملکرد ذرت و شاخص PDSI (پالمر) نیز در آنجا به‌دست آمده است (۷).

از شاخص خشکی پالمر کالیبره شده جهت پایش خشک‌سالی کشاورزی در لهستان نیز استفاده شد، و یک شاخص دیگری که بتواند نشان‌دهنده بهتری برای خشک‌سالی نسبت به بارندگی باشد نیز استفاده گردید. این شاخص به صورت $\frac{EP}{P_{veg}}$ تعریف شده است که EP، تبخیر تعرق پتانسیل و P_{veg} میانگین مجموع بارندگی در طول فصل رشد (April-September) می‌باشد (۷).

یانگ و تیان مدل تعادل آبی که موازنه آبی برای منطقه ریشه در یک ستون خاک می‌باشد را جهت پایش خشک‌سالی در چین مورد استفاده قرار داد (۱۵).

گیتلسون و همکاران (۱۹۹۸) رابطه شاخص‌های VCI و NDVI را با تراکم و توده گیاهان و بازتابش به‌دست آورده و آنها را بررسی نمودند. ایشان اعلام کردند که شاخص VCI تغییرات NDVI در اثر تغییرات آب و هوا در بین سال‌ها را نشان می‌دهد و معیاری برای بیان اثر آب و هوا بر پوشش می‌باشد. این مطالعه در نواحی مختلفی از قزاقستان با اقلیم‌های متفاوت واقع در نواحی نیمه بیابانی و استپی - جنگلی و ارتفاع‌های متفاوت از سطح دریا انجام گردید. این مطالعه برای نخستین بار نشان داد که می‌توان از شاخص VCI برای ارزیابی کمی وضعیت پوشش گیاهی و تراکم آن استفاده نمود (۸).

سایر و همکاران از دو شاخص VCI و TCI برای پایش خشک‌سالی در آرژانتین استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان دادند که ۷۱٪ از تغییرات عملکرد محصول ذرت به میانگین

دما را در بخش‌های مرکزی گریت پلینزو ایالت کانزاس ایالات متحده مورد بررسی قرار دادند. رابطه مقادیر NDVI دو هفته‌ای با بارندگی کل دو هفته‌ای در همان دوره زمانی بررسی گردید و هم‌بستگی قابل توجه‌ای به‌دست آمد. نتایج نشان دادند که بین شروع بارندگی و پاسخ NDVI تأخیر زمانی یک تا دو هفته‌ای وجود دارد (۱۴).

در این تحقیق جو مانند گندم در مناطق مختلف که دارای شرایط آب و هوایی متفاوت می‌باشند رشد کرده و محصول تولید می‌نماید. مقاومت آن در برابر گرما بیش از گندم بوده و گیاهی است که برای رشد و نمو احتیاج به روزهای بلند دارد و در مناطقی که طول روز ۱۲ تا ۱۳ ساعت باشد، بهتر رشد می‌نماید. جو در هر دو نیم‌کره شمالی و جنوبی در اقلیم‌های مختلف کشت می‌گردد و در مقایسه با گندم مقاومت بیشتری به خشکی و بیماری‌ها دارد. در شرایط نامساعد محیطی و کمبود بارندگی، عملکرد آن بیشتر از گندم است. از آنجا که قیمت جو در بازار به مراتب پایین‌تر از گندم می‌باشد، کشت آن را به نقاط کم باران و خاک‌های فقیری که برای رشد و نمو گندم مساعد نیستند اختصاص می‌دهند. حداقل بارندگی موردنیاز آن نیز حدود ۲۵۰-۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد. جو در مقابل تغییرات ارتفاع از سطح دریا نیز مقاومت زیادی دارد و تا ارتفاع ۴۰۰۰ متری به خوبی رشد و نمو کرده و محصول تولید می‌نماید. کمترین درجه حرارت برای تولید جوانه جو حدود ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد و دمای مناسب برای رشد آن ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر رشد در دمای ۳۱°C است. در مقایسه با سایر غلات، جو نسبت به شوری خاک، چه در مرحله جوانه‌زنی و چه در مراحل بعدی رشد، مقاوم‌تر است. البته درجه مقاومت واریته‌های جو در این مورد هم متفاوت و تابع ویژگی‌های ژنتیکی واریته‌ها است (۲، ۳ و ۶).

در اغلب مطالعات انجام شده جهت پایش خشک‌سالی و عملکرد رابطه یکی از شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد محصول مطالعه شده است. حال آن‌که در این پژوهش هدف این است که با استفاده از روش کلاسیک، رابطه چندین شاخص

شاخص‌های طیفی مورد مطالعه در ماه‌های ژانویه و فوریه مربوط بود. استفاده از شاخص‌های VCI و TCI برای ارزیابی مشخصات مکانی، مدت و شدت خشک‌سالی مفید بود و رابطه خوبی بین این شاخص‌ها و داده‌های بارندگی به‌دست آمد (۱۱). وگت و همکاران ضمن بررسی وضعیت فعلی پایش خشک‌سالی در جهان و روند آینده آن، دو روش استفاده از داده‌های ماهواره‌ای یعنی استفاده از شاخص‌های گیاهی و مدل تعادل انرژی را در دو استان اندلس اسپانیا و سیسیل ایتالیا مورد توجه قرار داده‌اند. هر دو روش مورد مطالعه رابطه خوبی با شاخص اقلیمی SPI نشان دادند. این پژوهشگران مهم‌ترین مزیت استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای را گسترده‌ی دامنه اطلاعات ماهواره‌ای و امکان تهیه نقشه از وضعیت خشک‌سالی اعلام کرده‌اند (۱۳).

هایم ضمن مروری بر شاخص‌های اقلیمی و شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور، مزایا و معایب هر یک از این شاخص‌ها را برشمرده و چگونگی تحول استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی را معرفی می‌نماید (۹).

سینگ و همکاران از شاخص وضعیت دمایی (TCI) حاصل از تصاویر AVHRR برای پایش خشک‌سالی در هندوستان استفاده کرده‌اند. ایشان اظهار می‌دارند که در دوره‌هایی که به‌طور غیرطبیعی مرطوب هستند مقادیر NDVI و VCI کم برآورد خواهند شد که می‌تواند به اشتباه نشانگر وقوع خشک‌سالی باشد. در چنین مواردی استفاده از شاخص TCI می‌تواند در تشخیص خشک‌سالی واقعی مفید واقع گردد (۱۲).

کارابولوت به بررسی رابطه پوششی گیاهی و الگوهای مختلف بارندگی در منطقه بلک هیلز آمریکا پرداخته است. ایشان اظهار می‌دارند که در بررسی رابطه بارندگی و NDVI باید ماه‌های قبل را نیز در نظر گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مقادیر NDVI هم‌بستگی قوی‌تری را با بارندگی همان ماه به اضافه دو ماه قبل نسبت به بارندگی همان ماه و ماه قبل به تنهایی، نشان داده است (۱۰).

وانگ و همکاران پاسخ زمانی شاخص NDVI به بارندگی و

خشک سالی و پارامتر هواشناسی به طور هم زمان بر روی عملکرد محصول بررسی گردد.

مواد و روش ها

تحلیل رگرسیونی روشی است که جهت مطالعه روابط بین متغیرها و به ویژه نحوه وابستگی یک متغیر به متغیرهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. واژه رگرسیون، اغلب جهت رساندن مفهوم بازگشت به یک مقدار متوسط یا میانگین به کار برده می شود.

تحلیل رگرسیونی، تحلیلی جهت کمی نمودن ارتباط بین یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل می باشد.

به طور کلی این تکنیک را می توان جهت دو مقصود اساسی به کار گرفت:

- پیش بینی متغیر وابسته بر مبنای مقادیر متغیرهای مستقل
- فهم نحوه ارتباط یا تأثیرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته

رگرسیون چندمتغیری نیز روشی برای تحلیل مشارکت جمعی و فردی دو یا چند متغیر مستقل در تغییرات یک متغیر وابسته است. جهت تعمیم رگرسیون برای مطالعه مسائلی که دارای تعدادی دلخواه متغیر مستقل است.

شاخص های ارزیابی عملکرد مدل

یکی از شاخص های آماری که برای ارزیابی عملکرد مدل ها از آن استفاده می شود، ضریب هم بستگی می باشد که توسط رابطه زیر تعریف می شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 (O_i - \bar{O})^2}}, \quad -1 \leq r \leq 1 \quad [1]$$

در رابطه فوق، r ضریب هم بستگی، P_i مقدار پیش بینی شده برای سال i ام، $\bar{P}$: متوسط مقادیر پیش بینی در دوره n ساله، O_i : مقدار مشاهده شده برای سال i ام و $\bar{O}$: متوسط مقادیر مشاهده شده در

دوره n ساله می باشند.

از آنجا که مقادیر ضریب هم بستگی همواره در بازه $[-1, 1]$ قرار می گیرند، قضاوت از روی این ضریب ساده است و ممکن است به نظر رسد که ضریب هم بستگی می تواند معیار مناسبی در ارزیابی مدل باشد. با این حال، بایستی توجه داشت که ضریب هم بستگی نمی تواند به تنهایی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدل ها باشد. زیرا، ممکن است در یک مدل فرضی مقادیر پیش بینی و مشاهده شده دارای اختلاف فاحشی باشند ولی این اشتباهات به گونه ای باشد که از یک روند یک نواخت پیروی نماید. بنابراین، گرچه ضریب هم بستگی به خوبی نشان دهنده میزان هم آهنگی روند تغییرات مقادیر مشاهده شده نسبت به مقادیر پیش بینی شده می باشد اما گویای تطابق آنها نیست.

شاخص های کمی دیگری که می توان در برآورد دقت مدل استفاده نمود، عبارت اند از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد انحراف جذر میانگین مربعات خطا از میانگین (%RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE) (Mean Bias Error) و درصد انحراف MBE از میانگین که به صورت زیر تعریف می شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \bar{M})^2}{n}} \quad [2]$$

$$\%RMSE = \frac{RMSE}{\bar{M}} \times 100 \quad [3]$$

$$MBE = \frac{\sum (C_i - M_i)}{n} \quad [4]$$

$$\%MBE = \frac{MBE}{\bar{M}} \times 100 \quad [5]$$

که در آنها: C_i ، مقدار محاسبه شده، M_i مقدار مشاهده شده، $\bar{M}$ میانگین حسابی داده های مشاهده شده و n ، تعداد داده ها می باشد. مقدار RMSE یا %RMSE سنجش ای برای میزان درستی و اعتبار مدل ها می باشد و هر چه مقدار آن کمتر باشد، دقت مدل بیشتر است. مقادیر مثبت MBE یا %MBE نشان دهنده بیش برآورد کردن مقادیر توسط مدل و مقادیر منفی آن نشان دهنده کم برآورد کردن مدل می باشد.

جهت انتخاب مکان تحقیق، ابتدا اقدام به جمع آوری آمار عملکرد جو از استان آذربایجان شرقی گردید و سپس شهرهای

تبریز و میانه، به علت تفاوت آب و هوایی و پوشش دادن بخش های مرکزی و جنوبی استان و دارا بودن آمار مکفی عملکرد، جهت مقایسه انتخاب شدند. در این تحقیق از آمار هواشناسی ایستگاه های سینوپتیک زیر نیز استفاده گردید:

۱- ایستگاه تبریز با دوره آماری ۳۰ ساله

۲- ایستگاه های تبریز و میانه با دوره آماری ۱۷ ساله

قابل ذکر است که شهر تبریز در ۳۸ درجه عرض شمالی و ۴۶ درجه طول شرقی با ارتفاع متوسط ۱۳۵۱/۴ متر از سطح دریا و در ناحیه سردسیر استان واقع است که در مسیر بادهای مرطوب قرار دارد و شهر میانه در ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا و در ناحیه معتدل واقع شده است. با توجه به دوره رشد محصول جو پاییزه در شهرستان تبریز که در اواخر مهرماه هر سال کشت و در دهه اول تیر ماه سال بعد برداشت می شود، طبق ماه های میلادی این دوره از دهم اکتبر هر سال لغایت سی ام ژوئن سال بعد، و در شهرستان میانه نیز این دوره از دهم اکتبر هر سال لغایت ۱۵ ام ژوئن سال بعد، به طور پیوسته، در هر سال زراعی در نظر گرفته شده است. شکل ۱ نیز پراکنش شهرها و ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی را در استان آذربایجان شرقی نشان می دهد.

شاخص های خشک سالی محاسبه شده

شاخص درصد از نرمال (PNPI) یا (E): از تقسیم بارندگی به بارش نرمال حاصل می شود (۱).

شاخص بارندگی سالانه استاندارد (SIAP): از تقسیم تفاضل بارش در هر سال از میانگین بلندمدت آن برانحراف استاندارد بارش حاصل می شود (۱).

شاخص هیدروترمال سلانیف (HT) تغییر یافته: از تقسیم مجموع بارش ماهانه بر حاصل ضرب مجموع دماهای بیش از ده درجه ضرب در ضریب ۰/۱ حاصل می شود (۷).

شاخص نگوین (K_m): از تقسیم تبخیر تعرق سالانه بر بارش سالانه حاصل می شود که در این جا به دلیل در دسترس نبودن آمار روزانه تبخیر تعرق از آمار روزانه تبخیر استفاده شده

است (۷).

شاخص ناهنجاری بارش (RAI): چنانچه داده های بارندگی از میانگین دراز مدت بیشتر باشد یا ناهنجاری مثبت باشد، این شاخص از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$RAI = 3[(P - P_n)/(m - P_n)] \quad [6]$$

و اگر داده های بارندگی از میانگین دراز مدت کمتر باشد و یا ناهنجاری منفی باشد رابطه به صورت زیر است:

$$RAI = -3[(P - P_n)/(x - P_n)] \quad [7]$$

P_n میانگین دراز مدت بارندگی m میانگین ۱۰ مورد از بزرگ ترین مقادیر بارش اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی و x میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارش اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی می باشد (۱).

شاخص استاندارد شده بارش (SPI) (در مقیاس های زمانی ۳ و ۶ و ۹ و ۱۲ و ۲۴ ماهه و یا داده های بارندگی از سال ۱۹۷۲ محاسبه شده است (۱).

شاخص رطوبتی شاشکو (md): از نسبت بین بارش بر فشار بخار آب هوا به هکتوپاسکال در هر سال محاسبه شده است (۷).
شاخص ترانسو (I_h) تغییر یافته: از نسبت متوسط بارش سالانه بر متوسط تبخیر سالانه حاصل می شود (۷).

پارامترهای هواشناسی به کار گرفته شده

پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق که در دوره رشد محصول در سال های زراعی مربوطه تعیین شده اند، عبارت اند از: بارندگی، میانگین دمای ماکزیمم، میانگین دمای مینیمم، میانگین دمای متوسط، مجموع دماهای بیش از ۱۰°C، تبخیر، فشار بخار آب هوا، متوسط سرعت باد و تعداد ساعت های آفتابی و رطوبت نسبی (تمامی این پارامترها از آمار روزانه استخراج شده اند).

نتایج

۱) بررسی نرمال بودن و اثر هم راستایی (اثر متقابل)

بر اساس فرض اولیه نرمال بودن پارامترهای مورد استفاده در



شکل ۱. پراکنش شهرها و ایستگاه‌های سینوتیک و کلیما تولوژی استان آذربایجان شرقی

روابط چندمتغیره را برای این دو شهر نشان می‌دهند.

همان‌طور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود بیشترین تأثیر را در حالت دیم، بارندگی و ساعات آفتابی و شاخص نگین و در حالت آبی، سرعت متوسط با دو تبخیر بر عملکرد دارند و شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد آبی روابط چندانی ندارند که منطقی به نظر می‌رسد. با توجه به جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود که ضرایب هم‌بستگی در مدل‌های دیم ۳۰ ساله که تنوع واریته‌ها بیشتر شده کمتر از ۱۷ سال می‌باشد و پایین بودن ضرایب هم‌بستگی ممکن است به دلیل مختلف بودن واریته‌های جو در طول ۱۷ یا ۳۰ سال باشد.

با توجه به جداول ۳ و ۴ درمی‌یابیم که روابط چندمتغیره با پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد دیم رابطه بهتری دارند و در این حالت نیز ضرایب هم‌بستگی در مدل‌های دیم ۳۰ ساله که تنوع واریته‌ها بیشتر شده کمتر از ۱۷ ساله می‌باشد.

بررسی‌های رگرسیونی، ابتدا تمامی پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی و عملکردهای جودیم و آبی جهت نرمال بودن بررسی می‌کنند و این نتیجه حاصل شد که تمامی آنها از فرم نرمال تبعیت شدند. اثر هم‌راستایی پارامترها نیز برهم با ضریب هم‌بستگی پیرسون و مقدار P (به منظور تعیین معنی‌دار بودن یا نبودن ضریب پیرسون) بررسی شد تا این‌که از تشدید اثر برخی پارامترها بر هم و بالا بردن مصنوعی ضریب تبیین جلوگیری شود، و پارامترها و شاخص‌هایی که بر هم اثر متقابل قابل توجه داشتند، یک‌جا آورده نشدند.

۲) بررسی مدل‌های آماری کلاسیک (هم‌بستگی یک متغیره و چندمتغیره)

نتایج ضرایب تبیین این مدل‌ها در جداول ۱ تا ۴ آورده شده است. جداول ۱ و ۲ ضرایب تبیین روابط یک متغیره بین عملکرد دیم و آبی را به ترتیب برای تبریز و میانه و جدول‌های ۳ و ۴

جدول ۱. ضرایب تبیین روابط یک متغیره بین عملکرد دیم و آبی و شاخص‌های خشک‌سالی و پارامترهای هواشناسی در تبریز
با دوره آماری ۳۰ سال (۱۹۷۴ الی ۲۰۰۴)

پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی	عملکرد جو دیم (استاندارد شده)	عملکرد جو آبی (استاندارد شده)
دمای فعال بیش از 10°C	$R^2 = 0.1898$	$R^2 = 0.113$
بارندگی	$R^2 = 0.3486$	$\times$
رطوبت نسبی	$\times$	$R^2 = 0.1942$
سرعت متوسط باد (نات)	$\times$	$R^2 = 0.6137$
تعداد ساعات آفتابی	$R^2 = 0.2719$	$\times$
متوسط دمای مینیمم	$R^2 = 0.1342$	$R^2 = 0.1797$
متوسط دمای ماکزیمم	$\times$	$R^2 = 0.1299$
متوسط دمای میانگین	$\times$	$R^2 = 0.1608$
تبخیر	$\times$	$R^2 = 0.5602$
فشار بخار آب	$\times$	$\times$
شاخص هیدروترمال HT	$R^2 = 0.3103$	$\times$
شاخص رطوبتی ششکو Md	$R^2 = 0.2969$	$\times$
شاخص نگوین K	$R^2 = 0.471$	$R^2 = 0.2296$
شاخص ترانسو Ih	$\times$	$\times$
شاخص بارندگی SIAP	$R^2 = 0.3486$	$\times$
شاخص درصد از نرمال PNPI	$R^2 = 0.3486$	$\times$
شاخص ناهنجاری بارش RAI	$R^2 = 0.3571$	$\times$
شاخص SPI 3	$R^2 = 0.2126$	$\times$
شاخص SPI 6	$\times$	$\times$
شاخص SPI 9	$\times$	$\times$
شاخص SPI 12	$\times$	$\times$
شاخص SPI 24	$\times$	$\times$

جدول ۲. ضرایب تبیین روابط یک متغیره بین عملکرد دیم و شاخص‌های خشک‌سالی و پارامترهای هواشناسی درمیان و تبریز
با دوره آماری ۱۷ سال (۱۹۸۷ الی ۲۰۰۴)

پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی	تبریز (۱۷ ساله) (دیم)	میان (۱۷ ساله) (دیم)
دمای فعال بیش از 10°C	$R^2 = 0.2958$	$R^2 = 0.3087$
بارندگی	$R^2 = 0.7578$	$R^2 = 0.4825$
رطوبت نسبی	$R^2 = 0.2661$	$\times$
سرعت متوسط باد (نات)	$\times$	$\times$
تعداد ساعات آفتابی	$R^2 = 0.4266$	$R^2 = 0.5582$
متوسط دمای مینیمم	$\times$	$R^2 = 0.4585$
متوسط دمای ماکزیمم	$\times$	$\times$
متوسط دمای میانگین	$\times$	$\times$
تبخیر	$\times$	$R^2 = 0.4585$
فشار بخار آب	$R^2 = 0.3149$	$R^2 = 0.4426$
شاخص هیدروترمال HT	$R^2 = 0.7211$	$R^2 = 0.4963$
شاخص رطوبتی ششکو Md	$R^2 = 0.6992$	$R^2 = 0.4602$
شاخص نگوین K	$R^2 = 0.6815$	$\times$
شاخص ترانسو Ih	$R^2 = 0.6969$	$\times$
شاخص بارندگی استاندارد SIAP	$R^2 = 0.75781$	$R^2 = 0.4825$
شاخص درصد انحراف از نرمال PNPI	$R^2 = 0.7578$	$R^2 = 0.4825$
شاخص ناهنجاری بارش RAI	$R^2 = 0.7588$	$R^2 = 0.5011$
شاخص SPI 3	$R^2 = 0.5184$	$R^2 = 0.4054$
شاخص SPI 6	$R^2 = 0.361$	$\times$
شاخص SPI 9	$R^2 = 0.4072$	$\times$
شاخص SPI 12	$R^2 = 0.394$	$\times$
شاخص SPI 24	$R^2 = 0.291$	$\times$

جدول ۳. روابط چندمتغیره بین عملکرد دیم و شاخص‌های خشک‌سالی و پارامترهای هواشناسی در تبریز
با دوره آماری ۳۰ سال (۱۹۷۴ الی ۲۰۰۴)

عملکرد جو آبی (استاندارد شده)	عملکرد جو دیم (استاندارد شده)	رابطه معنی‌دار در سطح ۹۹٪ با :
$Y(abi) = -4.45 + 0.570 \text{ wind} + 0.00135 \text{ E} + 0.101 \text{ Tmin}$ R-Sq = 72.7% R-Sq(adj)=69.5%	$Y(z) = -2.33 + 0.0107 \text{ P} + 0.0737 \text{ Tmin} - 0.00115 \text{ Sun} + 0.00168 \text{ E}$ R-Sq = 57.7% R-Sq(adj)=49.6%	پارامترهای هواشناسی
$Y(abi) = -0.826 + 0.223 \text{ K} - 0.0183 \text{ SPI}24$ R-Sq = 23.2% R-Sq(adj)=17.3	$Y(z) = 0.639 - 1.36 \text{ Ih} + 0.252 \text{ RAI} + 0.0170 \text{ SPI}24$ R-Sq = 47.8% R-Sq(adj)=41.8%	شاخص‌های خشک‌سالی
$Y(abi) = -5.87 - 0.0171 \text{ SPI}24 + 0.00525 \text{ P} + 0.626 \text{ Wind} + 0.00133 \text{ E} + 0.0926 \text{ Tmin}$ R-Sq = 78.4% R-Sq(adj)=72.7%	$Y(z) = 2.86 + 0.236 \text{ RAI} - 1.11 \text{ Ih} + 0.0615 \text{ Tmin} - 0.00162 \text{ Sun} + 0.0131 \text{ SPI}24$ R-Sq = 65.4% R-Sq(adj)=56.3%	پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی باهم

جدول ۴. روابط چندمتغیره بین عملکرد دیم با شاخص‌های خشک‌سالی و پارامترهای هواشناسی در میانه و تبریز
با دوره آماری ۱۷ سال (۱۹۸۷ الی ۲۰۰۴)

میانه	تبریز	رابطه معنی‌دار در سطح ۹۹٪ با :
$Y(Z) = -3.32 + 0.0124 \text{ P} + 0.672 \text{ wind} - 0.000974 \text{ sunshine}$ R-Sq = 75.0% R-Sq(adj)=69.2%	$Y(Z) = -8.91 + 0.0100 \text{ P} + 0.0919 \text{ RH} + 0.250 \text{ wind}$ R-Sq = 64.4% R-Sq(adj)=56.2%	پارامترهای هواشناسی
$Y(Z) = -3.02 + 1.25 \text{ HT} + 0.159 \text{ Md} + 0.22 \text{ K}$ R-Sq = 55.2% R-Sq(adj)=44.9%	$Y(Z) = 2.07 - 0.466 \text{ K} + 0.0369 \text{ SPI}24$ R-Sq = 64.8% R-Sq(adj)=59.8%	شاخص‌های خشک‌سالی
$Y(Z) = 0.02 - 0.00103 \text{ T} \geq 10 + 0.00981 \text{ P} + 0.658 \text{ wind} - 0.00109 \text{ sunshine} - 0.403 \text{ K}$ R-Sq = 76.8% R-Sq(adj)=66.3%	$Y(Z) = -3.52 + 0.0641 \text{ RH} + 0.376 \text{ wind} - 0.487 \text{ K} + 0.0374 \text{ SPI}24$ R-Sq = 76.6% R-Sq(adj)=68.8%	پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی باهم

۳) مقایسه کلیه مدل‌ها

بوده که جهت آزمون آنها از دیگر سنج‌های آماری استفاده گردید. نتایج این سنجش در جدول ۶ آمده است. جهت انتخاب بهترین مدل‌ها، براساس بیشترین ضریب هم‌بستگی و کمترین RMSE و MBE‌ها به تمامی حالات از

کلیه مدل‌های آماری در جدول ۵ جهت مقایسه و رتبه‌بندی نام‌گذاری شده‌اند. مدل‌های مشخص شده با رنگ خاکستری نسبت به سایر مدل‌ها، دارای ضریب رگرسیونی معادله بالاتری

جدول ۵. نام گذاری کلیه مدل‌های آماری

مدل‌های مورد بررسی	تبریز (۳۰ ساله) (دیم)	تبریز (۳۰ ساله) (آبی)	تبریز (۱۷ ساله)	میان‌ه (۱۷ ساله)
دمای فعال بیش از ۱۰ درجه	1-1-D	1-1-A	2-1	3-1
بارندگی	1-2-D	1-2-A	2-2	3-2
رطوبت نسبی	1-3-D	1-3-A	2-3	3-3
سرعت متوسط باد (نات)	1-4-D	1-4-A	2-4	3-4
تعداد ساعات آفتابی	1-5-D	1-5-A	2-5	3-5
متوسط دمای مینیم	1-6-D	1-6-A	2-6	3-6
متوسط دمای ماکزیم	1-7-D	1-7-A	2-7	3-7
متوسط دمای میانگین	1-8-D	1-8-A	2-8	3-8
تبخیر	1-9-D	1-9-A	2-9	3-9
فشار بخار آب	1-10-D	1-10-A	2-10	3-10
شاخص هیدروترمال HT	1-11-D	1-11-A	2-11	3-11
شاخص رطوبتی ششکو Md	1-12-D	1-12-A	2-12	3-12
شاخص نگوین K	1-13-D	1-13-A	2-13	3-13
شاخص ترانسو Ih	1-14-D	1-14-A	2-14	3-14
شاخص بارندگی SIAP	1-15-D	1-15-A	2-15	3-15
شاخص درصد از نرمال PNPI	1-16-D	1-16-A	2-16	3-16
شاخص ناهنجاری بارش RAI	1-17-D	1-17-A	2-17	3-17
شاخص SPI 3	1-18-D	1-18-A	2-18	3-18
شاخص SPI 6	1-19-D	1-19-A	2-19	3-19
شاخص SPI 9	1-20-D	1-20-A	2-20	3-20
شاخص SPI 12	1-21-D	1-21-A	2-21	3-21
شاخص SPI 24	1-22-D	1-22-A	2-22	3-22
پارامترهای هواشناسی	1-23-D	1-23-A	2-23	3-23
شاخص‌های خشک‌سالی	1-24-D	1-24-A	2-24	3-24
پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی	1-25-D	1-25-A	2-25	3-25

جدول ۶. مقایسه مدل‌های منتخب با سنج‌های آماری

مدل‌های پیش‌بینی عملکرد جو	R(test)	RMSE (test)	MBE (test)	MBE (test)%
1-25-D	۰/۷۳	۰/۵۶	۰/۲۳۴	-۰/۶۳۲
1-23-A	۰/۱	۰/۳۱۶	۰/۰۵۶	-۰/۰۶۷
1-25-A	۰/۵۲۹	۰/۳۱۹	۰/۳۱۸	-۰/۳۸۳
2-2	۰/۷۸۹	۰/۸۰۲	۰/۷۹	-۶/۵۸
2-11	۰/۶۹۵	۰/۶۳۴	۰/۲۵۴	-۲/۱۱۷
2-17	۰/۸۶۷	۰/۶۱۲	۰/۳۴۸	-۲/۹
2-25	۰/۹۳۷	۰/۸۱۶	۰/۱۵	-۱/۲۵
3-23	۰/۸۱۹	۰/۷۳۳	۰/۰۹۸	-۰/۵۱۶
3-25	۰/۷۹۵	۰/۷۲۴	۰/۰۳۶	-۰/۱۸۹

جدول ۷. ارزش‌گذاری مدل‌ها جهت انتخاب مدل بهینه

مدل‌های پیش‌بینی عملکرد جو	R (tset)	RMSE (test)	MBE (test)	جمع ارزش‌ها	پارامترهای متشکله در مدل‌های بهینه	بهترین مدل به ترتیب اولویت
1-25-D	۶	۳	۵	۱۴	$T \geq 10$ P wind sun K	3-25
1-23-A	۹	۱	۲	۱۲	wind E Tmin	1-23-A
1-25-A	۸	۲	۷	۱۷	P wind sun	3-23
2-2	۵	۸	۹	۲۲	RAI lh SPI24 Sun Tmin	1-25-D
2-11	۷	۵	۶	۱۸	RH wind K SPI24	2-25
2-17	۲	۴	۸	۱۴	RAI	2-17
2-25	۱	۹	۴	۱۴	SPI24 P Wind E Tmin	1-25-A
3-23	۳	۷	۳	۱۳	HT	2-11
3-25	۴	۶	۱	۱۱	P	2-2

بهترین تا بدترین آنها به ترتیب از ۱ تا ۹ ارزش داده شد و با جمع کردن این ارزش‌ها، مدل‌ها رتبه‌بندی گردید. براین اساس کمترین حاصل جمع به عنوان بهترین مدل و بیشترین حاصل جمع به عنوان آخرین مدل مشخص شد. نتایج این رتبه‌بندی در جدول ۷ آورده شده است و حاکی از آن است که مدل‌های چندمتغیره بهتر از مدل‌های تک متغیره می‌باشند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود از ۹ مدل بهینه ارائه شده ۷ مدل مربوط به عملکرد دیم می‌باشند و مدل بهینه، مدل چندمتغیره پارامترها و شاخص‌ها با عملکرد دیم است.

نتیجه‌گیری

بیشتر بودن تأثیر بارندگی در میان پارامترهای هواشناسی بر عملکرد دیم منطقی به نظر می‌رسد. پایین بودن ضرایب هم‌بستگی ممکن است به دلیل مختلف بودن واریته‌های جو در طول ۱۷ یا ۳۰ سال باشد چنان که به نظر می‌رسد به همین دلیل، ضرایب هم‌بستگی در مدل‌های دیم ۳۰ ساله که تنوع واریته‌ها بیشتر شده کمتر از ۱۷ سال می‌باشد.

بهترین مدل کلاسیک، مدل چندمتغیره بین پارامترهای متوسط سرعت باد، بارش، مجموع دمای بیش از ۱۰ درجه، تعداد ساعات آفتابی، شاخص نگوین و عملکرد جو دیم در میانه با دوره آماری ۱۷ سال می‌باشد که پارامترهای سرعت متوسط باد و شاخص خشک‌سالی نگوین دارای تأثیر بیشتری بر عملکرد می‌باشند. جهت پیش‌بینی عملکرد محصول، مدل‌های چندمتغیره (شاخص‌های خشک‌سالی و پارامترهای هواشناسی توأم) بهتر از مدل‌های یک متغیره می‌باشند. از بین شاخص‌های مطالعه شده، شاخص‌های نگوین، ترانسو تغییر یافته، استاندارد شده بارش ۲۴ ماهه و ناهنجاری بارش بیشترین اثر را بر عملکرد دارند. همان‌طور که در مناطق شمالی مکزیک بهترین ضریب تبیین SPI-x و عملکرد لوبیا و ذرت مربوط به SPI-3 با ضرایب (۰/۵۴ - و ۰/۲۶) بود، این‌جا نیز در بین شاخص‌های SPI و عملکرد جو، بهترین ضریب تبیین مربوط به SPI-3 با ضرایب (۰/۵۲ و ۰/۴۱) در دو شهر تبریز و میانه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. خلیلی، ع. و ج. بذرافشان. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی برخی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی در نمونه‌های مختلف اقلیمی ایران. مجله نیوار ۴۸: ۷۹-۹۳.
۲. خداپنده، ن. ۱۳۶۹. غلات. انتشارات دانشگاه تهران.
۳. عطایی، م. ۱۳۵۷. زراعت خصوصی غلات (جلد دوم). انتشارات دانشگاه تهران.
۴. کاظمی اربط، ح. ۱۳۷۴. زراعت خصوصی غلات (جلد اول). مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۵. کمالی، غ. و ل. خزانه‌داری. ۱۳۸۱. تحلیل خشک‌سالی اخیر مشهد با به‌کارگیری برخی از شاخص‌های خشک‌سالی. مجله نیوار ۴۴، ۴۵: ۷۵-۹۳.
۶. مجنون حسینی، ن. ۱۳۸۰. زراعت غلات (گندم، جو، برنج و ذرت). نشر نقش مهر.
7. Boken, K., P. Cracknell and L. Heathcote. 2005. Monitoring and predicting Agricultural Drought. First. ed., Oxford University Press Inc., London.
8. Gitelson, A.A., F. Kogan, E. Zakarin, L. Spivak and L. Lebed. 1998. Using AVHRR data for quantitative estimation of vegetation conditions: Calibrating and validation. Adv. Space Res. Vol. 22 (5): 673-676.
9. Heim, R.R., 2002. A review of twentieth century drought indices used in the United States. Bull. Am. Meteorol. Soc. 1149-1165.
10. Karabulut, M. 2003. An examination of relationships between vegetation and rainfall using maximum value composite AVHRRNDVI dat. Turk. J. Bot. 27: 93-101.
11. Seiler, R.A., F. Kogan, and J. Sullivan. 1998. AVHRR-based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina. Adv. Space Res. 21(3): 481-484.
12. Singh R.P., S. Roy, and F. Kogan. 2003. Vegetation and temperature condition indices from noaaavhrr data for drought monitoring over India. Int. J. Remote Sens. 24 (22): 4393-4402.
13. Vogt, J.V., S. Niemeyer, F. Somma, I. Beaudin and A.A. Viau. 2000. Drought monitoring from space. In: Drought and drought mitigation in Europe, 167-183.
14. Wang, J., P. M. Rich and P. Price. 2003. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central great plains, J. Remote Sen. 24(11): 2345-2364.
15. Yang, X. and G. Tian. 1991. A remote sensing model for wheat drought monitoring. In: proceedings of the 12th Asian conference on Remote sensing, Association of Asian Remote Sensing, Singapore.