

ارزیابی کمی ریسک خشکسالی کشاورزی در چند نمونه اقلیمی کشور

سید علیرضا آقایان^{۱*}، غلامعلی کمالی^۲، سهراب حجّام^۳

۱- هواشناسی کشاورزی، کارشناس ارشد، هواشناسی استان سمنان

۲ و ۳- دانشیار، گروه هواشناسی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ وصول مقاله: ۹۴/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۰۶/۰۷

چکیده

خشکسالی پدیده آرام و خسارات زای طبیعت می‌باشد که تمام اقلیم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پدیده خسارتهای فراوانی را بویژه در سالهای اخیر به بخش کشاورزی کشور وارد آورده است و این امر وجود یک سیستم پیش‌آگاهی و برآورد میزان ریسک ناشی از خشکسالی کشاورزی را بیش از پیش لازم می‌سازد. هدف این مطالعه کمی کردن ریسک خشکسالی کشاورزی و مقایسه آن بر اساس نوع محصول و نوع اقلیم می‌باشد. جهت دستیابی به این مهم از مفهوم کمی ریسک که عبارت است از حاصلضرب میزان بلیه در آسیب پذیری استفاده گردیده است. بنابراین در این مطالعه به مقوله ریسک با توجه به هر دو مؤلفه آن یعنی بلیه و آسیب پذیری نگریسته شده است. با توجه به اینکه تأثیر خشکسالی کشاورزی بر اراضی دیم برخلاف اراضی فاریاب، بطور مستقیم می‌باشد، ۱۴ منطقه دیم خیز که در گستره کشورمان قرار دارند به عنوان مناطق مطالعاتی انتخاب شدند و اطلاعات هواشناسی این مناطق با پایه آماری ۳۰ ساله استخراج گردید. همچنین گندم و جو که از محصولات استراتژیک می‌باشند به عنوان محصولات مورد مطالعه انتخاب شدند. پس از محاسبه ریسک خشکسالی گندم و جو بر اساس مفهوم کمی ریسک برای ۱۴ منطقه مورد مطالعاتی، مقدار ریسک به لحاظ نوع محصول و درجه خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند اول اینکه به جز گرگان، در بقیه مناطق میزان ریسک خشکسالی گندم از ریسک خشکسالی جو بیشتر می‌باشد. به عبارتی دیگر خطر خشکسالی بر روی جو کمتر از گندم می‌باشد. در مورد گرگان این امر ناشی از رطوبت بسیار بالای این منطقه می‌باشد و دوم اینکه مقایسه ریسک خشکسالی با درجه خشکی مناطق نشان داد که ریسک خشکسالی کشاورزی در مناطق خشک بیشتر از ریسک خشکسالی کشاورزی در مناطق مرطوب می‌باشد.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، بلیه، تبخیر و تعرق، ریسک، عملکرد نسبی.

مقدمه

با توجه به قرار گرفتن ایران در کمربند خشک و نیمه خشک کره زمین، احتمال بروز خشکسالی‌های شدید و گسترده در کشور بسیار است. در اغلب سال‌ها خشکسالی آسیب‌های جبران ناپذیری بر اقتصاد مناطق مختلف کشور به‌ویژه بخش کشاورزی تحمیل می‌نماید.

امکان جلوگیری از وقوع خشکسالی وجود ندارد، ولی برای مقابله و کاهش اثرات آن می‌توان اقداماتی را انجام داد. به عبارت دیگر با برنامه ریزی صحیح و اصولی می‌توان با آن مقابله کرد. در این راستا پایش مؤثر و به هنگام خشکسالی و توسعه یک سامانه هشدار و پیش آگاهی و ارزیابی ریسک خشکسالی می‌تواند ابزار مفیدی باشد تا آمادگی را در برابر این پدیده خزننده طبیعت بیش از پیش فراهم آورد.

در زمینه مدیریت خشکسالی به طور کلی دو رویکرد مدیریت بحران و مدیریت ریسک وجود دارد. در بحث مدیریت بحران خشکسالی، اقدامات پس از وقوع خشکسالی و بحران‌های حاصل از آن در راستای تشخیص نواحی بحران زده و امداد رسانی به آن نواحی است که بسیار پر هزینه و نابهنگام می‌باشد. اما در مدیریت ریسک خشکسالی (مدیریت کم هزینه و به هنگام، اما مشکل در اجرایی کردن) آمادگی مقابله با آن قبل از وقوع و گسترش آن مدنظر قرار می‌گیرد، به طوریکه با آگاهی از شرایط فعلی تصمیمات لازم از قبل طراحی شده و برای مقابله با بحران‌های حاصل از آن اعمال می‌شود. به عنوان نمونه، اطلاع از وقوع مخاطرات اقلیمی ممکن و میزان ریسک ناشی از آنها می‌تواند کشاورزان را در راستای تغییر مدیریت مزارع (کم آبیاری، تغییر الگوی کشت، حذف گیاهان پر مصرف و ...) قبل از بروز گستره خشکسالی یاری نماید. علاوه بر این، سازمان‌های ذیربط نیز با آگاهی از میزان ریسک خشکسالی و شناسایی مناطق محصلولانی که بیشتر در معرض خطر خشکسالی هستند، می‌توانند راهکارهای لازم را در امر تخصیص آب، نهاده و بسته‌های حمایتی (بویژه توسط صندوق بیمه کشاورزی) اتخاذ نمایند بطوریکه در زمان وقوع بحران حداقل خسارت به بخش‌های آسیب‌پذیر وارد آید.

ارزیابی ریسک خشکسالی عبارت از فرآیند تشخیص و درک مؤلفه‌های وابسته به ریسک خشکسالی و همچنین

ارزیابی استراتژی‌های متناوب برای مدیریت ریسک است (Knutson, 1998). اگر چه تعاریف متعددی برای ریسک ارائه شده است ولی به نظر می‌رسد که تعریف ارائه شده توسط Knutson و تایید شده بوسیله Dowling (۱۹۹۹)، ویلهایت (۲۰۰۰) و Tsakiri (۲۰۰۶) منظور تحقیق را برآورده می‌کند. از دیدگاه این محققان، ریسک عبارت از "حاصل ضرب وقوع خطر در آسیب پذیری" است. در این تعریف، واژه خطر معرف احتمال وقوع یا فراوانی پدیده موردنظر است و آسیب پذیری نیز در مفهوم وسیع، به عنوان درجه‌ای از آسیب بیوفیزیکی یا اجتماعی در منطقه وقوع خطر تعریف شده است. مطالعه حاضر، صرفاً به ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی پرداخته است و برای دستیابی به این هدف میزان ریسک خشکسالی کمی گردید.

مواد و روش‌ها

توجه عمده مدل‌های ریسک خشکسالی کشاورزی بر ارزیابی خطر خشکسالی است. عباسپور (۱۹۹۴) با ارزیابی ریسک خشکسالی، سیاست‌های بیمه محصولات زراعی را تشریح نمود. بنای روش پیشنهادی بر اعمال پارامتر عدم قطعیت در متغیرهای ورودی یک مدل قطعی عملکرد محصول نهاده شده است و هدف از مطالعه بررسی میزان تخصیص بیمه محصولات کشاورزی در مناطق مختلف تحت تاثیر خشکسالی می‌باشد.

Nullet & Giambelluce (۱۹۹۸) روشی برای آنالیز ریسک خشکسالی کشاورزی در مجمع الجزایر اقیانوس آرام ارائه نمودند. در این مطالعه، خشکسالی به عنوان تعداد روزهای متوالی یا نسبت تبخیر-تعرق واقعی به تبخیر-تعرق بالقوه کمتر از یک آستانه مفروض تعریف شد.

Zhang (۲۰۰۴) با مشخص کردن پنج پارامتر فراوانی زمانی خشکسالی، فراوانی مکانی شدت خشکسالی، فراوانی شدت خشکسالی، شدت متوالی خشکسالی و سطح عملکرد منطقه ای ذرت، ریسک خشکسالی را در مناطق بحران زده ناشی از خشکسالی مورد بررسی قرار داد.

در تحقیق دیگری Wu (۲۰۰۴) یک مدل عملیاتی به منظور ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی در ایالت نبراسکا آمریکا ارائه دادند. این روش علی‌رغم تأکید بر ریسک، توجه

کمتری به بحث ریسک با مفاهیم آماری آن دارد. اجرای این مدل نیازمند ارزیابی دو معیار زیر است:

- میزان رطوبت خاک موجود بوسیله شاخص‌های رایج خشکسالی هواشناسی
- ارزیابی ریسک خشکسالی بوسیله بررسی عملکرد محصول دیم

ارشد (۱۳۸۶) یک مدل برای ریسک خشکسالی در استان کرمانشاه با استفاده از روش‌های آماری و هوشمند توسعه داد که به طور خاص برای گندم دیم بوده و قادر می‌باشد آسیب ناشی از خشکسالی را در مراحل فنولوژیک بحرانی رشد گیاه برآورد نماید.

بهبهانی و همکاران (۱۳۸۷) مدیریت ریسک خشکسالی را برای گندم دیم استان همدان مورد ارزیابی قرار دادند. برای کمی کردن خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده کردند تا از این طریق زمان، مکان و وسعت مناطقی که مستعد خطر خشکسالی می‌باشند تعیین کنند. آنها میزان ریسک را با توجه به دوره بازگشت خشکسالی کمی کردند.

بذرافشان (۱۳۸۸) میزان ریسک خشکسالی کشاورزی برای ایستگاه سرارود کرمانشاه را مورد ارزیابی قرار داد. وی در این مطالعه با استفاده از مدل LARS-WG و Clim Gen، داده‌های هواشناسی و مدل CERES^۱، عملکرد محصول را جهت تطویل آمار شبیه‌سازی نمود. با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۲، شاخص خشکسالی پالم (PDSI) و شاخص Z خشکسالی را در منطقه مورد بررسی قرار داد. سپس با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و داده‌های عملکرد میزان ریسک را محاسبه کرد.

در این قسمت ابتدا پس از مشخص کردن مناطق و محصولات مورد مطالعه، معیارهای قضاوت آماری بکار رفته معرفی می‌گردد و در پایان ضمن تشریح مولفه‌های ریسک، روش بکار گرفته شده در این مطالعه برای کمی کردن ریسک خشکسالی کشاورزی بیان می‌گردد.

انتخاب مناطق و آماده سازی داده‌های مورد نیاز

در انتخاب نوع کشت ابتدا باید در نظر داشت که با توجه به اینکه در دوره‌های خشکسالی، کمبود رطوبت خاک اراضی فاریاب به کمک آبیاری و به ویژه بهره‌برداری گسترده از منابع آب زیر زمینی یا کم کردن سطح زیر کشت جبران می‌شود، بنابراین برای اهداف این تحقیق اراضی دیم مد نظر قرار گرفته است.

بهدارافشان (۱۳۸۸) میزان ریسک خشکسالی کشاورزی را برای ایستگاه سرارود کرمانشاه را مورد ارزیابی قرار داد. وی در این مطالعه با استفاده از مدل LARS-WG و Clim Gen، داده‌های هواشناسی و مدل CERES^۱، عملکرد محصول را جهت تطویل آمار شبیه‌سازی نمود. با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۲، شاخص خشکسالی پالم (PDSI) و شاخص Z خشکسالی را در منطقه مورد بررسی قرار داد. سپس با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و داده‌های عملکرد میزان ریسک را محاسبه کرد.

• میزان رطوبت خاک موجود بوسیله شاخص‌های رایج خشکسالی هواشناسی

• ارزیابی ریسک خشکسالی بوسیله بررسی عملکرد محصول دیم

ارشد (۱۳۸۶) یک مدل برای ریسک خشکسالی در استان کرمانشاه با استفاده از روش‌های آماری و هوشمند توسعه داد که به طور خاص برای گندم دیم بوده و قادر می‌باشد آسیب ناشی از خشکسالی را در مراحل فنولوژیک بحرانی رشد گیاه برآورد نماید.

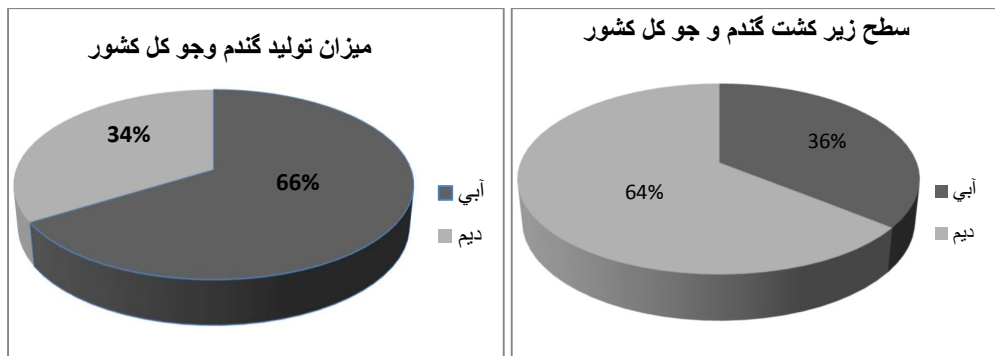
بهبهانی و همکاران (۱۳۸۷) مدیریت ریسک خشکسالی را برای گندم دیم استان همدان مورد ارزیابی قرار دادند. برای کمی کردن خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده کردند تا از این طریق زمان، مکان و وسعت مناطقی که مستعد خطر خشکسالی می‌باشند تعیین کنند. آنها میزان ریسک را با توجه به دوره بازگشت خشکسالی کمی کردند.

بذرافشان (۱۳۸۸) میزان ریسک خشکسالی کشاورزی برای ایستگاه سرارود کرمانشاه را مورد ارزیابی قرار داد. وی در این مطالعه با استفاده از مدل LARS-WG و Clim Gen، داده‌های هواشناسی و مدل CERES^۱، عملکرد محصول را جهت تطویل آمار شبیه‌سازی نمود. با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)^۲، شاخص خشکسالی پالم (PDSI) و شاخص Z خشکسالی را در منطقه مورد بررسی قرار داد. سپس با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و داده‌های عملکرد میزان ریسک را محاسبه کرد.

Tsakiris (۲۰۰۷) میزان ریسک خشکسالی کشاورزی را در مناطق شرقی اروپا با توجه به تعریف کمی ریسک (بله)* آسیب پذیری = ریسک) برای دو محصول انگور و زیتون (دیم و آبی) محاسبه نمود. ابتدا با استفاده از شاخص SPI، شدت خشکسالی برای دوره آماری محاسبه گردید و با توجه به احتمال رخداد هر یک از طبقه‌های شدت خشکسالی و متوسط کاهش عملکرد متناظر با آن طبقه، بله (Hazard) را

که سطح زیر کشت گندم و جو دیم کل کشور تقریباً دو برابر نوع آبی آن است، میزان تولید در شرایط دیم در حدود نصف آبی می‌باشد. لذا توجه به مسایل دیمزارهای کشور خصوصاً در شرایط خشکسالی بیشتر احساس می‌شود.

با توجه به اینکه گندم و جو هم خانواده و از محصولات استراتژیک کشور می‌باشند و در عین حال به لحاظ رفتار در مقابل تنش آبی متفاوت می‌باشند از این دو محصول جهت این مطالعه استفاده شده است. بر اساس نمودار (۱) در حالی



نمودار ۱- سطح زیر کشت و تولید گندم و جو کل کشور در شرایط دیم و آبی (براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی)

استفاده شده است که در ذیل نحوه محاسبه این روابط آورده شده است.

ضریب همبستگی (r)

ضریب همبستگی کمی است که شدت و درجه همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقادیر ضریب همبستگی همیشه بین +۱ و -۱ واقع می‌شود

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

ضریب تبیین (R²)

معیار R² به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

در رابطه بالا:

S_i: مقدار پارامتر شبیه‌سازی شده (i=1,2,...,n)

O_i: مقدار پارامتر مشاهده شده (i=1,2,...,n)

\bar{O} : میانگین پارامترهای مشاهداتی

این معیار بیان کننده بخشی از واریانس اندازه‌گیری شده متغیر می‌باشد که توسط مدل توجیه شده است. ضریب R² هر رابطه خطی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (O_i = a + b S_i) را مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

نظر به متفاوت بودن آسیب‌پذیری و شدت آسیب خشکسالی در اقلیم‌های مختلف، در این مطالعه سعی شده است ریسک خشکسالی کشاورزی در گستره اقلیمی کشور مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی حداقل یک دوره ۳۰ ساله توصیه می‌شود لذا می‌بایست مناطقی انتخاب شود که ضمن دارا بودن آمار هواشناسی ۳۰ ساله، در آنها کشت دیم گندم و جو صورت گیرد. با توجه به این شرایط نهایتاً ۱۴ منطقه مشخص گردید که مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی این مناطق در جدول (۱) نشان داده شده است. برای محاسبه ریسک خشکسالی کشاورزی در مناطق مورد مطالعه، آمار روزانه ۵ پارامتر هواشناسی (شامل حداقل و حداکثر دما، میزان بارندگی، متوسط رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد) برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۰) مورد نیاز می‌باشد که پس از استخراج از منابع اطلاعاتی مورد بررسی و پیش پردازش قرار گرفت.

معیارهای قضاوت آماری

جهت ارزیابی روابط بین متغیرهای مورد استفاده در این مطالعه، از چهار شاخص آماری ضریب همبستگی، ضریب تبیین، ریشه میانگین مربع خطاها و شاخص توافق می‌باشند

RSME یک اندازه‌گیری ساده جهت تعیین میزان خطا می‌باشد به عبارت دیگر این معیار بیان‌کننده انحراف مقادیر شبیه‌سازی از مشاهده شده می‌باشد.

ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE)

این معیار به صورت زیر می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}}$$

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

| ردیف | ایستگاه هواشناسی | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع | متوسط دما | متوسط بارندگی |
|------|------------------|---------------|---------------|--------|-----------|---------------|
| ۱ | اهواز | ۳۱,۳۳ | ۴۸,۶۷ | ۲۲,۵ | ۲۵,۹ | ۲۳۵,۳ |
| ۲ | بجنورد | ۳۷,۴۷ | ۵۷,۳۲ | ۱۰۹۱ | ۲۲,۶ | ۲۶۲,۸ |
| ۳ | بوشهر | ۲۸,۹۸ | ۵۸,۸۳ | ۱۹,۶ | ۲۵ | ۲۶۶,۱ |
| ۴ | کرمانشاه | ۳۴,۳۵ | ۴۷,۱۵ | ۱۳۱۸,۶ | ۱۴,۸ | ۴۳۷,۲ |
| ۵ | قزوین | ۳۶,۲۵ | ۵۰,۰۵ | ۱۲۷۹,۲ | ۱۴ | ۳۲۴,۵ |
| ۶ | گرگان | ۳۶,۸۵ | ۵۴,۲۷ | ۱۳,۳ | ۱۷,۸ | ۵۳۷,۴ |
| ۷ | همدان | ۳۴,۸۷ | ۴۸,۸۸ | ۱۷۴۱,۵ | ۱۰,۸ | ۳۱۸,۱ |
| ۸ | مشهد | ۳۶,۲۷ | ۵۹,۶۳ | ۹۹۹,۲ | ۱۵ | ۲۵۸,۸ |
| ۹ | ارومیه | ۳۷,۵۳ | ۴۵,۰۸ | ۱۳۱۵,۹ | ۱۱,۳ | ۳۱۳ |
| ۱۰ | شهرکرد | ۳۲,۲۸ | ۵۰,۰۲ | ۲۰۴۸,۹ | ۱۱,۵ | ۳۳۳,۵ |
| ۱۱ | شیراز | ۲۹,۵۳ | ۵۲,۶ | ۱۴۸۴ | ۱۸,۴ | ۳۳۲,۵ |
| ۱۲ | تبریز | ۳۶,۰۸ | ۴۶,۲۸ | ۱۳۶۱ | ۱۳ | ۲۵۵,۶ |
| ۱۳ | زنجان | ۳۶,۸۶ | ۴۸,۴۸ | ۱۶۶۳ | ۱۰,۹ | ۲۹۲,۱ |
| ۱۴ | خرم‌آباد | ۳۳,۴۳ | ۴۸,۲۸ | ۱۱۴۷,۸ | ۱۶,۵ | ۴۸۴,۹ |

شاخص توافق (d):

شاخص توافق، درجه نزدیکی داده‌های مشاهده‌ای به داده‌های برآورد شده را اندازه می‌گیرد و بین صفر (عدم توافق بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده) و یک (توافق کامل بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده) می‌باشد. این شاخص بدون بعد بوده و تفاوت نسبی را ساده‌تر تفسیر می‌کند و حساسیت کمتری به ماهیت داده‌ها دارد (Quiring, 2003).

$$d = 1 - \frac{1 - \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

که در آن

= مقدار پارامتر مشاهده شده O_i

= مقدار پارامتر شبیه‌سازی شده P_i

\bar{O} = میانگین پارامترهای مشاهده شده

کمی کردن ریسک خشکسالی کشاورزی

در این تحقیق برای کمی کردن ریسک خشکسالی کشاورزی از مفهوم ریاضی آن که حاصل ضرب بلیه در آسیب‌پذیری است استفاده می‌شود. بنابراین برای کمی کردن ریسک ابتدا می‌بایست مؤلفه‌های آن یعنی بلیه و آسیب‌پذیری کمی گردند.

حد متوسط است در حالی که اعداد منفی بیانگر کمتر از حد میانگین می‌باشد (آسیایی، ۱۳۸۵).

جدول ۲- طبقه بندی شاخص SPI

| طبقه بندی شاخص RDI و SPI | |
|--------------------------|---------------|
| ترسالی بسیار شدید | ۲ و بیشتر |
| خیلی مرطوب | ۱٫۵ تا ۱٫۹۹ |
| ترسالی متوسط | ۱ تا ۱٫۴۹ |
| تقریباً نرمال | ۰٫۹۹ تا -۰٫۹۹ |
| خشکسالی متوسط | -۱ تا -۱٫۴۹ |
| خشکسالی شدید | -۱٫۵ تا -۱٫۹۹ |
| خشکسالی بسیار شدید | -۲ و کمتر |

برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است. روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه، مقدار ابتدایی یا α_0 محاسبه می‌شود (تساکیریس و همکاران ۲۰۰۵):

$$\alpha_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}$$

در این رابطه P و PET به ترتیب بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل در j امین ماه سال i هستند. مقدار i از یک تا N (تعداد سالهایی که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد. چنانچه بارندگی و تبخیر تعرق بصورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این رابطه نخواهد بود.

گام بعدی تعیین RDI نرمال (RDI_n) است که از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_0^{(i)}}{\alpha_0} - 1$$

کمی کردن بلیه

واژه بلیه بوسیله محققان مختلفی تعیین شده است. به عنوان نمونه Whittow (1979) معتقد است که بلیه یک پدیده طبیعی مشاهده شده است که جان و مال انسان‌ها را تهدید می‌کند. همچنین Smith (1986) بلیه را به عنوان پدیده طبیعی یا انسانی در حال وقوع و دارای پتانسیل خسارت تعریف می‌نمایند و به بیان ساده و خلاصه بلیه، پتانسیل تهدید رفاه بشر است. طبق تعریف تساکیریس، عبارت "بلیه" شامل پدیده‌های طبیعی است که این چنین تعریف می‌شود:

منبع احتمالی خسارت

یک موقعیت با امکان ایجاد خسارت

یک رفتار یا شرایطی با امکان ایجاد هدر رفت یا خسارت به زندگی‌ها یا شروع هرگونه ضرر و زیان به سیستم‌های طبیعی، مصنوعی و یا ترکیبی.

بلیه را می‌توان بر اساس احتمال وقوع آن در شدت‌های مختلف کمی کرد بدین جهت از شاخص‌های خشکسالی که برای بیان کمی این پدیده تدوین شده‌اند، بهره گرفته شد تا با استفاده از آنها، اطلاعات لازم درباره احتمال وقوع در شدت‌های مختلف فراهم آید. به منظور ارزیابی خشکسالی با توجه به اطلاعات موجود، کارایی و توانایی شاخص‌ها و همچنین مطالعات گذشته، شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI^T انتخاب گردیدند. این دو شاخص هرچند دارای طبقه بندی یکسان می‌باشند، اما به لحاظ روش مطالعاتی، شاخص SPI از روش تحلیل بارندگی و شاخص RDI از روش بیلان آبی تبعیت می‌کنند.

محاسبه شاخص بارش استاندارد شده برای هر منطقه بر اساس آمار داده‌های بارش در بلندمدت برای یک دوره دلخواه استوار می‌باشد. این آمار بلندمدت به یکی از توزیع‌های احتمالی (گاما) برازش داده شده سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد تا متوسط شاخص بارندگی برای محل و مدت مورد نظر صفر شود. ارقام مثبت شاخص نشانگر بارندگی بیشتر از

با توجه به اینکه اثرات خشکسالی در نهایت بر روی عملکرد محصول خواهد بود بنابراین عملکرد محصول می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی آسیب پذیری محصولات در برابر خشکسالی باشد. اما با توجه به اینکه عوامل دیگری هم همچون آفات و سرمازدگی و ... بر روی عملکرد می‌توانند اثر گذار می‌باشند باید اثر تنش ناشی از خشکسالی منحصراً روی عملکرد مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به اینکه تنش آبی حاصل از کاهش بارندگی، باعث می‌شود تبخیر و تعرق واقعی از تبخیر و تعرق استاندارد کاهش یابد، نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق استاندارد بیانگر میزان تنش آبی می‌باشد، بر اساس این مفاهیم یک رابطه خطی ساده از تابع تولید محصول-آب برای برآورد کاهش عملکرد محصول تحت تنش آبی توسط Doorenbos & Kasam در نشریه ۳۳ آبیاری و زهکشی فائو (1979) معرفی شده است. این تابع به شرح زیر می‌باشد.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right)$$

که در آن Y_a و Y_m به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر و ET_m و ET_a نیز تبخیر و تعرق واقعی و حداکثر می‌باشند در رابطه فوق الذکر K_y اثر فرآیندهای پیچیده‌ای را در مجموع به صورت یک ضریب بین کاهش نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر و تعرق بیان می‌کند. برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی که یکی از اطلاعات این رابطه است از مدل WOFOST نسخه ۷ استفاده شد.

کمی کردن ریسک

ریشه لغوی ریسک از کلمات ایتالیایی *Riscore* و *Risicare* گرفته شده است. ریسک عنصری از قبیل شانس، مخاطره، پیش‌بینی، خطر و دیگر معانی را در بر می‌گیرد. در مورد ریسک و مفهوم کلی آن نظرات مختلفی بیان شده است که در ادامه به بعضی از این تعاریف اشاره می‌شود: ریسک به مفهوم احتمال انحراف از نیل به هدف مطلوب است. ریسک برآورد پتانسیل پیامدهای منفی یک رویداد یا فعالیت می‌باشد.

که در این رابطه $\bar{\alpha}_0$ میانگین حسابی مقادیر α_0 به هریک از سال‌های دوره آماری می‌باشد.

جهت محاسبه شاخص RDI استاندارد شده (RDI_n) از مقادیر سالانه α_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان y_k بدست خواهد آمد.

$$y_k = Ln(\alpha_0^{(i)})$$

سپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد را محاسبه و به ترتیب \bar{y}_k و $\hat{\sigma}_{yk}$ می‌نماییم، نهایتاً شاخص استاندارد شده RDI در هر سال به کمک رابطه زیر محاسبه خواهد شد.

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\sigma_{yk}}$$

کمی کردن آسیب پذیری

آسیب‌پذیری یا واژه *Vulnerabilit* از ریشه لاتین *Vulnerable* به معنی مجروح شدن یا آسیب دیدن، مشتق شده است. آسیب‌پذیری در مفهوم به عنوان درجه‌ای از آسیب بیوفیزیکی یا اجتماعی در منطقه وقوع خطر تعریف شده است. آسیب‌پذیری به فاکتورهای متنوعی وابسته است که مهمترین آنها عبارتند از:

در معرض قرار گیری E

شرایط سیستم S

شدت پدیده Q_{max}

فاکتور اجتماعی SF

روابط متقابل فاکتورهای درونی I

عبارت ریاضی آسیب‌پذیری V به عنوان تابعی از متغیرهای فوق بیان می‌شود:

$$V = V(E, S, Q_{max}, SF, I)$$

تابع آسیب‌پذیری مقادیری بین صفر تا یک اختیار می‌کند. یک به این معنی است که سیستم کاملاً بدون محافظ می‌باشد، در حالیکه مقادیر نزدیک به صفر مربوط به سیستمی در شرایط محافظتی خوب است.

آسیب‌پذیری محصولات در برابر خشکسالی به عوامل متعددی بستگی دارد که کمی کردن آن را دشوار می‌سازد.

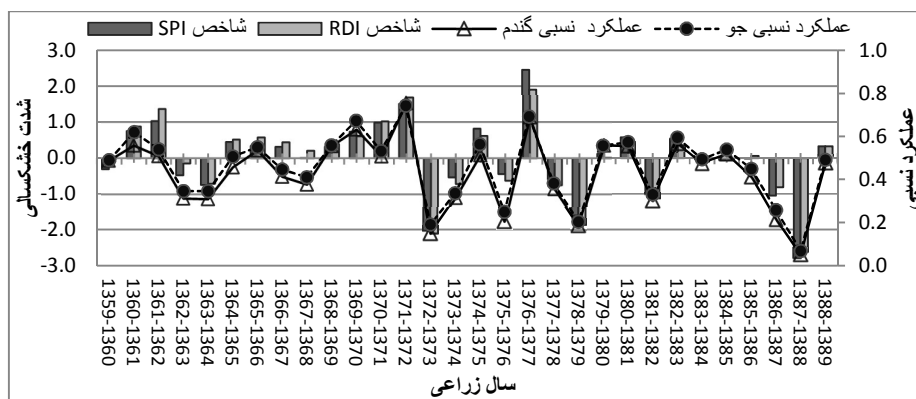
بحث و نتایج

بر اساس روش شناسی این مطالعه، پس از آماده‌سازی داده‌ها و محاسبه شاخص‌های خشکسالی و عملکرد نسبی و بر اساس مدلی که برای محاسبه ریسک خشکسالی در نظر گرفته شد ریسک خشکسالی گندم و جو برای مناطق مورد مطالعه کمی گردید که نحوه محاسبه و نتایج آنها به تفکیک مناطق مورد مطالعه، نوع محصول و درجه خشکی مناطق در ادامه ذکر گردیده است.

۱- نتایج ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی به تفکیک مناطق مورد مطالعه

با توجه به تعدد مناطق مورد مطالعه نحوه ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی برای اهواز بطور نمونه تشریح و نتایج سایر مناطق هم مورد بحث و بررسی قرار می‌گردد.

به منظور محاسبه ریسک خشکسالی کشاورزی در ابتدا عملکرد نسبی محصول گندم و جو و شاخص‌های خشکسالی SPI و RDI محاسبه گردید که نتایج آن در مورد اهواز مطابق نمودار (۲) نشان داده شده است



نمودار ۲- تغییرات شاخص SPI، RDI و عملکرد نسبی گندم و جو اهواز در طی دوره آماری

| نام محصول | نام شاخص | r | R2 | RMSE | d |
|-----------|----------|------|------|------|-------|
| گندم | SPI | ۰٫۸۹ | ۰٫۷۹ | ۰٫۰۷ | ۰٫۹۵۲ |
| | RDI | ۰٫۸۸ | ۰٫۷۷ | ۰٫۰۸ | ۰٫۹۵۱ |
| جو | SPI | ۰٫۹۰ | ۰٫۸۱ | ۰٫۰۷ | ۰٫۹۵۹ |
| | RDI | ۰٫۸۹ | ۰٫۸۰ | ۰٫۰۷ | ۰٫۹۵۶ |

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و RDI با عملکرد نسبی گندم به ترتیب

ریسک امکان برآورده نشدن انتظارات مثبت یک سیستم هدفمند است.

ریسک انحراف یک پیامد مطلوب از مسیر مورد انتظار است. ریسک همانند بلیه است اما برخلاف بلیه یک احتمال نیست بلکه یک تهدید واقعی می‌باشد. معمولاً ریسک (R) به عنوان یک تابع وابسته به بلیه (H) و آسیب‌پذیری بیان می‌شود.

$$\{R\} = \{H\} \times \{V\}$$

علامت (×) یک تابع پیچیده است که به هم پیوستگی و برهم کنش بلیه و آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. مثال ساده چنین تابعی ضرب بلیه در آسیب‌پذیری است.

$$\{R\} = \{H\} \times \{V\}$$

در این مطالعه ریسک به مفهوم انحراف از نیل به هدف مطلوب در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه در کشاورزی حرکت به سوی پتانسیل تولید و دستیابی به آن هدف مطلوب و مورد نظر می‌باشد. بنابراین مفهوم ریسک خشکسالی کشاورزی در این مطالعه بیانگر میزان انحراف از عملکرد پتانسیل است که در اثر خشکسالی کشاورزی بوجود آمده است.

برای محاسبه میزان بلیه و آسیب‌پذیری در شدت‌های مختلف خشکسالی ابتدا می‌بایست مشخص شود که کدام شاخص از شاخص با عملکرد نسبی محصول رابطه بهتری دارد. بدین منظور رابطه بین عملکرد نسبی محصولات و شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۳) درج گردیده است.

جدول ۳- آنالیز همبستگی بین عملکرد نسبی محصولات و شاخص‌های خشکسالی در اهواز

می‌گردد که مقادیر حاصل شده معرف بلیه می‌باشند. سپس با استفاده از روابط بین شاخص خشکسالی و عملکرد نسبی گندم و جو که در بالا حاصل شد، برای هر طبقه از خشکسالی میزان آسیب پذیری آن محصول در برابر آن شدت خشکسالی محاسبه می‌گردد.

به طور نمونه در شدت خشکسالی ملایم با $SPI = -0.5$ عملکرد نسبی محصول گندم و جو به ترتیب ۰,۳۷ و ۰,۴ بدست می‌آید که با کسر آن از عملکرد پتانسیل میزان کاهش عملکرد مورد انتظار در این شدت خشکسالی به ترتیب ۶۳ و ۶۰ درصد به دست می‌آید. جداول (۴ و ۵) میزان احتمال رخداد خشکسالی و کاهش عملکرد مورد انتظار گندم و جو را برای هر طبقه از شدت خشکسالی نشان می‌دهد.

۰/۸۹ و ۰/۸۸ و برای محصول جو به ترتیب ۰/۹ و ۰/۸۹ می‌باشد که همه این ضرایب در سطح یک درصد معنی‌دار و بیانگر هبستگی بالای بین شاخص‌ها و عملکرد نسبی محصولات می‌باشند. با توجه به اینکه در رابطه بین شاخص‌های خشکسالی و عملکرد محصولات، شاخص SPI با اختلاف اندکی نسبت به شاخص RDI ، دارای $RMSE$ کمتر و شاخص توافق (d) بیشتری می‌باشد. بنابراین رابطه بین شاخص SPI با عملکرد نسبی گندم و جو مناسبتر می‌باشد.

حال با توجه به تعیین شاخص مناسب ابتدا براساس فراوانی رخداد خشکسالی هر طبقه و با استفاده از رابطه ویول ($P = \frac{m}{n+1}$) احتمال رخداد خشکسالی برای هر طبقه محاسبه

جدول ۴- احتمال رخداد خشکسالی و آسیب‌پذیری محصول گندم اهواز

| شدت خشکسالی | احتمال رخ داد خشکسالی | کاهش عملکرد مورد انتظار (%) | |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|-------|
| | | ملازم | متوسط |
| ۰ تا -۱ | 0.323 | 63.8 | 74.6 |
| -۱ تا -۱/۵ | 0.032 | 81.8 | 96.6 |
| -۱/۵ تا -۲ | 0.032 | | |
| -۲ و کمتر | 0.065 | | |

جدول ۵- احتمال رخداد خشکسالی و آسیب‌پذیری محصول جو اهواز

| شدت خشکسالی | احتمال رخ داد خشکسالی | کاهش عملکرد مورد انتظار (%) | |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|-------|
| | | ملازم | متوسط |
| ۰ تا -۱ | 0.323 | 61.2 | 71.8 |
| -۱ تا -۱/۵ | 0.032 | 78.9 | 93.4 |
| -۱/۵ تا -۲ | 0.032 | | |
| -۲ و کمتر | 0.065 | | |

با توجه به اطلاعات جدول (۴) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Risk = (0.323 \times 63.8) + (0.032 \times 74.6) + (0.032 \times 81.8) + (0.065 \times 96.6) = 31.9\%$$

همچنین میزان ریسک خشکسالی برای جو با توجه به

اطلاعات جدول (۴) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Risk = (0.323 \times 61.2) + (0.032 \times 71.8) + (0.032 \times 78.9) + (0.065 \times 93.4) = 30.6\%$$

میزان ریسک بدست با توجه تعریفی از ریسک که در این

مطالعه از آن استفاده شده است این مفهوم را می‌رساند

همانطور که از جداول مشاهده می‌شود میزان آسیب پذیری ناشی از خشکسالی در هر طبقه از شدت‌های خشکسالی برای گندم بیشتر از جو می‌باشد که این بیانگر آسیب پذیر تر بودن گندم نسبت به جو در شدت‌های مشابه خشکسالی می‌باشد.

ریسک خشکسالی محصول با حاصل ضرب احتمال رخ داد خشکسالی هر طبقه با کاهش عملکرد مورد انتظار طبقه متناظر آن و جمع مقادیر حاصل شده از همه طبقات برای هر محصول بدست می‌آید. میزان ریسک خشکسالی برای گندم

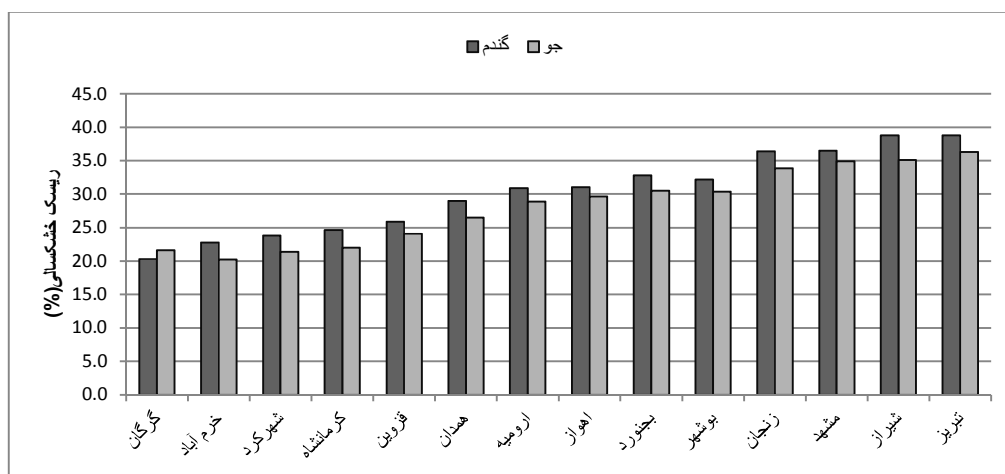
می‌دهند، در این مطالعه به منظور مشخص شدن محصولی که کشت آن در شرایط دیم، ریسک کمتری دارد، ریسک خشکسالی بین گندم و جو محاسبه شده مورد مقایسه قرار گرفت.

باتوجه به نمودار (۲) و مقایسه بین ریسک خشکسالی گندم و جو در مناطق مطالعاتی مشخص گردید که ریسک خشکسالی جو، به جز گرگان در بقیه موارد از گندم کمتر است به عبارتی در این مناطق مقاومت جو در برابر خشکسالی بیشتر از گندم می‌باشد که مورد تأیید سایر منابع و نتایج است. در واقع کمتر بودن ریسک خشکسالی جو نسبت به گندم به علت کمتر بودن آسیب پذیری جو نسبت به گندم در تمام شدت‌های خشکسالی است که در نتایج تفکیکی مناطق کاملاً آشکار است.

خشکسالی کشاورزی در این منطقه موجب انحراف ۳۱,۹ درصدی عملکرد واقعی از عملکرد پتانسیل برای گندم گردیده است و این انحراف برای جو ۳۰,۶ درصد می‌باشد. بنابراین در این منطقه ریسک خشکسالی گندم بیشتر از جو می‌باشد. ریسک خشکسالی برای سایر مناطق به همین صورت محاسبه گردید. که نتایج آن در نمودار (۲) ترسیم گردیده است.

ریسک خشکسالی و نوع محصول

گندم و جو در عین شباهت‌هایی که به لحاظ ظاهری، فنولوژی و فیزیولوژی با هم دارند، تفاوت‌هایی در موارد فوق و بویژه در مقاومت برابر تنش‌های محیطی از خود نشان



نمودار ۲- ریسک خشکسالی گندم و جو محاسبه شده در مناطق مورد مطالعه

اصطلاح خشکی با خشکسالی متفاوت است. خشکی به کمبود عمومی بارندگی اشاره دارد و حاکی از شرایط مزمن یا ادامه دار می‌باشد، اما خشکسالی اشاره به انحراف از شرایط متوسط یا عادی دارد.

از آنجایی که خشکی به علت کمبود بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق در یک ناحیه بوجود می‌آید و به عبارتی می‌توان ضریب خشکی هر منطقه را نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق آن منطقه دانست. در روش (UNEP (1992 شاخص خشکی با استفاده از دو پارامتر بارندگی و تبخیر و تعرق براساس رابطه زیر تعیین می‌گردد:

با بررسی‌های که صورت گرفت مشخص گردید که گرگان به لحاظ مقدار و توزیع بارندگی دارای خصوصیات ویژه‌ای در بین مناطق مورد مطالعه است. به طوری که اگر دوره‌ای از سال را که مقدار بارندگی بیشتر از میزان تبخیر و تعرق است دوره مرطوب سال در نظر بگیریم، این دوره در گرگان در مقایسه با سایر مناطق مورد مطالعه طولانی‌تر و همچنین منطبق بر فصل رشد گیاه می‌باشد.

ریسک خشکسالی کشاورزی و درجه خشکی

خشکسالی با شاخص خشکی مناطق مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که ضریب همبستگی بین ریسک خشکسالی و درجه خشکی مناطق مورد مطالعه برای گندم ۰.۸۷- و برای جو ۰.۷۵- می‌باشد و همچنین مقدار RMSE آنها به ترتیب ۳.۲۱ و ۳.۲۹ می‌باشد. با توجه به نمودارهای (۵) و (۶) می‌توان دریافت که تغییرات ریسک خشکسالی با درجه خشکی مناطق معنی‌دار می‌باشد و این بدین معنی است که با افزایش درجه خشکی و مرطوب تر شدن مناطق، ریسک خشکسالی کاهش و با کمتر شدن درجه خشکی و خشکتر شدن مناطق ریسک خشکسالی افزایش می‌یابد. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که ریسک خشکسالی کشاورزی در مناطق خشک بیشتر از ریسک خشکسالی کشاورزی در مناطق مرطوب می‌باشد.

$$AI = \frac{P}{PET}$$

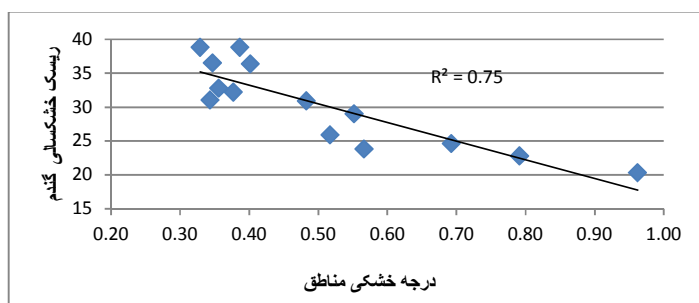
که در این رابطه: AI = شاخص خشکی

P = متوسط بارندگی سالانه

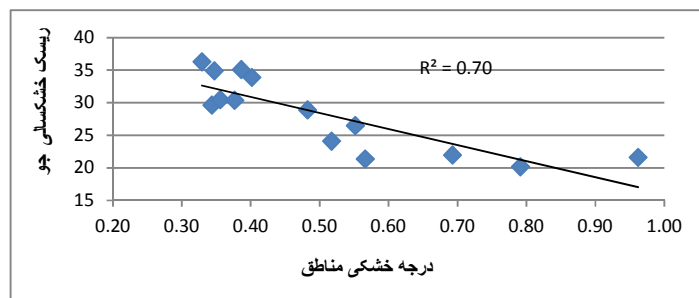
PET = متوسط تبخیر و تعرق سالانه

بر اساس این رابطه آب و هوایی مرطوب می‌باشد که در آن مقدار بارندگی بیش از تبخیر و تعرق باشد و آب و هوایی خشک است که مقدار تبخیر و تعرق آن به مراتب بیش از بارندگی باشد. به عبارتی هر چه این شاخص کوچکتر شود و به صفر نزدیک شود آب و هوای منطقه خشکتر و هر چه بزرگتر شود و به یک نزدیکتر شود آب و هوای منطقه مرطوب‌تر می‌باشد.

با توجه اینکه هدف از بخش بررسی ریسک خشکسالی کشاورزی در بین مناطق مختلف بود تغییرات ریسک



نمودار ۵- تغییرات ریسک خشکسالی گندم با درجه خشکی مناطق مورد مطالعه



نمودار ۶- تغییرات ریسک خشکسالی جو با درجه خشکی مناطق مورد مطالعه

می‌باشد، می‌توان دریافت که نوع گیاه و نوع اقلیم منطقه نقش بسیار مهمی در ارزیابی کمی ریسک خشکسالی کشاورزی دارند. بنابراین با استفاده از این فاکتورها می‌توان ریسک خشکسالی را اولویت‌بندی کرد و براساس اولویت‌بندی صورت گرفته در جهت کاهش ریسک قدم برداشت.

نتیجه‌گیری

ارزیابی ریسک خشکسالی از مهمترین مراحل مدیریت ریسک خشکسالی می‌باشد. با توجه به نتایج این مطالعه که نشان داد ریسک خشکسالی جو کمتر از گندم و ریسک خشکسالی در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق مرطوب

- Azad University, Science and Research Branch of Tehran.
7. Abbaspour, K. 1994. Bayesian risk methodology for crop insurance decisions. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 71. 297-317.
 8. Doorenbos, J. Kasam, A. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Papers*. No, 33.
 9. Gabriel, D. Zare Ernani, M. Lobo, D. 2006. Aridity and Drought Index. *College ON Soil Physics*. ICTP.
 10. Kumar, V. 1998. An early warning system for agricultural drought in an arid region using limited data. *Journal of Arid Environments*, Vol, 40. pp:199-209.
 11. Nassiri, M. Koocheki, A. Kamali, G. Shahandeh, H. 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 52, 113-124.
 12. Nullet, D. Gimbelluca, T. 1998. Risk analysis of seasonal agricultural drought on low Pacific Islands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42:229-239.
 13. Quiring, S. Papkryiakou, T. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for Canadian prairies. *Agricultural and Meteorology*, 1:49-62.
 14. Tsakiris, G. Pangalou, D. and Vangelis, H. 2006. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21: 821-833.
 15. Tsakiris, G. TIGKAS. 2007. Drought risk in agriculture in Mediterranean regions., *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*, 399
 16. Tsakiris, G. 2007. Practical Application of Risk and Hazard Concepts in Proactive Planning. *European water*, 47-56
 17. Wilhelmi, O. Wilhite. D. 2002. Assessing Vulnerability to agricultural drought: A Nebraska case study *Natural Hazards*, 25:37-58.
 18. Wu, H. Wilhite, D. 2004. Agricultural drought risk-assessment model for corn and Soybeans. *International Journal of climatology*, vol. 24, pp:723-741
 19. Zhang, J. 2004. Risk assessment of drought disaster in the maize growing region of songliao plain, china. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol, 102. pp: 133-153.
- البته به منظور کاهش میزان ریسک خشکسالی کشاورزی، باید توجهات بر روی کاهش میزان آسیب پذیری معطوف باشد و هر تلاشی به منظور کاهش اثر بلیه در حقیقت متوجه کاهش میزان آسیب پذیری خواهد بود. بطور مثال با افزایش رطوبت خاک از طریق روش‌هایی همچون کاشت در زمان مناسب، کاشت در جهت عمود بر شیب، آبیاری تکمیلی، رعایت اصول تناوب و آیش زراعی، کم کردن دفعات شخم زدن اراضی، نگه داشتن بقایای گیاهی و استفاده از مواد آلی می‌توان به کاهش آسیب پذیری گیاه در برابر خشکسالی و در نهایت کاهش ریسک خشکسالی کشاورزی کمک نمود.
- با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که دستگاه‌های اجرایی مانند صندوق بیمه کشاورزی برای تعیین میزان خسارت خشکسالی بر بخش کشاورزی از مقایسه میزان عملکرد سال رخداد خشکسالی با متوسط عملکرد بلندمدت استفاده می‌کنند. با توجه به اینکه غیر از خشکسالی بلایای جوی دیگری می‌توانند بر عملکرد محصول تأثیرگذار باشند بنابراین همانطور که نتایج مطالعه هم نشان داد استفاده از عملکرد نسبی محصول که تنها اثر محدودیت آب را در میزان عملکرد نشان می‌دهد می‌تواند در ارزیابی میزان خسارت ناشی از خشکسالی مطمئن تر عمل کند.

منابع

1. Arshad, A, 1386, Drought risk assessment using satellite data, Ph. D. thesis, University of Tarbiat Modarres.
2. Asiai, M, 1385, Drought index, Sokhan Gostar.
3. Bodagh Jamali, J, 1384, Drought Risk Management, Sokhan Gostar.
4. Bazr Afshan, J, 1388, Appropriate method for estimating agricultural drought risk assessment, Ph. D. thesis, University of Tehran.
5. Behahani, M, 1387, Agricultural drought risk management for wheat, The third conference of Iran Water Resources Management.
6. Darbandi, S, 1384, The severity of agricultural drought on crop and soil moisture balance and forecast, Ph. D. thesis