نشریه علمی ـ پژوهشی سد و نیروگاه برق‌آبی ایران
سال اول / شماره سوم / زمستان ۱۳۹۳

Iranian Dam and Hydroelectric PowerPlant
First Year / No. 3/ March 2015

برنامه‌ریزی یک‌پارچه توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی حوضه کرخه با بهره‌گیری از سامانه تصمیم یار مکانی و تصمیم‌سازی چندمعیاره مکانی

*علی حیدری،[۱] شهاب عراقی‌نژاد[۲]
محمدرضا نیک‌فال،[۳] الهام افتخار جوادی[۴]
راحله افضلی،[۵] لاله شهیدی[۶]

چکیده

تصمیم‌گیری و پیشنهاد، بهترین راه حل در رویارویی با مسائل و مشکلات و مهم‌ترین چالش مدیریتی، طرح‌های توسعه در عصر حاضر می‌باشد؛ چرا که تصمیم‌گیرندگان به‌دلیل پیچیدگی حاکم بر دنیای امروز همواره با شرایط سخت روبه‌رو هستند که علت آن را می‌توان در اهداف چندگانه، تصمیم‌گیری ریشه‌یابی کرد. برای حل این مسئله به‌ناچار می‌بایست بین آنها مصالحه انجام شود. بدین منظور و برای تسهیل کار، با استفاده از فناوری داده‌ها و روش‌های تحلیلی مناسب، ابزارهای توانمندی ارائه شده است که کارایی تصمیم‌گیرندگان را افزایش داده و مسائل و مشکلات را با سرعت و دقت بیشتری ارزیابی می‌کند. سامانه‌های تصمیم‌یار (Decision Support System) یکی از کاراترین فناوری‌های موجود در این زمینه است که توانایی‌های ارزنده آن در طیف گسترده‌ای از علوم مهندسی به اثبات رسیده است. سامانه‌های تصمیم‌یار، در واقع، سامانه‌های رایانه‌ای هستند که با کاربران خود، ارتباطی تعاملی داشته و به منظور پشتیبانی از تصمیم‌گیرندگان در حل موضوعاتی که نیاز به قضاوت کارشناسانه دارند، به‌کار می‌روند. سامانه تصمیم‌یار حوضه کرخه، سامانه‌ای سازمانی با توانایی‌های مکانی با هدف مدیریت یک‌پارچه منابع آب و ارزیابی طرح‌های برق‌آبی، توسعه یافته است و یک محیط یک‌پارچه توسعه را به منظور تعریف و ارزیابی طرح‌های پیشنهادی و وضعیت‌های مختلف توسعه طرح‌های برق‌آبی و درنهایت، رده‌بندی آنها در اختیار کاربر قرار می‌دهد. از نمونه نتایج این سامانه، کمک به تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب گزینه نیروگاه مخزنی سازبن به جای نیروگاه جریانی آن در بالادست سد و نیروگاه «سیمره» می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

سامانه تصمیم‌یار مکانی، حوضه کرخه، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

---

۱. * شرکت توسعه آب ایران و منابع انرژی. al.heidari@iwpco.ir
۲. عضو هیئت علمی دانشگاه تهران.
۳. مهندس مشاوره مهاب‌قدس.
۴. مهندس مشاوره مهاب‌قدس.
۵. مهندس مشاوره مهاب‌قدس.
۶. مهندس مشاوره مهاب‌قدس.

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲

مقدمه

مدیریت یک‌پارچه منابع آب در سطح حوضه آبریز، به لحاظ وجود جنبه‌های مختلف، مسئله پیچیده‌ای است؛ بدین معنی که ویژگی‌های متغیر و پویا بودن در زمان و گاهی تصادفی‌بودن متغیرها مانند کمی منابع آب سطحی و زیرزمینی، نیازها و دیگر متغیرها، همراه با دقیق‌نبودن و در مواردی، کافی نبودن اطلاعات موجود و اندازه گیری‌شده از متغیرها و مؤلفه‌های حاکم، ضرورت به‌کارگیری الگوهای ریاضی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. از جمله دلایل پیچیدگی برنامه‌ریزی منابع آب به‌طور عام و در سطح حوضه آبریز به‌طور خاص می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. مقادیر پیاپی آب‌دهی با توزیع مناسب مکانی در نقاط کافی؛

۲. نداشتن آگاهی کافی از مقادیر نیازها و برداشت‌های واقعی و حقابه های تخصیص‌یافته در تاریخچه سامانه و سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی در آنها؛

۳. ممکن‌نبودن و یا پرهزینه بودن برآورد دقیق انواع نیازهای واقعی شرب، صنعت، کشاورزی، زیست‌محیطی و برق‌آبی در آینده؛

۴. دقیق‌نبودن برخی عوامل و مؤلفه‌های مؤثر، همچون مقادیر تلفات در مسیرها، بازده و درصدهای آب برگشتی؛

۵. نداشتن اطلاعات کافی از مشخصات منابع آب زیرزمینی و کمبود اطلاعات دیگر در کنار نبودن معیارهای روشن و مشخص پیرامون اولویت بندی تأمین مصارف مختلف، با وجود ملاحظات و مناسبات سیاسی ـ اداری، سازمانی و اجتماعی ـ اقتصادی.

افزون بر رشد فزاینده استفاده از روش‌های تحلیل سامانه‌ای و روش‌ها و توانایی‌های رایانه‌ای و نرم‌افزاری، هنوز روشی که بتواند در یک محدوده زمانی و مکانی به اندازه کافی بیانگر تمامی جنبه های فنی و پیچیدگی، همچون پویا بودن، غیرقطعی بودن، غیرخطی بودن، چندهدفه یا چندمنظوره بودن و به‌ویژه، در مقیاس بزرگ بودن الگوهای مدیریت منابع آب حوضه آبریز را با درجه دقت کافی لحاظ کند، موجود نیست. بنابراین بدیهی است که عمده تلاش‌ها و الگوهای توسعه‌یافته به احتساب دسته‌ای از جنبه‌های پیش‌گفته بسنده نماید که از درجه اهمیت بیشتری برخوردار بوده و خصوصیات اصلی الگوسازی یک پارچه در سطح حوضه‌آبریز را دارند. مدیریت یک پارچه منابع آب در حوضه آبریز را به معنای پاسداشت و رعایت یک‌پارچگی و جامع‌نگری از منظر موارد زیر می‌باشد:

۱. احتساب و تحلیل تمام اجزای پخش‌شده در گستره مکانی سامانه با هم، روی هم و در تعامل با هم؛

۲.یک پارچگی تحلیل در گستره زمانی و یا به عبارتی؛ توجه به شرایط حال و آینده و تغییرپذیری رفتار حوضه در اندازه و مقیاس زمانی مناسب و معرف؛

۳. پذیرش و لحاظ‌کردن تعدد اهداف تامین آب، تولید برق، کنترل سیلاب، حفظ بوم شناسی و محیط زیست، ضمن توجه به ملاحظات اقتصادی و اجتماعی در سطح حوضه آبریز؛

۴. دیدن منابع آب سطحی و زیرزمینی و حتی منابع خاک با هم، در تعامل با هم در کنار مدیریت مصارف به شکل یک‌پارچه، تحت معیارها و اولویت‌بندیهای مختلف؛

۵. احتساب هم‌زمان اهداف کمی در کنار اهداف کیفی.

با احتساب جنبه‌های پنج‌گانه پیش‌گفته، می‌بایست در جستجوی آن‌دسته از روش‌ها، الگوهای ریاضی و تحلیل سامانه‌ای بود که توانایی و سنخیت بیشتری در مدیریت یک‌پارچه دارند. سامانه‌های تصمیم‌یار از مهم‌ترین ابزار ارزیابی چندنظمی و پیچیدهٔ سامانه‌های آبی می‌باشند. معمولا برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب با بهره‌گیری از الگوهای ریاضی انجام می‌شود. بنابر این، چارچوبی بر مبنای فناوری اطلاعات برای اتصال و بارگذاری این الگوها لازم است. طبیعت متفاوت الگوهای منابع آب، داده‌های آن و ساختار و قالب داده‌های مورد استفاده در آن، فرایند تصمیم‌سازی را به‌گونه‌ای پیچیده کرده که تنها با بهره‌گیری از پیشرفت‌های فناوری قابل ارزیابی و تصمیم‌گیری می‌باشد.

ساماندهی فرایندهای بهره‌مند از الگوهای ریاضی در حیطه منابع آب و انرژی توسط بیشتر پژوهشگران، بررسی شده است که برخی از آنها در ادامه آمده است. تیسن و لوکس[1] (۱۹۹۲) کاربرد الگوهایی در برنامه‌ریزی منابع آب را بررسی کردند و افزون بر بررسی چالش‌های آن، معیارهایی برای ارزیابی گزینه‌ها، پیشنهاد نمودند. کوتسویانیس[2] و همکاران (۲۰۰۳) سامانه تصمیم‌یار را برای منابع آب حوضه آبریز آتن در اروپا ارائه کرده‌اند که دربر دارنده سامانه‌های اطلاعاتی برای ساماندهی داده‌ها و الگوهایی است که شبیه‌سازی و بهینه‌سازی را برای بهره‌برداری از سامانه رودخانه‌ای انجام می‌دهند. چارچوب ریاضی روش‌شناسی به کاررفته در این سامانه بر مبنای تخصیص منابع آبی به اجزای مختلف سامانه و کاهش تعداد متغیرهای تصمیم است.

1. Thiessen and Loucks.
2. Koutsoyiannis.

یک راه حل برای رسیدن به یک پارچگی مورد نظر، استفاده از ساختار تحلیل داده‌های مکانی به عنوان زمینه‌ای برای ارتباط الگوها با یکدیگر است. از این‌رو، استفاده از یک سامانه فراگیر داده‌های جغرافیایی برای تصمیم‌گیری در بسیاری از موارد پیشنهاد استفاده شده است. برای نمونه، مایسیک[1] و همکاران (۲۰۰۰) الگوی مولینو[2] (MULINO-DSS) را برای رفع نیازهای سازمان‌ها در زمینه مدیریت آب در اروپا از شیوه یک‌پارچه‌سازی روش‌های الگوسازی با ملاحظات اقتصادی – اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه به کارگیری توانایی‌های سامانه داده‌های جغرافیایی (GIS)[3] و الگوی تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[4] ارائه کردند. ژانگ[5] و همکاران (۲۰۰۵) چارچوب سامانه تصمیم‌یار برپایه GIS در خصوص مدیریت منابع آبی در حوضه رودخانه فلین[6] را پیشنهاد کردند. این چارچوب دربر دارنده سامانه آب سطحی و زیرزمینی، پایگاه داده‌ها، واسط گرافیکی کاربردوست و برپایه GIS، ابزارها و توابع تحلیلی و الگوی ارزیابی می‌باشد. پالوتینو[7] و همکاران (۲۰۰۵) به ارائه سامانه تصمیم‌یار طرح پیشنهادی‌محور برای برنامه‌ریزی و مدیریت سامانه آبی تحت شرایط عدم قطعیت‌های مطالعات آب‌های زیرزمینی و اقلیمی پرداخته‌اند. آنها از طرح‌های مستقل مطالعات آب‌های زیرزمینی و ساختار داخلی تغییرات زمانی برای تصمیم‌سازی آماری به منظور به حداقل رساندن پیامدهای تصمیم‌های نادرست بهره جسته‌اند. در این شیوه، تعداد بسیار زیادی از داده‌های مکانی در فرایند تصمیم‌گیری وارد می‌شوند و سامانه های تصمیم‌یار الزاما باید ابزارهای GIS را به منظور افزایش توانایی‌های تحلیلی خود به کار گیرند. از سوی دیگر الگوهای رایانه‌ای، ابزارهای سریع و استانداردی برای ارزیابی داده های مکانی و معیارهای چندگانه که منافع ضد و نقیض ذی‌نفعان[8] و اثرات زیست‌محیطی را لحاظ می‌نمایند ـ ارائه می کنند. ضرورت داشتن یک سامانه تصمیم‌یار قدرتمند از آنجا روشن گردید که پیچیدگی‌های روزافزون فرایند تصمیم‌گیری که برگرفته از تناقضات، تنوع ذی نفعان و تغییرات مکانی مؤلفه‌ها بود، استفاده از آن را ناگزیر می‌کرد. ال زوبیا[9] و همکاران (۲۰۰۲) متغیرهای متعددی در رابطه با نوع محصولات کشاورزی، صنایع و اثرات تغییر اقلیم بر سامانه تصمیم‌یار تعریف نموده و سیاست‌های توسعه پایدار برای مدیریت منابع آب حوضه آبریز ازرق[10] واقع در اردن که دارای معیارهای طراحی متناقض بود را اولویت‌بندی کرده‌اند. چالش رایج در مدیریت منابع آب، شیوه ارزیابی و مقایسه طرح‌های پیشنهادی مختلف، بدون درنظر گرفتن هدف مدیریت است. در این مقاله سامانه تصمیم‌یار مکانی مبتنی بر تولید طرح پیشنهادی به منظور لحاظ‌نمودن منافع ذی‌نفعان و برآورده‌نمودن نیازهای حداقل سامانه‌های آبی در فرایند تصمیم‌گیری توسعه طرح‌های برق‌آبی تشریح می‌شود. هدف اصلی این سامانه تصمیم‌یار مکانی، برنامه‌ریزی و بازبینی جوانب طراحی پروژه‌های برق‌آبی بر اساس میزان منافع خالص آنها با لحاظ نمودن ملاحظات اجتماعی و زیست محیطی است. افزون بر آن، این سامانه توانایی دارد طرح‌های پیشنهادی را براساس معیارهای از پیش تعیین شده غربالگری کرده، الگوهای مختلف را ارزیابی نماید و شاخص‌های بهینه پروژه‌ها را تعیین کند. ایده تصمیم‌سازی با بهره‌گیری از سامانه داده‌های جغرافیایی توسط مالچفسکی[11] (۱۹۹۹) ارائه شد. پس از پیشنهاد وی، محصولات گوناگونی حاصل از ترکیب سامانه‌های داده‌های جغرافیایی و سامانه‌های تصمیم‌ساز ارائه شد. به عنوان یک نمونه از ترکیب سامانه داده‌های جغرافیایی و سامانه‌های تصمیم‌سازی به‌صورت یک محصول عملیاتی می‌توان به پیشنهاد الدراندالی[12] و همکاران (۲۰۰۵) اشاره نمود. کیسلر[13] و همکاران (۱۹۹۷) و چنگ[14] و همکاران (۲۰۰۸) کاربردهایی از سامانه تصمیم‌یار مکانی را برای مسائل زیست‌محیطی ارائه کردند. هم‌چنین هافاوی[15] (۲۰۰۸) با استفاده از تصمیم‌سازی مکانی به تشریح و حل مسائل آب و فاضلاب شهری پرداختند. روش کلی کار پژوهش انجام‌شده در دو بخش قابل جداسازی است که البته در ارتباط با یکدیگر ویژگی‌های محصول نهایی را تکمیل می‌کنند:

1. Mysiak.
2. Generic Decision Support System software.
3. Geographical Information System.
4. Multi Criteria Decision Making.
5. Zhang.
6. Flin.
7. Pallotino.
8. Stake Holder.
9. Al-Zubia.
10. Azraq.
11. Malczewski.
12. Eldrandaly.
13. Keisler.
14. Chang.
15. Hafawy.

۱. تدوین الگوی مفهومی برای تصمیم‌سازی چندمعیاره در مقیاس حوضه؛
۲. توسعه نرم افزاری یک سامانه تصمیم‌یار مکانی به عنوان بستری برای به کارگیری الگوهای پایه، میانی و نهایی تصمیم‌سازی در حوضه.

بر اساس دو بخش فوق نوآوری‌های پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱. ارائه چارچوبی نوین برای بهره‌گیری از رویکرد تصمیم‌سازی چندمعیاره در برنامه‌ریزی منابع آب حوضه؛
۲. ارائه سامانه‌ای کاربردوست با برخی ویژگی‌های خاص نرم افزاری (از بعد نرم افزاری).

تمرکز اصلی مقاله، افزون بر مرور ویژگی‌های زیربنایی الگوهای به کار گرفته‌شده، طرح و ضریب تصمیم‌سازی سامانه توسعه داده‌شده می‌باشد. این سامانه برای حوضه‌های آبریز رودخانه کرخه که شامل ۱۰ سد بزرگ، ۷ نیروگاه برق‌آبی و ۵۰ سامانه آبیاری که در مراحل مختلف مطالعه، ساخت و بهره‌برداری بودند مورد استفاده و اعتبارسنجی شده است. این سامانه‌ها، توابع زیادی دارد که به آن در شبیه‌سازی سامانه‌های آبی مختلف و کمی‌سازی شاخص‌های ملموس و غیرملموس کمک می‌کند. درنهایت الگوی MCDM مکانی طرح‌های پیشنهادی را بر پایه شاخص‌های مختلف ارزیابی می‌کند و نتایج را برای نواحی مورد نظر به تفکیک استان‌ها و یا پروژه‌های خاص جداگانه نشان می‌دهد.

روش‌شناسی

در الگوسازی ریاضی سامانه های منابع آب در سطح حوضه آبریز، دو نوع رویکرد یا روش اصلی ـ که البته کاملاً جدا از هم نیستند ـ یعنی شبیه‌سازی، به عنوان یک روش توصیفی و بهینه‌سازی، به عنوان یک روش تجویزی مطرح می‌باشند. مزیت روش‌های شبیه‌سازی، توانایی احتساب و الگوسازی جزئیات بیشتر از سامانه واقعی به لحاظ سرعت محاسباتی بسیار بالا که کمتر تحت محدودیت‌های ابعاد محاسباتی در الگوهایی با مقیاس بزرگ (با تعداد زیاد از مؤلفه‌ها) خواهند بود. با این وجود اشکال اصلی این روش، ناتوان بودن آن در رسیدن به بهترین گزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و طراحی سامانه و مؤلفه‌های آن است.

در مقابل الگوهای بهینه سازی که قطعاً در درون خود بایستی شامل الگوی شبیه‌ساز سامانه نیز باشند، در صورت تعریف و طراحی معادله صحیح مسئله، ظرفیت رسیدن به بهترین گزینه‌های بهره‌برداری و طراحی فراهم است. این روش از نظر نیاز به سرعت و حافظه رایانه ای، حتی با پیشرفت‌های اخیر رایانه‌ای، به شدت تحت محدودیت‌های محاسباتی می‌باشند. بنابراین در سامانه‌های شامل عناصر و مؤلفه‌های زیاد و یا به عبارتی سامانه ای با گستره مکانی و زمانی وسیع و با ارتباطات غیر خطی، روش‌های بهینه‌سازی امکان الگوسازی سامانه واقعی را با احتساب جزئیات و عناصر مکانی و زمانی کافی ندارند. یک راه حل حد واسط، استفاده ترکیبی روش شبیه‌سازی در شمای تمامیت الگو، در حالی که در آن بهینه‌سازی به‌صورت کمکی و در حل مسئله تخصیص آب در هر گام زمانی به خدمت گرفته می‌شود، است؛ به عبارت دیگر این الگو، یک الگوی شبیه‌سازی با جزئیات کامل است که در هر گام زمانی آن، یک الگوی بهینه‌سازی تک‌زمانه در تخصیص منابع به مصارف استفاده می‌شود. این روش بدین معنی است که یک‌پارچگی مکانی تحلیل به‌طور کامل لحاظ می‌گردد، اما در یک‌پارچگی زمانی مسامحه شده و به جای احتساب کل افق زمانی معرف (به لحاظ مطالعات آبهای زیر زمینی)، بهینه‌سازی به شکل تکراری و برای نمونه در یک الگو با گام زمانی ماهانه، ماه به ماه انجام می‌شود؛ به عبارت دیگر در یک الگوی ماهانه با افق ۵۰ ساله، ۶۰۰ الگوی بهینه‌سازی یک‌پارچه به لحاظ مکانی و منفرد به لحاظ زمانی، که ارتباط آنها از طریق شرایط مرزی برقرار می‌شود (نتایج متغیرها در انتهای هر گام زمانی، مقادیر معلوم اولیه برای گام زمانی بعد می‌باشند)، اجرا می‌شود. بایستی خاطرنشان کرد که اگرچه این روش تا حد زیادی از مشکلات و گستره محاسبات خواهد کاست، اما همچنان آن‌قدر حجیم، بزرگ و زمان‌بر خواهد بود که استفاده از همان الگوهای بهینه‌سازی تک‌زمانه را نیز محدود به الگوها و الگوریتم‌های بسیار سریع از نوع برنامه‌ریزی خطی شبکه جریان می‌نماید. قابل یادآوری است، این محدودیت استفاده از الگوهای بهینه‌سازی خطی به معنای ناتوان‌بودن آنها در تحلیل فرایندها و روابط غیر خطی نظیر معادله‌سازی محاسبات نیروگاه‌های برق‌آبی نیست. خوشبختانه این روش‌ها آنقدر سریع هستند که می‌توانند به‌صورت تکراری و در قبال افزودن برخی بازوهای اضافی، معادلات غیرخطی مربوط به تلفات تبخیر و نیز روابط برق‌آبی را نیز در نظر گرفته و حل کنند.

در سامانه تصمیم‌یار مکانی حوضه کرخه (KSDSS)،[1] افزون

1. Karkheh Spatial Decision Support System.

بر الگوهای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها بر اساس آنچه در جدول (۱) نشان داده شده است، برای دستیابی به یک سامانه پویا و یک‌پارچه منابع آب در قالب سامانه داده‌های جغرافیایی توسعه داده شده است. (مهاب‌قدس، ۱۳۸۸) ترکیب این الگوها با سامانه داده‌های جغرافیایی توانایی مجموعه آنها را افزایش داده است. این سامانه یک بسته نرم‌افزاری سازمانی است که توانایی نصب تحت شبکه و استفاده کاربران با سطوح مختلف دسترسی را دارد. برخلاف سامانه‌های موجود، این نرم‌افزار مبتنی بر سامانه داده‌های جغرافیایی که متکی بر نرم‌افزارهای مکانی موجود توسعه یافته‌اند، به لحاظ نرم‌افزاری مستقل بوده و محیط GIS و ابزارهای مورد نیاز را به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی همراه با خود دارد.

جدول (۱): مؤلفه‌های سامانه (KSDSS)

مؤلفه اصلی	ویژگی‌ها
پایگاه داده	سامانه داده‌های جغرافیایی با توانایی ذخیره و بازخوانی داده‌های مکانی و توصیفی
پایگاه الگو ـ الگوهای پایه	الگوی شبیه‌سازی منابع و مصارف آب با توانایی تخصیص بر مبنای اولویت‌دهی به نیازهای گوناگون از منابع سطحی و زیر زمینی
	الگوی انرژی و آب با توانایی تعیین انرژی پایه و اوج مصرف
	الگوی بهینه‌سازی با توانایی بهینه‌سازی متغیرها به‌صورت سامانه‌ای در کل حوضه
پایگاه الگو ـ الگوهای میانی	الگوی ارزیابی اقتصادی با تاکید بر اقتصاد کشاورزی و برق‌آبی
	الگوی ارزیابی کیفی آب با تاکید بر عامل شوری
پایگاه الگو ـ الگوی تصمیم‌سازی	الگوی تصمیم‌سازی چندمعیاره مکانی با توانایی درنظر گرفتن معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی
رابط کاربر	محیط یک‌پارچه نمایش ضریب‌ها، داده‌ها و گزارش‌ها

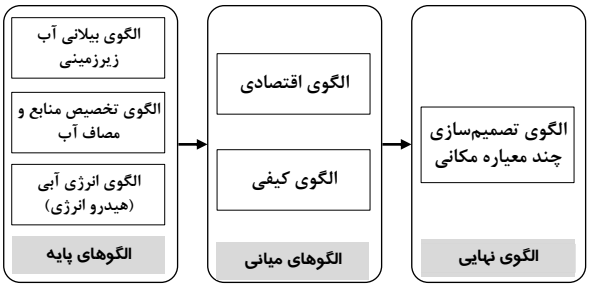
رابط کاربر سامانه به‌گونه‌ای طراحی شده است که از یک‌سو تمام ابزارها، فهرست‌ها و پنجره‌های مورد نیاز کاربر، در اختیار وی بوده و برای دسترسی به اجزای مختلف سامانه نیازی به خروج از صفحه اصلی نرم‌افزار نمی‌باشد و از سوی دیگر با استفاده از فناوری پنجره‌های شناور در سامانه از تداخل کنترل جلوگیری شده و بستر مناسبی برای کار با هریک از پنجره‌ها فراهم شده است.

الگوهای مختلفی در سامانه (KSDSS) پیش‌بینی شده است که بر اساس نتایج الگوی شبیه‌سازی، منابع و مصارف آب اجرا می‌شوند به‌عبارت دیگر همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، نتایج الگوهای پایه سامانه به عنوان ورودی الگوهای میانی و در نهایت، ورودی الگوی تصمیم‌سازی چندمعیاره خواهند بود.

تفاوت اصلی سامانه توسعه داده‌شده با سامانه‌های رایج و عمومی برنامه‌ریزی منابع آب مانند سامانه برنامه ریزی و ارزیابی آب (WEAP)[1] و سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری و الگوی شبکه حوضه رودخانه (MODSIM)[2] صرف‌نظر از جزئیات در دو مورد اصلی خلاصه می‌شود:

۱. تمرکز بر تصمیم‌سازی با تاکید بر اولویت‌بندی و غربالگری طرح‌های پیشنهادی؛

۲. بهره‌گیری کامل از سامانه داده‌های جغرافیایی و پایگاه اطلاعات مکانی.



شکل (۱): ارتباط الگوهای مختلف در سامانه KSDSS

الف) واحد (مدول)[3] شبیه‌سازی منابع و مصارف آب

الگوی شبیه‌سازی منابع و مصارف به‌عنوان هسته سامانه تصمیم‌یار کرخه از اهمیت بسیاری برخوردار است. الگوی شبیه‌سازی منابع آب مورد استفاده در حوضه آبریز، الگوی شبیه‌سازی MODISM می‌باشد. الگوی مورد استفاده، توانایی تخصیص منابع آب به اولویت‌های مختلف را دارد. الگوی MODISM ابتدا در سال ۱۹۷۸میلادی در دانشگاه ایالت کلرادو طراحی گردید و بر همین اساس تنها الگوی مدیریت حوضه رودخانه است که به‌طور مداوم و برای چنین مدت مدیدی تحت توسعه قرار گرفته است. (لابادیه ۲۰۰۷؛ روجر، ۲۰۰۷)[4] MODISM یک الگوی شبیه‌سازی برای مدیریت حوضه رودخانه است که برای برنامه‌ریزی بلندمدت، مدیریت

1. The Water Evaluation and Planning System.
2. The River Basin Decision Support System and Network Model.
3. Modul.
4. Labadie and Roger.

میان‌مدت و بهره‌برداری کوتاه‌مدت طراحی گردیده و قابل دسترسی و استفاده بر روی رایانه‌های شخصی (تحت سامانه عامل مایکروسافت مانند ویندوزهای XP و ۲۰۰۰) است.

نرم افزار MODSIM جریان را با استفاده از مؤلفه‌های تأخیر، روندیابی نموده و در این محاسبات کوچک‌ترین گام زمانی که می‌تواند بر مبنای آن شبیه‌سازی کند، روزانه است. برای الگوسازی اندرکنش آب زیرزمینی و رودخانه از الگوی گلوور[1] استفاده می‌کند که در آن سفره آب زیرزمینی به‌صورت آزاد فرض می‌گردد. قاعده بهره‌برداری از مخازن با ملاحظه مواردی از قبیل ذخیره‌های مورد نیاز برای اهداف بهره‌برداری نظیر، کشاورزی، برق‌آبی، رها کردن آب جهت نیاز زیست‌محیط، تبخیر و تراوش الگو می‌شود. این نرم‌افزار، الگوسازی کیفی آب را انجام نمی‌دهد؛ ولی تا به‌حال در مواردی با الگوهای کیفی تلفیق گردیده تا مسائل کیفی در سطح حوضه آبریز را حل نماید. برای تخمین میزان تقاضای کاربری‌های آب روش خاصی ندارد، اما می‌تواند انواع تقاضاهای آب، حقابه‌ها و تبادل‌های بین آنها را لحاظ نماید. برای تخصیص آب از یک الگوریتم حل شبکه جریان با دنباله هم‌گرای تکراری برای آب برگشتی و منطق مشاهداتی استفاده می‌نماید. شاید این مهمترین خاصیت این نرم‌افزار باشد؛ به عبارت دیگر MODSIM یک الگوی بهینه سازی شبکه جریان است که البته برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود. بهینه سازی به کمک اولویت‌بندی مخازن انجام می‌شود به‌طوری که می‌توان توزیع ذخیره سامانه را کنترل نمود.

ب) واحد بهینه‌سازی

واحد بهینه‌سازی مورد استفاده در سامانه، بر اساس روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان است. ایده اصلی در این شیوه بهینه‌سازی بر اساس رفتار مورچگان در دستیابی به مسیر بهینه برای یافتن غذا شکل گرفته است. الگوریتم اولیه این الگو توسط کلرنی[2] و همکاران (۱۹۹۱) و دوریگو و همکاران (۱۹۹۱)[3] ارائه شد. نسخه‌های توسعه‌یافته این الگو نیز توسط مارتینز[4] و همکاران (۲۰۰۷) و دوریگو و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شده است.

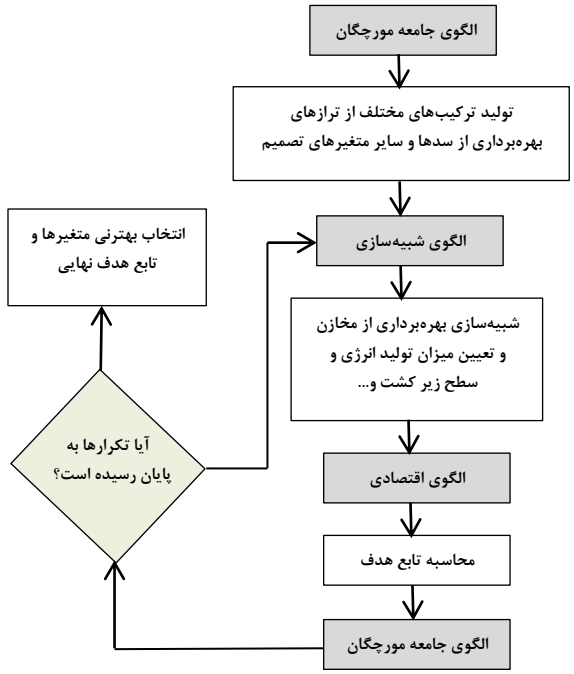
تابع هدف درنظر گرفته شده در این الگو بهینه‌سازی، حداکثری کردن سود خالص کل سامانه با درنظر گرفتن جریمه، در صورت عدول از محدودیت‌های لحاظ‌شده در توسعه منابع آب و انرژی سامانه کرخه می‌باشد. واحد بهینه‌سازی ارائه شده در سامانه تصمیم‌یار در واقع، متشکل از ۳ الگوی اصلی می‌باشد:

۱. الگوی بهینه‌سازی جامعه مورچگان؛

۲. الگوی شبیه‌سازی بهره برداری از مخازن؛

۳. الگوی ارزیابی اقتصادی.

ارتباط بین این سه الگوی در شکل (۲) ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص شده است، این پودمان به‌صورت تکرارهای پیاپی عمل می‌کند؛ بدین شکل که در ابتدای تکرار اول، مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم (مانند ترازهای بهره برداری از مخزن و ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های برق‌آبی) تولید می‌شود. بعد از آن با استفاده از الگوی شبیه‌سازی مخازن، نتایج الگوی بهره‌برداری در الگوی ارزیابی اقتصادی قرار داده می‌شود تا سود خالص کل سامانه به‌دست آید. این فرایند تا جایی تکرار می‌شود که بهینه‌ترین حالت برای سامانه شامل ترازهای بهره‌برداری، ظرفیت‌های نصب و اراضی زیر کشت حاصل شود. در نهایت، تابع هدف برای کل سامانه ارائه می‌شود و مقادیر بهینه مؤلفه‌های طراحی حاصل می‌گردد.



شکل (۲): ارتباط الگوهای مختلف در سامانه KSDSS

جایگاه الگوی بهینه‌سازی ارائه‌شده تعیین مؤلفه‌های بهینه اقتصادی در تمام حوضه است که به عنوان یک طرح

1. Glover.
2. Colorni.
3. Dorigo.
4. Martens.

پیشنهادی پایه در سامانه تصمیم‌یار مورد استفاده قرار می‌گیرد و مبنایی برای سنجش سایر طرح‌هایی است که می‌توانند از این مؤلفه‌های بهینه بهره جویند، اما با معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مورد مقایسه قرار گیرند.

ج) واحد تصمیم‌سازی چندمعیاره

تصمیم‌سازی چندمعیاره، لحاظ‌نمودن گزینه‌های مختلف در کنار معیارهای مختلف است. تفاوت اصلی تصمیم‌سازی چندمعیاره درنظر گرفته‌شده در این سامانه با روش‌های سنتی چندمعیاره این است که بعد مکان در واحد تصمیم‌سازی لحاظ شده و تفاوت ارزش و وزن شاخص‌ها در هر یک از معیارها با مکان، متغیر درنظر گرفته شده است. (شکل ۳) از این رو گام‌های درنظر گرفته‌شده برای این واحد عبارتند از:

گام اول: محاسبه شاخص‌ها برای همه سلول‌ها

در این گام، شاخص‌ها به عنوان تابعی از طرح در هر سلول به‌صورت آرایه[1] زیر محاسبه می‌شود:

$$P(A_j)=\begin{bmatrix} p_1^1(A_j) & \dots & p_1^K(A_j) \\ \vdots & & \vdots \\ p_M^1(A_j) & & p_M^K(A_j) \end{bmatrix}_{M\times K}$$

گام دوم: وزن‌دهی شاخص‌ها

در این گام، آرایه زیر که در مرحله پیش محاسبه شد، به ۸ آرایه تبدیل می‌شود که هر آرایه از ضرب وزن‌های خاص در مؤلفه‌ها به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P(A_j)=\begin{bmatrix} p_1^1(A_j) & \dots & p_1^K(A_j) \\ \vdots & & \vdots \\ p_M^1(A_j) & & p_M^K(A_j) \end{bmatrix}_{M\times K}$$

$$P^{ov}(A_j)=\begin{bmatrix} w^{ov1}p_1^1(A_j) & \dots & w^{ovK}p_1^K(A_j) \\ \vdots & & \vdots \\ w^{ov1}p_M^1(A_j) & & w^{ovK}p_M^K(A_j) \end{bmatrix}_{M\times K}$$

شایسته یادآوری است که در آرایهٔ فوق، مجموع وزن‌های هر سطر باید برابر با ۱ باشد. وزن‌ها در هر ستون با هم برابرند.

در روابط فوق:

w^{ov} = وزن هر سلول

$p_m^k(A_j)$ = مقادیر شاخص برای هر سلول

گام سوم: ترکیب نتایج و اولویت‌بندی

در این مرحله ستون‌های آرایه، $P^{ov}(A_j)$ به‌صورت رابطه زیر با هم تجمیع می‌شود:

$$S^{ov}(A_j)=\left[\sum_l^M w_l^{ov1}p_l^1(A_j) \quad \dots \quad \sum_l^M w_l^{ovK}p_l^K(A_j)\right]$$

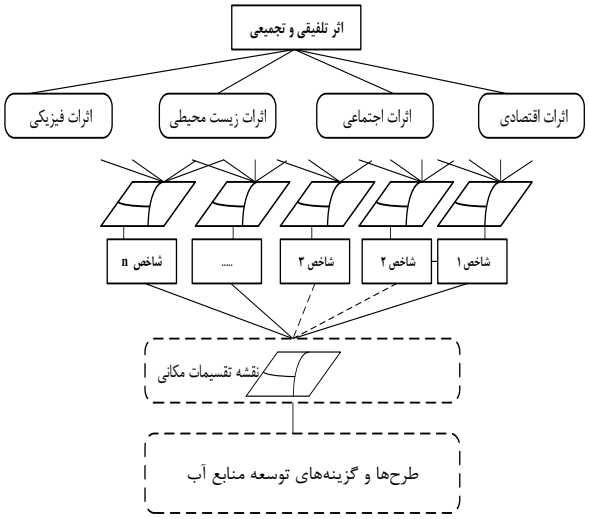
روش وزن‌دهی در این سامانه تصمیم‌سازی چندمعیاره، روش سلسله‌مراتبی (AHP)[2] می‌باشد. این روش از متداول‌ترین ساختارهای طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری است؛ زیرا امکان تجزیه مسائل پیچیده را به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند. فرایند مورد استفاده در روش سلسله مراتبی، امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها در قالب ساختار طراحی‌شده را دارد. بر اساس ساختار درنظر گرفته‌شده برای تحلیل تصمیم، ساختار سلسله مراتبی همخوانی خوبی با نیازهای الگو دارد.

گام چهارم: تولید نقشه

هم‌چنین با وزن‌دهی می‌توان بردارها را نیز با هم جمع نمود و یک نقشه به تفکیک سلول‌ها برای کل طرح، بر اساس بردار زیر ترسیم کرد:

$$\bar{S}(A_j)=\left[\sum_v^4\sum_{o=1}^2\sum_l^M w_l^{ov1}p_l^1(A_j) \quad \dots \quad \sum_v^4\sum_{o=1}^2\sum_l^M w_l^{ovK}p_l^K(A_j)\right]$$

برای بهره‌گیری از سامانه تصمیم‌سازی چندمعیاره و با توجه به ساختار درنظر گرفته‌شده برای آن، در هر مرحله از امتیازدهی به گزینه‌ها و از نقطه‌نظر دیدگاه‌های مختلف، نشانگرهای مختلفی درنظر گرفته شده است.



شکل (۳): ساختار تصمیم‌سازی درنظر گرفته شده برای تحلیل چندمعیاره سامانه KSDSS

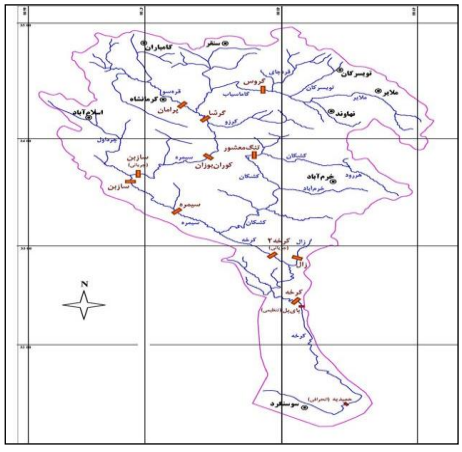
1. Matrix.

2. The Analytic Hierarchy process.

ویژگی‌های حوضه آبریز کرخه

حوضه آبریز کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد و به لحاظ تقسیم‌بندی کلی مطالعه آب‌های زیرزمینی ایران جزئی از حوضه آبریز خلیج فارس به شمار می‌رود. این حوضه از شمال به حوضه رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره‌چای، از غرب به حوضه رودخانه‌های مرزی ایران و عراق، از شرق به حوضه رودخانه دز و از جنوب به قسمتی از مرز غربی کشور محدود می‌گردد. در سیمای توسعه حوضه آبریز کرخه، سدهای متعددی با هدف اصلی برق‌آبی یا کشاورزی و هم‌چنین سامانه‌های انتقال آب از حوضه مجاور تعریف شده است، به گونه‌ای که اکنون افزون بر سد بزرگ کرخه، طرح سیمره در بالادست آن در دست اجرا بوده و طرح‌های سازبن(مخزنی و جریانی)، کوران بوزان، گرشا، تنگ معشوره و بیش از ۲۰ سد مخزنی یا انحرافی کوچک در دست مطالعه می‌باشند. افزون بر طرح‌های پیش‌گفته، طرح پیشنهادی انتقال آب سیروان به کرخه نیز باعث پیچیده‌شدن سامانه از نظر نحوه علاج بخشی و بازنگری طرح‌های در دست مطالعه خواهد بود. درشکل (۴) پیکره‌بندی حوضه آبریز رودخانه کرخه نشان داده شده است.

تعیین اولویت‌بندی و زمان‌بندی اجرای طرح‌ها بر اساس بودجه تخصیصی به حوضه در برنامه‌های کلان توسعه، شاخص‌های اقتصادی توسعه در گزینه‌های مختلف اجرای طرح‌های مطالعاتی، زمان‌بندی و طول دوره ساخت، مسائل اجتماعی و سیاسی ازجمله اهداف طرح‌های جاری در داخل حوضه آبریز کرخه می‌باشد. در این مطالعه موردی، دو کاربرد مهم از سامانه توسعه‌یافته در خصوص بهینه‌سازی ابعاد و ظرفیت نیروگاه‌های برق‌آبی و اولویت‌بندی گزینه‌های مختلف احداث آنها ارائه و مرور می‌شود.



شکل (۴): پیکره‌بندی حوضه آبریز رودخانه کرخه

نتایج

نمونه‌ای از نتایج به‌کارگیری سامانه توسعه داده‌شده با تاکید بر سه واحد شبیه‌سازی منابع و مصارف، بهینه‌سازی کل سامانه و اولویت‌بندی طرح‌ها در این بخش ارائه می‌شود.

الف) کاربرد الگوی شبیه ساز

شبیه‌سازی مخازن به‌صورت یک‌پارچه و در تمام حوضه با لحاظ کلیه منابع و مصارف و البته اتصال بین آنها توسط سامانه، انجام‌شدنی است. این شبیه‌سازی ضمن اینکه به تنهایی داده‌های مناسبی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد، به عنوان پایه محاسبات و جمع‌بندی‌ها در سایر واحدها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان‌گونه که در مرور واحد بهینه‌سازی اشاره شد، این الگو به عنوان یکی از سه الگوی مورد استفاده در واحد بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

هم‌چنین اساس تحلیل‌های تصمیم چندمعیاره بر پایه طرح پیشنهادی و گزینه‌هایی است که ارزیابی منابع و مصارف آنها در قالب واحد شبیه‌سازی سامانه انجام می‌پذیرد. از دیگر توانایی‌های مهم واحد شبیه سازی، ارائه هشدار برای نقاط کنترلی است که معیارهای طراحی (مانند اطمینان‌پذیری تامین یا میزان تولید انرژی) در آنها رعایت نشده و این مورد بعد از اجرای واحد شبیه‌سازی مشخص می‌شود. بدین ترتیب کاربر توانایی این را دارد که با تغییر ویژگی‌های این نقاط و اجرای دوباره شبیه‌سازی، طرح و گزینه بهتری را تولید نماید.

ب) کاربرد الگوی بهینه‌سازی

واحد بهینه‌سازی همان‌گونه که در بخش ۳-۲ ارائه شد، برای بهینه‌سازی عوامل مختلف طراحی در تمام حوضه به کار گرفته شد. به عنوان یک نمونه از نتایج بهره‌گیری از این واحد، تغییرات به‌دست آمده از طراحی‌ها در شرایط استفاده از این واحد و در حالت بهره‌گیری از تنها رویکرد تک‌سدی در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌گونه که در مؤلفه‌های مختلف می‌توان دید، برای تمام سامانه می‌توان انتظار افزایش مجموع سود خالص کل حوضه را در صورت نگاه یک‌پارچه و بهینه داشت.

جدول (۲): نتایج الگوی بهینه‌سازی

	سدهای بزرگ و نیروگاه‌های برق‌آبی	گرشا	کوران بوزان	سازبن (مخزنی)	سیمره	تنگ معشوره	کرخه جریانی	کرخه	مجموع
مطالعات یک‌پارچه	NWL	۱۲۳۸	۱۰۵۰	۸۵۵	۷۲۰	۱۳۶۲	۳۹۰	۲۲۰	-
	MOL	۱۲۱۱	۱۰۲۷	۸۲۱	۷۰۵	۱۳۵۰	۳۸۲	۱۶۰	-
	حجم فعال (م.م.م)	۵۷۱	۸۴۰	۱۰۸۴	۸۱۰	۲۲۲	۱۱۰	۴۴۱۹	۸۰۵۶
	ظرفیت نصب نیروگاه (مگا وات)	۲۳۲	۱۹۲	۳۰۸	۴۸۰	۴۹	۲۷۱	۴۰۰	۱۹۳۲
	سطح زیر کشت (هکتار)	–	–	–	–	۲۵/۳	–	۲۰۶/۶	۲۲۹
	منفعت خالص (میلیون دلار)	۷/۹۵	۵/۹	۲۴/۲	-۷/۲	-۱/۷۷	۳۵/۱۶	-۵۵/۴	۸/۸۵
مطالعات تک‌سدی	NWL	۱۲۳۵	۱۰۵۱	۸۵۶	۷۲۰	۱۳۶۲	۳۹۰	۲۲۰	–
	MOL	۱۲۱۲	۱۰۴۵	۸۴۷	۷۰۵	۱۳۵۰	۳۸۴	۱۶۰	–
	حجم فعال (م.م.م)	۴۵۸	۲۳۶	۳۷۰	۸۱۰	۲۱۴	۹۰	۴۴۱۹	۴۵۸
	ظرفیت نصب ـ نیروگاه (مگا وات)	۲۲۶	۱۹۸	۳۱۱	۴۸۰	۴۹	۲۵۵	۴۰۰	۲۲۶
	سطح زیر کشت (هکتار)	–	–	–	–	۲۵/۳	–	۱۸۶/۹	–
	منفعت خالص (میلیون دلار)	۸/۳	۶/۳۸	۲۴/۳۷	-۸/۷	-۱/۷۵	۳۴/۱	-۶۴/۱۵	۸/۳

د) کاربرد واحد تصمیم‌سازی چند معیاره

به عنوان یک نمونه از کاربرد واحد تصمیم‌سازی چندمعیاره، گزینه‌های مختلف متصور برای احداث سد برق‌آبی سازبن درنظر گرفته شده است. همان‌گونه که در جدول (۳) مشخص است، برای طراحی سد سازبن، ۷ گزینه را می‌توان درنظر گرفت که بر اساس جریانی یا مخزنی بودن آن و احداث یا عدم احداث سدهای مجاور تعیین شده‌اند.

جدول (۳): گزینه‌های مورد بررسی

۱	وجود سد سازبن جریانی در شرایط وجود سدهای گرشا و کوران بوزان
۲	وجود سد سازبن جریانی در شرایط وجود سد گرشا
۳	وجود سد سازبن جریانی در شرایط وجود سد کوران بوزان
۴	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط وجود سدهای گرشا و کوران بوزان
۵	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط وجود سد گرشا
۶	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط وجود سد کوران بوزان
۷	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط عدم وجود سدهای گرشا و کوران بوزان

در این بررسی در مجموع ۷ شاخص اصلی تحت عنوان شاخص‌های سطح اول و ۲۰ شاخص تحت عنوان شاخص‌های سطح دو در نظر قرار گرفت که فهرست این شاخص‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): شاخص‌های سطح ۱ و سطح ۲ مورد استفاده در تصمیم‌گیری

شاخص‌های سطح اول	شاخص‌های سطح دوم
تمایلات منطقه‌ای	میزان همراهی خسارت دیدگان با طرح
	میزان همراهی ذی‌نفعان دولتی با طرح
توجیه‌پذیری فنی و ساخت‌پذیری	فناوری ساخت
	قطعیت در مؤلفه طراحی
	تأمین موارد و مصالح ساختمانی مورد نیاز
	میزان پیشرفت زیرساخت‌های اولیه
امکان‌پذیری الگوی توسعه	وابستگی به ساختگاه‌های بالادست
	طول مدت اجرا و آبگیری
توجیه‌پذیری منابع آب	خسارت سیلاب در پایین‌دست
	تولید انرژی اوج مصرف
	سطح قابل کشت در پایین‌دست
	مدیریت خشکسالی
توجیه‌پذیری اقتصادی	سود خالص سالانه
	سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز
توجیه‌پذیری اجتماعی	تعداد خانوار سودبر در محدوده طرح
	تعداد خانوار نیازمند جابه‌جایی و اسکان مجدد
	وجود آثار تاریخی و میراث فرهنگی
	وجود توانایی‌های منطقه‌ای برای جبران خسارات وارده
توجیه‌پذیری زیست محیطی	ظرفیت تغذیه‌گرایی
	تغییرات دما و شوری خروجی از سدها

ارزش شاخص‌های مختلف مذکور در جدول (۴) توسط سامانه محاسبه شده است. شایسته یادآوری است که این شاخص‌ها هم از نوع کمی و هم توصیفی بوده‌اند که در هر دو حالت، ارزش شاخص‌ها بین اعداد ۱ تا ۱۰ استاندارد شده است به‌گونه‌ای که بیشترین عدد نشان‌دهنده وضعیت بهتر آن گزینه است؛ عدد ۱۰ برای هر شاخص نشان می‌دهد که آن گزینه از دید آن شاخص، نسبت به سایر گزینه‌ها برتری نسبی دارد. وزن دهی شاخص‌ها طی فرایند تصمیم‌گیری گروهی صورت پذیرفت. پس از نظرخواهی از تمام کارشناسان وزن‌های نهایی به‌صورت ارائه‌شده در جدول (۵) به‌دست آمد.

جدول (۵): وزن‌های درنظر گرفته شده برای شاخص‌ها

شاخص‌های سطح اول	وزن	شاخص‌های سطح دوم	وزن
تمایلات منطقه‌ای	۱۷/۵	میزان همراهی خسارت‌دیدگان با طرح	۵۶/۸
		میزان همراهی ذی‌نفعان دولتی با طرح	۴۳/۲
توجیه‌پذیری فنی و ساخت‌پذیری	۱۳/۴	فناوری ساخت	۱۱/۳
		قطعیت در مؤلفه‌های طراحی	۶۴/۵
		تأمین موارد و مصالح ساختمانی مورد نیاز	۵/۲
		میزان پیشرفت زیر ساخت‌های اولیه	۱۹/۰
امکان‌پذیری الگوی توسعه	۱۳/۵	وابستگی به ساختگاه‌های بالادست	۸۱/۲
		طول مدت اجرا و آبگیری	۱۸/۸
توجیه‌پذیری منابع آب	۱۵/۱	خسارت سیلاب در پایین دست	۴/۵
		تولید انرژی اوج مصرف	۴۰/۸
		سطح قابل کشت در پایین‌دست	۳۷/۶
		مدیریت خشک‌سالی	۱۶/۲
توجیه‌پذیری اقتصادی	۱۴/۶	سود خالص سالانه	۳۵/۵
		سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز	۶۴/۵
توجیه‌پذیری اجتماعی	۱۴/۷	تعداد خانوار سودبر در محدوده طرح	۳۰/۲
		تعداد خانوار نیازمند جابه‌جایی و اسکان مجدد	۲۶/۴
		وجود آثار تاریخی و میراث فرهنگی	۲۴/۵
		وجود توانایی‌های منطقه‌ای برای جبران خسارات وارده	۱۸/۸
توجیه‌پذیری زیست محیطی	۱۱/۲	ظرفیت تغذیه‌گرایی	۴۹/۲
		تغییرات دما و شوری خروجی از سدها	۵۰/۸

درنهایت نتیجه نهایی امتیازهای هر گزینه و اولویت آنها در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): نتایج حاصل از دو روش تحلیل سلسله مراتبی و روش اولویت بندی براساس راه حل ایدئال (TOPSIS)[1]

شماره	گزینه‌ها	امتیاز حاصل از روش سلسله مراتبی	اولویت
۱	وجود سد سازبن جریانی در شرایط وجود هر دو سد گرشا و کوران بوزان	۵/۴	۷
۲	وجود سد سازبن جریانی در شرایط وجود سد گرشا	۶/۰	۶
۳	وجود سد سازبن جریانی در شرایط وجود سد کوران بوزان	۶/۴	۵
۴	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط وجود هر دو سد گرشا و کوران بوزان	۶/۶	۴
۵	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط وجود سد گرشا	۷/۱	۳
۶	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط وجود سد کوران بوزان	۷/۳	۲
۷	وجود سد سازبن مخزنی در شرایط عدم وجود سدهای گرشا و کوران بوزان	۸/۲	۱

1. The technique for order of preference by similary to ideal solution.

نتیجه‌گیری

در این مقاله ویژگی‌های سامانه تصمیم‌یار مکانی حوضه کرخه ارائه شد. از آنجایی که مدیریت یک‌پارچه منابع آب یکی از رویکردهای اصلی در دستیابی به پایداری در حوضه آبریز کرخه می‌باشد، در توسعه این سامانه توانایی‌های سامانه برای یاری‌رسانی و همسویی با این رویکرد متمایل شده است. از اهداف اصلی سامانه تصمیم یار مکانی کرخه، ذخیره‌سازی و بازیافت داده‌های مکانی و توصیفی به شکل بانک اطلاعاتی و نقشه‌هایی در قالب سامانه داده‌های جغرافیایی بوده است. با توجه به اینکه این سامانه در بستر سامانه داده‌های جغرافیایی توسعه داده شده است، به خوبی از عهده این عملکرد بر آمده است. با توجه به اینکه یکی دیگر از اهداف اصلی این سامانه امکان مدیریت منعطف سامانه‌های برق‌آبی در کل حوضه کرخه بوده است، بنابراین تلاش گردیده الگوهای توسعه داده‌شده در این سامانه هرچه بیشتر با واقعیت حوضه همخوان باشند. سه واحد توسعه داده‌شده در این سامانه یعنی واحدهای شبیه‌سازی منابع و مصارف، واحد بهینه‌سازی و واحد تصمیم‌سازی چندمعیاره در این سامانه به همراه نتایج کاربرد آنها در حوضه کرخه تشریح شد. غربالگری طرح‌ها و گزینه‌های مطرح در توسعه و مدیریت منابع آب یکی از ویژگی‌های سامانه KSDSS می‌باشد. این گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف فیزیکی، اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی ارزیابی شد و اولویت‌های تصمیم‌گیری برای طراحی سازبن به عنوان مؤلفه‌ای تأثیرگذار و تأثیرپذیر در حوضه تعیین گردید

برای ادامه پژوهش، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. اضافه نمودن واحد الگوسازی اجتماعی به سامانه؛

۲. امکان اجرای الگوی عددی برای توسعه آب زیر زمینی؛

۳. بهره‌گیری از دیگر شیوه‌های تصمیم‌سازی؛ مانند: برنامه‌ریزی شبکه‌ای برای تصمیم‌سازی چندمعیاره

مراجع

۱. شرکت مهندسی مهاب‌قدس، ۱۳۸۸، گزارش‌های مطالعات سامانه کرخه، کارفرما: شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.

2. Al-Zu' bia, Y., Shatanawib, M., Al-Jayoussic, O., & Al-Kharabshehd, A., 2002, Application of Decision Support System for Sustainable Management of Water Resources in the Azraq Basin-Jordan. Water International, 27(4), 532-541. DOI:10.1080/02508060208687040.
3. Chang, N.B., Parvathinathan, G., and Breeden, J.B., 2008, "Combining GIS with fuzzy multi criteria decision making for landfill siting in a fast-growing urban region." J. Environmental Management., 87(5), 139–153.
4. Colorni, A., Dorigo, M., & Maniezzo, V., 1991, Distributed optimization by ant colonies. Proceedings of ECAL'91, European Conference on Artificial Life, Amsterdam, the Netherlands, Elsevier Publishing, 134-142.
5. Dorigo, M., Blum, C., Birattari, M., Clerc, M., & Stützle, T., 2008, An Ant Colony Classification Algorithm to Cope with Continuous Attributes. Proceedings of the 6th International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence (ANTS 2008), Brussels, Belgium.
6. Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A., 1991, The ant system: an autocatalytic optimizing process (Technical Report TR91-016). Politecnico di Milano.
7. Eldrandaly, K. Eldin, N., Sui1, D., Shouman, M., and Nawara, G., 2005, Integrating GIS and MCDM Using COM Technology, The International Arab Journal of Information Technology, 2(2)
8. Halfawy, M. R., Dridi, L., and Baker, S., 2008, "Integrated Decision Support System for Optimal Renewal Planning of Sewer Networks." J. Computing in Civil Engineering, ASCE., 22(6), 360-372.
9. Keisler, J. M., and R. C. Sundell, 1997, Combining multi-attribute utility and geographical information for boundary decisions: an application to park planning, Journal of Geographical information and decision analysis, 1(2); 110-123.
10. Koutsoyiannis, D., Karavokiris, G., Efstratiadis, A., Mamassis, N., Koukouvinos, A. & Christofides A., 2003, A decision support system for the management of the water resource system of Athens. Physics and Chemistry of the Earth, 28 (14-15), 599–609. doi:10.1016/S1474-7065(03)00106-2.
11. Labadie, J. W., & Roger, L., 2007, MODSIM 8.1: River Basin Management Decision Support System, User Manual and Documentation. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University.

12. Malczewski J., 1999, GIS and Multi-Criteria Decision Analysis, New York, John Wiley & Sons
13. Martens, D., Backer, M. D., Haesen, R., Vanthienen, J., Snoeck, M., & Baesens, B., 2007, Classification with Ant Colony Optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 11(Nb. 5), 651-665.
14. Mysiak, J., Giupponi, C., & Fassio, A., 2000, Decision Support for Water Resource.
15. Management: An Application Example of the MULINO DSS. Integrated Assessment and zecision Support, Proceedings of the 1st Biennial M eeting of the IEMSs.
16. Pallottino, S., Sechi, G. M., & Zuddas, P., 2005, A DSS for Water Resources Management under Uncertainty by scenario analysis. Journal of Environmental Modeling & Software, Elsevier Science Publishers B. V., 20(8), 1031–1042.
17. Thiessen, E. M., & Loucks, D. P., 1992, Computer assisted negotiation of multi objective water resources conflicts. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 28(1), 163-177.
18. Zhang, Y., Hawkins, D., Zheng, W., & Wen, M., 2005, The Framework of GIS-based Decision Support Systems (DSS) for Water Resources Management at the Flint River Basin. Proceedings of Georgia Water Resources Conference, Athens, Georgia.