# بررسی کمّی تأثیر خشک‌سالی بر عملکرد محصول جو در آذربایجان شرقی به روش رگرسیونی 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 هم راستایی 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

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 وپیش‌بینی 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 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

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). دراین 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 باتوجه به شدت و دوام خشک‌سالی که ممکن است برعملکرد 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).

درمناطق 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 و۶ ماهه است). از بین آنها فقط روابط بین SPI-3 وعملکرد دارای ضریب تبیین بهتری( ۰/۵۴- و۰/۲۶) بود. دراین 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. دراین تحقیق هم‌چنین نتیجه‌گیری شد که شاخص ساده SPI نمی‌تواند به تنهایی جهت پیش‌بینی عملکرد محصول وتعیین 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).

درتحقیقی 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 پیش آگاهی 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 درآنجا 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 وتیان 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 VCIو NDVI را با تراکم و توده گیاهان و بازتابش به‌دست آورده و آنهارا 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 ـ 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).

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

شاخص‌های طیفی مورد مطالعه در ماه‌های ژانویه و فوریه مربوط بود. استفاده از شاخص‌های VCIو 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 گستردگی 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 هیلزآمریکا 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 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).

دراین 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 جوحدود ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد ودمای مناسب برای رشدآن ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر رشد در دمای $31^{\circ}C$ 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 ۴ و ۶).

دراغلب مطالعات انجام شده جهت پایش خشک‌سالی وعملکرد رابطه یکی از شاخص‌های خشک‌سالی باعملکرد محصول مطالعه شده است. حال آن‌که دراین پژوهش هدف این است که با استفاده ازروش کلاسیک، رابطه چندین شاخص

خشک‌سالی و پارامتر هواشناسی به‌طور هم‌زمان برروی عملکرد محصول بررسی گردد.

## مواد و روش‌ها

تحلیل رگرسیونی روشی است که جهت مطالعه روابط بین متغیرها و به‌ویژه نحوه وابستگی یک متغیر به متغیرهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. واژه رگرسیون، اغلب جهت رساندن مفهوم بازگشت به یک مقدار متوسط یا میانگین به‌کار برده می‌شود.

تحلیل رگرسیونی، تحلیلی جهت کمّی نمودن ارتباط بین یک متغیر وابسته و یک یا چندمتغیر مستقل می‌باشد.

به‌طور کلی این تکنیک را می‌توان جهت دو مقصود اساسی به‌کار گرفت:

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

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

### شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل

یکی از شاخص‌های آماری که برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از آن استفاده می‌شود، ضریب هم‌بستگی می‌باشد که توسط رابطه زیر تعریف می‌شود:

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

در رابطه فوق، r: ضریب هم‌بستگی، $P_i$: مقدار پیش‌بینی شده برای سال iام، $\overline{P}$: متوسط مقادیر پیش‌بینی در دوره n ساله، $O_i$: مقدار مشاهده شده برای سال iام و $\overline{O}$: متوسط مقادیر مشاهده شده در دوره n ساله می‌باشند.

از آنجا که مقادیر ضریب هم‌بستگی همواره در بازه [۱و ۱-] قرار می‌گیرند، قضاوت از روی این ضریب ساده است و ممکن است به‌نظر رسد که ضریب هم‌بستگی می‌تواند معیار مناسبی در ارزیابی مدل باشد. با این‌حال، بایستی توجه داشت که ضریب هم‌بستگی نمی‌تواند به تنهایی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدل‌ها باشد. زیرا، ممکن است در یک مدل فرضی مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده دارای اختلاف فاحشی باشند ولی این اشتباهات به گونه‌ای باشد که از یک روند یک‌نواخت پیروی نماید. بنابراین، گرچه ضریب هم‌بستگی به خوبی نشان‌دهنده میزان هم‌آهنگی روند تغییرات مقادیر مشاهده شده نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد اما گویای تطابق آنها نیست.

شاخص‌های کمّی دیگری که می‌توان در برآورد دقت مدل استفاده نمود، عبارت‌اند از ریشه میانگین مربعات خطا(RMSE)، درصد انحراف جذر میانگین مربعات خطا از میانگین (%RMSE)، میانگین خطای اریبی(Mean Bias Error) (MBE) و درصد انحراف MBE از میانگین که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

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

$$\%RMSE = \frac{RMSE}{\overline{M}} \times 100 \qquad [3]$$

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

$$\%MBE = \frac{MBE}{\overline{M}} \times 100 \qquad [5]$$

که در آنها :Ci ، مقدار محاسبه شده، Mi مقدار مشاهده شده، $\overline{M}$ میانگین حسابی داده‌های مشاهده شده و n، تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار RMSE یا %RMSE سنجه‌ای برای میزان درستی و اعتبار مدل‌ها می‌باشد و هر چه مقدار آن کمتر باشد، دقت مدل بیشتر است. مقادیر مثبت MBEیا %MBE نشان‌دهنده بیش برآورد کردن مقادیر توسط مدل و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده کم برآورد کردن مدل می‌باشد.

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

تبریز ومیانه، به‌علت تفاوت آب وهوایی وپوشش دادن بخش‌های مرکزی وجنوبی استان و دارابودن آمار مکفی عملکرد، جهت مقایسه انتخاب شدند. در این تحقیق از آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک زیر نیز استفاده گردید:

۱- ایستگاه تبریز با دوره آماری ۳۰ ساله

۲- ایستگاه‌های تبریز و میانه با دوره آماری ۱۷ ساله

قابل ذکر است که شهر تبریز در ۳۸ درجه عرض شمالی و۴۶ 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 و۴۷ 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 می‌شود، طبق ماه‌های میلادی این دوره از دهم اکتبر هر سال لغایت سی‌ام ژوئن سال بعد، و در شهرستان میانه نیز این دوره از دهم اکتبر هر سال لغایت ۱۵ام ژوئن سال بعد، به‌طور پیوسته، در هر سال زراعی در نظر گرفته شده است. شکل ۱ نیز پراکنش شهرها و ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی را در استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد.

**شاخص‌های خشک‌سالی محاسبه شده**

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

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

شاخص هیدروترمال سلیانینف( HT) تغییریافته : از تقسیم مجموع بارش ماهانه بر حاصل‌ضرب مجموع دماهای بیش از ده درجه ضرب در ضریب ۰/۱ حاصل می‌شود (۷).

شاخص نگوین ($K_m$): ازتقسیم تبخیر تعرق سالانه بر بارش سالانه حاصل می‌شود که در این‌جا به‌دلیل در دسترس نبودن آمار روزانه تبخیر تعرق از آمار روزانه تبخیر استفاده شده است(۷).

شاخص ناهنجاری بارش (RAI):چنانچه داده‌های بارندگی از میانگین دراز مدت بیشتر باشد یا ناهنجاری مثبت باشد، این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RAI= 3[(P- Pn)/(m - Pn) ] \quad [۶]$$

واگر داده‌های بارندگی از میانگین دراز مدت کمتر باشد ویا ناهنجاری منفی باشد رابطه به‌صورت زیر است:

$$RAI = - 3[(P- Pn)/(x - Pn) ] \quad [۷]$$

Pn میانگین دراز مدت بارندگی وm میانگین ۱۰ مورد از بزرگ‌ترین مقادیر بارش اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی و x میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارش اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی می‌باشد (۱).

شاخص استاندارد شده بارش (SPI) (در مقیاس‌های زمانی ۳و ۶ و ۹ و ۱۲ و ۲۴ ماهه وبا داده‌های بارندگی از سال ۱۹۷۲ محاسبه شده است (۱).

شاخص رطوبتی شاشکو( md) : از نسبت بین بارش بر فشار بخار آب هوا به هکتوپاسکال درهرسال محاسبه شده است(۷).

شاخص ترانسو( $I_h$) تغییریافته : از نسبت متوسط بارش سالانه بر متوسط تبخیر سالانه حاصل می‌شود (۷).

**پارامترهای هواشناسی به‌کار گرفته شده**

پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق که در دوره رشد محصول در سال‌های زراعی مربوطه تعیین شده‌اند، عبارت‌اند از: بارندگی، میانگین دمای ماکزیمم، میانگین دمای مینیمم، میانگین دمای متوسط، مجموع دماهای بیش از $10^{\circ}C$ ، تبخیر، فشار بخار آب هوا، متوسط سرعت باد و تعداد ساعت‌های آفتابی و رطوبت نسبی (تمامی این پارامترها از آمار روزانه استخراج شده‌اند).

## نتایج

**۱) بررسی نرمال بودن و اثر هم‌راستایی (اثرمتقابل)**

براساس فرض اولیه نرمال بودن پارامترهای مورد استفاده در

**شکل ۱. پراکنش شهرها و ایستگاه‌های سینوپتیک وکلیماتولوژی استان آذربایجان شرقی**

بررسی‌های رگرسیونی، ابتدا تمامی پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی و عملکردهای جودیم وآبی جهت نرمال بودن بررسی می‌کنند و این نتیجه حاصل شد که تمامی آنها ازفرم نرمال تبعیت شدند. اثر هم‌راستایی پارامترها نیزبرهم با ضریب هم‌بستگی پیرسون و مقدارP (به منظور تعیین معنی‌دار بودن یانبودن 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 ۱و۲ ضرایب تبیین روابط یک متغیره بین عملکرد دیم وآبی را به ترتیب برای تبریز و میانه وجدول‌های ۳و۴ روابط چندمتغیره را برای این دو شهر نشان می‌دهند.

همان‌طورکه از جدول ۱ مشاهده می‌شود بیشترین تأثیر را در حالت دیم، بارندگی و ساعات آفتابی و شاخص نگوین و در حالت آبی، سرعت متوسط با دو تبخیر بر عملکرد دارند و شاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد آبی روابط چندانی ندارند که منطقی به‌نظر 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 به‌دلیل 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 وشاخص‌های خشک‌سالی با عملکرد دیم رابطه بهتری دارند ودر این حالت نیز ضرایب هم‌بستگی درمدل‌های دیم ۳۰ ساله که تنوع واریته‌ها بیشتر شده کمتر از ۱۷ ساله می‌باشد.

**جدول۱. ضرایب تبیین روابط یک متغیره بین عملکرد دیم و آبی و شاخص‌های خشک‌سالی و پارامترهای هواشناسی در تبریز با دوره آماری ۳۰ سال (۱۹۷۴ الی۲۰۰۴ )**

| پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی | عملکرد جو دیم(استاندارد شده) | عملکرد جو آبی(استانداردشده) |
|---|---|---|
| دمای فعال بیش از $10^{\circ}C$ | R2 = 0.1898 | R2 = 0.113 |
| بارندگی | R2 = 0.3486 | × |
| رطوبت نسبی | × | R2 = 0.1942 |
| سرعت متوسط باد (نات ) | × | R2 = 0.6137 |
| تعداد ساعات آفتابی | R2 = 0.2719 | × |
| متوسط دمای مینیمم | R2 = 0.1342 | R2 = 0.1797 |
| متوسط دمای ماکزیمم | × | R2 = 0.1299 |
| متوسط دمای میانگین | × | R2 = 0.1608 |
| تبخیر | × | R2 = 0.5602 |
| فشاربخارآب | × | × |
| شاخص هیدروترمال HT | R2 = 0.3103 | × |
| شاخص رطوبتی ششکو Md | R2 = 0.2969 | × |
| شاخص نگوین K | R2 = 0.471 | R2 = 0.2296 |
| شاخص ترانسو Ih | × | × |
| شاخص بارندگی SIAP | R2 = 0.3486 | × |
| شاخص درصدازنرمال PNPI | R2 = 0.3486 | × |
| شاخص ناهنجاری بارش RAI | R2 = 0.3571 | × |
| شاخص SPI 3 | R2 = 0.2126 | × |
| شاخص SPI 6 | × | × |
| شاخص SPI 9 | × | × |
| شاخص SPI 12 | × | × |
| شاخص SPI 24 | × | × |

**جدول۲. ضرایب تبیین روابط یک متغیره بین عملکرد دیم و شاخص‌های خشک‌سالی وپارامترهای هواشناسی درمیانه و تبریز با دوره آماری ۱۷ سال (۱۹۸۷ الی۲۰۰۴ )**

| پارامترهای هواشناسی وشاخص‌های خشک‌سالی | تبریز(۱۷ ساله)(دیم) | میانه(۱۷ ساله)(دیم) |
|---|---|---|
| دمای فعال بیش از $10^{\circ}C$ | R2 = 0.2958 | R2 = 0.3087 |
| بارندگی | R2 = 0.7578 | R2 = 0.4825 |
| رطوبت نسبی | R2 = 0.2661 | × |
| سرعت متوسط باد (نات ) | × | × |
| تعداد ساعات آفتابی | R2 = 0.4266 | R2 = 0.5582 |
| متوسط دمای مینیمم | × | R2 = 0.4585 |
| متوسط دمای ماکزیمم | × | × |
| متوسط دمای میانگین | × | × |
| تبخیر | × | R2 = 0.4585 |
| فشاربخارآب | R2 = 0.3149 | R2 = 0.4426 |
| | | |
| شاخص هیدروترمال HT | R2 = 0.7211 | R2 = 0.4963 |
| شاخص رطوبتی ششکو Md | R2 = 0.6992 | R2 = 0.4602 |
| شاخص نگوین K | R2 = 0.6815 | × |
| شاخص ترانسو Ih | R2 = 0.6969 | × |
| شاخص بارندگی استاندارد SIAP | R2 = 0.7578l | R2 = 0.4825 |
| شاخص درصدازنرمال PNPI | R2 = 0.7578 | R2 = 0.4825 |
| شاخص ناهنجاری بارش RAI | R2 = 0.7588 | R2 = 0.5011 |
| شاخص SPI 3 | R2 = 0.5184 | R2 = 0.4054 |
| شاخص SPI 6 | R2 = 0.361 | × |
| شاخص SPI 9 | R2 = 0.4072 | × |
| شاخص SPI 12 | R2 = 0.394 | × |
| شاخص SPI 24 | R2 = 0.291 | × |

**جدول۳. روابط چندمتغیره بین عملکرد دیم وآبی و شاخص‌های خشک‌سالی وپارامترهای هواشناسی درتبریز**
**با دوره آماری ۳۰سال (۱۹۷۴ الی۲۰۰۴ )**

| عملکرد جوآبی ( استاندارد شده) | عملکرد جو دیم ( استاندارد شده ) | رابطه معنی‌دار درسطح ۹۹ ٪ با : |
|---|---|---|
| Y(abi) = - 4.45 + 0.570 wind + 0.00135 E + 0.101 Tmin<br>R-Sq = 72.7% R-Sq(adj)=69.5% | Y(z) = - 2.33 + 0.0107 P +0.0737 Tmin- 0.00115 Sun + 0.00168 E<br>R-Sq = 57.7% R-Sq(adj)=49.6% | پارامترهای هواشناسی |
| Y(abi)=-0.826 + 0.223 K - 0.0183 SPI24<br>R-Sq = 23.2% R-Sq(adj)=17.3 | Y(z) = 0.639 - 1.36 Ih + 0.252 RAI + 0.0170 SPI 24<br>R-Sq = 47.8% R-Sq(adj)=41.8% | شاخص‌های خشک‌سالی |
| Y(abi) = - 5.87 - 0.0171 SPI 24 + 0.00525 P + 0.626 Wind + 0.00133 E + 0.0926 Tmin<br>R-Sq = 78.4% R-Sq(adj)=72.7% | Y(z) = 2.86 + 0.236 RAI - 1.11 Ih + 0.0615 Tmin - 0.00162 Sun + 0.0131 SPI 24<br>R-Sq = 65.4% R-Sq(adj)=56.3% | پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی باهم |

**جدول۴. روابط چندمتغیره بین عملکرد دیم با شاخص‌های خشک‌سالی و پارامترهای هواشناسی در میانه و تبریز**
**با دوره آماری ۱۷ سال (۱۹۸۷ الی۲۰۰۴ )**

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

**۳) مقایسه کلیه مدل‌ها**

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 بوده که جهت آزمون آنها از دیگر سنجه‌های آماری استفاده گردید. نتایج این سنجش در جدول ۶ آمده است.

جهت انتخاب بهترین مدل‌ها، براساس بیشترین ضریب هم‌بستگی و کمترین RMSE وMBEها به تمامی حالات از

**جدول ۵. نام گذاری کلیه مدل‌های آماری**

| مدل‌های مورد بررسی | تبریز(۳۰ساله) (دیم) | تبریز(۳۰ساله) (آبی) | تبریز(۱۷ساله) | میانه(۱۷ساله) |
|---|---|---|---|---|
| دمای فعال بیش از۱۰درجه | 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 مینیمم | 1-6-D | 1-6-A | 2-6 | 3-6 |
| متوسط دمای ماکزیمم | 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 |
| فشاربخارآب | 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 درصدازنرمال 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 وشاخص‌های خشک‌سالی | 1-25-D | 1-25-A | 2-25 | 3-25 |

**جدول ۶. مقایسه مدل‌های منتخب با سنجه‌های آماری**

| مدل‌های پیش بینی 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 پیش بینی عملکرد جو | R (tset) | RMSE (test) | MBE (test) | جمع ارزش‌ها | پارامترهای متشکله در مدل‌های بهینه | بهترین مدل به‌ترتیب اولویت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-25-D | ۶ | ۳ | ۵ | ۱۴ | T>=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 Ih 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 به‌عنوان بهترین مدل وبیشترین حاصل جمع به‌عنوان آخرین مدل مشخص شد. نتایج این رتبه‌بندی در جدول۷ 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 درمیان پارامترهای هواشناسی بر عملکرد دیم منطقی به‌نظر می‌رسد. پایین بودن ضرایب هم‌بستگی ممکن است به‌دلیل مختلف بودن واریته‌های جو در طول ۱۷ یا ۳۰ سال باشد چنان که به‌نظر می‌رسد به‌همین دلیل، ضرایب هم‌بستگی درمدل‌های 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 وشاخص خشک‌سالی نگوین دارای تأثیر بیشتری بر عملکرد می‌باشند. جهت پیش‌بینی عملکرد محصول، مدل‌های چندمتغیره ( شاخص‌های خشک‌سالی وپارامترهای 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 درمناطق شمالی مکزیک بهترین ضریب تبیین SPI-x و عملکرد لوبیا و ذرت مربوط به SPI-3 با ضرایب ( ۰/۵۴- و۰/۲۶) بود، این جا 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. خدابنده، 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)*. نشرنقش 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 indicies 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 Argentiana. 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 lndia. 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 confernce on Remote sensing, Association of Asian Remote Sensing, Singapore.