

اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز درجه دو بر اساس شدت عوامل تهدید آب با روش تحلیل رابطه خاکستری

حجت خزیمه نژاد^{۱*}، حنیف کازرونی^۲، حامد حسنلو^۳، رامیار علی‌رمایی^۴

۱- دانش‌آموخته دکتری مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه عالی دفاع ملی

۳- دانش‌آموخته دکتری مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تهران

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

* نویسنده مسئول: khozeymehnezhad_hojjat@mail.um.ac.ir

چکیده

به‌طور حتم اطلاع دقیق و علمی از مقوله بحران و تهدیدات آب، به درک بهتر از آن و در نتیجه برنامه‌ریزی صحیح جهت مقابله با آن کمک خواهد کرد. به‌طور کلی عوامل عمده تهدید آب در حوضه‌های آبریز درجه دو کشور که در مقاله حاضر به آنها پرداخته شده است شامل آلودگی، تغییر اقلیم و خشکسالی، رشد جمعیت، کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و بیابان‌زایی می‌باشد. با استفاده از تحلیل رابطه‌ای خاکستری به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، حوضه‌های آبریز درجه دو کشور بر اساس شدت عوامل پنجگانه تهدید آب رتبه‌بندی شدند. با توجه به اینکه در تحلیل خاکستری بایستی تمامی شاخص‌ها به صورت کمی باشند از این رو نیاز است برای هر یک از شاخص‌ها، مقادیر مربوطه کمی‌سازی گردد. سپس با توجه به نتایج کمی‌سازی، زیرحوضه‌های آبریز درجه دو کشور با روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری رتبه‌بندی می‌شوند که براساس این رتبه‌بندی حوضه آبریز دریاچه نمک با رتبه ۰/۷۹۲ بحرانی‌ترین حوضه آبریز در کل کشور بر مبنای شدت بحران پنج عامل تهدید بررسی شده در مقاله حاضر می‌باشد. قابل ذکر است رتبه عددی بین صفر و یک بوده و هر چه به یک نزدیکتر باشد مطلوب‌تر است. همچنین حوضه‌های مهارلو و قره‌قوم به ترتیب با رتبه‌های ۰/۷۳۹ و ۰/۷۲۷ در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند. سایر حوضه‌ها نیز به ترتیب اولویت‌بندی دق پترگان-نمکزار خواف، کویر مرکزی، حله، جراحی، کرخه، گاوخونی، ارومیه، کویرهای درانجیر و ساغند، سیاه کوه، مند، کل، اترک، کارون، هامون ماشکیل، ابرقو، کویر لوت، هامون جازموریان، مرزی غرب، بلوچستان، ارس، هامون هیرمند، گرگان رود، سفید رود بزرگ، بندرعباس، تالش، هزار و بین سفیدرود و هراز می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: روش تحلیل خاکستری، تهدیدات آب، حوضه‌های آبریز درجه دو، اولویت‌بندی حوضه‌ها

مقدمه

علت آلودگی آب رودخانه تالار و روند صعودی و افزایشی شاخص‌های مورد نظر را ناشی از افزایش دخالت‌های انسانی و کاربری‌های کشاورزی در اطراف رودخانه و نیز ورود فاضلاب‌های خانگی و صنعتی به رودخانه دانست که موجب خواهد شد اکوسیستم رودخانه در معرض خطر و نابودی قرار گیرد.

در رابطه با تهدید تغییر اقلیم و خشکسالی مطالعات فراوانی که البته اکثر آنها تنها محدود به یک حوضه یا دشت خاص می‌شود وجود دارد. به عنوان نمونه، دانشور و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تاثیر خشکسالی در دو دهه اخیر بر تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل پرداختند. نتایج آزمون همگنی نشان داد که روند تراز آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف همگن ولی در ایستگاه‌های مختلف غیرهمگن می‌باشد. کریمی راد و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثر نوسانات اقلیمی بر سفره‌های آب زیرزمینی چندلایه در دشت گرگان پرداختند. بر اساس نتایج، پاسخ سفره‌ها در برابر وقوع خشکسالی هواشناسی متفاوت است و SPI بلندمدت ۱۸ ماهه برای سفره آزاد و ۴۸ ماهه برای سفره تحت فشار، بیشترین ارتباط را با نوسانات آب زیرزمینی داشته است. جلیلی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اسلام آباد و بهینه سازی تخصیص سطح اراضی آن پرداختند. نتایج نشان داد که متغیرهای بارش، دمای بیشینه و کمینه و ساعات آفتابی در شرایط تغییر اقلیم به ترتیب ۰/۴، ۱۳/۶۶، ۲/۲، ۳۱/۰۴ درصد تغییر می‌کند

چنانچه ذکر شد یکی از عوامل عمده تهدید آب، رشد جمعیت است. در حال حاضر یک چهارم جمعیت جهان در کشورهایی که کمبود آب دارند، زندگی می‌کنند و این تعداد ممکن است در دو دهه آینده دو برابر شود. رشد جمعیت، شهرنشینی و توسعه اقتصادی کمیابی آب را افزایش خواهند داد (Roson and Damania, 2016). در همین راستا شاهنوشی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از شبکه علی بیزین، رابطه بین افزایش جمعیت و بحران منابع آبی کشور را تبیین کرده و اثرات این بحران بر شاخص‌ها و متغیرهای کلان اقتصادی و تبعات ناشی از آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش نرخ رشد جمعیت، بحران آب بیشتر شده و اثرات اقتصادی بحران آب شامل افزایش نرخ تورم، افزایش نرخ بیکاری و

به‌طور حتم اطلاع دقیق و علمی از مقوله بحران و تهدیدات آب، به درک بهتر از آن و در نتیجه برنامه‌ریزی صحیح جهت مقابله با آن کمک خواهد کرد. از جمله عوامل عمده بحران و تهدید آب در حوضه‌های آبریز کشور می‌توان به آلودگی، تغییر اقلیم و خشکسالی، رشد جمعیت، افت سطح آبخوان و بیابان‌زایی اشاره نمود.

در رابطه با تهدید آلودگی، مقدم و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی در آب دشت مشهد پرداختند. آنها نشان دادند که افزایش فعالیت‌های انسانی، نوسانات آب و هوایی، دمای آب و آلودگی‌های انتقال یافته از خارج محدوده مطالعاتی به ترتیب از عوامل مؤثر بر کیفیت آب دشت مشهد می‌باشند. مهری و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی فقط در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند که میزان مناسب بودن صرف این منابع برای مصارف کشاورزی و شرب با استفاده از نمودارهای ویلکوکس و شولر در دو دشت تسوج و شیرامین، بررسی شد. نتایج نشان داد که با کاهش کیفیت منابع آبی میزان برداشت سالیانه از آبخوان‌ها، کاهش می‌یابد. مریدی و همکاران (۱۳۹۵) یک تحلیل نسبتاً جامع از وضعیت کیفیت منابع آب کشور در دوره ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ انجام دادند. آنها در این مقاله با توجه به محدودیت اطلاعات موجود در رابطه با متغیرهای کیفیت آب همچون نیترات، فسفات و اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، با استفاده از محاسبه بار آلودگی آلاینده‌های مختلف نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، پتانسیل آلودگی حوضه‌های آبریز مختلف و همچنین سهم هر یک از منابع آلاینده در آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی را محاسبه کردند. تیموری و همکاران (۱۳۹۷) با روش تحلیل‌های رابطه خاکستری و NSFQI به ارزیابی و مقایسه کیفیت آب در مخزن سد شیرین دره پرداختند و نشان دادند که در روش تحلیل خاکستری از ماه‌های آبان ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ و در روش NSFQI از مهر ۱۳۹۰ تا فروردین ۱۳۹۱ کیفیت آب متوسط و در بقیه ماه‌ها بد است. سهرابی زاده و همکاران (۱۳۹۷) یک تحلیل از روند تغییرات کیفی آب در حوضه آبخیز رودخانه تالا با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال ارائه دادند. نتایج نشان داد که به طور کلی می‌توان

نشان داد که در صورت استفاده بهینه از آب و با در نظر گرفتن حداکثر رفاه کشاورزان، ۴۵ سال زمان لازم است که سطح ایستایی آب از ۱۷۱۶ به ۱۷۳۲ متر افزایش و در سطح بهینه قرار گیرد.

یکی از تهدیدات آب، بیابان‌زایی می‌باشد. در همین خصوص ذاکری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی شدت بیابان‌زایی با معیار آب زیرزمینی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت یک مطالعه موردی در زرین دشت فارس پرداختند. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های هدایت الکتریکی، افت آب زیرزمینی، نسبت جذب سدیم و کلر، کمبود منابع آب و عمق سطح آب زیرزمینی به بررسی و تعیین کلاس بیابان‌زایی در هر یک از واحدهای کاری پرداخته شد. حیدری و همکاران (۱۳۹۳) طبق تعریف مورد قبول در معاهده‌نامه بین دولت‌ها به منظور مبارزه با بیابان‌زایی (ICCD) مناطق مستعد بیابان‌زایی در کشور را با استفاده از GIS پهنه-بندی کردند. نتایج نشان داد که در مجموع ۳۵/۶ درصد از مساحت ایران را بیابان‌های واقعی و ۶۱/۸ درصد را دیگر مستعد برای بیابان‌زایی فراگرفته است. در کاری دیگر احمدی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم در حوزه آبریز جازموریان پرداختند. نتایج نشان داد شاخص حساسیت‌پذیری بعد از ۳۰ سال به ترتیب به حدود ۱/۲۵ و ۱/۱۸ خواهد رسید که این نشان از اهمیت مدیریت پوشش در برابر مقابله با بیابان‌زایی به ویژه در حوزه آبریز جازموریان دارد. همچنین اقدامات مدیریتی در منطقه مورد مطالعه می‌توانند روند بیابان‌زایی را متوقف و وضعیت موجود را به سوی بهبودی سوق دهند.

مرور مختصر کارهای فوق در زمینه عوامل پنجگانه تهدید آب مورد بررسی در کار حاضر نشان داد که اغلب کارها، تنها یک تهدید و آن نیز در یک حوضه یا دشت خاص مورد مطالعه واقع شده است. از این رو کار جامعی که تمامی عوامل پنجگانه تهدید فوق را در تمامی حوضه‌های آبریز درجه دو کشور بررسی کرده باشد مشاهده نشد. در همین راستا در کار حاضر، یک مطالعه جامعه‌ای که بتواند تمامی عوامل تهدید مذکور را در همه حوضه‌های آبریز درجه دو کشور ارزیابی کند انجام می‌شود. سپس براساس آن، حوضه‌های آبریز با روش تحلیل رابطه خاکستری به

کاهش نرخ رشد اقتصادی و اثرات اجتماعی آن نیز شامل کاهش میزان دسترسی به آب سالم و بهداشتی می‌باشد. سلطانی (۱۳۹۲) در مقاله خود به بررسی شاخص‌های تاثیر گذار بر مصرف منابع آب حوزه آبریز دریاچه ارومیه از جمله جمعیت آن پرداختند. نتایج نشان داد که رفتارهای مصرفی چه در بخش جمعیت و چه در بخش فعالیت‌های انسانی، از شرایط نامطلوبی برخوردار است و تقریباً در تمامی شاخص‌های مورد بررسی، متوسط مصرف آب از میانگین کشوری بالا بوده و همین امر الگوهای مصرف در این حوزه آبریز را از حالت تعادل خارج کرده است. سرمدی و همکاران (۱۳۹۷) با مدل DPSIR به ارزیابی کمیت مولفه آب شهر تهران پرداختند به طوری که در این مدل نیروهای محرک جمعیت، شهرنشینی، فضای سبز و صنایع و فشارهای مؤثر بر مؤلفه آب شهر نظیر مصرف آب، هدررفت آب، بارندگی، تبخیر و درنظر گرفتن وضعیت کمیت آب تهران براساس شاخص موجودی آب سدها و موجودی منابع زیرزمینی، اثرات آنها بر شهر مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، پاسخهای ممکن ارائه شده است. از جمله راهکارهای ارائه شده در این مقاله می‌توان به اصلاح الگوی مصرف و کاهش تراکم جمعیتی شهر تهران اشاره کرد.

افت سطح آب‌های زیرزمینی به عنوان یک تهدید جدی برای آب مطرح است. در این خصوص جلیلی و همکاران (۱۳۹۳) از طریق کانال‌های زهکش سطحی که با استفاده از روش AHP اولویت‌بندی شده بودند به تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد که ۶۵/۴۵ درصد از کانال‌های زهکشی موجود در منطقه قابل تغذیه می‌باشد. در راستای کاهش این افت سطح آب، مسلمی و درویشی (۱۳۹۶) راهکارهایی را برای آن البته در دشت لاور استان هرمزگان ارائه دادند. آنها بیان کردند که با حفاظت آب در کشاورزی و بهبود روش‌های آبیاری بعلاوه انجام اقداماتی همچون بیان مشکلات و افزایش سطح دانش بهره برداران و کنترل دقیق در برداشت از منابع آب زیرزمینی با نصب کنتورهای حجمی از می‌توان میزان افت سطح آب زیرزمینی و پیامدهای ناشی از آن را به حداقل رساند. در کاری دیگر سیدان و همکاران (۱۳۹۶) به یک مسیر بهینه برای استحصال از منابع آب زیرزمینی با اعمال اثرات جانبی به صورت مطالعه موردی در دشت همدان دست پیدا کردند. نتایج این پژوهش

به وجود می‌آید. بنابراین، تبدیل کلیه ارزش‌های عملکردی هر گزینه به یک سری مقایسه‌ای در فرایندی مشابه نرمالیزه کردن، ضروری به نظر می‌رسد. این پردازش، گام ایجاد روابط خاکستری در تئوری سیستم‌های خاکستری نامیده می‌شود.

در یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه که دارای m گزینه و n شاخص است، i امین گزینه را می‌توان به صورت $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in})$ بیان نمود، به طوری که y_{ij} عبارت است از ارزش عملکردی شاخص j برای گزینه i . عبارت Y_i را می‌توان به کمک یکی از روابط (۱)، (۲) و (۳) به سری مقایسه‌ای $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})$ تبدیل نمود (تیموری و همکاران، ۱۳۹۷).

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (1)$$

$$x_{ij} = \frac{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_{ij}}{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \frac{|y_{ij} - y_j^*|}{\text{Max}\{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, \dots, m\} - y_j^*, y_j^* - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, \dots, m\}\}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

رابطه (۱) برای شاخص "هرچه بزرگ‌تر، بهتر"، رابطه (۲) برای شاخص "هرچه کوچک‌تر، بهتر" و رابطه (۳) برای حالتی که هر چه به ارزش مطلوب y_j^* نزدیک‌تر باشد بهتر است، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تعریف سری‌های هدف مرجع: پس از ایجاد روابط خاکستری با استفاده از معادلات (۱)، (۲) و (۳)، تمامی ارزش‌های عملکردی در مقیاس [۰، ۱] قرار می‌گیرند. اگر برای یک شاخص j در گزینه i ، ارزش x_{ij} که از فرایند ایجاد رابطه خاکستری ایجاد شده، برابر با ۱ بوده یا از ارزش مربوط به هر گزینه دیگری به ۱ نزدیکتر باشد، بدین معناست که عملکرد گزینه i در شاخص j از سایر گزینه‌ها بهتر است. بنابراین، اگر برای گزینه‌ای تمامی ارزش‌های عملکردی، یک باشد، این گزینه، بهترین انتخاب خواهد بود. این مقاله، سری مرجع هدف را به صورت $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0j}, \dots, x_{0n})$

عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره براساس شدت عوامل تهدید اولویت‌بندی خواهند شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نوع کاربردی-توسعه‌ای است. محدوده مطالعاتی در این پژوهش به صورت کلان و در سطح کشور جمهوری اسلامی ایران خواهد بود که شامل تمامی حوضه‌های آبریز درجه دو کشور می‌باشد.

تحلیل رابطه‌ای خاکستری

برای اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز درجه دو برحسب شدت عوامل تهدید آب از روش تحلیل رابطه خاکستری استفاده می‌شود. تحلیل رابطه‌ای خاکستری را نخستین بار، دنگ مطرح کرد. این تئوری برای حل مسائل مبهم و مسائلی که داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص دارند به کار می‌رود. این تئوری با استفاده از اطلاعات نسبتاً کم و با تغییرپذیری بسیار در معیارها، خروجی‌های رضایت بخش و مطلوبی را ایجاد می‌کند. تئوری خاکستری، همچون تئوری فازی، یک مدل ریاضی اثربخش برای حل مسائل نامشخص و مبهم است (Deng, 1982). این تئوری در زمینه‌های بسیار، نظیر حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، با نام تحلیل رابطه‌ای خاکستری به کار گرفته شده است. تحلیل رابطه‌ای خاکستری جزئی از تئوری خاکستری است که برای حل مسائلی به کار می‌رود که از روابط پیچیده‌ای بین عوامل و متغیرهایشان برخوردارند (Moran et al., 2006). تئوری سیستم‌های خاکستری، الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم با یک عضو مرجع را تحلیل می‌کنند و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره را داراست. جزئیات فرآیند تحلیل رابطه‌ای خاکستری به شرح ذیل است:

در کاربرد روش تحلیل خاکستری ابتدا بایستی معیار و شاخص‌های هریک از عوامل تهدید پنجگانه مذکور مشخص گردد. در این روش بایستی تمامی شاخص‌ها به صورت کمی بیان شوند و سپس رابطه خاکستری ایجاد گردد. زمانی که واحدهای اندازه‌گیری عملکرد شاخص‌های مختلف متفاوتند، ممکن است تأثیر برخی از شاخص‌ها نادیده گرفته شود. همچنین زمانی که برخی شاخص‌های عملکرد از دامنه گسترده‌ای برخوردارند، ممکن است چنین اتفاقی روی دهد. همچنین اگر هدف یا جهت این شاخص‌ها تفاوت داشته باشند، نتایج نادرست در تحلیل‌ها

دارای بیشترین شباهت با سری مرجع هدف است و لذا این گزینه، بهترین انتخاب است.

نتایج و بحث

چنانچه ذکر شد در این پژوهش پنج عامل تهدید آب شامل آلودگی، خشکسالی، رشد جمعیت، کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و بیابان‌زایی در حوضه‌های آبریز درجه دو مطالعه و سپس براساس شدت بحران آنها با روش تحلیل خاکستری اولویت‌بندی خواهند شد. برای استفاده از روش تحلیل خاکستری داده‌های مورد استفاده بایستی کمی‌سازی شوند.

تعیین شاخص‌های مناسب ارزیابی تهدیدات آب

برای تعریف معیار و شاخص‌های مناسب ارزیابی هر یک از تهدیدات آب، از مطالعات کتابخانه‌ای و تحلیل و بررسی تحقیقات و مطالعات انجام شده در این زمینه کمک گرفته شد. در همین رابطه برای تهدید آلودگی با توجه به شکل (۱) چهار شاخص شوری، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، نیترات و فسفات، برای تهدید خشکسالی با توجه به شکل (۲) از شاخص خشکسالی هواشناسی، برای تهدید رشد جمعیت با توجه به شکل (۳) از شاخص میزان جمعیت، برای تهدید کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی با توجه به شکل (۴) از شاخص نسبت برداشت از آب‌های زیرزمینی به ذخیره تجدید شونده و برای تهدید بیابان‌زایی با توجه به شکل (۵) از شاخص درصد مساحت مستعد بیابان‌زایی استفاده می‌شود. قابل ذکر است برای افزایش دقت اولویت‌بندی حوضه‌ها، برای سه تهدید اول، هر یک از حوضه‌های آبریز درجه دو خود به سه بخش بالا، میان و پایین دست تقسیم بندی و شاخص‌ها برای هر کدام از این بخش‌ها ارزیابی می‌شوند.

(1,1, ..., 1, ..., 1) تعریف می‌کند و آنگاه به جستجوی گزینه‌ای می‌پردازد که سری‌های مقایسه‌ای‌اش، نزدیک‌تر به این سری هدف باشند.

محاسبه ضریب رابطه‌ای خاکستری: ضریب رابطه‌ای خاکستری برای تعیین نزدیکی x_{ij} به x_{0j} مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچه ضریب رابطه‌ای خاکستری، بزرگ‌تر باشد x_{ij} به x_{0j} نزدیک‌تر است. ضریب رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۴) می‌توان محاسبه نمود (تیموری و همکاران، ۱۳۹۷):

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta_{\text{Min}} + \zeta \Delta_{\text{Max}}}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta_{\text{Max}}} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

در رابطه (۴)، $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ضریب رابطه‌ای خاکستری میان x_{0j} و x_{ij} را نشان می‌دهد که در آن:

$$\Delta_{ij} = x_{0j} - x_{ij}$$

$$\Delta_{\text{Min}} = \text{Min}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$\Delta_{\text{Max}} = \text{Max}\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

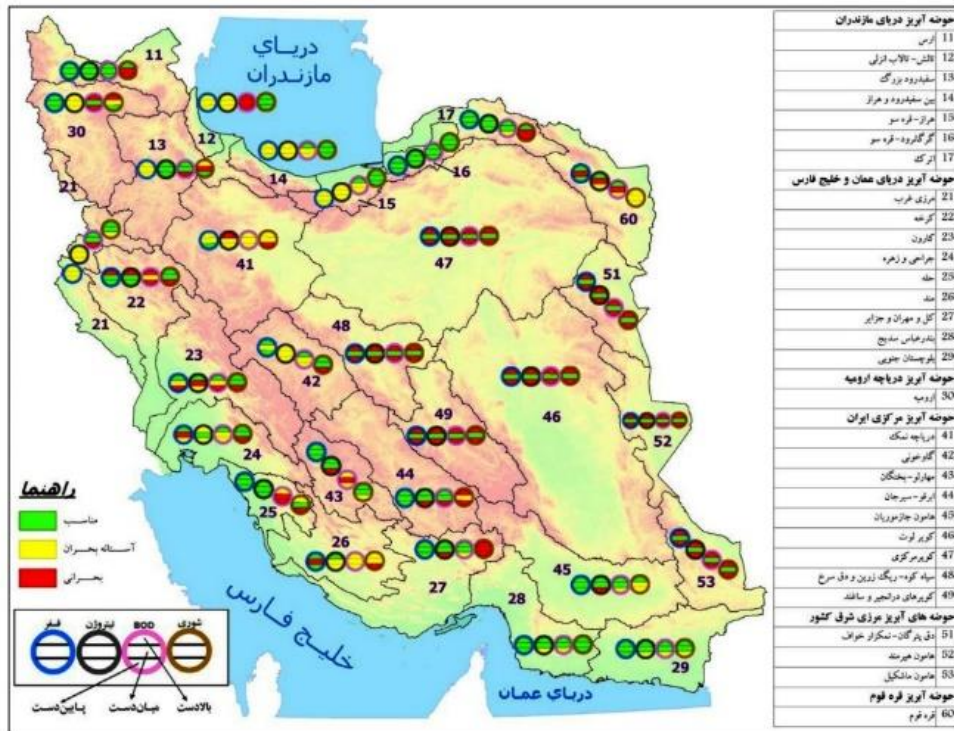
$$\zeta \in [0, 1] = \text{ضریب تشخیص}$$

هدف از به کارگیری ضریب تشخیص، گسترش یا محدود ساختن دامنه ضریب رابطه خاکستری است. قابل ذکر است در کار حاضر این ضریب ۰/۵ پیشنهاد شده است. محاسبه رتبه رابطه‌ای خاکستری: پس از محاسبه تمامی ضرائب رابطه‌ای خاکستری $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ، رتبه رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۵) می‌توان محاسبه نمود (تیموری و همکاران، ۱۳۹۷):

$$\Gamma(x_0, x_i) = \sum_{j=1}^n w_{j\gamma} (x_{0j}, x_{ij}) \quad (5)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

رابطه (۵)، رتبه رابطه‌ای خاکستری را بین x_0 و x_i نشان می‌دهد که در آن Γ رتبه رابطه‌ای خاکستری است. در واقع، این عبارت، میزان همبستگی سری مرجع هدف و سری مقایسه‌ای را نشان می‌دهد. w_j ، وزن شاخص j است که معمولاً به قضاوت تصمیم‌گیرنده یا به ساختار مساله پیشنهادی بستگی دارد. همان‌طور که پیشتر ذکر شد، بر روی هر شاخص، سری مرجع هدف، نشان‌دهنده بهترین عملکردی است که در میان سری‌های مقایسه‌ای قابل حصول است. بنابراین، اگر یک سری مقایسه‌ای برای یک گزینه، بالاترین رتبه رابطه‌ای خاکستری را با سری مرجع هدف داشته باشد، بدین معناست که این سری مقایسه‌ای،



شکل ۱- وضعیت کیفی آبهای سطحی در حوضه های آبریز درجه دو (Shahid Beheshti University, 2016)
Figure 1- The quality of the waters in sub-basins (Shahid Beheshti University, 2016)

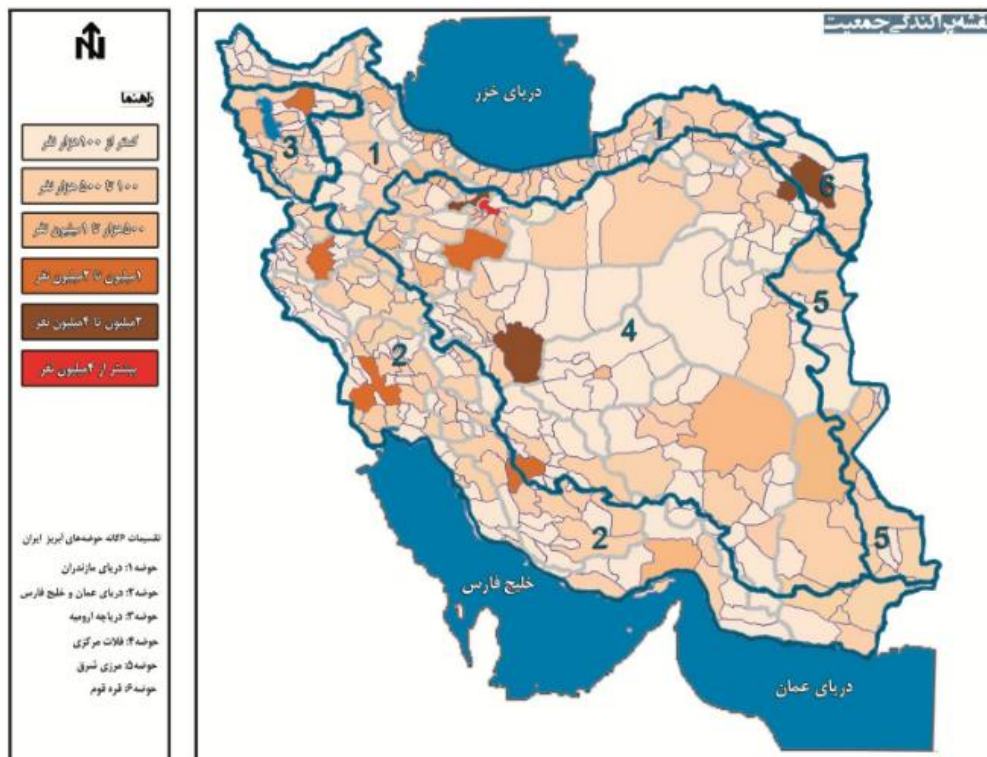


شکل ۲- پهنه بندی خشکسالی با شاخص SPEI ده ساله منتهی به پایان فروردین ۹۷ (مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۷)
Figure 2- Zoning of drought using ten years ending farvardin 97 SPEI index (National Center for Drought and Crisis Management, 1397)

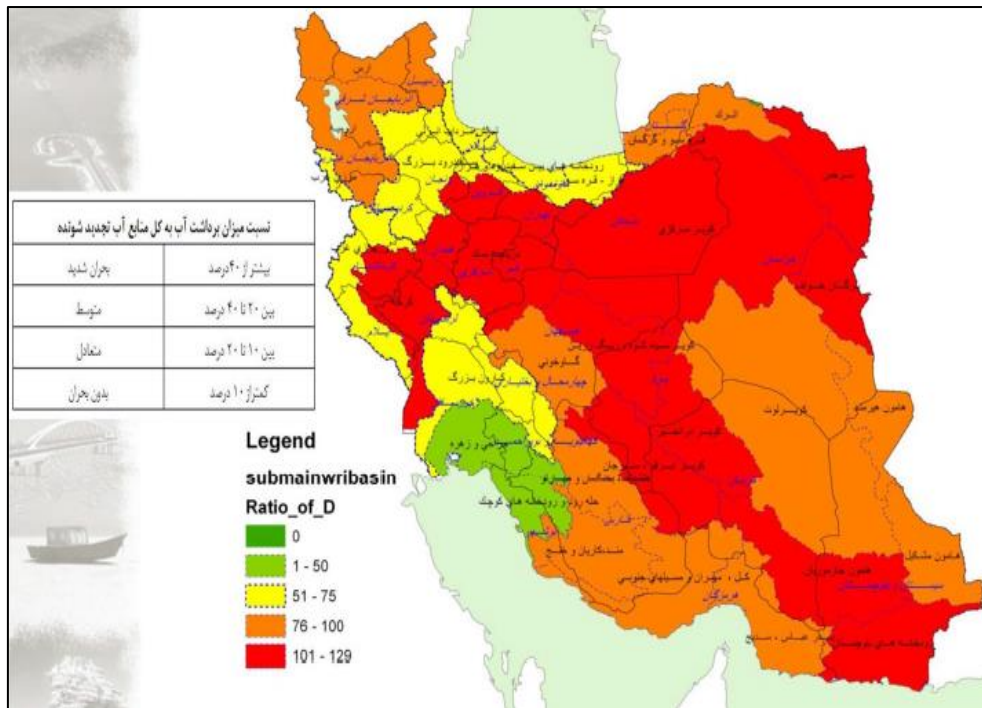
کمی‌سازی شاخص‌ها

برای استفاده از تحلیل خاکستری بایستی شاخص‌های تعریف شده کمی‌سازی شوند. از این رو برای چهار شاخص شوری، BOD، نیتروژن و فسفات در تهدید آلودگی، ابتدا سه معیار کیفی مناسب، آستانه بحران و بحرانی برای آنها تعریف و سپس به معیار کیفی مناسب عدد کمی ۱، آستانه بحران عدد کمی ۲ و بحرانی عدد کمی ۳ اختصاص داده می‌شود. برای خشکسالی نیز مطابق تهدید آلودگی بایستی شاخص موردنظر برای هر یک از زیرحوضه‌های درجه دو کمی‌سازی شود. از این رو چهار معیار کیفی خفیف، متوسط، شدید و بسیار شدید برای خشکسالی در هر یک از زیرحوضه‌ها تعریف و به ترتیب برای هر یک از آنها معیار کمی ۱، ۲، ۳ و ۴ لحاظ گردید. شاخص میزان جمعیت نیز برای هر زیرحوضه درجه دو آبریز بایستی کمی‌سازی شود. در اینجا چهار معیار کیفی کم، متوسط، شدید و بسیار شدید برای شاخص رشد

جمعیت در هر یک از زیرحوضه‌ها تعریف و به ترتیب برای هر یک از آنها معیار کمی ۱، ۲، ۳ و ۴ لحاظ گردید. برای شاخص کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی که به صورت نسبت برداشت از آب‌های زیرزمینی به ذخیره تجدید شونده تعریف می‌شود نیز بایستی برای هر زیرحوضه درجه دو آبریز کمی‌سازی شود. در اینجا چهار معیار کیفی متعادل، متوسط، شدید و بحرانی برای شاخص کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی در هر یک از زیرحوضه‌ها تعریف و به ترتیب برای هر یک از آنها معیار کمی ۱، ۲، ۳ و ۴ لحاظ گردید. برای شاخص بیابان‌زایی که به صورت درصد مساحت مستعد بیابان‌زایی تعریف می‌شود نیز برای هر یک از زیرحوضه درجه دو آبریز کمی‌سازی شود. اما با توجه به اینکه این شاخص خود به صورت یکی معیار کمی ارائه شده است لذا در این بخش نیز مستقیماً همان معیارهای کمی آورده شده است.

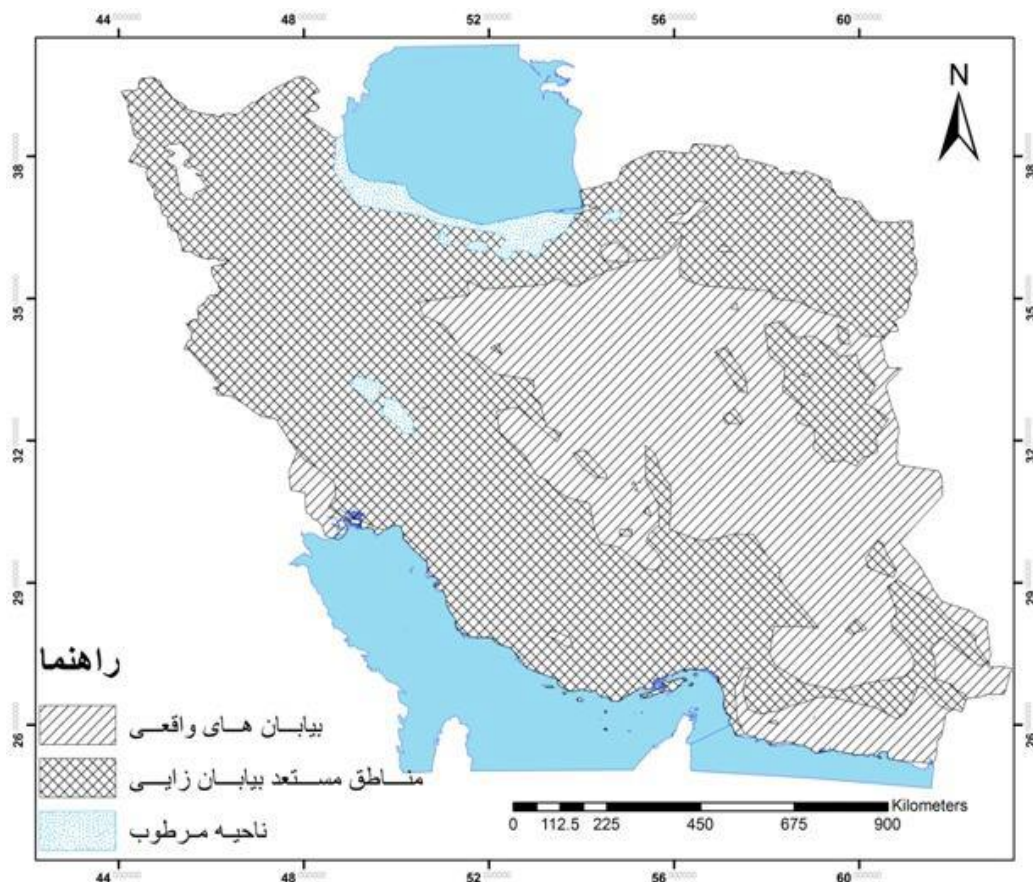


شکل ۳- نقشه پراکندگی جمعیت در حوضه‌های آبریز (مرکز آمار ایران، براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ و وزارت نیرو)
 Figure 3- Map of population distribution (Statistical Centre of Iran, based on census 1395, Ministry of Energy)



شکل ۴- نسبت برداشت از آب زیرزمینی به ذخیره تجدید شونده (وزارت نیرو، ۱۳۹۵)

Figure 4- Harvesting ratio from underground to renewable storage (Ministry of Energy, 1395)



شکل ۵- پهنه‌بندی مناطق مستعد بیابان‌زایی ایران با توجه به تعریف ICCD (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳)

Figure 5- Zoning of potential desertification areas of Iran according to ICCD definition (Heidari, 1393)

جدول ۱- شاخص‌های آلودگی با معیارهای کیفی با توجه به شکل ۱
Table 1- Pollution indices with qualitative criteria according to Figure 1

حوضه آبریز	شاخص آلودگی	بالا دست حوضه	میان دست حوضه	پایین دست حوضه
ارس	شوری	مناسب	بحرانی	بحرانی
	BOD	مناسب	مناسب	مناسب
	نیتروژن	مناسب	مناسب	مناسب
	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
تالش-تالاب انزلی	شوری	مناسب	مناسب	مناسب
	BOD	بحرانی	بحرانی	بحرانی
	نیتروژن	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
	فسفات	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
سفید رود بزرگ	شوری	آستانه بحران	بحرانی	مناسب
	BOD	مناسب	مناسب	بحرانی
	نیتروژن	مناسب	مناسب	مناسب
	فسفات	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
بین سفید رود و هراز	شوری	مناسب	مناسب	مناسب
	BOD	مناسب	آستانه بحران	آستانه بحران
	نیتروژن	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
	فسفات	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
هراز-قره سو	شوری	مناسب	مناسب	مناسب
	BOD	مناسب	آستانه بحران	آستانه بحران
	نیتروژن	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
	فسفات	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
گرگان رود- قره سو	شوری	مناسب	مناسب	مناسب
	BOD	مناسب	مناسب	مناسب
	نیتروژن	مناسب	مناسب	مناسب
	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
اترک	شوری	مناسب	بحرانی	بحرانی
	BOD	مناسب	مناسب	آستانه بحران
	نیتروژن	مناسب	مناسب	مناسب
	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
مرزی غرب	شوری	مناسب	مناسب	مناسب
	BOD	مناسب	مناسب	بحرانی
	نیتروژن	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
	فسفات	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
کرخه	شوری	مناسب	مناسب	بحرانی
	BOD	بحرانی	آستانه بحران	بحرانی
	نیتروژن	بحرانی	مناسب	مناسب
	فسفات	بحرانی	مناسب	مناسب
کارون	شوری	مناسب	مناسب	بحرانی
	BOD	مناسب	آستانه بحران	بحرانی
	نیتروژن	مناسب	بحرانی	آستانه بحران
	فسفات	مناسب	آستانه بحران	بحرانی
جراحی و زهره	شوری	مناسب	مناسب	بحرانی
	BOD	مناسب	آستانه بحران	آستانه بحران
	نیتروژن	آستانه بحران	مناسب	آستانه بحران
	فسفات	مناسب	بحرانی	آستانه بحران
حله	شوری	آستانه بحران	مناسب	بحرانی
	BOD	آستانه بحران	بحرانی	بحرانی
	نیتروژن	مناسب	مناسب	مناسب

حوضه آبریز	شاخص آلودگی	بالا دست حوضه	میزان آلودگی	پایین دست حوضه
مند	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	آستانه بحران	آستانه بحران	بحرانی
	BOD	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
	نیتروژن	مناسب	آستانه بحران	آستانه بحران
کل و مهران و جزایر	فسفات	مناسب	بحرانی	مناسب
	شوری	بحرانی	بحرانی	بحرانی
	BOD	مناسب	مناسب	آستانه بحران
	نیتروژن	مناسب	مناسب	بحرانی
بندرعباس	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	مناسب	مناسب	مناسب
	BOD	مناسب	مناسب	آستانه بحران
	نیتروژن	مناسب	مناسب	آستانه بحران
بلوچستان جنوبی	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	مناسب	مناسب	آستانه بحران
	BOD	مناسب	مناسب	آستانه بحران
	نیتروژن	مناسب	مناسب	آستانه بحران
ارومیه	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	بحرانی	آستانه بحران	مناسب
	BOD	بحرانی	مناسب	بحرانی
	نیتروژن	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
دریاچه نمک	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	آستانه بحران	آستانه بحران	بحرانی
	BOD	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
	نیتروژن	بحرانی	آستانه بحران	آستانه بحران
گاوخونی	فسفات	مناسب	آستانه بحران	مناسب
	شوری	مناسب	مناسب	بحرانی
	BOD	مناسب	آستانه بحران	آستانه بحران
	نیتروژن	آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران
مهارلو-بختگان	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	بحرانی	آستانه بحران	آستانه بحران
	BOD	بحرانی	آستانه بحران	آستانه بحران
	نیتروژن	مناسب	مناسب	بحرانی
ابرقو-سیرجان	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	مناسب	مناسب	مناسب
	BOD	مناسب	مناسب	آستانه بحران
	نیتروژن	مناسب	مناسب	آستانه بحران
هامون جازموریان	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	بحرانی	مناسب	بحرانی
	BOD	بحرانی	مناسب	بحرانی
	نیتروژن	بحرانی	مناسب	بحرانی
کویر لوت	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	بحرانی	مناسب	بحرانی
	BOD	بحرانی	مناسب	بحرانی
	نیتروژن	بحرانی	مناسب	بحرانی
کویر مرکزی	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	بحرانی	مناسب	بحرانی
	BOD	بحرانی	مناسب	بحرانی
	نیتروژن	بحرانی	مناسب	بحرانی
سیاه کوه-ریگ زرین و دق سرخ	فسفات	مناسب	مناسب	مناسب
	شوری	بحرانی	بحرانی	بحرانی
	BOD	بحرانی	مناسب	بحرانی
	نیتروژن	بحرانی	مناسب	بحرانی

میزان آلودگی		بالا دست حوضه	شاخص آلودگی	حوضه آبریز	
پایین دست حوضه	میان دست حوضه				
بحرانی	مناسب	بحرانی	BOD	کویرهای درانجیر و ساغند	
بحرانی	مناسب	بحرانی	نیتروژن		
بحرانی	مناسب	بحرانی	فسفات		
بحرانی	مناسب	بحرانی	شوری		
بحرانی	مناسب	بحرانی	BOD		
بحرانی	مناسب	بحرانی	نیتروژن		
بحرانی	مناسب	بحرانی	فسفات		
بحرانی	مناسب	بحرانی	شوری		
بحرانی	مناسب	بحرانی	BOD		
بحرانی	مناسب	بحرانی	نیتروژن		دق پترگان-نمکنزار خواف
بحرانی	مناسب	بحرانی	فسفات		
بحرانی	مناسب	بحرانی	شوری		
بحرانی	مناسب	بحرانی	BOD		
بحرانی	مناسب	بحرانی	نیتروژن		
بحرانی	مناسب	بحرانی	فسفات		
بحرانی	مناسب	بحرانی	شوری	هامون هیرمند	
بحرانی	مناسب	بحرانی	BOD		
بحرانی	مناسب	بحرانی	نیتروژن		
بحرانی	مناسب	بحرانی	فسفات		
بحرانی	مناسب	بحرانی	شوری		
بحرانی	مناسب	بحرانی	BOD		هامون ماشکیل
بحرانی	مناسب	بحرانی	نیتروژن		
بحرانی	مناسب	بحرانی	فسفات		
آستانه بحران	آستانه بحران	آستانه بحران	شوری		
آستانه بحران	بحرانی	مناسب	BOD	قره قوم	
آستانه بحران	بحرانی	مناسب	نیتروژن		
مناسب	بحرانی	مناسب	فسفات		

جدول ۲- شاخص‌های آلودگی با معیارهای کمی با توجه به جدول ۱

Table 2- Pollution indices with quantitative criteria according to Table 1

میزان آلودگی		بالا دست حوضه	شاخص آلودگی	حوضه آبریز
پایین دست حوضه	میان دست حوضه			
۳	۳	۱	شوری	ارس
۱	۱	۱	BOD	
۱	۱	۱	نیتروژن	
۱	۱	۱	فسفات	
۱	۱	۱	شوری	
۳	۳	۳	BOD	
۲	۲	۲	نیتروژن	
۲	۲	۲	فسفات	
۱	۳	۲	شوری	
۳	۱	۱	BOD	سفید رود بزرگ
۱	۱	۱	نیتروژن	
۲	۲	۲	فسفات	
۱	۱	۱	شوری	
۲	۲	۱	BOD	بین سفید رود و هراز
۲	۲	۲	نیتروژن	
۲	۲	۲	فسفات	
۱	۱	۱	شوری	
۲	۲	۱	BOD	هراز-قره سو
۲	۲	۲	نیتروژن	
۲	۲	۲	فسفات	
۱	۱	۱	شوری	
۲	۲	۱	BOD	گرگان رود- قره سو
۲	۲	۲	نیتروژن	
۲	۲	۲	فسفات	
۱	۱	۱	شوری	

میزان آلودگی		شاخص آلودگی	حوضه آبریز
پایین دست حوضه	بالا دست حوضه		
۱	۱	BOD	
۱	۱	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۳	۳	شوری	
۲	۱	BOD	اترک
۱	۱	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۲	۱	شوری	
۳	۱	BOD	مرزی غرب
۲	۲	نیتروژن	
۲	۲	فسفات	
۳	۱	شوری	
۳	۲	BOD	کرخه
۱	۱	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۳	۱	شوری	
۳	۲	BOD	کارون
۲	۳	نیتروژن	
۳	۲	فسفات	
۳	۱	شوری	
۲	۲	BOD	جراحی و زهره
۲	۱	نیتروژن	
۲	۳	فسفات	
۳	۱	شوری	
۳	۳	BOD	حله
۱	۱	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۳	۲	شوری	
۲	۲	BOD	مند
۲	۲	نیتروژن	
۱	۳	فسفات	
۳	۳	شوری	
۲	۱	BOD	کل و مهران و جزایر
۳	۱	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۱	۱	شوری	
۲	۱	BOD	بندرعباس
۲	۱	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۲	۱	شوری	
۲	۱	BOD	بلوچستان جنوبی
۲	۱	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۱	۲	شوری	
۳	۱	BOD	ارومیه
۲	۲	نیتروژن	
۱	۱	فسفات	
۳	۲	شوری	
۲	۲	BOD	دریاچه نمک
۲	۲	نیتروژن	

حوضه آبریز	شاخص آلودگی	میزان آلودگی	
		بالا دست حوضه	پایین دست حوضه
گاوخونی	فسفات	۲	۲
	شوری	۱	۳
	BOD	۱	۲
	نیتروژن	۲	۲
	فسفات	۱	۱
مهارلو-بختگان	شوری	۱	۲
	BOD	۲	۳
	نیتروژن	۱	۱
	فسفات	۱	۱
	شوری	۳	۳
ابرقو-سیرجان	BOD	۱	۳
	نیتروژن	۱	۳
	فسفات	۱	۱
	شوری	۱	۲
	BOD	۱	۲
هامون جازموریان	نیتروژن	۱	۳
	فسفات	۱	۱
	شوری	۳	۳
	BOD	۱	۳
	نیتروژن	۱	۳
کوبیر لوت	فسفات	۳	۳
	شوری	۳	۳
	BOD	۱	۳
	نیتروژن	۱	۳
	فسفات	۱	۳
کوبیر مرکزی	شوری	۳	۳
	BOD	۱	۳
	نیتروژن	۱	۳
	فسفات	۱	۳
	شوری	۱	۳
سیاه کوه-ریگ زرین و دق سرخ	BOD	۳	۳
	نیتروژن	۳	۳
	فسفات	۳	۳
	شوری	۳	۳
	BOD	۱	۳
کوبیرهای درانجیر و ساغند	نیتروژن	۳	۳
	فسفات	۳	۳
	شوری	۳	۳
	BOD	۱	۳
	نیتروژن	۱	۳
دق پترگان-نمکزار خواف	فسفات	۳	۳
	شوری	۳	۳
	BOD	۱	۳
	نیتروژن	۱	۳
	فسفات	۱	۳
هامون هیرمند	شوری	۳	۳
	BOD	۳	۳
	نیتروژن	۳	۳
	فسفات	۳	۳
	شوری	۳	۳
هامون ماشکیل	BOD	۳	۳
	نیتروژن	۳	۳
	فسفات	۳	۳
	شوری	۲	۲
	BOD	۱	۲
قره قوم	نیتروژن	۱	۳
	فسفات	۱	۳
	شوری	۱	۳

جدول ۳- شاخص خشکسالی با معیارهای کیفی با توجه به شکل ۲
Table 3- Drought index with qualitative criteria according to Figure 2

میزان خشکسالی			حوضه آبریز
پایین دست حوضه	میان دست حوضه	بالا دست حوضه	
متوسط	خفیف	خفیف	ارس
خفیف	متوسط	شدید	تالش-تالاب انزلی
متوسط	شدید	متوسط	سفید رود بزرگ
متوسط	متوسط	خفیف	بین سفید رود و هراز
متوسط	متوسط	خفیف	هراز-قره سو
خفیف	شدید	متوسط	گرگان رود- قره سو
شدید	خفیف	متوسط	اترک
شدید	شدید	متوسط	مرزی غرب
شدید	متوسط	شدید	کرخه
بسیار شدید	خفیف	شدید	کارون
بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	جراحی و زهره
بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	حله
شدید	شدید	شدید	مند
شدید	متوسط	متوسط	کل و مهران و جزایر
متوسط	شدید	متوسط	بندرعباس
شدید	شدید	بسیار شدید	بلوچستان جنوبی
شدید	شدید	متوسط	ارومیه
بسیار شدید	شدید	شدید	دریاچه نمک
شدید	متوسط	متوسط	گاوخونی
بسیار شدید	بسیار شدید	بسیار شدید	مهارلو-بختگان
متوسط	متوسط	شدید	ابرکو-سیرجان
شدید	شدید	شدید	هامون جازموریان
شدید	بسیار شدید	شدید	کویر لوت
بسیار شدید	شدید	شدید	کویر مرکزی
بسیار شدید	شدید	متوسط	سیاه کوه-ریگ زرین و دق سرخ
متوسط	شدید	شدید	کویرهای درانجیر و ساغند
شدید	شدید	بسیار شدید	دق پترگان-نمکزار خواف
شدید	شدید	شدید	هامون هیرمند
شدید	شدید	شدید	هامون ماشکیل
شدید	متوسط	خفیف	قره قوم

جدول ۴- شاخص خشکسالی با معیارهای کمی با توجه به جدول ۳
Table 4- Drought index with quantitative criteria according to Table 3

معادل میزان خشکسالی			حوضه آبریز
پایین دست حوضه	میان دست حوضه	بالادست حوضه	
۲	۱	۱	ارس
۱	۲	۳	تالش-تالاب انزلی
۲	۳	۲	سفید رود بزرگ
۲	۲	۱	بین سفید رود و هراز
۲	۲	۱	هراز-قره سو
۱	۳	۲	گرگان رود- قره سو
۳	۱	۲	اترک
۳	۳	۲	مرزی غرب
۳	۲	۳	کرخه
۴	۱	۳	کارون
۴	۴	۴	جراحی و زهره
۴	۴	۴	حله

معادل میزان خشکسالی			حوضه آبریز
پایین دست حوضه	میان دست حوضه	بالادست حوضه	
۳	۳	۳	مند
۳	۲	۲	کل و مهران و جزایر
۲	۳	۲	بندرعباس
۳	۳	۴	بلوچستان جنوبی
۳	۳	۲	ارومیه
۴	۳	۳	دریاچه نمک
۳	۲	۲	گاوخونی
۴	۴	۴	مهارلو-بخنگان
۲	۲	۳	ابر قو-سیرجان
۳	۳	۳	هامون جازموریان
۳	۴	۳	کویر لوت
۴	۳	۳	کویر مرکزی
۴	۳	۲	سیاه کوه-ریگ زرین و دق سرخ
۲	۳	۳	کویرهای درانجیر و ساغند
۳	۳	۴	دق پترگان-نمکزار خواف
۳	۳	۳	هامون هیرمند
۳	۳	۳	هامون ماشکیل
۳	۲	۱	قره قوم

جدول ۵- شاخص رشد جمعیت با معیارهای کیفی با توجه به شکل ۳

Table 5- Population growth index with qualitative criteria according to Figure 3

میزان جمعیت			حوضه آبریز
پایین دست حوضه	میان دست حوضه	بالا دست حوضه	
متوسط	کم	کم	ارس
کم	کم	متوسط	تالش-تالاب انزلی
کم	کم	متوسط	سفید رود بزرگ
متوسط	متوسط	متوسط	بین سفید رود و هراز
متوسط	متوسط	متوسط	هراز-قره سو
متوسط	کم	متوسط	گرگان رود- قره سو
متوسط	متوسط	متوسط	اترک
کم	متوسط	متوسط	مرزی غرب
متوسط	متوسط	شدید	کرخه
متوسط	متوسط	متوسط	کارون
متوسط	متوسط	شدید	جراحی و زهره
متوسط	متوسط	متوسط	حله
کم	کم	متوسط	مند
کم	متوسط	کم	کل و مهران و جزایر
کم	متوسط	متوسط	بندرعباس
کم	کم	متوسط	بلوچستان جنوبی
متوسط	متوسط	شدید	ارومیه
متوسط	شدید	بسیار شدید	دریاچه نمک
شدید	شدید	متوسط	گاوخونی
شدید	متوسط	کم	مهارلو-بخنگان
متوسط	کم	کم	ابر قو-سیرجان
کم	کم	متوسط	هامون جازموریان
متوسط	متوسط	کم	کویر لوت
کم	متوسط	متوسط	کویر مرکزی
کم	کم	کم	سیاه کوه-ریگ زرین و دق سرخ

میزان جمعیت			حوضه آبریز
پایین دست حوضه	میان دست حوضه	بالا دست حوضه	
متوسط	متوسط	کم	کویرهای درانجیر و ساغند
کم	متوسط	متوسط	دق پترگان-نمکزار خواف
متوسط	متوسط	کم	هامون هیرمند
متوسط	متوسط	متوسط	هامون ماشکیل
متوسط	شدید	کم	قره قوم

جدول ۶- شاخص رشد جمعیت با معیارهای کمی با توجه به جدول ۵

Table 6- Population growth index with quantitative criteria according to Table 5

معادل میزان جمعیت			حوضه آبریز
پایین دست حوضه	میان دست حوضه	بالادست حوضه	
۲	۱	۱	ارس
۱	۱	۲	تالش-تالاب انزلی
۱	۱	۲	سفید رود بزرگ
۲	۲	۲	بین سفید رود و هراز
۲	۲	۲	هراز-قره سو
۲	۱	۲	گرگان رود- قره سو
۲	۲	۲	اترک
۱	۲	۲	مرزی غرب
۲	۲	۳	کرخه
۲	۲	۲	کارون
۲	۲	۳	جراحی و زهره
۲	۲	۲	حله
۱	۱	۲	مند
۱	۲	۱	کل و مهران و جزایر
۱	۲	۲	بندرعباس
۱	۱	۲	بلوچستان جنوبی
۲	۲	۳	ارومیه
۲	۳	۴	دریاچه نمک
۳	۳	۲	گاوخونی
۳	۲	۱	مهارلو-بختگان
۲	۱	۱	ابرقو-سیرجان
۱	۱	۲	هامون جازموریان
۲	۲	۱	کویر لوت
۱	۲	۲	کویر مرکزی
۱	۱	۱	سیاه کوه-ریگ زرین و دق سرخ
۲	۲	۱	کویرهای درانجیر و ساغند
۱	۲	۲	دق پترگان-نمکزار خواف
۲	۲	۱	هامون هیرمند
۲	۲	۲	هامون ماشکیل
۲	۳	۱	قره قوم

جدول ۷- شاخص کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی با معیارهای کیفی و کمی با توجه به شکل ۴
Table 7- Groundwater level decline index with qualitative and quantitative criteria according to Figure 4
 نسبت برداشت از آب‌های زیرزمینی به

ذخیره تجدید شونده		حوضه آبریز
معیار کمی	معیار کیفی	
۳	شدید	ارس
۲	متوسط	تالش-تالاب انزلی
۲	متوسط	سفید رود بزرگ
۲	متوسط	بین سفید رود و هراز
۲	متوسط	هراز-قره سو
۳	شدید	گرگان رود- قره سو
۳	شدید	اترک
۲	متوسط	مرزی غرب
۳	شدید	کرخه
۲	متوسط	کارون
۱	متعادل	جراحی و زهره
۱	متعادل	حله
۳	شدید	مند
۳	شدید	کل و مهران و جزایر
۳	شدید	بندرعباس
۴	بحرانی	بلوچستان جنوبی
۳	شدید	ارومیه
۴	بحرانی	دریاچه نمک
۳	شدید	گاوخونی
۳	شدید	مهارلو-بختگان
۴	بحرانی	ابرقو-سیرجان
۴	بحرانی	هامون جازموریان
۳	شدید	کویر لوت
۴	بحرانی	کویر مرکزی
۴	بحرانی	سیاه کوه-ریگ زرین و دق سرخ
۴	بحرانی	کویرهای درانجیر و ساغند
۴	بحرانی	دق پترگان-نمکزار خواف
۳	شدید	هامون هیرمند
۳	شدید	هامون ماشکیل
۴	بحرانی	قره قوم

جدول ۸- شاخص بیابان‌زایی با معیارهای کمی با توجه به شکل ۵
Table 8- Desertification index with quantitative criteria according to Figure 5

درصد مساحت مستعد بیابان‌زایی	حوضه آبریز
٪ ۱۰۰	ارس
٪ ۱۰/۵	تالش-تالاب انزلی
٪ ۹۵/۵	سفید رود بزرگ
٪ ۱۹/۵	بین سفید رود و هراز
٪ ۲۴/۵	هراز-قره سو
٪ ۹۷/۵	گرگان رود- قره سو
٪ ۱۰۰	اترک
٪ ۱۰۰	مرزی غرب

حوضه آبریز	درصد مساحت مستعد بیابان‌زایی
کرخه	٪ ۹۵
کارون	٪ ۸۷/۵
جراحی و زهره	٪ ۹۵
حله	٪ ۱۰۰
مند	٪ ۱۰۰
کل و مهران و جزایر	٪ ۱۰۰
بندرعباس	٪ ۷۲/۵
بلوچستان جنوبی	٪ ۲۲/۵
ارومیه	٪ ۹۵
دریاچه نمک	٪ ۹۰
گاوخونی	٪ ۹۰
مهارلو-بختگان	٪ ۱۰۰
ابرقو-سیرجان	٪ ۵۰
هامون جازموریان	٪ ۵۰
کویر لوت	٪ ۱۶/۵
کویر مرکزی	٪ ۴۸/۵
سیاه‌کوه-ریگ زرین و دق سرخ	٪ ۵
کویرهای درانجیر و ساغند	٪ ۱۸
دق پترگان-نمکزار خواف	٪ ۵۶
هامون هیرمند	٪ ۱۶
هامون ماشکیل	٪ ۴۸
قره قوم	٪ ۱۰۰

معیار مساوی باشند. یعنی در پژوهش حاضر هریک از شاخص‌های پنجگانه آلودگی، خشکسالی، میزان جمعیت، کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و بیابان‌زایی دارای وزن معیار یکسان و برابر ۰/۲ می‌باشند. ولیکن واضح است که اگر یک یا چند شاخص از میان شاخص‌های فوق دارای اهمیت بیشتری باشد بایستی وزن معیار بیشتری نسبت به سایرین به آن داده شود.

اولویت بندی حوضه‌های آبریز درجه دو با تحلیل خاکستری

در این بخش با توجه به نتایج کمی‌سازی مرحله قبل، زیرحوضه‌های آبریز درجه دو کشور با روش تحلیل رابطه-ای خاکستری اولویت‌بندی می‌شوند. در اینجا بایستی ذکر گردد که اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز درجه دو، بر اساس این فرض بوده است که تمامی عوامل تهدید دارای وزن



شکل ۶- رتبه‌بندی نهایی حوضه‌های آبریز درجه دو بر اساس شدت عوامل تهدید آب
Figure 6- Final Prioritization of Sub-basins by Intensity of Water Threat Factors

نتیجه‌گیری

ها، مقادیر مربوطه کمی‌سازی گردد. سپس با توجه به نتایج کمی‌سازی مرحله قبل، زیرحوضه‌های آبریز درجه دو کشور با روش تحلیل رابطه‌ای خاکستری رتبه بندی می‌شوند که براساس این رتبه‌بندی حوضه آبریز دریاچه نمک با رتبه ۰/۷۹۲ بحرانی‌ترین حوضه آبریز در کل کشور بر مبنای شدت بحران پنج عامل تهدید بررسی شده در طرح حاضر می‌باشد. سایر حوضه‌ها به ترتیب: مهارلو، قره‌قوم، نمکزار خواف، کویر مرکزی، حله، جراحی، کرخه، گاوخونی، ارومیه، کویرهای درانجیر و ساغند، سیاه کوه، مند، کل، اترک، کارون، هامون ماشکیل، ابرقو، هامون جازموریان، مرزی غرب، بلوچستان جنوبی، ارس، هامون هیرمند، گرگان‌رود، سفید رود بزرگ، بندرعباس، تالش، هراز و بین سفیدرود و هراز قرار گرفتند.

به‌طور حتم اطلاع دقیق و علمی از مقوله بحران و تهدیدات آب، به درک بهتر از آن و در نتیجه برنامه‌ریزی صحیح جهت مقابله با آن کمک خواهد کرد. از جمله عوامل عمده بحران و تهدید آب در حوضه‌های آبریز کشور می‌توان به آلودگی، تغییر اقلیم و خشکسالی، رشد جمعیت، افت سطح آبخوان و بیابان‌زایی اشاره نمود. با استفاده از تحلیل رابطه‌ای خاکستری به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، حوضه‌های آبریز درجه دو کشور بر اساس شدت عوامل پنجگانه تهدید آب رتبه‌بندی شدند. با توجه به اینکه در تحلیل خاکستری بایستی تمامی شاخص‌ها به صورت کمی باشند از این رو نیاز است با توجه به نتایج قسمت‌های قبل برای هر یک از شاخص-

منابع

- Ahmadi, H., Esmailpour, Y., Moradi, A., Gholami, H., 2019. Assessment of land Sensitivity to Desertification Hazard Using System Dynamics Approach in the Jazmourian basin. *J. of Water and Soil Conservation*. 26(2), 211-223.
- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M. T., 2011. Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain). *Water and Soil Science*. 12(4), 165-179.
- Deng, J. L., 1982. Control problems of grey systems. *Systems and Control Letters*. 1(5): 288-294.
- Jalili, J., Jalili, Kh., Hesadi, H., Hadidi, M., 2014. Artificial Recharge of Groundwater Aquifers by Surface Drainage Canals Using AHP Method. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 8(24), 29-36.
- Jalili, Kh., Moradi, H. R., Bozorg Haddad, O., 2016. Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in Islam Abad Aquifer and Land Allocation Optimization. *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 5(11), 117-131.
- Heidari Alamdarloo, E., Shokoohi, S., Barabadi, H., Rafi, J., 2014. Mapping of potential desertification areas in the country by ICCD using GIS, First National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran, December 11, Tehran.
- Karimirad, I., Ebrahimi, K., Araghinejad, S., 2016. The study of technical issues and utilization of a number of Qanats in Khorasan Razavi, Hamedan and Semnan provinces. *Journal of Water and Irrigation Management*. 5(2), 261-275.
- Mehri, S., Alesheikh, A.A., Javadzade, Z., 2016. An Assessment of Changes in Groundwater Quality and Groundwater Levels in Lake Urmia Basin. *Iranian Journal of ECO Hydrology*. 2 (4), 395-404.
- Moghaddam1, A.R., Ghallehban Tekmedash, M., Esmaili, K., 2013. Investigation of temporal and spatial trend of water quality parameters in view of weather fluctuations using GIS; Mashhad Plain. *J. of Water and Soil Conservation*. 20(3), 211-224.
- Mora'n, J., Granada, E., Mi'guez, J.L., Porteiro, J. 2006. Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers. *Fuel Processing Technology*. 87(2), 123-127.
- Moridi, A., Kerachian, R., Zokaei, M., 2017. Assessment of Iran's Water Resources Quality (2004-2014), *Iran-Water Resources Research*. 12 (4), 23-35.
- Moslemi, H., Darvishi, R., 2018. Strategies to Reduce Groundwater Level Decline (The Case Study of Lavar Plain in Hormozgan Province). *Journal of Land Management*, 5(2), 125-135.

- Roson, R., Damania, R., 2016. Simulating the Macroeconomics Impact of Future Water Scarcity: and Assesment of Alternative Scenarios. Working Paper. Center for Research on Energy and Environment Economics and Policy.
- Sarmadi, H., Salehi, E., Zebardast, L., Aghababaei, M., 2018. Tehran Water Quality Assessment Using DPSIR Model. *Journal of Water and Soil Science*. 22(2), 301-314.
- Seyedan, M., Kohansal, M. R., Ghorbani, M., 2017. Achieving Optimal Path of Extracting Groundwater Resources Considering the Side Effects in Hamadan-Bahar Plain. *Journal of Watershed Management Research*. 8(5), 191-200.
- Shahid Beheshti University, 2016. The third report on Iran's state of environment. Technical Report, Client: Iran Department of Environmtnet, Deputy of Education and Planning.
- Shahnooshi, N., Naghavi, S., Rahmati, E., 2016. The relationship between population and water crisis and its impact on macroeconomic variables. The first National conference on Water Economy, July 26-27, Tehran.
- Sohrabizadeh, Z., Sharifi Moghadam, E., Hakimzadeh, M. A., 2018. Trend Changes Analysis of the Water Quality in the Talar River Watershed Using the Man-Kendall (MK) Test. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*. 9(33), 1-20.
- Teimouri, M., Sheikh, V., Sadoddin, A., 2018. Evaluation and comparison of water quality using gray relational analysis and NSFQI in Shirin-darreh dam reservoir. *Iran. J. Health & Environ*. 11 (2), 170-181.
- Zakerinejad, R., Masoudi, M., Afzali, F., Falah, R., 2012. Assessment of Desertification using ground water criteria and GIS (case study: Zarin Dasht Fars). *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 2(3), 1-10.



Prioritization of sub-basins based on severity of water threat factors by gray relation analysis method

Hojjat Khozaymeh-Nezhad^{1*}, Hanif Kazerooni², Hamed Hasanlou³, Ramyar Aliramaei⁴

1- Ph.D. in Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

2- Assistant Professore, Supreme University of National Defence

3- PhD in Environmental Engineering, University of Tehran

4- MSc, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University

*Corresponding Author E-mail: khozaymehnezhad_hojjat@mail.um.ac.ir

Abstract

A scientific and accurate understanding of the crisis and threats to water will help to better understand it and consequently proper planning to deal with it. In general, the major contributors to the water threat in the sub-basins of the country are pollution, climate change and drought, population growth, reduction of groundwater levels and desertification. Using gray relational analysis as a multi-criteria decision making method, the country's sub-basins were prioritized based on the severity of the five water threat factors. Since in gray analysis all indices should be quantitative, it is necessary to quantify the respective values for the each index. Then, according to the quantification results, the sub-basins of the country are prioritized by the gray relational analysis method, based on this prioritization of the Namk-lake sub-basin with 0.792 most critical sub-basin in the whole country based on the severity of the five studied threat factors in this paper. It should be noted that the rank is a number between 0 and 1 and the closer one is, the more intense the target. Maharloo and Karakum basins with 0.739 and 0.727 are in the next priorities respectively. Other basins are the Petargan, Dasht-e Kavir, Helle, Jarahi, Karkheh, Gavkhuni, Orumiyeh, Darangir playa, Siah Koh, Mend, Kol, Atrak, Karoon, Hamoun Mashkil, Abrogh-Sirjan, Kavir-e Lut, Hamoun Jazmourian, Marzi-Gharb, South Baluchistan, Aras, Hamoun Hirmand, Gorganroud-Gharehsou, Sefidrud, Bandar-Abbas, Talesh, Hazar, Between Hazar and Sefidrud.

Keywords: Gray Relational Analysis Method, Prioritization of sub-basins, Sub-basins, Water Threats