

## بررسی پدیده خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص درصد نرمال در استان کرمان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

### آزاده اربابی سبزواری\*

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

### طوبی امیر عضدی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

### مرضیه موغلی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

### میترا بیات

کارشناسی ارشد اقلیم هیدرولوژی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۱۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۱۰/۳۰

### چکیده

خشکسالی یکی از پدیده‌های اقلیمی است که در پهنه وسیعی از کشور ایران به شکل‌های متفاوت قابل مشاهده است و یا در آینده بروز خواهد کرد. این پدیده به شکل‌های متفاوت سبب عدم تعادل طبیعی در مقیاس‌های متفاوت خواهد شد که پیشرفت آن بطئی و موزیانه بوده و دارای آثار ویرانگر می‌باشد. استان کرمان به واسطه موقعیت مکانی خود شاهد وقوع خشکسالی‌های متوالی می‌باشد به طوری که طول دوران خشکسالی به مراتب بیشتر از طول دوران ترسالی و از طرف دیگر شدت سال‌های تر بیشتر از شدت سال‌های خشک می‌باشد. مطالعات اقلیمی منطقه مبتنی بر داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی در طول سال‌های (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و با انتخاب ایستگاه‌های کرمان، انار، بافت، بم، رفسنجان، شهر بابک، سیرجان، کهنوج، راین، چهار فرسخ شهداد و لاله زار می‌باشد، نتایج مطالعات با تاکید بر دو ایستگاه کرمان و سیرجان است و سعی بر این بوده است که پراکندگی ایستگاه‌ها در تمام محدوده مطالعاتی قرار گرفته باشد، به علت نوسانات شدید بارش و عناصر جوی در کرمان و به دلیل تأثیر پذیری شرایط طبیعی منطقه از وضعیت جوی حاکم از میانگین بارش برای شاخص  $z$  نرمال استفاده شده و با توجه به شکل شاخص  $z$  نرمال بارش مشاهده می‌شود که در برخی سال‌ها تنها یک وضعیت اقلیمی قابل تشخیص است و همچنین بدلیل بالا بودن ضریب تغییرات بارندگی سالانه در منطقه جنوب شرق کرمان در نتیجه تغییرات شدید سالانه جریانات از ویژگی‌های منطقه است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که بیش از ۸۰ درصد بارش سالانه منطقه مورد مطالعه منطقه زمستان و پاییز است که بیش از ۶۰ درصد از آن متعلق به زمستان است، توزیع مکانی بارش در منطقه یکنواخت نیست.

واژگان کلیدی: خشکسالی، منابع آب، شاخص  $z$  نرمال، دشت کرمان.

## مقدمه

آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی بخش وسیعی از سرزمین‌های داخلی و کناره‌های جنوبی و شرقی ایران را پوشش داده است، این نواحی بیابانی و صحراها حدود ۴/۱ مساحت ایران را تشکیل می‌دهند. همه مناطق دنیا ممکن است هر از گاهی اسیر پدیده خشکسالی شوند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی به طور نامنظم و تصادفی سامانه‌های مختلف آب و هوایی تحت تاثیر قرار می‌گیرند، بیشتر مشاهده می‌شود (رضیبتی و همکاران، ۱۳۸۲)، مشخصه اصلی پیدایش خشکسالی هواشناسی، کاهش بارندگی به پایین‌تر از حد نرمال (میانگین دراز مدت) است. کاهش رطوبت خاک و کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینی از پیامدهای بعدی کاهش بارندگی است، استان کرمان به واسطه موقعیت مکانی خود شاهد وقوع خشکسالی‌های متوالی می‌باشد به طوری که طول دوران خشکسالی به مراتب بیشتر از طول دوران ترسالی و از طرف دیگر شدت سال‌های تر بیشتر از شدت سال‌های خشک می‌باشد و در کاهش تولیدات کشاورزی و آب و افزایش بیابانزائی و از بین رفتن مراتع و پوشش گیاهی طبیعی موثر می‌باشد. محدودیت شدید منابع آب در استان مورد نظر افزایش و به تبع آن افزایش تقاضا برای آب از یک سو و وقوع خشکسالی با فراوانی بیشتر و در دوره طولانی‌تر از سوی دیگر سبب شده است که مشکل کم آبی به شکلی بسیار جدی استان را تهدید نماید. تعیین ویژگی‌های خشکسالی یا ترسالی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برنامه ریزی‌های محیطی و اقتصادی به ویژه برنامه ریزی برای محدودیت منابع آب می‌باشد. در بسیاری از برنامه‌های بلند مدت لازم است که چشم اندازی از وضعیت آینده بارندگی و دوره‌های خشک و تر برای منطقه ترسیم گردد. به همین دلیل موضوع پیش بینی خشکسالی و ویژگی‌های آن از اهمیت زیادی به خصوص در مدیریت منابع آب برخوردار می‌باشد.

با بروز پدیده خشکسالی که از ویژگی‌های اقلیمی منطقه می‌باشد مشکلات عدیده ای در منطقه مذکور ایجاد خواهد کرد. نوسان‌های آب و هوای و وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های متناوب از موضوع‌های مهم در مطالعه پدیده‌های طبیعی و یکی از مباحثی که در آب و هواشناسی و سایر علوم محیطی توجه متخصصان را به خود جلب کرده می‌باشد. اگر چه اقلیم به وضعیت کلی و تقریباً پایدار هوا در یک منطقه اطلاق می‌شود اما این پایداری نسبی بوده و ممکن است در سال‌های مختلف شرایط جوی کاملاً متفاوتی به صورت خشکسالی و ترسالی، آب و هوای منطقه را دست‌خوش تغییر نماید (علیجانی، ۱۳۷۵).

خشکسالی از جمله خطرهای محیطی است که به راحتی قابل پیش بینی و ردیابی نیست. دلایل سختی تشخیص و ردیابی خشکسالی عبارتند از: (۱) به آرامی گسترش می‌یابد و شروع و انتهای آن نامعلوم است. (۲) تعریف آن دقیق نبوده و عمومیت ندارد (به دلیل متغیرهای مختلفی که به صورت مستقیم و غیر مستقیم در رخداد خشکسالی دخالت دارند، تعریف جامع و قابل قبولی برای محققان ارایه نشده است و تعاریف ارایه شده از دیدگاه محققان رشته‌های گوناگون جنبه تخصصی دارند). (۳) آثار آن غیر ساختاری و اغلب در ناحیه وسیعی گسترش می‌یابد (هیسدل و تالاکسن، ۲۰۰۰). وقوع پدیده خشکسالی در هر دو منطقه خشک و مرطوب امری اجتناب ناپذیر است، ولی با وضعیت اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران احتمال وقوع خشکسالی بیشتر می‌باشد. خشکسالی جزء پدیده‌های طبیعی مرتبط با هواشناسی و هیدرولوژی است. در دامنه وسیعی بر پارامترهای محیطی و فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی، پوشش گیاهی، زندگی انسان، حیات وحش و اقتصاد محلی و ملی اثر می‌گذارد و اغلب با فعالیت‌های کشاورزی، دامداری، صنعتی و غیره انسان تشدید می‌شود. بر این مبنا و بر اساس یک بررسی وسیع از تعریف خشکسالی به وسیله سازمان جهانی هواشناسی \*WMO، خشکسالی‌ها بر مبنای زیر قابل طبقه بندی می‌باشند: (۱) بارندگی (۲) ترکیب بارندگی و دما، رطوبت و یا تبخیر (۳) رطوبت خاک و یا پارامتر محصول (۴) شاخص‌های اقلیمی و برآوردهای تبخیر و تعرق (۵) تعاریف و گرایش‌های عمومی (جیاسیلان، ۲۰۰۵).

در دهه‌های اخیر کشور ایران به طور متناوب تحت تاثیر خشکسالی‌ها قرار گرفته است. وقوع خشکسالی آثار شگرفی در شرایط زیست محیطی، جوامع انسانی و به طور کلی اکولوژی محیطی دارد. از آن جایی که مقابله با هر پدیده طبیعی مخربی بدون شناخت همه جانبه آن میسر نیست، از نظر متخصصین علوم مختلف و با روش‌ها و دیدگاه‌های متنوعی مورد مطالعه و کنکاش قرار گرفته است. هدف این چنین پژوهش‌هایی با هر روش و تکنیک، دستیابی به راه حل راحت، ارزان و دقیق در فازهای مختلف پیش آگاهی، آمادگی و پیشگیری در برابر زیان‌های ناشی از خشکسالی و همچنین تشخیص علل وقوع ناهنجاری‌های موجود در سامان‌های اقلیم می‌باشد. بنابراین با روش‌های متعددی همچون آماری، سینوپتیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی و داده‌های سنجش از دور و غیره مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (عزیزی و شمسی پور، ۱۳۸۵).

در سال‌های اخیر روش‌های آماری چند متغیره (زهتابیان و همکاران، ۱۳۷۸، موسی و همکاران، ۱۳۷۸، وفاخواه و مهدوی، ۱۳۷۸، علیجانی و رمضانی، ۱۳۸۱، عزیزی و شمسی پور، ۱۳۸۵)، روش‌های سینوپتیک (خوش اخلاق، ۱۳۷۶، عزیزی، ۱۳۷۸، ناظم السادات، ۱۳۷۸)، و سامانه اطلاعات جغرافیایی (فرج زاده، ۱۳۷۵، محمدی و شمسی پور، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴) از روش‌های مورد استفاده در مطالعه خشکسالی‌ها بوده‌اند. همچنین اربابی و بیات در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ تأثیر خشکسالی دشت قزوین و دماوند بر روی آب‌های زیر زمینی را بررسی نموده‌اند.

در این پژوهش از روش آماری چند متغیره و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است و بر این اساس شاخص Z نرمال بارندگی که برای تعیین الگوهای مکانی و زمانی خشکسالی می‌باشد، مشخص شده و دوره‌های خشکسالی استان کرمان را مشخص کرده‌ایم.

### اهمیت و ضرورت انجام پژوهش

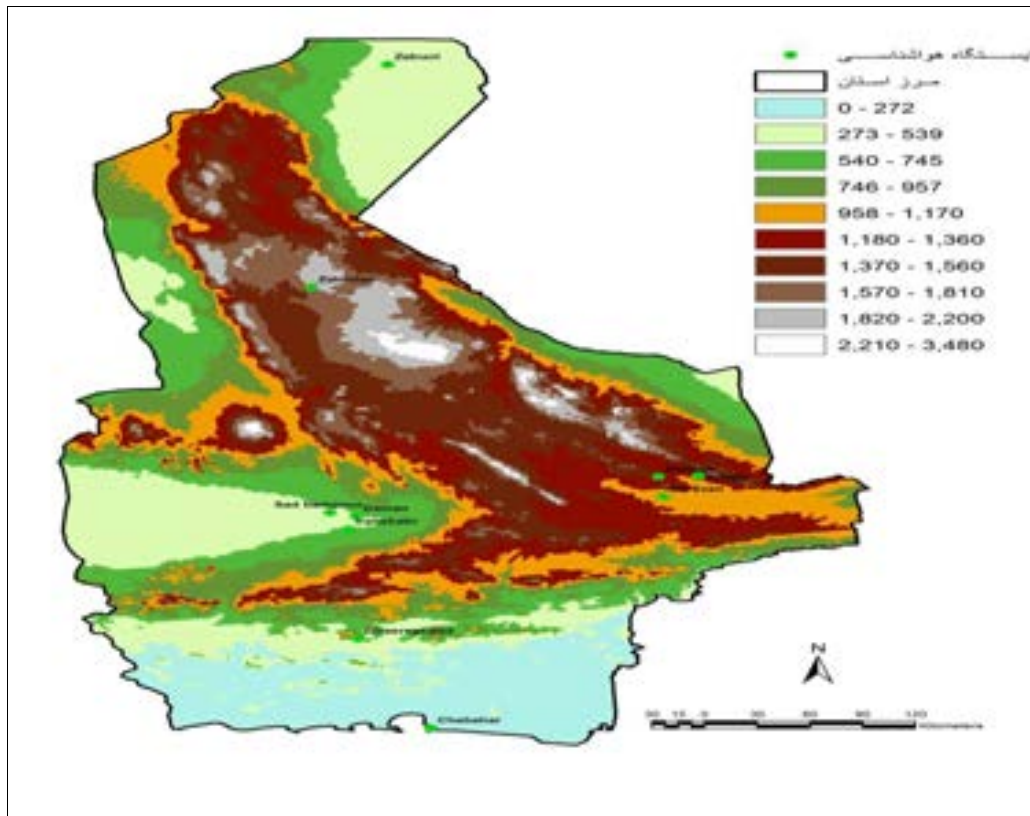
استان کرمان به واسطه موقعیت مکانی خود شاهد وقوع خشکسالی‌های متوالی می‌باشد. به طوری که طول دوران خشکسالی به مراتب بیشتر از طول دوران ترسالی و از طرف دیگر شدت سال‌های تر بیشتر از شدت سال‌های خشک می‌باشد.

با بررسی‌های به عمل آمده نشان داده شده است که درصد نواحی تحت تاثیر خشکسالی در استان کرمان فوق العاده متغیر بوده است و خشکسالی‌های سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۲، ۲۰۰۱، ۲۰۰۰، ۱۹۹۸، ۱۹۹۰، ۱۹۸۹، ۱۹۸۷ کل استان کرمان را تحت تاثیر قرار داده و بر اساس سوابق موجود به عنوان گسترده‌ترین خشکسالی‌ها شناخته شده‌اند.

یکی از مشخصه‌های بارز توپوگرافی استان کرمان اختلاف ارتفاع زیاد بین بلندترین نقطه آن (قله چهل تن در منطقه هزار با ارتفاع ۴۴۶۵ متر) و پست‌ترین نقطه آن واقع در کویر لوت با ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر می‌باشد که این امر به نوبه خود موجب تنوع آب و هوایی شدید در استان کرمان از هوای بسیار سرد تا گرم و خشک در کویر لوت و حاشیه‌ها مومن جازموریان شده است (شکل توپوگرافی منطقه مورد مطالعه). ارتفاعات فوق، سطح استان را به چهار حوزه آبریز اصلی در داخل فلات مرکزی ایران و یک حوزه آبریز دیگر که به خلیج فارس می‌ریزند تقسیم می‌کند. که در مجموع شامل ۴۶ محدوده مطالعاتی می‌شوند. منطقه کرمان گرچه در مجموع به عنوان بخشی از فلات ایران، اقلیم خشک تا فرا خشک دارد ولی با این وجود عواملی از قبیل ارتفاع، رطوبت و جبهه‌های هوایی ورودی به منطقه موجب تغییراتی نه چندان زیاد در این طبقه بندی کلی می‌گردند و اقلیم‌های نیمه خشک و ندرتاً مدیترانه ای در ارتفاعات کوه‌های جبال بارز و لاله زار قابل رؤیت می‌باشند. همچنین بالابودن ضریب تغییرات بارندگی سالانه در منطقه جنوب شرق و کرمان در نتیجه تغییرات شدید سال به سال جریانات سطحی از ویژگی‌های منطقه است.

یکی از مهمترین مواردی که در بررسی خشکسالی برای مدیران و برنامه ریزان اهمیت دارد این است که هنگامی که در منطقه‌ای با خشکسالی مواجه می‌شود به توان با استفاده از اطلاعات هیدرولوژیکی گذشته مشخص کرد که خشکسالی

موجود با چه روندی و تا چه زمانی ادامه خواهد داشت. در این خصوص روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله روش معیار بدون بعد و میانگین متحرک می‌باشد، با استفاده از بررسی روند سری زمانی و با تجزیه و تحلیل سیکل خشکسالی و ترسالی منطقه را بررسی کرد. محدودیت شدید منابع آب در استان مورد نظر افزایش و به تبع آن افزایش تقاضا برای آب از یک سو و وقوع خشکسالی با فراوانی بیشتر و در دوره طولانی تر از سوی دیگر سبب شده است که مشکل کم آبی به شکلی بسیار جدی استان را تهدید نماید. با توجه به مسائل مطرح شده اهمیت ضرورت بررسی پدیده خشکسالی در استان مورد نظر کاملاً آشکار می‌شود.



شکل ۱: نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه (اربابی، بیات ۱۳۹۱)

## داده‌ها و روش‌ها

مطالعه خشکسالی بر اساس آمار و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد و داده‌های هواشناسی به صورت اعداد و ارقام ثبت شده و در نتیجه به راحتی قابل استفاده در مدل‌های آماری و ریاضی می‌باشد، همچنین پارامترهای هواشناسی به دلیل ویژگی پویایی و دینامیکی آن در مدل‌های فیزیکی قابل بررسی می‌باشند. بارندگی مهمترین متغیر مورد مطالعه در مباحث اقلیمی و خشکسالی می‌باشد، در مطالعه موجود بارندگی متوسط سالانه و فصلی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های (۱۹۸۶-۲۰۰۷) در تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص Z نرمال مورد استفاده قرار گرفته است، در روش محاسبه شدت خشکسالی اقلیمی، شاخص Z نرمال انتخاب شد، بر اساس آن بارش در مقیاس‌های سالانه و فصلی مورد محاسبه قرار گرفتند.

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta}$$

که  $Z$  شاخص خشکسالی نرمال شده،  $X$  متغیر سال یا فصل مورد سنجش،  $X$  میانگین طولانی مدت متغیر اقلیمی و انحراف معیار است. شاخص  $Z$  استاندارد از ضرایب آماری است و یکی از شاخص‌های مهم نرمال می‌باشد که به احتمال وقوع و عدم وقوع خشکسالی می‌پردازد، در شاخص  $Z$  ضرایب به شرح جدول (۱) تعیین می‌شود.

جدول ۱: شاخص بارندگی نرمال شده در محاسبه بارندگی. ایستگاه کرمان (سازمان هواشناسی کشور)

سال	مارس	آوریل	می	مارس Z	آوریل Z	می Z	میانگین
۱۹۸۶	۶۳.۴	۱۳.۶	۱	۱.۶	-۰.۱	-۰.۴	۰.۴
۱۹۸۷	۲۴.۶	۳	۳	-۰.۳	-۰.۹	-۰.۳	-۰.۵
۱۹۸۸	۱۵.۵	۴۴	۰	-۰.۸	۲.۱	-۰.۵	۰.۳
۱۹۸۹	۵۷.۴	۱۷.۳	۰	۱.۳	۰.۱	-۰.۵	۰.۳
۱۹۹۰	۲۰.۲	۱۱.۴	۰.۳	-۰.۶	-۰.۳	-۰.۵	-۰.۵
۱۹۹۱	۷۱	۸	۱	۲.۰	-۰.۶	-۰.۴	۰.۳
۱۹۹۲	۴۳.۹	۳۴.۴	۵۶.۳	۰.۶	۱.۴	۳.۰	۱.۷
۱۹۹۳	۱۶.۵	۵.۲	۲	-۰.۷	-۰.۸	-۰.۴	-۰.۶
۱۹۹۴	۴۵.۲	۵.۲	۲۳.۶	۰.۷	-۰.۸	۱.۰	۰.۳
۱۹۹۵	۳۵.۳	۲۶.۵	۴۵	-۰.۲	-۰.۸	۲.۳	۱.۱
۱۹۹۶	۴۸.۴	۲۴.۸	۱۵	-۰.۹	-۰.۷	-۰.۴	-۰.۷
۱۹۹۷	۴۳.۲	۳۵.۸	۱۰.۶	۰.۶	۱.۵	۰.۲	۰.۸
۱۹۹۸	۲۸.۶	۱۷.۱	۰.۲	-۰.۱	۰.۱	-۰.۵	-۰.۲
۱۹۹۹	۱۸.۴	۰.۳	۰	-۰.۷	-۱.۱	-۰.۵	-۰.۸
۲۰۰۰	۴.۹	۰	۰	-۱.۳	-۱.۱	-۰.۵	-۱.۰
۲۰۰۱	۳.۴	۰	۰	-۱.۴	-۱.۱	-۰.۵	-۱.۰
۲۰۰۲	۱۳	۹	۰	-۰.۹	-۰.۵	-۰.۵	-۰.۶
۲۰۰۳	۴۰.۳	۲۹.۷	۰	۰.۵	۱.۰	-۰.۵	۰.۳
۲۰۰۴	۱۲	۲۴	۰	-۱.۰	۰.۶	-۰.۵	-۰.۳
۲۰۰۵	۱۸.۷	۱.۳	۳.۶	-۰.۶	-۱.۱	-۰.۳	-۰.۷

همچنین از روش معیار بدون بعد جهت تعیین خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب استفاده گردیده است، تقسیم بندی ترسالی با خشکسالی براساس این شاخص به صورت مقادیر منفی مبین خشکسالی، مقادیر مثبت مبین ترسالی‌ها می‌باشد، نسبت‌ها بر حسب درصد بیان شده‌اند.

مفهوم	حدود شاخص
بسیار خشک	کمتر از -۱۰۰
خشک	از -۱۰۰ الی -۵۰
نرمال	از -۵۰ الی ۵۰
مرطوب	از ۵۰ الی ۱۰۰
بسیار مرطوب	بیشتر از ۱۰۰

شاخص از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$i = \frac{(p_i - \bar{P}) \times 100}{SD}$$

که در آن  $P_i$  مقادیر بارندگی در هر سال (به میلی‌متر)؛

$P$  متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر؛

$SD$  = انحراف معیار بارندگی سالانه ایستگاه نظنز که نتایج آن مشابه به نتایج روش  $Z$  نرمال بارندگی می‌باشد.

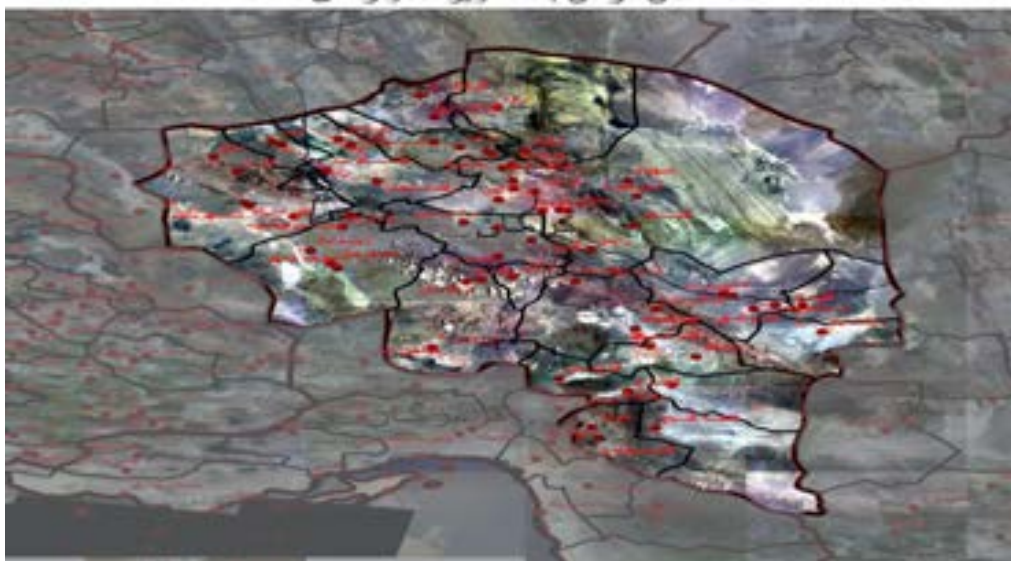
### معرفی محدوده مورد مطالعه

استان کرمان در جنوب شرقی فلات مرکزی ایران بین ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. پهنای حداکثر در بخش شمالی ۴۸۰ کیلومتر و حداقل در بخش جنوبی تا ۸۰ کیلومتر مربع تغییر می‌نماید. عرض متوسط استان ۲۵۰ کیلومتر و فاصله بین حد جنوبی و شمالی یا طول استان برابر با ۶۰ کیلومتر تخمین زده می‌شود.

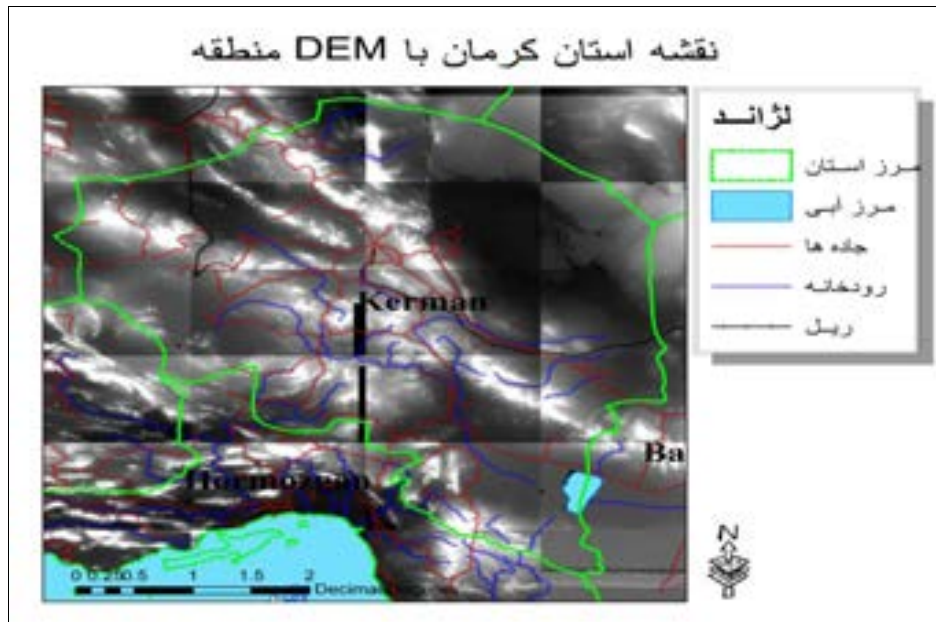
بر اساس آمار واحد GIS سازمان برنامه و بودجه استان کرمان در سال ۱۳۷۵ مساحت کل شهرستان کرمان بالغ بر ۵/۴۴۶۷۸ کیلومتر مربع می‌باشد. ۹۱ درصد شهرستان کرمان را پهنه دشتی و بقیه ارتفاعات و کوهستان تشکیل داده است. ۷۵ درصد اراضی این شهرستان در ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر قرار دارد و در واقع حدود ۶ درصد از حوزه کوهستانی در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر قرار دارد که منبع اصلی تولید منابع آبی شهرستان کرمان در این بخش قرار دارد، استان کرمان به صورت فلاتی مرتفع است که از ارتفاع متوسط دشتهای داخل آن به حدود ۱۵۰۰ متر می‌رسد ارتفاع متوسط شهرستان کرمان ۱۷۴۱ متر از سطح دریا است (شکل ۲ تصویر ماهواره‌ای ETM).

آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی بخش وسیعی از سر زمین‌های داخلی و کناره‌های جنوبی ایران را پوشش داده است. این نواحی بیابانی و صحراها حدود یک چهارم مساحت ایران را تشکیل می‌دهد و منطقه کرمان که در حاشیه بیابان‌های مرکزی ایران واقع شده است با وجود وابستگی شدید حیات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی آن به منابع آب حاصل از نزولات جوی با نوسانات شدید در عناصر جوی در بروز خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها آسیب فراوانی به آن‌ها وارد می‌شود. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) شاخص‌های خشکسالی و شرایط دمایی در منطقه مذکور کویری بررسی خواهد شد و در این پژوهش روش‌های خشکسالی و تعیین الگوهای مکانی و زمانی خشکسالی در منطقه کرمان با استفاده از داده‌های هواشناسی مشخص شده است (شکل ۳ تصاویر ماهواره‌ای DEM منطقه مورد مطالعه)

نقشه استان کرمان با تصاویر ماهواره‌ای ETM



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای ETM (اربابی، بیات ۱۳۹۱)



شکل ۳: تصاویر ماهواره‌ای DEM منطقه مورد مطالعه (اربابی، بیات ۱۳۹۱)

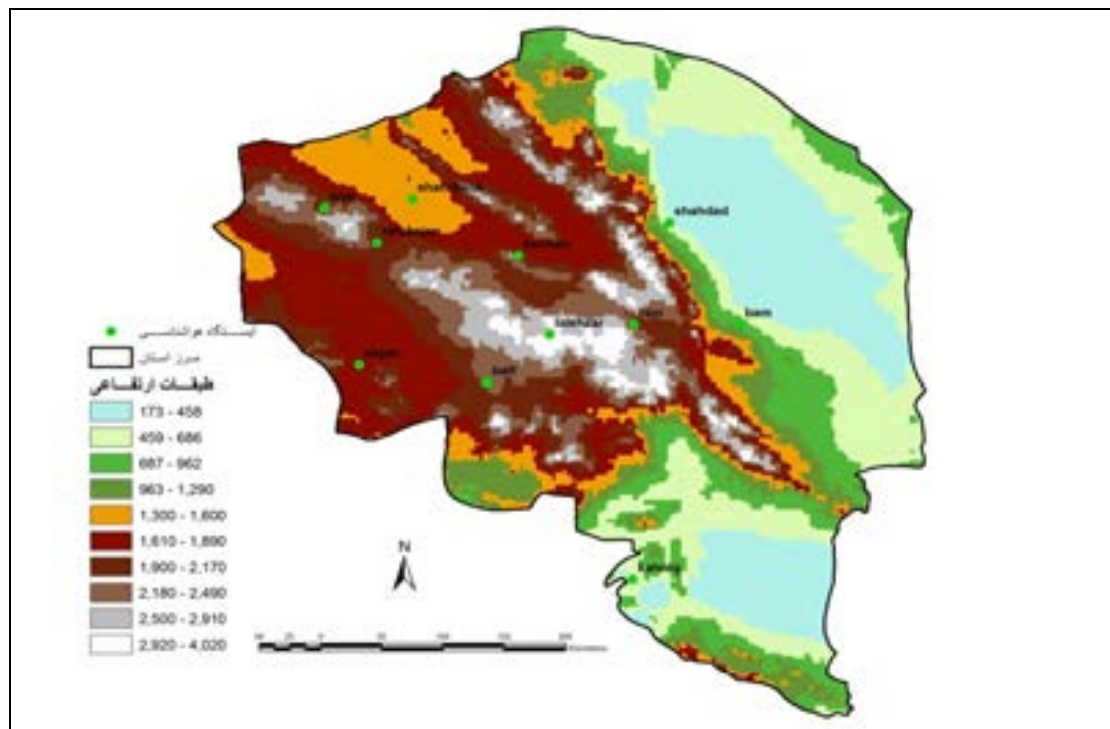
### داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی مورد استفاده که مربوط به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو می‌باشد عبارتند از: ایستگاه کرمان، انار، بافت، بم، رفسنجان، شهر بابک، سیرجان، کهنوج، راین، شهداد و لاله زار که در سراسر ناحیه مورد مطالعه به دست آمده است (جدول ۳ مشخصات ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه). داده‌های طولانی مدت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه وضعیت عمومی و تعیین الگوهای غالب عناصر اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت، در این قسمت از داده‌های بارش، دما و رطوبت نسبی در مقیاس فصلی و سالانه در محاسبه سال‌های وقوع خشکسالی و ترسالی و نیز طبقه بندی اقلیمی منطقه استفاده شد، از دیگر متغیرهای اقلیمی مورد بحث می‌توان به جهت و سرعت باد، میزان ابرناکی و ساعات آفتابی، فشار هوا، تعداد روزهای بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل اشاره کرد، سپس با پیچیده بندی خشکسالی اقلیمی با شاخص Z نرمال بارش، میزان خشکسالی اندازه گیری شد. شکل (۴) موقعیت ایستگاه‌های منتخب محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های منتخب محدوده مورد مطالعه

نام ایستگاه	نام سازمان	طول دوره آماری	ارتفاع (متر از سطح دریا)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
کرمان	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۱۷۵۳.۸	۵۶.۵۸	۳۰.۱۵
انار	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۱۴۰۸.۸	۵۵.۱۵	۳۰.۵۳
بافت	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۲۲۸۰	۵۶.۳۵	۲۹.۱۴
بم	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۱۰۶۶.۹	۵۸.۲۱	۲۹.۶
رفسنجان	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۱۵۸۰.۹	۵۵.۵۴	۳۰.۲۵
شهر بابک	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۱۸۳۴.۱	۵۵.۸	۳۰.۶
سیرجان	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۱۷۳۹.۴	۵۵.۴۱	۲۹.۲۸
کهنوج	هواشناسی	۱۹۸۶-۲۰۰۵	۴۶۹.۷	۵۷.۴۲	۲۷.۵۸
راین	وزارت نیرو	۱۹۸۶-۲۰۰۵		۵۷.۴۳	۲۹.۶۰
چهار فرسخ شهداد	وزارت نیرو	۱۹۸۶-۲۰۰۵		۵۷.۶۹	۳۰.۴۱
لاله زار	وزارت نیرو	۱۹۸۶-۲۰۰۵		۵۶.۸۱	۲۹.۵۲





شکل ۴: موقعیت ایستگاه‌های منتخب محدوده مورد مطالعه (اربابی، بیات ۱۳۹۱)

### بحث و نتیجه گیری

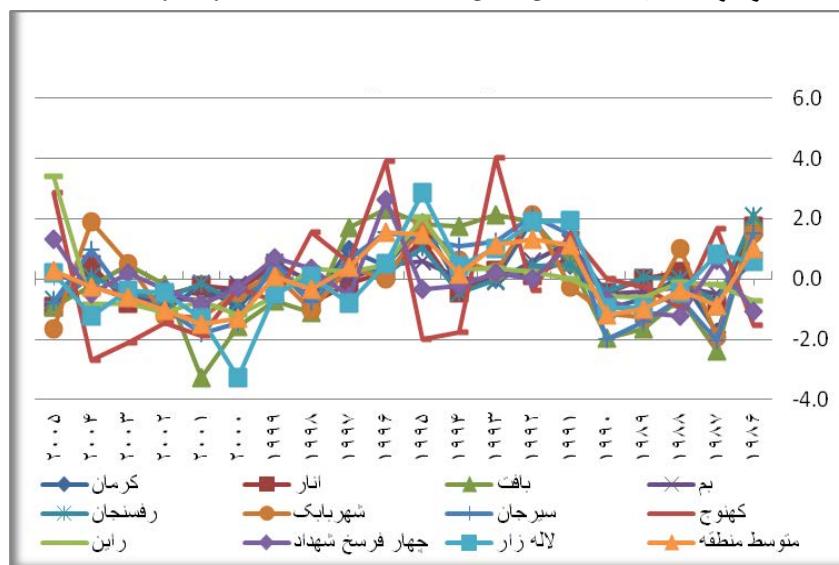
داده‌های هواشناسی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی منطقه از نظر توزیع فصلی بارش با توجه به جدول ۴، توزیع و پراکنش بارش در نواحی کوهستانی و دشت یکسان نیست، دوره بارش در مناطق دشتی کوتاه‌تر از نواحی مرتفع است و تقریباً در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، توزیع فصلی بارش از الگوی مشابهی تبعیت می‌نماید. منطقه مورد مطالعه از نظر جغرافیایی از یک طرف به ارتفاعات بلند رشته کوه‌های مرکزی و از طرف دیگر به دشت‌هایی که در شمال و جنوب این کوهستان‌ها واقع شده محدود می‌گردد. بنابراین شرایط اقلیمی و بارش منطقه تحت تاثیر این موقعیت قرار می‌گیرد و هرچه از کوه‌های مرکزی به سمت شمال و جنوب منطقه پیش رویم از میزان بارش کاسته می‌شود. ضریب تغییر پذیری بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که ایستگاه کرمان دارای ضریب  $37/99$  درصد سالیانه و بالاترین ضریب تغییر پذیری در این ایستگاه مربوط به فصل تابستان می‌باشد و پایین‌ترین ضریب تغییرات مربوط به فصل زمستان است که برابر با  $37/19$  درصد است و تقریباً برابر با میانگین سالیانه است. ایستگاه راین با ضریب تغییر پذیری سالیانه  $65/86$  درصد از بالاترین ضریب سالیانه برخوردار می‌باشد که بیشترین آن مربوط به فصل تابستان با  $191/2$  درصد است و این می‌تواند ناشی از بارش‌های موسمی باشد که منطقه را در این فصل در بر می‌گیرد.

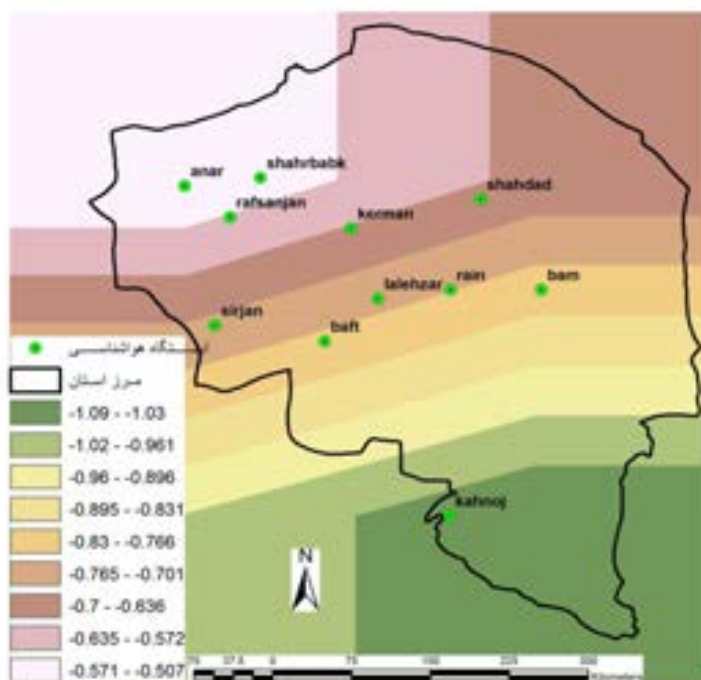
ایستگاه لاله زار با  $32/28$  درصد پایین‌ترین ضریب تغییر پذیری سالیانه را به خود اختصاص می‌دهد که تنها این ایستگاه بالاترین تغییرات ضریب فصلی آن مربوط به فصل پاییز است به استثنای این ایستگاه تقریباً در بقیه ایستگاه‌های مورد مطالعه بالاترین تغییرات ضریب فصلی در فصل تابستان می‌باشد که می‌تواند ناشی از توده‌های هوایی باشد که در این فصل منطقه را در بر می‌گیرد. آنالیز تغییرات دوره ای روند خشکسالی با استفاده از میانگین متحرک و توزیع استاندارد و معیار بدون بعد خشکسالی نشان می‌دهد که ایستگاه‌های پایکوهی و کوهستانی در شرایط ترسالی می‌باشند، جدول (۴) و نمودار (۱) ضرایب شاخص Z در بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. نقشه ۵، پهنه بندی خشکسالی محدوده مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



**جدول ۴:** ضرایب شاخص بارش ایستگاه‌های منتخب محدوده مورد مطالعه

	کرمان	انار	بافت	بم	رفسنجان	شهربابک	سیرجان	کهنوج	راین	چهار فرسخ شهداد	لاله زار
۱۹۸۶	۱.۵	۱.۷	۲.۰	۰.۶	۲.۱	۱.۵	۱.۵	-۱.۵	-۰.۷	-۱.۱	۰.۶
۱۹۸۷	-۱.۸	-۰.۹	-۲.۴	-۰.۵	-۰.۸	-۱.۹	-۲.۰	۱.۷	-۰.۲	۰.۶	۰.۸
۱۹۸۸	۰.۱	۰.۲	-۰.۷	-۰.۳	۰.۰	۱.۰	-۰.۶	-۱.۰	-۰.۱	-۱.۲	-۰.۴
۱۹۸۹	-۰.۷	۰.۰	-۱.۷	-۰.۴	۰.۱	-۱.۳	-۱.۴	-۰.۳	-۰.۶	-۱.۱	-۱.۰
۱۹۹۰	-۱.۰	-۰.۴	-۲.۰	-۰.۵	-۰.۴	-۱.۲	-۲.۰	۰.۰	-۰.۶	-۰.۷	-۱.۰
۱۹۹۱	۰.۵	۰.۷	۰.۶	۱.۲	۰.۵	-۰.۳	۱.۵	۱.۵	۰.۰	۱.۱	۱.۹
۱۹۹۲	۲.۰	۰.۱	۱.۹	۰.۶	۰.۴	۲.۱	۲.۱	-۰.۴	۰.۲	۰.۰	۱.۹
۱۹۹۳	۰.۰	۰.۳	۲.۱	-۰.۱	۰.۰	۰.۲	۱.۲	۴.۰	۰.۴	۰.۲	۱.۰
۱۹۹۴	-۰.۲	-۰.۴	۱.۸	۰.۱	-۰.۴	۰.۶	۱.۱	-۱.۷	۰.۳	-۰.۲	۰.۴
۱۹۹۵	۱.۹	۱.۳	۱.۸	۰.۶	۱.۰	۱.۸	۱.۳	-۲.۰	۲.۱	-۰.۳	۲.۹
۱۹۹۶	۰.۴	۰.۲	۲.۳	۰.۵	۰.۲	۰.۰	۱.۵	۳.۹	۰.۵	۲.۶	۰.۵
۱۹۹۷	۱.۰	-۰.۱	۱.۷	۰.۰	۰.۴	۰.۴	۰.۷	۰.۵	۰.۲	-۰.۶	-۰.۸
۱۹۹۸	-۰.۷	-۰.۸	-۱.۱	-۰.۱	-۰.۷	-۱.۰	-۰.۸	۱.۵	۰.۴	۰.۳	۰.۱
۱۹۹۹	۰.۳	۰.۴	-۰.۷	۰.۶	۰.۴	۰.۱	۰.۶	-۰.۷	-۰.۶	۰.۷	-۰.۵
۲۰۰۰	-۱.۰	-۰.۳	-۱.۶	-۰.۲	-۰.۸	-۰.۴	-۱.۵	-۰.۳	-۱.۲	-۰.۳	-۳.۳
۲۰۰۱	-۰.۲	-۰.۲	-۳.۳	-۰.۷	-۰.۱	-۱.۳	-۱.۸	-۱.۹	-۰.۷	-۰.۸	-۱.۳
۲۰۰۲	-۱.۰	-۰.۵	-۰.۲	-۰.۶	-۰.۶	-۱.۲	-۱.۰	-۱.۵	-۱.۱	-۰.۳	-۰.۵
۲۰۰۳	-۰.۴	-۰.۸	۰.۵	-۰.۶	-۰.۵	۰.۵	-۰.۷	-۲.۱	-۰.۸	۰.۲	-۰.۴
۲۰۰۴	۰.۱	۰.۵	-۰.۲	-۰.۲	۰.۱	۱.۹	۱.۰	-۲.۷	-۰.۸	-۰.۵	-۱.۲
۲۰۰۵	-۰.۹	-۰.۹	-۰.۹	۰.۲	-۰.۷	-۱.۶	-۰.۸	۲.۸	۳.۴	۱.۳	۰.۲

**نمودار ۱:** ضرایب شاخص بارش ایستگاه‌های منتخب محدوده مورد مطالعه

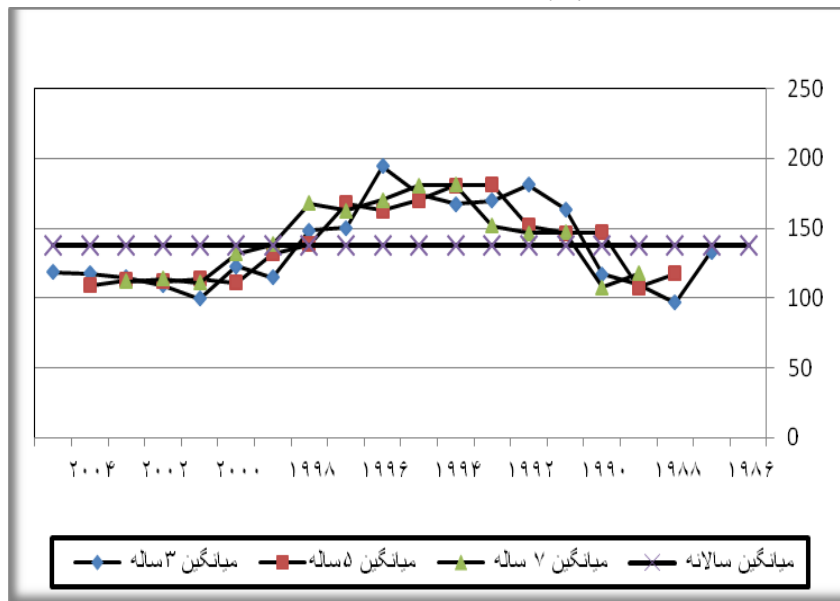


شکل ۵: پهنه بندی خشکسالی در محدوده مورد مطالعه (اربابی، بیات ۱۳۹۱)

همان‌طور که نقشه تهیه شده در سیستم GIS نشان می‌دهد از جنوب به شمال استان میزان خشکسالی کاهش می‌یابد و ارتفاعات این استان از جنوب به شمال افزایش می‌یابد و دوره‌های بارش سنگین و استثنایی و بارش‌های متوالی دو روزه و بیشتر منطبق بر ارتفاعات مرکزی منطقه است دمای هوا نیز در نواحی جنوبی استان به دلیل نزدیکی به مدار راس السرطان بیشتر از نواحی شمالی آن است اما آنچه باعث ایجاد گسست در این روند می‌شود وجود ارتفاعات و قرار گیری بیابان لوت در شرق استان است، همچنین توده هوایی که از سمت جنوب‌غرب و غرب وارد استان می‌شوند می‌تواند بر روی ترسالی ایستگاه‌های جنوبی تأثیرگذار بوده است.

پس از محاسبه‌ها شاخص درصد نرمال بارندگی ایستگاه‌ها به منظور تحلیل منطقه‌ای از شاخص میانگین متحرک ۵،۳ و ۷ ساله نمودار (۲) و توزیع استاندارد جدول (۵) برای به تصویر کشیدن روند خشکسالی استفاده شد.

نمودار ۲: میانگین متحرک ایستگاه کرمان



جدول ۵: روش شاخص معیار بدون بعد ایستگاه کرمان

سال	کرمان	درصد	توصیف کیفی
۱۹۸۶	۲۱۳.۴	۱۴۴.۹۳	بسیار مرطوب
۱۹۸۷	۴۵.۱	-۷۶.۸۶	بسیار خشک
۱۹۸۸	۱۴۱.۳	۷.۰۷	نرمال
۱۹۸۹	۱۰.۳	-۶۶.۱۶	خشک
۱۹۹۰	۸۶.۱	-۹۸.۴۷	خشک
۱۹۹۱	۱۶۲.۷	۴۷.۹۹	نرمال
۱۹۹۲	۲۴۱.۶	۱۹۸.۸۵	بسیار مرطوب
۱۹۹۳	۱۳۸.۹	۲.۴۹	نرمال
۱۹۹۴	۱۲۸.۶	-۱۷.۲۱	نرمال
۱۹۹۵	۲۳۴.۳	۱۸۴.۸۹	بسیار مرطوب
۱۹۹۶	۱۵۹.۶	۴۲.۰۷	نرمال
۱۹۹۷	۱۸۹.۱	۹۸.۴۷	مرطوب
۱۹۹۸	۱۰۱.۶	-۶۸.۸۳	خشک
۱۹۹۹	۱۵۵	۳۳.۲۷	نرمال
۲۰۰۰	۸۶.۹	-۹۶.۹۴	خشک
۲۰۰۱	۱۲۶.۹	-۲۰.۴۶	نرمال
۲۰۰۲	۸۴.۳	-۰.۱۹۱	بسیار خشک
۲۰۰۳	۱۱۵.۸	-۴۱.۶۸	نرمال
۲۰۰۴	۱۴۴.۶	۱۳.۳۸	نرمال
۲۰۰۵	۹۲.۳	-۸۶.۶۲	خشک

### تحلیل منطقه‌ای از نظر روند خشکسالی

ایستگاه کهنوج که در جنوبی ترین منطقه استان و نزدیک به مدار راس السرطان واقع شده است دارای ۱۲ دوره خشکسالی و ۸ دوره ترسالی می‌باشد روند فصلی آن که در جدول فوق نشان داده می‌شود در دوره ترسالی واقع شده

است با وجود اینکه این ایستگاه در شرایط خاصی قرار دارد اما به دلیل ورود توده هوایی از جمله توده هوای مرطوب و سودانی منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در حال حاضر در دوره ترسالی بسر می‌برد و بارش ۱۸۷/۸۸ میلی متر در طول دوره آماری را دریافت می‌نماید.

ایستگاه شهداد نیز به دلیل ارتفاع کم از سطح دریا و مجاورت با دشت لوت دارای بیشترین روزهای آفتابی و دارای ۱۱ روره خشکسالی و ۹ دوره ترسالی و در حال حاضر در دوره ترسالی بسر می‌برد.

ایستگاه بافت با ارتفاع ۲۲۸۰ متر از سطح دریا که مرتفع ترین ایستگاه منطقه می‌باشد میانگین بارش در طول دوره آماری ۲۵۵/۲ میلی متر می‌باشد این ایستگاه دارای ۱۱ دوره خشک و ۹ دوره ترسالی و در حال حاضر در دوره خشکسالی بسر می‌برد و بارش سال‌های اخیر کمتر از میانگین دوره می‌باشد. این ایستگاه در منطقه کوهستانی استان قرار داشته و از توده هوای غربی متأثر می‌شود.

ایستگاه کرمان با ارتفاع ۱۷۵۳ متر از سطح دریا میانگین بارش ۱۳۷/۶ میلی متر را دریافت می‌نماید این ایستگاه دارای ۱۰ دوره خشک و ترسالی می‌باشد و روند فعلی آن در دوره خشک می‌باشد.

ایستگاه‌های شهر بابک و رفسنجان که جزء ایستگاه‌های شمالی منطقه می‌باشد بر اساس جدول (۶) کمترین دوره‌های خشک را در طول دوره آماری گذرانده‌اند و در حال حاضر این ایستگاه‌ها با ارتفاع نسبی بالا و همچنین دور بودن از مدار راس السرطان و دشت لوت و برخورداری از توده هوای مرطوب مدیترانه‌ای نسبت به ایستگاه‌های دیگر منطقه تعداد روزهای خشک کمتری را گذرانده‌اند.

جدول ۶: متوسط دوره خشکسالی و ترسالی و روند فعلی ایستگاه‌ها

ایستگاه-ه	طول دوره خشکسالی	طول دوره ترسالی	روند فعلی
کرمان	۱۰	۱۰	خشکسالی
انار	۱۰	۱۰	خشکسالی
بافت	۱۱	۹	خشکسالی
بم	۱۱	۹	ترسالی
رفسنجان	۹	۱۱	خشکسالی
شهربابک	۹	۱۱	خشکسالی
سیرجان	۱۰	۱۰	خشکسالی
کهنوج	۱۲	۸	ترسالی
راین	۱۱	۹	ترسالی
شهداد	۱۱	۹	ترسالی
لاله زار	۱۰	۱۰	ترسالی

## راهکارها و پیشنهادها

- در زمینه راهنمایی و گشودن دیدگاه‌های جدید برای توجه و گسترش مطالعات و برداشت‌های میدانی به ویژه در گروه‌های جغرافیای طبیعی برنامه‌های کوتاه و بلند مدتی برگزار شود؛
- به کارگیری دورسنجی در مطالعات برای افزایش سطح توانایی تحلیل و تفسیر داده‌ها؛
- توسعه و فراگیر شدن روش‌های مطالعات جدید به عنوان علم و تکنیک جدید با توجه به مطالعات با اهمیتی مثل خشکسالی؛
- افزایش تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک در منطقه مورد نظر؛
- آموزش و آگاهی مردم منطقه از روش صحیح استفاده از آبیاری و مصرف آب؛

۶. استفاده از مولفه‌های محیطی رطوبت سطحی زمین در بررسی خشکسالی‌ها؛  
 ۷. توجه در مبانی و اطلاعات پایه محیطی در منطقه برای افزایش سطح توانایی تحلیل و تفسیر نتایج.

## منابع

- ۱- اربابی آزاد، (۱۳۸۰): پایان نامه کارشناسی ارشد، تاثیر خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی دشت قزوین به راهنمایی دکتر قاسم عزیزی، دانشگاه تهران.
- ۲- بیات میترا، (۱۳۸۱): پایان نامه کارشناسی ارشد، تاثیر خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی دشت دماوند به راهنمایی دکتر قاسم عزیزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.
- ۳- خوش اخلاق، فرامرز. (۱۳۷۶): بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران، تحقیقات جغرافیایی، موسسه عاشورا، شماره ۴۵، مشهد.
- ۴- زهتابیان، غلامرضا، علی اکبر موسوی، (۱۳۷۸): کاربرد همگن سازی عددی و غیر عددی در برآورد خشکسالی هیدرولوژیک، مطالعه موردی دریاچه نمک، کنفرانس تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی، تهران.
- ۵- عزیزی، قاسم، (۱۳۷۸): تاثیر الینو و شاخص نوسان جنوبی در نوسانات بارش ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، موسسه جغرافیا، تهران.
- ۶- عزیزی، قاسم، علی اکبر شمسی پور، (۱۳۸۵): بازایی تغییرات اقلیمی نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره، پژوهش‌های جغرافیایی، موسسه جغرافیایی دانشگاه تهران.
- ۷- علیجانی، بهلول، (۱۳۷۵): تغییرات زمانی دمای تهران، اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران.
- ۸- علیجانی، بهلول، نبی اله رضانی، (۱۳۸۱): پیش بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های استان مازندران با استفاده از مدل باکس-جنکینز، پژوهش‌های جغرافیایی، یادنامه دکتر احد مستوفی، ۱۵۵-۱۷۰، تهران.
- ۹- فرج زاده، منوچهر، (۱۳۷۵): خشکسالی و روش‌های مطالعه آن، جنگل و مرتع، انتشارات سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور ۲۲-۲۹، تهران.
- ۱۰- محمدی، حسین، علی اکبر شمسی پور، (۱۳۸۴): بررسی آثار خشکسالی بر منابع آب‌های زیرزمینی دشت‌های شمال همدان با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره و GIS سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، سال دوم، شماره هفتم، ۷۹-۷۱، تهران.
- ۱۱- موسوی، علی اکبر، علی اکبر داوودی راد، (۱۳۷۸): شناخت عوامل موثر در خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی (حوزه آبخیز دریاچه نمک)، دومین کنفرانس تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، تهران.
- ۱۲- ناظم السادات، سید محمد جعفر، (۱۳۷۸): بررسی تاثیر پدیده ال نینو شاخص نوسانات جوی (ENSO) بر بارندگی پاییزه ایران، دومین کنفرانس تغییر اقلیم سازمان هواشناسی، تهران.
- ۱۳- وفاخواه، مهدی و محمد محمدی، (۱۳۷۸): آرایه مدل ریاضی جهت برآورد خشکسالی هیدرولوژیک در مناطق خشک مرکزی ایران، دومین کنفرانس تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی، تهران.

- 14- Hisdal, H & Tallaksen, Lt M (Editor). (2000): Drought Even Definitions, Technical Report, NO 6.
- 15- Jeyaseelan, A, T. (2005): Droughts & Floods Assent and Monitoring Using Remote Sensing and GIS Application in Agricultural Meteorology, pp, 291-313.

- 16- Kogan, F, N (2001): Contribution of Remote Sensing to Drought Early Warning, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Environmental Satellite Data and Information Services, U.S.A.
- 17- Jupp, D, L, B, Tian, G, and Mcvihar, T, R, Qin, Y & Fugin L. (1998): Soil Moisture and Drought Monitoring Using Remote Sensing 1: Theoretical Background and Methods, Csiro Australia. pp. 96.
- 18- Ribsam, W.E, Changnon, S.A, & Karl, T, R (1990): Drought and Natural Resource Management in the United States: Impact and Implications of the 1987-1989 Drought. West View Press, Boulder, Colorado, 100.