

تحلیل الگوی فضایی وضعیت خشکسالی در زاگرس میانی و جنوبی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور

سالار میرزاپور^۱، میرمسعود خیرخواه زرکش^{*}، زهرا عزیزی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۹

چکیده

خشکسالی یکی از جدی‌ترین مخاطرات طبیعی است که بر کیفیت زندگی همه موجودات زنده تأثیرگذار است. ایران سرزمینی کم‌باران است که طی اعصار، با تهدید این مخاطره طبیعی مواجه بوده است. هدف این مطالعه بررسی شاخص‌های سنجش از دوری بیانگر خشکسالی و تبیین الگوی خودهمبستگی فضایی در زاگرس میانی و جنوبی است. در این راستا با بهره از آمار روزانه بارش ۱۰۳ ایستگاه هواشناسی طی دوره‌های زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ داده‌های مورد نیاز تهیه و مقادیر SPI متناظر ایستگاه‌های مذکور مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی استخراج شد. سپس شاخص‌های NDVI، VCI، TCI، VHI، DDI، NDDI، NDWI، EVI و SAVI بر ۲۴۰ تصویر سنجنده مودیس اعمال و نقشه‌های خشکسالی تهیه گردید و عوامل مؤثر به کمک تحلیل عاملی و الگوی فضایی شاخص خشکسالی با شاخص‌های سنجش از دور و تحلیل فضایی، تجزیه و تحلیل شدند. نتایج حاکی از کارایی بهتر شاخص‌های SAVI، NDVI، VCI و EVI در بررسی خشکسالی بوده است. همچنین شاخص SPI با بیشتر شاخص‌های پوشش گیاهی، الگوی خودهمبستگی فضایی مثبتی را نمایان کرده است؛ این در حالی است که در بین شاخص‌های یادشده VHI کمترین اثربخشی را در تحلیل خشکسالی ارائه کرد.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، زاگرس، SAVI، NDVI، VCI، EVI، SPI.

۱. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، نویسنده مسئول، kheirkhah@alumni.itc.nl

۳. ستادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران است.

مقدمه

پیشگیرانه خطر خشکسالی، در بسیاری از نقاط جهان به شکل کارآمد رخ نداده است (دفتر سازمان ملل متحد برای کاهش خطر بلایا، ۲۰۱۵؛ ژوهانا و مینوآ، ۲۰۱۷؛ سیواکومار^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ پوزی^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). مقابله با خشکسالی بسیار پیچیده است، زیرا ابعاد این خطر به طور کامل درک نشده و ارزیابی دقیق شروع، مدت و گستره مکانی خشکسالی همچنان یک چالش است (هاگن لوهرو^۳ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ون لون و همکاران، ۲۰۱۶). از دیرباز ایران به عنوان سرزمینی کم آب شناخته می شود. به سبب قرارگیری این کشور در عرض جغرافیایی نزدیک به استوا و میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی متر در سال، این منطقه بیش از عرض های بالایی از تغییرات اقلیمی دچار آسیب خواهد شد. به جز ایران، سایر کشورهای خاورمیانه نیز شرایط مشابه دارند (ویلهايت^۴، ۲۰۰۰). تغییرات اقلیمی و تأثیرات محیطی و اجتماعی متنوع آن به یک نگرانی بزرگ جهانی تبدیل شده است (کاررو^۵ و همکاران، ۲۰۱۶؛ فیلد^۶ و همکاران، ۲۰۱۲). به علاوه، این احتمال وجود دارد که خشکسالی ها در آینده به دلیل تغییرات آب و هوایی افزایش یابد (احمدعلی پور و همکاران، ۲۰۱۹). به سبب هایی که گفته شد، لزوم آگاهی از الگوی فضایی وضعیت خشکسالی امری حیاتی به شمار می آید. در گذشته، برای بررسی خشکسالی عمدتاً از سوابق بارندگی و داده های زمینی برای محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI)^۱، دهک های بارندگی، شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)^۲ و سایر شاخص های خشکسالی استفاده می شد (مک کی^۳ و همکاران، ۱۹۹۳؛ سوبودا و فوکس^۴، ۲۰۱۶). این در حالی است که با پیشرفت و توسعه علوم مکانی و ماهواره ای، استفاده از تکنیک های سنجش از دوری و سیستم

خشکسالی پدیده ای پیچیده است و از کمبود بارندگی در یک دوره زمانی طولانی منشأ می گیرد و از طریق چرخه هیدرولوژیکی منجر به کمبود آب در خاک و سیستم هیدرولوژیکی می شود (ون لون، ۲۰۱۳). برخلاف سایر بلایای طبیعی، خشکسالی به کندی توسعه می یابد و می تواند اثرات طولانی مدت داشته باشد که منجر به مشکلات شدید اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در سراسر جهان می شود (سنویراتنه^۵ و همکاران، ۲۰۱۲؛ یو^۶ و همکاران، ۲۰۱۸؛ لات و رز^۷، ۲۰۰۶). خشکسالی ها به چهار نوع، هواشناسی (بارش)، کشاورزی (رطوبت خاک)، هیدرولوژیکی (جریان و آب های زیرزمینی)، و خشکسالی های اجتماعی-اقتصادی (میشرا و سینگ^۸، ۲۰۱۰) طبقه بندی می شوند. خشکسالی های هواشناسی منشأ انواع دیگر خشکسالی ها هستند و می توانند به خشکسالی های کشاورزی و هیدرولوژیکی گسترش یابند که ممکن است منجر به خسارات اجتماعی-اقتصادی شود (الطاهیر و یه^۹، ۱۹۹۹؛ ون لون، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴). گسترش خشکسالی از هواشناسی تا هیدرولوژی اثرات قابل توجهی بر مدیریت منابع آب دارد که به شدت به ویژگی های آب و هوا و حوضه آبریز بستگی دارد (ون لون و ون لانن^{۱۰}، ۲۰۱۲). برای مدیریت بهتر منابع آب و کاهش اثرات خشکسالی، درک پدیده خشکسالی و عوامل تأثیرگذار آن در یک منطقه مورد نیاز است. تعدادی از مطالعات، گسترش خشکسالی را در مقیاس منطقه ای بررسی کرده اند (برای مثال بارکر^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۵؛ هانافورد^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۱؛ هانگ^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۷) و بر روی اثرات اقلیم و ویژگی های حوضه بر خشکسالی تمرکز کردند. با توجه به اثرات مخرب خشکسالی، همکاری های جهانی برای تعیین اولویت در خصوص مدیریت

- 1 . UNDDR 1
- 1 Johanna and Minoia 2
- 1 . Sivakumar 3
- 1 . Pozzi 4
- 1 . Hagenlocher 5
- 1 . Wilhite 6
- 1 . Carrão 7
- 1 . Field 8
- 1 . Standardized Precipitation Index 9
- 2 . Palmer Drought Severity Index 10
- 2 . Mckee 1
- 2 . Svoboda and Fuchs 2

1. Van Loon
2. Seneviratne
3. Yu
4. Lott and Ross
5. Mishra and Singh
6. Eltahir and Yeh
7. Van Lanen
8. Barker
9. Hannaford
- 1 . Huang

شاخص‌های NDVI و NDWI خشکسالی در مراتع موجود در دشت‌های بزرگ مرکزی ایالات متحده آمریکا به‌ویژه تپه‌های کانزاس و اوکلاهاما را مورد ارزیابی قرار دادند. تحلیل فضایی خشکسالی حوضه سیرجان با استفاده از سنجش از دور توسط پورخسروانی و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد. آن‌ها با اعمال شاخص‌های ترکیبی NDVI و LST بر تصویر سنجنده مودیس، خشکسالی در حوضه مذکور را بررسی کردند. در این راستا با ترکیب شاخص‌های VCI و TCI شاخص VHI به دست آمد. نتایج حاکی از ارتباط معنادار بین تغییرات NDVI و LST بوده است. اندرسون و همکاران (۲۰۱۳) برای مقایسه شاخص‌های خشکسالی در ایالات متحده از روش‌های سنجش از دور حرارتی و شبیه‌سازی NLDAS-2 با طبقه‌بندی‌های نظارت استفاده کردند. شاخص تنش تبخیری (ESI) همراه با تخمین‌های پیش‌آگهی رطوبت خاک (SM) در کنار سیستم همسان‌سازی داده‌های سرزمین آمریکای شمالی (NLDAS)، شاخص سلامت گیاهی (VHI) و صدک‌های بارش [شاخص بارش استاندارد شده (SPI) نیز برای ارزیابی عملکرد نسبی، شاخص‌های به‌کاررفته در آن پژوهش‌اند. مطالعه اثر خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی در اراضی مرتعی و کشاورزی بر مبنای داده‌های میدانی و ماهواره‌ای در جنوب استان همدان با استفاده از چهار شاخص سنجش از دوری VDI، VCI، TCI، WSVI در کنار شاخص SPI نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای نسبت به روش‌های هواشناسی دارای مزایایی همچون سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کم‌ترند (اخضری و همکاران، ۲۰۱۵).

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل بخش‌هایی از استان‌های اصفهان، یزد، چهارمحال و بختیاری، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان می‌باشد و در طول جغرافیایی بین ۴۸ تا ۵۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ تا ۳۴ درجه شمالی دربرگیرنده زاگرس مرکزی و جنوبی است. مساحت منطقه مورد مطالعه بیش از ۳۶۰۳۵۶ کیلومترمربع است (شکل ۱).

اطلاعات جغرافیایی همراه با روش‌های پیشین، سبب‌ساز نتایج دقیق‌تری شده است. ارزیابی روابط بین شاخص‌های مشتق‌شده از تصاویر ماهواره‌ای و خشکسالی هواشناسی درک ما از نحوه پاسخ این شاخص‌ها به تغییرات آب‌وهوایی را بهبود می‌بخشد (ابراهیمی و زارعی، ۲۰۲۰). به سبب ارتباط خوب میان داده‌های تلفیقی و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) با تلفیق داده‌های زمینی و ماهواره‌ای برای پهنه‌بندی خشکسالی نتایج مطلوبی را حاصل می‌شود (اسدی می‌آبادی و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعه حاضر به تحلیل الگوی فضایی وضعیت خشکسالی طی دو دهه در بخش‌های زاگرس میانی و جنوبی با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکسالی سنجش از دور پرداخته است. در این راستا برای مقایسه وقوع خشکسالی توسط داده‌های سنجش از دور، شاخص‌های مختلف توسعه‌یافته استفاده شد. همچنین شاخص استاندارد بارش (SPI) برای ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی در زاگرس مورد استفاده قرار گرفت (فرهمند و آقاچوک، ۲۰۱۵).

پیشینه

دستورانی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص NDVI و شاخص SPI اثرات خشکسالی را بر پوشش گیاهی خراسان رضوی مورد مطالعه قرار دادند. مطالعه خشکسالی در شمال غرب ایران توسط رحیم‌زاده باجگیران و همکاران (۲۰۰۸) و با بهره از شاخص‌های VCI و NDVI انجام شد. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از کارایی بهتر NDVI نسبت به VCI در نشان دادن همبستگی بیشتر با میزان بارندگی بوده است. فاضل دهکردی و همکاران (۲۰۱۶) از تصاویر سنجنده مودیس برای پایش خشکسالی در مراتع استان یزد استفاده کردند. شاخص‌های به‌کاررفته در آن مطالعه عبارت بودند از: NDVI، EVI، NMDI، LST و TCI. مقایسه میان نتایج آماری نشان داد شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص SPI در بازه کوتاه‌مدت با شاخص‌های حرارتی و NMDI در سطح یک درصد، بیشترین همبستگی را دارند. جی یو^۱ و همکاران (۲۰۰۷) طی بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ و با استفاده از

که m شماره ردیف مشاهدات و n تعداد مشاهدات سری است. سری زمانی بارش با استفاده از توزیع‌های مختلف برازش و احتمال تجمعی وقوع داده‌ها در انواع توزیع‌ها به دست آمد. در ادامه با محاسبه تفاوت احتمال تجمعی برازش‌شده بر داده‌ها با احتمال تجمعی تجربی از آزمون نکویی برای برازش توسط آزمون کلموگروف-اسمیروف، احتمالات تجمعی توزیع گاما با داشتن کمترین تفاوت نسبت به احتمالات تجمعی تجربی، به عنوان توزیع مناسب برای بارش انتخاب گردید. در این مرحله برای محاسبه SPI سال‌هایی که احتمال تجمعی آن‌ها (cdf) بزرگتر از صفر و کمتر یا مساوی با $0/5$ باشد، از رابطه زیر استفاده می‌شود (معادله ۲):

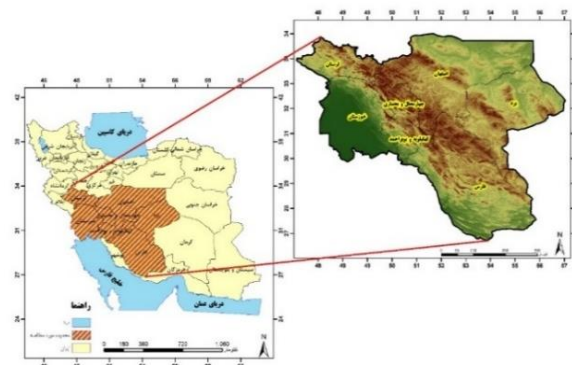
$$z = spi = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 * t + c_2 * t^2}{1 + d_1 * t + d_2 * t^2 + d_3 * t^3} \right] \quad 0 < G(x) \leq 0.5 \quad (2)$$

همچنین در روابط فوق ضرایب ثابت به شرح زیر تعریف می‌شوند (جدول ۱):

جدول (۱): ضرایب ثابت معادلات ۲ و ۴		
Table (1): Fixed coefficients of Equations 2 and 4		
$d_1 = 1.432788$	$d_2 = 0.189269$	$d_3 = 0.001308$
$c_0 = 2.515517$	$c_1 = 0.802853$	$c_2 = 0.010328$

در ادامه و بعد از محاسبه شاخص SPI برای بارش هریک از سال‌های مورد مطالعه، برای مشخص کردن وضعیت خشکسالی و ترسالی از طبقه‌بندی مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) استفاده شد (جدول ۲).

جدول (۲): طبقات خشکسالی و ترسالی بر اساس مقادیر SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳)	
Table (2): Classes of drought and wet season based on SPI values (McKay et al., 1993)	
مقادیر SPI	طبقه
$2 <$	ترسالی بسیار شدید
$1/50$ تا $1/99$	ترسالی شدید
1 تا $1/49$	ترسالی ملایم
$0/99$ تا $0/99 -$	نرمال
$1 -$ تا $1/49 -$	خشکسالی ملایم
$1/5 -$ تا $1/99 -$	خشکسالی شدید
$2 >$	خشکسالی بسیار شدید

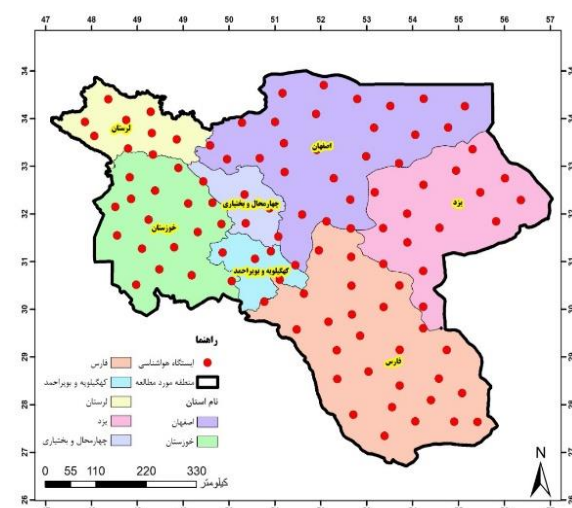


شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Study area

روش تحقیق

این مطالعه به بررسی ارتباط بین شاخص‌های سنجش از دوری با شاخص خشکسالی (SPI) پرداخته است. به این منظور پس از دریافت آمار روزانه بارش طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، ۱۰۳ ایستگاه هواشناسی در منطقه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور و کنترل کیفی داده‌ها، شاخص خشکسالی SPI به کمک روش مک‌کی (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳) ایستگاه‌های مذکور در مقیاس ماهانه و سالانه برآورد شد (شکل ۲).



شکل (۲): موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

Figure (2): Location of meteorological stations in the study area

برای رسیدن به این مقصود، مجموع بارش‌های سالانه در معرض برازش توزیع‌های مختلف قرار گرفت و سپس احتمال وقوع تجربی مشاهدات با استفاده از رابطه ویبول (معادله ۱) محاسبه شد:

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (1)$$

حاصل جمع همه x_j ها بدون در نظر گرفتن خود x_i می باشد. میانگین و پراش برای نقطه i ام نیز به کمک روابط زیر به دست خواهد آمد (معادله ۵ و ۶):

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_j x_j}{(n-1)} \quad (5)$$

$$s^2(i) = \frac{\sum_j x_j^2}{(n-1)} - [\bar{x}(i)]^2 \quad (6)$$

و پراش G_i به کمک رابطه زیر نیز به دست می آید (معادله ۷):

$$Var(G_i) = \frac{w_i(n-1-w_i)}{(n-1)^2(n-2)} \left[\frac{s(i)}{\bar{x}(i)} \right]^2 \quad (7)$$

مقادیر G و G^* از طریق این عمل آماری $W_i/(n-1)$ و محاسبه ریشه دوم پراش آن استاندارد می شوند (معادله ۸).

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j - W_i \bar{x}(i)}{s(i) \{ [(n-1)S_{1i} - W_i^2] / (n-2) \}^{\frac{1}{2}}}, j \neq i \quad (8)$$

اگر ما وزن خود نقطه i را نیز در نظر بگیریم ($W_{ii} \neq 0$)، آماره استاندارد شده G^* به کمک رابطه زیر به دست خواهد آمد (معادله ۹).

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j - W_i^* \bar{x}}{s(i) \{ [(nS_{1i}^*) - W_i^{*2}] / (n-2) \}^{\frac{1}{2}}}, j = i \quad (9)$$

در رابطه های (۳) و (۴)، $W_i^* = W_i + w_{ii}$ و $S_{1i} = \sum_j w_{ij}^2$ که در آن $j=i$ و $j \neq i$ و $\bar{x} = s^2$ به ترتیب میانگین و پراش نمونه را نشان می دهند. مقادیر استاندارد شده G یا G^* بر پایه جدول نمره Z تفسیر می شوند. یکی دیگر از روش های تشخیص مناسب بودن داده ها، آزمون بارتلت است. آزمون بارتلت (Bartlett's Test of Sphericity) نیز این فرضیه را که ماتریس همبستگی مشاهده شده متعلق به جامعه ای با متغیرهای نابسته است، می آزماید. این آزمون بررسی می کند چه هنگام ماتریس همبستگی، از نظر ریاضی ماتریسی واحد (همانی) است. اگر ماتریس همبستگی واحد داشته باشد، برای شناسایی ساختار (مدل عاملی) نامناسب است. در مورد این آزمون باید توجه داشت که اگر سطح معنادار کمتر از ۰/۰۵ باشد، ماتریس همبستگی، ماتریس واحدی نخواهد بود و از این نظر برای تحلیل عاملی ماتریس مناسبی است.

یافته ها

نتایج حاصل از بررسی شاخص های سنجش از دوری مستخرج از تصاویر سنجنده مودیس همراه با شاخص SPI

پس از محاسبه شاخص SPI در ایستگاه های منطقه مورد مطالعه، ابتدا محصولات MOD021KM سنجنده Terra از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ از سایت USGS اخذ گردید و تصحیحات هندسی، رادیومتری و اتمسفری لازم بر آنها اعمال شد، به طوری که ابتدا عملیات Georeferencing بر روی محصولات اخذ شده انجام شد و در ادامه تصحیحات رادیومتری بر روی سری های تصاویر مودیس مورد استفاده انجام شد و در گام بعدی خطاهای اتمسفری مشکل زا، با استفاده از روش Dark subtraction با انتخاب تیره ترین پیکسل صورت گرفت. در ادامه برای بررسی وضعیت خشکسالی از شاخص های DDI, VHI, TCI, VCI, NDVI, NDDI, EVI, NDWI و SAVI استفاده شد (جدول ۱). در ادامه، پایگاه داده سری زمانی ماهانه هریک از شاخص ها در طی ۲۰ سال گذشته تهیه شد. سپس الگوی خودهمبستگی فضایی الگوی مکانی هر شاخص سنجش از دوری با شاخص SPI به کمک G^* مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمایه یاد شده میزان همبستگی که ناشی از تمرکز نقاط موزون (یا پهنه ای که به وسیله نقاط موزون باشد) و همه نقاط موزونی را که در داخل شعاع فاصله d از نقطه موزون مبدأ باشد، اندازه گیری می کند. آماره $GI(d)$ بر پایه رابطه زیر محاسبه می شود (آرد و گیتس، ۱۹۹۵) (معادله ۳):

$$G_i(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d)x_j}{\sum_j x_j} \quad j \neq i \quad (3)$$

که در آن، $w_{ij}(d)$ متناسب با ماتریس وزن فضایی یک یا صفر است. عبارت یاد شده در صورتی «یک» خواهد بود که نقطه مورد نظر در داخل فاصله d که برای نقطه i در نظر گرفته شود. در غیر این صورت اگر در خارج از شعاع دایره مورد نظر باشد، وزن «صفر» به آن تعلق خواهد گرفت. در نمایه G ارتباط هر نقطه با خودش نیز صفر در نظر گرفته می شود. حاصل جمع وزن ها به صورت زیر نوشته می شود (معادله ۴):

$$W_i = \sum_{j \neq i} w_{ij}(d) \quad (4)$$

عملگر شمارنده سیگما در رابطه (۳) حاصل جمع همه x_j هایی است که در شعاع فاصله d از نقطه i ام هستند. شایان ذکر است که خود x_i در نظر گرفته نمی شود. در مخرج کسر

بنابراین تمامی آن‌ها برابر یک هستند. ستون دوم نشان‌دهنده میزان اشتراک متغیرها یا واریانس کل با میزان اشتراک عاملی متغیرهاست. هرچه این میزان به عدد «یک» نزدیک‌تر باشد بیانگر این موضوع است که متغیر مورد نظر برای تحلیل عاملی مناسب است. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، میزان اشتراک همه شاخص‌ها بالاتر از ۰.۷۰ است و بیانگر توانایی عامل‌های تعیین‌شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است.

جدول (۴): سهم مجموع عامل‌ها در تبیین واریانس هر شاخص Table (4): The share of total factors in explaining the variance of each index					
index	Initial	Extraction	index	Initial	Extraction
DDI	۱	۰/۸۷۷	SAVI	۱	۰/۹۷۱
EVI	۱	۰/۹۴۲	TCI	۱	۰/۷۶۱
NDDI	۱	۰/۹۸۹	VCI	۱	۰/۹۶۱
NDVI	۱	۰/۹۶۳	VHI	۱	۰/۸۸۶
NDWI	۱	۰/۸۲۶			

در جدول (۵) سهم هر عامل در تبیین مجموع واریانس تمامی شاخص‌ها نمایش داده شده است. بر اساس این جدول، ستون اول مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها را نشان می‌دهد. واریانس تبیین‌شده برحسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی است. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است؛ از این‌رو مقادیر ویژه، اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهد. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است. ستون دوم یا مجموع مجذورات بار عاملی استخراج‌شده، مجموعه مقادیر عامل‌های استخراج‌شده بعد از چرخش را نشان می‌دهد. سه عامل قابلیت تبیین ۹۱٪ تغییرات را از کل واریانس‌ها به خود اختصاص داده‌اند. برای مثال بر اساس جدول (۳) عامل اول ۵۵/۵٪، عامل دوم ۲۴/۳٪ و عامل سوم ۱۱/۲٪ از کل واریانس را توجیه می‌کنند. در مجموع نتیجه تحلیل عاملی نشان می‌دهد که ۹ شاخص سنجش از دور مؤثر بر خشکسالی را می‌توان با سه عامل بیان کرد.

به‌منظور تحلیل خشکسالی در زاگرس مرکزی و جنوبی حاکی از کارآمدی این روش دارد. با توجه به بررسی مهم‌ترین شاخص‌های سنجش از دور که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند و واکاوی آن‌ها از طریق روش KMO و بارتلت انجام گرفت، مشخص شد که چه داده‌ها و شاخص‌هایی مرتبط با خشکسالی در پهنه مورد مطالعه هستند (جدول ۳). شاخص KMO کوچک بودن همبستگی جزئی بین متغیرها را بررسی می‌کند و از این طریق مشخص می‌نماید که آیا واریانس متغیرها، تحت تأثیر واریانس مشترک برخی عامل‌های پنهانی و اساسی است یا خیر. این شاخص در بازه صفر تا یک قرار دارد. اگر مقدار شاخص نزدیک به یک باشد، داده‌های مورد نظر برای تحلیل عاملی مناسب‌اند، در غیر این صورت نتایج تحلیل عاملی برای داده‌های مورد نظر چندان مناسب نیست. همان‌طور که در جدول (۳) مشخص است، آماره KMO برای شاخص‌های مورد نظر برابر با ۰/۶۰۹ به دست آمد. بنابراین معناداری این ضریب نشان می‌دهد که شاخص‌های مورد نظر برای تحلیل عاملی مناسب‌اند. نتیجه آمار بارتلت نیز گویای این موضوع است که شاخص‌های سنجش مؤثر بر خشکسالی محدوده مورد مطالعاتی برای تحلیل عاملی مناسب است، به این مفهوم که فرض مخالف تأیید شده و بین متغیرها همبستگی معنی‌دار وجود دارد.

جدول (۳): آماره KMO و بارتلت برای سنجش داده‌ها و تحلیل عاملی
Table (3): KMO and Bartlett statistics for data analysis of factor analysis

آماره KMO	آماره بارتلت	درجه آزادی	میزان خطا
0.609	2.287e3	36	0.00

در گام بعدی، برای بررسی مؤثرترین شاخص‌های سنجش از دور برای تحلیل خشکسالی، دو مرحله مهم صورت گرفت. نخست با استفاده از روش تحلیل عاملی، عوامل معنادار استخراج شدند. این تکنیک روشی است برای خلاصه کردن اطلاعات زیاد، به‌طوری که طی آن، نتایج حاصل نیز از نظر مفهوم معنی‌دار باشند. در جدول (۴) واریانس هریک از شاخص‌های خشکسالی مشخص شده است. ستون اول مقدار کل واریانس هریک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد. در واقع این ستون گویای تمامی اشتراک‌های قبل از استخراج است،

جدول ۶: ماتریس بارهای عاملی پس از چرخش محورها

Table (7): Factorial load matrix after axis rotation

	FC1	FC2	FC3
SAVI	۰/۹۸۲*	۰/۰۷۳	۰/۰۱۲
NDVI	۰/۹۷۹*	۰/۰۶۳	۰/۰۳۳
VCI	۰/۹۷۸*	۰/۰۶۸	۰/۰۳۱
EVI	۰/۹۶۴*	۰/۱۱۵	۰/۰۱۳
VHI	۰/۷۰۰*	۰/۶۲۷*	-۰/۰۴۷
NDWI	۰/۱۳۱	۰/۸۹۸*	۰/۰۴۶
DDI	۰/۴۸۱	-۰/۷۹۹*	-۰/۰۸۲
TCI	۰/۴۳۰	۰/۷۵۵*	-۰/۰۷۳
NDDI	۰/۴۱۰	۰/۰۲۴	۰/۹۹۳*

در مرحله بعدی، با استفاده از آماره گتیس - ارد جی به

تحلیل فضایی این شاخص‌ها در پهنه مورد نظر پرداخته شد. این آماره در تعیین نقاط مثبت (داغ) و منفی (سرد) می‌تواند به عنوان تمرکزهای فضایی در نظر گرفته شوند. بدیهی است که نسبت‌های کوچک از این آماره گویای سهم کمتر خوشه‌ها در پهنه است و نسبت بزرگ گواهی بر نقش مقادیر بزرگ در تشکیل خوشه‌هاست. امتیاز Z محاسبه شده در این تحلیل نشان می‌دهد که کجای داده‌ها مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند (علیچانی و همکاران، ۲۰۱۶). شکل (۳) توزیع مکانی الگوی خودهمبستگی فضایی شاخص‌های سنجش از دور با شاخص خشکسالی SPI را نشان می‌دهد. بر این اساس، خودهمبستگی فضایی مثبت با ۱۵/۸٪ از مساحت کل منطقه مطالعاتی، در یزد و فارس دیده می‌شود. بالاترین میزان ضریب تأثیرگذاری شاخص خشکسالی با ضریب سنجش از دور (آماره Z) که منطبق با توزیع الگوی فضایی مثبت است، در این نواحی دیده می‌شود. میزان این آماره در یزد ۰/۶۵ و در فارس ۰/۵۵ است. خوشه‌های حاوی ارزش‌های پایین‌تر نیز با ۲۶/۹٪ از مساحت منطقه، در خوزستان و بخش‌هایی از اصفهان مشاهده می‌شود. بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت در این شاخص نقاط و کانون‌های مثبت به‌صورت نقاط پراکنده در بخش‌های مختلف استان اصفهان و به‌صورت متمرکزتر در استان یزد و فارس مشاهده می‌شوند. سایر نقاط پهنه با مساحت ۵۷/۳٪ از مساحت کل منطقه از الگوی تصادفی برخوردار است. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌کنید وضعیت الگوی خودهمبستگی فضایی خشکسالی با شاخص EVI، نشانگر الگوی خوشه‌ای بالا در بخش‌های شرقی استان اصفهان، بخش

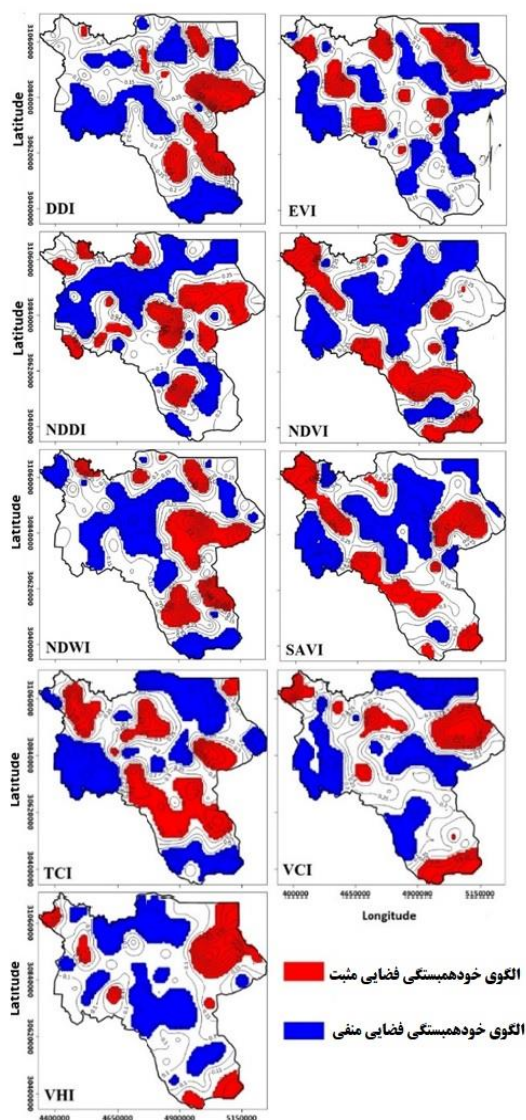
جدول ۵: سهم هر عامل در تبیین مجموع واریانس شاخص‌ها

Table (5): The share of each factor in explaining the total variance of the indicators

عامل‌ها	مقادیر ویژه اولیه	مجموع مجذورات بار عاملی	استخراج شده	مقدار	درصد	درصد	مقدار	درصد	درصد	ویژه	واریانس	تجمعی	ویژه	واریانس	تجمعی	واریانس
عامل اول	۴/۹۹۱	۵۵/۴۵	۵۵/۴۵	۴/۷۳	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۷۹/۶۸	۲۷/۰۸	۲/۴۳	۷۹/۷۰	۲۴/۲۵	۲۴/۲۵	۲۴/۲۵
عامل دوم	۱/۱۸۳	۵۵/۴۵	۵۵/۴۵	۴/۷۳	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۷۹/۶۸	۲۷/۰۸	۲/۴۳	۷۹/۷۰	۲۴/۲۵	۲۴/۲۵	۲۴/۲۵
عامل سوم	۱/۰۰۴	۵۵/۴۵	۵۵/۴۵	۴/۷۳	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۵۲/۵۹	۷۹/۶۸	۲۷/۰۸	۲/۴۳	۷۹/۷۰	۲۴/۲۵	۲۴/۲۵	۲۴/۲۵

جدول (۶) سهم شاخص‌ها را در عامل‌ها بعد از چرخش نشان می‌دهد. مهم‌ترین نکته این است که دریاپیم کدام شاخص‌ها دارای بالاترین همبستگی با ضرایب عامل در سه عامل اول بوده‌اند. برای تبیین روابط بین متغیرها ضریب همبستگی مهم‌ترین شاخص است که ارزش محاسبه شده این ضریب مقداری بین ۱+ تا ۱- را خواهد داشت. هر متغیر در عاملی قرار می‌گیرد که با آن عامل همبستگی بالای معنی‌داری داشته باشد. با توجه به جدول ضرایب عامل، شاخص‌هایی که دارای ضرایب بالای ۰/۶ بوده‌اند، با علامت (*) مشخص شده‌اند. بیشترین سهم همبستگی درون‌یافته عاملی در اولین عامل، شاخص‌های SAVI، NDVI، VCI و EVI با بار عاملی ۰/۹۸۲، ۰/۹۷۹، ۰/۹۷۸ و ۰/۹۶۴ هستند. در دومین عامل نیز شاخص‌های NDWI، DDI، TCI و VHI با بار عاملی ۰/۸۹۸، ۰/۷۹۹، ۰/۷۵۵ و ۰/۶۲۷ دارای بالاترین ضرایب عامل و تنها شاخص NDDI با بار عاملی ۰/۹۹۳ در عامل سوم دارای بیشترین بارگویه است. بنابراین می‌توان گفت عامل اول، مهم‌ترین عامل در میان عامل‌هاست و به‌تنهایی ۵۲/۶٪ از کل واریانس را بیان می‌کند و با شاخص‌های SAVI، NDVI، VCI و EVI همبستگی مثبت دارد. عامل دوم نیز ۲۷/۱٪ از واریانس را بیان می‌کند و با شاخص‌های NDWI، TCI، VHI همبستگی مثبت و با شاخص DDI همبستگی منفی دارد. عامل سوم نیز ۱۱/۲٪ از واریانس را بیان می‌کند. بررسی مقادیر بار عاملی نشان می‌دهد که با شاخص NDDI همبستگی مثبت دارد.

و به صورت پراکنده در بخش‌هایی از استان اصفهان مشاهده می‌شود. بالاترین مقادیر Z نیز در این قسمت‌ها مشاهده می‌شود که برابر ۰/۷ است که معنی‌داری آماری این ضریب را در سطح اطمینان ۰/۰۵ نشان می‌دهد. گستره این الگو ۱۸/۵٪ است. این در حالی است که ۲۶٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه (بیشتر بخش‌های مرکزی محدوده مطالعاتی) را الگوهای خوشه‌های حاوی مقادیر پایین‌تر در بر می‌گیرد.



شکل (۳): توزیع مکانی الگوی خودهمبستگی شاخص خشکسالی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور
Figure (3): Spatial distribution of drought index autocorrelation pattern with remote sensing indices

توزیع مکانی الگوی خودهمبستگی فضایی خشکسالی در شاخص SAVI وضعیتی مشابه با شاخص NDVI دارد با این تفاوت که گستره الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت در

جنوب غربی استان لرستان، بخش‌هایی از خوزستان و یزد است. نتایج حاصل از مقادیر Z نیز در بخش‌های شرقی اصفهان ۰/۵ است. بنابراین بالاترین مقدار این آماره در کانون‌های مثبت مشاهده می‌شود. بر اساس الگوی خودهمبستگی فضایی خشکسالی با این شاخص می‌توان گفت ۱۶/۳٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه از خودهمبستگی مثبت و ۲۶/۴٪ از مساحت منطقه از خودهمبستگی فضایی منفی برخوردار بوده است. در شاخص NDDI بر اساس نتایج آماره GI^* بخش‌هایی از شمال یزد و جنوب اصفهان و به صورت پراکنده در سایر استان‌های مورد مطالعه الگوی خوشه‌ای بالا (مناطق داغ) مشاهده می‌شود. در بخش‌های گسترده‌ای از اصفهان و خوزستان نیز خوشه‌های حاوی ارزش‌های پایین‌تر دیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت بر اساس شاخص NDDI، حدود ۵۳/۲٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه از الگوی تصادفی، ۱۸/۹٪ از منطقه مطالعاتی از الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت و ۲۷/۹٪ از مساحت منطقه از الگوی خودهمبستگی فضایی منفی برخوردار بوده است. از طرفی بالاترین مقادیر آماره Z نیز در این نواحی دیده می‌شود. در بخش‌های مرکزی مقدار آن برابر با ۰/۵۵ است. بر اساس نتایج شاخص فضایی GI^* ، وضعیت الگوی خودهمبستگی فضایی منفی خشکسالی در شاخص سنجش از دور NDVI مشابه شاخص NDDI است و بخش‌های گسترده‌ای از استان اصفهان و خوزستان را شامل می‌شود. خودهمبستگی فضایی منفی در شاخص NDDI، ۳۱/۲٪ از محدوده مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. اما در خودهمبستگی فضایی مثبت (الگوی خوشه‌بالا) بیشتر شمال غرب و جنوب محدوده را در بر می‌گیرد. الگوی خوشه‌ای بالا بر اساس این شاخص، ۲۰/۵٪ از مساحت کل منطقه را شامل می‌شود. بالاترین میزان ضریب تأثیرگذاری شاخص خشکسالی با ضریب سنجش از دور (آماره Z) نیز در مناطق مختلف برابر ۰/۵ می‌باشد که منطبق بر الگوی توزیع فضایی مثبت است. سایر نواحی (۴۸/۳٪) منطقه مورد مطالعه از الگوی تصادفی برخوردار بوده است. اثرات الگوی فضایی خشکسالی با شاخص سنجش از دور NDWI به صورت الگوی خوشه‌ای بالا بیشتر در جنوب و جنوب شرقی محدوده

منفی در خوزستان، بخش جنوبی استان فارس و بخش شمال استان اصفهان مشاهده می‌شود که مساحت آن در شاخص TCI برابر با ۳۱/۶٪ از کل پهنه مورد مطالعه است. سایر نواحی محدوده با مساحت ۴۴/۲٪ از الگوی تصادفی برخوردارند. در الگوی خودهمبستگی فضایی شاخص سنجش از دور VCI، خوشه‌های حاوی ارزش‌های بالا با ۱۶/۶٪ در قسمت شرقی، جنوبی و بخش‌های کوچکی از شمال غرب و مرکز پهنه مورد مطالعه مشاهده می‌شود و الگوی خودهمبستگی فضایی منفی با ۲۸/۹٪ بیشتر در شمال، غرب، جنوب غرب و بخشی از شرق دیده می‌شود. بالاترین مقدار آماره Z برابر ۰/۶ به‌صورت مستقیم (مثبت) است. شاخص VHI در الگوی خودهمبستگی مثبت وضعیت مشابهی با شاخص VCI دارد با این تفاوت که گستره آن محدودتر و ۱۵/۲٪ از مساحت پهنه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. آماره Z مقدار ۰/۵ را در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. خوشه‌های حاوی ارزش‌های پایین‌تر با ۲۶/۶٪ از مساحت محدوده مورد مطالعه بیشتر بخش‌های شمالی و مرکزی را در بر می‌گیرد. سایر نواحی با ۵۸/۱٪ از محدوده مطالعاتی دارای الگوی تصادفی هستند (جدول ۷).

بخش‌های جنوبی محدودتر و در بخش‌های شرقی محدوده مطالعاتی، وسیع‌تر است. آماره Z در بخش‌های مختلف بین ۰/۵ تا ۰/۷ است که معنی‌داری آماری این ضریب را در سطح اطمینان ۰/۰۵ نشان می‌دهد. در الگوی خودهمبستگی فضایی منفی این شاخص نسبت به شاخص NDVI کمتر است. مساحت الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت و الگوی خودهمبستگی فضایی منفی در این شاخص به‌ترتیب برابر با ۲۰/۶٪ و ۲۹/۸٪ است. خوشه‌های حاوی ارزش‌های بالا در شمال غرب، جنوب غرب و شرق پهنه مورد مطالعه بیشتر مشاهده می‌شود. در استان خوزستان و بخش‌های گسترده‌ای از اصفهان، خوشه‌های حاوی ارزش‌های پایین دیده می‌شود. در شاخص TCI الگوی خودهمبستگی مثبت مانند شاخص SAVI اما گستره آن محدودتر و کمتر از شاخص SAVI است. خوشه‌های حاوی ارزش‌های بالا در بخش‌هایی از استان فارس، یزد، اصفهان و لرستان مشاهده می‌شود. مساحت الگوی خودهمبستگی مثبت ۲۴/۲٪ از مساحت محدوده مورد مطالعه است. بالاترین مقادیر آماره Z در قسمت شرق محدوده با مقدار ۰/۶ مشاهده می‌شود که معنی‌داری آماری نمایه یادشده را در سطح ۰/۰۵ تأیید می‌کند. الگوی خودهمبستگی

جدول (۷): درصد تحت پوشش الگوی خودهمبستگی فضایی خشکسالی با شاخص‌های سنجش از دور بر اساس شاخص فضایی هات اسپات
Table (7): Percentage covered by drought spatial autocorrelation pattern with remote sensing indices based on Hotspot spatial index

الگو	DDI	EVI	NDDI	NDVI	NDWI	SAVI	TCI	VCI	VHI
الگوی خودهمبستگی فضایی منفی	۲۶/۹	۲۶/۴	۲۷/۹	۳۱/۲	۲۶	۲۹/۸	۳۱/۶	۲۸/۹	۲۶/۶
فاقد الگو	۵۷/۳	۵۷/۳	۵۳/۲	۴۸/۳	۵۵/۵	۴۹/۷	۴۴/۲	۵۴/۵	۵۸/۱
الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت	۱۵/۸	۱۶/۳	۱۸/۹	۲۰/۵	۱۸/۵	۲۰/۶	۲۴/۲	۱۶/۶	۱۵/۲

نتیجه‌گیری

تأثیر سه عامل است. در عامل اول شاخص‌های سنجش از دور SAVI، NDVI، VCI و EVI بالاترین همبستگی را نشان دادند. در دومین عامل NDWI، DDI، TCI و VHI از اهمیت بالایی برخوردار است. شاخص NDDI نیز در عامل سوم نقش مهمی داشته است. در مرحله بعدی، رابطه بین الگوی فضایی شاخص‌های سنجش از دور با خوشه‌های فضایی خشکسالی مورد ارزیابی قرار گرفت. واکاوی روابط فضایی روشی برای

این پژوهش، به بررسی ۹ شاخص سنجش از دوری به‌منظور تحلیل خشکسالی رخ داده در زاگرس مرکزی و جنوبی که دربرگیرنده پهنه استان‌های اصفهان، یزد، چهارمحال و بختیاری، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان است، طی بازه زمانی ۲۰ سال پرداخته است. نتایج بر اساس روش تحلیل عاملی نشان داد که خشکسالی پهنه مورد مطالعه تحت

شاخص NDVI مناسب‌ترین شاخص برای پوشش گیاهی است. محمدی شایگانه و همکاران (۲۰۱۵) در پایش خشکسالی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و شاخص ناهنجاری بارش به این نتیجه رسیدند که شاخص SWSVI عملکرد بهتری دارد و بیشترین همبستگی را با دو شاخص ناهنجاری عملکرد بارش و ناهنجاری عملکرد محصولات دارد. در بررسی کارایی شاخص‌های پوشش گیاهی در تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از تکنیک سنجش از دور در حوضه کرخه، کریمی و همکاران به این نتیجه رسیدند تغییرات EVI، NDVI و VCI در ایستگاه‌های مورد مطالعه تقریباً یکسان است. رابطه همبستگی پیرسون بین میانگین شاخص‌های پوشش گیاهی EVI، NDVI و VCI با میانگین ZSI در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. تجزیه و تحلیل سیستماتیک شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش از دور (VIS) در اروپا همراه با استفاده از تجزیه و تحلیل همبستگی برای محصولات کشاورزی و پوشش گیاهی جنگل‌ها در کنار یک مدل رگرسیون خطی چندگانه گام‌به‌گام برای شناسایی متغیرهایی که تفاوت‌های فضایی را مشاهده می‌کند، نشان داد دوره‌های کوتاه انباشت SPI و SPEI در اکثر موارد به بهترین وجه با تنش گیاهی محصول مرتبط است، که استفاده از SPI3 را در نظارت‌های عملیاتی خشکسالی موجود تأیید می‌کند (باچمیر و همکاران، ۲۰۱۸). میراحسنی و همکاران (۲۰۱۸)، به ارزیابی شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی (VSWI) تصاویر سری زمانی سنجنده مودیس در پایش خشکسالی حوضه آبریز گاوخونی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد روابط بین مقادیر سری زمانی میانگین سالانه شاخص VSWI و SPI مشابه و به مقدار ۰/۵۸ است.

بررسی فضایی تصادفی و غیرتصادفی بودن توزیع متغیرهایی فضایی است و خودهمبستگی فضایی از کاربردی‌ترین و مهم‌ترین ابزارهای تحلیلی برای پژوهش در مورد روابط فضایی است. بدین منظور مقدار همبستگی بین شاخص‌های سنجش از دور با خوشه‌های مثبت و منفی خشکسالی در سطح پهنه مورد مطالعه به کمک آماره GI^* بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل آماره GI^* نشان داد مناطق دارای خوشه‌های با ارزش زیاد و کم در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار است. به لحاظ ارتباط فضایی شاخص‌های سنجش از دور و شاخص خشکسالی SPI در قسمت شرقی، جنوبی و به صورت پراکنده مناطق مرکزی منطقه مورد مطالعه از الگوی خودهمبستگی فضایی مثبت برخوردار بوده است. بنابراین می‌توان گفت این نواحی بر اساس شاخص خودهمبستگی فضایی G^* بیشتر درگیر خشکسالی است. از بین شاخص‌های بررسی شده دو شاخص SAVI و NDVI بیشترین شباهت را از نظر مناطق دارای الگوی خوشه‌ای مثبت دارند و همچنین از بیشترین الگوی فضایی مثبت نیز برخوردار بوده‌اند. نتایج حاصل از میزان ضریب تأثیرگذاری شاخص خشکسالی SPI با ضریب سنجش از دور نیز خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشکسالی را اثبات می‌کند. میزان این آماره در بیشتر شاخص‌های مورد بررسی بین ۰/۵ تا ۰/۷ است. در بین شاخص‌های یادشده، VHI ارتباط کمتری داشته است.

نتایج پژوهش ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) در شمال شرق چین با استفاده از شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر تبخیر و تعرق ماهواره‌ای (ET) شرایط خشکسالی منطقه‌ای را با موفقیت مشخص کرده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹). عابدزاده و همکاران (۲۰۱۸)، در بررسی کاربرد سنجش از دور در ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی سمنان مشخص کرد که

منابع

1. Abedzadeh, M., Aristotle, B. and Nankeli, H., 2018. Agricultural drought risk analysis using remote sensing and GIS techniques (study area: Semnan province). Application of geographic information system and remote sensing in planning, 9(1), pp.18-36.
2. Ahmadalipour, A., Moradkhani, H., Castelletti, A. and Magliocca, N., 2019. Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth. Science of the Total Environment, 662, pp.672-686.

3. Akhzari, D., Asadi Meyabadi, Ahmad and Nouri. Hamid., 2015. Studying the effects of drought on vegetation changes in rangeland and agricultural areas based on field and satellite data (Case study: Southern part of Hamadan Province). *Journal of pastureland*. 2 (1), pp.23-34.
4. Alijani, Dr. Bahloul, Dostkamian, Mehdi, Ashrafi, Saeeda, Shakri, Fahima. (2014). "Investigation of changes in intra-decadal spatial autocorrelation patterns of Iran's rainfall during the last half century", *Geography and Regional Urban Studies*, 5(14), pp. 71-88. doi: 10.22111/gaij.2015.1914
5. Anderson, M.C., Hain, C., Otkin, J., Zhan, X., Mo, K., Svoboda, M., Wardlow, B. and Pimstein, A., 2013. An intercomparison of drought indicators based on thermal remote sensing and NLDAS-2 simulations with US Drought Monitor classifications. *Journal of Hydrometeorology*, 14(4), pp.1035-1056.
6. Asadi Meyabadi, A. Akhzari, D. and Nouri, H. 2021. Zoning of Drought by Integrating Satellite Imagery and Ground-Based Climate Data (Case study: Malayer Plain). *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(4), pp. 83-96.
7. Bachmair, S., Tanguy, M., Hannaford, J. and Stahl, K., 2018. How well do meteorological indicators represent agricultural and forest drought across Europe?. *Environmental Research Letters*, 13(3), p.034042.
8. Barker, L.J., Hannaford, J., Chiverton, A. and Svensson, C., 2015. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 12(12).
9. Carrão, H., Naumann, G. and Barbosa, P., 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change*, 39, pp.108-124.
10. Dastorani, M. and Komaki, C.B., 2015. The effect of drought on vegetation using MODIS satellite Khorasan Razavi. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(7), pp.1-8.
11. Ebrahimi Khusfi, Z. and Zarei, M., 2020. Relationships between meteorological drought and vegetation degradation using satellite and climatic data in a semi-arid environment in Markazi Province, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 10(2), pp.204-216.
12. Eltahir, E.A. and Yeh, P.J.F., 1999. On the asymmetric response of aquifer water level to floods and droughts in Illinois. *Water Resources Research*, 35(4), pp.1199-1217.
13. Farahmand, A. and AghaKouchak, A., 2015. A generalized framework for deriving nonparametric standardized drought indicators. *Advances in Water Resources*, 76, pp.140-145.
14. Fazel Dehkordi, L., Sohrabi, T.A., Ghanavizbaf, M.H. and Ghazavi, R., 2016. Drought monitoring by using of MODIS satellite images in dry lands (Case study: Isfahan Rangelands). *Geography and Environmental Planning*, 27(3), pp.177-190.
15. Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F. and Dahe, Q. eds., 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
16. Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P. and Wardlow, B., 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical research letters*, 34(6).
17. Hagenlocher, M., Meza, I., Anderson, C.C., Min, A., Renaud, F.G., Walz, Y., Siebert, S. and Sebesvari, Z., 2019. Drought vulnerability and risk assessments: state of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environmental Research Letters*, 14(8), p.083002.
18. Hannaford, J., Lloyd-Hughes, B., Keef, C., Parry, S. and Prudhomme, C., 2011. Examining the large-scale spatial coherence of European drought using regional indicators of precipitation and streamflow deficit. *Hydrological Processes*, 25(7), pp.1146-1162.
19. Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B. and Ma, L., 2017. The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *Journal of Hydrology*, 547, pp.184-195.
20. Johanna, H. and Minoia, P., 2017. Social aspects of water scarcity and drought.
21. Karimi Mahshid, Shahidi Kaka, Razinei Tayyab and Miriyagoubzadeh Mirhossein, Investigating the efficiency of vegetation indicators in agricultural drought analysis using remote sensing technique in Karkheh watershed.
22. Lott, N. and Ross, T., 2006. 1.2 Tracking and evaluating US billion- dollar weather disasters, 1980–2005. Retrieved on March.
23. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In

- Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
24. Mirahsani M, Salman Mahiny A, Soffianian A, Moddares R, Jafari R, Mohammadi J. Evaluation of Vegetation Supply Water Index through Time-Series Images of MODIS Products in Drought Monitoring over Gavkhuni Basin. *ijae*. 2018. 6 (4) :31-47 URL: <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-854-fa.html>
 25. Mishra, A.K. and Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), pp.202-216.
 26. Mohammadi Shaygani Ebrahim, Ismaili Ali, Drought Monitoring Using Remote Sensing Techniques and Rainfall Anomaly Index (RAI), 2015, National Geomatic Conference, Tehran, Iran
 27. Ord, J.K. and Getis, A., 1995. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), pp.286-306.
 28. Pourkhosravani, M., Mehrabi, A. and Mousavi, S.H., 2018. Drought spatial analysis of Sirjan basin using remote sensing. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 7(20), pp.13-22.
 29. Pozzi, W., Sheffield, J., Stefanski, R., Cripe, D., Pulwarty, R., Vogt, J.V., Heim, R.R., Brewer, M.J., Svoboda, M., Westerhoff, R. and Van Dijk, A.I., 2013. Toward global drought early warning capability: Expanding international cooperation for the development of a framework for monitoring and forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(6), pp.776-785.
 30. Rahimzadeh Bajgiran, P.R., Darvishsefat, A.A., Khalili, A. and Makhdoum, M.F., 2008. Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72(6), pp.1086-1096.
 31. Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M. and Reichstein, M., 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment.
 32. Sivakumar, M.V., Stefanski, R., Bazza, M., Zelaya, S., Wilhite, D. and Magalhaes, A.R., 2014. High level meeting on national drought policy: Summary and major outcomes. *Weather and climate Extremes*, 3, pp.126-132.
 33. UNISDR, U., 2015, March. Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. In *Proceedings of the 3rd United Nations World Conference on DRR, Sendai, Japan (Vol. 1)*.
 34. Van Loon, A.F., dan van Lanen HAJ 2012. A process-based typology of hydrological drought. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 16, pp.1915-1946.
 35. Van Loon, A.F., 2013. On the Propagation of Drought.: How Climate and Catchment Characteristics Influence Hydrological Drought Development and Recovery. Wageningen University and Research.
 36. Van Loon, A.F., Tjiedeman, E., Wanders, N., Van Lanen, H.J., Teuling, A.J. and Uijlenhoet, R., 2014. How climate seasonality modifies drought duration and deficit. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(8), pp.4640-4656.
 37. Van Loon, A.F., Gleeson, T., Clark, J., Van Dijk, A.I.J.M., Stahl, K., Hannaford, J., Di Baldassarre, G., Teuling, A.J., Tallaksen, L.M., Uijlenhoet, R. and Hannah, D.M., 2016. Drought in the Anthropocene, *Nat. Geosci.*, 9, 89–91.
 38. Wilhite, D.A., 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions.
 39. Svoboda, M.D. and Fuchs, B.A., 2016. Handbook of drought indicators and indices (pp. 1-44). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
 40. Yu, J., Lim, J. and Lee, K.S., 2018. Investigation of drought-vulnerable regions in North Korea using remote sensing and cloud computing climate data. *Environmental monitoring and assessment*, 190(3), pp.1-16.
 41. Zhang, L., Yao, Y., Bei, X., Jia, K., Zhang, X., Xie, X., Jiang, B., Shang, K., Xu, J. and Chen, X., 2019. Assessing the remotely sensed evaporative drought index for drought monitoring over Northeast China. *Remote sensing*, 11(17), p.1960.

Analyzing the Spatial Pattern of Drought in Central and South Zagros Using Remote Sensing Indicators

Salar Mirzapour¹, Mir Masoud Kheirkhah Zarkash^{2*}, Zahra Azizi³

Received: 18/02/2022

Accepted:

31/07/2022

Extended Abstract

Introduction: As a complex phenomenon occurring due to a long period of poor precipitation, drought causes water scarcity in the soil and the hydrological system via hydrological, bringing about long-term consequences which may lead to severe economic, environmental, and social problems worldwide. Droughts are classified into four types: meteorological (rainfall), agricultural (soil's moisture), hydrological (flow and groundwater), and socio-economic droughts. It should be noted that all types of droughts originate from meteorological ones, bringing about social and economic damages. on the other hand, Iran has long been known as a dry country with a low annual precipitation rate. Moreover, the development of spatial and satellite sciences, the application of remote sensing techniques, and GIS together with previous methods have led to more accurate results. Therefore, investigating the relationships between satellite-derived indicators and meteorological droughts could improve our understanding of the response of such indicators to climate change.

Research Methods: This study sought to investigate the relationship between remote sensing indices and the drought index (SPI). To this end, first, the daily precipitation statistics of 103 meteorological stations located in the study area were collected from the Iranian Meteorological Organization's website for the 2000- 2019 period and their quality was controlled. Then, the SPI drought index was measured for all such data on monthly and annual scales using the McKay method, according to which the total annual precipitation was compared to the fit of different distributions. Then the probability of the observations' experimental occurrence was calculated based on the relationship between the aforementioned equations.

Moreover, after measuring the SPI index in the stations located in the study area, the MOD021KM outputs of the Terra sensor for the 2000-2019 period were obtained from the USGS website, to which necessary geometric, radiometric, and atmospheric corrections were applied. Finally, the NDVI, VCI, TCI, VHI, DDI, NDDI, EVI, NDWI, and SAVI indices were used to assess the drought conditions, and a monthly time series database was created for each of the indices over the past 20 years.

Results: The study's findings indicated the acceptable efficiency of remote sensing indices in extracting the data required for analyzing the drought in Central and South Zagros via the SPI index. The drought-related data and indicators of the study area were obtained and identified using the KMO and Bartlett index, whose range varies from zero to one. Accordingly, in cases where the index value is close to one, the collected data are suitable for factor analysis; otherwise, the results of factor analysis would be not appropriate for the intended data. In this regard, the results of Bartlett's statistics also suggested that the remote sensing indices affecting the drought in the study area were suitable for factor analysis, indicating that the confirmation of the opposite

1. PhD Student, Department of Remote sensing and GIS, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Associate professor of soil conservation and watershed management research institute, Agriculture research education and extension organization AREEO, Corresponding Author; kheirkhah@alumni.itc.n

3. Assistant Professor, Department of Remote sensing and GIS, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

DOI: 10.22052/deej.2022.11.35.41

hypothesis, according to which there was a significant correlation between the variables.

Discussion and Conclusion: This study sought to investigate nine remote sensing indices affecting the analysis of drought in Central and South Zagros. The results of factor analysis revealed that the drought in the study area was affected by three factors. In the first factor, SAVI, NDVI, VCI, and EVI indices showed the highest correlation. In the second factor, NDVI, DDI, TCI, and VHI were of great significance, and in the third factor, the NDDI index played the most important role. In the next phase, the relationship between the spatial pattern of remote sensing indices and drought's spatial clusters was examined. Spatial relations analysis is a method to spatially analyze the randomness and non-randomness of the distribution of spatial variables. Furthermore, spatial autocorrelation is one of the most practical and important analytical tools for researching spatial relationships. In this regard, it was found that remote sensing indices and SPI drought index possessed a positive spatial autocorrelation in terms of spatial relationship in eastern, southern, and some parts of the central regions of the study area. Therefore, it could be argued that the areas were more affected by drought in terms of spatial autocorrelation index G^* . On the other hand, out of the indices investigated in this study, SAVI and NDVI had the most similarity in terms of regions with positive cluster patterns, possessing the most positive spatial patterns. The results of the impact factor analysis performed on the correlation between the SPI and remote sensing coefficient confirmed that the spatial distribution of drought was of cluster type.

Keywords: Drought, Zagros, SAVI, NDVI, VCI, EVI, SPI.