

## اولویت بندی زیر حوضه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه

### موردی: حوضه آبریز گاماسیاب، کرمانشاه

ندا جعفری<sup>۱\*</sup>، مریم حافظ پرست<sup>۲</sup>، بهمن فرهادی<sup>۳</sup>

\*۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲- استادیار گروه آب دانشگاه رازی، کرمانشاه

۳- استادیار گروه آب دانشگاه رازی، کرمانشاه

ایمیل نویسنده مسئول: nedajafari72@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳

#### چکیده

مدیریت منابع آب عاملی مهم در دستیابی به توسعه پایدار است. با توجه به اهمیت توسعه پایدار، توسعه شاخص‌های مدیریت پایدار منابع آب با در نظر گرفتن ملاحظات اکوسیستمی اقتصادی و اجتماعی صورت می‌گیرد. تصمیم‌گیری یکی از مهم‌ترین وظایف مدیریت است. یکی از دلایل موفقیت برخی از افراد و سازمان‌ها اتخاذ تصمیم مناسب است. از این رو ضرورت وجود روش‌هایی علمی که انسان را در این زمینه یاری کند، کاملاً محسوس است. در این مطالعه با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره مدیریت منابع آب امکان تصمیم‌گیری بر اساس برآورد معیارهای زیست محیطی اجتماعی و اقتصادی با محاسبه شاخص‌های کمی فراهم می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی پایداری حوضه گاماسیاب می‌باشد. رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها به وسیله تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به روش‌های SAW، CP و TOPSIS انجام شد. نتایج نشان داد که پایدارترین زیر حوضه از لحاظ معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و منابع آب برای حوضه آبریز گاماسیاب در استان کرمانشاه، حوضه آبریز هرسین - بیستون می‌باشد (به دلیل مطلوبیت در مقدار شاخص‌های محاسبه شده)، سپس به ترتیب زیر حوضه‌های میانراهان و سنقر دارای رتبه‌های ۲، ۳ را از نظر پایداری به خود اختصاص داده‌اند. ضعیف‌ترین زیر حوضه، زیر حوضه‌های صحنه و کنگاور از نظر معیارهای مورد نظر می‌باشد.

#### کلمات کلیدی

"شاخص‌های پایداری"، "معیارهای پایداری"، "حوضه آبریز گاماسیاب"، "تصمیم‌گیری چند معیاره".

#### ۱- مقدمه

مربوط به آب به وسیله پژوهشگران زیادی مورد استفاده قرار گرفته است از جمله: Bid and Siddique (2020) به منظور ارزیابی نوسانات زمانی و فصلی سطح آب سد پنچت در هند و تجزیه و تحلیل خطر آن برای مردم اطراف سد از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کردند. نتایج نشان داد که جابه‌جایی جمعیت و طغیان محل سکونت بالاترین و کمترین خطر آسیب‌پذیری در میان گزینه‌های مورد بررسی می‌باشند. Hyundong and Myeongsik (2017) به منظور ارزیابی خدمات مدیریت شبکه توزیع آب از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP در ۵ سطح خدمات و ۱۵ شاخص استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که سطح شکایت کاربران در بالاترین سطح در میزان آب نشانگر ضرورت بهبود ترجیحی نرخ آب است. et Verkos al (2019) به منظور بررسی انتخاب بهترین مکان نیروگاه برقایی در یونان از روش AHP (سلسله مراتبی) با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست محیطی مکان مناسب را برای نیروگاه معرفی کردند. سرانجام با استفاده از روش RR گزینه‌ها رتبه‌بندی شدند و مکان بهینه برای برقرار کردن نیروگاه برقایی کوچک بدست آمد. Meshram et al (2020) به منظور اولویت بندی منطقه حساس در معرض خطر فرسایش، بیست حوضه آبریز بامانی را با استفاده از مدل VIKOR اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که زیر حوضه ۱۱ در رتبه اول قرار دارد همچنین نتایج نشان دهنده برتری مدل VIKOR نسبت به مدل CF و ELECTRE می‌باشد. Behboudian et al (2020) به منظور ارائه یک روش جدید برای ارزیابی مدیریت منابع آب در حوضه دریاچه ارومیه در ایران، با در

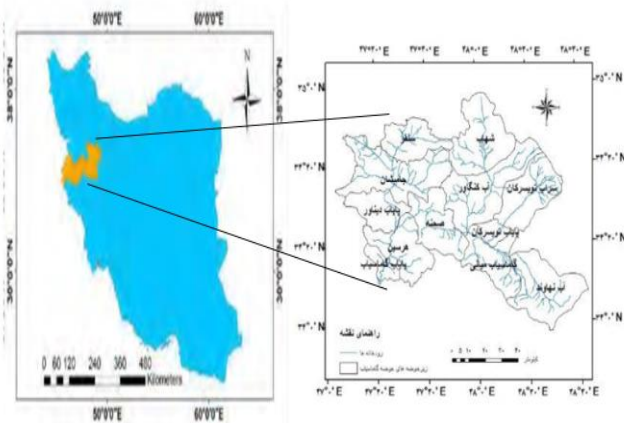
آب گنجینه‌ای است که باید به نسل‌های بعدی سپرده شود و اکنون بر همه جهانیان مشخص شده است که رفاه انسان و توسعه صنعتی و کشاورزی همگی به مخاطره اند مگر آنکه استفاده بهینه از منابع آب و نیز برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه محیط‌زیست عنصر اصلی برنامه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها قرار گیرد. (پور جواد، ۱۳۹۴). مدیریت منابع آب، مجموعه‌ای از اقدامات متعدد مدیریتی است، که به جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب و کاهش خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی صورت می‌گیرد (شهرکی، ۱۳۹۵). ارزیابی پایداری توسط نماگرها (شاخص‌ها) برای برنامه‌ریزی، مدیریت و اهداف آموزشی مفید است. شاخص‌ها باید به راحتی قابل کاربرد، جامع نگر و عالم شمول باشند. همچنین باید قابل دسترس و فهم و با ارزش، آشکار کننده و جامع باشند (شیردلی، ۱۳۹۳). آب، یکی از عناصر اصلی توسعه پایدار محسوب می‌شود. دستیابی به توسعه پایدار بدون در نظر گرفتن توسعه بخش آب اگر ناممکن نباشد، بسیار مشکل خواهد بود. دستیابی به اهداف توسعه پایدار و غلبه بر مشکلات ویژه و چالش‌های بخش آب، نیازمند سرمایه‌گذاری در زیر ساخت‌های منابع آب و ارتقای مدیریت منابع آب می‌باشد. در این راستا رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب، امکان بهینه سازی مشارکت بخش آب در دستیابی به توسعه پایدار را فراهم می‌کند (کماسی و گودرزی، ۱۳۹۳). با توجه به اهمیت توسعه پایدار کمی کردن این مفهوم توسعه شاخص‌های مدیریت پایدار منابع آب با در نظر گرفتن ملاحظات اکوسیستمی اقتصادی و اجتماعی صورت می‌گیرد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مسائل

منطقه سیستان و بلوچستان با رویکردهای اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست محیطی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. طبق نتایج بدست آمده رتبه اول به رویکرد کشاورزی تعلق دارد. حافظ پرست و همکاران (۱۳۹۴) مدیریت یکپارچه منابع آب را بر اساس محاسبه شاخص های پایداری در معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در قالب رویکرد DPSIR را در حوضه آبریز ارس بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مناطق شرقی حوضه پایداری کمتری دارند.

## ۲- روش انجام تحقیق

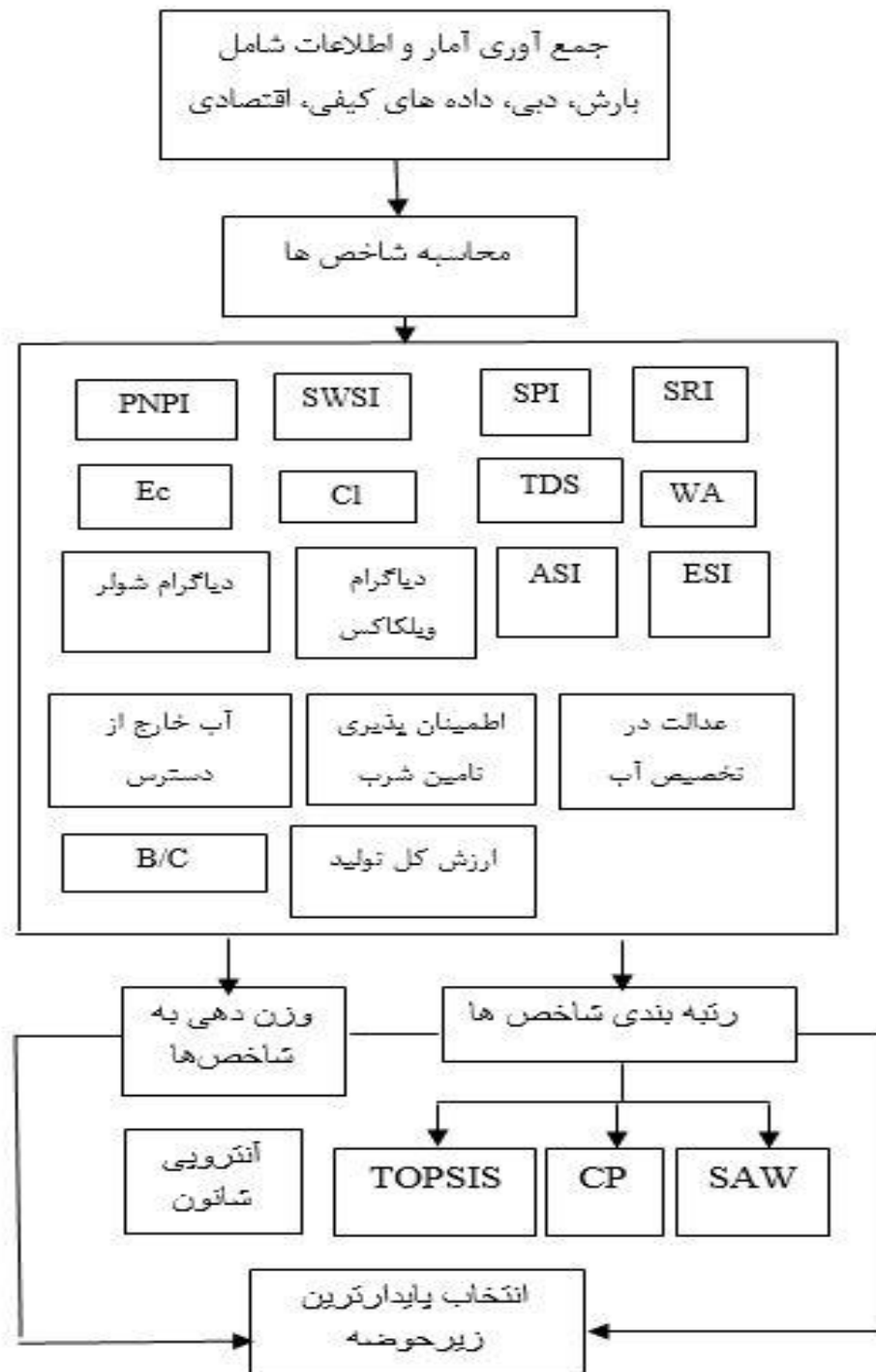
### • محدوده مورد مطالعه

حوضه گاماسیاب یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضه کرخه می‌باشد. این حوضه ۱۱۴۵۹ کیلومتر مربع وسعت داشته و در محدوده طول جغرافیایی  $47^{\circ} 04'$  تا  $49^{\circ} 15'$  و عرض جغرافیایی  $33^{\circ} 45'$  تا  $35^{\circ} 00'$  قرار دارد. بیشترین سطح حوضه آبخیز گاماسیاب در استان کرمانشاه و بخش‌هایی از آن در استان همدان قرار دارد. محدوده بخش کرمانشاه این حوضه شامل طول جغرافیایی  $47^{\circ} 04'$  تا  $48^{\circ} 03'$  و عرض جغرافیایی  $33^{\circ} 13'$  تا  $34^{\circ} 53'$  است. مساحت حوضه در این بخش ۳۲۶۴ کیلومتر مربع و طول آن ۸۱ کیلومتر است. این حوضه در محدوده بین شهرستان های کنگاور، صحنه، بیستون، هرسین، سنقر و کرمانشاه قرار گرفته، به طوری که از شمال به سنقر و استان کردستان، از جنوب به هرسین و استان لرستان، از شرق به کنگاور و استان همدان و از غرب به کرمانشاه محدود می‌شود. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز گاماسیاب را نشان می‌دهد. شکل (۲) الگوریتم مراحل پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز گاماسیاب

نظر گرفتن جنبه‌های مختلف خدمات اکوسیستم هیدرولوژیکی، با استفاده از روش سلسله مراتبی (AHP) مبتنی بر تئوری ER ارائه کردند. نتایج نشان داد که سناریویی که شامل تامین ۱۰۰٪ تقاضای آب دریاچه باشد بیشترین اولویت را دارد. Chitsaz and Banihabib (2015) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره گزینه‌های مدیریت ریسک سیل را برای رودخانه گرگان رود در استان گلستان رتبه‌بندی کردند و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل ELECTREIII از بین مدل‌های به کار رفته ریسک سیل را بهتر مدیریت می‌کند و گزینه ۷ که مربوط به مسائل اجتماعی بود در رتبه اول گزینه‌ها قرار گرفت. Geng and Wardla (2013) با بررسی مدیریت یکپارچه حوضه آبریز و با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره و با بررسی شاخص‌های کمی و مدل بهینه سازی تخصیص آب و گزینه‌های مدیریت تقاضا در منطقه مورد مطالعه با روش CP منطقه را اولویت‌بندی کردند. Yilmaz and Harmancioglu (2010) معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را برای حوضه گدیز<sup>۱</sup> واقع در ترکیه با استفاده از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره CP، TOPSIS، SAW و رتبه‌بندی کرد. بهمن پوری و همکاران (۱۳۹۷)، از مدل تصمیم‌گیری سلسله مراتبی فازی FAHP و روش TOPSIS و معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و فنی جهت ارائه بهترین راهکار حفاظت و مدیریت یکپارچه منابع آب شهرستان نی ریز در استان فارس استفاده کردند نتایج این پژوهش نشان داد که معیارهای اقتصادی و اجتماعی بیشترین تاثیر را در این ارزیابی داشته و راه کار تغییر کاربری آب و افزایش تغذیه سفره های آب زیرزمینی و عملیات آبخیزداری در اولویت ارزیابی آن‌ها قرار گرفت. ضیائی پور و بهشتی (۱۳۹۹) به منظور اولویت بندی ساخت و بهره‌برداری از پتانسیل‌های برقی از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP بر مبنای پنج معیار استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رتبه اول مربوط به معیار اقتصادی و رتبه پنجم مربوط به معیار اجتماعی است. محمدی و همکاران (۱۳۹۹) به منظور اولویت‌بندی احداث نیروگاه آبی بر روی خطوط انتقال آب از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP، ANP، SAW، Vikor، Topsis استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که جایگاه ورودی ایستگاه شماره یک سد ایلام به عنوان گزینه برتر در تولید انرژی برقی می‌باشد. پناهی و همکاران (۱۳۹۶) جهت حفظ پایداری حوضه آبریز جامیشان در استان کرمانشاه معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره رتبه‌بندی نمودند. حافظ پرست و همکاران (۱۳۹۵) به منظور انتخاب راهکار مدیریتی برای حفظ پایداری حوضه آبریز گاماسیاب شاخص‌های پایداری منابع آب و شاخص‌های پایداری حوضه آبریز را با استفاده از دو سناریو بررسی کردند. در نهایت بهترین راهکار برای بهتر شدن وضعیت پایداری حوضه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، در سناریو تنها سد جامیشان، تلفیق کاهش تلفات و افزایش راندمان و در سناریو هر سه سد، کاهش تلفات بود. چزگی (۱۳۹۵) به منظور بررسی مکان مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه کرمان استان هرمزگان از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، ELECTREIII و ANP استفاده کردند. فرایند تحلیل شبکه ای ANP به عنوان بهترین مدل معرفی شد. شهرکی و همکاران (۱۳۹۵) جهت تعیین اولویت منابع آب در



شکل ۲- الگوریتم مراحل پژوهش

$$PN = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (1)$$

$P_i$ : مقدار بارندگی سالانه  $\bar{P}$ ، متوسط بارندگی سالانه.

• شاخص درصد از نرمال بارندگی (PNPI)

شاخص بارش نرمال توسط ویلکی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۴ ارائه شد. (دهقانپور ۱۳۹۶). مفهوم اساسی آن، نسبت بارندگی واقعی به مقدار نرمال آن در یک دوره زمانی مشخص می باشد که به صورت درصد بیان می شود و در مقیاس های (هفتگی، ماهانه، فصلی و سالانه) قابل محاسبه است (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۴). معادله (۱) نحوه محاسبه این شاخص را نشان می دهد.

$\pi_i$  احتمال عدم تجاوز برای متغیرهای (برف، باران، رواناب و مخزن) است،  $a, b, c, d$  وزن هر کدام از اجزا است. به دلیل مشکل در محاسبه این پارامترها فرمول را به شکل رابطه (۵) خلاصه میکنیم:

$$SWSI = \frac{P-50}{12} \quad (5)$$

که در آن  $P$  برابر با احتمال محاسبه شده از روی تابع توزیع احتمالی برازش شده به سری مجموع جریان بر حسب درصد.

جدول ۳- طبقه بندی های حالت خشکسالی بر اساس شاخص SWSI

وضعیت خشکسالی	محدوده	حالت
خیلی تر	$3 \geq swsi > +4.2$	۱
نسبتا تر	$2 \geq swsi > +3$	۲
ترسالی کم	$1 \geq swsi > +2$	۳
نزدیک به نرمال	$-1 \geq swsi > +1$	۴
خشکسالی کم	$-2 \geq swsi > -1$	۵
نسبتا خشک	$-3 \geq swsi > -2$	۶
خیلی خشک	$-4.2 \geq swsi > -3$	۷

#### • شاخص رواناب استاندارد SRI

این شاخص مطابق رابطه (۷) بدست می آید.

$$SRI = \frac{Ri - \bar{R}}{SD} \quad (6)$$

$Ri$  دبی سالانه،  $\bar{R}$  توسط دبی سالانه، انحراف معیار دبیها.

جدول ۴- طبقه بندی های خشکسالی بر اساس شاخص SRI

SRI	وضعیت
۲ و بیشتر	ترسالی خیلی شدید
۱/۹۹ تا ۱/۵	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکیالی خیلی شدید

#### • شاخص آب در دسترس (WAI)<sup>۴</sup>

این شاخص شامل منابع آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی و تفاوت آن از نیاز همه بخشهای خانگی صنعت کشاورزی است ( Hafezparast and Araquejad, 2012). (معادله ۷)

$$WAI = \frac{(R+G-D)}{R+G+D} \quad (7)$$

$R$ : رواناب سطحی،  $G$ : منابع آب زیرزمینی،  $D$ : جمع تقاضا های همه بخشها.

مقادیر PN	درجه بندی خشکسالی
بزرگتر از ۸۰	نرمال
۸۰ تا ۷۰	خشکسالی ضعیف
۷۰ تا ۵۵	خشکسالی متوسط
۵۵ تا ۴۰	خشکسالی شدید
کمتر از ۴۰	خشکسالی بسیار شدید

#### • شاخص بارش استاندارد (SPI):

اساس این نمایه بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است که توسط مک کی<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۵) جهت پیش و تعیین خشکسالیها ارائه شد. این شاخص در مقیاسهای زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه و یک ساله محاسبه میشود. اگر سری های زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه های منطقه مورد نظر به صورت  $P_i$  معرفی شوند که در آن اندیس  $i$  سال هیدرولوژیکی و اندیس  $j$  ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی باشد آنگاه سریهای زمانی بارندگی با مدت های مختلف را می توان با استفاده از رابطه (۲) و (۳) بدست آورد (مصباح زاده و همکاران، ۱۳۹۷):

$$R_{ik} = \sum_{i=1,2,\dots} P_{ij} \quad j=1,2,\dots,12 \quad (2)$$

$$k=1,2,3,4,5,6 \quad SPI = \frac{R_{ik} - \bar{R}_k}{S_k} \quad i=1,2,\dots \quad k=1,2,3,4,5,6 \quad (3)$$

$R_{ik}$  ارتفاع بارش تجمعی،  $\bar{R}_k$  و  $S_k$  به ترتیب میانگین ارتفاع بارش

تجمعی و انحراف معیار ارتفاع بارش تجمعی برای دوره مبنای  $k$  میباشد.

جدول ۲- طبقه بندی مقادیر شاخص خشکسالی SPI

SPI	وضعیت
بزرگتر یا مساوی با ۲	فرامرطوب
۱/۹۹ تا ۱/۵	بسیار مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتا مرطوب
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	نسبتا خشک
-۱/۹۹ تا -۱/۵	بسیار خشک
کوچکتر مساوی با -۲	فراخشک

#### • شاخص ذخیره آبهای سطحی SWSI<sup>۳</sup>

هدف این شاخص در نظر گرفتن ویژگیهای هیدرولوژیکی و هواشناسی به عنوان یک شاخص واحد می باشد. مقادیر این شاخص برای مقایسه حوضه های آبریز مختلف باید استاندارد شوند (سلیمان پور و همکاران، ۱۳۹۶).

$$SWSI = \frac{[a \times P_{snow} + b \times P_{prec} + c \times P_{strm} + d \times P_{res}]}{12} \quad (4)$$

1 Standardized Precipitation Index

2 McKee

3 Surface Water Supply Index

4 Water Availability Index

### • شاخص اطمینان پذیری $ReI^1$

اطمینان پذیری یا قابلیت اطمینان Reliability به این شکل است که با چه احتمالی آب اختصاص یافته به مصرف کننده نیاز آن را تامین میکند (Hashimoto et al, 1982) یا سیستم تا چه حد در حالت مطمئن و عدم شکست کار میکند. (صفوی، ۱۳۹۵). این شاخص سرعت بازگشت از شرایط نارضایت بخش را نشان میدهد.

برای هر شاخص  $C$  سری زمانی آن را با  $Ct$  نمایش میدهند که  $t$  طول دوره شبیه سازی است. احتمال اینکه  $Ct$  در محدوده قابل قبول باشد به صورت معادله (۸) است:

$$ReI = \frac{NS}{T} * 100 \quad (8)$$

$$RE(C) = \quad (9)$$

تعداد مقادیر رضایت بخش هر شاخص ( $Ct$ )

کل دوره شبیه سازی

که در آن  $NS$  نشان دهنده تعداد گام های زمانی است که نیاز مصرف کننده به طور کامل تامین شده و یا کمبود آب برابر صفر باشد؛ تعداد کل گام های زمانی در طول دوره شبیه سازی است.

### • شاخص برگشت پذیری $Res^2$

احتمال اینکه یک سیستم پس از شکست به حالت مطلوب برگردد را برگشت پذیری می گویند.

ماکزیمم دوره های متوالی که یک سیستم پس از شکست قبل از بازگشت به حالت مطلوب دارای کمبود بوده را به عنوان به عنوان برگشت پذیری یا انعطاف پذیری سیستم میگویند.

امروزه پرکاربردترین تعریف از برگشت پذیری نسبت تعداد گام های زمانی که در طول دوره شبیه سازی سیستم از حالت شکست به حالت مطلوب تغییر کند تقسیم بر تعداد کل گام های زمانی که در آن سیستم با کمبود مواجه است را برگشت پذیری میگویند (آشفته و همکاران، ۲۰۱۵).

$$Res = \frac{N_{t=1}^T(D_{t+1}^j=0 | D_t^j > 0)}{N_{t=1}^T(D_t^j > 0)} \quad (10)$$

که در این رابطه  $N_{t=1}^T(D_{t+1}^j=0 | D_t^j > 0)$  تعداد دفعاتی که بعد از پیروزی شکست اتفاق افتاده است و  $N_{t=1}^T(D_t^j > 0)$  ماه هایی که کمبود یا شکست اتفاق افتاده است.

### • شاخص آسیب پذیری $Vul^3$

آسیب پذیری پارامتری شبیه کمبودها در سیستم است و میتوان به عنوان یک میانگین شکست مطرح شود.

پرکاربردترین تعریف آن نسبت مجموع کل کمبودها به تعداد گام هایی است که در آن ها کمبود اتفاق افتاده تقسیم بر کل نیاز.

$$Vul = \frac{N_{t=1}^T(D_{t+1}^j=0 | D_t^j > 0)}{\sum_{t=1}^T Demand} \quad (11)$$

### • شاخص پایداری $SI^4$

شاخص پایداری جمع بندی معیارهای عملکرد سیستم در یک شاخص به منظور آسان نمودن مقایسه و تصمیم گیری که بین گزینه های مختلف مدیریت و برنامه ریزی منابع آب است این شاخص توسط مهندسی ارتش آمریکا نوشته و جزء شاخص های جدید است (lane et al, 2014).

$$SI = (Re * Res(1 - Vul))^{1/3} \quad (12)$$

برای پایداری باید اطمینان پذیری و برگشت پذیری حداکثر و آسیب پذیری حداقل مقادیر را داشته باشند. بنابراین شاخص های پایداری کشاورزی ( $ASI$ )، شاخص پایداری زیست محیطی ( $ESI$ ) با توجه به معادله های ذکر شده محاسبه میشود ( $S/D$ ) نسبت تامین به تقاضا در شاخص پایداری کشاورزی برای تقاضای کشاورزی و در شاخص پایداری زیست محیطی برای تقاضاهای زیست محیطی است.

### • شاخص های زیست محیطی

شاخص پایداری کشاورزی ( $ASI$ ) به صورت جمع زمانی نسبت تامین به تقاضا در کشاورزی در سری زمانی تعریف می شود. بر اساس عملکرد حد قابل قبول آن بین ۰/۸ تا ۱ است. پایداری زیست محیطی ( $ESI$ ) به صورت نسبت تامین به تقاضا در معیار زیست محیطی در سری زمانی تعریف می شود. که بر اساس میزان عملکرد حد قابل قبول آن ۱ است. آب خارج از دسترس به صورت میزان خروج آب از آخرین نقطه رودخانه در حوضه آبریز تعریف می شود. میانگین سالانه به میلیون متر مکعب مد نظر است. شاخص ویلکاکس دیگرام ویلکاکس بر اساس مقادیر هدایت الکتریکی ( $EC$ ) املاح محلول در آب در کلاس های متفاوت است (Sunkari & Suchullo, 2019). در طبقه بندی ویلکاکس دو عامل هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم ( $SAR$ ) (خطر قلیایی شدن) برای تعیین کیفیت مصارف کشاورزی در نظر گرفته شده است (ملکی و همکاران، ۱۳۹۷). شاخص شولر در شاخص شولر آب ها را به شش گروه خوب، قابل قبول، مناسب، بد، قابل شرب در شرایط اضطراری و غیر قابل شرب تقسیم می کند (عاشورنیا و همکاران، ۱۳۹۹).

### • شاخص های اجتماعی

شاخص اطمینان پذیری تامین آب شرب به صورت اطمینان پذیری لینک های انتقال آب شرب که مقدار تامین به تقاضا در آن معادل ۱ است. شاخص عدالت در تخصیص آب ( $CV$ ) این شاخص نشان دهنده ضریب تغییرات نسبت تامین به تقاضا در کلیه تقاضاهای کشاورزی است (پناهی و همکاران، ۱۳۹۴).

### • شاخص های اقتصادی

نسبت سود به هزینه ( $B/C$ ) این شاخص از تقسیم سود حاصل بر هزینه های موجود به دست می آید. ارزش کل تولید، با کسر هزینه های کلی تولیدات زراعی از ارزش ناخالص (حاصل ضرب میزان عملکرد محصول در واحد سطح در قیمت واحد) بدست می آید (آب منطقه ای غرب، ۱۳۸۳).

<sup>4</sup> Sustainability Index

<sup>5</sup> Agricultural Sustainability Index

<sup>6</sup> Environmental Sustainability Index

<sup>7</sup> Benefit to Cast

<sup>1</sup> Reliability Index

<sup>2</sup> Resilience Index

<sup>3</sup> Vulnerability Index

• مدل WEAP<sup>۱</sup>

مدل WEAP توسط موسسه محیط زیست استکهلم و با حمایت ویژه مرکز هیدرولوژی جامعه مهندسی ارتش آمریکا توسعه یافته است. این مدل می‌تواند محدوده زیادی از مسائل مانند تحلیل نیازهای هر بخش، حفاظت آب حبابه‌ها و اولویت‌های تخصیص، شبیه‌سازی سطحی و زیرزمینی بهره‌برداری از مخزن، تولید انرژی برقی، روند یابی آلودگی، نیازهای اکوسیستم، ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل سود-هزینه طرح را پوشش دهد (پور خیرالله و همکاران، ۱۳۹۶). این مدل یک ابزار شبیه سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی بر پایه معادلات بیلان آب است که می‌تواند مجموعه متناوبی از شرایط تامین و تقاضا را در طول افق برنامه ریزی بلندمدت بیاماید (میرزایی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۴). این مدل شامل یک مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است که می‌تواند فرآیندهای هیدرولوژیکی را به وسیله یک سیستم توزیع آب محاسبه نماید. این مدل با توجه به ساختار داده‌های موجود در یک بازه از حالت‌های بسیار تجزیه شده تا بسیار تجمع شده انعطاف پذیر است. ورودی به مخزن را هم از طریق مدل هیدرولوژیکی و هم به صورت سری زمانی می‌توان به مدل داد (پناهی و همکاران، ۱۳۹۴). مدیریت یکپارچه منابع و مصارف آب در مدل WEAP شبیه سازی شد و خروجی آن در نرم افزار EXCEL برای محاسبه شاخص های ASI، ESI، آب خارج از دسترس اطمینان پذیری تامین شرب و عدالت در تخصیص آب استفاده شد. شکل (۳) شماتیک منابع و مصارف حوضه آبریز گاماسیاب را نشان می‌دهد:



شکل ۳- شماتیک منابع و مصارف حوضه آبریز گاماسیاب در مدل WEAP

• تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۲</sup> (MCDM)

**وزن‌دهی به معیارها:** هر مساله ای که تصمیم‌گیرنده با آن روبرو است، ممکن است دارای چندین شاخص باشد به همین جهت اطلاع از اهمیت نسبی شاخص‌ها بسیار ضروری است. به همین جهت به هر کدام از شاخص‌ها باید یک وزن خاصی داده شود. به این صورت که مجموع اوزان شاخص‌ها برابر با یک گردد.

• آنتروپی<sup>۳</sup>

آنتروپی یک مفهوم عمده در علوم فیزیک، علوم اجتماعی و تئوری اطلاعات می‌باشد. در تئوری اطلاعات، معیاری برای مقدار عدم اطمینان توسط یک توزیع احتمال گسسته ( $P_i$ ) به طوری که این عدم اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از زمانی است که توزیع فراوانی متراکم باشد (خوش اخلاق، ۱۳۹۵). این روش در سال ۱۹۷۲ به وسیله شانون و ویور<sup>۴</sup> معرفی شد. روش آنتروپی به این صورت عمل می‌کند که هرچه میزان پراکندگی در مقدار یک شاخص مشخص بیشتر باشد آن شاخص دارای اهمیت بیشتری است (Shannon, 1988). برای محاسبه وزن شاخص‌ها طبق روابط زیر عمل می‌شود.  $m$  تعداد معیارها (شاخص‌ها)،  $n$  تعداد گزینه‌ها و  $a_{ij}$  ارزیابی گزینه  $i$  ام به ازای شاخص  $j$  ام.

$$rij = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad j=1,2,\dots,m \quad (۱۳)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (۱۴)$$

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (۱۵)$$

$$ej = -k \sum_{i=1}^n (rij \cdot \ln rij) \quad (۱۶)$$

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

$$dj = 1 - e \quad (۱۷)$$

$$wj = \frac{dj}{\sum_{j=1}^m dj} \quad (۱۸)$$

• روش TOPSIS<sup>۵</sup>

این تکنیک توسط یون و هوانگ در سال ۱۹۸۱ ارائه شد. در روش رتبه بندی به روش topsis در ابتدا با در نظر گرفتن یک مقدار ماکزیمم یا مینیمم برای شاخص‌های استاندارد شده وزن دار سپس فاصله هر گزینه از نقطه ایده‌آل و نقطه ایده‌آل منفی را بدست می‌آوریم. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از نقطه ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از نقطه ایده‌آل منفی داشته‌باشد. هر کدام از گزینه‌ها که  $ci^+$  آن بیشتر باشد گزینه برتر است. برای حل یک مسئله با استفاده از روش تاپسیس مراحل زیر را باید انجام داد (Zarei et al, 2011):  
۱- تشکیل دادن ماتریس داده‌ها با استفاده از  $m$  شاخص و  $n$  گزینه.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۹)$$

<sup>3</sup> Entropy

<sup>4</sup> Shannon and Weaver

<sup>5</sup> Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution

<sup>1</sup> Water Evaluation and Planning System

<sup>2</sup> Multiple Criteria Decision Making

$di^+$  بیشترین فاصله با نقطه ایده‌آل مثبت،  $di^-$  کمترین فاصله با نقطه ایده‌آل منفی،  $vj^+$  مقدار ماکزیمم برای شاخص‌های استاندارد وزن دار،  $vj^-$  مقدار مینیمم برای شاخص‌های استاندارد شده وزن دار.

۸-رتبه‌بندی فاصله‌ها بر اساس میزان  $C_i$  که مقدار آن بین صفر و یک در نوسان است. اگر مقدار آن یک باشد نشان‌دهنده بالاترین رتبه و اگر مقدار آن صفر باشد نشان‌دهنده کمترین رتبه است.

• روش برنامه ریزی توافقی (CP)

در این روش اولویت‌بندی و امتیازدهی به گزینه‌ها بر اساس فاصله آنها از جواب ایده‌آل انجام می‌گیرد. فاصله از جواب ایده‌آل (Lp(Ai)) برای هر گزینه مطابق رابطه (۲۸) قابل محاسبه است:

$$Lp(Ai) = \left[ \sum_{j=1}^n (uj \cdot \frac{f_{ij}^* - f_{ij}}{f_{ij}^* - f_{ij}^-})^p \right]^{1/p} \quad (28)$$

در این رابطه  $f_{ij}^*$ ،  $f_{ij}^-$  و  $uj$  به ترتیب جواب ایده‌آل، جواب ضدایده آل و شکل استاندارد شده وزن معیار  $uj$  میباشند که با استفاده از روابط به دست می‌آیند.  $f_{ij}$  نیز بیانگر امتیاز نرمال شده گزینه  $i$ ام بر روی معیار  $uj$  است.

$$f_{ij}^* = \max f_{ij} \quad (29)$$

$$f_{ij}^- = \min f_{ij} \quad (30)$$

$$uj = \frac{w_j}{\sum w_j} \quad (31)$$

$p$  پارامتری است که از ۱ تا  $\infty$  تغییر می‌کند که به نظر تصمیم گیرنده و حساسیت او نسبت به حداکثر انحراف قابل قبول در محاسبات بستگی دارد. هرچه مقدار آن بیشتر باشد حساسیت بیشتر خواهد بود.

• روش میانگین وزنی ساده (SAW<sup>۲</sup>)

این روش یکی از ساده‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن دار بدست آمده و با توجه به این ماتریس امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود (بنی حبیب و همکاران، ۱۳۹۱). جهت انتخاب بهترین گزینه در این روش از رابطه (۳۲) استفاده می‌شود:

$$A^* = \{ A_i | \max \sum_{j=1}^m w_j f_{ij} \} \quad (32)$$

$f_{ij}$  امتیاز نرمال شده گزینه  $i$ ام بر روی معیار  $uj$ ،  $w_j$  وزن معیار  $uj$  و  $A_i$  شاخص مجموع امتیاز وزن دار شده گزینه  $i$ ام.

• روش شمارش بوردا

این روش به وسیله بوردا (۱۹۹۴) جهت تصمیم‌گیری گروهی ارائه شده است. در این روش، مسأله مورد بررسی رتبه‌بندی  $m$  گزینه مستقل از

۲-استاندارد نمودن داده‌ها و تشکیل ماتریس استاندارد با استفاده از رابطه (۲۰)

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (20)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

۳-تعیین وزن هر کدام از شاخص‌ها ( $w_i$ ):

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (21)$$

۴-تشکیل دادن ماتریس بی‌مقیاس موزون ( $V_{ij}$ ):

$$V_{ij} = R_{ij} \cdot w_n \times m \quad V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (22)$$

۵-تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی (بالاترین و پایین‌ترین عملکرد در هر شاخص)

$$A^+ = \{ (\max V_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J') | i=1, 2, \dots, m \} \quad (1)$$

$$= \{ V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_4^+, \dots, V_n^+ \} \quad (2)$$

$$A^- = \{ (\min V_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J') | i=1, 2, \dots, m \} \quad (1)$$

$$= \{ V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_4^-, \dots, V_n^- \} \quad (2)$$

$$(4)$$

۶-محاسبه اندازه فاصله گزینه  $i$ ام بر اساس نرم اقلیدوسی از ایده‌آل‌ها مثبت و منفی:

$$di^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (25)$$

$$di^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (26)$$

۷-تعیین ضریب نزدیکی نسبی گزینه  $i$ ام ( $C_i$ ) به راه حل ایده‌آل.

$$C_i^+ = \frac{di^+}{di^- + di^+} \quad (27)$$

<sup>1</sup> Compromise Programming (CP)

<sup>2</sup> Simple Additive Weight

در این رابطه  $m$  تعداد گزینه ها،  $R$  تعداد روش های تصمیم گیری و  $air$  رتبه گزینه  $i$ ام در روش  $R$  می باشد.

### ۳- نتایج

#### • نتایج کلی محاسبه شاخص ها

شاخص های در نظر گرفته شده از نظر معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و منابع آب شامل ۴۱ شاخص که در قسمت مواد و روش ها توضیح داده شده است. در این قسمت جداول خروجی نتایج حاصل از محاسبه خروجی شاخص ها در هر کدام از گزینه ها در جدول (۵) آورده شده است.

هم می باشد. که از دیدگاه  $R$  تصمیم گیرنده یا  $R$  شبیه تصمیم گیری چندمعیاره بطور جداگانه ارزیابی و رتبه بندی شده اند. در این روش، به جای استفاده از مقادیر ارزیابی هر گزینه، تنها از رتبه های مقایسه ای آنها، که با کاربرد روش های مختلف مشخص شده است، استفاده می گردد تا عدم قطعیت در آنها به حداقل برسد (روزبهانی و همکاران، ۱۳۹۵). گزینه  $i$  با  $B_i$  بزرگتر به عنوان گزینه ی برتر انتخاب می شود (Borda, 1994).

$$g(\text{air}) = m - \text{air} \quad (33)$$

$$B_i = \sum_r g(\text{air}) = mR - \sum_r \text{air} \quad (34)$$

جدول (۵) ماتریس تصمیم، نتایج حاصل از محاسبه شاخص ها

میانراهان	هرسین-بیستون	صحنه	کنگاور	سنقر	
۱۰۷/۲۷	۱۱۲/۳۰	۱۰۶/۶۰	۱۰۸/۸۳	۱۰۸/۰۷	PNPI
۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۵۷	۰/۴۳	۰/۴۳	SPI
۲/۱۳	۲/۰۱	۲	۱/۹۲	۲/۰۲	SWSI
۰/۸۰	۰/۸۵	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۶۴	SRI
۴۰۷/۱۰	۴۸۱/۶۷	۵۰۳/۹۹	۴۷۵/۹۱	۵۱۹/۵۰	Ec
۲۵۹/۹۱	۳۱۴/۶۰	۳۱۴/۹۸	۳۰۶/۰۵	۳۴۳/۹۴	TDS
۰/۳۱۱	۰/۴۶	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۵۰	CI
۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۷۹	۰/۵۸	WAI
۱۱۴/۵۹	۱۱۰/۹۹	۹۶/۳۰	۱۱۵/۰۲	۱۱۸/۹۴	دیاگرام شولر
۲۵۱/۹۳	۲۴۲/۹۸	۲۱۰/۳۲	۲۵۴/۶۰	۲۶۵/۴۷	دیاگرام ویلکاکس
۰/۶۹	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۵۶	ASI
۰	۹۹/۵۸	۸۸/۷۸	۹۲/۰۸	۹۸/۵۴	ESI
۲/۵۸	۸/۲۵	۰/۳۴	۰/۷۰	۰/۷۰	آب خارج از دسترس
۰	۰	۹۷/۹۲	۹۹/۷۹	۰	اطمینان پذیری تامین شرب
۰	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۳۱	عدالت در تخصیص آب
۱/۶۲	۱/۴۹	۱/۴۸	۱/۵۴	۱/۶۲	B/C
۹۲۳۴/۶۸	۵۰۰۶۱	۱۰۴۸۰/۲۳	۷۷۴۱/۹	۲۴۰۸۰	ارزش کل تولید

این پژوهش از روش آنترپوی شانون برای محاسبه وزن هرکدام از شاخص ها استفاده شده است که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است.

#### • نتایج حاصل از وزن دهی به شاخص ها

روش های مختلفی برای وزن دهی به شاخص ها وجود دارد که این وزن ها تاثیر بسیاری در رتبه دهی به گزینه ها در تصمیم گیری چندمعیاره دارد. در

جدول (۶) وزن های بدست آمده از روش آنترپوی شانون به ازای هرگزینه

معیار	PNPI	SPI	SWSI	SRI	EC	TDS
وزن	۰/۰۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۲
معیار	CI	WAI	دیاگرام شولر	دیاگرام ویلکاکس	ASI	ESI
وزن	۰/۰۰۰۷۴	۰/۱۸۶	۰/۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۹۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۷۲
معیار	آب خارج از دسترس	اطمینان پذیری تامین شرب	عدالت در تخصیص آب	B/C	ارزش کل تولید	
وزن	۰/۱۸۸	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۸۷	

چنانچه در جدول (۶) مشاهده می شود شاخص اطمینان پذیری تامین شرب بیشترین وزن با مقدار ۰/۲۹ را به خود اختصاص داده است. پس از آن شاخص های آب خارج از دسترس و شاخص WAI به ترتیب با وزن ۰/۱۸۸ و ۰/۱۸۶ بیشترین وزن را به خود اختصاص داده اند.

کمترین اوزان در بین شاخص ها به ترتیب مربوط به شاخص PNPI با وزن ۰/۰۰۰۰۵۳، بعد از آن شاخص SWSI با وزن ۰/۰۰۰۱۸ سپس کمترین وزن مربوط به شاخص دیاگرام شولر با وزن ۰/۰۰۰۸۲ می باشد.



هر گزینه دارای واحدهای مختلفی می‌باشند. در صورت استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری باید اقدام به نرمال کردن ماتریس ارزیابی و سپس رتبه‌بندی هر کدام از گزینه‌ها تحت هر کدام از روش‌های تصمیم‌گیری نمود.

• **تصمیم‌گیری چندمعیاره**

در این بخش با استفاده از روش SAW، CP و TOPSIS نتایج حاصل از رتبه‌بندی گزینه‌ها در هر سناریو در جدول (۷) برای روش وزن‌دهی به روش آنتروپی ارائه شده‌است. مقدار شاخص‌های بدست‌آمده

جدول ۷- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری مختلف

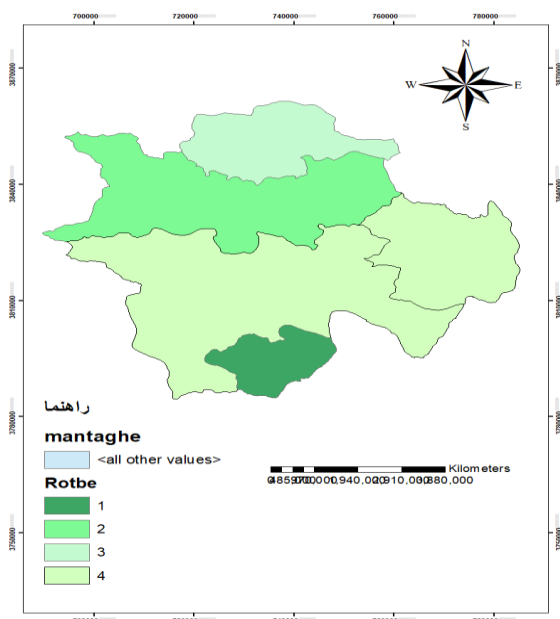
گزینه	SAW امتیاز نهایی	رتبه	CP P=1 فاصله نهایی	رتبه	CP P=2 فاصله نهایی	رتبه	TOPSIS فاصله ایده آل	رتبه
سنقر	۳/۴۸	۳	-۰/۵۸	۳	-۰/۲۰	۳	-۰/۴۷	۳
صحنه	۴/۵۰	۲	-۰/۳۷	۵	-۰/۲۱	۵	-۰/۲۵	۵
کنگاور	۰/۱۸۸	۵	-۰/۵۵	۴	-۰/۱۸	۴	-۰/۳۷	۴
هرسین-بیستون	۴/۵۴	۱	-۰/۶۲	۲	-۰/۲۳	۲	-۰/۸۱	۱
میانراهان	۱/۴۲	۴	-۰/۹۲	۱	-۰/۲۸	۱	-۰/۷۰	۲

• **نتایج رتبه‌بندی نهایی به روش شمارش بوردا**

با توجه به جداول فوق نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری با یکدیگر متفاوت می‌باشند. بنابراین از روش شمارش بوردا برای انتخاب نهایی گزینه برتر استفاده شده‌است. نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها با روش شمارش بوردا در جدول (۸) آورده شده‌است. طبق نتیجه بدست‌آمده از روش شمارش بوردا زیرحوضه هرسین-بیستون با کسب رتبه ۱ پایدارترین زیرحوضه و بعد از آن زیر حوضه میانراهان دارای رتبه ۲ زیر حوضه‌های سنقر دارای رتبه ۳ و ضعیف‌ترین زیرحوضه از نظر معیارهای مورد بررسی زیرحوضه‌های صحنه و کنگاور با کسب رتبه ۴ می‌باشد. جدول (۸) نتایج رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها را به روش شمارش بوردا نشان می‌دهد.

جدول ۸- رتبه‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش شمارش بوردا

زیر حوضه	SAW	CP P=2	CP P=1	TOPSIS	رتبه نهایی
سنقر	۳	۳	۳	۳	۳
صحنه	۲	۵	۵	۵	۴
کنگاور	۵	۴	۴	۴	۴
هرسین- بیستون	۱	۲	۲	۱	۱
میانراهان	۴	۱	۱	۲	۲



شکل ۴- رتبه‌بندی نهایی زیر حوضه‌های آبریز گاماسیاب با استفاده از روش شمارش بوردا

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) جهت رتبه‌بندی زیرحوضه‌های سنقر، صحنه، کنگاور، هرسین-بیستون و میانراهان از لحاظ معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و منابع آب استفاده شد. نتایج وزن‌دهی به شاخص‌ها به روش آنتروپی شانون نشان‌داد که شاخص اطمینان‌پذیری تامین شرب بیشترین وزن با مقدار ۰/۲۹ را به خود اختصاص داده‌است. پس از آن شاخص‌های آب خارج از دسترس و شاخص WAI به ترتیب با وزن ۰/۱۸۸ و ۰/۱۸۶ بیشترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. کمترین اوزان در بین شاخص‌ها به ترتیب مربوط به شاخص PNPI با وزن ۰/۰۰۰۵۳ بعد از آن شاخص

بیستون می‌باشد بعد از آن به ترتیب زیر حوضه‌های میانراهان و سنقر دارای رتبه‌های ۲، ۳ را از نظر پایداری به خود اختصاص داده‌اند. ضعیف‌ترین زیرحوضه، زیرحوضه‌های صحنه و کنگاور از نظر معیارهای مورد نظر می‌باشد. زیرحوضه هرسین-بیستون به دلیل مطلوبیت در مقدار شاخص‌های محاسبه شده در آن رتبه یک را در میان زیرحوضه‌های دیگر به خود اختصاص داده‌است.

SWSI با مقدار ۰/۰۰۰۱۸ سپس کمترین وزن مربوط به شاخص دیگرام شولر با مقدار ۰/۰۰۰۸۲ می‌باشد. در نهایت به دلیل تفاوت رتبه‌بندی روش‌های فوق از روش تصمیم‌گیری گروهی شمارش بوردا جهت رتبه‌بندی نهایی استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل مدل‌های تصمیم‌گیری SAW، TOPSIS و CP نشان داد که پایدارترین زیرحوضه از لحاظ معیارهای اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و منابع آب برای حوضه آبریز گاماسیاب در استان کرمانشاه، حوضه آبریز هرسین -

## منابع

- اداره کل امور آب استان کرمانشاه. ۱۳۸۳. مطالعه مرحله اول شبکه آبیاری و زهکشی اراضی پایاب سد مخزنی کبوتر لانه (آناهیتا). جلد دوم. وزارت نیرو، آب منطقه ای غرب.
- بهمن پوری، ص،، سلطانی، غ. ۱۳۹۷. کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در مدیریت یکپارچه منابع آب شهرستان نی ریز. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۲۴-۱۰۵.
- بروغنی، م، مرادی، ح،، زنگنه اسدی، م. ۱۳۹۴. پهنه بندی و تعیین بهترین شاخص خشکسالی در استان خراسان رضوی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. سال پنجم، شماره نوزدهم، صفحات ۸۴-۷۰.
- بنی حبیب، م، الف، وزیری، ب،، هاشمی، س. ر. ۱۳۹۱. مکان یابی سدهای مخزنی با استفاده از مدل های تصمیم گیری چند معیاره . سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. ۲۰ و ۲۱ شهریور ۱۳۹۱.
- پناهی، الف، بافکار، ع، حافظ پرست، م. ۱۳۹۶. ارزیابی گزینه های مدیریت پایدار حوضه سد جامیشان در سناریو های اقلیمی. تحقیقات منابع آب ایران. سال سیزدهم، شماره ۱، صفحات ۱۵۱-۱۳۹.
- پناهی، الف . ۱۳۹۴. مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبریز در شرایط تغییر اقلیم. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی. دانشگاه رازی.
- پور جواد، ه. ۱۳۹۴. بررسی انتقال بین حوضه ای آب و نقش آن در مدیریت منابع آب با دیدگاه توسعه پایدار. سومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی.
- پور خیراله، ز. ۱۳۹۶. مدیریت سامانه منابع و مصارف حوضه آبریز با تئوری نش در سناریوهای اقلیمی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی. دانشگاه رازی.
- چزگی، ج، اختصاصی، م،، تخی، م. ۱۳۹۵. اولویت بندی مکان های مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل های تصمیم گیری در مناطق خشک و نیمه خشک. دو فصلنامه علمی- پژوهشی خشک بوم. جلد ۶ شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۵.
- حافظ پرست، م. عراقی نژاد، ش،، شریف آذری س. ۱۳۹۴. معیارهای پایداری در ارزیابی مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبریز ارس بر اساس رویکرد DPSIR. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد بیست و دوم، شماره دوم. صفحات ۶۱-۷۷.
- حافظ پرست، م، ف، س. الف. ۱۳۹۵. محاسبه شاخص های پایداری آب و پایداری حوضه آبریز در راستای حفظ توسعه پایدار (مطالعه موردی: حوضه آبریز گاماسیاب) جغرافیا و پایداری محیط شماره ۱۸. صفحات ۳۳-۲۱.
- خوش اخلاق، ف، حجازی زاده، ز،، محمدی، ح،، روشن، غ. ۱۳۹۵. رویکردی از روش TOPSIS در تعیین و رتبه بندی خشکسالی (مطالعه موردی: پهنه بندی خشکسالی چند ایستگاه استان خوزستان). نشریه علوم جغرافیایی، ج ۵، ش ۷. صفحات ۱۲۷-۱۰۵.
- دهقانپور، ع، ابرقویی، ز،، رضایی، ح. ۱۳۹۶. ارزیابی خشکسالی و ترسالی شهرستان ابرکوه با استفاده از شاخص PNPI. سومین کنفرانس سالانه تحقیقات کشاورزی ایران.
- روزبهنی، ع،، شهبازی سحرانی، م. ۱۳۹۵. کاربرد شبیه های تصمیم گیری چند معیاره در گزینه یابی سد و نیروگاه خراسان 1. مجله مهندسی منابع آب سال نهم، صفحات ۶۱-۵۰.
- سلیمان پور، ع،، سلیمان پور، ب،، ولد بیگی تبار، ج. ۱۳۹۶. پهنه بندی زمان تاخیر بین شاخص خشکسالی SPI و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی SWSI در حوزه آبخیز گاماسیاب. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژیکی ایران، ۲۰ و ۲۱ تیر ماه ۱۳۹۶، دانشگاه شهرکرد.
- شهرکی، ع،، شهرکی، ج،، هاشمی منفرد، س. ۱۳۹۵. بررسی رویکردهای مدیریتی بهره برداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). پژوهش های مدیریت عمومی سال نهم، شماره سی و یکم، صفحات ۹۸-۷۳.
- شیردلی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی پایداری منابع آب ایران و حوضه قره قوم توسط شاخص های بین المللی تا افق ۱۴۰۴. دو فصلنامه مدیریت آب در مناطق خشک، جلد ۱، شماره ۱.
- صفوی، ح. ر،، گل محمدی، م. ح. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد سیستم های منابع آب با استفاده از معیارهای اطمینان پذیری، برگشت پذیری و آسیب پذیری فازی. تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۱، صفحات ۸۳-۶۸.

- ضیائی پور رودسری، ر.، بهشتی، م. ۱۳۹۹. امکان سنجی توسعه نیروگاه های برقایی در خطوط آبرسانی با بهره گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. سال نهم. شماره چهارم. صفحات ۳۲-۳۳.
- عاشورنیاء، م.، کیانی صدر، م.، قنبری، ف.، کریمی، م.، پور عسکری، م. ۱۳۹۹. بررسی تاثیر شیرابه ناشی از دفن پسماندهای شهرستان رشت بر کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: چاه های محدوده ی دهستان سراوان). مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۵، شماره ۳، فصل پاییز، صفحات ۲۹۰۵-۲۹۱۲.
- کارآموز، م.، احمدی، آ.، عسگری نژاد، و. ۱۳۸۷. ارزیابی شاخص های پایداری طرح های توسعه منابع آب با نگرش مهندسی ارزش. سومین کنفرانس ملی مهندسی ارزش.
- کامسی، م.، گودرزی، ح. ۱۳۹۳. مدیریت منابع آب و ارزیابی شاخص های بحران آب با رویکرد توسعه پایدار (مطالعه موردی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ایران و لیاو چین). اولین همایش ملی آب، انسان، زمین. اصفهان.
- محمدی، م.، یاسی، م.، جمالی، س.، حاجی کندی، ه. ۱۳۹۹. اولویت بندی احداث نیروگاه آبی بر روی خطوط انتقال آب با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره. مجله مهندسی منابع آب. سال سیزدهم. شماره اول. صفحات ۲۷-۱۳.
- مصباح زاده، ط.، سلیمانی ساردو، ف. ۱۳۹۷. بررسی روند زمانی خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوضه آبریز کرخه. نشریه علمی-پژوهشی - علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوازدهم - شماره ۴۰. صفحات ۱۱۴-۱۰۵.
- ملکی، ع.، ناصحی پیکانی، ط.، شریفی پور، م. ۱۳۹۷. بررسی شاخص های کیفیت آب رودخانه خرم آباد از دیدگاه کشاورزی. همایش ملی راهبردهای های مدیریت منابع آب و چالش های زیست محیطی. صفحات ۱-۱۰.
- میرزایی ندوشن، ف.، عراقی نژاد، ش.، بزرگ حداد. ۱۳۹۴. توسعه مدل یکپارچه منابع آب WEAP برای مدل سازی شرایط خشکسالی. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیزداری. جلد ۷، شماره ۱. صفحات ۸۵-۹۷.
- Ashofteh, P. S., Haddad, O. B., Akbari-Alashti, H., & Marino, M. A. 2015. Determination of irrigation allocation policy under climate change by genetic programming. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(4), 04014059
- Behboudian, M., Kerachian, R., Motlaghzadeh, K., Ashrafi, S. 2020. Evaluating water resources management scenarios considering the hierarchical structure of decision-makers and ecosystem services-based criteria. *Science of The Total Environment*.
- Bid, S., Siddique, G. 2020. Water-level function (WLF) of Panchet dam in India and assessment of its human risk using AHP method. *Geo journal*. 1-26.
- Borda J.C. 1994. A Paper on Elections by Ballot. (English translation), In Fiona Hewitt and Ian McLean, editors, *Condorcet: Foundations of Social Choice and Political Theory*, p. 114.119. Edward Elgar, Brookfield..
- Chitsaz N., Banihabib, M.E. 2015. Comparison of Different Multi Criteria Decision-Making Models in Prioritizing Flood Management Alternatives. *Water Resources Management*, 29, 2503-2525.
- Hafezparast, M., Araghinejad, Sh. 2012. Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for watershed Sustainability in Golestan, Iran. *The First International Conference on Dam & Hydropower*.
- Hashimoto T, Stedinger JR, Loucks DP. 1982. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. *Water Resources Research* 10(1):14-20.
- Hyundong L, and Myongsik K. 2017. Analysis Level of Service for Asset Management in Water Suppl Network. *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973 – 4562 Volume 12, Number 20 (2017), PP. 9890 – 9895.
- Geng G. and Wardla R. 2013. Application of Multi Criterion Decision Making Analisis to Integrated water Resources Management. 27(8):3191-3207. 90-Supriyasilp, T., Pongput, K., and Boonyasirikul, T. 2009. Hydropower development priority using MCDM method. *Energy Policy* 37: 1866-187.
- Lane BA, Sandoval-Solis S, Porse EC. 2014. Environmental flows in a human-dominated system: Integrated water management strategies for the Rio Grande/Bravo basin. *River Research and Applications*, DOI: 10.1002/rra.2804..
- Meshram, S.G., Singh, V, Kahva, E, Alvandi, E. 2020. The feasibility of multi-criteria decision making approach for prioritization of sensitive area at Risk of Water Erosion. *Water Resources Management*. 1-21.
- Shannon, C. 1988. A mathematical theory of communication, *Bell System Technology Journal* 27, PP. 379-423, 623-656.
- Verkos, C. Tzimopoulos, C. Evangelids C. and Arampatzis, G. 2019. Multi Criteria Decision Making Using Alternatives Ratio Method for Locating a Small Hydropower Plant in Central Greece, *International Journal of Renewable Energy Sources*, Vol.4, 2019. 32-39.

- Yilmaz, B., and Harmancioglu, N. 2010. Multi-criteria decision making for water resource management: a case study of the Gediz River Basin, Turkey. *Water SA* 36: 563-576.
- Zarei, H. and et al. 2011. the Application of Fuzzy TOPSIS Approach to Personnel Selection for Padir Company: Iran, *Journal of Management Research*, No. 2, Vol. 3.

## Prioritization of sub-basins using multi-criteria decision making methods (Case study: Gamasiab catchment, Kermanshah)

Neda Jafari<sup>1,\*</sup>, Maryam Hafezparast<sup>2</sup>, Bahman Farhadi<sup>3</sup>

\*1- Graduate of Master Water Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Assistant Professor of Water Department, Razi University, Kermanshah, Iran

3- Assistant Professor of Water Department, Razi University, Kermanshah, Iran

\*Email Address : nedajafari72@yahoo.com

### Abstract

#### Introduction

Water is a treasure to be passed on to future generations, and it is now clear to the world that human well-being and industrial and agricultural development are all at stake unless the optimal use of water resources as well as integrated environmental planning and management become a key element of plans and investments. Water resources management is a set of various management measures, which is done to optimize the use of water resources and reduce economic, social and environmental damage. Sustainability assessment by indicators is useful for planning, management and educational purposes. Indicators should be easy to use, comprehensive and universal. They must also be accessible, understandable and valuable, revealing and comprehensive. Due to the importance of sustainable development, quantifying this concept of sustainable water resources management indicators is done by considering economic and social ecosystem considerations. The use of multi-criteria decision-making methods in water-related issues has been used by many researchers.

#### Methodology

The purpose of this study is to investigate the stability of Gamasiab basin. The study area, Gamasiab catchment is one of the main sub-basins of Karkheh basin. Figure (1) shows the geographical location of the Gamasiab catchment. Figure (2) shows the algorithm of research steps. The studied indicators are as follows: Percentage of normal rainfall index (PNPI): Its basic concept is the ratio of actual rainfall to its normal amount over a period of time, expressed as a percentage and can be calculated on a scale (weekly, monthly, seasonal and annual). Equation (1) shows how to calculate this index. A standard precipitation index (SPI) was provided to monitor and determine droughts. This index is calculated in time scales of 48,24,18,12,9,6,3,1 months and one year (Equations 2 and 3). Surface water storage index (SWSI): The purpose of this index is to consider hydrological and meteorological characteristics as a single index (Equations 4 and 5). Standard runoff index (SRI): This index is obtained according to Equation (6). Available water index (WAI) This index includes surface water resources, groundwater and its difference from the needs of all household sectors of the agricultural industry (Equation 7). WEAP model: This model is flexible due to the data structure in a range of highly decomposed to highly aggregated modes. The input to the reservoir can be given to the model both through the hydrological model and as a time series. Integrated management of water resources and consumption was simulated in the WEAP model and its output was used in EXCEL software to calculate ASI, ESI, out-of-reach water supply reliability and fairness in water allocation. Figure (3) shows a schematic of the resources and uses of the Gamasiab catchment area. Reliability Index (REI) Reliability or reliability is the probability with which water allocated to the consumer meets its needs (Equations 8 and 9). Reversibility index (Res) The probability that a system will return to normal after a failure is called reversibility (Equation 10). Vulnerability index (Vul) The most widely used definition is the ratio of the total deficits to the number of steps in which the deficit occurred divided by the total need (Equation 11). Sustainability Index (SI) Sustainability Index Summarizes system performance metrics in an index to facilitate comparison and decision making between different water resources management and planning options (Equation 12). Environmental Indicators: The Agricultural Sustainability Index (ASI) is defined as the sum of the nominal ratio of agricultural demand in the time series. Environmental sustainability (ESI) is defined as the ratio of supply to demand in an environmental measure over time. The Wilcox Index The Wilcox diagram is based on

the electrical conductivity (EC) values of water-soluble solutes in different classes. Schuler Index The Schuler Index divides water into six groups: good, acceptable, suitable, bad, drinkable in an emergency, and non-potable. Social indicators: Drinking water supply reliability index in the form of reliability of drinking water transmission links in which the amount of supply to demand is equal to 1. Justice in water allocation index (CV) This index shows the coefficient of variation of supply to demand ratio in all agricultural demands. Economic indicators: Profit to cost ratio (B / C) This index is obtained by dividing the profit on existing costs. The total value of production is obtained by subtracting the total costs of crop production from the gross value (the product of product yield per unit area multiplied by the unit price). Shannon entropy method was used to weight the indices, which can be calculated using relations 13 to 18. TOPSIS, CP and SAW multi-criteria decision-making methods were used to rank the indicators (relationships 19 to 32). Ranking options using different decision-making methods are different. Therefore, the Bordeaux counting method has been used for the final selection of the superior option. In this method, instead of using the evaluation values of each option, only their comparative rank, which is determined by using different methods, is used to minimize uncertainty in them (Equations 33 and 34).

### Conclusion

In this study, multi-criteria decision making (MCDM) methods were used to rank the sub-basins of Songor, Sahneh, Kangavar, Harsin-Biston and intermediate in terms of economic, social, environmental and water resources criteria. The results of weighting the indicators by Shannon entropy method showed that the reliability index of drinking supply has the highest weight with 0.29. After that, out of reach water indices and WAI index with weights of 0.188 and 0.186, respectively, have the highest weights. The lowest weights among the indices are related to PNPI index with a value of 0.000053, followed by SWSI index with a value of 0.00018 and then the lowest weight is related to Schuler diagram index with a value of 0.00082. Finally, due to the ranking differences of the above methods, the Bordeaux counting group decision-making method was used for the final ranking. The results of this study using multi-criteria decision making methods including SAW, TOPSIS and CP decision making models showed that the most sustainable sub-basin in terms of economic, social, environmental and water resources for Gamasiab catchment in Kermanshah province is Harsin-Biston catchment (due to the usefulness of the calculated indicators). The intermediate and Songhar sub-basins, respectively, have the ranks of 2 and 3 in terms of stability. The weakest sub-basins are Sahneh and Kangavar sub-basins in terms of criteria.

### Keywords

sustainability indicators; sustainability criteria; Gamasiab catchment; multi-criteria decision making