

## پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS «مطالعه موردی: استان خراسان»

حسین انصاری\* - استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

کامران داوری - استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت مقاله: ۱۳۸۴/۲/۲۵ تایید نهایی: ۱۳۸۴/۱۰/۲۶

### چکیده

دوره خشک<sup>۱</sup> به عنوان یک پدیده خزنده‌ای است که در اثر کمبود رطوبت ناشی از کاهش میزان بارندگی به وقوع می‌پیوندد. خسارات بسیار گسترده و وسیع این پدیده بخش‌های زیادی از جامعه را تحت تأثیر خود قرار داده و همه ساله زیان‌های بسیار زیادی را به بار می‌آورد، لذا پایش و پهنه‌بندی آن به عنوان یک اصل مهم در برنامه‌ریزی‌های کلان باید مد نظر قرار گیرد. به طور مشخص در این تحقیق، شاخص بارندگی استاندارد شده<sup>۲</sup> برای پایش دوره‌های خشک و چهار مدل رگرسیون، کرجینگ، Spline و IDW برای پهنه‌بندی این دوره‌ها استفاده شد. بررسی دوره‌های خشک در یک دوره آماری ۳۳ ساله (۱۹۶۸-۲۰۰۰) در خراسان نشان داد که وقوع این پدیده، یک ویژگی اقلیمی است که در دوره‌های زمانی خاصی به وقوع می‌پیوندد. این بررسی نشان می‌دهد در سال‌های اخیر تکرار و تداوم این پدیده در کلیه نقاط استان افزایش داشته است و از شدت آن کاسته شده است. همچنین مشخص شد که دوره‌های خشک به وقوع پیوسته در مناطق جنوبی استان تداوم و شدت بیشتری نسبت به مناطق مرکزی و شمالی استان دارد. بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی برای پهنه‌بندی این بلای طبیعی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۳</sup> نشان داد که از بین چهار روش مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ<sup>۴</sup> با توجه به عملکرد آن (ضریب همبستگی، MDE و MAE به ترتیب ۰/۷۱، ۱/۱- و ۰/۹۵) روش مناسبی برای درون‌یابی و در نهایت پهنه‌بندی شدت دوره‌های خشک است. لذا با استفاده از این روش مقادیر نقطه‌ای شاخص SPI ماهانه استفاده شده برای پایش دوره‌های خشک، به سطح تعمیم داده شده و نقشه‌های شدت این پدیده در مقیاس‌های زمانی متفاوت برای استفاده در برای برنامه‌ریزی‌های سازگار با دوره‌های خشک تولید شد.

**کلیدواژه‌ها:** دوره خشک، تداوم دوره خشک، تکرار دوره خشک، درون‌یابی مکانی، شاخص بارندگی استاندارد شده.

\* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۰۸۱۹۱  
E-Mail: Ansari\_hos@yahoo.com

۱- دوره‌های خشک معادل کلمه Drought است و متفاوت از کلمه خشکی (Dry) که نشان‌دهنده اقلیم خشک است، می‌باشد. برخلاف عرف معمول که از کلمه Drought به عنوان خشکسالی یاد می‌شود در تحقیقات مشخص شده که این واژه، واژه مناسبی نیست و خشکسالی از تداوم یک یا چند دوره خشک در طول یک سال بوجود می‌آید.

2 - Standardized Precipitation Index (SPI).  
3 - Geographic Information Systems (GIS).  
4 - Kriging.

## مقدمه

دوره خشک یکی از ویژگی‌های بارز اقلیم‌های خشک و نیمه خشک است که تخلیه منابع آبی را باعث می‌شود و به دلیل وابستگی حیات موجودات و اکوسیستم به موجودیت آب، آثار ناشی از آن می‌تواند بسیار شدید و گسترده باشد. به جهت پیچیدگی این پدیده، فهم آن در قیاس با دیگر بلایای طبیعی مشکل‌تر است و بخش‌های بیشتری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. با بررسی تحقیقات انجام شده روی این پدیده خزنده می‌توان دریافت که تاکنون تعریف دقیقی از این پدیده ارائه نشده است (Wilhite and Glantz, 1985, p 68)، اما در هر صورت دوره خشک یا خشک دوره به عنوان یک پدیده‌ای که وقوع آن در هر اقلیمی (خشک، نیمه خشک و مرطوب) اجتناب‌ناپذیر است و آثار زیادی را با توجه به سطح توسعه‌اش باعث می‌شود، شناخته می‌شود که تعیین درجه، شدت، زمان وقوع و خاتمه آن خیلی مشکل است و برای کاهش آثارش نیاز به ابزار مدیریتی بسیار زیادی است (Wilhite, 1995, p39). به هر حال، آنچه که باقی می‌ماند، سردرگمی در تعیین و پایش این پدیده است. این سردرگمی به طور دقیق باعث نبود پیشرفت در زمینه مدیریت دوره‌های خشک در بعضی از قسمت‌های جهان و از جمله ایران شده است، لذا باید با انجام تحقیقات علمی بسیار بر این موارد فایز شد. نیاز به پایش و تعیین درجه، شدت، تداوم، زمان وقوع و خاتمه دوره‌های خشک، توزیع مکانی و زمانی آن از یکطرف و اظهار این عقیده که تعیین شرایط دوره‌های خشک (با استفاده از شاخص‌های دوره‌های خشک) به عنوان یک ابزار مدیریتی و برنامه‌ریزی می‌باشد، محققان را بر آن داشته است تا شاخص‌هایی برای پایش دوره خشک و روش‌هایی را برای پهنه‌بندی آن ارائه دهند. هدف یک شاخص خشکسالی، تعیین ساده و کمی سه ویژگی یعنی شدت، تداوم و گستردگی مکانی آن است. یک شاخص خشکسالی همچنین می‌بایست سابقه تاریخی یک حادثه را بدهد تا امکان مقایسه شرایط موجود با گذشته وجود داشته باشد. از طرف دیگر آنجا که دوره‌های خشک ممکن است در اثر کمبود باران و کاهش پوشش برف، تقلیل جریان‌های سطحی و رطوبت خاک و دیگر عوامل متأثر از آن و یا حتی براساس ترکیبی از این عوامل بیان شود. لذا توصیف آن‌ها از نظر کمی و کیفی طیف وسیعی از داده‌ها را شامل می‌شود. با ارائه یک شاخص که در واقع تابعی از عوامل مختلف محیطی و عوامل متأثر از دوره‌های خشک است و در نهایت به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود، می‌توان تصویر جامعی از همه این عوامل را فراهم کرده و از آن برای ارزیابی دوره‌های خشک و تصمیم‌گیری درباره آن استفاده کرد که به مراتب مفیدتر و ساده‌تر از ردیف‌های متعددی از داده‌های متنوع مرتبط با خشکی است. از طرف دیگر پهنه‌بندی این شاخص و به طور کلی پهنه‌بندی مکانی دوره‌های خشک و توزیع منطقه‌ای آن یکی از ویژگی‌های مهمی است که باعث درک بهتری نسبت به این پدیده و بررسی دقیق‌تر آثار آن می‌شود.

به طور کلی تکرار، تداوم و شدت خشکی همگی توابعی هستند که به طور صریح و یا غیرصریح به مقیاس زمانی وابسته‌اند. بنابراین برای پایش دوره‌های خشک، ارائه شاخصی که در آن مقیاس زمانی مدنظر قرار گرفته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است و برای تحلیل و بررسی این پدیده و آثار آن بر محیط کاربردهای فراوانی وجود دارد. به این جهت از شاخص بارندگی استاندارد شده که به وسیله مک‌کی و همکاران ارائه شده، برای پایش مراحل اولیه دوره‌های خشک استفاده شد (McKee et al., 1993, p78). این شاخص یکی از معدود شاخص‌های پایش خشکی و حتی می‌توان گفت تنها شاخصی است که در آن مقیاس زمانی برای پایش دوره خشک مدنظر قرار گرفته است به این دلیل از انعطاف پذیری بالایی در تعیین و پایش دوره‌های خشک و بررسی آثار این پدیده بر ذخایر آبی کوتاه مدت (بخش کشاورزی) و ذخایر بلند مدت (مدیریت منابع آب و آب زیرزمینی) برخوردار است. با توجه به خصوصیات شاخص SPI، این شاخص در سرتاسر دنیا برای پایش دوره‌های خشک استفاده شده است. پایش خشکسالی‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ کلرادو، به وسیله مک‌کی و همکاران، نمونه‌ای از پایش دوره خشک با

استفاده از SPI می‌باشد (McKee et al., 1993; McKee et al., 1995, p.175). در تحقیقی دیگر یاموح و همکاران نشان دادند که استفاده از نتایج SPI برای تعیین آثار آب و هوا بر عملکرد گیاهان خیلی سودمند است (Yamoah et al., 1997, p.86). دوره های خشک ۱۹۹۵-۱۹۹۶ صحراهای جنوبی و ایالات جنوب غربی ایالات متحده هم با استفاده از SPI به وسیله هیز و همکاران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Hayes et al., 1999, p.59). در تحقیقی دیگر در نبراسکا، مک کی و ادواردز با استفاده از SPI به بررسی دوره های خشک پرداختند (Edwards and McKee, 1997, p.66). مقادیر SPI برای ۴۰ ایستگاه در ۷ بخش اقلیمی متفاوت در ترکیه نیز برای دوره آماری ۱۹۴۰-۱۹۹۷ و برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به وسیله کموسکو محاسبه شد (Komuscu, 1999, p.78). از SPI برای پایش دوره های خشک مناطق ساحلی غرب آفریقا به وسیله اگنیو استفاده شد (Agnew, 2000, p.99). از جمله مطالعات دیگر می‌توان به مطالعات آتیلا و ژینل اشاره کرد (Attila and Szinell, 1996, p.156). آنها در مطالعات خود برای پایش دوره های خشک مجارستان از SPI و PDSI استفاده کردند. مطالعات فوق از جمله مهمترین مطالعاتی است که به بحث در باره شاخص SPI پرداختند، هر چند که مطالعات پراکنده زیادی در سرتاسر دنیا، موارد استفاده از این شاخص را مورد بحث قرار داده‌اند.

در ارتباط با آنالیز مکانی متغیرها، میان‌یابی و تحلیل فضایی آن‌ها تاکنون تحقیقات زیادی انجام گرفته است. گالیشانند و مارکوت برای تهیه نقشه رس‌های خاک سطحی به بررسی و ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی پرداختند و دریافتند که روش‌های متحرک وزن دار، کریجینگ و کوکریجینگ بهم شبیه‌اند (Gallichand and Marcotte, 1993, p.199). در تحقیق دیگری این محقق و همکارانش روش‌های مختلف میان‌یابی را برای بررسی شوری و قلیایی بودن خاک بررسی کرده و نشان دادند که روش کریجینگ به عنوان یک روش مناسب می‌تواند برای میان‌یابی مطرح باشد (Gallichand et al., 1992, p.82). حسینی و همکاران برای تجزیه و تحلیل شوری و رسم نقشه‌های آن از روش‌های میان‌یابی استفاده کردند (Hosseini et al., 1993). براساس نتایج به دست آمده، آن‌ها دریافتند که در مجموع دقت میان‌یابی همه روش‌های به کار برده شده پائین است. لیکن در بین آن‌ها روش TPSS<sup>۱</sup> و کریجینگ از دقت بالاتری برخوردارند. لازمت و همکاران روش‌های میان‌یابی میانگین متحرک، عکس مربع فاصله، مثلث‌بندی نامنظم، روش لاپلاس و کریجینگ معمولی را برای برآورد اسیدتیته (PH) خاک سطحی بررسی کردند (Lastett et al., 1987, p.49). در بین روش‌های استفاده شده، دو روش لاپلاس و کریجینگ بهترین نتایج را نشان دادند. در تحقیق دیگری بال و لوک از روش‌های تیسن، چند جمله‌ای، عکس فاصله، کریجینگ و TPSS برای برآورد شدت بارندگی در حوزه‌ای به وسعت ۱۱۲ کیلومتر مربع در استرالیا استفاده کردند (Bull and Luk, 1998, p.61). آن‌ها دریافتند که روش TPSS از بقیه روش‌ها دقیقتر است و روش تیسن کمترین دقت را دارد. محققان در جنوب فلوریدا، روش کریجینگ را به عنوان یک روش مناسب برای برآورد بارندگی سالانه معرفی کردند (Abtew et al., 1993, p.72). براساس تحقیقات وبر و انگلاند از بین پانزده روش میان‌یابی برای برآورد بارندگی، روش‌های عکس فاصله و مجذور فاصله نتایج قابل قبولی را به دست آوردند (Weber and Englund, 1992, p.102).

تحقیقات زیاد دیگری هم به وسیله محققان روی روش‌های میان‌یابی صورت گرفت، از آن جمله می‌توان به تحقیقات دلفینر و دلهام، وهابا، کرسیس، هاجینسون، هاجینسون و گسلسر و ولتز و گولارد اشاره کرد (Delfiner and Delhomme, 1975; Wahba, 1980; Cressies, 1991; Hutchinson, 1991; Hutchinson, 1993; Hutchinson and Gessler, 1994; Voltz and Goulard,

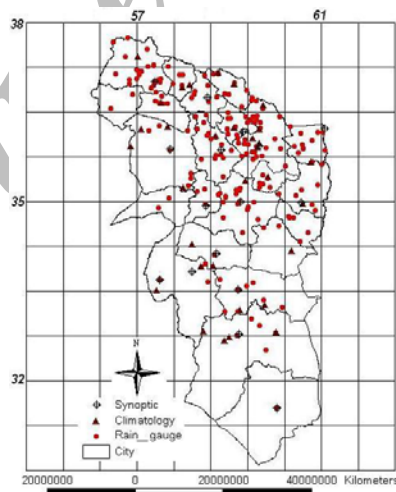
۱۹۹۴). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که دقت روش‌های میان‌بازی گریجینگ و TPSS از دیگر روش‌ها بیشتر است. با توجه به این تحقیقات مشخص می‌شود که اطلاعات مناسب و چندانی در ارتباط با روش‌های میان‌بازی دوره‌های خشک و پهنه‌بندی آن‌ها وجود ندارد، لذا این موضوع پیش‌زمینه ارائه این تحقیق است.

## مواد و روش‌ها

### - مشخصات منطقه و ایستگاه‌های مطالعه شده

منطقه مطالعه شده یعنی، استان خراسان بزرگ با وسعتی بالغ بر ۳۱۳ هزار کیلومتر مربع به عنوان وسیع‌ترین استان کشور است که توسط بارندگی آن ۲۰۹ میلیمتر (از همین محققان) می‌باشد. برای انجام بررسی‌های دقیق و کامل، کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک و کليماٲولوژی سازمان هواشناسی و باران‌سنجی شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان (در مجموع ۲۴۲ ایستگاه) شناسایی شدند (شکل ۱).

به‌طور کلی برای بررسی و مطالعه دقیق وضعیت پارامترهای اقلیمی در یک منطقه و تحلیل شرایط خشک و مرطوب، شبکه کامل و متراکمی از ایستگاه‌های هواشناسی که دارای آمارهای طولانی‌مدت (حداقل ۳۰ سال برای پایش دوره‌های خشک) باشند، نیاز بود. لذا ۵۸ ایستگاه (۴۲ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۱ ایستگاه سینوپتیک و ۵ ایستگاه کليماٲولوژی) که دارای ۳۰ سال آمار بودند از بین ایستگاه‌های مطالعه شده انتخاب شدند. بعد از تعیین ایستگاه‌ها، آزمون همگنی داده‌ها به روش غیرگرافیکی (روش ران‌تست)<sup>۱</sup> برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همچنین همگن بودن سری داده‌های ثبت شده انجام شد و در موارد مورد نیاز، داده‌ها اصلاح شدند.



شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های استفاده شده در سطح خراسان بزرگ

### پایش دوره خشک

در این تحقیق، ابتدا ایستگاه‌هایی هواشناسی که دارای داده‌های بارندگی مناسب برای دوره آماری ۱۹۶۸-۲۰۰۰ بودند، شناسایی شدند و برای مشخص کردن وضعیت اقلیمی منطقه و پایش دوره‌های خشک استفاده شده قرار گرفتند. برای پایش شرایط دوره‌های خشک و بررسی روند تغییرات طولانی مدت نیز شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) که به صورت زیر قابل محاسبه

است، استفاده شده:

$$SPI = \frac{X_{ik} - \bar{X}_i}{\delta_i} \quad (1)$$

که در آن  $\delta_i$ : انحراف از معیار داده‌های  $i$  امین ایستگاه،  $X_{ik}$ : مقادیر بارندگی برای  $i$  امین ایستگاه و  $k$  امین مشاهده و  $\bar{X}_i$ : توسط بارندگی ایستگاه  $i$  ام می‌باشد.

تعیین و پایش دوره خشک شامل تاریخ شروع، خاتمه، تداوم و شدت دوره خشک است. با تعیین SPI که به عنوان یک شاخص کمی و کاربردی برای مقیاس‌های زمانی متفاوت مطرح است، می‌توان پارامترهای فوق را محاسبه کرد. (برای مطالعه کامل‌تر این شاخص به مقالات مک‌کی (۱۹۹۳ و ۱۹۹۵) مراجعه شود (McKee et al., 1993; McKee et al., 1995, p52)). در این تحقیق برای محاسبه SPI و در نهایت پارامترهای مذکور، ابتدا مجموعه‌ای از متوسط دوره‌ها برای تعیین مجموعه داده با مقیاس‌های زمانی  $i$  ماهه که  $i$  برابر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه می‌باشد، ارائه شد. انتخاب این مجموعه‌ها با توجه به تأثیر کمبودهای بارندگی بر هر یک از انواع منابع آبی، مشخص می‌شود. این مجموعه در حال تغییر، برای هر ماه یک مقدار جدیدی را با توجه به مقادیر  $i$  ماه قبل به دست می‌دهد. هر مجموعه داده با مناسب‌ترین توزیع احتمال (در این تحقیق توزیع گاما) برای تعریف روابط احتمالاتی بارندگی، مشخص گردید (اولین گام در محاسبه شاخص SPI تعیین تابع توزیع احتمال است که بتوان سری‌های زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی را توصیف نمود). هنگامی که رابطه احتمال داده‌های بارندگی موجود به دست آمد، احتمال نقطه‌ای هر یک از داده‌های بارندگی مشاهده شده، محاسبه و برای محاسبه انحراف بارندگی در یک تابع چگالی احتمال نرمال استاندارد که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار واحد می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. این مقادیر، مقدار SPI را برای هر داده بارندگی به دست می‌دهد.

#### روش‌های میان‌یابی و پهنه‌بندی

بعد از محاسبه SPI، برای پهنه‌بندی دوره‌های خشک در استان خراسان از شاخص مذکور استفاده شد. برای پهنه‌بندی دوره‌های خشک بر خلاف پهنه‌بندی‌های مربوط به دیگر پارامترهای اقلیمی که معمولاً تابعی از پارامترهای مکانی و موقعیتی هر منطقه می‌باشند، در ابتدا یک الگوی مشخصی وجود نداشت، زیرا در محاسبات مربوط به شاخص‌ها معمولاً وضعیت پارامترهای اقلیمی مرتبط، هر ایستگاه نسبت به وضعیت نرمال همان ایستگاه سنجیده می‌شود و در صورت وجود انحراف از وضعیت نرمال و طبیعی شرایط مختلف دوره‌های مرطوب یا خشک مشخص می‌شود. لذا در ابتدا به نظر می‌رسید که دوره‌های خشک نمی‌توانند تنها تابعی از پارامترهای معمول مانند ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی باشند، بنابراین برای پهنه‌بندی دوره‌های خشک در این تحقیق سعی شد تا از روش‌های موجود برای انترپولاسیون فضایی و تحلیل فضایی داده‌های مکانی استفاده شود و مدل‌های ابداعی خاصی برای افزایش دقت نقشه‌های پهنه‌بندی دوره‌های خشک ارائه شود. برای پهنه‌بندی این دوره‌ها چندین مدل تحلیلی متفاوت استفاده شده که این مدل‌ها در قسمت‌های ذیل بحث شده‌اند.

#### الف) مدل رگرسیونی

برای تحلیل فضایی دوره‌های خشک و به تبع آن شاخص مربوطه، رابطه رگرسیونی بین متغیرهای مکانی هر ایستگاه و مقدار شاخص در ایستگاه مورد نظر برقرار شد. بنابراین پارامترهای مکانی هر یک از ایستگاه‌ها به عنوان پارامتر مستقل و مقدار شاخص به عنوان پارامتر وابسته تعریف شدند. در مرحله بعد سعی شد تا رابطه مشخصی (خطی، توانی، نمایی و ... با درجه‌های مختلف)

بین هریک از پارامترهای مکانی به تنهایی و یا ترکیبی از آن‌ها با مقدار شاخص برقرار شود. برای به دست آوردن معادلات فوق برای هریک از شاخص‌ها از ایستگاه‌هایی که دارای حداقل ۳۰ سال آمار مرتبط بودند، استفاده شد. در روش فوق معادلات رگرسیونی شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی متفاوت محاسبه شدند.

### ب) مدل میان‌یابی IDW

در این مدل از روش عکس فاصله برای میان‌یابی فضایی مقادیر شاخص دوره خشک و در نهایت پهنه‌بندی دوره‌های خشک استفاده شد. روش استفاده شده یکی از معمول‌ترین تکنیک‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضا است که اساس آن بر مبنای این فرضیه است: در یک سطح میان‌یابی اثر یک پارامتر بر نقاط اطراف یکسان نیست و نقاط نزدیک بیشتر و نقاط دور کمتر تحت تأثیرند و هرچه فاصله از مبدا افزایش یابد، اثر کمتر خواهد شد. برای پهنه‌بندی دوره‌های خشک بر اساس این مدل از توان دوم عکس فاصله با اندازه سلول‌های ۵۰۰ متر و کد توسعه‌ای<sup>۱</sup> Surface نرم‌افزار Arcview استفاده شد. در این روش پس از مشخص کردن مقادیر شاخص SPI در هریک از مقیاس‌های زمانی و برای سال‌های مختلف در هریک از ایستگاه‌ها، مقادیر ارائه شده به نقشه وصل و مدل فوق با استفاده از نرم‌افزار Arcview روی نقشه‌ها اعمال شد و نقشه‌های پهنه‌بندی تولید گردید.

### ج) مدل میان‌یابی Spline

روش استفاده شده در این مدل یک روش انترپولاسیون داده‌های مکانی است که یک سطح با حداقل انحنا را روی نقاط استفاده شده برای انترپولاسیون برازش می‌دهد. این سطح مانند یک سطح پوششی است که امکان اتصال کلیه نقاط در فضا را با حداقل انحنا مهیا می‌کند، لذا یک تابعی ریاضی را طوری بر سطح برازش می‌کند که از نقاط کنترل بگذرد. برای پهنه‌بندی دوره‌های خشک بر اساس این مدل و انجام محاسبات مربوطه از کد توسعه‌ای<sup>۱</sup> Surface نرم‌افزار Arcview استفاده شد. در این روش پس از مشخص کردن مقادیر شاخص SPI در هریک از مقیاس‌های زمانی و برای سال‌های مختلف در هریک از ایستگاه‌ها، مقادیر ارائه شده به نقشه وصل، و مدل فوق با استفاده از نرم‌افزار Arcview روی نقشه‌ها اعمال شد و نقشه‌های پهنه‌بندی تولید گردید.

### د) مدل کرجینگ

یکی از تکنیک‌های بسیار مناسب و پیشرفته برای تحلیل فضایی و توزیع منطقه‌ای داده‌های مکانی استفاده از روش کرجینگ می‌باشد. زیرا یک روش برآورد بهینه است که متغیرهای استفاده شده در آن تا حدودی تصادفی است و از تابع هندسی مشخصی نیز تبعیت نمی‌کنند. در این تحقیق هم از آنجا که داده‌های مربوط به شدت دوره‌های خشک و در نهایت مقادیر شاخص SPI در هریک از ایستگاه‌ها، به طور دقیق شرایط متغیرهای استفاده شده در مدل کرجینگ را دارند، از این روش هم برای پهنه‌بندی و هم تحلیل فضایی دوره‌های خشک استفاده شد.

در این روش تحلیل از یک روش میانگین وزنی برای توزیع متغیرها استفاده شد، به این صورت که هر چه متغیر به مبدأ

نزدیکتر باشد، وزن آن بیشتر است و هر چه فاصله نقاط دورتر باشد، وزن کمتر خواهد بود. در روش کریجینگ ابتدا مقادیر مربوط به انحراف آماری متغیر در فواصل مختلف و در جهت های متفاوت نسبت به نقطه کنترل به صورت مجموعه‌ای از فاکتورهای وزن‌دار که مینیمم خطا در تخمین مقادیر نقطه‌ای را دارد، برای انجام تحلیل تولید می‌شود.

توزیع فضایی متغیرهای ژئوفیزیکی به‌طور پیوسته از نقاط کنترل و با توجه به مقادیر مشخص آن تخمین زده می‌شود. درجه و میزان پیوستگی فضایی مقادیر کنترل را می‌توان به صورت یک وریوگرافی بیان کرد که روش کریجینگ اطلاعات مربوط به وریوگرام را برای انتخاب بهینه وزن‌ها به دست می‌دهد. در وریوگرام ارائه شده فاصله بین نقاط کنترل بوسیله محور افقی گراف و انحراف مقادیر هر نقطه از سطح را از نقطه کنترل به صورت یک تابعی از فاصله روی محور عمودی گراف ارائه می‌کند. در قسمت‌های ذیل سعی شده است تا مراحل انجام محاسبات مربوط به روش کریجینگ به تفصیل بحث شود.

اولین گام در روش‌های معمول کریجینگ، ساخت وریوگرام مجموعه نقاط پراکنده است. در وریوگرام مقدار متغیر مورد نظر در مقابل فاصله از نقطه مبدا رسم می‌شود. هر وریوگرام شامل دو قسمت است: وریوگرام تجربی و وریوگرام مدل که این دو وریوگرام به وسیله کد توسعه‌ای Kriging نرم‌افزار Arcview تولید شد. برای تولید وریوگرام مدل‌های زیر استفاده شده قرار گرفت:

الف) مدل کروی <sup>۱</sup>	ب) مدل نمائی <sup>۲</sup>
ج) مدل گوسین <sup>۳</sup>	د) مدل توانی <sup>۴</sup>

برای پهنه‌بندی دوره های خشک با استفاده از مدل کریجینگ، در ابتدا وریوگرام تجربی و متعاقب آن وریوگرام مدل به صورت مجزا و با استفاده از روش‌های متفاوت تولید وریوگرام مدل و مقادیر مختلف Lag تولید شد. در مراحل مختلف تولید وریوگرام‌های مدل، میانگین مجذور مربعات خطا به دست شده برای روش‌های متفاوت تولید وریوگرام مدل با مقادیر متفاوت Lag، با همدیگر مقایسه می‌شدند. سپس از بین کلیه روش‌های تولید وریوگرام مدل و مقادیر مختلف Lag، بهترین و مناسب‌ترین روش و مقدار Lag با کمترین مقادیر میانگین مجذور مربعات خطا انتخاب شد و براساس معادله به دست آمده برای وریوگرام مدل، مقادیر شاخص SPI محاسبه شد در ایستگاه‌ها به سطح تعمیم داده شده و نقشه‌های پهنه‌بندی دوره‌های خشک تولید شد. کلیه مراحل فوق به به وسیله نرم‌افزار Arcview روی نقشه‌ها اعمال و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی تولید گردید (در شکل ۲ وریوگرام‌های تجربی و مدل شاخص SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه ارائه شده است).

#### مقایسه روش‌های پهنه‌بندی

برای ارزیابی و بررسی روش‌های مختلف مدل‌های پهنه‌بندی پایش دوره های خشک از روشی به نام روش اعتبارسنجی متقاطع<sup>۱</sup> استفاده شد. در این روش، یک نقطه به صورت موقتی حذف شده و مقدار آن از روی نقشه‌های پهنه‌بندی شده تعیین گردید. در نهایت ضریب همبستگی بین داده‌ها، انحراف نتایج (MDE) و دقت روش (MAE) براساس روابط زیر محاسبه شد:

1- Spherical Model  
2 - Exponential Model  
3- Gaussian Model  
4- Power Model  
1 - Cross Validation

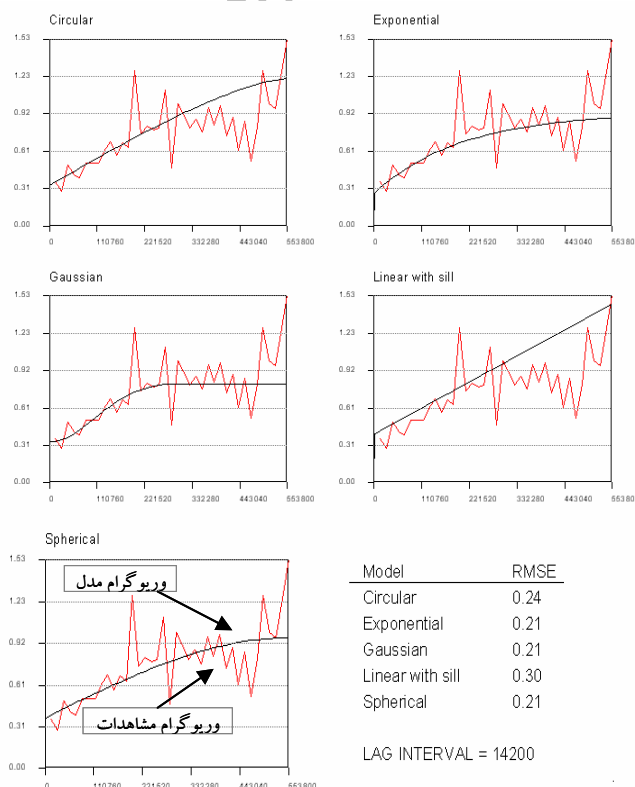
$$MDE = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{Si} - E_{0i})}{n} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |E_{Si} - E_{0i}|}{n} \quad (3)$$

که در آن،  $E_S$ : مقدار برآورد شده،  $E_0$ : مقدار اندازه‌گیری شده،  $MDE$ : مقدار انحراف مدل؛  $MAE$ : دقت مدل؛  $i$ :

اندیس مربوط به ایستگاه و  $n$ : تعداد ایستگاه است.

پارامتر ارزیابی MDE نشان می‌دهد که اولاً آیا مدل مقدار متغیر مورد نظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند و دوم مقدار کمی آن چقدر است. زمانی که MDE برابر صفر است، مشخص می‌شود که مدل فضای مطالعه شده را خوب برآورده کرده و هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. دقت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان دهنده دقت صد در صد مدل است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته حاکی از کم شدن دقت مدل است. ضریب همبستگی هم نشان دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورده شده با مقادیر محاسبه شده است که هرچه مقدار آن بالاتر باشد، این ارتباط نزدیکتر است و اختلاف مقدار برآورده شده با مقدار محاسبه شده کمتر خواهد بود. این روش ارزیابی برای کلیه مدل‌های پهنه‌بندی و در کلیه مقیاس‌های زمانی انجام شد.



شکل ۲: وریوگرام تجربی و وریوگرام‌های مدل تولیدی برای شاخص SPI در مقیاس زمانی بیست و چهار ماهه



### یافته‌های تحقیق

یافته‌های این تحقیق در دو بخش مجزا ارائه شده، در بخش اول یافته‌های مربوط به شاخص و در بخش دوم یافته‌های مربوط به روش‌های مختلف پهنه‌بندی ارائه شده است. از آنجا که در این مقاله هدف بررسی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی دوره‌های خشک است و نه نتایج مربوط به مشخصات دوره‌های خشک، لذا به برای ارائه مفیدتر نتایج، تنها کلیاتی از نتایج مربوط به دوره خشک ارائه شده است.

(۱) بررسی دوره‌های خشک با استفاده از شاخص SPI نشان داد که در سال‌های اخیر تداوم خشکی‌ها افزایش پیدا کرده، اما تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است.

(۲) در کلیه مقیاس‌های زمانی در سال‌های اخیر و در منطقه موردنظر تکرار دوره‌های خشک افزایش داشته، اما از شدت آن‌ها تا حدودی کاسته شده است؛

(۳) تجزیه و تحلیل دوره‌های خشک خیلی شدید منطقه نشان می‌دهد که این نوع از دوره‌های خشک با محاسبات SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف دارای تکرار و تداوم‌های متفاوتی می‌باشند. این نتایج همچنین نشان می‌دهند که وقوع این نوع از دوره‌های خشک در مناطق جنوبی استان با تداوم و تکرار بیشتری نسبت به مناطق مرکزی و شمال استان اتفاق می‌افتد.

(۴) با افزایش مقیاس‌های زمانی، دوره‌های خشک کوچکتر با هم ترکیب شده و دوره‌های خشک بزرگ‌تری را با تکرار کمتر و تداوم بیشتر به وجود آورده‌اند که تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است. این مساله نیز مرتبط با ویژگی‌های شاخص SPI می‌باشد.

### یافته‌های پهنه‌بندی

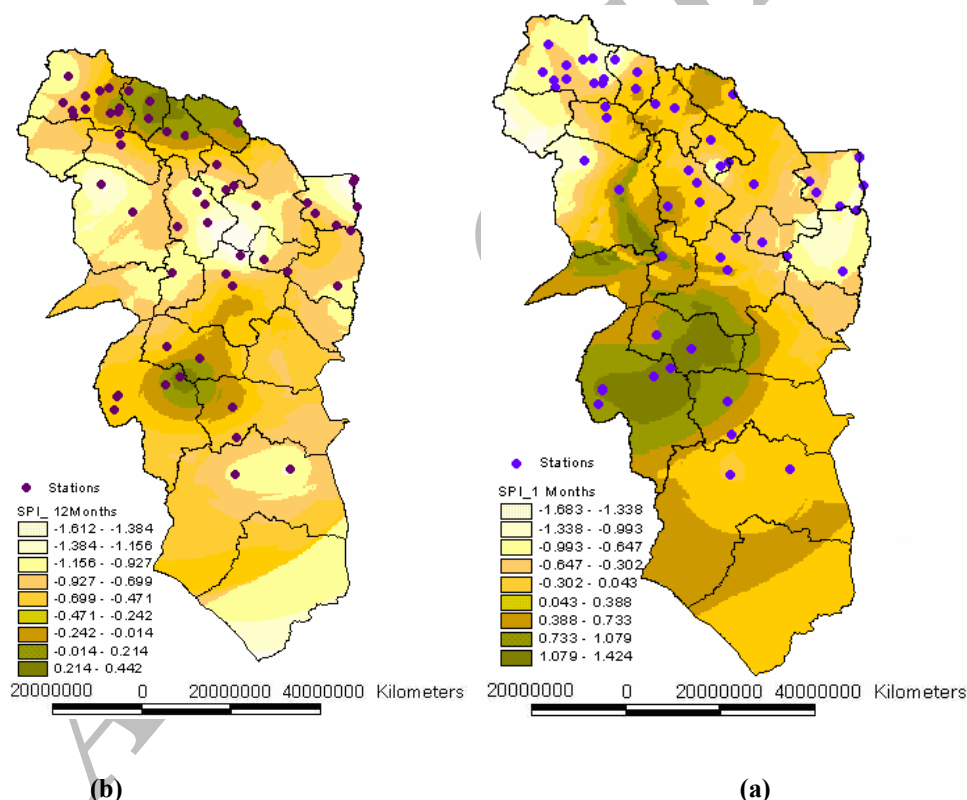
(۱) بررسی‌ها نشان داد که در اکثر روش‌های رگرسیونی نمی‌توان همبستگی مناسبی را بین داده‌های مربوط به شاخص و متغیرهای مکانی (ارتفاع، یا طول عرض جغرافیایی) پیدا کرد. به دلیل برای شرایط خاص دوره‌های خشک و عدم وابستگی زیاد آن به پارامترهای مکانی، رابطه‌های به دست آمده دارای همبستگی پائینی بودند و حداکثر همبستگی زمانی حادث می‌شده می‌شد که از یک رابطه رگرسیونی چهار پارامتری غیرخطی درجه دو (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به عنوان متغیر مستقل و مقدار شاخص به عنوان متغیر وابسته) استفاده شود.

(۲) با بررسی مقادیر MAE و MDE روش‌های مختلف انترپولاسیون شاخص SPI مشخص شد که روش کریجینگ به عنوان مناسب‌ترین روش انترپولاسیون شاخص SPI می‌باشد (جدول ۱). لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده برای دو پارامتر مربوط به اعتبار سنجی متقاطع از میانگین مقادیر این دو پارامتر برای ماه‌های مختلف سال ۲۰۰۰ میلادی و مقیاس‌های زمانی ۱ - ۲۴ ماهه به دست آمده است.

جدول ۱ مقایسه روش‌های مختلف پهنه‌بندی دوره‌های خشک منطقه

مدل	پارامتر ارزیابی	MDE مقدار مطلوب = ۰	MAE مقدار مطلوب = ۰	R <sup>2</sup> مقدار مطلوب = ۱
رگرسیونی		۱/۵	۳/۱	۰/۲۲
IDW		-۲/۲۵	۱/۴	۰/۵۳
Spline		-۳/۴۵	۱/۸	۰/۴۵
کریجینگ		-۱/۱	۰/۹۵	۰/۷۱

۳) با توجه به اینکه مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی دوره‌های خشک روش کریجینگ می‌باشد، لذا نقشه‌های پهنه‌بندی دوره‌های خشک ۱۲ ماه سال ۲۰۰۰ در مقیاس‌های زمانی ۱ ماهه (شکل ۳a) و ۱۲ ماهه (شکل ۳b) ارائه شده است. این نقشه‌ها را می‌توان برای مدیریت صحیح و اصولی انواع دوره‌های خشک به صورت ماهانه و در مقیاس‌های زمانی متفاوت تولید کرد.



شکل ۳ پهنه‌بندی دوره‌های خشک براساس روش کریجینگ برای شاخص SPI (ماه ۱۲ سال ۲۰۰۰ م) (a) مقیاس زمانی یک ماهه، (b) مقیاس زمانی ۱۲ ماهه

### نتیجه‌گیری

بررسی و تحلیل نتایج حاصل از این تحقیق، نتیجه‌گیری کلی زیر را به دست داد:

- از بین روش‌های استفاده شده برای پهنه‌بندی، روش کریجینگ با توجه به خصوصیات آن می‌تواند به عنوان روش مناسبی برای تحلیل مکانی دوره‌های خشک مطرح باشد؛
- نقشه‌های حاصل از مقادیر شاخص در مقیاس‌های زمانی متفاوت نشان داد که با استفاده از روش کریجینگ و نرم افزار

Arcview، براحتی امکان تولید نقشه‌های هم‌تراز شدت دوره‌های خشک وجود دارد؛

۳) نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با توجه به پیشرفت تکنولوژی رایانه‌ای و به کارگیری آن در تهیه، جمع‌آوری، ذخیره و آنالیز اطلاعات، برای استفاده بهینه از منابع، جامع‌ترین روش نظام دهی عوارض، یعنی GIS می‌تواند برای پردازش اطلاعات مربوط به درجه، شدت، تداوم و توزیع مکانی دوره‌های خشک و شناسایی بهتر و جامع‌تر آن (از نظر موقعیت و اطلاعات توصیفی)، دسترسی سریع‌تر به هدف با صرف هزینه و زمان کمتر استفاده شود. همچنین می‌توان به‌جای استفاده از مجموعه وسیعی از داده‌ها از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای اصلاح، رسیدگی، خلاصه‌سازی، انجام محاسبات بسیار دقیق و پیچیده و مانند آن‌ها استفاده کرد که این امر تسهیلات لازم برای تحلیل، شبیه‌سازی و حل مشکلات نظری و علمی را به‌راحتی در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

۴) نتایج حاصل از پهنه‌بندی دوره‌های خشک با استفاده نرم‌افزار Arcview و کدهای توسعه‌ای نشان داد که این نرم‌افزار می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی بسیار مناسبی، اطلاعات جامع و کاملی را در اختیار مدیران و مسئولان امر قرار دهد.

#### توصیه و پیشنهاد:

۱) پیشنهاد می‌شود که از شاخص SPI برای پایش دوره‌های خشک کشاورزی (دیم و آبی)، دوره‌های خشک هواشناسی و دوره‌های خشک منابع آبی (قنات، چشمه‌ها، کاریزها، مخازن بزرگ و کوچک، منابع آب سطحی فصلی و دائمی و منابع آب زیرزمینی کم عمق و عمیق) با توجه به خصوصیات شاخص استفاده شود.

۲) پیشنهاد می‌شود که مقادیر این شاخص با شاخص‌های دیگر پایش مانند شاخص پالمر و درصد نرمال بارندگی، شاخص NDVI مقایسه و برتری این روش‌ها نسبت به یکدیگر در زمینه‌های مختلف مشخص شود.

۳) پیشنهاد می‌شود که پهنه‌بندی دوره‌های خشک براساس شاخص فوق و در مقیاس‌های زمانی متفاوت و روش‌های مختلف پهنه‌بندی برای کل کشور در قالب یک طرح مطالعاتی صورت پذیرد تا بتوان از آن برای مدیریت بهتر دوره‌های خشک، تبدیل مدیریت بحران به مدیریت خطر، بیمه محصولات کشاورزی و ... استفاده کرد.

#### منابع

- 1- Abteu, W., Obeysekera, J., Shih, G., 1993, "Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida". Water Resources Bulletin, Vol 29, PP:179-188.
- 2- Agnew, C. T. 2000, "Using the SPI to Identify Drought". Issue of Drought Network News (On-line), Vol.12, Available on the WWW:url:http://enso.unl.edu/ndmc.
- 3- Attila, B. and Szinell, C. "Drought Continues in Hungary in 1995". Issue of Drought Network News (On-line); Vol. 3, Available on the WWW:url:http://enso.unl.edu/ndmc, 1996.
- 4- Bull, J. E., and Luk, K. C. 1998, "Modeling Spatial Variability of Rainfall over a Catchment". ASAE J. of Hydro. Eng., Vol.3, PP: 122-130.
- 5- Cressies, N. 1991, "Statistic for Spatial data". John Wiley and Sons, New York, N.Y.
- 6- Delfiner, P. Delhomme, JP. 1975, "Optimum Interpolation by Kriging". In: J.D. Davis and M.J. McCullagh(eds), Display and Analysis of Spatial Data, New York. John Wiley and Sons, pp 96-114.
- 7- Driks, K. N., Hay, J. E. Stow, C. D. and Harris D. 1998, "High-Resolution Studies of Rainfall on Norfolk Island, Part : Interpolation of Rainfall Data". J. Hydro., Vol, 208, PP: 187-193.
- 8- Edwards, D.C. and McKee, T. B. 1997, "Characteristics of 20th Century Drought in the United

- States at Multiple Time Scales". Climatology Report Number 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins.
- 9- Gallichand, J., Bouckland, D., Marcotte D, Henry M. J. 1992, "Spatial Interpolation of Soil Salinity and Sodicity a Saline Soil in Southern Alberta". Canadian Journal of Soil Science, Vol, 72, PP:503-516.
- 10- Gallichand, J., Marcotte D. 1993, "Mapping clay Content for Subsurface Drainage in the Nile Delta". Geoderma, Vol, 58 PP: 165-179.
- 11- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite D. A, Vanyarkho, O. V. 1999, "Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index". Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 80, PP: 429 – 438.
- 12- Hosseini, E. Gallichand, J. Marcotte D. 1993, "Theoretical Experimental Performance of Spatial Interpolation Methods for Soil Salinity Analysis". Transactions of the ASAE., Vol.36, PP:1799-1807.
- 13- Hutchinson M. F. 1991, "Continent\_Wide Data Assimilation Using Thin Plate Smoothing Splines". In: J. D. Jasper(ed), Data Assimilation Systems. BMRC Research Report No. 27, Melbourne Bureau of Meteorology, pp:104-113.
- 14- Hutchinson M. F. 1993, "On Thin Plate Splines and Kriging ". In: M. E. Tarter and M. D. Lock(eds, Computing Science and Statistics, Vol. 25, Interface Foundation of North America, University of California, Berkeley, pp:104-113.
- 15- Hutchinson M. F, Gessler, P. E. 1994, "Splines – more Than Just a Smooth Interpolator". Geoderma, Vol.62, PP: 45-67.
- 16- Komuscu, A.U. 1999, "Using the SPI to Analyze Spatial and Temporal Patterns of Drought in Turkey". Issue of Drought Network News (On-line), 1. Available on the WWW: url:<http://enso.unl.edu/ndmc>.
- 17- Lastett G. M., Mcbratney, A. B., Phal, Hutchinson M. F. 1987, "Comparison of Several Spatial Prediction Methods for Soil PH". J. of Soil Science. Vol.38, PP: 325-341.
- 18- Mckee T. B., Doesken N. J, Kleist, J. 1993. "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales". In: Proc. 8th Conf. on Applied Climatology, January 17 – 22, 1993. American Meteorological Society, Massachusetts, PP: 179 - 184.
- 19- McKee T. B., Doesken, N. J. Kleist, J. "Drought Monitoring with Multiple Time Scales". In: Proc. 9th Conf. on Applied Climatology, January 15 – 20, 1995. American Meteorological Society, Massachusetts, 1995, pp. 233 - 236.
- 20- Voltz M, Goulard M. 1994, "Spatial Interpolation of Soil Moisture Retention Curves". Geoderma, Vol, 62. PP: 109-123.
- 21- Wahba G. 1980 "Splines Models for Observation Data". CBMS\_NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics 59. Philadelphia, Pa: SIAM.
- 22- Weber D, Englund E. 1992, "Evaluation and Comparison of Spatial Interpolators". Mathematical Geology, Vol, 24, PP: 381-391.
- 23- Wilhite D. A, Glantz M. H, 1985, "Understanding the Drought Phenomenon :The Role of Definitions". Water International, Vol, 10, PP: 111-120.
- 24- Wilhite D. A. 1995, "Developing a Precipitation – Based Index to Assess Climatic Condition across Nebraska". Final Report Submitted to the Natural Resources Commission, Lincoln, Nebraska.
- 25- Yamoah C., Hayes, M.J. Savoboda, M. D. 1997. "Application of the Standardized Precipitation Index to Estimate Crop Yield in Nebraska". In:Proc. 10th Conf. on Applied Climatology, Boston, MA:American Meteorological Society.