نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره۲، تابستان ۱۳۹۹
صفحات ۱ – ۲۰

اولویت بندی شهرستان های استان سیستان و بلوچستان در زمان وقوع خشکسالی ها در راستای مدیریت بهینه بودجه خشکسالی

دکتر باقر کرد؛ دانشیار گروه مدیریت دولتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
دکتر امین راحتی؛ استادیار گروه علوم کامپیوتر، دانشکده ریاضی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
دکتر پیمان محمودی [۱]؛ استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
پرویز خسروی؛ کارشناس ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان.
حریر بیدار؛ دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۰۵/۲۰ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۱/۲۶

چکیده

یکی از مشکلات اساسی در بحث مدیریت خشکسالی، تخصیص بودجه جهت کمک به آسیب دیدگان از این پدیده اقلیمی است که گاهاً مشاهده شده است که هیچ سازوکار مشخصی برای آن تعریف نشده است و بعضی اوقات نیز مشاهده شده است که این تخصیص ها بر اساس علایق منطقه‌ای و سیاسی بوده است و آسیب دیدگان اصلی از خشکسالی‌ها از این کمک ها بی بهره بوده اند، لذا این تحقیق به دنبال طراحی یک الگوریتم فراابتکارانه هوشمند جهت مدیریت بودجه خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان می باشد. در این مطالعه از شاخص‌هایی همچون جمعیت، برخورداری از آب شرب شهری و روستایی، آسیب پذیری منابع آب، میزان سطح زیر کشت، تعداد بهره برداران بخش کشاورزی، مصرف سالیانه آب کشاورزی و نزولات جوی استفاده شده است. مقادیری عددی مربوط به هر کدام از این شاخص‌ها به تفکیک هر شهرستان جمع آوری شدند. اما با توجه به اینکه این شاخص‌ها در هر شهرستان از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند و ممکن است برخی از آنها در یک شهرستان اهمیت بیشتری و در شهرستان دیگری اهمیت کمتری داشته باشند، از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از روش مقایسه زوجی برای تعیین اهمیت نسبی این شاخص‌ها کمک گرفته شد. برای تعیین طبقات مختلف خشکسالی نیز از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) استفاده شد. بعد از تعیین مقادیر عددی طبقات مختلف خشکسالی‌های استان، از الگوریتم کلونی مورچگان برای اولویت‌بندی شهرستان‌ها جهت مدیریت بهینه بودجه خشکسالی استفاده شد که نتایج این الگوریتم در قالب نقشه های اولویت‌بندی مدیریت بودجه خشکسالی استان ارائه شدند. با توجه به معیارهای انتخاب شده و روش کار پیشنهادی به نظر می‌رسد که ترکیب تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و الگوریتم کلونی مورچگان قادر به تدوین سیستمی هوشمند جهت تعیین اولویت شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان در زمان وقوع خشکسالی‌ها برای اختصاص بودجه بهینه در خصوص کاهش اثرات مخرب خشکسالی ها باشند. بر اساس نقشه های اولویت بندی تخصیص بودجه بهینه خشکسالی بین شهرستان های استان سیستان و بلوچستان به راحتی مشاهده می شود که نتایج با واقعیت های موجود در استان تقریباً هماهنگی خوبی نشان می دهد.

واژه های کلیدی: خشکسالی، استان سیستان و بلوچستان، الگوریتم کلونی مورچگان، تحلیل سلسله مراتبی، بودجه، مدیریت

۱.نویسنده مسئول: Email: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

مقدمه

خشکسالی یکی از مهمترین بلایای طبیعی است که با وقوع تدریجی، آرام و خزنده‌اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تاثیر می‌گذارد. این بلیه به عنوان یک پدیده ناگوار اقلیمی به طور مستقیم و از طریق تغییر در دسترسی به منابع آب، جوامع انسانی را تحت تاثیر قرار داده و هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی زیادی را بر جوامع گوناگون تحمیل می‌کند. گرچه تعیین هزینه‌ها و زیان‌ها به دلیل عدم وجود ارزیابی‌های تاریخی معتبر مشکل می‌باشد. اما مشخص است که در کشورهای واقع در مناطق خشک جهان از جمله ایران، این رقم بالغ بر چندین هزار میلیارد ریال در سال می‌باشد (انصاری، ۱۳۸۱).

یکی از راه‌هایی که دولت‌ها همواره جهت جبران خسارات ناشی از خشکسالی‌ها به بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در پیش می‌گیرند در نظر گرفتن اعتبارات مالی ویژه در قالب وام‌های بلاعوض، اعتبارات عمرانی ویژه، پروژه‌های عمرانی خاص و .... می‌باشد. استان سیستان و بلوچستان نیز با توجه به شرایط اقلیمی خاص خود همواره با خشکسالی‌های شدید و فراگیر روبرو بوده است. لذا در این خصوص کمک‌های مالی فراوانی در قالب اعتبارات ویژه از طرف دولت به آن اختصاص داده شده است. اما بعضی اوقات مشاهده می‌شود که تخصیص و توزیع اعتبارات خشکسالی بین شهرستان‌های مختلف استان نه بر اساس شدت خشکسالی‌ها و میزان اثرات زیانبار آن به بخش‌های مختلف اقتصادی، کشاورزی و اجتماعی بلکه بیشتر تحت تاثیر علایق سیاسی، قومی و مذهبی بوده است. لذا در این پژوهش سعی می‌شود تا با استفاده از معیارهایی مناسب، سیستمی هوشمند جهت کمک به مدیران رده بالای استان جهت تصمیم‌گیری در خصوص تخصیص و توزیع بهتر اعتبارات خشکسالی‌ها بین شهرستان‌های بیشتر آسیب دیده طراحی کند.

متأسفانه از تاریخ دقیق زمانی که پدیده خشکسالی به صورت علمی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است اطلاعات صحیحی در دست نیست و آنچه مسلم است آغاز بررسی آنرا می‌توان به اظهارات کلی در اوایل قرن بیستم مربوط دانست که به تدریج با پیشرفت علم آب و هواشناسی این موضوع نیز بیشتر مورد توجه قرار گرفت. به طوریکه ارائه روش‌های طبقه‌بندی آب و هوایی توسط محققینی همچون کوپن (Köppen، ۱۹۱۸)، ترنث‌وایت (Thornthwaite، ۱۹۴۸) و لورنز (Lorenz، ۱۹۵۰) را می توان نقطه عطفی در این بررسی ها ذکر نمود. در بررسی های این محققین به مفاهیمی همچون کمبود رطوبت خاک و یا نوسان مقادیر بارندگی بر می‌خوریم که گویای توجه به مسئله خشکی و خشکسالی است. پالمر (Palmer، ۱۹۶۵) محقق آمریکایی را می توان جزء اولین محققینی دانست که به طور علمی با استفاده از روش‌های آماری به بررسی ویژگی‌های مختلف این پدیده در آمریکا پرداخته است. وی با انتشار گزارشی تحت عنوان خشکسالی هواشناسی روش خود را ارائه نمود. طی سال‌های متمادی روش وی توسط محققین مختلف جهت تحلیل‌های خشکسالی در آمریکا و نقاط دیگر مورد استفاده قرار گرفت. سپس گزارشی توسط سازمان هواشناسی جهانی، تحت عنوان خشکسالی و کشاورزی در سال ۱۹۷۵ منتشر شد. در این گزارش، روشهای تحلیل خشکسالی کشاورزی مورد بحث قرار گرفته و ضمن آن فهرست نسبتاً جامعی از تعاریف خشکسالی با توجه به متغییرهای آب و هوایی مختلف عنوان گردید. در سال ۱۹۸۵ نیز سازمان هواشناسی جهانی با همکاری یونسکو گزارشی را تحت عنوان جنبه های هیدرولوژیکی خشکسالی منتشر نمود که در آن روش‌های مطالعه خشکسالی هیدرولوژیکی مورد بحث واقع شده است. علاوه بر موارد فوق مقالات بسیاری در کشورهای

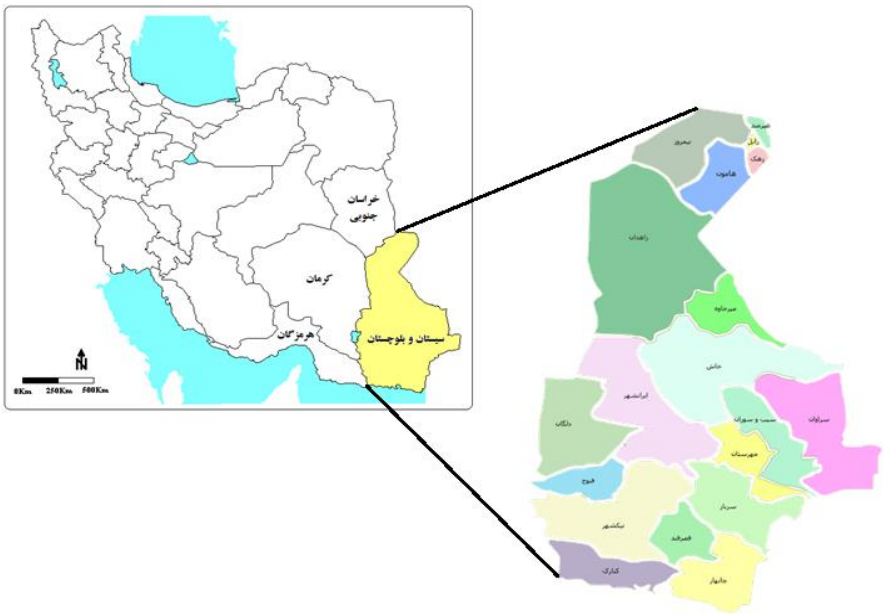
مختلف ارائه گردیده است که در آنها محققین سعی نموده‌اند با استفاده از روش‌های مختلف، ویژگی های این پدیده را بحث نمایند (فرج زاده اصل، ۱۳۸۴).

در ایران نیز مطالعات بسیار زیادی بر روی خشکسالی ها هم در مقیاس کشوری (فرج زاده، ۱۳۷۴؛ خوش اخلاق، ۱۳۷۷؛ غیور، ۱۳۷۵؛ عزیزی، ۱۳۷۸؛ بری ابرقویی و همکاران، ۱۳۸۲؛ دریاباری، ۱۳۸۵؛ علیجانی و بابایی، ۱۳۸۸ خسروی و همکاران، ۱۳۹۱) و هم در مقیاس استانی انجام شده است که برخی از این مطالعات نیز اختصاصاً استان سیستان و بلوچستان را مورد مطالعه قرار داده اند (مهدویان و همکاران، ۱۳۸۰، مقدم و همکاران، ۱۳۸۰؛ ناظم السادات و قاسمی، ۱۳۸۰؛ رضائی پژند و مهدی پور، ۱۳۸۰؛ کیخایی و محمدی، ۱۳۷۹؛ رضیئی و همکاران، ۱۳۸۲؛ محمودی و شاهوزئی، ۱۳۸۶ و محمودی و همکاران، ۱۳۸۶؛ رضیئی و همکاران، ۱۳۸۶؛ پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ رحیمی و همکاران، ۱۳۸۸؛ طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ اژدری مقدم و همکاران، ۱۳۹۱؛). آنچه از نتایج این مطالعات بر می آید این است که در تمامی این مطالعات همواره ویژگی‌هایی همچون شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف و با استفاده از شاخص‌های مختلف بررسی شده است و کمتر به جنبه‌های مدیریتی این مخاطرات به خصوص در زمینه کاهش اثرات زیانبار آن توجه شده است.

الگوریتم کلونی مورچگان الهام گرفته شده از مطالعات و مشاهدات بر روی کلونی مورچه هاست. این مطالعات نشان داده است که مورچه‌ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی‌ها زندگی می کنند و رفتار آنها بیشتر در جهت بقای کل کلونی است تا در جهت بقای یک جزء از آن. یکی از مهمترین و جالب ترین رفتار مورچه ها، رفتار آنها برای یافتن غذاست و به ویژه چگونگی پیدا کردن کوتاه ترین مسیر میان منابع غذایی و آشیانه. این نوع رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوش جمعی است که مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. این الگوریتم برای اولین بار توسط مارکو دوریگو (Marco Dorigo، ۱۹۹۲) در رساله دکترایشان معرفی شد که یکی از جدیدترین روش های فراابتکاری بوده (Gambardella et al,.۱۹۹۹) و از آن زمان به بعد به عنوان ابزاری قدرمند و منعطف به صورت گسترده‌ایی برای حل مسائل مختلفی که نمی‌توان آنها را توسط روش-های سنتی و رایج حل نمود استفاده شد. از الگوریتم کلونی مورچگان به عنوان یک ابزار جهت تخصیص کاربری اراضی (سعید صبایی و همکاران، ۱۳۹۵)، جهت مدیریت ترافیک و سیستم حمل و نقل شهری(حسینی و خلجی علیایی، ۱۳۹۴؛ زرین مهر و همکاران، ۱۳۹۴؛ رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ چگینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ دره میرکی، ۱۳۹۱؛ افندی زاده و همکاران، ۱۳۹۰؛ افندی زاده و همکاران؛ ۱۳۹۰؛ رضوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ تقوی فرد و همکاران، ۱۳۸۸)، جهت پیش بینی در امور سرمایه گذاری و بانکی (تقی زاده و همت فر، ۱۳۹۴؛ صادق حری و مهدوی، ۱۳۹۴؛ اسلامی بیدگلی و طیبی ثانی، ۱۳۹۳؛ راعی و همکاران، ۱۳۹۳؛ فلاح شمس، ۱۳۹۲؛ مهرانی و زارع زادگان، ۱۳۹۲؛ رضایی و نژاد تولمی، ۱۳۹۱) و جهت برنامه ریزی پرواز هواپیماها (خلیلی دامغانی و همکاران، ۱۳۹۰) استفاده شده‌اند. تمامی نتایج این مطالعات حاکی از کارائی بسیار بالای این الگوریتم در زمینه های مورد استفاده بوده است. لذا در این تحقیق سعی خواهد شدکاربرد الگوریتم کلونی مورچگان را در زمینه مدیریت بودجه خشکسالی استان سیستان و بلوچستان به عنوان یک مطالعه موردی به کار ببرد.

داده ها و روش کار

استان سیستان و بلوچستان با مساحتی برابر با ۱۸۷۶۰۲ کیلومتر مربع به عنوان پهناورترین استان در ناحیه جنوب شرق کشور واقع شده است. این استان از شمال به استان خراسان جنوبی، از جنوب به دریای عمان، از شرق به کشورهای پاکستان و افغانستان و از غرب به استانهای هرمزگان و کرمان محدود شده است (شکل ۱). استان پهناور سیستان و بلوچستان دارای ۱۹ شهرستان و شهرستان زاهدان مرکز استان می باشد. منطقه بلوچستان جنوب استان را در برگرفته است و از ۱۴ شهرستان (زاهدان، ، میرجاوه ، خاش، سراوان، ایرانشهر، نیکشهر، چابهار، سرباز، کنارک، دلگان، مهرستان، سیب وسوران، قصر قند، فنوج) تشکیل می گردد. منطقه سیستان نیز شمال استان را در برگرفته است و شامل ۵ شهرستان (زابل، زهک، نیمروز، هامون و هیرمند) می باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و تقسیمات سیاسی استان سیستان و بلوچستان

به منظور طراحی یک الگوریتم فراابتکارانه هوشمند جهت مدیریت بهینه بودجه خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان به دو مجموعه داده متفاوت نیاز بود. مجموعه اول داده‌های مربوط به بارش سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استان برای یک مقیاس زمانی سی ساله (۱۳۹۳-۱۳۶۳) جهت محاسبه طبقات مختلف خشکسالی‌ها بود که از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان اخذ شد. نوع و مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۱ و پراکنش آنها در سطح استان در شکل ۲ آورده شده است.

با توجه به اینکه در تمامی مراکز شهرستان‌ها، ایستگاه‌های هواشناسی با داده‌های بلندمدت وجود ندارد. لذا نتایج حاصل از ایستگاه‌های انتخاب شده قابل تعمیم به شهرستان‌های مجاور می‌باشد. به عبارت دیگر نتایج به دست آمده برای ایستگاه-های مورد مطالعه می‌تواند نماینده وضعیت خشکسالی در چند شهرستان همجوار یکدیگر باشد. در ذیل به تفکیک هر ایستگاه و تعمیم آن به ایستگاه‌های همجاور مشخص شده است:

- ایستگاه زابل نماینده شهرستان‌های هامون، زهک، زابل، هیرمند و نیمروز خواهد بود.
- ایستگاه زاهدان نماینده شهرستان‌های زاهدان و میرجاوه خواهد بود.
- ایستگاه خاش تنها نماینده شهرستان خاش خواهد بود.
- ایستگاه سراوان نماینده شهرستان‌های سراوان، سیب سوران، مهرستان و سرباز خواهد بود.
- ایستگاه ایرانشهر نماینده شهرستان‌های ایرانشهر، دلگان و فنوج خواهد بود.
- ایستگاه چابهار نماینده شهرستان‌های چابهار، کنارک، قصرقند و نیکشهر خواهد بود.

جدول ۱: مشخصات ایستگاههای هوا شناسی مورد استفاده در مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه
زابل	۳۱° ۲′	۶۱° ۲۹′	سینوپتیک
زاهدان	۲۹° ۲۸′	۶۰° ۵۳′	سینوپتیک
خاش	۲۸° ۱۳′	۶۱° ۱۲′	سینوپتیک
سراوان	۲۷° ۲۰′	۶۲° ۲۰′	سینوپتیک
ایرانشهر	۲۷° ۱۲′	۶۰° ۴۲′	سینوپتیک
چابهار	۲۵° ۱۷′	۶۰° ۳۷′	سینوپتیک

شکل ۲: پراکنش ایستگاه های مورد مطالعه در سطح استان سیستان و بلوچستان

مجموعه دوم داده‌های مربوط به شاخص‌های انسانی، اقتصادی و اجتماعی شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان می-باشد. اساس انتخاب این شاخص‌ها مربوط به دستورالعملی است که نمایندگان ویژه رییس جمهور جهت اجرای اختیارات هیئت وزیران در خصوص کاهش آثار ناشی از خشکسالی‌ها، هماهنگی دستگاه های اجرایی و مدیریت مقابله با پدیده یاد شده در جلسه مورخ ۱۳۸۸/۵/۷ به استناد اصل یکصد و بیست و هفتم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران و با رعایت تصویب نامه شماره ۱۰۹۱۹/ت ۱۰۷ ه مورخ ۱۳۸۷/۷/۳۱ ابلاغ کرده‌اند. بر اساس این دستور العمل بودجه اختصاص داده شده به هر استان جهت کاهش اثرات خشکسالی‌ها بایستی بر اساس شاخص‌هایی همچون جمعیت، برخورداری از آب شرب شهری و روستایی، آسیب‌پذیری منابع آب، میزان سطح زیر کشت، تعداد بهره‌برداران بخش کشاورزی، مصرف سالیانه آب کشاورزی و نزولات جوی توزیع شود. بر اساس این دستور العمل مقادیر عددی هر کدام از شاخص‌های مورد نظر از سالنامه آماری سال ۱۳۹۰ استان سیستان و بلوچستان و همچنین از سازمان ها و نهادهای مربوطه جمع‌آوری گردید که به دلیل رعایت اصل اختصار از آوردن جداول مربوط به این شاخص‌ها در مقاله خودداری شده است.

بعد از جمع‌آوری اطلاعات و تشکیل بانک اطلاعاتی آنها، مراحل مختلفی جهت رسیدن به هدف اصلی تحقیق پیموده شد که در ادامه به طور اختصار توضیح داده خواهند شد. در اولین مرحله برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی‌ها در استان سیستان و بلوچستان از شاخص بارش استاندارد شده[۱] (SPI) در مقیاس زمانی سالانه استفاده شد. این نمایه برای اولین بار توسط مک‌کی و همکاران (.Mckee et al، ۱۹۹۳) عرضه و بطور گسترده‌ای در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص فقط براساس متغیر بارش استوار بوده و ابزاری مناسب برای شناسایی پدیده خشکسالی در مناطق گوناگون جهان است. مبانی محاسباتی این شاخص به طور کامل در منبع نگارش و همکاران (۱۳۸۹) آورده شده است.

در مرحله دوم، با توجه به اینکه عوامل مؤثر در مدیریت بودجه خشکسالی استان سیستان و بلوچستان به تفکیک هر شهرستان از اهمیت یکسانی برخوردار نمی باشند و برخی از آنها ممکن است در یک شهرستان دارای اهمیت بیشتر و در شهرستان دیگر اهمیت آن کمتر باشد. لذا برای ارزیابی دقیق تر، لازم است تا اهمیت نسبی عوامل به تفکیک هر شهرستان مشخص شود. در این مرحله از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی[۲] (AHP) با استفاده از روش مقایسه زوجی (قدسی پور، ۱۳۹۵) برای تعیین اهمیت نسبی عوامل تاثیرگذار بر مدیریت بودجه خشکسالی استان سیستان و بلوچستان بهره گرفته شد. در این مرحله پرسشنامه‌ای تنظیم شد و این پرسشنامه در اختیار کارشناسان خبره در استان همچون فرمانداران شهرستان‌ها، مدیران جهاد کشاورزی شهرستان‌ها، اساتید دانشگاه سیستان و بلوچستان و مدیر سازمان مدیریت بحران استان سیستان و بلوچستان قرار گرفت. در این پرسشنامه از این کارشناسان خواسته شد که براساس میزان اهمیت (اولویت) هر معیار نسبت به معیار دیگر با توجه به جدول راهنمای آورده شده در پرسشنامه، عدد ترجیحی خود را از ۱ تا ۹ علامت بزنند. به عنوان مثال در صورت اهمیت خیلی زیاد عامل X نسبت به عامل Y عدد ۷ را علامت بزنند و یا برعکس.

در نهایت بعد از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، جواب‌های کارشناسان به هر یک از موارد خواسته شده در پرسشنامه، به محیط نرم افزاری انتخاب خبره[۳] وارد شد. در این محیط نرم افزاری، وزن هر یک از عوامل موثر در مدیریت بودجه خشکسالی استان

۱ -Precipitation Standardized Index
۲ - Analytical Hierarchy Process
۳ -Expert Choice

سیستان و بلوچستان با توجه به پرسشنامه‌هایی که کارشناسان خبره پر کرده بودند به تفکیک هر شهرستان تعیین گردید. خروجی‌های این نرم افزار به صورت نمودارهای میله‌ای در اختیار قرار می گیرد. در این نمودارها وزنی که بر هر عامل داده شده است مشخص می شود. آنچه که در این نمودارها مهم است و بایستی مورد توجه قرار گیرد نسبت سازگاری است. نسبت سازگاری در این نمودارها نبایستی از ۰/۱ بیشتر باشد که اگر از این مقدار بیشتر باشد بایستی در وزن های عوامل موجود در ماتریس تجدید نظر کرد.

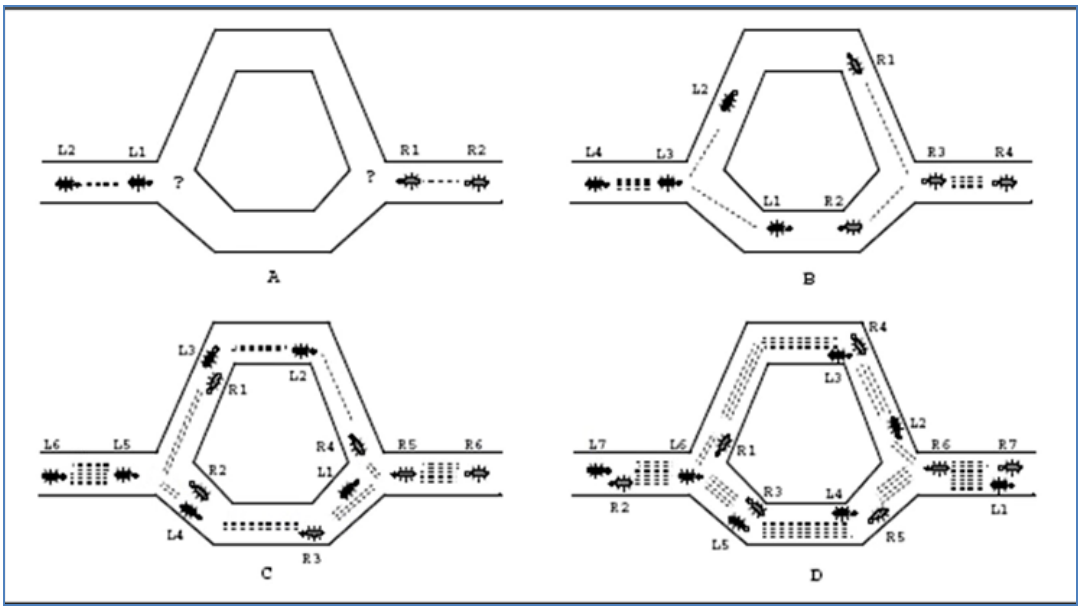
در نهایت بعد از به دست آوردن ضرایب هر یک از شاخص های منتخب با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) از الگوریتم کلونی مورچگان (عالم تبریز و همکاران، ۱۳۹۲) جهت اولویت بندی شهرستان های استان سیستان و بلوچستان برای دریافت بودجه مناسب در زمان وقوع رخداد خشکسالی ها استفاده شد. الگوریتم کلونی مورچگان الهام گرفته شده از مطالعات و مشاهدات روی کلونی مورچه هاست. این مطالعات نشان داده که مورچه‌ها حشراتی اجتماعی هستند که در کلونی‌ها زندگی می‌کنند و رفتار آنها بیشتر در جهت بقاء کلونی است تا درجهت بقاء یک جزء از آن. یکی از مهمترین و جالبترین رفتار مورچه‌ها، رفتار آنها برای یافتن غذا است و بویژه چگونگی پیدا کردن کوتاهترین مسیر میان منابع غذایی و آشیانه. این نوع رفتار مورچه‌ها دارای نوعی هوشمندی توده‌ای است که اخیراً مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. در دنیای واقعی مورچه‌ها ابتدا به طور تصادفی به این سو و آن سو می‌روند تا غذا بیابند. سپس به لانه بر می‌گردند و ردّی از فرومون[۱] به جا می‌گذارند. چنین ردهایی پس از باران به رنگ سفید در می‌آیند و قابل رویت اند. مورچه‌های دیگر وقتی این مسیر را می‌یابند، گاه پرسه زدن را رها کرده و آن را دنبال می‌کنند. سپس اگر به غذا برسند به خانه بر می‌گردند و رد دیگری از خود در کنار رد قبل می‌گذارند و به عبارتی مسیر قبل را تقویت می‌کنند. فرومون به مرور تبخیر می‌شود که از سه جهت مفید است:

- باعث می‌شود مسیر جذابیت کمتری برای مورچه‌های بعدی داشته باشد. از آنجا که یک مورچه در زمان دراز راه‌های کوتاه‌تر را بیش تر می‌پیماید و تقویت می‌کند. هر راهی بین خانه و غذا که کوتاه‌تر (بهتر) باشد بیشتر تقویت می‌شود و آنکه دورتر است کمتر.
- اگر فرومون اصلاً تبخیر نمی‌شد، مسیرهایی که چند بار طی می‌شدند، چنان بیش از حد جذّاب می‌شدند که جستجوی تصادفی برای غذا را بسیار محدود می‌کردند.
- وقتی غذای انتهای یک مسیر جذاب تمام می‌شد رد باقی می‌ماند.

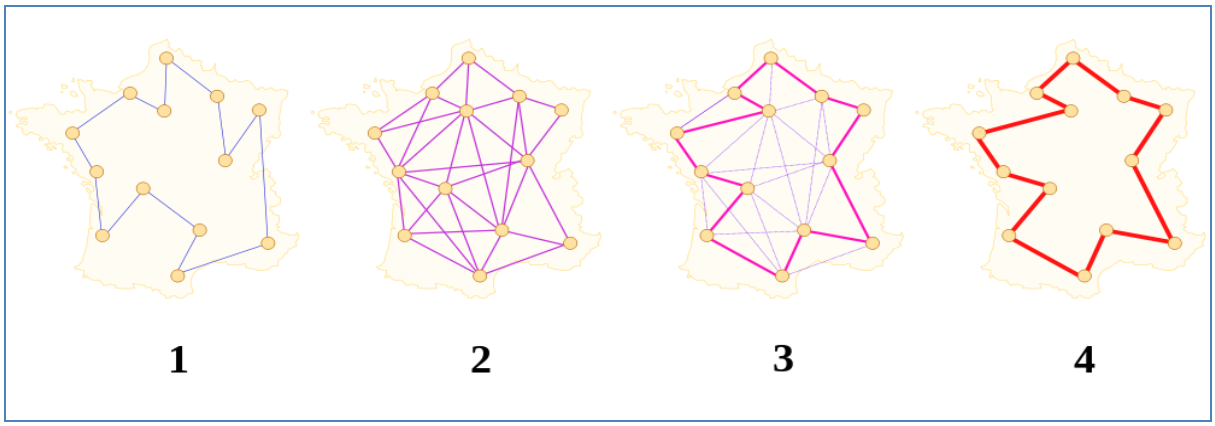
لذا وقتی یک مورچه مسیر کوتاهی (خوبی) را از خانه تا غذا بیابد بقیه مورچه‌ها به احتمال زیادی همان مسیر را دنبال می‌کنند و با تقویت مداوم آن مسیر و تبخیر ردهای دیگر، به مرور همه مورچه‌ها هم مسیر می‌شوند. هدف الگوریتم مورچه‌ها تقلید این رفتار توسط مورچه‌هایی مصنوعی است که روی نمودار در حال حرکت اند. مساله یافتن کوتاه‌ترین مسیر است و حلالش این مورچه‌های مصنوعی اند (شکل ۳).

[۱] Pheromone

از کاربردهای این الگوریتم، رسیدن به راه حل تقریباً بهینه در مسئله فروشنده دوره‌گرد[۱] (یانگ و همکاران، ۲۰۰۸) است. به طوری که انواع الگوریتم مورچه‌ها برای حل این مساله تهیه شده است . در مسئله فروشنده دوره گرد باید از یک شهر شروع کرده، به شهرهای دیگر برود و سپس به شهر مبدا بازگردد بطوریکه از هر شهر فقط یکبار عبور کند و کوتاهترین مسیر را نیز طی کرده باشد. در شکل ۴ به عنوان مثال حرکت یک فروشنده را از چندین شهر به صورت گراف نشان می دهد که در نهایت کوتاهترین مسیر به دست می آید.



شکل ۳: نمایش حرکت مورچه ها و پیدا کردن کوتاهترین مسیر با استفاده از ماده فرومون به عنوان مثال



شکل ۴: نمایش مسئله فروشنده دوره گرد به صورت گراف به عنوان مثال

[۱] TSP problem

الگوریتم کلونی مورچه شامل سه مرحله اصلی در هنگام اجرا می باشد که عبارتند از :

- **تولید و ایجاد مسیر**

بعد از اینکه مقدار دهی اولیه فرومون صورت گرفت ، در این مرحله برای همه مورچه ها باید مسیر تولید شود . در واقع این مرحله در یک حلقه قرار می گیرد که به تعداد مورچه ها حلقه تکرار می شود . عملیاتی که برای تولید مسیر صورت می گیرد به ترتیب به صورت زیر می باشد :

۱. تولید مسیر اولیه به صورت تصادفی
۲. احتمال انتخاب مسیر بعدی با استفاده از فرمول شماره ۱

$$p_{ij}^{k}(t) = \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} * [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l \epsilon N_{ij}^{k}} [\tau_{ij}]^{\alpha} * [\eta_{ij}]^{\beta}} \quad (۱)$$

که در این فرمول p_{ij}^{k} احتمال انتخاب مسیر j ام بعد از مسیر i ام می باشد . τ_{ij} میزان فرومون و η_{ij} معکوس مسافت از مسیر i به مسیر j می باشد . α و β میزان بزرگنمایی گفته می شود .

- **به روز رسانی فرومون**

مرحله به روز رسانی فرومون نیز مانند مرحله تولید مسیر ، در یک حلقه تکرار و به ازای همه مورچه ها انجام می گیرد. در واقع به روز رسانی فرومون برای مسیرهایی می باشد که در مرحله تولید مسیر به ازای همه مورچه ها انتخاب شده است و با استفاده از فرمول شماره ۲ محاسبه می شود :

$$\tau_{new} = \tau_{old} + \frac{Q}{F} \quad (۲)$$

که Q ضریب تبدیل تابع ارزیابی به فرومون و F تابع ارزیابی[۱] می باشد .

- **تبخیر فرومون**

تبخیر فرومون به منظور حفظ تنوع و همچنین جلوگیری از همگرایی زودرس می باشد . لذا اگر فرومون تبخیر نشود بدین معنی است که وقتی تعدادی مورچه از یک مسیر عبور می کنند، بعد از مدتی به دلیل وجود فرومون، مورچه ها تنها از همان مسیر عبور می کنند و این یعنی اگر فرومون تبخیر نشود، تنوع حفظ نخواهد شد. تبخیر فرومون با استفاده از فرمول شماره ۳ به دست می آید :

$$\tau = \tau * (1 - \mathrm{Roh}) \quad (۳)$$

که Roh نرخ تبخیر نامیده می شود. در نهایت پیدا کردن کوتاه ترین مسیر در یک مسئله مسیریابی می باشد که با استفاده سه مرحله اصلی ، الگوریتم انجام می گیرد .

لازم به اشاره است که تمام مراحل محاسباتی مربوط به این الگوریتم در محیط نرم افزاری متلب انجام شد. همچنین در شکل ۵ فرایند تمام مراحل پژوهش در چهارچوب یک چارت آورده شده است.

[۱] Fitness function

شکل ۵: چارت فرایند تحقیق

شرح و تفسیر نتایج

در این بخش، ابتدا نتایج حاصل از محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که در مقیاس سالانه و بر اساس تقویم سال آبی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس نتایج حاصل از وزن‌دهی به هر کدام از شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی دخیل در مدیریت بودجه خشکسالی استان سیستان و بلوچستان ارائه می‌شود و در نهایت خروجی حاصل از الگوریتم کلونی مورچگان جهت رتبه‌بندی شهرستان‌های استان جهت اختصاص بهینه بودجه خشکسالی مورد بحث قرار می‌گیرد.

بر اساس محاسبات انجام شده در ۳۰ سال منتهی به سال ۱۳۹۳، کل استان سیستان و بلوچستان با ۱۱ مورد خشکسالی روبرو بوده است که از این ۱۱ مورد، ۶ مورد آن خشکسالی ضعیف، ۳ مورد آن خشکسالی متوسط و ۱ مورد خشکسالی شدید بوده است. در جدول شماره ۲ به تفکیک برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، سال‌های نرمال با رنگ آبی کمرنگ، خشکسالی‌های ضعیف با رنگ زرد، خشکسالی‌های متوسط با رنگ قهوه‌ای کمرنگ و خشکسالی‌های شدید با رنگ قرمز نشان داده شده اند.

جدول ۲: وقوع طبقات مختلف خشکسالی در ایستگاه های مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان

سال	زابل	زاهدان	خاش	سراوان	ایرانشهر	چابهار
۶۴-۶۳	۰/۲۹۸۹۹	۰/۵۷۱۰۱	۰/۴۸۱۱۴	-۱/۰۴۳۳۵	-۱/۲۵۶۰۴	۰/۴۱۱۴۹
۶۵-۶۴	۰/۴۰۳۹۶	۰/۲۰۸۸۷	۰/۱۷۶۲۱	-۰/۵۶۸۱۸	-۰/۶۸۴۴۹	۰/۲۹۵۲
۶۶-۶۵	-۱/۰۱۳۱۸	-۰/۵۴۸۱۲	-۰/۵۲۷۷۲	-۰/۴۵۸۸۲	-۰/۲۴۶۴۷	۰/۲۵۹۱۷
۶۷-۶۶	۰/۴۱۲۲۵	-۰/۵۱۷۷۴	-۰/۷۹۵۴۵	۰/۱۳۸۹	۰/۸۱۵۱۹	-۰/۲۴۷۱۷
۶۸-۶۷	-۱/۱۵۴۰۷	-۰/۸۲۶۱۵	-۰/۵۳۰۸۳	-۰/۲۸۱۵۸	۰/۲۹۷۳۹	-۰/۹۲۲۲۹
۶۹-۶۸	۰/۵۱۷۲۳	-۰/۱۹۷۶۶	-۰/۱۲۷۶۹	۰/۰۸۶۱۱	۱/۱۱۸۰۶	۱/۲۶۰۵۴
۷۰-۶۹	۱۲۸۶۰۲۱.۰۰	۲/۴۹۱۵۳	۰/۳۱۸۸۵	۰/۱۹۳۵۸	-۰/۰۹۸۳	-۰/۳۹۳۳۱
۷۱-۷۰	۰/۵۳۹۳۳	-۰/۴۳۳۶۳	-۰/۴۸۱۲۱	۰/۳۹۷۲۳	-۰/۳۶۸۶	-۰/۲۴۴۰۸
۷۲-۷۱	۰/۶۰۲۸۶	۰/۰۶۶۳۵	۱/۰۱۴۵۲	۰/۲۷۲۷۸	۱/۲۰۴۳۶	-۰/۴۶۳۲۹
۷۳-۷۲	۰/۶۳۶۰۱	-۰/۱۷۱۹۶	-۰/۲۱۳۴۹	۰/۹۵۱۵۸	۰/۴۷۱۶۲	-۰/۷۳۹۱
۷۴-۷۳	-۰/۱۶۵۱	۰/۲۳۹۲۵	-۰/۴۴۰۹	-۰/۹۶۷۹۲	-۰/۵۵۰۹۷	-۰/۴۰۰۵۱
۷۵-۷۴	۱/۸۰۱۷۷	۲/۵۶۸۶۳	۳/۱۴۱۸۱	۱/۷۱۹۰۱	۲۶۲۱۷۱۳.۰۰	۰/۴۶۶۴۸
۷۶-۷۵	۰/۰۱۴۴۶	-۰/۰۴۵۷۹	۰/۹۴۰۰۹	۰/۹۷۷۹۸	۰/۴۰۱۶	۰/۵۶۳۸
۷۷-۷۶	۰/۸۶۵۳	۰/۷۳۹۲۳	۱/۱۷۴۷۳	۱/۷۴۷۲۹	۱/۶۸۷۹۸	۳/۵۴۲۱۷
۷۸-۷۷	۰/۵۴۴۸۵	-۰/۵۵۰۴۵	-۰/۱۲۳۵۶	-۰/۲۳۴۴۶	-۰/۵۰۷۰۱	-۰/۷۹۳۶۵
۷۹-۷۸	-۰/۵۳۲۵۱	-۰/۷۱۶۳۴	-۱/۲۴۸۱۹	-۰/۹۰۰۰۴	-۱/۵۴۵۸۸	-۱/۲۵۶۷۷
۸۰-۷۹	-۱/۱۴۵۷۸	-۱/۴۲۴۲۶	-۱/۰۱۳۵۵	-۱/۶۴۱۰۷	-۱/۴۳۰۲۷	-۰/۸۲۱۴۳
۸۱-۸۰	-۰/۶۵۴۰۶	-۱/۳۳۷۸۲	-۱/۱۶۳۴۳	-۱/۳۵۴۴۶	-۱/۱۵۶۷۱	-۱/۱۳۵۳۳
۸۲-۸۱	-۰/۳۴۷۴۳	-۰/۴۳۱۳	-۰/۹۰۹۱۵	۰/۰۶۱۶	-۰/۴۸۲۵۸	-۰/۲۳۴۸۲
۸۳-۸۲	-۰/۹۹۶۶۱	-۱/۳۱۹۱۳	-۱/۴۱۰۴۸	-۱/۷۴۲۸۹	-۱/۵۳۲۸۵	-۱/۱۹۶۰۵
۸۴-۸۳	۸۵۵۲۸.۰۰	۱/۸۴۲۰۱	۱/۸۲۱۸۱	۱/۳۴۳۷۸	۰/۸۸۰۳۳	-۰/۱۵۸۶۶
۸۵-۸۴	-۰/۹۸۰۰۳	-۱/۲۴۲۰۳	-۱/۳۰۹۱۸	-۱/۵۶۹۴۲	-۱/۳۸۹۵۶	-۰/۷۱۳۳۷
۸۶-۸۵	-۰/۱۷۸۹۲	۰/۷۸۸۳	۰/۶۴۳۴۳	۱/۹۶۶۰۱	۱/۳۸۱۸۵	۱/۸۴۲۰۱
۸۷-۸۶	-۱/۱۵۶۸۳	-۰/۲۸۴۱۱	۰/۳۳۲۲۹	-۰/۱۵۳۳۶	۱/۳۲۸۱۲	۰/۸۵۸۱۴
۸۸-۸۷	-۰/۳۱۷۰۴	۰/۴۳۰۸۳	۰/۲۳۷۱۹	-۰/۰۰۰۶۳	۰/۵۵۶۲۹	۰/۲۱۵۹۵
۸۹-۸۸	-۰/۸۸۳۳۵	۰/۰۳۵۹۸	۰/۰۳۱۴۹	-۰/۱۱۷۵۳	۰/۱۸۰۱۵	۰/۴۹۰۷۳
۹۰-۸۹	-۰/۶۳۴۷۲	۰/۸۴۴۳۷	۰/۷۰۷۵۱	۰/۴۳۶۸۲	۰/۰۴۳۳۷	-۱/۰۳۲۴۱
۹۱-۹۰	-۰/۴۹۹۳۶	-۰/۷۳۲۶۹	-۰/۹۳۹۱۳	-۰/۶۵۱۱۵	-۰/۸۷۶۶۴	-۰/۰۵۴۷۲
۹۲-۹۱	-۰/۹۱۳۷۳	-۰/۲۱۱۶۸	۰/۰۸۴۲۱	۰/۶۴۰۴۶	-۰/۱۰۸۰۷	۰/۵۳۹۱
۹۳-۹۲	۰/۱۸۰۲۱	۰/۱۶۴۴۸	۰/۱۲۸۶۶	۰/۷۵۱۷۱	-۰/۰۳۹۶۸	۰/۰۸۲۱۶

با توجه به جدول ۲ مشاهده می شود که توزیع فراوانی طبقات مختلف خشکسالی‌ها در سطح استان سیستان و بلوچستان یکنواخت نبوده است به طوریکه بعضی قسمت های استان دارای فراوانی وقوع بیشتر و بعضی قسمت های آن دارای فراوانی کمتری بوده است. بر اساس جدول ۳ مشاهده می شود که بیشترین فراوانی خشکسالی‌ها در این دوره آماری ۳۰ ساله در شمال استان (شهرستان های زابل و زاهدان) با ۱۴ و ۱۳ مورد تکرار بوده است و کمترین آنها در بلوچستان مرکزی (شهرستان های خاش و سراوان) با ۱۱ مورد تکرار بوده است.

جدول ۳: فراوانی وقوع طبقات مختلف خشکسالی در ایستگاه های هواشناسی استان سیستان و بلوچستان

طبقات خشکسالی	زابل	زاهدان	خاش	سراوان	ایرانشهر	چابهار
خشکسالی ضعیف	۶	۸	۴	۴	۵	۵
خشکسالی توسط	۸	۲	۵	۳	۲	۶
خشکسالی شدید	۰	۳	۲	۴	۵	۱
جمع	۱۴	۱۳	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲

اما آنچه که بعد از فراوانی وقوع خشکسالی‌ها بایستی بدان توجه نمود تداوم و ماندگاری خشکسالی‌ها است. به طوریکه خشکسالی‌هائی ضعیف اما با ماندگاری طولانی می‌تواند بسیار مخرب تر از خشکسالی‌هائی با شدت شدید اما کوتاه باشند.

استان سیستان و بلوچستان از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ تحت سیطره خشکسالی با شدت‌های مختلف بوده است. اما در این بین شمال استان سیستان و بلوچستان (ایستگاه زابل) شرایط بسیار متفاوت تری از سایر نقاط استان نشان می دهد. در شمال استان سیستان وبلوچستان به مدت ۱۴ سال از سال ۷۹-۷۸ تا ۹۲- ۹۱ به استثنای سال ۸۴-۸۳ گرفتار خشکسالی با شدت های مختلف بوده است (جهت رعایت اختصار در مقاله از آوردن نموداری های تداوم خشکسالی ها اجتناب شده است). همین ماندگاری طولانی مدت خشکسالی‌ها در استان بوده است که مشکلات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی زیادی را به همراه داشته است به طوریکه از مصادیق آن می توان به خشک شدن دریاچه هامون و کم آب شدن رودخانه هیرمند در شمال استان و افت شدید منابع آب زیرزمینی در بلوچستان مرکزی اشاره نمود.

همچنانکه در قسمت مواد و روش توضیح داده شد جهت تعیین وزن هر کدام از شاخص‌های منتخب برای شهرستان‌های مختلف استان از تحلیل فرایند سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. خروجی‌های حاصل از این تحلیل که به کمک نرم افزار انتخاب خبره انجام می‌شود به صورت نمودارهای میله‌ای می باشد. در این مرحله تعداد نمودارهای به دست آمده شش نمودار بودند که جهت رعایت اختصار از آوردن این نمودارها در مقاله خودداری شده است ولی نتایج عددی این نمودارها در قالب جدول ۴ به تفکیک شهرستان‌ها آورده شده است. همچنانکه در جدول ۴ مشاهده می‌شود شاخص‌های منتخب دارای وزن‌های یکسانی در شهرستان‌های مختلف استان نیستند بلکه بسیار متفاوت نیز هستند. همانطور که مشاهده می‌شود، کارشناسان عامل جمعیت شاغل در بخش‌های کشاورزی، جنگلداری و ماهیگیری را مهمترین عامل در مدیریت بودجه خشکسالی دو شهرستان زابل و سراوان تشخیص داده‌اند. در حالیکه در شهرستان زاهدان از دید کارشناسان خبره، عامل منابع آب زیرزمینی و مقدار تخلیه سالانه آنها در اولویت اول بوده است. در ایرانشهر، تعداد بهره‌برداری و مقدار تولید برخی محصولات دائمی (همچون خرما، انار و پرتغال) در فضای باز، در چابهار، جمعیت کل بهره برداران در بخش کشاورزی و در نهایت در خاش، مساحت اراضی کشاورزی با زمین های دیم اولین فاکتور در مدیریت بودجه خشکسالی این شهرستان ها تشخیص داده شده اند (جدول ۴).

جدول ۴: وزن عوامل انتخاب شده در مدیریت بودجه خشکسالی استان سیستان و بلوچستان به تفکیک شهرستان

عوامل	زابل	زاهدان	سراوان	چابهار	ایرانشهر	خاش
جمعیت شهرستان ها	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۲	۰/۱۳	۰/۱۱
جمعیت شاغل در بخش کشاورزی، جنگلداری و ماهیگیری	۱	۰/۹	۱	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۴۲
منابع آب های زیرزمیتی و مقدار تخلیه سالانه آنها	۰/۱۷	۱	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۳۶	۰/۱۴
تعداد انشعابات ،مشترکین و مقدار فروش آب	۰/۰۷	۰/۳	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۱	۰/۰۷
تعداد بهره برداری و مقدار تولید برخی از محصولات دائمی در فضای باز	۰/۱۶	۰/۵۳	۰/۳۲	۰/۵۳	۱	۰/۴
مساحت گلخانه در بهره برداری های کشاورزی	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۱۲	۰/۱۹
جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی	۰/۴	۰/۴۷	۰/۳۴	۱	۰/۸۲	۰/۴۲
جمعیت بهره برداری های کشاورزی	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۵۲	۰/۴۳
مساحت اراضی کشاورزی بهره برداری های با زمین آبی	۰/۳۲	۰/۶۹	۰/۴۵	۰/۹۳	۰/۳۶	۰/۳۶
مساحت اراضی کشاورزی بهره برداری های با زمین دیم	۰/۴۸	۰/۷۱	۰/۹۴	۰/۶۶	۰/۵۴	۱

بعد از به دست آوردن ضرایب هر یک از شاخص های منتخب با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است، از الگوریتم کلونی مورچگان جهت اولویت بندی شهرستان های استان سیستان و بلوچستان برای دریافت بودجه مناسب در زمان وقوع رخداد خشکسالی ها استفاده شد. در طول ۳۰ سال مطالعه خشکسالی ها در استان سیستان و بلوچستان مشاهده شد که استان در حد فاصل دو سال آبی ۷۸-۷۷ تا ۸۵-۸۴، ۷ سال خشکسالی متداوم را سپری نموده است. بنابراین این هفت سال به عنوان نمونه انتخاب و الگوریتم کلونی مورچگان برای آنها اجرا شد. در این مرحله لازم بود که به هریک از طبقات خشکسالی های ضرایبی اختصاص داده شود. برای اینکه وزن هر کدام از طبقات خشکسالی ها در اولویت بندی شهرستان ها بهتر خود را نشان دهد به هریک از طبقات ضریبی از ۱۰ اختصاص داده شد. یعنی به خشکسالی های ضعیف ضریب ۱۰، به خشکسالی های متوسط ضریب ۲۰، به خشکسالی های شدید ضریب ۳۰، به خشکسالی های بسیار شدید ضریب ۴۰ و به شرایط نرمال و ترسالی ها ضریب صفر اختصاص داده شد. در ادامه برای این هفت سال، نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان در قالب نقشه های اولویت بندی آورده شده است.

در سال آبی ۸۷-۱۳۷۷ شهرستان چابهار خشکسالی متوسط و دو شهرستان زاهدان و ایرانشهر خشکسالی ضعیف را تجربه و بقیه شهرستان ها در وضعیت نرمال و ترسالی قرار داشته اند. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم کلونی مورچگان نشان می دهد که شهرستان چابهار در اولویت اول، شهرستان زاهدان در اولویت دوم و شهرستان ایرانشهر در اولویت سوم برای دریافت بودجه مناسب جهت کاهش اثرات منفی خشکسالی ها در این سال آبی بوده اند. بقیه شهرستان ها چون در شرایطی غیر از خشکسالی قرار داشته اند در این اولویت بندی قرار نگرفته اند و بودجه ای نبایستی به آنها اختصاص داده شود (شکل ۶ الف).

در سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ شرایط وقوع خشکسالی های استان سیستان و بلوچستان بسیار متفاوت از سال آبی ۷۸-۱۳۷۷ بوده است. در این سال کلیه شهرستان های استان سیستان و بلوچستان دچار خشکسالی اما با شدت های مختلف بوده اند. به طوریکه دو شهرستان زابل و زاهدان در شرایط خشکسالی ضعیف، دو شهرستان خاش و سراوان در شرایط خشکسالی متوسط و دو شهرستان ایرانشهر و چابهار در شرایط خشکسالی شدید بوده اند. در این شرایط مدل اجرا شده برای مدیریت بودجه خشکسالی استان سیستان و بلوچستان اولویت ها را به صورت زیر نشان داده است. اولویت اول شهرستان چبهار، اولویت دوم شهرستان ایرانشهر، اولویت سوم شهرستان سراوان، اولویت چهارم شهرستان خاش، اولویت پنجم شهرستان زاهدان و در نهایت اولویت ششم شهرستان زابل بوده است (شکل ۶ ب).

در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ شرایط وقوع خشکسالی ها در استان سیستان و بلوچستان الگوی متفاوت تری از دو سال قبل خود نشان می دهد. در این سال آبی، استان یکی از سال های بد از نظر وقوع خشکسالی ها را سپری نموده است به طوریکه تمامی شش شهرستان مورد مطالعه در وضعیت خشکسالی متوسط یا شدید بوده اند. اولویت بندی شهرستان ها بر اساس خروجی مدل الگوریتم کلونی مورچگان برای این سال به ترتیب عبارتند از: شهرستان زاهدان، شهرستان سراوان، شهرستان ایرانشهر، شهرستان چابهار، شهرستان زابل و شهرستان خاش (شکل ۶ ج).

در سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ بازهم استان سیستان و بلوچستان در سیطره خشکسالی ها قرار دارد. اما شدت خشکسالی ها نسبت به سال قبل کاهش پیدا کرده است. در این سال آبی دو شهرستان زاهدان و سراوان تداوم دو سالانه خشکسالی

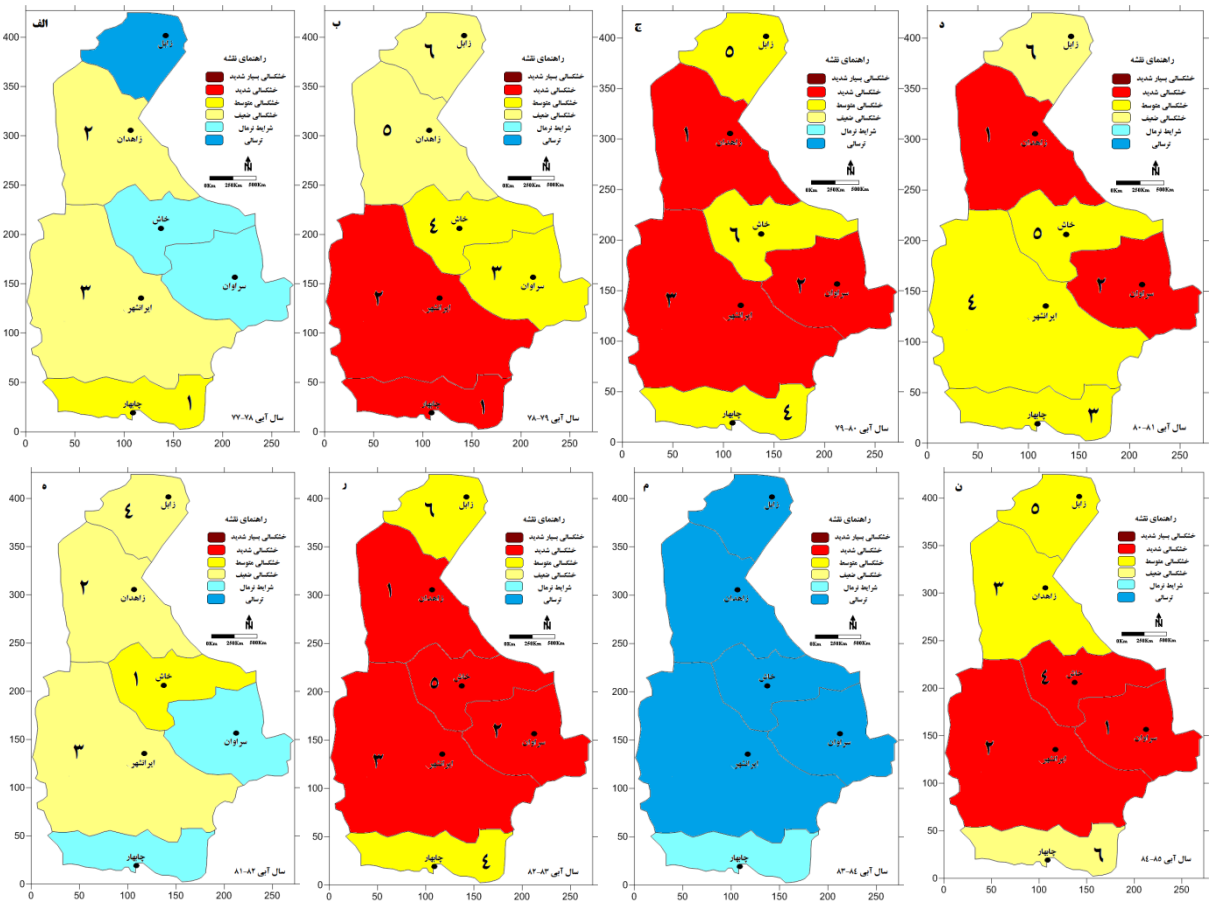
شدید را تحربه می کنند. شهرستان های چابهار، ایرانشهر و خاش گرفتار خشکسالی متوسط و شهرستان زابل نیز گرفتار خشکسالی ضعیف می باشد. در این سال اولویت های مدیریت بودجه خشکسالی به این صورت بوده است: اولویت اول شهرستان زاهدان، اولویت دوم شهرستان سراوان، اولویت سوم شهرستان چابهار، اولویت چهارم شهرستان ایرانشهر، اولویت پنجم شهرستان خاش و در نهایت اولویت ششم شهرستان زابل می باشد (شکل ۶ د).

در سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ با کاهش شدت طبقات مختلف خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان مواجه هستیم. در این سال دو شهرستان چابهار و سراوان از سیطره خشکسالی های طولانی مدت نجات پیدا می کنند و شرایط نرمال تری را نسبت به سال های قبل به خود اختصاص می دهند. در این سال شهرستان خاش تنها شهرستانی است که وضعیت خشکسالی در آن، شدیدترین حالت را دارا است. در این سال شهرستان خاش دچار خشکسالی متوسط می باشد. دیگر شهرستان های استان یعنی زابل، زاهدان وایرانشهر تحت سیطره خشکسالی ضعیف هستند. با چنین الگوی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان اجرای الگوریتم کلونی مورچگان اولویت شهرستان ها را به صورت زیر نشان می دهد: خاش اولویت اول، زاهدان اولویت دوم، ایرانشهر اولویت سوم و زابل اولویت چهارم. دو شهرستان چابهار و سراوان به دلیل اینکه در این سال آبی در وضعیت ترسالی قرار گرفته بودند از اولویت بندی ها خارج شده اند (شکل ۶ ه).

سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ شاید سخت ترین سال آبی در استان سیستان و بلوچستان بوده باشد. در این سال آبی به استثنای دو شهرستان زابل و چابهار که خشکسالی متوسط داشته اند بقیه شهرستان ها در شرایط خشکسالی شدید بوده اند. در این سال آبی شهرستان های زاهدان، سراوان و ایرانشهر در اولویت اول تا سوم جهت دریافت بودجه بیشتر جهت کاهش اثرات مخرب خشکسالی در این سال بوده اند. بعد از این سه شهرستان، شهرستان های چابهار، خاش و زابل به ترتیب در اولویت های چهارم تا ششم بوده اند که نیاز به کمک های مالی بیشتر جهت بهبود اوضاع معیشتی خود داشته اند (شکل ۶ ر).

در سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ کل استان از بارش مناسبی برخوردار بوده است. به طوریکه در این سال شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای کل شهرستان های استان وضعیت ترسالی را نشان می دهد. لذا بعد از سپری کردن شش سال مداوم خشکسالی، این سال تنها سالی بود که استان هیچ نوع خشکسالی را تجربه نکرده است. لذا با توجه به اینکه در مدلسازی الگوریتم کلونی مورچگان برای این شرایط ضریب صفر را قائل شده ایم پس انتظار هیچ گونه اولویت بندی را نبایستی انتظار داشت (شکل ۶ م).

سال آبی ۸۳-۱۳۸۲ نیز یکی دیگر از سال های خشک در استان سیستان و بلوچستان بوده است. در این سال کل استان سیستان و بلوچستان، خشکسالی را اما با طبقات شدت مختلف تجربه کرده اند. در این سال سه شهرستان خاش، سراوان و ایرانشهر خشکسالی شدید، دو شهرستان زابل و زاهدان خشکسالی متوسط و شهرستان چابهار خشکسالی ضعیف را تجربه کرده اند. با چنین الگویی خروجی الگوریتم مورچگان اولویت بندی شهرستان را بدین صورت مشخص نموده است: سراوان اولویت اول، ایرانشهر اولویت دوم، زاهدان اولویت سوم، خاش اولویت چهارم، زابل اولویت پنجم و زابل اولویت ششم. نکته جالب در این اولویت بندی ها، اختصاص دادن اولویت سوم به شهرستان زاهدان بوده است که خشکسالی متوسط داشته است در حالیکه شهرستان خاش خشکسالی شدید را دارا بوده است (شکل ۶ ن).



شکل ۶: نقشه وقوع رخداد خشکسالی های سال های آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۲-۱۳۸۱ و اولویت بندی شهرستان ها برای دریافت بودجه مناسب جهت کاهش اثرات خشکسالی ها

نتیجه گیری

با بررسی و مطالعه شاخص‌های مختلفی که می‌تواند در تخصیص بودجه مناسب و عادلانه بین شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان در زمان وقوع خشکسالی‌ها مورد استفاده قرار گیرد، به شاخص‌های نمایندگان ویژه رییس جمهوری که جهت اجرای اختیارات هیئت وزیران در خصوص کاهش اثرات ناشی از خشکسالی‌ها پیشنهاد داده شده بود برخورد گردید. شاخص‌ها از جنبه‌های مختلفی مانند در دسترس بودن داده‌ها، کمی بودن آنها و ارتباط موضوعی آنها با پدیده مورد مطالعه بررسی شدند و مشاهده گردید که مجموعه معیارها می‌توانند معیارهای مناسبی برای مدیریت بودجه خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان باشند. لذا با توجه به اینکه در حال حاضر اساس و بنیان تصمیم گیرها در خصوص تخصیص بودجه خشکسالی به استان‌های مختلف در کشور نیز همین معیارها می باشد، لذا این معیارها، معیارهای مناسبی تشخیص داده شدند.

بنابراین با توجه به معیارهای انتخاب شده و روش کار پیشنهادی و همچنین ارائه نتایج به نظر می رسد که ترکیب تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و الگوریتم کلونی مورچگان قادر به تدوین سیستمی هوشمند جهت تعیین اولویت

شهرستان های استان سیستان و بلوچستان در زمان وقوع خشکسالی ها برای اختصاص بودجه بهینه در خصوص کاهش اثران مخرب خشکسالی‌ها می باشد. بر اساس نقشه‌های اولویت‌بندی تخصیص بودجه بهینه خشکسالی بین شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان که در برای یک دوره نمونه هشت ساله تهیه شده‌اند، به راحتی مشاهده می شود که نتایج با واقعیت‌های موجود در استان تقریباً هماهنگی خوبی نشان می دهد. در نتیجه با توجه به یافته های تحقیق و همچنین اهمیت موضوع، می توان پیشنهادتی در راستای بهبود این پژوهش به شرح ذیل ارایه گردد:

- پیشنهاد می‌گردد روش‌های دیگر بهینه سازی جهت تخصیص بودجه خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- یک سیستم خبره برای مدیریت بودجه خشکسالی استان سیستان و بلوچستان طراحی گردد..
- یک سیستم برای پیش بینی های فصلی استان سیستان و بلوچستان طراحی شود.

منابع

عالم تبریز، اکبر؛ مصطفی زندیه و علیرضا محمدرحیمی. ۱۳۹۲. *الگوریتم های فراابتکاری در بهینه سازی ترکیبی (ژنتیک، شبکه عصبی، آنیل شبیه سازی شده، جستجوی ممنوع و الگوریتم مورچگان)*. انتشارات اشراقی، تهران.

قدسی پور، سید حسن. ۱۳۹۵. *فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)*. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

اژدری مقدم، مهدی؛ محمود خسروی، حسین پور نیکنام و احسان جعفری ندوشن. ۱۳۹۱. پیش بینی خشکسالی با استفاده از مدل فازی-عصبی، شاخص‌های اقلیمی، بارندگی و شاخص خشکسالی (مطالعه موردی: زاهدان). *جغرافیا و توسعه*، **۲۶**: ۷۲-۶۱.

اسلامی بیدگلی، غلامرضا؛ احسان طیبی ثانی. ۱۳۹۳. بهینه سازی سبد سرمایه گذاری بر اساس ارزش در معرض ریسک با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان. *فصلنامه دانش سرمایه گذاری*، **۱۰**: ۱۲۲-۱۰۱.

افندی زاده، شهریار؛ احمدرضا غفاری و نوید کلانتری. ۱۳۹۰. ارزیابی اثر عدم قطعیت جعبه های تقاضا در طراحی شبکه پیوسته و گسسته حکل و نقل، با استفاده از الگوریتم های ژنتیک و کلونی مورچگان. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، **۷** :۲۲۲-۲۰۵.

افندی زاده، شهریار؛ نسترن معروف و نوید کلانتری. ۱۳۹۰. به کارگیری الگوریتم هیبریدی ژنتیک-کلونی مورچگان در حل مساله دو سطحی مکان یابی پایانه و و طراحی شبکه اتوبوس. *فصلنامه مهندسی ترافیک*، **۴۶** :۱۲-۵.

انصاری، حسین. ۱۳۸۲. *پایش و پهنه بندی خشکسالی با استفاده از منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیائی*. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

بری ابرقویی، حسین؛ جواد بداق جمالی و محمود توکلی. ۱۳۸۲. کاربرد برخی از شاخص‌های آماری هواشناسی جهت ارزیابی شدت خشکسالی در مقیاس کشوری. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۶۹**: ۱۱۹۸- ۱۱۷۸.

پور محمدی، سمانه؛ محمد حسین مبین و محمد حسن رحیمیان. ۱۳۸۷. *بررسی روند خشکسالی و پارامترهای اقلیمی موثر بر آن با استفاده از شاخص RDI در منطقه زابل*. اولین کنفرانس بین اللملی آب، زابل، دانشگاه زابل.

تقوی فرد، محمدتقی؛ کیوان شیخ و آرین شهسواری. ۱۳۸۸. ارائه روش اصلاح شده کلونی مورچگان جهت حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به همراه پنجره های زمانی. *نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید*، **۲** :۳۰-۲۳.

تقی زاده، حسن و محمود همت فر. ۱۳۹۴. بررسی کاربرد الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان پیوسته در پیش بینی ورشکستگی شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه دانش حسابرسی*، **۲۱** :۵۶-۴۳.

جهانی، علی. ۱۳۷۵. *قابلیت های اطلاعات ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مطالعات ارزیابی زمین (مطالعه موردی، حوضه آبریز طالقان)*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

چگینی، فاطمه؛ محمود صفارزاده، امیر علی زرین مهر و هیما ساکی. ۱۳۹۱. طراحی شبکه اتوبوسرانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان با هدف بیشینه سازی رضایت استفاده کنندگان. *فصلنامه جاده*، **۷۳** :۳۲۰-۳۰۷.

حری، محمد صادق و کاوه مهدوی. ۱۳۹۴. طراحی مدلی جهت پیش بینی رتبه اعتباری مشتریان بانکها با استفاده از الگوریتم فراابتکاری و هیبریدی چند معیاره شبکه عصبی فازی – کلونی مورچگان (مطالعه موردی شعب پست بانک استان تهران). *فصلنامه مدرس علوم انسانی (پژوهش های مدیریت در ایران)*، **۱**، صص ۱۱۶-۹۱.

حسینی، سید محمد حسن و سهیلا خلجی علیایی. ۱۳۹۴. مدل سازی ریاضی مساله مکان یابی- مسیریابی با در نظر گرفتن ظرفیت، تنوع و محدودیت تردد وسایل حمل و نقل و توسعه یک مدل حل مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان. *دو فصلنامه پژوهشهای مهندسی صنایع در سیستمهای تولید*، **۵**: ۱۰۵-۹۱.

خسروی، محمود؛ علیرضا موقری و محمدرضا منصوری دانشور. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌هایPNI,RAI,SIP و SPI برای پهنه بندی شدت خشکسالی ایران با مقایسه دو روش درون یابی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM، *جغرافیا و پایداری محیط*، **۵**: ۷۰ - ۵۳.

خلیلی دامغانی، کاوه؛ رضا توکلی مقدم و مجتبی طبری. ۱۳۹۰. حل مسایل زمانبندی پروژه ها با منابع محدود با استفاده از الگوریتم مورچگان اصلاح شده. *نشریه مهندسی صنایع*، **۱** :۷۰-۵۹.

خوش اخلاق، فرامرز. ۱۳۷۷. *تحقیق در خشکسالی های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل های سینوپتیکی*، رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز

دره میرکی، مجید. ۱۳۹۱. الگوریتم ابتکاری جدید برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه. *مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*، **۴** :۷-۸.

دریاباری، سید جمال‌الدین. ۱۳۸۵. پیش بینی خشکسالی براساس مدل‌های ماتریس احتمال انتقال تجربی در مناطق مختلف ایران. *نشریه علوم جغرافیایی*، **۷**: ۱۰۴- ۸۷.

راعی، رضا؛ محمدرضا رستمی و مریم هاشم پور. ۱۳۹۳. پیش بینی سری های زمانی آشوبی با استفاده از بهینه سازی کلونی مورچگان در بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه مدرس علوم انسانی (پژوهش های مدیریت در ایران)*، **۱**: ۱۰۰-۸۳.

رحیمی، داریوش؛ سعید موحدی و حمید برقی. ۱۳۸۸. بررسی شدت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان با شاخص نرمال بارش. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، **۴**: ۵۶ - ۴۳.

رحیمی، تمیر مسعود؛ سجاد مرامی و محمدرضا فیضی درخشی. ۱۳۹۲. کاربرد الگوریتم کلونی مورچگان برای مساله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی و اعمال محدودیت ظرفیت برای وسایل نقلیه. *فصلنامه جاده*، **۷۷** :۴۴-۳۵.

رضیئی، طیب؛ پیمان دانش کار آراسته، روح انگیز اختری و بهرام ثقفیان. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف. *تحقیقات منابع آب ایران*، **۱**: ۳۵ – ۲۵.

رضیئی، طیب؛ علیرضا شکوهی و بهرام ثقفیان. ۱۳۸۲. پیش بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی با استفاده از روش‌های احتمالاتی و سری‌های زمانی (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان). *مجله بیابان*، **۲**: ۳۱۰- ۳۲۹.

رضایی، فرزین و بابک نژاد تولمی. ۱۳۹۱. کاربردهای مالی الگوریتم کلونی مورچگان. *فصلنامه مطالعات حسابداری و حسابرسی*، **۳**: ۵۹-۴۸.

رضائی پژند، حجت و میترا مهدی پور. ۱۳۸۰. *تحلیل خشکسالی و پیش بینی بارندگی چهار سال آینده شهر زابل*. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، زابل.

رضوی، مریم؛ محمد علی سوخکیان و کورش زیارتی. ۱۳۹۰. ارائه الگوریتم فرابتکاری مبتنی بر سیستم کلونی مورچگان برای مسئله مکان یابی مسیریابی با چندین انبار و فرض تخصیص چندین مسیر به هر وسیله نقلیه. *نشریه مدیریت صنعتی*، **۶**: ۳۸-۱۷.

زرین مهر، امیر علی؛ مرتضی پرویزی، یوسف شفاهی و سید احسان سید ابریشمی. ۱۳۹۴. موازی سازی الگوریتم کلونی مورچگان در طراحی شبکه گسسته حمل و نقل. *فصلنامه مهندسی عمران مدرس*، **۲**: ۵۰-۳۷.

سازمان برنامه و بودجه. ۱۳۹۰. *سالنامه آماری استان سیستان و بلوچستان*، زاهدان.

سعید صبایی، مریم؛ رسول سلمان ماهینی، سید محمد شهر آئینی، سید حامد میرکریمی و نورالدین دبیری. ۱۳۹۵. به کارگیری سنجه های سیمای سرزمین در تخصیص کاربری اراضی. *دو فصلنامه آمایش سرزمین*، **۱** :۱۷۵-۱۵۵.

طاوسی، تقی؛ محمود خسروی و خالد قادری زه. ۱۳۸۹. بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره های خشک کوتاه مدت ایرانشهر با استفاده از مدل زنجیره مارکوف در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹. *علوم محیطی*، **۴**: ۴۴-۳۱.

عزیزی، قاسم. ۱۳۷۸. ال نینو و دوره های خشکسالی – ترسالی در ایران. *پژوهش های جغرافیایی*، **۳۸** :۸۴-۷۱.

علی احمدی، حمزه. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات اقلیمی دوره خشکسالی ۸۲-۱۳۷۸ نسبت به میانگین بلندمدت منطقه سیستان و تاثیر آن بر تولیدات کشاورزی، *فصلنامه خشکی و خشکسالی*، **۱۵** :۶-۱.

علیجانی، بهلول و محمدرضا کاویانی. ۱۳۸۶. *مبانی آب و هواشناسی*. انتشارات سمت، تهران.

علیجانی، بهلول و ام اسلمه بابایی. ۱۳۸۸. تحلیل فضایی خشکسالی‌های کوتاه مدت ایران. *جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای*، **۱**: ۱۲۱-۱۰۹.

غیور، حسنعلی. ۱۳۷۵. شدت، مساحت و فراوانی خشکسالی در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۴۵**: ۱۵-۱.

فرج زاده، منوچهر . ۱۳۷۴. *تحلیل و پیش بینی خشکسالی در ایران*. رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

فرج زاده، منوچهر. ۱۳۸۴. *خشکسالی از مفهوم تا راهکار*. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران.

فلاح شمس، میرفیض. ۱۳۹۲. بررسی عملکرد معیارهای متفاوت ریسک در انتخاب و بهینه سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم مورچگان در شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران. *مجله راهبرد مدیریت مالی*، **۲** :۷-۶.

کیخائی، فاطمه و کورش محمدی. ۱۳۷۹. *جایگاه خشکسالی در سیستان و بررسی روند آن از دیدگاه کشاورزی*. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.

محمودی، پیمان و عبدالرئوف شاهوزئی. ۱۳۸۶. *تجزیه و تحلیل خشکسالی های شهرستان ایرانشهر با استفاده از شاخص نمره استاندارد و ارائه راهکاری مدیریتی جهت کاهش اثرات آن*. همایش خشکسالی، پیامدها و راهکارهای مقابله با آن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، بیرجند.

محمودی، پیمان؛ قباد منصوری، عبدالرئوف شاهوزئی و پرویز خسروی. ۱۳۸۶. *خشکسالی و تاثیر آن بر کیفیت منابع آب سطحی در استان سیستان و بلوچستان*.کنفرانس ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

مرادی، حمیدرضا؛ منصور رجبی و منوچهر فرج زاده. ۱۳۸۶. تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس. *فصلنامه تحقیقات و مرتع و بیابان ایران*، **۱**: ۱۰۹-۹۷.

مقدم، حسین؛ جواد بداق جمالی، سهیلا جوانمرد، عبدالرضا مهدویان و لیلی خزانه داری. ۱۳۸۰. *پایش خشکسالی بر اساس نمایه SPI، دهکها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان*. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، زابل.

مهدویان، عبدالرضا؛ جواد بداق جمالی، حسین موقر مقدم، سارا خجسته، علی قیامی، جواد احمدیان، حسن عراقی، حمید عظیمی و فاطمه فدائی وطن. ۱۳۸۰. *بررسی روش های مختلف پهنه بندی اقلیمی استان سیستان و بلوچستان و ارتباط آن با خشکسالی*. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، زابل.

مهرانی، کاوه و امید زارع زادگان. ۱۳۹۲. کیفیت سود، ریسک ورشکستگی و جریان های نقدی آتی. *فصلنامه بررسی‌های حسابداری و حسابرسی*، **۷۱**: ۱۱۲-۹۳.

میرزابیاتی، رضا. ۱۳۸۳. *امکان سنجی نواحی مستعد کشت زعفران در دشت نیشابور با استفاده از GIS*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

ناظم السادات، سید محمد جعفر و احمد رضا قاسمی. ۱۳۸۰. *خشکسالی و بارندگی مازاد استان سیستان و بلوچستان و ارتباط آن با پدیده ال نینو – نوسان جنوبی*. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، زابل.

نگارش، حسین؛ محمود خسروی، منصوره شاه حسینی و پیمان محمودی. ۱۳۸۹. مطالعه خشکسالی های کوتاه مدت شهرستان زاهدان. *مجله جغرافیا و توسعه*، **۱۸**: ۱۳۵-۱۰۹.

Darcup, J. A.; K. S. Lee, and E. G. Jr. Paulson .۱۹۸۰. On the definition of drought. *Water Resources Research*, ۲: ۲۹۷-۳۰۲. **DOI** ۱۰,۱۰۲۹/WR۰۱٦i۰۰۲p۰۰۲۹۷

Dorigo, M. ۱۹۹۲. *Optimization, Learning and Natural Algorithms (In Italian)*. Ph.D Thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.

Holms, R. M.; and G. W. Robertson. ۱۹٥٤. A Modulated soil moisture budget. *monthly weather Review*, ۸۷: ۱ – ۷.

Gambardella, L. M.; E. Taillard, and G. Agazzi .۱۹۹۹. MACS-VRPTW A Multiple Ant Colony System For Vehicle Routing Problems With Time Windows. *New Ideas in Optimization*, ٦۳–۷٦

Köppen, W. ۱۹۱۸. Klassifikation der Klimate nach Temperatur. *Niederschlag und Jahresverlauf. Peter manny Mitt*, ٦٤: ۱۹۳-۲۰۳ and ۲٤۳-۲٤۸.

Linsley, p. k.; and J. B. Franzini. ۱۹۸۷. *Water Resources Engineering*. Mc Graw- Hill, Singapore.

Lorenz, K. ۱۹٥۰. The Comparative Method in the Study of Behaviour. *The British Journal for the Philosophy of Science*, ۷: ۲٥۱-۲٥٥

Malczewski, J. ۱۹۹۹. *GIS and multicriteria analysis*. John Wiely & Sons Inc, New York.

McKee, T. B.; N. J. Doesken, and J. Kleist. ۱۹۹۳. *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. ۸th Conference on Applied Climatology, Anaheim, USA.

Palmer, W. C. ۱۹٦٥. *Meteorological Drought*. U.S. Research Paper No. ٤٥. US Weather Bureau, Washington, DC..

Thornthwaite, C. W. ۱۹٤۷. Climate and moisture conservation. *Annals of the Association of American Geographers*, ۲: ۸۷-۱۰۰.

Thornthwaite, C. W. ۱۹٤۸. An approach toward a rational classification of climates. *Geographical Review*, ۳۸: ٥٥-۹٤.

Wilhite, D. A.; and M. H. Glantz. ۱۹۸٥. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, ۱۰: ۱۱۱–۱۲۰. DOI ۱۰,۱۰۸۰/۰۲٥۰۸۰٦۸٥۰۸٦۸٦۳۲۸

Willhite, D. A.; W. E. Easterling. ۲۰۰۰. *Planning for drought: Toward a Reeducation of social Vulnerability*. Westview Press, Boulder.

Yang, Z.; B. Yu, C. Cheng. ۲۰۰۷. A parallel ant colony algorithm for bus network optimization. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, ۱: ٤٤-٥٥. **DOI** ۱۰,۱۱۱۱/j.۱٤٦۷-۸٦٦۷,۲۰۰٦. ۰۰٤٦۹.x