

## کاربرد پایش ریسک خشکسالی محصولات دیم در مقیاس زیرحوضه بر بهبود مدیریت خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خرم‌آباد)

حسام ناصری نژاد<sup>۱</sup>، علی محمد آخوند علی<sup>۲</sup>، محمدرضا شریفی<sup>۳\*</sup>، علی حقی زاده<sup>۴</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۰/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۲/۳۱)

### چکیده

مدیریت ریسک خشکسالی، به استراتژی نیاز دارد. انتخاب مقیاس مکانی یکی از وجوه استراتژی است. در تحقیق حاضر پایش خشکسالی در مقیاس زیرحوضه بررسی شده و به دلیل حساسیت بیشتر محصولات دیم نسبت به خشکسالی، ارزیابی در مورد محصولات دیم انجام شده است. به این منظور، با استفاده از شبیه‌ساز SWAT، حوضه آبخیز خرم‌آباد به مساحت ۲۴۸۰ کیلومتر مربع براساس همگنی بافت خاک، کاربری اراضی و ارتفاع، به ۳۱ زیرحوضه تقسیم شد. شاخص اکتشاف خشکسالی RDI، متناسب با سال زراعی منطقه، در مقیاس زمانی ۹ ماهه برای ارزیابی وضعیت خشکسالی کشاورزی طی مدت ۱۳۴۸-۱۳۹۶ در نظر گرفته شد. با استفاده از روش تیسن و نیز ایستگاه‌های هواشناسی موجود در محدوده مطالعه شده، باران و دمای هر یک از زیرحوضه‌ها، تخمین زده شد. همچنین، کاهش نسبی عملکرد محصولات دیم، تحت تأثیر هر یک از شدت‌های مختلف خشکسالی، محاسبه شد. مطالعه حاضر توانست مناطق مختلف حوضه را از نظر ریسک خشکسالی محصولات مختلف با یکدیگر مقایسه کند، به گونه‌ای که نشان داد ریسک تولید محصولات، در هر یک از زیرحوضه‌ها، متفاوت و دارای دامنه ۱۴ تا ۳۰ درصد است. به طوری که میانگین ریسک تولید گندم، جو، نخود و عدس، به ترتیب ۲۱/۲، ۱۸/۸، ۱۷/۴ و ۱۸ درصد به دست آمد. در ضمن، تأثیر شدت خشکسالی بر عملکرد هر یک از محصول‌ها متفاوت بود. به این ترتیب که در خشکسالی متوسط ۵۴-۶۰، ۴۷-۵۵، ۴۶-۵۴، ۴۷-۵۷؛ خشکسالی شدید ۶۳-۷۰، ۵۸-۶۴، ۴۹-۶۰، ۵۱-۶۲ و خشکسالی بسیار شدید ۷۵-۸۲، ۶۹-۷۴، ۵۹-۶۸، ۶۷-۷۴ درصد، سبب کاهش عملکرد پتانسیل محصولات به ترتیب، گندم، جو، نخود و عدس شد.

**کلیدواژه‌ها:** خشکسالی، ریسک، زیرحوضه، کشاورزی دیم، SWAT.

## مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای همانند دیگر بلایای طبیعی است که هر ساله خسارت‌های سنگینی بر بسیاری از کشورها وارد می‌کند و در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی، به‌عنوان پیچیده‌ترین و اما کم‌شناخته‌ترین پدیده به شمار می‌آید و افراد بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱]. در حالی که می‌توان با یک برنامه‌ریزی دقیق، بسیاری از این خسارت‌ها را کاهش داد. این پدیده در واقع شکل معمول اقلیم است [۲] و در تمام مناطق با آب‌وهوای مختلف رخ می‌دهد [۳]. پیامدها و آثار خشکسالی‌ها بر محیط زیست و جوامع انسانی متفاوت است. کشاورزی به دلیل وابستگی به ذخیره رطوبت خاک معمولاً نخستین بخشی است که تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ممکن است آثار خشکسالی در کشاورزی دیم، به دلیل وابستگی به رطوبت خاک به سرعت از بین برود؛ اما در سایر بخش‌ها که به منابع آب‌های سطحی یا زیرزمینی وابسته‌اند، ممکن است سال‌ها طول بکشد. در ایران نیز مانند بسیاری از کشورها نگرش غالب بر فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌ها در مواجهه با خشکسالی، رویکرد مدیریت بحران است. در این رویکرد، با بیشترین هزینه، کمترین نتیجه به دست می‌آید. برای کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی، باید قبل از وقوع حادثه تدابیر لازم اندیشیده شود. بنابراین، ضرورت جایگزین کردن رویکرد مدیریت بحران با رویکرد مدیریت ریسک خشکسالی بیش از پیش احساس می‌شود. معمولاً، واژه‌های ریسک و خطر مترادف تلقی می‌شوند، در حالی که این دو با هم تفاوت دارند [۴]. طبق تعریف سازمان ملل، خطر به حادثه فیزیکی، پدیده یا فعالیت‌های انسانی دارای پتانسیلی که موجب تخریب اموال، آشفته‌گی اقتصادی-اجتماعی و یا زیست‌محیطی شود، گفته می‌شود. ریسک احتمال وقوع پیامدهای مضر یا فقدان‌های ناشی از ارتباط متقابل بین خطر و آسیب‌پذیری سامانه‌هاست. مدیریت ریسک فرایند ارزیابی و طرح استراتژی‌هاست و شامل فعالیت‌های شناسایی، پایش و کاهش تأثیر آن بر یک فعالیت می‌شود. بیشترین مدیریت خشکسالی باید قبل از شروع آن باشد. اقدامات کاهش خطر ممکن است در شکل‌های مختلفی مانند حفاظت از آب، تغییر شیوه‌های اجتماعی و کشاورزی و عرضه اضطراری آب صورت گیرد. این اهداف نه‌تنها در مقیاس‌های زمانی مختلف بلکه در مقیاس‌های مختلف

فضایی استفاده می‌شوند. هدف از مدیریت ریسک خشکسالی، ترویج اقدامات پیشگیرانه‌ای است که آثار رویدادهای خشکسالی را بهبود بخشند و سبب کاهش آسیب‌پذیری اجتماعی شوند. برخی از این اقدامات ممکن است در سراسر کشور اجرا شوند و یا محلی باشند [۵]. یکی از اقدامات، پایش و ارزیابی اثر شدت‌های مختلف خشکسالی بر کاهش عملکرد و ریسک تولید محصولات است. پایش خشکسالی به منظور بررسی وضعیت منطقه از نظر شروع و چگونگی توسعه زمانی و مکانی آن انجام می‌شود. می‌توان با استفاده از نتایج آن، ارزیابی ریسک و کاهش عملکرد محصولات زراعی را فراهم ساخت.

جمشیدی و همکاران (۱۳۸۸) از دو شاخص SPI و RDI برای تحلیل خشکسالی ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک ایران استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شاخص RDI حساسیت بیشتری برای پایش خشکسالی دارد و افزون بر آن، از تأثیر تخریب و تعرق در روند پایش خشکسالی نمی‌توان صرف‌نظر کرد [۶]. بهبهانی و همکاران (۱۳۸۷) ریسک خشکسالی را در استان همدان ارزیابی کردند. آنها برای پایش خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده کردند تا از این راه، زمان، مکان و وسعت مناطقی که مستعد خشکسالی هستند را تعیین کنند. پژوهشگران یادشده میزان ریسک را با توجه به دوره بازگشت خشکسالی کمی کردند [۷]. خلیلی و همکاران (۲۰۱۱) با ارزیابی دو شاخص SPI و RDI در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب ایران به این نتیجه رسیدند که استفاده از آمار تخریب و تعرق دقت و حساسیت تعیین خشکسالی را بیشتر می‌کند. علاوه بر آن، کاربرد شاخص RDI در پایش خشکسالی کشاورزی نتیجه بهتری در پی داشت [۸]. زندی‌لک و همکاران (۱۳۹۳) دوره بازگشت خشکسالی گندم در استان فارس با استفاده از شاخص RDI را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد خشکسالی کشاورزی گندم در دوره بازگشت ۲ و ۵ سال در کل استان فارس بهنجار است؛ اما دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال، شرایط متفاوتی وجود دارد [۹]. آقایان و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از شاخص RDI به کمی‌سازی ریسک خشکسالی و مقایسه آن براساس نوع محصول پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد به‌جز گرگان، در بقیه مناطق ریسک خشکسالی گندم از ریسک

پژوهش آنها نشان داد انتخاب گام زمانی یک‌ماهه برای تمامی شاخص‌های یادشده می‌تواند همراه با خطا باشد. در ضمن، شاخص‌های یادشده در گام زمانی نُه‌ماهه با یکدیگر همبستگی مناسبی دارند و می‌توانند جایگزین یکدیگر باشند [۱۶].

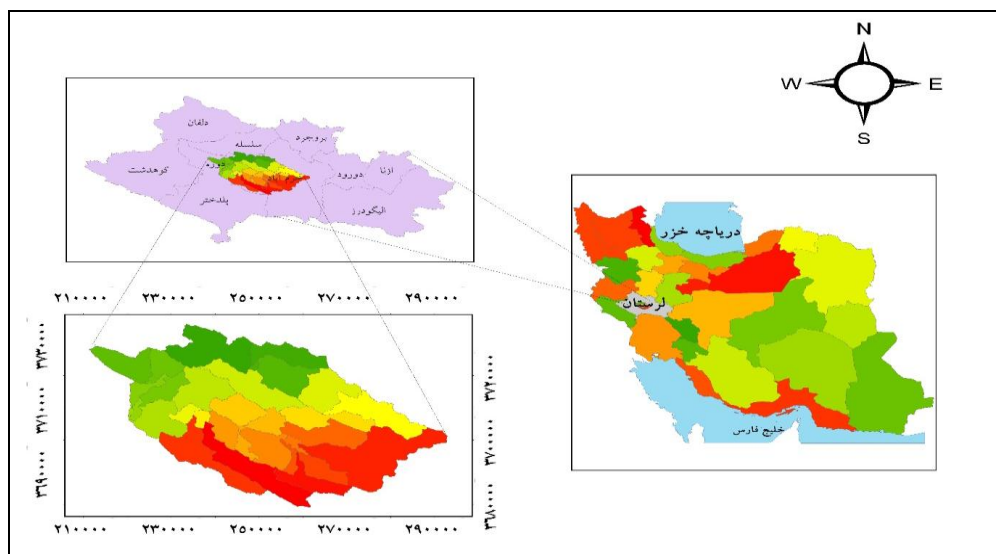
همان‌گونه که ملاحظه شد، مطالعات خشکسالی، معمولاً در مقیاس استانی و یا کشوری انجام شده است. از طرفی، به دلیل توزیع مکانی آب‌وهوایی مختلف در برخی مناطق، به نظر می‌رسد تحلیل خشکسالی، در مناطقی با تنوع آب‌وهوایی زیاد، در مقیاس‌های کوچک‌تر، نظیر زیرحوضه، اهمیت زیادی دارد. از این‌رو، در مطالعه حاضر با هدف کاهش ریسک محصولات دیم ناشی از خشکسالی، طی روشی مبتنی بر برآورد ریسک و تعیین کاهش عملکرد محصولات دیم تحت تأثیر مقادیر مختلف شدت خشکسالی، به پایش خشکسالی در مقیاس زیرحوضه، در حوضه آبخیز خرم‌آباد با تنوع آب‌وهوایی مختلف، شامل آب‌وهوای سرد کوهستانی، معتدل مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و گرم پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز خرم‌آباد با مساحت ۲۴۸۰ کیلومترمربع در موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی، واقع شده است [۱۷]. از نظر شرایط آب‌وهوایی، منطقه متأثر از رژیم آب‌وهوای زاگرس در غرب و جنوب غرب است. همچنین، با داشتن موقعیت خاص جغرافیایی و تأثیرپذیری از نفوذ کم‌فشارهای مدیترانه‌ای و سودانی ویژگی‌های متنوعی دارد. شرایط آب‌وهوایی حوضه مطالعه شده، تابع این دو سیستم بارشی و تأثیر دامنه کوه‌های زاگرس است. از نظر تقسیم‌های آب‌وهوایی، در مقیاس محلی آب‌وهوای سرد کوهستانی، معتدل مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و گرم دارد [۱۸]. همچنین، با داشتن بیش از ۲۵۰ هزار هکتار اراضی زراعی، جزء دشت‌های مهم کشاورزی در استان لرستان است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی در کشور و استان لرستان نشان داده شده است.

خشکسالی جو بیشتر است. در مورد گرگان این امر ناشی از رطوبت بسیار زیاد این منطقه است [۱۰]. حسینی و همکاران (۱۳۹۴) در تحلیل خشکسالی‌های شمال غرب ایران با استفاده از شاخص RDI نشان دادند تمام ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری موجود شدت‌های مختلف خشکسالی را به‌تناوب تجربه کرده‌اند [۱۱]. مساعدی (۱۳۹۵) به تعیین خصوصیات خشکسالی براساس شاخص خشکسالی RDI پرداخت. مساعدی دریافت که تغییراتی در خصوصیات خشکسالی و یا زمان وقوع آن در بعضی از مناطق کشور رخ داده است. این تغییرات در خشکسالی ماهانه و به‌خصوص در ماه‌های فصل بهار مشهود است. علت اصلی این موضوع را می‌توان در زمینه موضوع گرمایش جهانی و تغییر اقلیم دانست [۱۲]. تیساکیریس (۲۰۰۷) ریسک خشکسالی را با توجه به تعریف حاصل ضرب بلیه در آسیب‌پذیری با استفاده از شاخص RDI برای دو محصول انگور و زیتون دیم و آبی محاسبه کرد. وی با استفاده از احتمال رخداد هر یک از شدت‌های خشکسالی و متوسط کاهش عملکرد متناظر آن طبقه، بلیه را کمی کرد. نتایج پژوهش ایشان نشان داد عموماً پاسخ شاخص RDI مشابه شاخص SPI است، ولی شاخص RDI به تغییرات محیطی حساس است و نتایج بهتری ارائه می‌دهد [۱۳]. تیکاس و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از شاخص‌های RDI و SDI تأثیر شرایط آب‌وهوا بر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مقیاس زمانی ۳ تا ۱۲ ماهه را ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بیشترین همبستگی بین RDI ۹ ماهه و SDI ۱۲ ماهه بوده است [۱۴]. پاشیردیس و میشلدیس (۲۰۰۸) خشکسالی را با استفاده از شاخص‌های RDI و SPI در جزیره قبرس ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آنها بیان‌کننده وجود همبستگی زیاد و قابلیت مؤثر این دو شاخص در پایش خشکسالی بود. همچنین، پژوهشگران یادشده نتیجه گرفتند که از این شاخص‌ها می‌توان به همراه سامانه‌های دیگر، برای پیش‌بینی و ارزیابی آثار خشکسالی در بخش‌های مختلف اقتصادی استفاده کرد [۱۵]. وینیت و همکاران (۲۰۱۵) به‌منظور پایش و ارزیابی ویژگی‌های خشکسالی در حوضه رودخانه کن هند، شاخص‌های RDI، بارش استاندارد (SPI)، Z چینی، نمره Z و شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) را با هم مقایسه کردند. نتایج



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در کشور و استان

### داده‌های مورد نیاز مدل SWAT

#### نقشه راقومی ارتفاع (DEM)

دقت تقسیم حوضه به زیرحوضه‌های مختلف تابعی از دقت مکانی نقشه راقومی ارتفاعی استفاده شده است. این نقشه به‌طور زیادی جریان آب سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اولین نقشه مورد نیاز برای اجرای مدل SWAT، نقشه راقومی ارتفاعی است. این نقشه در اندازه‌های ۱۰ متر در ۱۰ متر و در قالب GRID تهیه شده و به مدل معرفی شد (شکل ۲). پارامترهای توپوگرافی مانند درجه شیب، طول شیب و خصوصیات شبکه آبراهه از قبیل شیب آبراهه، طول و عرض از این نقشه به دست می‌آید. در پژوهش حاضر از نقشه راقومی ارتفاع با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری ایران استفاده شده است.

#### نقشه خاک

نقشه خاک، از اساسی‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر خروجی مدل است که شامل اطلاعاتی مانند نوع بافت خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مانند، آب قابل دسترس، هدایت هیدرولیکی، وزن مخصوص ظاهری، محتوای کربن آلی برای هر لایه خاک می‌شود. نقشه بافت خاک راقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از مؤسسه حفاظت خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی تهیه شده است. بر این اساس، شکل ۳ کلاس‌های نفوذپذیری بافت خاک حوضه آبخیز خرم‌آباد شامل خاک‌های با بافت سبک، بافت سبک تا متوسط، بافت متوسط و بافت سنگین می‌شود.

### مدل SWAT

مدل SWAT با استفاده از چرخه هیدرولوژی و فرموله کردن فرایندهای فیزیکی، جریان حوضه‌های آبخیز را برآورد می‌کند [۱۹]. این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی بر جریان آب، رسوب و تعادل مواد شیمیایی در حوضه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده با کاربری‌های اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی‌مدت ارائه شده است. SWAT در مقیاس حوضه است و شبیه‌سازی را در مقیاس زمانی روزانه انجام می‌دهد. بخش اصلی مدل SWAT، هیدرولوژی است. شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضه از دو بخش فاز زمینی و روندیابی تشکیل شده است. فاز زمینی در این چرخه کنترل‌کننده میزان آب، رسوب، عناصر غذایی آبراهه اصلی در هر زیرحوضه و فاز روندیابی شامل حرکت آب و رسوب است و شبیه‌سازی براساس چرخه هیدرولوژی و بر پایه رابطه بیلان آبی انجام می‌شود [۲۰]. ناهمگنی‌های منطقه مطالعاتی با تقسیم حوضه به زیرحوضه بررسی می‌شود. زیرحوضه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU) تقسیم می‌شوند. این واحدها ترکیبات یکسانی از خاک، شیب و کاربری اراضی دارند. مدل SWAT به‌عنوان یک واسطه گرافیکی، به‌منظور تسهیل مدیریت داده‌ها با نرم‌افزار ArcGIS ارتباط داده شده است. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار ArcSWAT نسخه ۲۰۱۲-۲۰۱۹ استفاده شده است.

1. Soil and Water Assessment Tool
2. Hydrology Response Unit

### نقشه کاربری اراضی

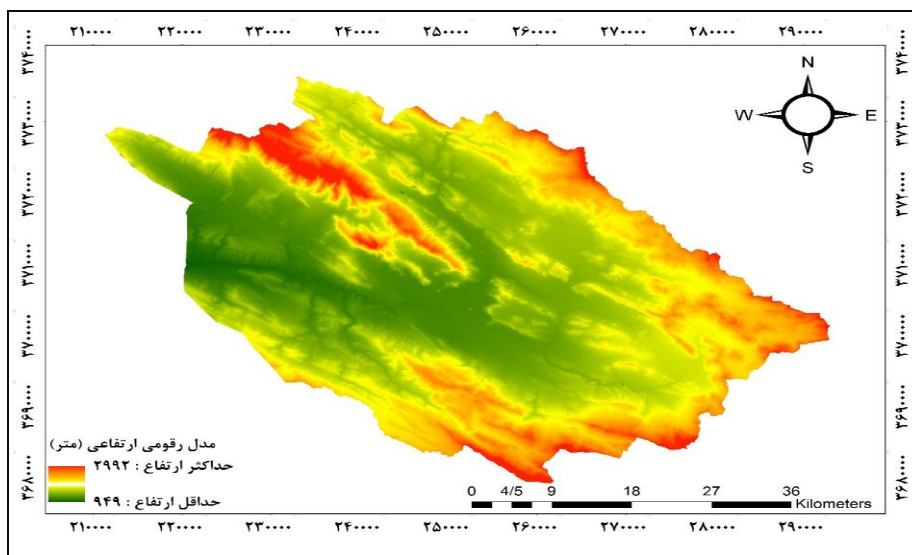
برای معرفی هر کاربری به مدل، باید ۴۱ پارامتر مربوط به آن کاربری در فایل Crop در پایگاه داده‌ای مدل SWAT وارد شود. این پارامترها برای حدود ۱۴۰ پوشش گیاهی مختلف به طور پیش فرض در پایگاه اطلاعاتی مدل قرار داده شده است و کاربر می‌تواند در صورت نبود، این اطلاعات را برای پوشش گیاهی خاصی که در منطقه مطالعاتی مد نظر وجود دارد به این پایگاه اضافه کند. اطلاعات کاربری اراضی این حوضه شکل ۴ در هشت گروه شامل جنگل با تاج پوشش انبوه، جنگل با تاج پوشش متوسط، زراعت، مرتع، مشجر بسته، مرتع باز، مرتع با پوشش طبیعی، منطقه شهری، بیشه‌زار به مدل معرفی شد.

### اطلاعات آب‌وهوایی

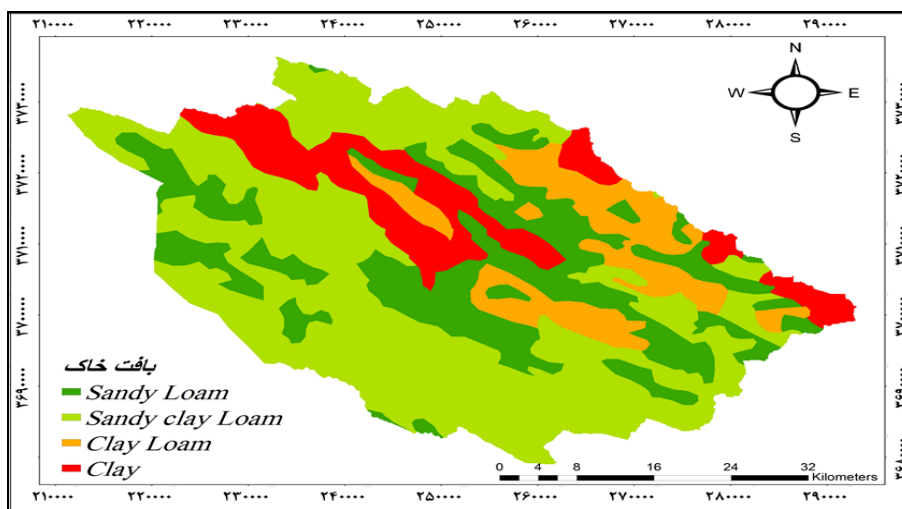
اطلاعات آب‌وهوایی مورد نیاز مطالعه حاضر، باران و دمای ماهانه است. این اطلاعات در قالب شش ایستگاه باران‌سنج، سه ایستگاه سنجش دما و یک ایستگاه سینوپتیک در یک گام زمانی ۴۸ ساله طی سال‌های ۱۳۴۸-۱۳۹۶ تهیه شد. موقعیت ایستگاه‌های مطالعه‌شده در جدول ۱ ارائه شده است.

### اطلاعات زراعی

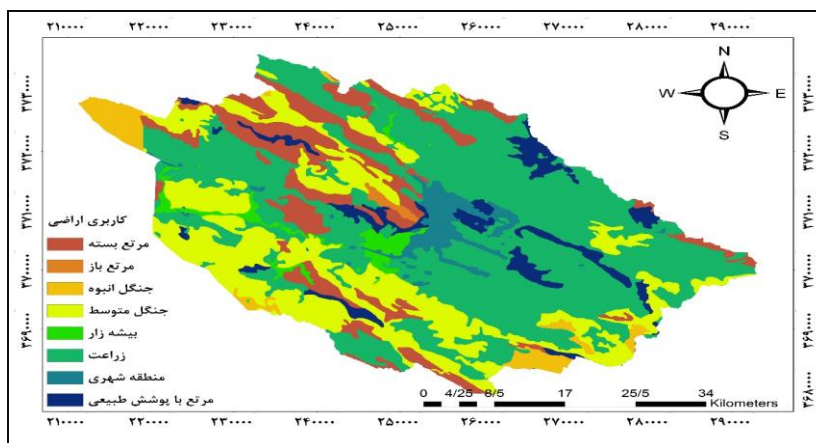
اطلاعات زراعی مورد نیاز مطالعه حاضر، عملکرد محصولات زراعی دیم گندم، جو، نخود و عدس است. عملکرد سالانه این محصولات برای سال‌های ۱۳۴۸-۱۳۹۶ از سازمان جهاد کشاورزی استان لرستان تهیه شد.



شکل ۲. نقشه مدل رقمی ارتفاع حوضه آبخیز خرم‌آباد



شکل ۳. نقشه بافت خاک حوضه آبخیز خرم‌آباد



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز خرم آباد

### شاخص RDI

روش محاسبه شاخص به این شرح است که ابتدا با استفاده از رابطه ۱ برای هر سال (i) از دوره آماری مطالعه شده، مقداری با عنوان  $\alpha_0$  محاسبه می شود [۲۱].

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad (1)$$

P مقدار بارندگی و ET تبخیر و تعرق پتانسیل ماه J ام از سال i ام برحسب میلی متر است. تورنت وایت، روش پیشنهاد شده برای محاسبه تبخیر و تعرق در این شاخص است. گام بعدی، تعیین شاخصی با عنوان RDI نرمال برای هر سال است که از رابطه ۲ محاسبه خواهد شد:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_0^{(i)}}{\alpha_0} - 1 \quad (2)$$

$\bar{\alpha}_0$  میانگین حسابی اعداد  $\alpha_0$  هر سال است. برای محاسبه شاخص استاندارد شده از مقادیر سالانه  $\alpha_0$  لگاریتم گرفته که عددی با عنوان  $y_i$  به دست خواهد آمد. سپس، میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد، محاسبه شده و به ترتیب  $\bar{y}_k$  و  $\sigma_{yk}$  نامیده می شوند. در نهایت، شاخص استاندارد شده هر سال به کمک رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\sigma_{yk}} \quad (3)$$

در نهایت، اعداد به دست آمده از این شاخص براساس جدول ۲ وضعیت وجود خشکسالی یا ترسالی را مشخص خواهد کرد.

### ریسک خشکسالی

برای محاسبه ریسک خشکسالی کشاورزی، از حاصل ضرب بلیه در آسیب پذیری استفاده شده است. بنابراین، برای کمی کردن ریسک، ابتدا باید مؤلفه های آن، یعنی بلیه و آسیب پذیری کمی شوند. به این دلیل، برای بیان کمی این پدیده با توجه به اطلاعات موجود و کارایی شاخص و همچنین مطالعات گذشته، شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI) انتخاب شد. تا با استفاده از آن، اطلاعات لازم درباره احتمال وقوع خشکسالی در شدت های مختلف فراهم آید.

### پایش خشکسالی

به منظور کمی سازی بلیه، با استفاده از داده های بارش و میانگین دمای ماهانه ایستگاه های جدول ۱ به محاسبه شاخص اکتشاف خشکسالی پرداخته شد. با توجه به اینکه یکی از اهداف پژوهش حاضر، محاسبه ریسک تنش رطوبتی ناشی از خشکسالی در گیاهان زراعی است، بررسی خشکسالی ها در دوره کشت اهمیت بیشتری دارد و سبب کاهش عدم قطعیت های ممکن می شود. دوره ۹ ماه با توجه به اینکه فصل زراعی کشت های غالب در منطقه (گندم و جو) معمولاً از اوایل مهر تا آخر خرداد است، انتخاب شد. برای پایش خشکسالی ابتدا میانگین بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه برای دوره آماری ۴۸ ساله (۱۳۴۸-۱۳۹۶) محاسبه شد. در گام بعدی، با استفاده از شاخص اکتشاف خشکسالی RDI، شدت های مختلف خشکسالی در مقیاس زمانی ۹ ماهه برای تمامی زیرحوضه ها استخراج شد. تعمیم نتایج برای زیرحوضه ها براساس قرار گرفتن هر زیرحوضه در شبکه بندی تیسن صورت گرفته است.

جدول ۱. موقعیت و نوع ایستگاه‌های استفاده شده (آب منطقه‌ای لرستان)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نوع ایستگاه
خرم‌آباد	۲۵۵۴۸۴	۳۷۱۱۶۱۰	۱۲۸۷	سینوپتیک
چم انجیر	۲۴۴۲۲۷	۳۷۰۳۴۳۲	۱۱۴۰	باران سنج
هرو دهنو	۲۹۳۹۳۲	۳۷۰۹۱۴۹	۱۸۰۰	باران سنج
هرو کاکارضا	۲۴۵۸۴۶	۳۷۳۴۶۸۰	۱۵۵۰	باران سنج
سراب صیدعلی	۲۴۱۴۰۹	۳۷۴۲۰۳۴	۱۵۳۰	باران سنج
کهمان	۲۴۵۸۴۲	۳۷۷۵۵۸۰	۱۷۲۰	باران سنج

جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص خشکسالی RDI

وضعیت طبقه	ترسالی	نرمال	خشکسالی
متوسط	+۱ تا +۱/۵		-۱ تا -۱/۵
شدید	+۱/۵ تا +۲	-۱ تا +۱	-۲ تا -۱/۵
بسیار شدید	مساوی یا بیشتر از +۲		مساوی یا کمتر از -۲

پتانسیل تولید، هدف مطلوب و مد نظر است؛ مفهوم ریسک خشکسالی کشاورزی در مطالعه حاضر، میزان انحراف از عملکرد پتانسیل را نشان می‌دهد که بر اثر خشکسالی به وجود آمده است. معمولاً ریسک به‌عنوان یک تابع وابسته به بلیه و آسیب‌پذیری به‌صورت رابطه ۵ بیان می‌شود [۲۳].

(۵) انحراف از عملکرد پتانسیل \* احتمال وقوع

#### ضریب همبستگی پیرسون

ضریب همبستگی پیرسون از رابطه ۶ محاسبه می‌شود [۲۴].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (6)$$

ضریب همبستگی بین عملکرد نسبی محصولات و مقادیر شدت خشکسالی در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار EasyFit محاسبه شد.

#### یافته‌ها

با اجرای مدل SWAT، حوضه آبخیز خرم‌آباد براساس حد آستانه‌های ۲۰ درصد برای کاربری اراضی، ۲۰ درصد برای خاک و ۲۰ درصد برای شیب به ۳۱ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۵). زیرحوضه ۱۰ با مساحت ۲۴۲/۶۵ هکتار دارای کمترین وسعت و زیرحوضه ۲۹ با مساحت ۲۹۱۹/۷۵ هکتار دارای بیشترین وسعت در میان ۳۱ زیرحوضه آبخیز خرم‌آباد هستند.

#### کمی کردن آسیب‌پذیری

با توجه به اینکه آثار خشکسالی در نهایت روی عملکرد محصول تأثیرگذار خواهد بود، بنابراین عملکرد محصول می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی محصولات در برابر خشکسالی باشد؛ اما باید توجه داشت که عوامل دیگری مانند آفات و سرمازدگی نیز می‌توانند بر عملکرد محصولات زراعی تأثیرگذار باشند. بنابراین، باید اثر تنش ناشی از خشکسالی فقط روی عملکرد محصول بررسی شود. با توجه به اینکه تنش آبی ناشی از کاهش بارندگی، سبب می‌شود تبخیر و تعرق واقعی از تبخیر و تعرق استاندارد کمتر شود، نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق استاندارد، بیان‌کننده میزان تنش آبی است. رابطه ۴ که یک رابطه خطی از تابع تولید محصول - آب برای برآورد کاهش عملکرد محصول تحت تأثیر تنش آبی است، توسط دورنبوس و کاسام معرفی شده است [۲۲].

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (4)$$

که در آن  $Y_m$  و  $Y_a$  عملکرد واقعی و حداکثر محصول برحسب تن بر هکتار،  $ET_m$  و  $ET_a$  به ترتیب تبخیر و تعرق حداکثر و واقعی برحسب میلی‌متر هستند.  $K_y$  ضریب بین کاهش نسبی عملکرد محصول بر اثر تبخیر و تعرق است.

#### محاسبه ریسک خشکسالی

ریسک به مفهوم انحراف از نیل به هدف مطلوب در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در کشاورزی دستیابی به

## پایش خشکسالی

با استفاده از داده‌های هواشناسی (باران و دما) ایستگاه‌های جدول ۱، شاخص RDI برای تعیین شدت خشکسالی برای شش ایستگاه و میانگین ایستگاه‌ها برای کل حوضه طی دوره آماری ۴۸ ساله محاسبه شد. با استفاده از جدول طبقه‌بندی شاخص RDI، مقدار کمی این شاخص به مقادیر کیفی شدت خشکسالی تبدیل شد (جدول ۲). نتایج کلی پایش خشکسالی در جدول ۳ ارائه شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد دو ایستگاه چمن‌انجیر و دهنو در سال‌های ۱۳۴۸-۱۳۴۹ و ۱۳۵۵-۱۳۵۶ خشکسالی متوسط را تجربه کرده‌اند. این در حالی است که در سایر ایستگاه‌ها در دهه‌های ۱۳۴۰ و ۱۳۵۰ هیچ‌گونه خشکسالی مشاهده نشده و وضعیت نرمال است. در بیشتر ایستگاه‌های مطالعه شده به‌جز ایستگاه دهنو سال ۱۳۷۷-۱۳۷۸ خشکسالی فراگیر بوده است، به‌طوری که بیشتر ایستگاه‌ها در این سال با خشکسالی متوسط روبه‌رو بوده‌اند. از نتایج جدول ۳ می‌توان دریافت که با توجه به تنوع

اقلیم و توزیع غیریکنواخت بارش در نقاط مختلف حوضه مطالعاتی، خشک‌ترین سال زراعی در تمام ایستگاه‌ها یکسان نیست. وجود خشکسالی متوسط سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۸، ایستگاه‌های دوآب، سراب صیدعلی و دهنو و همچنین خشکسالی متوسط سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ در ایستگاه چمن‌انجیر و عدم مشاهده هرگونه وضعیت خشکسالی در سال‌های یادشده در سایر ایستگاه‌های مطالعه‌شده تأییدکننده تنوع اقلیمی در قسمت‌های مختلف این حوضه است. براساس نتایج به‌دست‌آمده شدیدترین خشکسالی منطقه در سال‌های زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ و ۱۳۶۲-۱۳۶۳ رخ داده است. به‌گونه‌ای که در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ سه ایستگاه خرم‌آباد، چمن‌انجیر و دوآب ویسیان خشکسالی بسیار شدیدی را تجربه کرده‌اند؛ اما نکته مهم، وجود خشکسالی بسیار شدید و دامنه‌دار در ایستگاه‌های دوآب ویسیان، سراب صیدعلی و دهنو است. ایستگاه‌های یادشده دو سال پیاپی ۱۳۶۲-۱۳۶۳ و ۱۳۶۳-۱۳۶۴ خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده‌اند.

جدول ۳. نتایج بررسی خشکسالی طی دوره آماری ۱۳۴۸-۱۳۹۶ در هر ایستگاه و کل حوضه

نام ایستگاه	زیرحوضه‌های تحت پوشش	شدت خشکسالی	سال‌های مواجهه با خشکسالی
خرم‌آباد	۰٫۲۹، ۰٫۲۷، ۰٫۲۵، ۰٫۲۴، ۰٫۲۰، ۰٫۱۸، ۰٫۱۴، ۰٫۱۳	متوسط	۱۳۴۹-۱۳۵۰، ۱۳۷۷-۱۳۷۷، ۱۳۹۱-۱۳۹۲، ۱۳۹۳-۱۳۹۴
		شدید	۱۳۶۹-۱۳۷۰، ۱۳۸۷-۱۳۸۸
		بسیار شدید	۹۱-۹۰، ۷۹-۷۸
چمن‌انجیر	۰٫۳۱، ۰٫۲۸، ۰٫۲۶، ۰٫۲۳، ۰٫۲۲، ۰٫۲۱	متوسط	۱۳۷۰-۱۳۷۰، ۱۳۵۵-۱۳۵۶، ۱۳۵۱-۱۳۵۲، ۱۳۴۸-۱۳۴۹
		شدید	۱۳۸۶-۱۳۸۷
		بسیار شدید	۱۳۷۸-۱۳۷۹
دوآب ویسیان	۰٫۱۱، ۰٫۱۰، ۰٫۰۹، ۰٫۰۷، ۰٫۰۶، ۰٫۰۵	متوسط	۱۳۷۸-۱۳۷۸، ۱۳۷۹-۱۳۷۹
		شدید	۱۳۷۸-۱۳۷۸
		بسیار شدید	۱۳۷۸-۱۳۷۸، ۱۳۶۳-۱۳۶۳، ۱۳۶۴-۱۳۶۴، ۱۳۶۲-۱۳۶۲
سراب صیدعلی	۱	متوسط	۱۳۸۶-۱۳۸۷، ۱۳۷۸-۱۳۷۸، ۱۳۷۹-۱۳۷۹، ۱۳۷۷-۱۳۷۸، ۱۳۶۱-۱۳۶۱
		بسیار شدید	۱۳۶۳-۱۳۶۳، ۱۳۶۴-۱۳۶۴
		متوسط	۱۳۸۶-۱۳۸۶، ۱۳۸۷-۱۳۸۷، ۱۳۵۵-۱۳۵۶، ۱۳۴۸-۱۳۴۹
دهنو	۱۶	شدید	۱۳۷۸-۱۳۷۸، ۱۳۶۹-۱۳۷۰، ۱۳۶۵-۱۳۶۶
		بسیار شدید	۱۳۶۳-۱۳۶۳، ۱۳۶۴-۱۳۶۴
		متوسط	۱۳۹۰-۱۳۹۰، ۱۳۸۸-۱۳۸۸، ۱۳۶۹-۱۳۷۰
کل حوضه	۱ تا ۳۱	متوسط	۱۳۸۷-۱۳۸۷، ۱۳۷۸-۱۳۷۸، ۱۳۷۹-۱۳۷۹، ۱۳۷۷-۱۳۷۷، ۱۳۶۲-۱۳۶۲
		شدید	۱۳۶۳-۱۳۶۳، ۱۳۵۵-۱۳۵۶



متناسب بودن مقادیر عملکرد محصول با تغییرات شاخص خشکسالی، می‌توان دریافت که شاخص RDI استفاده‌شده برای پایش خشکسالی محدوده مطالعه‌شده، مناسب است.

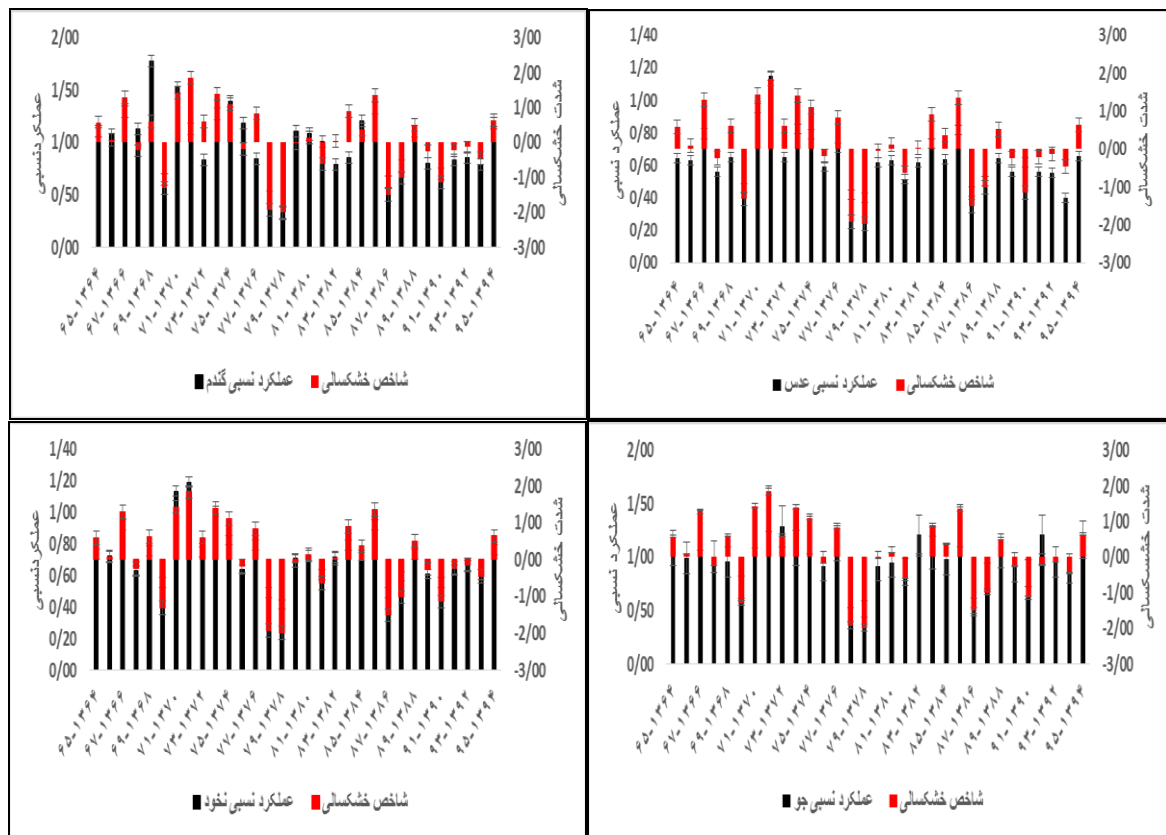
**آزمون نکویی برازش و تابع توزیع احتمال بهینه**  
با استفاده از آزمون نکویی برازش کولموگروف-اسمیرنوف در سطوح اطمینان مختلف، هر یک از سری‌های زمانی مقادیر شاخص RDI که نشان‌دهنده شدت‌های مختلف خشکسالی هستند، به توابع توزیع احتمالاتی مختلف برازش داده شدند. با مشخص شدن تابع توزیع احتمال بهینه، تحلیل فراوانی و بررسی احتمال وقوع هر یک از مقادیر آستانه صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون در جدول ۵ قابل مشاهده است.

**همبستگی بین عملکرد نسبی و شاخص خشکسالی**  
جدول ۴ همبستگی شاخص RDI و عملکرد نسبی گندم، جو، نخود و عدس را به ترتیب ۰/۸، ۰/۹، ۰/۹۲ و ۰/۸۸ نشان می‌دهد. مقادیر یادشده بیان‌کننده همبستگی مثبت و درخور توجه بین شاخص RDI و عملکرد نسبی محصولات زراعی یادشده هستند.

**تغییرات شاخص RDI و عملکرد نسبی محصولات**  
شکل ۵ تغییرات عملکرد چهار محصول گندم، جو، نخود و عدس را نسبت به مقادیر شاخص خشکسالی نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، به ازای مقادیر بیشتر شاخص خشکسالی (ترسالی)، عملکرد محصول افزایش و در مقادیر کمتر شاخص یادشده (خشکسالی)، عملکرد محصولات یادشده، کاهش می‌یابد. با توجه به

جدول ۴. نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین عملکرد نسبی محصولات زراعی دیم و شاخص RDI

نام محصول	گندم	جو	نخود	عدس
همبستگی	۰/۸	۰/۹	۰/۹۲	۰/۸۸



شکل ۵. تغییرات عملکرد نسبی محصولات زراعی دیم در مقابل شاخص شدت خشکسالی RDI

جدول ۵. احتمال وقوع شدت‌های مختلف خشکسالی

نام ایستگاه	احتمال وقوع خشکسالی در شدت			p-value	در سطوح آماری مختلف				
	متوسط	شدید	بسیار شدید		۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲
خرم‌آباد	۰/۲۰	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵
چم‌انجیر	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۹۸	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵
دوآب و بیسان	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵
سراب صیدعلی	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵
دهنو	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۹۷	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵
کل حوضه	۰/۱۰	۰/۰۷	-	۰/۹۸	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵

## خشکسالی و آسیب‌پذیری محصولات زراعی

پس از مشخص شدن احتمال وقوع خشکسالی، با توجه به مفهوم ریسک خشکسالی، انحراف از عملکرد پتانسیل تولید محصول برای محصولات زراعی در منطقه متناظر با درجات مختلف شدت خشکسالی، به تفکیک زیرحوضه‌ها محاسبه شد. ریسک خشکسالی محصول با حاصل ضرب احتمال وقوع خشکسالی هر طبقه با کاهش عملکرد مورد انتظار طبقه متناظر آن و جمع مقادیر به دست آمده از همه طبقات برای هر محصول به دست آمد. در جدول ۶ نتایج ریسک خشکسالی محصول به تفکیک زیرحوضه ارائه شده است. دو محصول گندم و جو، مقاومت‌های مختلفی از خود در برابر تنش ناشی از خشکسالی نشان دادند. در تمام زیرحوضه‌ها کاهش عملکرد گندم در سطوح مختلف شدت خشکسالی، بیشتر از محصول جو بود. کاهش عملکرد نخود و عدس در شدت‌های مختلف خشکسالی کمتر از دو محصول گندم و جو است. کمتر بودن کاهش عملکرد این دو محصول نسبت به گندم و جو به دلیل متفاوت بودن تاریخ کشت این دو محصول است. با توجه به کشت این دو محصول در اواخر اسفند و اوایل فروردین، می‌توان نتیجه گرفت که کشت محصولات یادشده در ماه‌های پرباران صورت گرفته که این امر تنش ناشی از وقوع پدیده خشکسالی را به حداقل رسانده است. به‌طور کلی، ریسک تولید محصولات زراعی در این حوضه از ریسک تولید کمتر به ریسک بیشتر به ترتیب نخود، عدس، جو و گندم است. نتایج به دست آمده بیان می‌کند که زیرحوضه‌هایی که از نظر شرایط بارش و دما یکسان هستند، ریسک تولید برابر داشته‌اند. با توجه به دو فاکتور کاهش عملکرد محصولات زراعی و تعیین شدت‌های مختلف خشکسالی، می‌توان ریسک خشکسالی را اولویت‌بندی کرد و

براساس آن، در کاهش ریسک کوشید. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که مقادیر ریسک تولید محصولات زراعی در این منطقه مطالعاتی شامل، گندم، جو، نخود و عدس در بازه ۱۴ تا ۳۰ درصد است. با افزایش احتمال وقوع مقادیر شدت‌های مختلف خشکسالی، از پتانسیل عملکرد محصول کاسته شده است. در ضمن، مشخص شد که شدت خشکسالی تأثیرات متفاوتی بر عملکرد پتانسیل محصول بر جای گذاشته است. براساس نتایج جدول ۶ خشکسالی متوسط ۵۴-۶۰، ۴۷-۵۵، ۴۶-۵۴؛ خشکسالی شدید ۶۳-۷۰، ۵۸-۶۴، ۴۹-۶۰، ۵۱-۶۲ و خشکسالی بسیار شدید ۷۵-۸۲، ۶۹-۷۴، ۵۹-۶۸، ۶۷-۷۴ درصد انحراف از عملکرد پتانسیل محصولات، گندم، جو، نخود و عدس را به دنبال داشته است. عملکرد پتانسیل گندم و جو با تغییر شدت خشکسالی از متوسط به شدید، ۱۰ درصد و از شدید به بسیار شدید، گندم ۱۲ درصد و جو ۱۰ درصد کاهش داشته است. همچنین، در دو محصول نخود و عدس با تغییر شدت خشکسالی از متوسط به شدید، ۶ درصد و از شدید به بسیار شدید، نخود ۸ درصد و عدس ۱۱ درصد انحراف از عملکرد پتانسیل مشاهده شده است. کاهش عملکرد بیشتر عدس از نخود به دلیل متفاوت بودن تاریخ کشت دو محصول یادشده در این حوضه است. عدس به دلیل کشت در اواخر بهار و عدم دریافت نزولات جوئی، کاهش عملکرد بیشتری داشته است. نقشه‌های ریسک خشکسالی نشان داد به‌طور کلی مناطق شمال غرب و جنوب غربی حوضه از نظر خطر ریسک خشکسالی مستعدترند. همچنین، مناطق شمال و شمال شرق حوضه به دلیل دریافت سهم بیشتری از نزولات جوئی و کاهش دمای ناشی از ارتفاع بیشتر از سطح دریا، ریسک تولید کمتری دارند.

جدول ۶. آسیب پذیری و انحراف از عملکرد پتانسیل محصولات زراعی شهرستان تحت تأثیر خشکسالی در شدت‌های مختلف

شماره	زیرحوضه	احتمال وقوع خشکسالی		کاهش عملکرد گندم در خشکسالی (۱)		کاهش عملکرد جو در خشکسالی (۱)		کاهش عملکرد نخود در خشکسالی (۱)		کاهش عملکرد عس در خشکسالی (۱)		ریسک تولید محصول (۱)					
		شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	نخود	عس			
۱		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۵/۷	۱۶/۷۵				
۲		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۳		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۴		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۵		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۵				
۶		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۵				
۷		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۵				
۸		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۵				
۹		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۵				
۱۰		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۵				
۱۱		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۵				
۱۲		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۱۳		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۱۴		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۱۵		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۱۶		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۱۴	۱۴/۲۵				
زیرحوضه		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
مساحت (Km <sup>2</sup> )		۱۷۰	۸۴	۴	۱۰۶	۸۹	۵۳	۵۳	۲۱	۱۱	۲	۹۶	۱۱۹	۱۱۱	۲۲	۱۲۹	

ادامه جدول ۶

شماره	زیرحوضه	احتمال وقوع خشکسالی		کاهش عملکرد گندم در خشکسالی (۱)		کاهش عملکرد جو در خشکسالی (۱)		کاهش عملکرد نخود در خشکسالی (۱)		کاهش عملکرد عس در خشکسالی (۱)		ریسک تولید محصول (۱)					
		شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	نخود	عس			
۱۷		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۱۸		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۱۹		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۲۰		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۲۱		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۲۲		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۲۳		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۲۴		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۲۵		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۲۶		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۲۷		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۲۸		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۲۹		۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۲۴	۲۶				
۳۰		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
۳۱		۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۶	۱۴	۱۴/۲۵				
زیرحوضه		۱۷	۱۶	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱
مساحت (Km <sup>2</sup> )		۹۲	۷۷	۴۴	۷۷	۴۴	۲۲	۲۲	۹۲	۵۰	۱۳	۱۷	۵۴	۱۴۸	۲۹۱	۷۲	۱۵۷

Piedmont Physiographic Region of Maryland. American Society of Agricultural Engineers. 2004; 47:1523-1538.

- [6]. Jamshidi h, Khalili A, Kamkar A, Zandeparsa sh. Check and compare the indicators of drought spi and RDI at the Stations of the selected country. The second national conference on the effects of drought and strategies to manage it. Research center of Agriculture and Natural Resources, Isfahan, Iran: 2009.
- [7]. Behbahani M. Agricultura of drought risk management for wheat. third conference of Iran Water Resources Management: 2008.
- [8]. Khalili D, Farnoud T, Jamshidi H, KamgarHaghighi AA, Zand-Parsa S. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. Water Resour Manage. 2011; 25 (2):1737-1757.
- [9]. Zandiyalak H, Bustani F. Evaluation of the Agricultural Drought Period in Fars province using RDI Index. Journal of Water Resources Engineering. 2015; 7 (3): 200-214.
- [10]. Aghayan a, Kamali Gh, Hojaam S. Quantitative risk assessment of agricultural drought in several climates of the country. Clinical Research Journal. 2016; 6 (21): 150 – 164.
- [11]. Hosseini B, Dein pazhoh S, Nikbakht j. Analysis of drought in the north west of Iran with this technique the exploration of drought. Journal of soil and water. 2015; 29 (2): 295-310.
- [12]. Mosaedi A, Mohammadi moghadam S, Kavakebi gh. Determine the characteristics of drought based on the index identified drought, RDI, and review its changes in the regions and different time periods. Journal of research of soil and water conservation. 2016; 23 (6): 140-154.
- [13]. Tsakiris, G, Pangalou D, Vangelis H. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. European Water. 2005; 9 (10): 3-11
- [14]. Tigkas D, Vangelis H, Tsakiris G, Drought and climate change impact on streamflow. Science total. 2012; 440: 33-41.
- [15]. Pashiardis S, Michalides S. Implementation of the standardized precipitation index (SPI) and thereconnaissance drought index (RDI) for regional drought assessment: A case study for Cyprus. European Water. 2012; 23:57-65.
- [16]. Vinit K, Rajendra P, Manoj K, Byun H. Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics. Ken. 2015.

## نتیجه گیری

توزیع غیریکنواخت بارش و دما در نقاط مختلف حوضه، سبب تفاوت در شدت خشکسالی آنها می شود. از این رو، ریسک خشکسالی در زیرحوضه ها و در نتیجه ارزیابی آن، به ارتقای مدیریت منابع آب، در مقابله با خشکسالی، منجر خواهد شد. به این ترتیب که می توان با پیشنهاد مناطق منتخب، از نظر کمتر بودن ریسک تولید، کاشت محصولات دیم در مناطق یادشده را جایگزین محصولات آبی کرد. ارزیابی یادشده توانست مناطق مختلف حوضه را از نظر محصولات با یکدیگر مقایسه کند. به طوری که نشان داد مناطق شمال غرب و جنوب غربی حوضه ریسک ناشی از خشکسالی بیشتری دارند. در مقابل، مناطق شمال و شمال شرق حوضه به دلیل دریافت سهم بیشتری از نزولات جوی و نیز ارتفاع زیاد از سطح دریا، ریسک کمتری دارند. اختلاف ریسک تولید محصولات متفاوت در زیرحوضه ها، بین ۱۴ تا ۳۰ درصد است. به طوری که میانگین ریسک تولید محصولات دیم گندم، جو، نخود و عدس، به ترتیب ۲/۲، ۱۸/۸، ۱۷/۴ و ۱۸ درصد محاسبه شد. همچنین طی ارزیابی یادشده، امکان محاسبه درصد کاهش عملکرد محصولات در شدت های مختلف خشکسالی فراهم خواهد بود. به این ترتیب که در خشکسالی متوسط، ۵۴-۶۰، ۴۷-۵۵، ۴۶-۵۴، ۴۷-۵۷؛ خشکسالی شدید ۶۳-۷۰، ۵۸-۶۴، ۴۹-۶۰، ۵۱-۶۲ و خشکسالی بسیار شدید ۷۵-۸۲، ۶۹-۷۴، ۵۹-۶۸، ۶۷-۷۴ درصد کاهش عملکرد پتانسیل محصولات به ترتیب، گندم، جو، نخود و عدس به دست آمد.

## منابع

- [1]. Wilhite D, Drought a Global Assessment Vols. 1 and 2. New York USA: 2000.
- [2]. Mishra A.K, Singh V.P. A review drought concepts. Journal of Hydrology. 2010; 391(1): 202-216.
- [3]. Habibi A. Applied Safety and Performance Indicators of Industry. 1 nd. Tehran Tech Publications: 2004.
- [4]. Chu P.S, Nash A.J, Porter F.Y. Diagnostic studies of two contrasting rainfall episodes in Hawaii: Dry 1981 and wet 1982. Journal of climate. 1993; 6 (7): 1457-1462.
- [5]. Chu T.W, Shirmohammadi A, Montas H, Sadeghi A. Evaluation of the SWAT model's sediment and nutrient component in the

- [17]. Semi-detailed hydrogeological studies of Khorramabad plain aquifers. Lorestan Regional Water Company. 2003.
- [18]. Lashkarei H. Pattern synoptic of the rain extreme south west of iran. Ph. D. thesis. university of Tarbiat modarres. 1997.
- [19]. Demirel M. C, Venancio A, Kahya E. Flow forecast by SWAT model and ANN in Pracana basin Portugal. *Advances in Engineering Software*. 2009; 40, 467-473.
- [20]. Neitsch S.L, Arnold J.G, Kiniry J.R, Williams J.R, King K.W. SWAT theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas AgriLife Research, Texas Water Resources Institute Technical Report No.2011; 406 - 618.
- [21]. Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*. 2008; 21: 821-833.
- [22]. Doorenbos j, Kasam A. Yeld response to water. *FAO Irrigation and Drainage Papers*. 1979; No 33.
- [23]. Tsakiris G, Vangelis H. Establishing a droughtindex incorporating evaportranspiration. *European Water*. 2005; 9 (10): 3-11.
- [24]. Mahdavei m, Dastoranei J, *Statistical methods in water resources*. Publications of University of Tehran. 2016.
- [25]. Lawson M, Reiss A, Phillips R, Livingston K. Nebraska droughts. A study of their past chronological and spatial extent with implications for the future. 1979.