

## مقدمه‌ای بر فرآیند ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی

کیانفر پیامنی<sup>۱\*</sup>، مهران زند<sup>۲</sup>، ایرج ویس‌کرمی<sup>۳</sup>

- ۱- عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، [payamani@yahoo.com](mailto:payamani@yahoo.com)  
۲- عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، [lashanizand@yahoo.com](mailto:lashanizand@yahoo.com)  
۳- عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، [irvayskarami@yahoo.com](mailto:irvayskarami@yahoo.com)

### چکیده

خشکسالی کشاورزی را می‌توان چنین تعریف کرد «کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد محصول نسبت به میانگین طولانی‌مدت». سازوکار ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی شامل انتخاب بهینه نمایه‌های تعیین خطر و آسیب‌پذیری خشکسالی، نقشه‌سازی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی، مدل‌سازی رابطه عملکرد محصول با پارامترها و نمایه‌های تعیین خطر و آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی به منظور ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی می‌باشد. ارزیابی ریسک یک فرآیند چند رشته‌ای است، که به شناسایی، کمی کردن و درک درستی از ماهیت، وسعت و اثرات ریسکی که یک جامعه یا اجتماع با آن مواجه است اجازه می‌دهد، و با رویدادهای شدید پیش‌بینی نشده و آسیب‌پذیری در جامعه یا اجتماع متأثر شده همراه است. سازوکار ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی شامل انتخاب بهینه نمایه‌های تعیین خطر و آسیب‌پذیری خشکسالی، نقشه‌سازی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی، مدل‌سازی رابطه عملکرد محصول با پارامترها و نمایه‌های تعیین خطر و آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی به منظور ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی می‌باشد. انجام بررسی داده‌های تاریخی مربوط به پارامترهای مورد نیاز نمایه‌ها و خود نمایه‌ها به ما در انتخاب نمایه‌ها کمک می‌کند و این می‌تواند راهنمای پایش داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز ریسک خشکسالی باشد. در ادامه با پایش مدل‌سازی شده خشکسالی منطقه‌ای می‌توان به برنامه‌های آمادگی مبتنی بر ریسک خشکسالی (تعیین راهبردهای الگوی کشت، برنامه‌های بیمه و خسارات) با توجه به ریسک محاسبه شده اقدام کرد.

**واژه‌های کلیدی:** نمایه‌های خطر خشکسالی، عملکرد محصول، آسیب‌پذیری کشاورزی، ارزیابی ریسک

## مقدمه

ارزیابی ریسک یک فرآیند چند رشته‌ای است، که به شناسایی، کمی کردن و درک درستی از ماهیت، وسعت و اثرات ریسکی که یک جامعه یا اجتماع با آن مواجه است اجازه می‌دهد، و با رویدادهای شدید پیش بینی نشده و آسیب‌پذیری در جامعه یا اجتماع متأثر شده همراه است. ارزیابی ریسک بخشی جدایی ناپذیر از فرآیندهای تصمیم‌گیری / سیاست‌گذاری و اجرای آن‌هاست و باید شامل و نیازمند همکاری نزدیک میان تمام بخش‌های جامعه باشد. در ساده‌ترین شکل خود، ریسک خشکسالی یک تابع با سه مؤلفه است (بانک جهانی، ۲۰۱۴).

**خطر:** به شدت، مدت، فراوانی وقوع و وسعت خشکسالی اشاره دارد.

**در معرض قرار گرفتن:** به موقعیت، ویژگی‌ها و ارزش منابعی اشاره دارد که برای ذینفعان مختلف (از جمله مردم، زمین‌های کشاورزی، منابع محیطی و اکوسیستم‌ها که در معرض خطر قرار می‌گیرند).

**آسیب‌پذیری:** واکنش منابع و جوامع در مواجهه با یک رویداد خطر خشکسالی است. مثلاً، شرایط اجتماعی و اقتصادی می‌تواند پاسخ به یک رویداد خطر را آسان‌تر و یا مشکل‌تر کند.

بر اساس چارچوب کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC)، آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی تحت عنوان در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری یک منطقه کشاورزی با وضعیت نامناسب در دسترس بودن رطوبت خاک در طول فصل تعریف می‌شود. مناطق زراعی در معرض آب و هوای خطرناک (بارش کم، درجه حرارت بالا) و غیره قرار دارند. در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری با هم آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی را تعیین می‌کنند که به نوبه خود یک مفهوم نسبی است و می‌تواند در مقیاسی از پیش تعریف شده نمایش داده شود. توانایی مقابله یا ظرفیت سازگاری ناحیه کشاورزی نسبت به خشکسالی کشاورزی توسط تعدادی از عوامل مربوط به محیط رشد محصول تعیین می‌شود. بنابراین، آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی از جایی به جای دیگر متفاوت است. تأثیرات خشکسالی بر کشاورزی در اثر کمبود کوتاه مدت بارش، ناهنجاری‌های دما و کمبود رطوبت خاک حاصل می‌شود. با توجه به اینکه اثرات خشکسالی در کشاورزی در نهایت بر روی عملکرد محصول خواهد بود، بنابراین خشکسالی کشاورزی را می‌توان چنین تعریف کرد «کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد محصول نسبت به میانگین طولانی مدت». از آنجا که خشکسالی یک پدیده به هم پیوسته با چند فرآیند است، در سال‌های اخیر برای ارزیابی آسیب‌پذیری بر روی تهیه و استفاده از نمایه‌های ترکیبی تاکید فراوانی شده است. برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی جامع‌ترین روش تهیه و استفاده از نمایه‌های ترکیبی توسط (Wilhelmi و Wilhite، ۲۰۰۲) انجام شده است. آنها از چهار پارامتر اقلیم، خاک، استفاده از زمین و پشتوانه آبیاری استفاده کردند و برای تولید نمایه آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی یک طرح وزندهی عددی را خلق نمودند. (Eriyagama و همکاران، ۲۰۱۰)، در سریلانکا تجزیه و تحلیل مقدماتی نقشه‌سازی آسیب‌پذیری برای مطالعه تأثیر تغییرات اقلیمی روی منابع آب و کشاورزی، با اختصاص وزن‌هایی به پارامترهای متعدد در سطح منطقه را انجام دادند. (Murthya و Laxmanb، ۲۰۱۱)، تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری خشکسالی، توانایی مقابله و ریسک باقی مانده را در بلوک‌های انتخاب شده از منطقه بلونگیر، ایالت اورپسا هند، با استفاده از مجموعه‌ای از نمایه‌های بیوفیزیکی و اقتصادی و اجتماعی انجام دادند. نمایه ترکیبی تولید شده مبتنی بر روش نمایه‌سازی بود. (Ravindranath و همکاران، ۲۰۱۱)، رویکرد مبتنی بر نمایه را برای ارزیابی آسیب‌پذیری کشاورزی در سطح ولسوالی در منطقه شمال شرق هند، با استفاده از داده‌های ثانویه به اجرا در آوردند. وزن‌ها برای پارامترهای متعدد بوسیله قضاوت حرفه‌ای استخراج شد و وزن‌های در نظر گرفته شده برای تمامی نمایه‌ها برابر فرض شد. (Xiaoqian و همکاران، ۲۰۱۳) مدل سه بعدی از آسیب‌پذیری خشکسالی با سه مؤلفه در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری در چین را ارائه دادند.

نمایه‌های مختلفی برای تعیین خطر خشکسالی کشاورزی در پیشینه علمی و عملی این موضوع مطرح شده است که هر کدام با توجه به بستر اکولوژیک، سطح برخورداری و دسترسی به فناوری و امکانات موجود در کشورهای مختلف پیشنهاد شده‌اند. بنابراین در

به کارگیری نمایه‌های خطر خشکسالی کشاورزی علاوه بر در نظر گرفتن معیارهای انتخاب نمایه‌ها مستلزم توجه خاص به شرایط اکولوژیک منطقه مورد نظر در ارتباط با کشت محصولات مختلف کشاورزی و آستانه‌های اکولوژیک محصولات متناسب با هر پهنه زراعی اکولوژیک می‌باشد. آنچه که آستانه‌های اکولوژیک محصولات کشاورزی را در زمان وقوع خشکسالی تحت تاثیر قرار می‌دهد تغییرات (پراکنش زمانی) و نواسانات غیر نرمال (در مقادیر مطلق) عوامل اقلیمی (بارش، دما، تبخیر و تعرق و...) در تامل با خصوصیات خاک (بافت و عمق، مقدار ماده آلی و رطوبت خاک) نواحی کشاورزی می‌باشد. بر این اساس در ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی نمایه‌هایی که بیانگر تغییرات (پراکنش زمانی) و نواسانات غیر نرمال (در مقادیر مطلق) عوامل اقلیمی (بارش، دما، تبخیر و تعرق) می‌باشند را می‌توان به‌عنوان نمایه‌های خطر خشکسالی در نظر گرفت و نمایه‌هایی که برآمده از خصوصیات تقریباً دائمی بستر کشت محصولات هستند (شکل زمین، خصوصیات خاک) و نوع کشت را به عنوان نمایانه‌های آسیب‌پذیری محسوب نمود. نمایه‌ها یا به صورت تکی به کار گرفته می‌شوند یا ترکیبی. به علت آنکه خشکسالی یک پدیده به هم پیوسته با چند فرآیند است، در سال‌های اخیر بر روی تهیه و استفاده از نمایه‌های ترکیبی تاکید فراوانی شده است. در ارزیابی خشکسالی کشاورزی جامع ترین روش، تهیه و استفاده از نمایه‌های ترکیبی است. در تعریف و ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی اکثر محققین از جمله پالمر به رطوبت خاک توجه داشته‌اند لیکن به نوع گیاه و مراحل حساسیت گیاه به کم آبی توجه نداشته‌اند. بنابراین به منظور توصیف جامع این پدیده برای تصمیم‌سازی در قالب یک نمایه واحد باید نکات زیر را مد نظر قرار گیرد.

در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های کشاورزی در حد مقدمات، کلیه عوامل موثر بر پدیده خشکسالی کشاورزی مثل توزیع روزانه بارندگی، مشخصات خاک، گیاه، تبخیر و تعرق و غیره بایستی در نظر گرفته شوند. در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های کشاورزی، عوامل اقلیمی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، حتی روزانه مورد مطالعه قرار گیرد، در صورتی که بخواهیم از شاخص‌هایی که فقط بارندگی را مد نظر قرار می‌دهند در ارزیابی خشکسالی‌های کشاورزی استفاده نماییم، بهتر است به نحوی اثر توزیع زمانی بارندگی در مراحل مختلف رشد در آنها گنجانده شود چون اثر خشکسالی در کشاورزی در نهایت روی عملکرد محصول خواهد بود، در تعریف خشکسالی کشاورزی عملکرد محصول مدنظر قرار گیرد. در مطالعه ارزیابی خشکسالی کشاورزی نوع محصول نیز در نظر گرفته شود. در ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی به طور روزانه میزان رطوبت خاک مورد پایش قرار گیرد. تا با استفاده از مدل‌های تعیین عملکرد محصول بتوان عملکرد نسبی محصول را در پایان هر سال پیش بینی و ارزیابی نمود (صمد دربندی، ۱۳۸۶).

نقشه سازی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی شامل شناسایی مناطق و یا واحدهای اداری است که نسبت به خشکسالی کشاورزی حساس یا شکننده هستند. آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی توسط تعدادی از عوامل مربوط به آب و هوا، خاک، آب و محصول تعیین می‌شوند. از آنجا که آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی بر اساس تعدادی از پارامترها یا نمایه‌ها تعیین می‌شود، ترکیبی از پارامترها یا نمایه‌های مختلف ماهیت چند بعدی آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. یک نمایه ترکیبی به دست آمده از پارامترهای متعدد رویکردی قوی و علمی برای نقشه سازی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی رافراهم می‌کند. علاوه بر این، تمام مولفه‌های آسیب‌پذیری یعنی در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری لازم است که در تولید یک نمایه آسیب‌پذیری قوی به کار گرفته شوند. اکثر مطالعات انجام شده در رابطه با آسیب‌پذیری خشکسالی در یک سطح کلان صورت گرفته، در حالی که برای توسعه اقدامات مدیریتی موثر خشکسالی، اطلاعات آسیب‌پذیری در سطوح کوچکتر مورد نیاز است (Murthya, ۲۰۱۴).

## روش کار:

این مقاله یک مقاله مروری است که از بررسی پیشینه پژوهش در رابطه با موضوع مورد بررسی بدست آمده و هدف آن ارائه یک فرآیند عملی برای ارزیابی و پهنه بندی ریسک خشکسالی کشاورزی در مناطق مختلف کشور یا یک استان می‌باشد. جزئیات محاسبات و پردازش‌ها به علت محدودیت صفحات مقاله به منابع رفرنس داده شده است و در اینجا فقط به فرآیند کار و نحوه انجام مؤلفه‌های ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی پرداخته خواهد شد.

سازو کار ارزیابی آسیب پذیری خشکسالی کشاورزی شامل انتخاب بهینه نمایه های تعیین خطر و آسیب پذیری خشکسالی، نقشه سازی آسیب پذیری خشکسالی کشاورزی، مدل سازی رابطه عملکرد محصول با پارامترها و نمایه های تعیین خطر و آسیب پذیری خشکسالی کشاورزی به منظور ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی می باشد.

الف- تعیین مؤلفه خطر (در معرض قرار گرفتن)

بر اساس توضیحات فوق پارامترهای عمده مورد استفاده در تعیین خطر (در معرض قرار گرفتن) زراعت پارامتر به قرار زیر می باشند: (۱) مقدار بارش هریک از مراحل رشد، (۲) تعداد روزهای بارانی هریک از مراحل رشد (۴) کل بارش فصل رشد محصول، (۳) کل تعداد روزهای بارانی هریک از مراحل رشد محصول، (۵) حداقل، حداکثر، متوسط دمای هریک از مراحل رشد (۶) تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی هریک از مراحل رشد. تمام پارامترها به تفکیک دوره های مراحل رشد محصول مورد نیازند. نمایه هایی که در این قسمت پیشنهاد می شوند باید به گونه ای باشند که پارامترهای فوق را پوشش دهند. البته نمایه های پیچیده تر را بهتر است در سال های بعد که ساختار خشکسالی به خوبی در استان شکل گرفت و تجربه و داده های لازم فراهم شد به کار گرفته شوند، اما برای شروع ارزیابی بهتر است انواع ساده تر مورد استفاده قرار گیرند.

استفاده از نمایه های هیدرولوژیکی و یا هوا شناسی برای خشکسالی کشاورزی که در ایران صورت می گیرد نتایج رضایت بخشی حاصل نمی نماید. با توجه به اینکه در این نمایه ها مراحل رشد گیاه در نظر گرفته نمی شود از این رو در صورتی که مراحل رشد و توزیع بارندگی در این نمایه ها گنجانده شوند انتظار می رود که بتوان از آنها برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی نیز استفاده نمود (در بندی و همکاران، ۱۳۸۶).

تنش های محیطی ناشی از خشکسالی یکی از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر عملکرد محصولات زراعی می باشند. این پدیده در اواسط فصل رشد می تواند بر وضعیت های شکل گیری غلاف و دانه و در انتهای فصل رشد بر پر شدن دانه تاثیر زیادی باقی گذارد که در این میان تنش های ناشی از خشکسالی های اواسط دوره رشد تاثیر بیشتری بر کاهش عملکرد محصول دارند. بنابراین برای ارزیابی اثرات خشکسالی کشاورزی بر مراحل رشد نمایه ای مورد نیاز است که تغییرات کوتاه مدت شرایط رطوبتی را نشان دهد.

### نمایه های آسیب پذیری کشاورزی

نمایه هایی که برآمده از خصوصیات تقریباً دائمی بستر کشت محصولات هستند (شکل زمین، خصوصیات خاک)، نوع کشت (آبی و دیم) و عملکرد محصول را به عنوان نمایانه های آسیب پذیری می توان محسوب نمود.

### برآورد عملکرد محصول

استفاده از مدل های تعیین عملکرد نسبی محصول براساس مراحل مختلف رشد علاوه بر داشتن دقت زیاد نسبت به در نظر گرفتن کل طول دوره رشد ابزار بسیار مفیدی برای پیش بینی خشکسالی کشاورزی می باشند.

### بررسی روند تغییرات عملکرد هر محصول

در صورت موجود بودن داده های عملکرد محصولات مورد نظر در طی سال های متمادی روند تغییرات عملکرد محصول مورد بررسی قرار می گیرد در غیر این صورت برای بررسی چنین روندی از روش های شبیه سازی می توان استفاده نمود (در بندی و همکاران). برای شبیه سازی عملکرد نسبی محصول (گندم) از مدل ارائه شده توسط دورنبوس و (کاسام، ۱۹۷۹) مندرج در نشریه شماره ۳۳ آبیاری و زهکشی فائو می توان استفاده کرد. نمایه فوق براساس کاهش عملکرد نسبی محصول نسبت به میانگین طولانی مدت آن می تواند به عنوان یک نمایه خشکسالی نیز مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا که اندازه گیری تبخیر و تعرق واقعی گیاه عملاً مشکل است از این رو برای ارزیابی عملکرد مدل تغییرات رطوبت خاک اندازه گیری می گردد. برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی ( $ET_a$ ) محصول (گندم وجو)

می توان از مدل های موجود (مانند سیمپل) استفاده به عمل آورد، این مدل براساس بیلان آب، میزان رطوبت در نیمرخ خاک را بصورت روزانه شبیه سازی می نماید (استفاده از این مدل برای تخمین میزان رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی، در صورتی که مشخصات خاک با عمق خاک دارای دامنه تغییرات زیادی نباشد توصیه می گردد. در صورت وجود تغییرات قابل توجه، استفاده از مدل های دیگر مانند مدل ریچاردز توصیه می شود). در صورتی که مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی مقادیر رطوبت نزدیک به یکدیگر باشند می توان نتیجه گیری نمود که دقت تخمین تبخیر و تعرق واقعی گیاه نیز مطلوب بوده است. این بررسی در سال های آتی با استفاده از داده های پایش شده عملکرد محصولات (که دارای صحت و دقت لازم می باشند) مورد نظر قابل انجام خواهد بود.

### برآورد زیست توده با استفاده از تصاویر ماهواره ای به منظور برآورد عملکرد محصول

یکی دیگر از روش های برآورد عملکرد محصول استفاده از تصاویر ماهواره ای است. کاهش بیوماس در طول دوره رشد محصول می تواند بعنوان نمایه ای در ارزیابی خشکسالی کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و به صورت غیر مستقیم برای پیش بینی عملکرد محصول نیز به کار رود. با استفاده از اطلاعات ماهواره ای نمایه گیاهی NDVI و دمای سطح زمین (LST)، میزان تنش آبی در هر فاصله زمانی برآورد می گردد. همچنین توزیع مکانی جذب فعال تابش فتوسنتزی، (APAR) با استفاده از شاخص گیاهی NDVI و داده های هواشناسی برآورد می شود. در نهایت زیست توده جمعی، بعنوان بازخوردی از عملکرد گندم، پس از محاسبه APAR، راندمان استفاده از نور خورشید ( $\square$ ) و نیز تنش آبی در دوره های زمانی مورد نظر محاسبه می گردد. سپس زیست توده بدست آمده با کمک شاخص برداشت (HI) به عملکرد تبدیل خواهد شد. با تعمیم این الگوریتم در سطح منطقه مورد نظر می توان نسبت به ارائه الگوهای پیش بینی عملکرد محصول (گندم و جو) قبل از برداشت محصول در مقیاس استانی اقدام نمود. در نگاره زیر مراحل محاسبه ماده خشک گیاهی با استفاده از تلفیق داده های هواشناسی و ماهواره ای در یک گام زمانی ارائه شده است (کمالی و همکاران، ۱۳۸۹).

### مراحل و ساز و کارهای لازم برای پهنه بندی خطر خشکسالی کشاورزی و تهیه نقشه پتانسیل آسیب پذیری

در این راستا، استخراج نمایه های ماهواره ای، بررسی روند تغییرات پارامترهای هواشناسی، نمایه های آماری، نمایه های ماهواره ای و نمایه عملکرد محصول، به دست آوردن نقشه های تغییر و عدم تغییر و تهیه جداول ماتریس تغییرات، بررسی و مدل سازی این روابط بین پارامترهای هواشناسی، نمایه های آماری و نمایه های ماهواره ای (به عنوان متغیر مستقل) و نمایه عملکرد محصول (به عنوان متغیر وابسته) به منظور تعیین ریسک خشکسالی کشاورزی از جمله اهداف اصلی این بخش می باشد.

### ۱- بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی

روند تغییرات سری داده های اقلیمی (بارش و دمای سالانه و ...) ایستگاه های استان یا منطقه مورد نظر باید در یک پایه زمانی مشترک تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. داده ها از لحاظ افتادگی آماری اصلاح شده و نوسانات کوتاه مدت و روندهای کلی مورد بررسی قرار می گیرند. معنی داری این نوع روندها (کاهش و افزایش بارش و دما) را می توان از لحاظ آماری با آزمون ناپارامتری روند اسپیرمن اثبات کرد. برای این منظور همبستگی این پارامترها با زمان مورد بررسی قرار می گیرد و معنی دار بودن همبستگی نشان دهنده روند است. مثبت بودن ضریب همبستگی دما نشان دهنده روند افزایشی و منفی بودن ضریب همبستگی (مثلاً بارش) نشان دهنده روند کاهش آنتی است. برای بررسی دقیق تر روند تغییرات مشاهدات (دما و بارش) و تأیید افزایش دما و کاهش بارش طی دوره مورد نظر، از طریق آزمون آماری مقایسه دو جامعه قبل و بعد، نیز صورت می گیرد (زند و همکاران).

وضعیت خشکسالی را می توان از دیدگاه مقایسه دو پارامتر اقلیمی دما و بارش مورد پایش قرار داد. اما از آنجا که مقیاس یا واحد اندازه گیری دما و بارش متفاوت است، این دو پارامتر را استاندارد نموده و بصورت نموداری مورد مقایسه قرار می دهیم. مهم ترین متغیرهای هواشناسی موثر بر عملکرد محصولات زراعی، متغیرهای بارش، دما و رطوبت خاک و تابش خورشیدی می باشند. تجزیه و تحلیل روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شناخت لازم برای انتخاب نمایه های مناسب و روش متناسب ارزیابی را فراهم می آورند. ثبت و

ذخیره تمامی داده‌های جدولی نمودارها و لایه‌های رقومی مربوطه باید طبق یک پروتوکل مدیریت داده‌ها و اطلاعات واحد پیش بینی شده در ساختار پایش داده‌های خشکسالی صورت گرفته و مستند سازی شود.

## ۲- بررسی روند تغییرات نمایه‌های آماری

به منظور بررسی روند تغییرات نمایه‌های آماری خشکسالی، سری‌های زمانی تمامی نمایه‌ها در پایه زمانی مشترک در چندین مقیاس زمانی (۱ تا ۴۸ ماهه) مختلف به صورت متناظر با هم تهیه می‌گردد و مثبت و ذخیره تمامی داده‌های جدولی نمودارها و لایه‌های رقومی مربوطه همانند مورد فوق صورت می‌گردد.

## ۳- بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از نمایه‌های ماهواره‌ای

با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق آثاری که بر گیاهان و کشاورزی دارد، مطالعه کرد و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت. یکی از مؤثرترین نمایه‌ها، نمایه نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI می‌باشد. آثار پدیده خشکسالی بر روی پوشش گیاهی، به صورت تدریجی ظاهر می‌شود. بنابراین اگر با الگوریتمی میزان پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای پایش شود، می‌توان با کاهش تدریجی پوشش گیاهی مناطق، پدیده‌ی مخرب خشکسالی را به موقع هشداردهی نمود. با استفاده از سری‌های زمانی داده‌های NDVI (در یک بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ ساله) تغییرات در آغاز فصل رشد سایر ویژگی‌های فنولوژیکی ثبت می‌گردد. این فرآیندمشاهدات فنولوژیکی، پاسخ پوشش گیاهی به عوامل هواشناسی و محیطی را اندازه‌گیری می‌کند.

عمده‌ترین مشکل در خصوص استفاده از نمایه‌های سنجش از دوری اثر ابر و آلودگی‌های جوی می‌باشد. دومی با انجام تصحیحات یا استفاده از تصاویر تصحیح شده قابل حل است ولی در رابطه با اولی اگر بر روی پیکسل‌های هدف لکه ابری باشد، مقدار نمایه ممکن است دستخوش خطا گردد و اطلاعات آن پیکسل‌ها از دست برود لذا از آنجاکه معمولاً نمایه‌ها در گام‌های زمانی مشخص (۷روزه) تهیه می‌شوند پیشنهاد می‌گردد در مواقع بروز چنین مشکلی بیشترین مقدار نمایه در آن گام زمانی انتخاب گردد.

## ۴- مدل‌سازی رابطه عملکرد محصول با پارامترهای اقلیمی، نمایه‌های هواشناسی و سنجش از دوری

به منظور ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی لازم است که روند تغییرات عوامل تاثیرگذار بر عملکرد محصول مورد بررسی قرار گرفته و رابطه و معرف بودن هر کدام مشخص شود تا بتوان با در دست داشتن یکی یا مجموعه‌ای از آنها اقدام به پیش‌بینی اثرات و در نهایت تعیین ریسک احتمالی نمود. در درجه اول تعیین پایه زمانی مناسب نمایه‌های آماری خشکسالی ضروری است بنابراین مقادیر نمایه‌های مختلف خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه لازم است که محاسبه شود، سپس نمایه‌ها در دوره‌های مربوطه مورد مقایسه قرار گرفته تا از این طریق توانایی آنها در نشان دادن خشکسالی مورد ارزیابی قرار گیرند. برای این منظور نمودارهای روند تهیه شده از سری‌های زمانی ابزار مناسبی می‌باشند. این امر به استفاده درست از این نمایه‌ها در ارزیابی ریسک کمک خواهد کرد.

در ادامه به منظور انتخاب نمایه‌های مناسب باید بین نمایه‌های آماری (مانند: SPI, PDSI, PESI و ...) خشکسالی و سنجش از دوری (NDVI, RDV, EVI, MSAVI, NDWI و ..) مقایسه‌ای صورت گیرد برای انجام این مقایسه، از همبستگی پیرسون بین میانگین نمایه‌ها (سنجش از دوری و آماری) در مقیاس زمانی مورد نظر استفاده می‌توان استفاده کرد. پس از این مرحله به بررسی رابطه تغییرات عملکرد محصولات با تغییرات پارامترهای اقلیمی، نمایه‌های آماری خشکسالی و نمایه‌های سنجش از دوری ارتباط عملکرد محصولات (گندم و جو) با پارامترهای اقلیمی (دمای حداقل، میانگین و حداکثر روزانه، ماهانه و سالانه، به و بارندگی حداقل، میانگین و حداکثر روزانه، ماهانه و سالانه، تبخیر و تعرق و...) و نمایه‌های آماری خشکسالی (و غیره SPI, PDSI, PESI) و نمایه‌های سنجش از دوری (NDVI, RDV, EVI, MSAVI, NDWI) به صورت جداگانه و ترکیبی در دوره‌های زمانی مختلف باید مورد بررسی قرار گیرد.

(به عنوان مثال برای بررسی رابطه بین توزیع بارندگی در مراحل مختلف رشد و عملکرد نسبی به صورت معادله رگرسیون چند متغیره می توان مساعدی و همکاران، مراجعه کرد ۱۳۹۴):

عوامل متعددی تفسیر رابطه نمایه های خشکسالی با عملکرد محصول را می توانند مخدوش کنند. درست است که وقوع خشکسالی در طول دوره های حساس فیزیولوژیکی چرخه رشد محصول به وضوح عملکرد را کاهش خواهد داد، اما آسیب دیدن محصول با دوره های پرباران نیز می تواند همراه شود. به عنوان مثال غرقابی شدن و مستعد شدن شرایط برای وقوع آفات و بیماری از جمله زنگ زرد، که از رطوبت و گرما سود می برند موجب آسیب به محصول می شود. بنابراین شرایط رطوبتی در هر دو حد فرین (بیشینه و کمینه) می تواند منجر به کاهش عملکرد شود. عملکرد محصول می تواند حتی با توجه به سطوح مشابه ET (دسترسی به رطوبت) به علت تفاوت در مدیریت، خواص خاک (مانند محتوای ماده آلی)، تاریخ کاشت و نوع رقم به طور معنی داری تغییر کند. به منظور دستیابی به تفسیری قوی تر داده های سنجش از دور به صورت نمایانه های نشان دهنده عملکرد محصول نیازمند تلفیق با مدل های محصول، آفات و بیماری می باشد که به گونه ای مناسب وقوع فرین های رطوبت و دما را در حین مراحل حیاتی فنولوژیک چرخه رشد محصول، و نوع محصول (نیز تکامل گیاه در توانایی های جذب نور خورشید) در نظر بگیرد (Martha و همکاران، ۲۰۱۵).

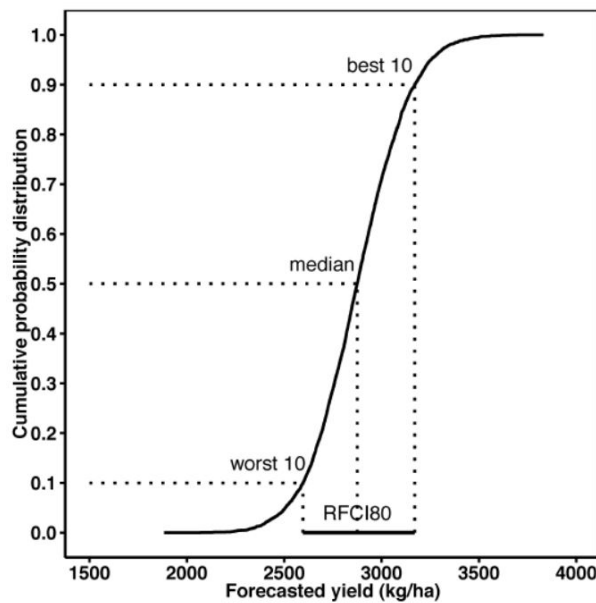
در راستای پیش بینی عملکرد محصول، مدل هایی با پیچیدگی های متفاوت تهیه شده اند، از جمله مدل های رگرسیونی نمایه ای. مدل های ساده زراعی هواشناسی که حساسیت به محدودیت های رطوبتی، دما و نور و شبیه سازی های محصول را در نظر می گیرند بیشتر مدل هایی هستند که روابط بیوفیزیکی گیاه با جزئیات فیزیکی را نشان می دهند. برای اطلاعات بیشتر به (Basso و همکاران، ۲۰۱۳). مراجعه شود. در راستای ادغام سنجش از دور با مدل های آگرومتئورولوژیک، می توان در ابتدا بر روی NDVI به عنوان تقریبی از بیوماس یا سطح برگ تمرکز کرد (Fontana و همکاران، ۲۰۰۶). محدودیت های رطوبتی را می توان با استفاده از برآورد نسبی نسبت ET (تبخیر و تعرق مرجع / تبخیر و تعرق واقعی) دخالت داد که با استفاده از یکی از رویکردهای محاسبه بیلان آب محاسبه می شود (Doorenbos و Kassam، ۱۹۷۹). (Jensen، ۱۹۶۸). (Rao و همکاران، ۱۹۸۸) و به عنوان تقریب قابل قبولی از اندازه گیری میدانی به کار می رود (رادوف باتستا، ۱۹۹۹). لازم به ذکر است که استفاده از روابط تجربی در محاسبات تا زمانی مجاز است که هنوز داده های حاصل از اندازه گیری و ثبت در فرآیند پایش در نظر گرفته شده فراهم نشده باشند و این وضعیت مختص مراحل آغازین شروع به کار اجرای سند خشکسالی است، بعد از گذشت چندین سال از پایش هدفمند پارامترها و نمایه ها و تهیه بانک اطلاعات حاوی داده ها و اطلاعات مورد نظر در قالب لایه های اطلاعات رقومی مکان محور می توان مدل ها را واسنجی نموده و در کنار کارهای پژوهشی روز به روز بر دقت و صحت نتایج آنها افزود.

داده های اولیه ای که برای کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل وارد می شوند داده های مربوط به داده های آمار برداری محصول طی مرحله پایش و داده های سنجش از دور می باشند. اگرچه ممکن است سری های زمانی داده های هواشناسی و داده های عملکرد محصول دارای سری زمانی طولانی تر باشند اما پایه آماری مبتنی بر در دسترس بودن مجموعه داده های ماهواره ای است. عملکرد تاریخی محصول و سطح برداشت برای هر «منطقه آمار برداری کشاورزی» از طریق آمار برداری نمونه ای از سطوح کوچک محصولات کشاورزی (به عنوان مثال مزرعه) با یک طرح متقاطع به دست می آید. این داده های آمار برداری وزندهی شده و نمایه های تولید وسط برداشت در دو سطح واحد آماری و مقیاس شهرستان یا پهنه های زراعی اکولوژیک تهیه می شوند. متوسط عملکرد در این دو مقیاس محاسبه می شود. این روش شناسی و کنترل خطای آمار برداری محصول در اسناد آنلاین همراه با سری های آماری مزرعه ثبت خواهند شد.

مقادیر نمایه های ماهواره ای از سایت های مربوطه در مناطق کشاورزی تهیه می شوند. حذف ابر و سایر اقدامات کنترل کیفیت برای داده های خام مورد استفاده قرار خواهد گرفت. نقشه اراضی زراعی از نقشه استفاده از زمین یا پوشش زمین تهیه می شود و نقشه مرز واحدهای آمار برداری برای ماسک پیکسل های نمایه های سنجش از دوری استفاده می شود.

برای تولید عوامل پیش بینی کننده اقلیمی، داده های دما و بارش روزانه بدست آمده از ایستگاه های سازمان هواشناسی و وزارت نیرو استفاده می شود. در مجموع، از کل ایستگاه های هواشناسی در سراسر منطقه (استان) ایستگاه هایی انتخاب می شوند که معرف واحد-های آمار برداری از اراضی زراعی منطقه باشند. کنترل کیفیت و پر کردن خلاء داده های از دست رفته توسط سازمان هواشناسی

براساس روش‌های اطمینان و کنترل کیفیت داده‌های این سازمان صورت می‌گیرد. سری‌های روزانه دما و بارش دوره آماری برای ایستگاه‌های منتخب برای تولید نمایه‌های آگروکلیمیایی مورد استفاده در پیش بینی عملکرد مدل استفاده می‌شوند. پارامترهای فیزیکی خاک مورد نیاز از بانک اطلاعات خاک تهیه شده توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرفته خواهد شد. به منظور کمی کردن توسعه فنولوژیک محصول یک مقیاس زمانی زیست هواشناسی در نظر گرفته می‌شود. از مقادیر میانگین نمایه‌ها در تمام ایستگاه‌های مختص واحد آماری برای نشان دادن میانگین آن واحد آماری استفاده می‌شود. اگر یک واحد آماری فاقد داده‌های هواشناسی ورودی باشد، از ایستگاه‌های واحد همجوار استفاده می‌شود. متغیرهای برآورد شده و متغیرها نزدیک به زمان واقعی مشاهده شده سپس به عنوان ورودی به مدل عملکرد منتخب برای پیش بینی توزیع احتمالی عملکرد محصول برای هر منطقه کشاورزی آماربرداری مورد استفاده قرار می‌گیرند. با رسم توزیع احتمال تجمعی (برحسب نسبتی از یک - محور) در مقابل عملکرد محصول پیش بینی شده (برحسب کیلو گرم در هکتار - محور X) یک نمودار توزیع احتمالی پیش بینی بوجود می‌آید. شکل زیر یک نمونه از این نمودارها را نشان می‌دهد. نشان داده شده است. صدک دهم (بدترین ۱۰ درصد)، صدک پنجاهم (میانه) و صدک نودم (بهترین ۱۰ درصد) خروجی‌هایی به صورت معیارهای احتمالی هستند. دامنه فاصله اطمینان پیش بینی ۸۰٪ برحسب فاصله بین بهترین ۱۰٪ و بدترین ۱۰٪ احتمال عملکرد پیش بینی شده ارائه می‌شود.



تمامی داده‌های بلندمدت عملکرد محصول و  $\bar{X}_i$  های بلند مدت در مقیاس شهرستانی بوده سپس برای ایجاد مدل‌های عملکرد در مقیاس شهرستان به کار می‌روند (معادله ۱) عملکردهای شهرستانی به طور مستقیم در مقیاس شهرستانی پیش بینی می‌شوند. از هر دو روش فوق استفاده می‌شود تا بهترین رویکرد پیش بینی عملکردها در مقیاس شهرستان و استان بدست آید.

اعتبارسنجی مدل

در انواع مختلف مطالعات ارزیابی مدل از معیارهای کیفیت و سازگاری زیادی استفاده شده است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود. از جمله، ضریب تعیین براویس و پیرسون ( $R^2$ )، ریشه میانگین خطای مربعات (RMSE)، ریشه میانگین خطای مربعات نسبی (RRMSE)، ضریب جرم باقی مانده (CRM)، میانگین خطای درصد مطلق (MAPE) و شاخص کارایی مدل (MEI) در صورتی که نتایج که بسیار همبسته بودن این شاخص‌ها با هم را نشان دهد می‌توان برای ارزیابی مدل‌ها تنها از یک یا دو تا از آنها استفاده نمود (Landau و همکاران، ۲۰۰۰).



## ۵- نقشه سازی آنومالی های نمایه ای

برای تمرکز بیشتر بر تغییرات «عملکرد» که از تغییرات درون فصلی اقلیمی ناشی می شوند، مقایسه ارقام تولید محصول و نمایانه های ماهواره ای در فضای آنومالی انجام می گیرد. آنومالی های استاندارد شده ی نمایه ها (آماري و ماهواره ای) در پنجره های متحرک نسبتاً کوتاه (۴ و ۱۲ هفته ای با گام زمانی ۷ روزه)، برای شناسایی دوره های فصلی یا فنولوژیکی جایی که آنومالی های نمایه ای بیشترین همبستگی را با عملکردهای بدست آمده دارد محاسبه می شوند. ترکیبات به صورت یک میانگین غیر وزنی از مقادیر تمام نمایه ها در طول یک گام زمانی محاسبه می شود (برای ملاحظه روابط و نحوه محاسبه به (Martha و همکاران، ۲۰۱۵) مراجعه شود.

نمایه های سنجش ازدوری حاوی روزهای ابری چون باعث حضور داده های نادرست در نمایه در فصل های بارانی می شود از ترکیبات حذف می گردند. بانک اطلاعاتی مربوط به داده ها باید فاقد خلاء داده ای باشد.

سپس نمایه های ترکیب شده به یک آنومالی استاندارد یا «Z-score» با میانگین صفر و انحراف استاندارد یک تبدیل می شوند. فیلدهای توصیف کننده شرایط «نرمال» (میانگین) و انحراف استاندارد زمانی در هر پیکسل (در بانک اطلاعات) برای هر گام ترکیبی بر اساس دوره آماری پایه (بلند مدت) تولید می شوند. سپس آنومالی های استاندارد در هر پیکسل برای هر هفته W و هر سال Y محاسبه می شوند (برای ملاحظه روابط و نحوه محاسبه به (Martha و همکاران، ۲۰۱۵) مراجعه شود.

آنومالی های ترکیبات یک ماهه، دو ماهه و سه ماهه ... هر نمایه بر اساس پروتوکل مدیریت داده ها و اطلاعات با یک علامت استاندارد بعلاوه یک سمبل برجسب گذاری شده در بانک اطلاعاتی ذخیره می شوند. آنومالی های عملکرد محصول هم در سطح شهرستان و هم در سطح واحدهای اگرو کولوژیک به صورت انحرافات از یک رگرسیون خطی در طی دوره پایه آماری (مثلاً ۲۰ سال) محاسبه می شوند. (برای حذف روندهای افزایش عملکرد ناشی از پیشرفت های فناوری یا پیشرفت های ژنتیکی در ارقام به روابط ارائه شده توسط (Martha و همکاران، ۲۰۱۵) مراجعه شود.

بی روندسازی خطی عملکرد محصول ممکن است برای تمام شهرستان ها مناسب نباشد، اما به طور کلی برای افزایش همبستگی با تمام نمایه های خشکسالی مورد بررسی، به کار می رود. همبستگی های عملکرد محصول نمایه ای با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) کمی می شوند، که معمولاً از نمونه های  $ns \times ny$  بدست آمده اند، جایی که  $ny = 20$  تعداد سال های داده های عملکرد در تجزیه و تحلیل می باشد (مثلاً ۱۳۷۵-۱۳۹۵)، و  $ns$  تعداد شهرستان ها یا پهناهای زراعی اکولوژیک دخیل در ارزیابی منطقه ای می باشند. یک همبستگی رتبه ای اسپیرمن نیز به صورت کیفی نتایج مشابهی را ارائه می نماید (Martha و همکاران، ۲۰۱۵).

برای تجزیه و تحلیل عملکرد در سطح شهرستان، همبستگی ها در فواصل ۷ روزه بین آنومالی های استاندارد شده نمایه مرکب یک ماهه (معادله ۲) و آنومالی های عملکرد شهرستان (معادله ۳) محاسبه خواهد شد. برای تعیین پنجره بهینه در طول فصل رشد، جایی که یک نمایه بیشترین میزان پیش بینی شده عملکرد را دارد، یک فضای همبستگی دو بعدی بین محصول و منطقه برای هر شاخص محاسبه می شود، ترکیبات نمایه ۱ ماهه روی یک پنجره متغیر قبل از همبستگی با آنومالی های عملکرد میانگین گیری می شوند در نمودار دو بعدی این تحلیل ها، محور X نشان دهنده است تاریخ پایان پنجره نمایه میانگین گیری، و محور Y نشان دهنده طول پنجره می باشد. همبستگی های عملکرد در سطح دهستان در فواصل ۷ روزه با استفاده از نمایه های خشکسالی ترکیب ۳ ماهه برای بررسی چگونگی تغییر تاریخ و اندازه حداکثر میزان همبستگی فضایی در سراسر دهستان محاسبه می شود.

## پیش بینی عملکرد در مقیاس های شهرستانی و استانی

برای شهرستان هایی که تنها یک واحد گزارش دهنده دارند، واحد تجزیه و تحلیل عملکرد شهرستان خواهد بود. برای آن هایی دارای چندین واحد گزارش دهنده دارند عملکرد شهرستان با دو روش جمع بندی عملکرد محصول و روش جمع بندی پیش بینی کننده پیش بینی خواهند شد (به روابط ارائه شده توسط (Martha و همکاران، ۲۰۱۵) مراجعه شود.

### بحث و نتیجه گیری:

وقوع خشکسالی‌ها یکی از عوامل شکست محصول به شمار می‌آید بنابراین در ارزیابی ریسک خشکسالی ما باید به دنبال برقراری ارتباط بین وقوع خشکسالی‌ها و کاهش محصول باشیم. این ارزیابی هم بر حسب محصول و هم بر حسب منطقه صورت خواهد گرفت. در ارزیابی ریسک نیاز به نمایه‌هایی است که نماینگر وقوع خشکسالی و اثر آن بر کاهش محصول می‌باشیم. از آنجا که نمایه‌ای منفرد و قابل کاربرد در تمام مناطق وجود ندارد در ارزیابی ریسک خشکسالی باید دنبال رویکردی بود که در آن که اطلاعات خشکسالی را از چند منبع و نمایه در هم ادغام کرد، لذا ضروری است که ابتدا کارایی نمایه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. این کارایی برای نمایه‌های مختلفی هم از لحاظ بیان خطر (شدت، مدت و فراوانی وقوع) و هم آسیب‌پذیری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. و در نهایت نمایه‌های منتخب در مدل‌سازی وارد می‌شوند. انجام بررسی داده‌های تاریخی مربوط به پارامترهای مورد نیاز نمایه‌ها و خود نمایه‌ها به ما در انتخاب نمایه‌ها کمک می‌کند و این می‌تواند راهنمای پایش داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز ریسک خشکسالی باشد. در ادامه با پایش مدل‌سازی شده خشکسالی منطقه ای می‌توان به برنامه‌های آمادگی مبتنی بر ریسک خشکسالی (تعیین راهبردهای الگوی کشت، برنامه‌های بیمه و خسارات) با توجه به ریسک محاسبه شده اقدام کرد. از آنجا که شکست محصول صرفاً ناشی از خشکسالی نمی‌باشد عوامل متعددی تفسیر ساده همبستگی نمایه‌های آماری و سنجش از دوری با عملکرد محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از جمله وقوع آفات و بیماری‌ها و کاربرد فناوری‌های تولید. این امر باعث ضرورت ادغام مدل‌های تهیه شده برای خشکسالی در مدل‌های آفات و بیماری‌ها می‌شود. توجه به حوزه‌های خارج از بحث خشکسالی و ارتباط آنها با خروجی‌های مدل‌های تهیه شده نکته بسیار مهمی است که همواره در مدیریت خشکسالی بایستی مد نظر قرار گیرد.

### منابع:

- دریندی، صمد، کاوه، فریدون، فاخری فرد، احمد، صدقی، حسین، کمالی، غلامعلی، ۱۳۸۶، معرفی یک شاخص جدید برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی بر پایه عملکرد نسبی محصول. مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی (سال سیزدهم، شماره).
- کمالی، غلامعلی، مؤمنزاده، حسین، وظیفه دوست، مجید، ۱۳۹۰، بررسی تغییرات ماده خشک و عملکرد گندم در دوره‌های خشکسالی و ترسالی با کمک داده‌های ماهواره‌ای مودیس در استان اصفهان. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی جلد ۱۸۱-۳، شماره ۲، ص ۱۹۰.
- مساعدی، ابوالفضل، محمدی مقدم، سمانه، قبائی سوق، محمد، ۱۳۹۴، مدل سازی عملکرد گندم و جو دیم بر اساس شاخص‌های خشکسالی و متغیرهای هواشناسی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۷۳۰-۲۹، شماره ۳، مرداد- شهریور، ص ۷۴۹.
- Basso, B., Cammarano, D., & Carfagna, E. (2013). Review of crop yield forecasting methods and early warning systems. GS SAC – Improving methods for crops estimates. Rome, Italy: FAO Publication.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Yield response to water. FAO Irrigation and drainage paper, No 33. Rome: FAO.
- Eriyagama, N., Smakhtin, V., Chandrapala, L., Fernando, K., 2010. Impacts of climate change on water resources and agriculture in Sri Lanka: A review and preliminary vulnerability mapping, IWMI Research Report No. 135, IWMI, Colombo.
- Fontana, D. C., Melo, R. W., Klering, E. V., Berlato, M. A., & Ducati, J. (2006). Uso de modelos agrometeorológicos na estimativa do rendimento de lavouras, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Documento apresentado para discussão no II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais (9 pp.).
- IPCC, "Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change", Fourth Assessment Report, Geneva: 2007
- Jensen, M. E. (1968). Water consumption by agricultural plants. In T. T. Kozlowski (Ed.), Water deficits and plant growth (pp. 1–22). New York: Academic Press.
- Landau S., Mitchell R.A.C., Barnett V., Colls J.J., Craigon J., Moore K.L and Payne R.W. 2000. A arsimonious, multiple-regression model of wheat yield response to environment. Agricultural and Forest Meteorology, 101:151–166

- Martha C. Anderson , Cornelio A. Zolin, Paulo C. Sentelhas, Christopher R. Hain, Kathryn Semmens M. Tugrul Yilmaz , Feng Gao , Jason A. Otkin , Robert Tetrault. 2015. The Evaporative Stress Index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts. *Remote Sensing of Environment* 174 (2016) 82–99
- Mrutyunjaya, S., Mamata, S., 2011. Drought vulnerability, coping capacity and residual risk: Evidence from Bolangir district in Odisha, India. *Asian Journal of Environmental and Disaster Management*, doi:10.3850/S179324011001027.
- Murthya, C.S., Laxman, B., Sessa Saic, M.V. R., Diwakar, P.G. 2014. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-8, 2014 ISPRS Technical Commission VIII Symposium, 09 – 12 December 2014, Hyderabad, India.
- Rao, N. H., Sarma, P. B., & Chander, S. (1988). A simple dated water production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 13, 25–32.
- Ravindranath, N.H., Sandhya, R., Nitasha, S., Malini, N., Ranjit, G., Ananya, S.R., Sumedha, M., Rakesh, T., Anita, S.,
- Madhishree, M., Niharika, K., Govindasamy, B., 2011. Climate change vulnerability profiles for North East India. *Current Science* 101, pp. 384-394.
- Wilhelmi, V. V., Wilhite, A.D., 2002. Assessing vulnerability to agricultural drought: A Nebraska Case Study. *Natural Hazards* 25, pp. 37-58
- Xiaoqian, L., Wang, Y., Peng, J., Ademola, K.B., Yin, H., 2013, Assessing vulnerability to drought based on exposure, sensitivity and adaptive capacity: A case study in middle inner Mangolia of China. *China Geographical Sciences* 23, pp. 13-25.