

## بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی-کشاورزی بر عملکرد گندم در ایران با استفاده از شاخص SPEI

هانیه دهقانی سرگزی<sup>۱</sup>، ام‌البنین بذرافشان<sup>۱\*</sup> و حسین زمانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان  
<sup>۲</sup> عضو هیات علمی گروه آمار و ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴)

### چکیده

با توجه به اهمیت تغییرات اقلیمی در بخش کشاورزی و وابستگی میزان عملکرد محصولات دیم به نزولات جوی به ویژه محصول استراتژیک گندم، ارائه اطلاعات صحیح در زمینه وقوع خشکسالی و ترسالی ضروری است. این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد تولید گندم دیم در ایران تحت تاثیر پدیده خشکسالی صورت گرفته است. آمار اقلیمی و عملکرد گندم دیم کشور طی دوره آماری ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۴ از سازمان‌های متبوع تهیه گردید. اقلیم هر منطقه براساس روش دومارتن گسترش یافته مشخص گردید. با استفاده از SPEI شاخص خشکسالی کشاورزی در مقیاس‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۸ ماهه در هر اقلیم محاسبه گردید و براساس روش آمبروترمیک دوره مرطوب سال به‌عنوان دوره موثر بر رشد گندم دیم انتخاب و در هر سال مقادیر SPEI در این دوره‌ها متوسط گرفته شد که نماینده تغییرات SPEI سالانه در مقیاس‌های مورد مطالعه باشد. میزان عملکرد گندم بصورت سالانه استاندارد گردید و با روش همبستگی اسپیرمن، ارتباط بین SPEI با عملکرد محاسبه شد. همچنین روند زمانی و مکانی خشکسالی و عملکرد نیز در ایران مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده، بالاترین همبستگی در بخش جنوب شرق، غرب و شمال غرب در مقیاس‌های ۳ تا ۶ ماهه و کمترین همبستگی مربوط به شرق مشاهده گردید. نتایج نشان داد، روند خشکسالی در ایران رو به افزایش و روند عملکرد فاقد روند معنی دار و گاها کاهشی است. نتایج این تحقیق، کاربرد مفیدی در مدیریت و برنامه ریزی توسعه کشت گندم دیم براساس شرایط اقلیمی در آینده خواهد داشت.

**کلمات کلیدی:** خشکسالی کشاورزی، گندم دیم، عملکرد، متغیرهای آب و هوایی، شاخص SPEI

### ۱ مقدمه

کاهش عملکرد است و این موضوع در مورد گندم دیم به عنوان یک محصول استراتژیک در ایران، از حساسیت بالاتری برخوردار است. گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی جهان به شمار می‌رود و در اکثر کشورهای جهان، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۶). براساس گزارش سال ۲۰۰۸ فائو (FAO)، کشور ایران در میان کشورهای خاورمیانه، بیشترین خسارت را از خشکسالی دیده است. به طوری که در اثر خشکسالی‌های سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ بیش از ۳۷ میلیون نفر از جمعیت ایران از لحاظ امنیت

بطور کلی خشکسالی رخدادی است که به آهستگی در ناحیه‌های اقلیمی مختلف آغاز می‌شود، اما ویژگی‌ها و اثرات آن از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر فرق دارد. خشکسالی در مقایسه با سایر حوادث طبیعی با تناوب کمتری به وقوع می‌پیوندد. اثرات آن نیز به تدریج در منطقه گسترش می‌یابد ولی زمانی که به وقوع می‌پیوندد، می‌تواند ناحیه وسیع و جمعیت زیادی را برای زمان طولانی مانند چند فصل یا چند سال درگیر کند (Wilhite, 1992). شناخت عوامل اقلیمی و اثرات آن‌ها روی گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در افزایش یا

جنوبی‌ترین بخش استرالیا، جلو انداختن تاریخ کشت را به عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با این پدیده پیشنهاد کردند. Chen و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به ارزیابی اثر خشکسالی بر غلات با استفاده از SPEI و SPI پرداختند. نتایج نشان داد، منطقه مورد مطالعه، تحت افزایش دما، کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق قرار گرفته است در حالی که فراوانی خشکسالی، مدت زمان و بزرگی آن قدر جدی نبود که با استفاده از SPI آشکار شود. نتایج حاکی از آن است که SPEI برای شناسایی حادثه ضمنی خشکسالی و ارزیابی تأثیر خشکسالی بر تولید محصولات کشاورزی مفیدتر است. Labudova و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به مقایسه کاربرد SPI و SPEI برای ارزیابی اثر خشکسالی بر تولید محصولات زراعی در دشت دانوب و دشت اسلواکی شرقی پرداختند. عملکرد استاندارد شده ده محصول (گندم زمستانه، گندم بهاره، جو زمستانه، جو بهاره، چاودار، ذرت، سیب زمینی، کلزا، آفتابگردان و چغندر) با SPEI و SPI در مقیاس زمانی ۲ و ۳ ماهه ارتباط داشت. پنا گالاردو و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی تأثیر خشکسالی بر بهره‌وری دو محصول گندم و جو در اسپانیا پرداختند. در این مطالعه از شاخص‌های مختلف خشکسالی از جمله SPI، SPEI، شاخص پالم، شاخص هیدرولوژیکی پالم، و شاخص اصلاح شده پالم استفاده شد. نتایج نشان داد، SPEI و SPI بیشترین همبستگی را با عملکرد دارند. اما پاسخ عملکرد به خشکسالی بسته به منطقه، دوره زمانی و مقیاس زمانی، متفاوت است. مطالعات متعددی در ایران نیز صورت گرفته است.

مساعدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی ارتباط بین عملکرد گندم و جو در ایران با متغیرهای آب و هوایی و خشکسالی پرداختند. نتایج نشان داد، شاخص SPEI بهترین همبستگی را بر عملکرد دارد. حنفی و همکاران (۱۳۹۴)، به تحلیل خشکسالی‌های استان کردستان و تأثیر آن‌ها بر عملکرد نسبی گندم در ایران پرداختند. نتایج حاصل از همبستگی بین بارش و

غذایی و آب در مزیقه بوده‌اند. کشور ایران در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ حدود ۴/۲ میلیارد دلار در بخش کشاورزی، متضرر گردیده است که موجب کاهش ۱۲ درصدی در میزان تولید محصولات کشاورزی شده است، این قضیه موجب شد تا کشور ایران مجبور به واردات ۷ میلیون تن گندم در سال ۲۰۰۰ شود. همین امر سبب شد، ایران یکی از بزرگترین کشورهای واردکننده گندم به حساب آید (زند، ۱۳۹۷).

گندم از مهم‌ترین محصولات استراتژیک کشاورزی ایران و تامین‌کننده بیشترین نیاز غذایی کشور است و همچنین روزانه حدود ۴۷ درصد از کالری مصرف سرانه کشور را تامین می‌نماید (حسینی و همکاران، ۱۳۸۶). براساس ارزیابی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که میزان نیاز کشور به گندم تا سال ۱۴۰۰ بیش از ۲۰ میلیون تن در سال بود که در بهترین حالت حدود ۶۵ الی ۷۰ درصد از اراضی آبی و بقیه باید از اراضی دیم تامین شود (زارع فیض آبادی و همکاران، ۱۳۸۵). در این میان یکی از خطرهای موجود در فعالیت‌های کشاورزی، شرایط آب و هوایی به خصوص وقوع خشکسالی‌های متعدد با شدت‌های مختلف است. گندم دیم به عنوان یکی از راهکارهای مفید برای جایگزینی محصولات کشت آبی، حتی گندم آبی از طرف کارشناسان مربوطه مورد توجه است. در حال حاضر بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی و ارتباط آن با عملکرد محصولات کشاورزی، در چند دهه اخیر مورد توجه محققان و پژوهشگران واقع شده است (تقدسیان و همکاران، ۱۳۸۲) در زمینه بررسی اثرات خشکسالی بر عملکرد محصولات کشاورزی در دنیا مطالعات متعددی صورت گرفته است. Alexandrov و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی اثر تغییرات اقلیمی با عملکرد محصولات مهم (شامل گندم، ذرت، سویا، بادام زمینی و پنبه در یالت جورجیای آمریکا پرداختند.

نتایج نشان داد، بین عملکرد محصولات با خشکسالی همبستگی معنی‌داری وجود دارد. Luo و همکاران (۲۰۰۹) ضمن بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم در منطقه کیت واقع در

## ۱-۱- شاخص استاندارد شده بارش- تبخیر و تعرق

(SPEI)

ویسنه سرانو و همکاران (۲۰۱۰) شاخص تبخیر و تعرق بارندگی استاندارد را به عنوان شاخص خشکسالی پیشنهاد کرد. برای محاسبه شاخص SPEI در گام نخست باید مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تورنوایت (Vicente-Serrano و همکاران، ۲۰۱۰) در هر ماه برآورد شود. سپس از طریق یک مدل ساده بیلان آب تفاوت بین مقدار بارندگی مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه  $i$  از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

محاسبه این شاخص همانند روش ارائه شده برای محاسبه شاخص SPI نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر  $D_i$  از طریق  $i$  از برازش یک تابع چگالی احتمال است. با توجه به آنکه مقادیر  $D_i$  کران پائین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند توابع احتمال دوپارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. ویسنه سرانو و همکاران با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر  $D_i$  تشخیص دادند. فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطه ۲ است:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (2)$$

که در آن پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاس و شکل و برای مقادیر  $D_i$  در دامنه  $-\infty < D < \gamma$  می‌باشند. فرم

تابع احتمال تجمعی لوگ-لوجستیک سه پارامتری نیز مطابق رابطه ۳ است.

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x-y} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (3)$$

تابع کلاسیک ابرامویچ واستیگان با استفاده از مقادیر تابع  $F(X)$  تخمینی برای مقدار شاخص SPEI است.

عملکرد گندم نشان دهنده رابطه مستقیم این دو متغیر بوده و شاخص استاندارد بارش روندی همسو با شاخص استاندارد شده عملکرد گندم دیم دارد. آراسته و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر عملکرد دو محصول گندم و جو دیم در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشانگر انطباق نسبی خشکسالی کشاورزی با نمایه‌های خشکسالی هواشناسی بود ولی این انطباق در مناطق با بارش کم، ناچیز بوده است. دربندی و همکاران (۱۳۸۶) به معرفی یک شاخص جدید برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی بر پایه عملکرد نسبی محصول پرداختند. در این مطالعه ابتدا یک تعریف بر اساس عملکرد نسبی محصول برای خشکسالی کشاورزی ارائه و سپس با استفاده از آن شاخص برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی پیشنهاد گردید. در این شاخص عملکرد نسبی محصول با میانگین طولانی مدت آن مقایسه و بر اساس آن شدت خشکسالی تعیین می‌گردد. مرور مطالعات نشان می‌دهد، خشکسالی با عملکرد محصول رابطه مستقیم دارد، اما به لحاظ زمانی و مکانی اثرات خشکسالی متفاوت است. لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثر خشکسالی در هر نمونه اقلیمی در ایران بر عملکرد گندم دیم است.

## ۲ داده‌ها و روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش داده‌های هواشناسی (شامل بارش و دمای متوسط ماهانه) از ایستگاه‌های سینوپتیک کشور طی ۳۴ سال (۱۹۸۳-۲۰۱۶) از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. داده‌های مربوط به میزان عملکرد گندم دیم بر حسب تن در هکتار در سطح ارضی دیم از جهاد کشاورزی تهیه شد. جدول ۱، مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی و میزان عملکرد گندم دیم در همان منطقه را نشان می‌دهد. طبق طبقه‌بندی روش دومارتن اصلاح شده (رحیمی و همکاران، ۲۰۱۴) ایستگاه‌های منتخب معرف به ۱۱ اقلیم طبقه‌بندی شدند.

SPEI در مکان و زمان مقایسه شود. مقدار SPEI معادل صفر به معنای مقادیر منطبق با ۰/۰۵۰ احتمال تجمعی D است.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (۴)$$

در رابطه ۴ مقدار W از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$w = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{for } P \leq 0.5 \quad (۵)$$

## ۲-۱ - شاخص عملکرد استاندارد شده

شاخص عملکرد استاندارد شده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$SYI = \frac{Y_i - \bar{Y}}{SD} \quad (۶)$$

که در این رابطه  $Y_i$  مقدار عملکرد گندم در سال نام،  $\bar{Y}$  میانگین عملکرد در دوره آماری و SD انحراف معیار سری عملکرد گندم است.

P احتمال بیشتر شدن مقادیر تعیین شده D است. مقادیر  $C_0$ ،  $C_1$  و  $C_2$  و همچنین  $d_1$ ،  $d_2$  و  $d_3$  ثابت هستند. شاخص SPEI یک متغیر استاندارد شده است و بنابراین می‌تواند با سایر مقادیر

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

ردیف	نام استان	ایستگاه معرف	متوسط عملکرد (تن در سال)	میانگین بارش (mm)	میانگین دما (درجه سانتیگراد)	نوع اقلیم (دومارتین اصلاح شده)
۱	فارس	شیراز	۰/۶۸	۲۶/۹۲	۲۲/۸۱	خشک و سرد
۲	خراسان رضوی	مشهد	۰/۴۳	۲۱/۰۶	۱۵/۱۶	خشک و سرد
۳	تبریز	تبریز	۰/۷۶	۲۱/۰۲	۱۳/۶۹	خشک و سرد
۴	خوزستان	اهواز	۰/۲۳	۱۸/۶۷	۱۸/۹۲	خشک و گرم
۵	بوشهر	بوشهر	۰/۸۸	۲۱/۰۷	۲۴/۳۲	خشک و گرم
۶	هرمزگان	حاجی آباد	۰/۵	۱۴/۴۱	۲۵/۹۴	خشک و گرم
۷	تهران	تهران	۰/۶۸	۱۹/۸۶	۱۸/۲۰	خشک و معتدل
۸	گیلان	رشت	۰/۸۳	۱۱۲/۷۷	۲۳/۵۷	خیلی مرطوب و معتدل
۹	اراک	اراک	۰/۶۸	۲۶/۹۳	۱۴/۸۰	سرد و نیمه خشک
۱۰	کرمان	کرمان	۰/۹۰	۱۱/۲۱	۱۵/۸۰	فراخشک و سرد
۱۱	سمنان	سمنان	۱/۱۲	۱۱/۸۳	۱۷/۷۳	فراخشک و سرد
۱۲	اصفهان	اصفهان	۰/۹۵	۱۰/۷۶	۱۳/۶۲	فراخشک و سرد
۱۳	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۰/۸۹	۶/۵۹	۱۷/۹۱	فراخشک و گرم
۱۴	کرمانشاه	کرمانشاه	۱/۰۲	۳۷/۱۴	۱۶/۴۱	نیمه خشک و سرد
۱۵	خرم آباد	خرم آباد	۰/۹۴	۳۹/۴۷	۱۸/۳۴	نیمه خشک و سرد
۱۶	ارومیه	ارومیه	۰/۹۵	۲۶/۰۰۷	۱۲/۴۹	نیمه خشک و سرد
۱۷	سندج	سندج	۰/۷۸	۳۶/۷۶	۱۵/۳۹	نیمه خشک و سرد
۱۸	شهرکرد	شهرکرد	۰/۹۷	۲۷/۳۲	۱۲/۵۹	نیمه خشک و فرا سرد
۱۹	زنجان	زنجان	۲/۶۱	۲۴/۷۲	۱۲/۱۵	نیمه خشک و فرا سرد
۲۰	همدان	همدان	۰/۸۰	۲۵/۹۷	۱۲/۲۶	نیمه خشک و فراسرد
۲۱	مازندران	بابلسر	۱/۹۴	۷۶/۹۰	۲۲/۱۳	نیمه مدیترانه ای و معتدل
۲۲	گرگان	گرگان	۲/۰۳	۴۳/۴۵	۱۹/۷۹	نیمه خشک و معتدل

می‌شود و در فاصله اطمینان ۹۰٪ (خطای ۱۰٪)، چنانچه مقدار  $Z > 1/63$  باشد، روند افزایشی و چنانچه کمتر از  $1/63$  باشد، روند کاهشی را نشان می‌دهد؛ در فاصله اطمینان ۹۵٪ (خطای ۵٪) چنانچه  $Z > 1/96$  (دارای روند افزایشی کاهشی) و در فاصله اطمینان ۹۹٪ (خطای ۱٪) چنانچه  $Z > 2/64$  (دارای روند افزایشی کاهشی) است (مظفری و همکاران، ۱۳۹۹). در تحقیق حاضر جهت نمایش توزیع مکانی تحلیل رود و تحلیل همبستگی بین عملکرد گندم دیم و خشکسالی‌ها از روش میانبایی کوکریجینگ استفاده گردید.

### ۳ نتایج و بحث

#### تغییرات زمانی خشکسالی در نمونه‌های اقلیمی ایران

شکل (۱) تغییرات شاخص SPEI را در مقیاس سه ماهه در ایستگاه بابلسر بعنوان نماینده اقلیم بسیار مرطوب، نشان می‌دهد. براین اساس، از سال ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۳ شاهد دوره‌های متوالی خشک و تر هستیم. در سال ۱۹۹۹ شاهد خشکسالی بسیار شدید هستیم و تا سال ۲۰۰۳ وضعیت خشکسالی پایدار و سپس مجدد وارد دور تر پایدار می‌شود. بطور کلی در این منطقه دوره‌های تر و خشک کوتاه است. اما در ایستگاه اهواز، طی دوره مورد مطالعه یک دوره بلند مدت خشکسالی از سال ۲۰۰۵ تاکنون دیده می‌شود و طی سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۴ نیز دوره‌های نسبتاً بلند تر و خشک دیده می‌شود. در ایستگاه کرمانشاه هم دو دوره بلند خشک و تر دیده می‌شود. دوره تر از سال ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۷ و دوره خشک از سال ۱۹۹۸ تاکنون ادامه می‌یابد.

#### ۳-۱- تغییرات زمانی عملکرد گندم دیم در

##### نمونه‌های اقلیمی ایران

شکل (۲) تغییرات عملکرد را در سه منطقه مشابه نشان می‌دهد. در اقلیم نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب شمال، کمترین عملکرد دیم مربوط به گیلان (۸۰۰ کیلو گرم در هکتار) و بیشترین مربوط به استان گلستان (۲۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) است. کمترین عملکرد مربوط به سال ۱۹۹۹ و بیشترین عملکرد مربوط به سال ۱۹۹۸ در شمال بوده است. عملکرد در گیلان

#### ۲-۲- ضریب همبستگی اسپیرمن

این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن ابداع گردید. ضریب همبستگی اسپیرمن که آن را با  $\rho$  نمایش می‌دهند همواره بین +۱ و -۱ در نوسان است و از لحاظ سطح سنجش نیز ترتیبی و از نوع متقارن است (زارع ایبانه و همکاران، ۱۳۸۸).

$$\rho = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2-1)} \quad (6)$$

$$t = \frac{\rho \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (7)$$

که در این رابطه  $\rho$  ضریب همبستگی اسپیرمن،  $n$  تعداد مشاهده‌ها و  $\sum d_i^2$  مجموع مجذور تفاوت دو رتبه است. برای آزمون همبستگی اسپیرمن از رابطه (۷) آماره  $t$  محاسبه می‌شود و بعد از مقایسه آن با  $t$  جدول با درجه آزادی  $n-2$  تصمیم‌گیری انجام می‌شود.

#### ۲-۳- تحلیل روند من-کندال

مراحل محاسبه روش تحلیل من-کندال شامل محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر  $S$  بصورت رابطه ۸، محاسبه واریانس توسط رابطه ۹ و محاسبه آماره  $Z$  با استفاده از رابطه ۱۰ است.

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (8)$$

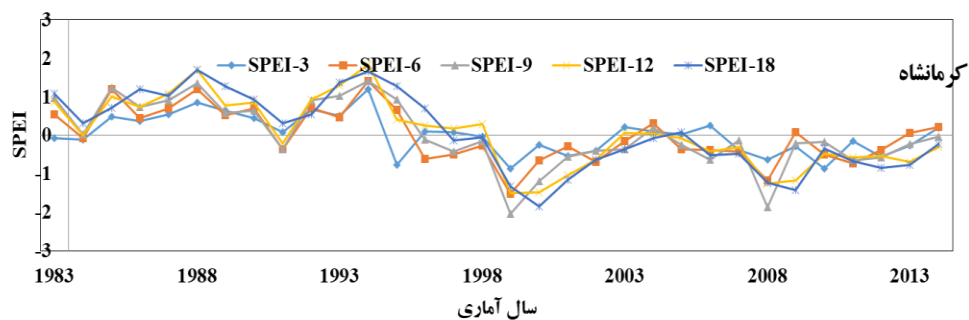
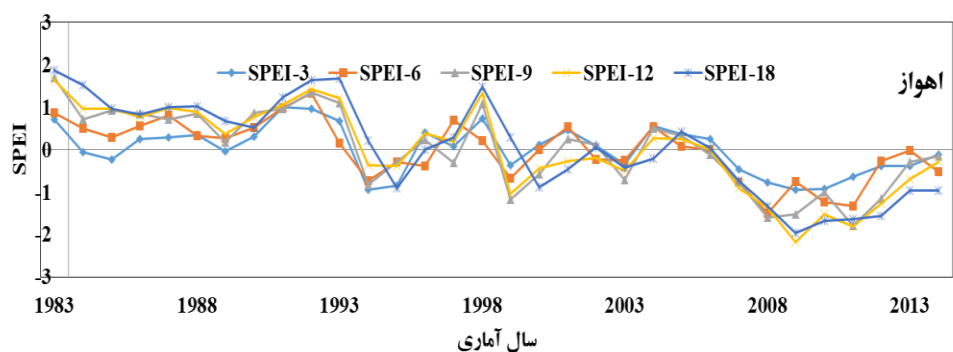
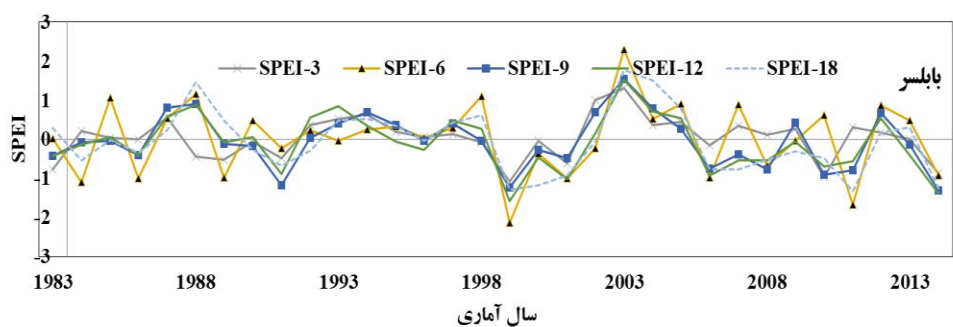
$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (9)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (10)$$

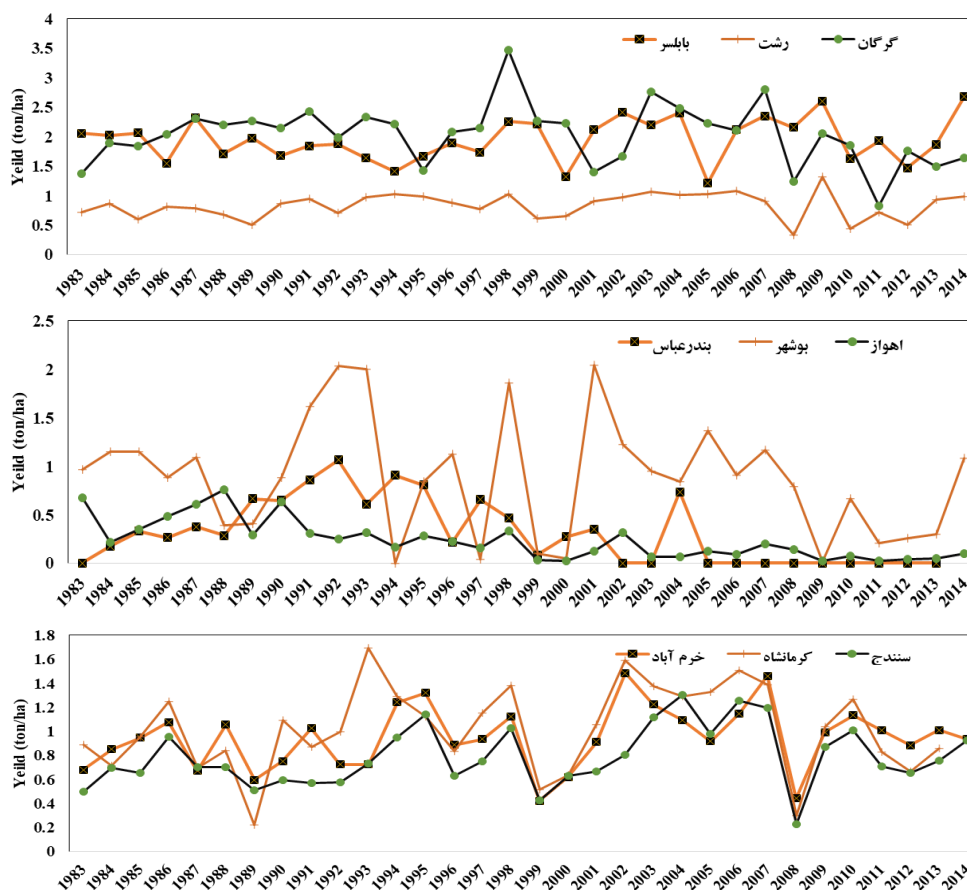
که در این رابطه،  $\text{Sign}$ : تابع علامت؛  $x$  متغیر،  $\text{Var}$ : واریانس و  $Z$ : آماره آزمون است. معنی‌داری آزمون با مقدار  $Z$  بررسی

از سال ۲۰۰۵ به بعد کشت گندم دیسم متوقف شده است که بدلیل خشکسالی‌های همه گیر در استان است. در اقلیم نیمه خشک و سرد غرب کشور، شامل کرمانشاه، سنندج و خرم آباد نوسانات سه منطقه تقریباً یکسان و به ترتیب ۱۲۰۰، ۷۸۰ و ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار است. در این مناطق کمترین عملکرد مربوط به سال ۱۹۹۹ به میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است.

نوسانات زیادی ندارد. در خصوص اقلیم گرم و خشک جنوب، شامل خوزستان، بوشهر و هرمزگان؛ متوسط عملکرد در خوزستان ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار و در بوشهر و هرمزگان ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار است. تغییرات عملکرد گندم دیسم خوزستان طی دوره آماری اندک، اما تغییرات عملکرد گندم خوزستان دیسم بوشهر و هرمزگان بسیار زیاد است. در هرمزگان



شکل ۱. تغییرات زمانی شاخص SPEI در دوره زمانی مورد مطالعه



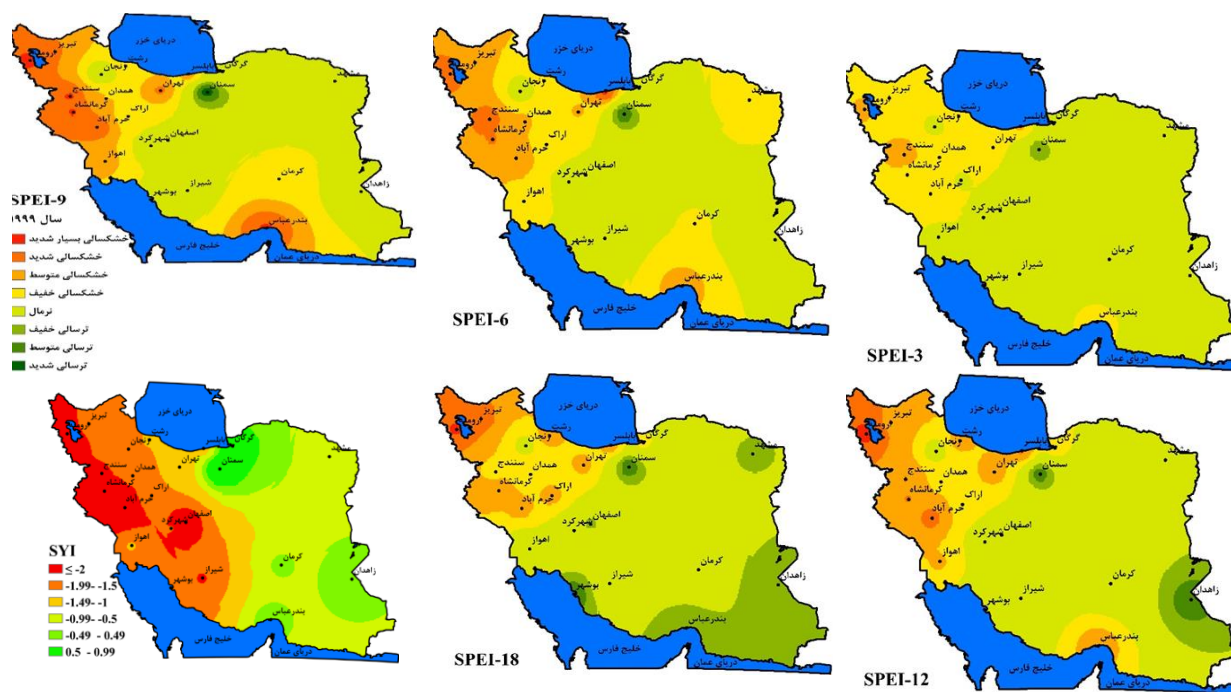
شکل ۲. تغییرات عملکرد گندم در واحد سطح در برخی نقاط کشور

بررسی تغییرات مکانی SYI در خشکسالی تاریخی سال ۱۹۹۹ نشان می‌دهد، بیشترین نقاطی که تحت تاثیر خشکسالی سبب کاهش شدید عملکرد تحت تاثیر خشکسالی بودند نیمه غربی ایران بوده است که از حالت نرمال فاصله بسیار زیادی دارد. این شدت کاهش در سنج، کرمانشاه و خرم‌آباد بسیار زیاد است. همانطور که پیشتر نیز گفته شد، خشکسالی در این سال از شمال غرب و غرب کشور توسعه یافته و کاهش عملکرد نیز در این استان‌ها چشمگیر است. لذا نقشه تغییرات عملکرد انطباق مناسبی با خشکسالی‌ها دارد.

## ۲-۳- تغییرات مکانی خشکسالی و عملکرد گندم

### در ایران در خشکسالی تاریخی سال ۱۹۹۹

براساس تحقیقات بسیاری از محققین (بدرافشان و خلیلی، ۲۰۱۳) سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰، بیش از ۹۶/۳ درصد از مساحت ایران تحت تاثیر خشکسالی بوده است. براساس نتایج بدست آمده، عموم خشکسالی‌ها از غرب و شمال غربی توسعه و به بخش‌های مرکزی ایران گسترش می‌یابد. بعد از گذشت دوازده ماه، مجدد این روند از این نقاط مجدد شروع به رشد می‌نماید. عبارتی دوام خشکسالی کشاورزی در ایران اغلب ۱۲ ماهه است. و هر سال یک‌بار خشکسالی وارد فاز تکرار می‌شود. نتایج حاصل از



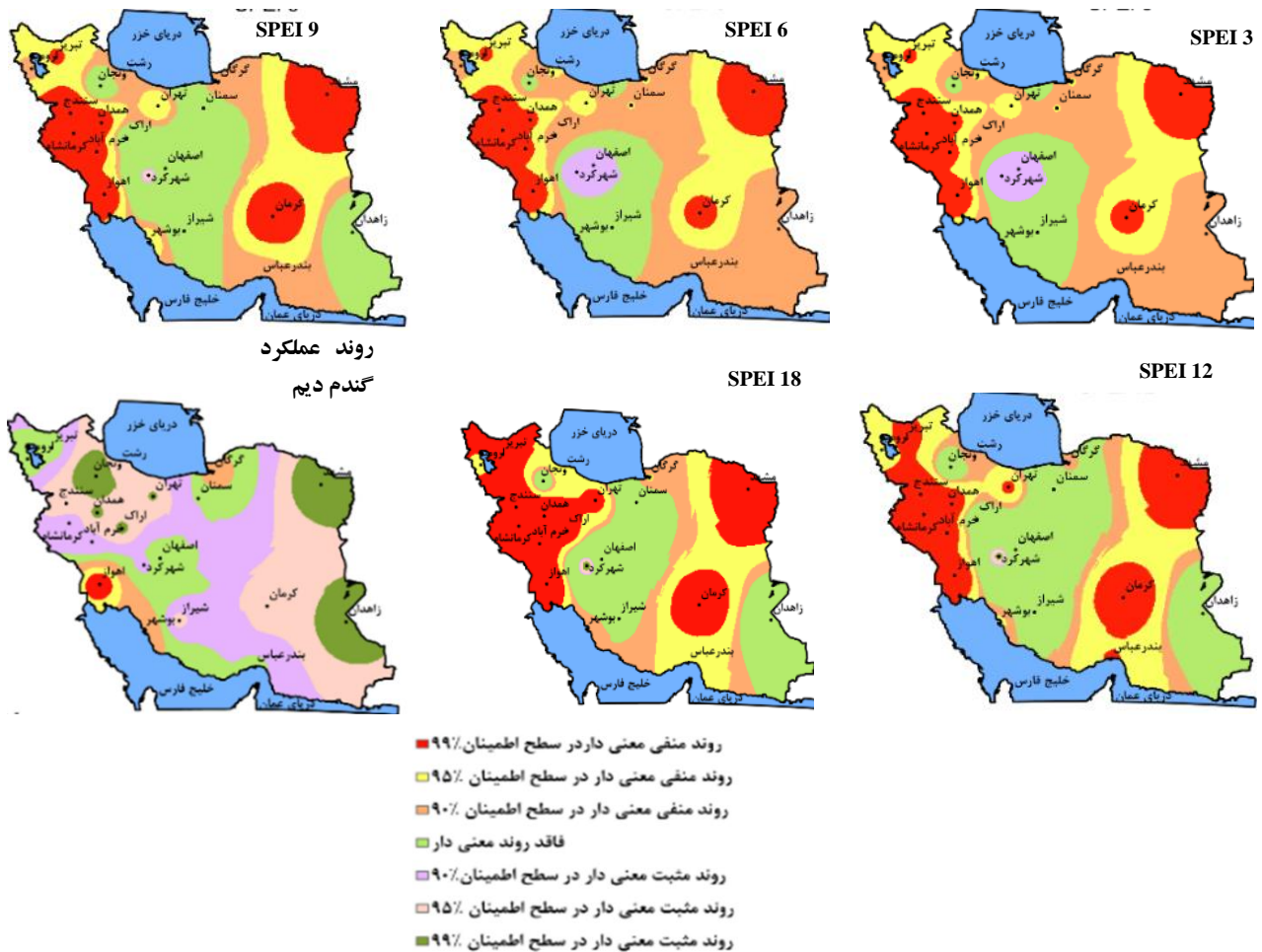
شکل ۳. تغییرات مکانی عملکرد در خشکسالی تاریخی سال ۱۹۹۹ در مقیاس‌های ۳ تا ۱۸ ماهه در ایران

### ۳-۳- روند تغییرات خشکسالی و عملکرد گندم در ایران

زاهدان ترسالی رو به افزایش است، به این معنی که خشکسالی کشاورزی رو به کاهش است. در خصوص روند عملکرد گندم در ایران، براساس شکل، روند تغییرات مکانی Z کندال در عملکرد SPEI به نسبت به دارای شدت کمتری است. بطوری که در بخش‌های شرقی و غربی کشور که خشکسالی در دوره مرطوب سال رو به افزایش است، عملکرد گندم در دوره مرطوب دنبال نمی‌کند. قسمت‌های مرکزی ایران که روند خشکسالی کشاورزی رو به کاهش (مقادیر بین  $+0.5$  تا  $+2$ ) است، عملکرد گندم در دوره مرطوب رو به افزایش ( $Z > 1/63$ ) است. بخش‌های شمالی و جنوبی کشور که عملکرد فاقد روند ( $Z > 1/63$  تا  $Z < -1/63$ ) است، خشکسالی نیز یا دارای روند افزایشی ضعیف و یا فاقد روند خاصی است. بطور کلی روند عملکرد گندم در کشور جز در خوزستان (جنوب شرق ایران) که دارای روند کاهشی ( $Z < -1/63$ ) بوده، در سایر نقاط کشور یا فاقد روند و یا دارای روند افزایشی ضعیف در سطح اعتماد ۹۰ درصد است.

شکل ۴، روند تغییرات SPEI در دوره مرطوب سال را در مقیاس‌های ۳ تا ۱۸ ماهه در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب مورد بررسی نشان می‌دهد. براساس نتایج Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۱۰) این شاخص در مقیاس کوتاه مدت (۳ تا ۹ ماهه) نشان‌دهنده اثرات خشکسالی هواشناسی و در مقیاس میان مدت (۱۲ تا ۱۸ ماهه) نشان‌دهنده اثرات خشکسالی کشاورزی است و اثرات خشکسالی هیدرولوژیکی را شامل نمی‌شود. در اکثر ایستگاه‌ها، شاخص SPEI رو به کاهش است، بخصوص در غرب، نیمه غربی، استان خراسان و کرمان به این معنی که خشکسالی رو به افزایش است. چرا که مقادیر منفی ( $-0.5$  تا کمتر از  $-2$ ) SPEI نماینده خشکسالی و مقادیر مثبت ( $+0.5$  تا بیش از  $+2$ ) نماینده ترسالی است. اما در بخش‌هایی از کشور شامل اصفهان، چهارمحال، اراک، شیراز، بوشهر و





شکل ۴. روند خشکسالی و عملکرد گندم در ایران طی دوره

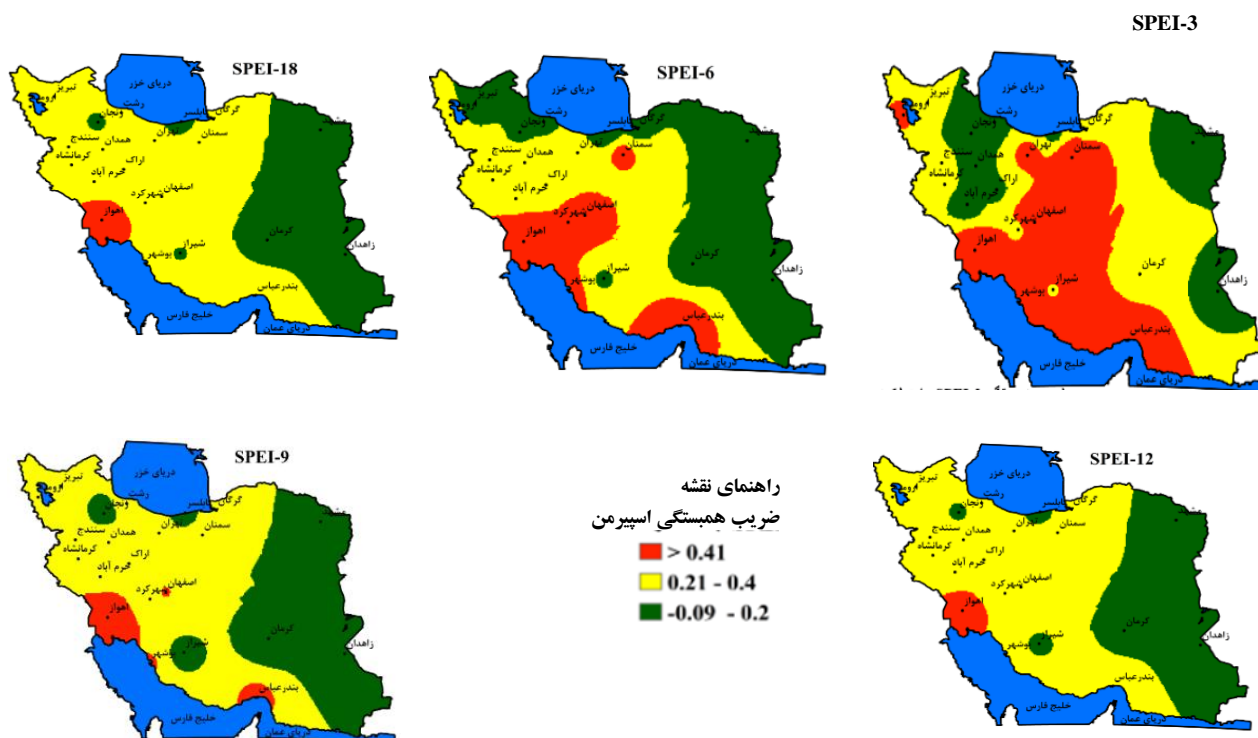
### ۳-۴- توزیع مکانی همبستگی بین خشکسالی و عملکرد گندم دیم در ایران

شکل ۵، توزیع مکانی ضریب همبستگی بین عملکرد گندم دیم و SPEI را نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی سه ماهه، بالاترین همبستگی عملکرد با خشکسالی هواشناسی مربوط به جنوب غرب و اصفهان و بخش‌های وسیعی از مناطق مرکزی شامل تهران و سمنان نیز همبستگی مناسبی دارند. در مقیاس ۶ ماهه از وسعت مناطق مرکزی کاسته شده اما همچنان همبستگی بالایی دارند. بخش زیادی از غرب و شمال کشور در مقیاس‌های ۱۲ و ۱۸ ماهه دارای همبستگی بالایی با خشکسالی است، به این معنی که در غرب و شمال

کشور، عملکرد گندم دیم با تغییرات خشکسالی کشاورزی مرتبط است. طبق نتایج این تحقیق، در بخش‌های جنوبی، جنوب شرق و مرکزی کم باران ایران، عملکرد گندم دیم ارتباطی با خشکسالی کشاورزی ندارد و عملکرد گندم دیم تحت تاثیر خشکسالی هواشناسی (مقیاس ۳ تا ۶ ماهه) است.

### ۴ نتایج

تحقیق حاضر با هدف تاثیر خشکسالی هواشناسی (مقیاس کوتاه مدت ۳ تا ۶ ماهه) و کشاورزی (مقیاس میان مدت ۱۲ تا ۱۸ ماهه) با شاخص SPEI با عملکرد استاندارد شده گندم دیم در کشور صورت گرفته است.



شکل ۵. همبستگی مکانی بین عملکرد و SPEI در مقیاس‌های زمانی مختلف

در ایستگاه‌های مشهد، کرمان و زاهدان این نتایج تأیید گردید. بالاترین همبستگی‌های ثبت شده بین عملکرد گندم دیم و خشکسالی هواشناسی در بخش‌های جنوب شرق کشور و مرکزی در مقیاس کوتاه مدت است و در مقیاس‌های زمانی بالاتر نیز این همبستگی کاهش می‌یابد. در بخش‌های غربی و شمال غربی که از مناطق عمده کشت دیم در ایران هستند نیز همبستگی بالایی بین خشکسالی کشاورزی و SPEI مشاهده می‌شود و در مقیاس‌های ۱۲ تا ۱۸ ماهه دیده می‌شود.

بررسی روند خشکسالی در ایران در تمام مقیاس‌ها حاکی از روند افزایش شدت خشکسالی بخصوص در بخش‌هایی از غرب و شمال شرق ایران است اما در مورد روند عملکرد گندم دیم، عموماً شاهد روند معنی‌داری شدید نیستیم. نتایج بررسی انطباق زمانی عملکرد گندم دیم با خشکسالی نشان داد، هر اقلیم و ایستگاه رفتار خاص خود را دارد و جز در اقلیم نیمه خشک سرد که همگی به اتفاق با خشکسالی کشاورزی در مقیاس ۱۲ ماهه بالاترین تطابق را عملکرد محصول گندم دارد، سایر مناطق به لحاظ زمانی همبستگی

بطور کلی وضعیت در دوره کوتاه مدت، یعنی سه ماهه (خشکسالی هواشناسی) بخش اعظم کشور در وضعیت نرمال به سر می‌برند اما با افزایش مقیاس زمانی از بخش غرب کشور خشکسالی کشاورزی توسعه می‌یابد و در مقیاس بلندمدت مجدد (۱۲ تا ۱۸ ماهه) بخش وسیعی از کشور ترسالی حاکم می‌شود. لذا طبق نتایج بدست آمده در ایران هر ۱۲ ماه یکبار خشکسالی کشاورزی از نظر مکانی وضعیت تکرار شونده‌ای دارد نتایج ارسلائی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد، ۵۰ درصد خشکسالی‌ها در ایران با زمان تداوم یکساله است. می‌توان گفت، مهمترین دلیل آن این است که، عمدتاً بارش‌ها در ایران مربوط به پاییز و زمستان است. نتایج همبستگی بین عملکرد گندم دیم و خشکسالی، در بخش‌های شرقی کشور در تمام مقیاس‌ها مقادیر نسبتاً کمی را نشان داد. طبق نتایج آراسته و همکاران (۱۳۹۶) بین عملکرد و خشکسالی در مناطق کم باران ارتباط چندانی نمی‌توان یافت.

دربندی، ص.، کاوه، ف.، فاخری فرد، ا.، صدقی، ح.، کمالی، غ.، ۱۳۸۶، معرفی یک شاخص جدید برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی بر پایه عملکرد نسبی محصول، مجله علمی - پژوهشی علوم کشاورزی، سال سیزدهم شماره ۱.

زارع فیض آبادی، ا.، کوچکی، ع.، نصیری، م.، ۱۳۸۵، بررسی روند ۵۰ ساله تغییرات سطح زیرکشت، عملکرد و تولید غلات در کشور و پیش بینی وضعیت آینده، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۴۹-۷۰.

زارع ایبانه، ح.، یزدانی، و.، اژدری، خ.، ۱۳۸۸، مطالعه تطبیقی چهارنمایه خشکسالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۹، صفحه ۳۵-۴۹.

زند، م.، - تهران - اول و دوم اسفند ماه ۱۳۹۷. اثرات اقتصادی خشکسالی بر درآمد کشاورزان دیم کار (گندم و جو) در شهرستان خرم آباد، هفتمین همایش سامانه‌های سطوح آبرگیر باران.

عزیزی، ق.، یاراحمدی، د.، ۱۳۸۲، بررسی ارتباط پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل رگرسیونی (مطالعه موردی دشت چآخور)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۴، صفحه ۲۳-۲۹.

مساعدی، ا.، محمدی مقدم، س.، قبائی سوق، م.، ۱۳۹۴، مدل سازی عملکرد گندم و جو دیم بر اساس شاخص‌های خشکسالی و متغیرهای هواشناسی، نشریه آب و خاک، (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۹، شماره ۳، صفحه ۷۴۹-۷۳۰.

مظفری، الف.، بذرافشان، الف.، مرادی، ن.، ۱۳۹۹، تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در ایران تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم، نشریه مدیریت بیابان ۸(۱۶): ۱۶۳-۱۵۳.

Akoglu, H., 2018, User's guide to correlation coefficients. Turkish journal of emergency medicine, 18(3): 91-93.

Alexandrov, V. and Hoogenboom, A.G. 2001. Climate Variation and Crop Production in Georgia, USA, During the Twentieth Century. Climate Research. Clime RES, 17: 33-43.

Arsalani, M., Azizi, G., & Bräuning, A. 2015, Dendroclimatic reconstruction of May-June maximum temperatures in the central Zagros

مشابهی ندارند. براساس نتایج عزیزی و احمدی (۱۳۸۲) بر روی عملکرد گندم دیم در هر اقلیم، متغیرهای دیگری بجز متغیرهای اقلیمی مداخله می‌کنند که مختص همان منطقه است مثل نوع خاک، مدیریت مزرعه، نوع رقم و یا هر عاملی غیر از عامل بارش و دمای مورد بررسی در این تحقیق و عامل اقلیمی به تنهایی نمی‌تواند تفکیک کننده خوبی در بررسی ارتباط بین عملکرد با خشکسالی در اقلیم‌های مشابه باشد. از جمله پیشنهادات کاربردی و تحقیقاتی که می‌توان در ادامه این تحقیق داد به شرح زیر است:

- ۱- پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در ایران با استفاده از شاخص خشکسالی کشاورزی و مدل‌های یادگیری ماشین
- ۲- استفاده از شاخص خشکسالی کشاورزی بر مبنای تصویر ماهواره ای GLDAS و بررسی ارتباط آن با عملکرد گندم دیم در ایران.

## ۵ منابع

آراسته، م.، کابلی، ح.، یزدانی، م.، ۱۳۹۶، بررسی تأثیرات خشکسالی هواشناسی بر عملکرد دو محصول گندم و جو دیم، نشریه هواشناسی کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۲۵-۱۵.

تقدسیان، ح.، میناپور، س.، ۱۳۸۲، تغییرات آب و هوا، آنچه باید بدانیم، انتشارات مرکز تحقیقات زیست محیطی سازمان حفاظت محیط زیست، دفتر طرح ملی آب و هوا، تهران.

کریمی، ح.، زیدعلی، ع.، امید پور، ر.، ۱۳۹۶، بررسی اثر شاخص استاندارد SPI بر عملکرد تولید گندم در اراضی دیم استان ایلام، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۹، شماره ۴، صفحات ۴۹۳-۴۹۹.

حسینی، م.ط.، ۱۳۸۶، کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در برآورد عملکرد گندم دیم

منطقه قروه استان کردستان، مجله پژوهش کشاورزی، ۵۴-۴۱.

حنفی، ع.، پاشاپور، ح.، ۱۳۹۴، تحلیل خشکسالی‌های استان کردستان و تاثیر آنها بر عملکرد نسبی گندم دیم، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دوازدهم، شماره ۴۶.

- Peña-Gallardo, M., Vicente-Serrano, S. M., Domínguez-Castro, F., & Beguería, S. 2019, The impact of drought on the productivity of two rainfed crops in Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(6): 1215-1234.
- Rahimi, J., Khalili, A., & Bazrafshan, J. 2014, Estimation of effective precipitation for winter wheat in different regions of Iran using an Extended Soil-Water Balance Model. *Desert*, 19(2): 91-98.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. 2010, A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7): 1696-1718.
- Wilhite, D. A. 1992, Drought. In: Brekhovskikh, L., Turekian, K.K., Emery, K., Tseng, C.K., LePichon, X., Curray, J.R., Seibold, E., Nasu, N. & Lisitzin, A.P (Eds.) *Encyclopedia of Earth System Science*, San Diego, California: Academic Press.
- Mountains, western Iran. *International Journal of Climatology*, 35(3):408-416.
- Bazrafshan, J., & Khalili, A. (2013, Spatial Analysis of Meteorological Drought in Iran from 1965 to 2003. *Desert*, 18(1): 63-71.
- Chen, T., Xia, G., Liu, T., Chen, W., and Chi, D., 2016, Assessment of Drought Impact on Main cereal crops using a standardized Precipitation Evapotranspiration Index in Liaoning province, china, 8.1069 Labudova, L., Labuda, M., and Takac, J., 2016, Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment crop production the Danubian Lowland and the East slovalian Lowland, 9 July 2016, springer- verlag wien 2016.
- Luo Q., Bellotti W., Williams M., & Wang E. 2009, Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: Analysis of management and breeding strategies. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129:261–267.