



ارزیابی تغییرات عملکرد سویا با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و ماهواره‌ای در غرب استان گلستان

پریسا علی‌زاده^{۱*}، بهنام کامکار^۲، شعبان شتایی^۳، حسین کاظمی^۴

^۱ دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲ استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و گروه آگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

^۳ استاد گروه جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۴ دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: در اکثر مناطق کشور تعداد ایستگاه‌های هواشناسی ناکافی بوده و دوره آماری مناسبی را پوشش نمی‌دهند. روش مرسوم اندازه‌گیری عملکرد در ایران، تجربی است که علاوه بر نیاز به اندازه‌گیری‌های زیاد صحرایی برای جمع‌آوری داده‌ها، پرهزینه، سخت و گاهی غیرممکن بوده و از سوی داده‌های نهایی بسیار دیرتر از زمان مورد نیاز به دست مدیران خواهد رسید. داده‌های سنجش از دور می‌توانند به‌عنوان داده‌های جایگزین یا مکمل داده‌های هواشناسی در برآورد عملکرد محصولات کشاورزی و تشخیص خشکسالی و پوشش گیاهی استفاده شوند. این مطالعه با هدف برآورد عملکرد مزارع سویا و بررسی ارتباط آن با پتانسیل ریسک خشکسالی در غرب استان گلستان (شهرستان‌های آق قلا، علی‌آباد کتول، گرگان، بندرگز، بندرترکمن و کردکوی) با استفاده از شاخص هواشناسی (SPI) و شاخص‌های پوشش گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره لندست (NDVI، VCI و DSI) انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌های لندست از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ استفاده شد و بعد از پیش پردازش‌ها و پردازش‌های مناسب، شاخص‌های گیاهی NDVI، DSI، VCI تهیه گردید. همچنین شاخص خشکسالی هواشناسی SPI با استفاده از اطلاعات ۱۵ ایستگاه هواشناسی محدوده مورد مطالعه محاسبه شد. به‌منظور محاسبه رابطه بین عملکرد سویا در شش شهرستان مورد مطالعه با شاخص‌های NDVI، DSI، VCI و SPI مقدار میانگین رسترهای این شاخص‌ها برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ تهیه شد. سپس بین عملکرد هر شهرستان با شاخص‌های هواشناسی (SPI) و ماهواره‌ای (VCI، DSI، NDVI) رگرسیون ساده خطی برقرار شد. از میان شاخص‌ها، شاخصی که دارای رابطه معنی‌دار با عملکرد و بالاترین ضریب تبیین را داشت، به‌عنوان شاخص منتخب تعیین و با استفاده از آن نقشه عملکرد سویا (با مقیاس ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰) برای محدوده مورد مطالعه تهیه شد. در ادامه با استفاده از نقشه‌های فراوانی خشکسالی حاصل از شاخص‌های SPI، DSI و VCI نقشه ریسک خشکسالی کشاورزی تولید شد. سپس با انطباق نقشه‌های بولینی عملکرد و نقشه ریسک خشکسالی منطقه به بررسی رفتار عملکرد در طبقه‌های ریسک خشکسالی در شش شهرستان پرداخته شد.

یافته‌ها: اعتبار معادلات در تخمین عملکرد سویا نشان می‌دهد که مقدار ضریب تبیین برای پیش‌بینی عملکرد در سال‌های مختلف بین ۰/۱۳ تا ۰/۵۲ بود. همچنین قرارگیری اکثر اعداد پیش‌بینی شده در بین خطوط $\pm 15\%$ درصد نسبت به خط یک به یک، دلیلی

*نویسنده مسئول: parysa.alizadeh@gmail.com

بر دقت قابل قبول این معادلات در پیش‌بینی جهت تولید نقشه‌های عملکرد می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گرفت با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و ماهواره‌ای در مرحله اوج سبزی‌نگی سویا، عملکرد در سطح وسیع با دقت مناسب قابل پیش‌بینی است. نتایج نشان داد که بین ۴۳ تا ۵۰ درصد اراضی در محدوده عملکردهای بیشتر از میانگین عملکرد شش شهرستان مورد مطالعه قرار داشتند و مابقی اراضی عملکردهای کمتر از میانگین داشتند. براساس نتایج در شهرستان‌های آق قلا، علی‌آباد، گرگان، بندرگز، بندرترکمن و کردکوی هیچ قسمتی از اراضی تحت کشت سویا در پهنه‌های با ریسک خشکسالی خیلی شدید قرار نگرفتند. انطباق نقشه عملکرد با نقشه ریسک خشکسالی نشان داد که همسو بودن این نقشه‌ها بیانگر این است که در پهنه‌های با ریسک خشکسالی بالا احتمال کاهش عملکرد در رویارویی با خشکسالی در آن‌ها بیشتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بطورکلی نتایج نشان داد که شهرستان‌های بندر ترکمن، گرگان و قسمت مرکزی و جنوبی شهرستان علی‌آباد کتول با ریسک خشکسالی کمتری مواجه هستند. همچنین نقشه انطباق عملکرد و ریسک می‌تواند به‌عنوان یک نقشه پیش‌آگاهی جهت ارائه راهبردهایی با هدف مدیریت ریسک خشکسالی و مقابله با اثرات خشکسالی بر عملکرد مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی کشاورزی، ریسک خشکسالی، سنجش از دور، عملکرد

مقدمه

رویکردی که معمولاً برای برآورد عملکرد استفاده می‌شود استفاده از مدل‌هایی است که به‌طور مستقیم تأثیر آب و هوا، نور و دیگر متغیرهای محیطی را بر نمو، فتوسنتز و تبخیر و تعرق گیاه بررسی می‌کنند (۲۹). این مدل‌ها برپایه مفاهیم فیزیولوژیکی قوی تهیه شده‌اند، اما، این مدل‌ها دارای ساختاری پیچیده‌ای بوده و در مقیاس‌های بزرگ به‌دلیل تنوع کیفیت خاک و مدیریت زراعی پیش‌بینی ضعیفی دارند (۲۸ و ۲۹). از طرفی در اکثر مناطق کشور تعداد ایستگاه‌های هواشناسی ناکافی بوده و دوره آماری مناسبی را پوشش نمی‌دهند. روش مرسوم اندازه‌گیری عملکرد در ایران، تجربی است که علاوه بر نیاز به اندازه‌گیری‌های زیاد صحرایی برای جمع‌آوری داده‌ها، پرهزینه، سخت و گاهی غیرممکن بوده و از سویی داده‌های نهایی بسیار دیرتر از زمان مورد نیاز به‌دست مدیران خواهد رسید. اگرچه از زمان انقلاب سبز افزایش قابل‌توجهی در تولید غذا حاصل شده است، اما خشکسالی‌های مکرر این افزایش تولید را تحت تأثیر قرارداده و منجر به کمبود غذا برای تغذیه شمار زیادی از انسان‌ها شده که در نتیجه آن باعث سوء

تغذیه، بیماری و حتی مرگ انسان‌ها شده است. اخیراً خشکسالی در هر دو گروه کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه نتایج اقتصادی، تأثیرات زیست‌محیطی و دشواری‌های شخصی به بارآورده که همگی این عوامل باعث شده تا آسیب‌پذیری تمامی جوامع به این پدیده زیان‌بخش طبیعی مورد توجه قرارگیرد (۶ و ۳۱). همچنین امنیت غذایی در جوامع وابسته به بخش کشاورزی، بیش از آن به تغییرات آب و هوایی وابسته است. بدلیل ارتباط تنگاتنگ معیشت جامعه و کشاورزی، پیامدهای منفی خشکسالی طی چند سال بر اقتصاد و کشاورزی منجر به رشد دیدگاه‌های فعال در خصوص مدیریت ریسک خشکسالی شده است. در سال‌های اخیر، یک رویکرد ریسک‌گرا برای مدیریت خطرات بلایای طبیعی به کار گرفته شده است (۲۲). ارزیابی احتمال خشکسالی قطعاً به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا اقدامات اصلاحی را انجام داده و از بروز اختلالات اجتماعی و اقتصادی بکاهند. وضعیت اقلیمی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مقدار تولید محصولات کشاورزی است.

در دهه‌های گذشته معمولاً تحلیل خشکسالی به‌صورت توصیفی انجام شده، ولی امروزه برای بیان

گیاهی مختلف میزان زیست‌توده سویا و ذرت را تخمین زدند (۱۲). میزان زیست‌توده گیاه ذرت با ضریب تغییرات کمتر از ۲۰ درصد برآورد و تغییرات زیست‌توده بین ۱۰ تا ۳۰ تن در هکتار تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از شاخص‌های گیاهی یک روش کارآمد در برآورد زیست‌توده گیاهان می‌باشد. محمدی احمدمحمودی (۲۰۱۳) در مطالعه پایش تولید زیست‌توده گندم در مزرعه نمونه ارتش استان گلستان با استفاده از GIS^۲ و سنسجش از دور نقشه عملکرد منطقه مورد مطالعه را با شاخص TVI^۳ تهیه کرد (۱۶). در مطالعه‌ای توسط سون و همکاران (۲۰۱۴) در ویتنام گزارش شد که بین عملکرد برنج و شاخص گیاهی EVI در کشت زمستانه - بهاره (۰/۶۲-۰/۷۱) و تابستانه - پاییزه (۰/۴۰-۰/۵۶) و NDVI در کشت زمستانه - بهاره (۰/۵۵-۰/۷۱) و تابستانه - پاییزه (۰/۴۰-۰/۵۵) همبستگی وجود داشت (۲۳).

این مطالعه با هدف بررسی روند تغییرات عملکرد سویا با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و ماهواره‌ای برای تعیین و تحلیل ارتباط بین پتانسیل ریسک خشکسالی با عملکرد سویا در پهنه‌های مورد مطالعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در ۶ شهرستان آق قلا، گرگان، علی آباد کتول، کردکوی، بندرگز و بندر ترکمن در غرب استان گلستان قرار دارد که مساحت اراضی کشاورزی در این محدوده حدوداً ۳۰۷ هزار هکتار می‌باشد (۱۴). این محدوده

کمی پدیده خشکسالی، ارزیابی و پایش آن از شاخص‌های مختلف استفاده می‌شود (۲۵ و ۲۷). داده‌های سنسجش از دور (مانند تصاویر ماهواره‌ای) می‌تواند به‌عنوان داده‌های جایگزین یا مکمل داده‌های هواشناسی در تشخیص خشکسالی، پوشش گیاهی و برآورد عملکرد استفاده شوند که داده‌های فضایی و زمانی پیوسته با پوشش جهانی و وضوح مناسب را ارائه می‌دهند (۴ و ۱۰). با توجه به اینکه، عملکرد با سبزی‌نگی محصول (شاخص سطح برگ) در ارتباط است و میزان سطح سبز گیاه را می‌توان با استفاده از شاخص‌های گیاهی تا حد قابل قبولی تشخیص داد، بنابراین می‌توان انتظار داشت که عملکرد محصول در یک دوره زمانی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تخمین زد. هنگامی که رابطه عملکرد با شاخص‌ها گسترش یابد، کشاورزان می‌توانند ضمن پیش‌بینی عملکرد نهایی، مدیریت برداشت و برنامه‌ریزی مناسبی برای مدیریت زراعی موثرتر در فصل‌های بعدی داشته باشند (۵ و ۱۲).

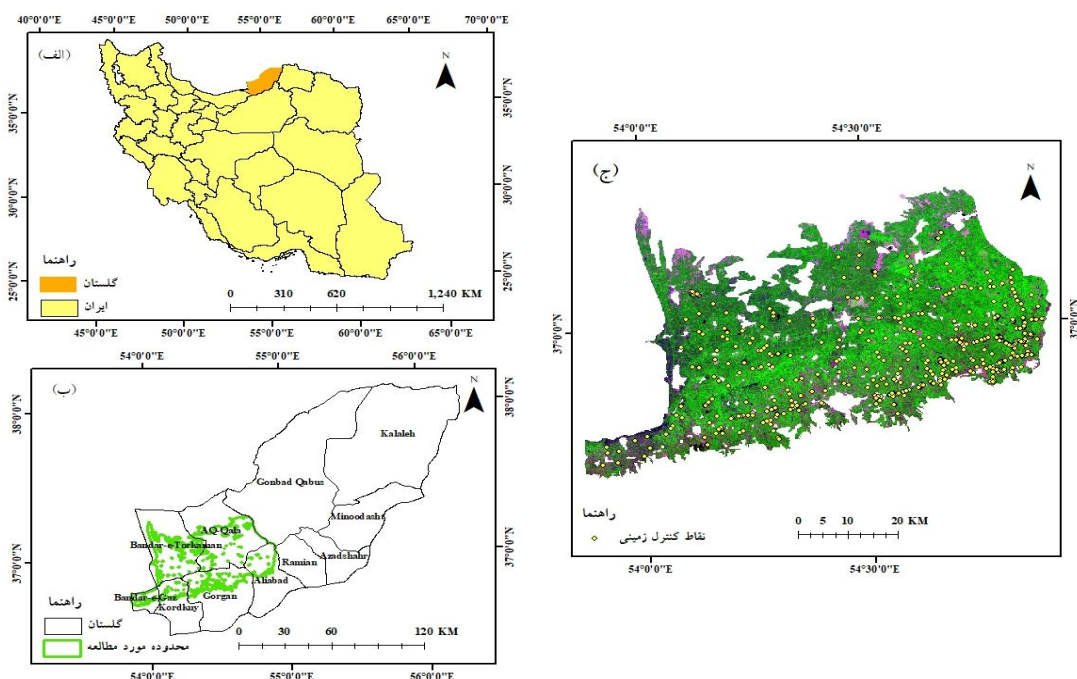
تحقیقات نشان داده است رابطه بسیار قوی بین NDVI^۱ و شاخص سطح برگ با مقدار عملکرد گیاهان متعدد مانند گندم (۱۹)، جو و کلزا (۳)، چغندر و ذرت (۸) و برنج (۲۰ و ۲۱) وجود دارد. به همین دلیل این شاخص کاربرد فراوانی در تعیین خصوصیات گیاهی مانند مقدار زیست‌توده دارد. لی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند استفاده از داده‌های سنسجش از دور یکی از مؤثرترین روش‌ها برای تخمین عملکرد منطقه‌ای می‌باشد و از شاخص NDVI برای تخمین شاخص سطح برگ و عملکرد دانه ذرت استفاده کردند (۱۳). در مطالعات دیگری نیز چنین رابطه‌ای بین NDVI و عملکرد دانه جو، کلزا، گندم بهاره، ذرت و نخودفرنگی یافت شده است (۱۵). کروس و همکاران (۲۰۱۵) به کمک شاخص‌های

2. Geographic Information System
3. Transformed Vegetation Index
4. Enhanced Vegetation Index
5. Standardized Precipitation Index
6. Vegetation Condition Index
7. Drought Severity Index

1. Normalized Difference Vegetation Index

که شهرستان آق‌قلا ۷۰۷ هکتار، گرگان ۱۶۲۶۹ هکتار، علی‌آباد کتول ۱۰۰۵۱ هکتار، کردکوی ۵۷۵۳ هکتار، بندرگز ۲۰۲۸/۵ هکتار و بندر ترکمن ۲۰۷ هکتار از اراضی سویا را در بردارند (۱۴).

بین ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). از ۴۹ هزار هکتار سطح زیرکشت سویا در استان، حدود ۳۵ هزار هکتار مربوط به ۶ شهرستان ذکر شده می‌باشد



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)، در استان گلستان (ب)، اراضی زراعی و نقاط کنترل زمینی مورد استفاده (ج) در تحقیق.

Figure 1- The studied area position in Iran (A), Golestan province (B), the agricultural lands and used ground control points (C)

شدند. تصاویر لندست ۸ با توجه به سطح تصحیحات ارتو نیازی به تصحیحات هندسی مجدد نداشتند. همچنین تصحیحات اتمسفری (روش FLASH) بر روی تصاویر در محیط نرم افزار ENVI نسخه 5.3 انجام شد. نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره ای متداول در مطالعات خشکسالی کشاورزی (VCI، DSI و NDVI) براساس روابط ۱، ۲ و ۳ در محیط نرم‌افزار ENVI نسخه 5.3 محاسبه شد. رابطه (۱):

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

شاخص‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای: در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ سنجنده TM، لندست ۷ سنجنده ETM⁺ و لندست ۸ سنجنده OLI با شماره ردیف و گذر ۱۶۲ و ۳۴ از اوایل شهریور تا اواخر شهریور سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ میلادی دریافتی از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS^۱) استفاده شد. جهت تصحیحات هندسی، تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۷ با استفاده از ۲۵ نقطه کنترل و میزان خطای ریشه مربعات ۰/۱۹ تا ۰/۲۵ با تصاویر ماهواره لندست ۸ تطابق هندسی نسبی داده

1. The United States Geological Survey

مقایسه قرار گیرند، زیرا علاوه بر تأثیر رویدادهای اقلیمی منطقه مانند خشکسالی عوامل دیگری مانند مدیریت زراعی، حاصلخیزی اراضی کشاورزی روی عملکرد شهرستانها تأثیرگذار هستند؛ بنابراین تأثیر عواملی غیر از عامل اقلیمی باید از داده‌های عملکرد حذف شوند. به منظور، روندزدایی از داده‌های عملکرد شهرستانی، از متغیر عملکرد استاندارد محصول (St.Y) استفاده شد که نحوه محاسبه آن در رابطه (۴) آورده شده است.

$$St.Y = \frac{Y_j - \bar{Y}}{\sigma} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن Y_j : عملکرد محصول در هر سال برای هر شهرستان، \bar{Y} : میانگین عملکرد محصول و σ : انحراف معیار عملکرد محصول در طول دوره مطالعه (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶) می‌باشند (۷).

انتخاب شاخص برتر برای پیش‌بینی عملکرد و ارزیابی نقشه عملکرد پیش‌بینی شده: به منظور محاسبه رابطه بین عملکرد هر شهرستان با شاخص‌های NDVI، DSI، VCI و مقدار میانگین رسترهای این شاخص‌ها برای کل محدوده اراضی زراعی تعیین شد و سپس میانگین هر شاخص در محدوده هر شهرستان محاسبه شد. سپس همبستگی بین عملکرد سویا (اطلاعات گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی) با مقادیر شاخص‌های هواشناسی (SPI) و طیفی ماهواره‌ای (VCI، DSI، NDVI) در هر شهرستان با استفاده از رگرسیون ساده خطی مورد بررسی قرار گرفت. در هر شهرستان، هر شاخصی که دارای رابطه معنی‌دار با عملکرد بوده و بیشترین ضریب تبیین را داشت، به عنوان شاخص منتخب تعیین شد. با استفاده از شاخص برتر در هر شهرستان، نقشه عملکرد سویا برای سال‌های دوره مورد مطالعه استخراج شد.

که در این رابطه NIR باند انعکاسی مادون قرمز نزدیک و R باند مرئی قرمز می‌باشد.

رابطه (۲):

$$VCI_i = \frac{(NDVI_i - NDVI_{min}) * 100}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$$

در این رابطه $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ از طریق داده‌های ثبت شده دراز مدت (۱۶ ساله) برای ماه مورد مطالعه (شهریورماه) محاسبه شده است و i بیانگر ماه شهریور سال جاری است. رابطه (۳):

$$DSI = NDVI_i - NDVI_{(mean/i)}$$

در این رابطه $NDVI_i$: مقدار NDVI پیکسل شهریورماه در سال i ، $NDVI_{mean/i}$: میانگین مقادیر NDVI پیکسل شهریورماه در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ است. همچنین نقشه شاخص هواشناسی SPI شش ماهه با استفاده از اطلاعات شش ماهه ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در سال‌های مورد نظر و با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار متلب برای هر ایستگاه محاسبه و با روش کریجینگ معمولی در نرم‌افزار Arc Map نسخه ۱۰/۳ برای منطقه مورد مطالعه درونیابی شد (۲). اطلاعات عملکرد گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی برای گیاه سویا در سال‌های ۱۳۷۹ (۲۰۰۰) تا ۱۳۹۵ (۲۰۱۶) در شهرستان‌های مورد بررسی تهیه شد (۱۴).

عملکرد استاندارد شده (St.Y): با وجود این‌که عواملی مانند آفات و بیماری‌ها و کمبود عناصر غذایی بر تغییرات عملکرد گیاهان تأثیرگذار هستند، اما خشکسالی کشاورزی بعنوان یکی از عوامل مهم کاهش عملکرد به‌شمار می‌آید. بنابراین در این مطالعه رابطه بین شاخص خشکسالی اقلیمی و عملکرد گیاه بعنوان ابزاری معتبر برای بررسی این عامل مهم به‌کار رفته است. اطلاعات عملکرد گیاهان زراعی هر شهرستان بطور مستقیم نمی‌توانند با یکدیگر مورد

1. The Standardized Variable of Crop Yield

عملکرد در پنج سال مورد بررسی، نقشه‌های عملکرد برای سویا در تمامی سال‌های مورد مطالعه استخراج شد.

ارتباط نقشه پهنه‌بندی ریسک خشکسالی با نقشه عملکرد: به منظور تولید نقشه و پهنه بندی ریسک خشکسالی از نقشه‌های فراوانی خشکسالی شاخص‌های SPI، DSI و VCI استفاده شد. نقشه به دست آمده با توجه به تعریف گونفا (۱۹۹۶)، بر اساس میزان احتمال وقوع خشکسالی در پنج طبقه عدم وقوع خشکسالی، احتمال وقوع کم، متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه‌بندی گردید (۹، جدول ۱).

به‌منظور ارزیابی نقشه‌های عملکرد، از عملکرد واقعی حدود ۶۰ مزرعه که از سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان برای سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ گرفته شده بود (و به‌عنوان نقاط تست در هیچ‌کدام از فرآیندها تا تولید لایه رستر عملکرد مورد استفاده قرار نگرفتند)، استفاده شد. در نهایت، عملکرد واقعی مزارع در مقابل عملکردهای استخراج‌شده از رسترهای عملکرد با استفاده از تابع نمونه‌گیری (Sample) در نرم‌افزار ArcMap10.3 قرار داده و با ترسیم شکل یک به یک ارزیابی صورت گرفت. باتوجه به قابل قبول بودن نتایج ارزیابی نقشه‌های

جدول ۱- طبقه‌بندی نقشه ریسک خشکسالی براساس روش گونفا و با توجه به دوره آماری ۱۵ ساله مورد مطالعه

Tale 1- Classified drought risk map based on Gonfa method according to a 15-year statistical period was studied

سال Year	خشکسالی در دوره آماری (درصد) Drought in the statistical period (%)	احتمال وقوع خشکسالی Drought probability
10-15	>70	عدم وقوع خشکسالی No Drought
7-10	50-70	خشکسالی ملایم Mild Drought
5-7	30-50	خشکسالی متوسط Moderate Drought
3-5	20-30	خشکسالی شدید Severe Drought
0-3	<20	خشکسالی خیلی شدید Extrem Drought

و نقشه ریسک خشکسالی منطقه به بررسی رفتار عملکرد در طبقه‌های ریسک خشکسالی در شش شهرستان پرداخته شد و برای این منظور میانگین هر طبقه انطباق عملکرد با ریسک خشکسالی در طی دوره مورد مطالعه برای هر شهرستان محاسبه شد. همچنین برای تعیین سهم طبقات عملکرد (عملکردهای کمتر از میانگین و بیشتر از میانگین) در هر طبقه ریسک خشکسالی در کل محدوده مورد مطالعه از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. بدین صورت که در هر طبقه عملکرد، طبقات ریسک به‌عنوان تیمار و سال‌ها به‌عنوان تکرار در نظر گرفته

به منظور نشان دادن توزیع مکانی اثرات خشکسالی بر عملکرد سویا در منطقه مورد مطالعه لایه‌های رستری عملکرد همه سال‌ها طبقه‌بندی دودویی (بولین) شدند، به نحوی که برای رسترهای عملکرد سویا پیکسل‌هایی که عملکردی برابر یا بیشتر از ۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (میانگین عملکرد در طول دوره مورد مطالعه در شش شهرستان) داشتند مقدار صفر (به منزله‌ی عدم تأثیر خشکسالی: عملکرد بیشتر از میانگین) و مقادیر کمتر از ۲۱۰۰ مقدار یک (به منزله‌ی تأثیر خشکسالی: عملکرد کمتر از میانگین) اختصاص داده شد. با انطباق نقشه‌های بولینی عملکرد

گندم، ذرت و سویا با شاخص‌های ماهواره‌ای مشاهده شده است (۱، ۱۸ و ۲۲).

ارزیابی معادلات: به منظور ارزیابی عملکرد پیش‌بینی شده، از داده‌های عملکرد برداشت شده در مزارع غرب استان گلستان در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ که در محاسبه رابطه بین عملکرد هر شهرستان با شاخص‌ها به‌کاربرده نشده بودند، استفاده شد. اعتبار معادلات در تخمین عملکرد سویا (شکل ۳) نشان می‌دهد که رابطه رگرسیونی معنی‌داری بین عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد مشاهده شده وجود داشت بطوری‌که، مقدار ضریب تبیین برای پیش‌بینی عملکرد در سال‌های مختلف بین ۰/۱۳ تا ۰/۵۲ بود و همچنین، قرارگیری اکثر اعداد پیش‌بینی شده در بین خطوط $\pm 15\%$ درصد نسبت به خط یک به یک، دلیلی بر دقت قابل قبول این مدل در پیش‌بینی عملکرد می‌باشد.

سپس بعد از حصول اطمینان از دقت روابط بین عملکرد و شاخص‌ها در شهرستان‌های مختلف براساس معادلات بدست آمده در هر شهرستان (با بیشترین ضریب تبیین)، نقشه‌های عملکرد سویا برای شش شهرستان در هر یک از سال‌های دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶) تهیه گردید و برای بررسی انطباق ریسک خشکسالی با عملکرد مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۴).

ارتباط نقشه پهنه‌بندی ریسک خشکسالی با نقشه عملکرد: ریسک خشکسالی به آسیب‌پذیری یک منطقه نسبت به پدیده خشکسالی مرتبط است و عمدتاً با تحلیل فراوانی احتمال وقوع خشکسالی در یک دوره زمانی، مورد بررسی قرار می‌گیرد (۳۰). بررسی نقشه پراکنش مکانی احتمال وقوع خشکسالی در اراضی زیر کشت سویا حاکی از آن است که نحوه پراکنش طبقات احتمال وقوع خشکسالی دارای روند مشخصی نیست. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت

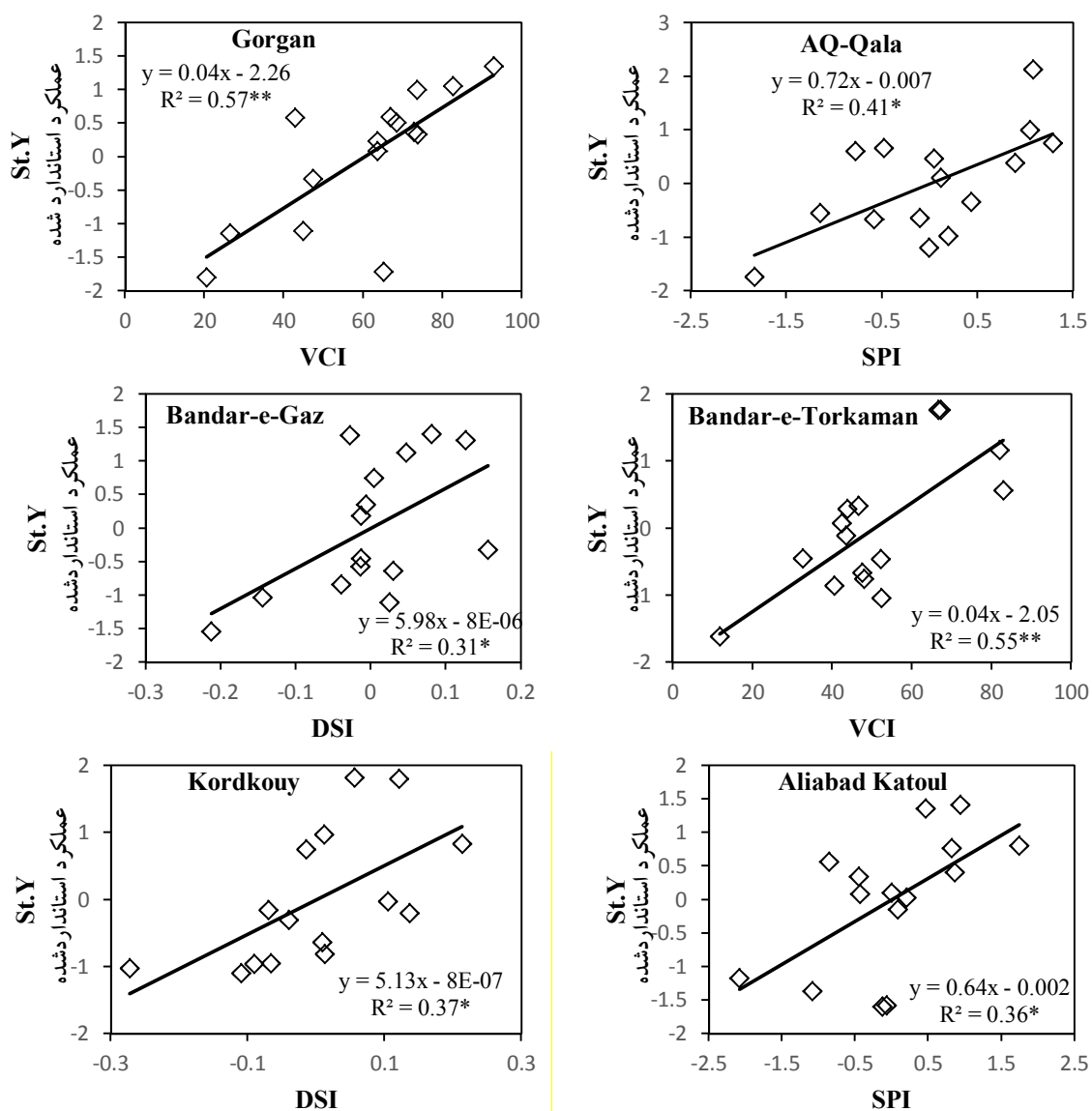
شد. در نهایت اطلاعات استخراج شده از نتایج انطباق با کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۴ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. جهت تعیین چگونگی پراکنش مکانی پهنه‌های عملکرد و ریسک خشکسالی در سال‌های مورد مطالعه، طبقه‌بندی نقشه ریسک خشکسالی براساس منطق بولین انجام شد. بدین صورت که به پیکسل‌هایی که در آن‌ها احتمال وقوع خشکسالی بیشتر از ۲۰ درصد بود، ارزش یک (به منزله‌ی وقوع خشکسالی) و در غیر این صورت ارزش صفر (به منزله‌ی عدم وقوع خشکسالی) اختصاص داده و با نقشه‌های بولینی عملکرد در هر سال منطبق شد.

نتایج و بحث

معادلات منتخب برای تولید نقشه عملکرد سویا در هر شهرستان در شکل ۲ آورده شده است. در شهرستان آق‌قلا و علی‌آباد کتول رابطه خطی بین شاخص SPI و عملکرد استاندارد شده سویا ضریب تبیین بالاتری نسبت به سایر شاخص‌ها (به‌ترتیب ضریب تبیین ۰/۴۱ و ۰/۳۶) داشت و همچنین در این شهرستان‌ها عملکرد استاندارد شده رابطه رگرسیونی معنی‌داری با شاخص‌های VCI و DSI داشتند (شکل ۲). در شهرستان‌های بندرگز و کردکوی از بین دو شاخص VCI و DSI که ارتباط معنی‌داری با عملکرد استاندارد شده داشتند، شاخص DSI به‌ترتیب با ضریب تبیین ۰/۳۱ و ۰/۳۷ ارتباط بیشتری با عملکرد استاندارد شده سویا در این دو شهرستان داشت. همچنین، در شهرستان‌های گرگان و بندرترکمن شاخص VCI نسبت به سایر شاخص‌ها ارتباط بهتری با عملکرد استاندارد شده سویا (ضریب تبیین به‌ترتیب ۰/۵۷ تا ۰/۵۵) نشان داد (شکل ۲). در سایر مطالعات انجام شده در این زمینه ارتباط معنی‌داری بین عملکرد گیاهان زراعی مانند برنج،

خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید قرار داشتند. نتایج نشان داد که بین ۴۳ تا ۵۰ درصد اراضی در محدوده عملکردهای بیشتر از میانگین قرار داشتند و مابقی اراضی عملکردهای کمتر از میانگین داشتند (جدول ۲).

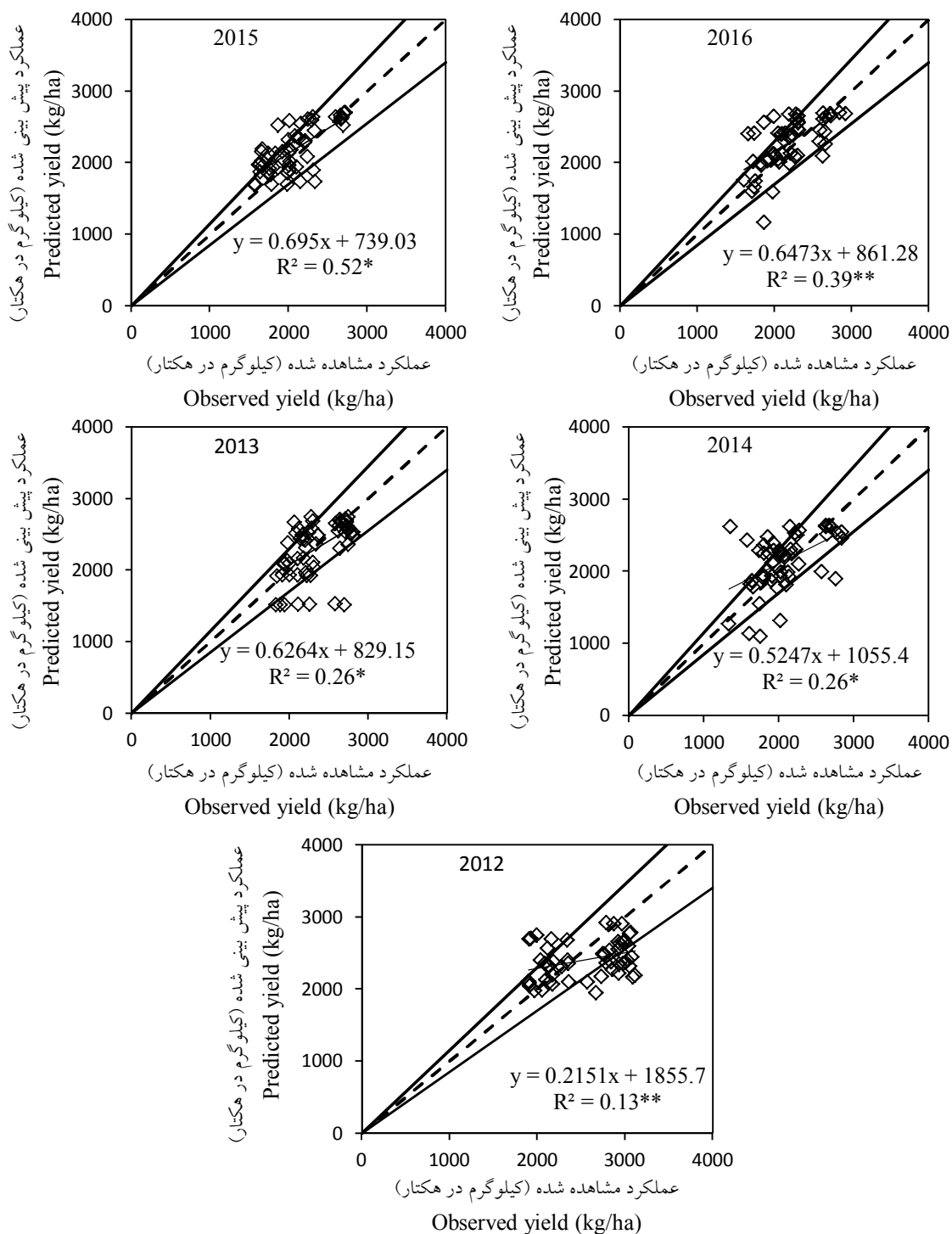
که کمتر از ۵۰ درصد اراضی در هر شهرستان تحت تأثیر خشکسالی قرار داشته و بیشترین ریسک خشکسالی در این منطقه در شهرستان‌های علی‌آبادکتول و گرگان مشاهده شد. اراضی سویای شهرستان‌های مورد بررسی در چهار طبقه بدون خشکسالی،



شکل ۲- رابطه شاخص‌های NDVI، DSI، VCI و SPI با عملکرد استاندارد شده سویا در شهرستان‌های آق قلا، علی‌آباد

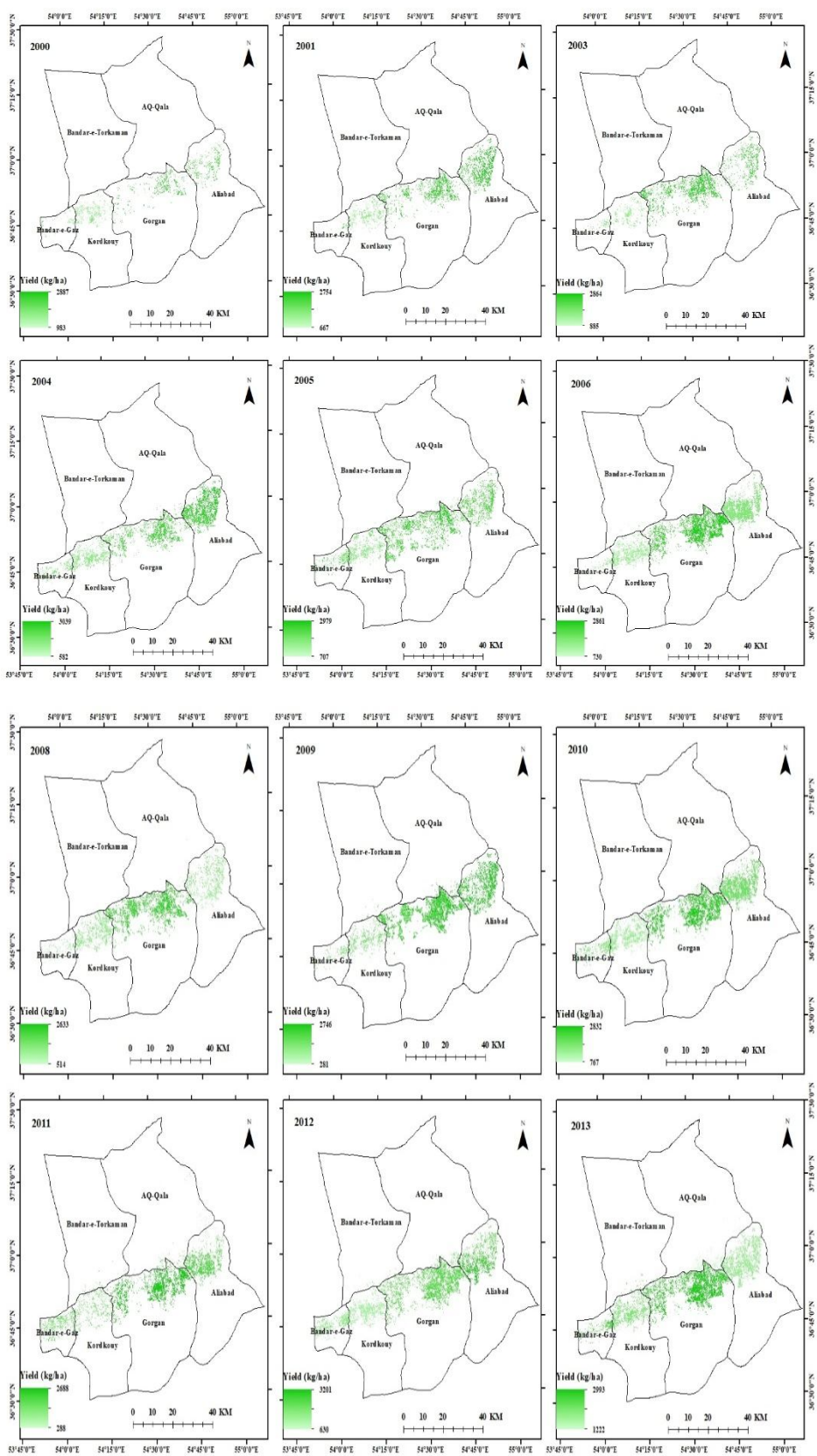
کتول، گرگان، بندرگز، بندرترکمن و کردکوی

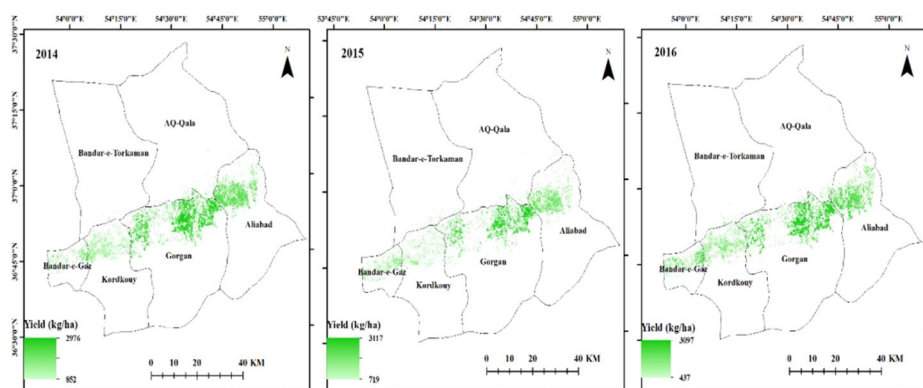
Figure 2- Relationship of NDVI, DSI, VCI و SPI indices with standardized soybean yield in the AQ-Qala, Aliabad Katoul, Gorgan, Bandar-e-Gaz, Bandar-e-Torkaman and Kordkouy



شکل ۳- عملکرد واقعی مشاهده شده در مقابل عملکرد پیش‌بینی شده سویا در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ در غرب استان گلستان

Figure 3- Observed against predicted yield for soybean during 2012-2016 in the west of Golestan province





شکل ۴- عملکرد برآورد شده مزارع سویا در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ در غرب استان گلستان

Figure 4- Estimated yield of the soybean fields during 2000-2016 in the west of Golestan province

جدول ۲- مساحت و درصد اراضی سویا در هر یک از طبقه‌های ریسک خشکسالی در غرب استان گلستان

Table 2- Soybean lands (area and percentage of total) put in each of the drought risk classes in the west of Golestan province

طبقات ریسک خشکسالی Drought risk classes	مساحت اراضی با عملکرد بیشتر از میانگین (ha) Lands with the yield more than mean (ha)	اراضی با عملکرد بیشتر از میانگین (درصد) Lands with the yield more than mean (%)	مساحت اراضی با عملکرد کمتر از میانگین (ha) Lands with the yield less than mean (ha)	اراضی با عملکرد کمتر از میانگین (درصد) Lands with the yield less than mean (%)
خشکسالی شدید Severe Drought	759 c	43 a	1480 b	57 a
خشکسالی متوسط Moderate Drought	1504 c	49 a	1799 b	51 a
خشکسالی ملایم Mild Drought	3925 b	44 a	5662 a	56 a
بدون خشکسالی No Drought	6846 a	50 a	7542 a	50 a

میانگین‌های با یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند (۵ درصد).

سویای شهرستان بندرترکمن را دربر می‌گرفتند (شکل ۵). در شهرستان گرگان طبقه‌های بدون خشکسالی (۵۲ درصد) و خشکسالی ملایم (۳۱ درصد) با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین، بیشترین پراکنش را داشتند. اراضی سویای شهرستان کردکوی اکثراً در دو طبقه بدون خشکسالی (۶۵ درصد) و خشکسالی ملایم (۲۹ درصد) با عملکرد کمتر از میانگین قرار داشتند (شکل ۵). بررسی طبقه‌های خشکسالی اراضی سویا در شهرستان‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که طبقه غالب، طبقه بدون خشکسالی بوده و فقط در دو شهرستان گرگان و کردکوی طبقه خشکسالی ملایم

نتایج نشان داد در شهرستان‌های علی‌آبادکتول، آق قلا و بندرگز بیشترین اراضی سویا به‌ترتیب در طبقه بدون خشکسالی با عملکرد بیشتر از میانگین (۳۶ و ۱۵ و ۱۷ درصد) و در طبقه بدون خشکسالی با عملکرد کمتر از میانگین (۲۰ و ۷۰ و ۵۷ درصد) قرار داشتند و در این شهرستان‌ها طبقه خشکسالی شدید قرار نداشت (شکل ۵). در شهرستان بندرترکمن فقط دو طبقه خشکسالی ملایم و بدون خشکسالی قرار داشت که دو طبقه بدون خشکسالی (۶۷ درصد) با عملکرد بیشتر از میانگین و بدون خشکسالی (۲۸ درصد) با عملکرد کمتر از میانگین غالب اراضی

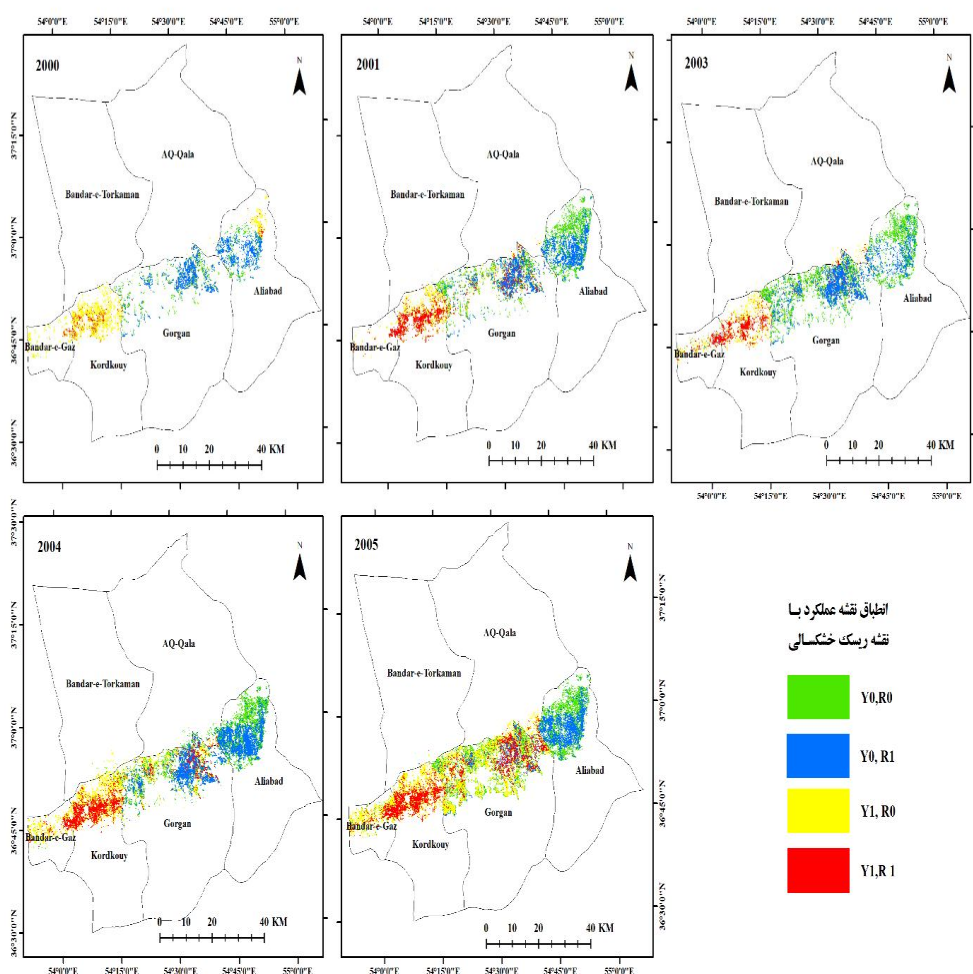
انطباق نقشه عملکرد با نقشه ریسک خشکسالی چهار شرایط مختلف را نشان می‌دهد که با رنگ‌های سبز، آبی، زرد و قرمز توصیف شده است (شکل ۵). در پهنه‌های بدون ریسک خشکسالی با عملکرد کمتر از میانگین، کاهش عملکرد به احتمال زیاد به دلیل عدم مدیریت مناسب جهت حصول عملکرد بالای میانگین بوده است. در پهنه‌های وجود ریسک خشکسالی با عملکرد بیشتر از میانگین بدلیل آبیاری به موقع و مدیریت مناسب در زمان وقوع خشکسالی علی‌رغم وجود ریسک بالای خشکسالی عملکردها بالاتر از میانگین بدست آمده است و همچنین، پهنه‌های وجود ریسک خشکسالی با عملکرد کمتر از میانگین، نشان دهنده اثرات خشکسالی بر کاهش عملکرد می‌باشد. بررسی انطباق نقشه عملکرد با نقشه ریسک خشکسالی در اراضی سویا نشان داد که در شهرستان‌های گرگان و علی‌آبادکتول بیشتر اراضی در طبقه بدون ریسک خشکسالی با عملکرد بیشتر از میانگین و طبقه خشکسالی با عملکرد بیشتر از میانگین بودند.

با توجه به این‌که بیشترین سطح کشت سویا و بیشترین سابقه کاشت در استان گلستان به دو شهرستان گرگان و علی‌آبادکتول مربوط می‌شود، احتمالاً یکی از دلایل بالاتر بودن عملکرد در این مناطق تجربه مدیریتی بهتر کشاورزان این مناطق نسبت به کاشت گیاه سویا بوده بطوریکه در شرایط وقوع خشکسالی با اعمال آبیاری به موقع و مدیریت مطلوب عملکرد بالاتری را بدست می‌آورند (شکل ۵). طبقه بدون خشکسالی با عملکرد کمتر از میانگین، بیشتر در شهرستان بندرگز مشاهده شد که این عملکرد کمتر بدلیل وجود شرایط غرقابی در اراضی زراعی این شهرستان می‌باشد. در شهرستان کردکوی

جزء دو طبقه غالب شهرستان قرار دارد (شکل ۵). همچنین، اکثر اراضی سویا در شهرستان‌های علی‌آبادکتول، بندرترکمن و گرگان دارای عملکرد بالاتر از میانگین بوده و غالب اراضی سویا در شهرستان‌های آق‌قلا، بندرگز و کردکوی عملکرد کمتر از میانگین داشتند. با توجه به این‌که سویا گیاهی است که در استان گلستان به عنوان کشت تابستانه در الگوهای کشت قرار می‌گیرد، به حداقل چهار مرتبه آبیاری برای رسیدن به عملکرد پتانسیل نیاز دارد (۱۷). از آنجاییکه، سویا تحمل متوسطی به کمبود آب دارد اما در طول شکل‌گیری عملکرد (گلدهی و پرشدن دانه) به کمبود آب حساس است (۲۴). تنش خشکی در مراحل زایشی به علت کاهش فتوسنتز و سرعت جذب نیتروژن (به دلیل کاهش تثبیت بیولوژیک نیتروژن و کاهش نیتروژن معدنی خاک) و نیز به وسیله افزایش انتقال مجدد کربن و نیتروژن از سایر اندام‌ها به دانه سبب کاهش طول دوره زایشی و پیری زودرس برگ‌ها شده و عملکرد کاهش پیدا می‌کند (۳۲). حداکثر مقدار مصرف آب توسط سویا ۰/۷۶ سانتی‌متر در روز است که در مرحله R2 تا R3 رخ می‌دهد. مهم‌ترین مراحل برای آبیاری مرحله افزایش طول غلاف (R3 تا R4) و پرشدن دانه (R5 تا R6) می‌باشد. مطالعات نشان داده که آبیاری قبل از مرحله گلدهی سود کمی داشته و آبیاری فقط باید در حدی باشد که گیاه رشد کافی جهت ورود به مرحله زایشی را داشته باشد (۱۱). بنابراین با وقوع خشکسالی نیاز به آب آبیاری نسبت به سایر سال‌ها نیز افزایش می‌یابد و این در حالی است که دسترسی همه کشاورزان به این مقدار آب چندان مقدور نیست و در نتیجه با وقوع خشکسالی احتمال عملکرد پایین‌تر از میانگین بیشتر می‌گردد.

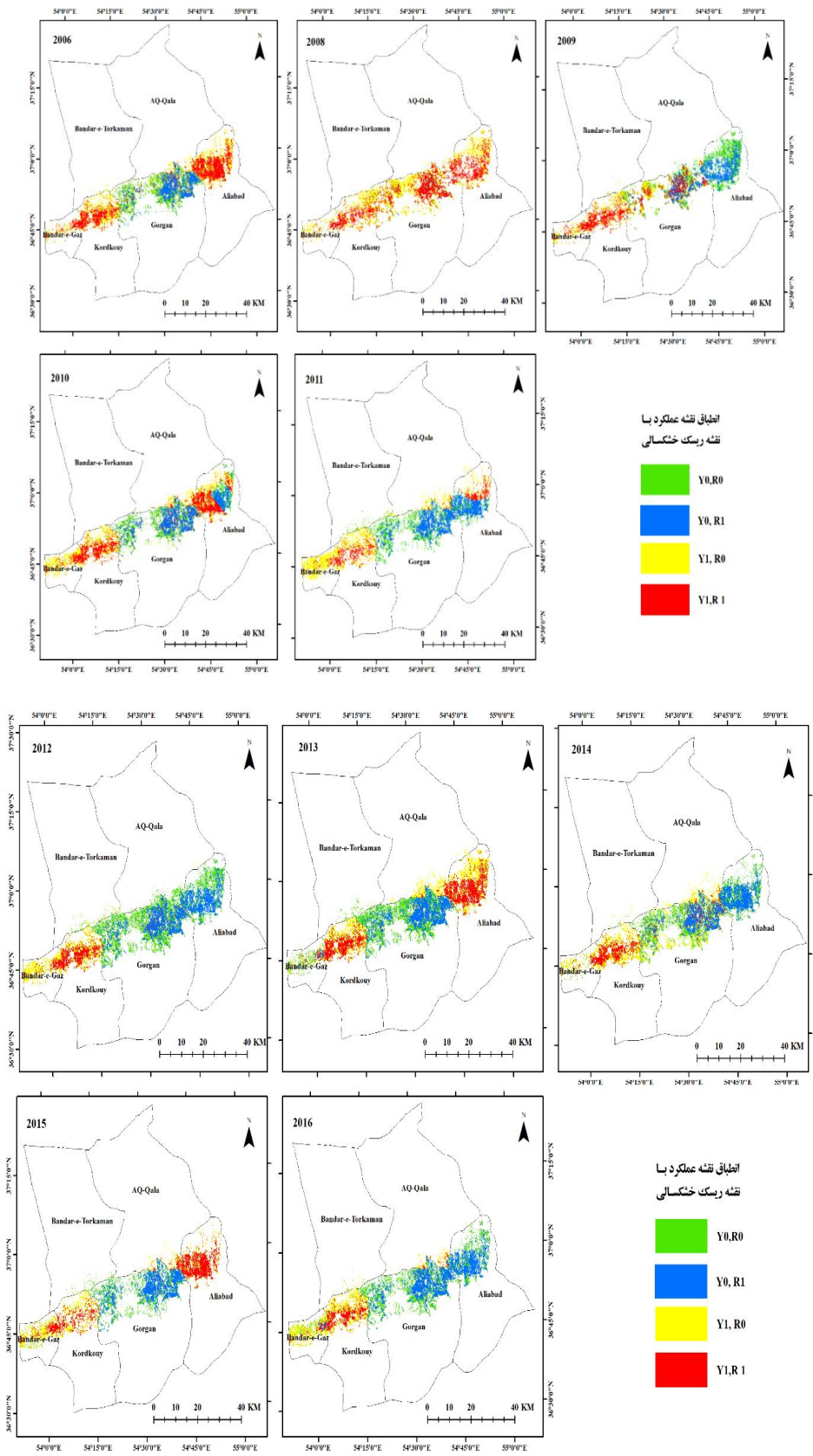
رسیدن به عملکرد مناسب حیاتی می‌باشد. لذا باید به کشاورزان این منطقه آموزش‌های لازم جهت مدیریت مصرف آب سویا توسط کارشناسان جهاد کشاورزی داده‌شود. همچنین می‌توان از نتایج اجرای طرح‌های تحقیقاتی در مورد مدیریت مصرف آب برای توصیه‌های کاربردی به کشاورزان استفاده کرد.

غالباً طبقه خشکسالی با عملکرد کمتر از میانگین مشاهده شد که نشان می‌دهد در این شهرستان ریسک کاهش عملکرد سویا در شرایط وقوع خشکسالی نسبت به شهرستان‌های دیگر بیشتر است. در این شهرستان نقش مدیریت منابع آب پررنگ‌تر و رعایت مصرف آب در زمان‌های حساس رشد سویا برای



شکل ۵- انطباق نقشه عملکرد سویا با نقشه ریسک خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ در غرب استان گلستان (Y0, R0): بدون خشکسالی با عملکرد بیشتر از میانگین؛ Y1, R0): بدون خشکسالی با عملکرد کمتر از میانگین؛ Y0, R1): خشکسالی با عملکرد بیشتر از میانگین و Y1, R1): خشکسالی با عملکرد کمتر از میانگین)

Figure 5- Intersecting of soybean yield map with drought risk map during 2000-2016 in the west of Golestan province (Y0, R0: No drought with the yield more than mean; Y1, R0: No drought with the yield less than mean; Y0, R1: Drought with the yield more than mean; Y1, R1: Drought with the yield less than mean)



ادامه شکل ۵-

پیش‌بینی است. همسو بودن نقشه‌های عملکرد سویا با نقشه پتانسیل ریسک خشکسالی بیانگر پهنه‌هایی است که از لحاظ ریسک خشکسالی خطرپذیرتر بوده و احتمال کاهش عملکرد در رویارویی با خشکسالی در آن‌ها بیشتر می‌باشد. براساس نتایج این مطالعه برای سویا شهرستان‌های بندرترکمن، گرگان و قسمت مرکزی و جنوبی علی‌آباد کتول، مناطقی هستند که به صورت بالقوه با ریسک خشکسالی کم‌تری روبرو بوده و با فرض اینکه در آینده آب کافی برای آبیاری در دسترس نباشد، شرایط باثبات‌تری را برای تولید سویا خواهند داشت. نتایج نشان داد که نقشه انطباق عملکرد و ریسک می‌تواند به عنوان یک لایه پیش‌آگاهی جهت ارایه راهبردهایی با هدف مدیریت ریسک خشکسالی و مقابله با اثرات خشکسالی بر عملکرد مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. Aboelghar, M., Arafat, S., Yousef, M.A., El-Shirbeny, M., Naem, S., Massoud, A., and Saleh, N. 2011. Using SPOT data and leaf area index for rice yield estimation in Egyptian Nile delta. Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci. 14: 81-89.
2. Alizadeh, P. 2018. Monitoring possibility of agricultural drought and related effects on the wheat and soybean cultivation area using meteo-based and spectralsatellite-based indices (a case study: Golestan province). Thesis submitted for the degree of PhD in Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
3. Behrens, T., Müller, J., and Diepenbrock, W. 2006. Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) during ontogenesis. Eur. J. Agron. 25: 345-355.
4. Benedetti, R., and Rossini, P. 1993. On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. Remote Sens. Environ. 45: 311-326.
5. Bhattacharya, B.K., Mallick, K., Nigam, R., Dakore, K., and Shekh, A. 2011. Efficiency based wheat yield prediction

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که زمان اوج سبزیگی گیاه سویا حدوداً یک ماه قبل از رسیدگی است و در این تحقیق از روابط بین شاخص هواشناسی (SPI) و ماهواره‌ای (VCI، NDVI و DSI) با عملکردهای واقعی گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان در این محدوده زمانی برای پیش‌بینی عملکرد استفاده شد و همچنین با توجه به نتایج ارزیابی نقشه‌های عملکرد پیش‌بینی شده که حاکی از دقت قابل قبول این روابط می‌باشد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و فناوری سنجش از دور و با اختیار داشتن اطلاعات بارش در طی فصل رشد گیاه و تصاویر ماهواره‌ای در مرحله اوج سبزیگی سویا، عملکرد در سطح وسیع با دقت مناسب قابل

- in a semi-arid climate using surface energy budgeting with satellite observations. Agric. For. Meteorol. 151: 1394-1408.
6. Carrao, H., Naumann, G., and Barbosa, P. 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. Glob. Environ. Chang. 39: 108-124.
 7. Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., and Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 23: 245-253.
 8. El Nahry, A., Ali, R., and El Baroudy, A. 2011. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. Agric. Water Manag. 98: 517-531.
 9. Gonfa, L. 1996. Climate Classification of Ethiopia, In: Meteorological Research Report Series. 3: 1-8.
 10. Hayes, M., and Decker, W. 1996. Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States Corn Belt. Remote Sens. 17: 3189-3200.
 11. Heatherly, L.G., and Elmore, R.W. 2004. Managing inputs for peak production. Soybeans Improv. Prod. uses.

- Madison Agron. Monogr. 16: 451-536.
12. Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M., and Champagne, C. 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 34: 235-248.
 13. Li, Y., Zhou, Q., Zhou, J., Zhang, G., Chen, C., and Wang, J. 2014. Assimilating remote sensing information into a coupled hydrology-crop growth model to estimate regional maize yield in arid regions. *Ecol. Modell.* 291: 15-27.
 14. Ministry of Agriculture Jihad. 2018. <http://www.maj.ir/> (In Persian)
 15. Mkhabela, M., Bullock, P., Raj, S., Wang, S., and Yang, Y. 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agric. For. Meteorol.* 151: 385-393.
 16. Mohammadi ahmad mahmoudi, E., kamkar, B., and abdi, O. 2015. Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield predication in some of growing stages. (A case study: Nemooneh filed, Golestan province). *J. Crop. Prod.* 8: 2. 51-76. (In Persian)
 17. Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Hoseini, F., Shahhoseini, A., and Mehmandoei, M. 2017. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Yield Gap Analysis using Boundary Line Method in Gorgan and Aliabad Katul. *J. Agro.* 9: 3. 760-776. (In Persian)
 18. Prasad, A.K., Chai, L., Singh, R.P., and Kafatos, M. 2006. Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *Int. J. Appl. Earth. Obs. Geoinf.* 8: 26-33.
 19. Ren, J., Chen, Z., Zhou, Q., and Tang, H. 2008. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. *Int. J. Appl. Earth. Obs. Geoinf.*, 10: 403-413.
 20. Shen, S., Yang, S., Li, B., Tan, B., Li, Z., and Le Toan, T. 2009. A scheme for regional rice yield estimation using ENVISAT ASAR data. *Sci. China Ser. D Earth Sci.* 52: 1183-1194.
 21. Shi, H., and Xingguo, M. 2011. Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Ecol. Modell.*, 222: 2530-2541.
 22. Skakun, S., Kussul, N., Shelestov, A., and Kussul, O. 2016. The use of satellite data for Agriculture drought risk quantification in Ukraine. *Geomatics, Nat. Hazards Risk.* 7: 901-917.
 23. Son, N., Chen, C., Chen, C., Minh, V., and Trung, N. 2014. A comparative analysis of multitemporal MODIS EVI and NDVI data for large-scale rice yield estimation. *Agric. For. Meteorol.* 197: 52-64.
 24. Torrion, J., Setiyono, T.D., Cassman, K., and Specht, J. 2011. Soybean phenology simulation in the north-central United States. *Agron. J.* 103: 1661-1667.
 25. Valverde-Arias, O., Garrido, A., Valencia, J.L., and Tarquis, A.M. 2018. Using geographical information system to generate a drought risk map for rice cultivation: Case study in Babahoyo canton (Ecuador). *Biosyst. Eng.* 168: 26-41.
 26. Walker, G. 1989. Model for operational forecasting of western Canada wheat yield. *Agric. For. Meteorol.* 44: 339-351.
 27. Wang, T. 2016. Vegetation NDVI Change and Its Relationship with Climate Change and Human Activities in Yulin, Shaanxi Province of China. *J. Geosci. Environ. Prot.* 4: 28-40.
 28. Wiegand, C. 1984. The value of direct observations of crop canopies for indicating growing conditions and yield, International Symposium on Remote Sensing of Environment, 18 th, Paris, France, Proceedings.
 29. Wiegand, C., and Richardson, A. 1990. Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield: II. Results. *Agron. J.* 82: 630-636.
 30. Wilhite, D.A., 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. Routledge Publishers: London, U.K. pp: 3-18.
 31. Wilhite, D.A., Sivakumar, M.V., and Pulwarty, R. 2014. Managing drought risk in a changing climate: the role of national drought policy. *Weather Clim. Extrem.* 3: 4-13.
 32. Wingeyer, A.B., Echeverría, H., and Rozas, H.S. 2014. Growth and yield of irrigated and rainfed soybean with late nitrogen fertilization. *Agron. J.* 106: 567-576.