اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۸۶۳-۸۴۹

طراحی سامانهٔ پشتیبان تصمیم مبتنی بر شبکه، به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت آب در حوضهٔ آبخیز بنکوه

احسان الوندی[۱]، امیر سعدالدین[۲*]، واحدبردی شیخ[۲]

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۱/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۰۴/۳۱)

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، طراحی و توسعهٔ نسخهٔ اولیهٔ نوعی سامانهٔ پشتیبان تصمیم (DSS) مبتنی بر شبکه، برای معرفی بهتر ویژگی‌های آبخیز و مشکلات آن در یک قالب سیستمی و معرفی راه حل‌ها و انتخاب بهترین اقدامات مدیریتی به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت آب آبخیز بنکوه واقع در حوضهٔ رودخانهٔ حبله‌رود است. در تحقیق حاضر، پس از شناسایی مجموعه اقدامات مدیریتی، آثار احتمالی اجرای آنها با کمک شبیه‌سازی مدل‌های هیدرولوژیکی، فرسایش، اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیک پیش‌بینی شدند. برای مدیریت داده‌ها و ایجاد پایگاه داده‌ای از محیط MySQL استفاده شد. به منظور ایجاد پایگاه مدل و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره زبان برنامه‌نویسی PHP به کار گرفته شد. در این سامانهٔ پشتیبان تصمیم، برای اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی روش‌های SAW و TOPSIS به کار رفته‌اند. برای توسعهٔ واسط کاربر گرافیکی از زبان HTML استفاده شد. سامانهٔ توسعه داده‌شده قادر است پس از معرفی اجمالی ویژگی‌های حوضه در قالب رویکرد DPSIR، به ارائهٔ ساختار مشکلات بپردازد و روابط علی و معلولی بین متغیرهای سامانه را در قالب مدل مفهومی نمایش داده و سپس، مجموعه‌ای از راه حل‌های مبتنی بر پوشش گیاهی را همراه با پراکنش مکانی آنها به تصمیم‌گیرندگان ارائه دهد. پس از آن، با مدل‌سازی آثار احتمالی راه حل‌های پیشنهادی به پیش‌بینی و نمایش تأثیرات مختلف آنها، به تفکیک شاخص‌های ارزیابی آثار بپردازد. در نهایت، پس از نسبت دادن وزن‌های مختلف برای شاخص‌های ارزیابی توسط کاربر، نتایج به‌دست‌آمده از اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای کاربران به‌صورت ترسیمی ارائه دهد. بررسی‌های فنی در خصوص ارزیابی ویژگی‌هایی مانند کاربرپسند بودن، میزان سادگی رابط کاربر، میزان ارتباط اجزای به‌کاررفته در سامانه با نگرانی‌ها و اولویت کاربران و... در مطالعات تکمیلی می‌تواند به ارائهٔ نسخهٔ نهایی این سامانه منجر شود.

کلیدواژگان: بهترین اقدامات مدیریتی، حوضهٔ رودخانهٔ حبله‌رود، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدیریت مشارکتی.

* نویسندهٔ مسئول

Email: amir.sadoddin@gau.ac.ir

مقدمه

حوضهٔ آبخیز به عنوان یک واحد فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی و سیاسی، برای برنامه‌ریزی و مدیریت در نظر گرفته می‌شود. از این‌رو، مدیران و سیاست‌گذاران باید تمامی ابعاد تشکیل‌دهندهٔ سامانهٔ آبخیز را در برنامه‌ریزی حوضهٔ آبخیز در نظر بگیرند [۱]. از آنجا که بین ابعاد محیط زیستی و اقتصادی- اجتماعی روابط متقابل و پیچیده‌ای وجود دارد، برای هماهنگ‌سازی آنها، رویکرد مدیریت جامع آبخیز لازم است [۲]. تصمیم‌گیری در مدیریت آبخیز به طور ذاتی پیچیده است، زیرا به هماهنگی و مساعدت ذی‌نفعان با در نظر گرفتن فرایندهای زیست‌فیزیکی و اقتصادی- اجتماعی نیاز دارد. همچنین، بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری به علت تنوع گروه‌های ذی‌نفع و وجود عدم قطعیت، پیچیده‌اند [۳]. امروزه در مدل‌سازی ریاضی حوضه‌های آبخیز، دو روند کلی قابل شناسایی است: نخست مدل‌های هیدرولوژیکی، که برای مدل کردن رفتار اجزای چرخهٔ آب، از بارش باران تا تبدیل شدن به رواناب به کار می‌روند؛ مورد دوم سامانه‌های پشتیبان تصمیم، که برای مدل کردن رفتارهای مختلف فرایندهای فیزیکی، طبیعی، اجتماعی و اقتصادی صورت‌گرفته در یک حوضهٔ هیدرولوژیکی به کار می‌روند [۴]. در سال‌های اخیر، تلاش برای دست‌یابی به ابزاری نو در حل مسائل پیچیدهٔ محیط زیستی ما را به سمت سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری محیط زیستی[1] (EDSS) هدایت می‌کند. نیاز به تغییر رویه سبب شد که مدیران محیط زیست، سامانهٔ پشتیبان تصمیم‌گیری را به‌عنوان نوعی فناوری جدید به منظور ارزیابی مقایسه‌ای و انتخاب گزینه‌ها برای تغییر معرفی کنند. به‌بیان دیگر، تلاش‌های بسیاری به منظور توسعهٔ فناوری لازم برای آگاهی سازمان‌های مدیریت و سیاست‌گذاری محیط زیست و کمک به آنها در یافتن راه حل مسائل پیچیده صورت پذیرفته و در نهایت، به معرفی سامانهٔ پشتیبان تصمیم‌گیری محیط زیستی انجامیده است [۵]. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم محیطی، سامانه‌های تعاملی مبتنی بر رایانه هستند که به تصمیم‌گیرندگان در استفاده از داده‌ها و مدل‌ها به منظور پیدا کردن راه حلی برای مشکل مدیریت منابع محیطی کمک می‌کنند.

همچنین، سامانه‌های یادشده به تصمیم‌گیرندگانی که در مسائل محیطی مربوط به آن مشغول به کار هستند برای به دست آوردن آگاهی بیشتر در مورد این مسائل و یافتن راه حل‌های عملی به جای انتخاب‌های غیر منطقی کمک می‌کنند [۶].

استفاده از سامانه‌های پشتیبانی تصمیم در مواردی مانند مدیریت منابع طبیعی، مدیریت منابع آب، مکان‌یابی پخش سیلاب، مدیریت شهری و مدیریت زمین مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. شائو و همکاران [۷] توسعهٔ نوعی سامانهٔ پشتیبان تصمیم مبتنی بر GIS را برای ارزیابی تأثیرات بهترین اقدامات مدیریتی مطالعه کردند. طی پژوهش یادشده ارزیابی آثار بهترین اقدامات مدیریتی با استفاده از مدل SWAT بررسی شد. سامانهٔ توسعه داده‌شدهٔ ارزیابی هزینه‌های اقتصادی و مزایای کمیت و کیفیت آب، بهترین اقدامات مدیریتی را پیش روی کاربران قرار می‌دهد. مریت و همکاران [۸] جامع‌سازی مدل‌های هیدرولوژی و اکولوژی را با توسعهٔ سامانهٔ پشتیبانی تصمیم‌گیری انعطاف‌پذیر بررسی کردند. طی پژوهش یادشده DSS در محیط نرم‌افزار ICMS برای پیش‌بینی پیامدهای محیط زیستی دریاچهٔ نران[2] توسعه داده شده و با معرفی ویژگی‌های رویدادها و امکان انتخاب سناریوهای مختلف، برای اطلاع‌رسانی و حمایت از تصمیم‌های مدیریتی روی زمین توسط مدیران تالاب به کار رفته است. ونگ و همکاران [۹] نوعی سامانهٔ پشتیبان تصمیم چندمعیارهٔ سناریومحور (SMC-DSS[3]) را برای توسعهٔ برنامهٔ مدیریت منابع آب در حوضهٔ رودخانهٔ هایهه[4] ارزیابی کردند. سامانهٔ پشتیبان تصمیم چندمعیارهٔ سناریومحور فن‌های تجزیه و تحلیل سناریو، برنامه‌نویسی چندهدفه (MOP[5]) و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA[6]) در چهارچوب سامانه‌های پشتیبان تصمیم را شامل می‌شود. همچنین، این سامانه شامل بخش‌هایی از جمله اجزای سامانه، تولید سناریو، بهینه‌سازی چندهدفه و ارزیابی سناریو است. سامانهٔ پشتیبان تصمیم چندمعیارهٔ سناریومحور می‌تواند برای ارزیابی سیاست‌های مدیریت در بخش‌های اقتصادی،

1. Environmental Decision Support System

2. Nrran
3. Scenario-based Multi-Criteria Decision Suppurt System
4. Haihe
5. Multi Objective Programming
6. Multi-Criteria Decision Analysis

اجتماعی و محیط زیستی و نیز حمایت از تدوین سیاست‌های مربوط به مدیریت تحت عدم قطعیت به کار رود. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد سیاست‌های مختلف مدیریت آب می‌توانند به الگوهای متفاوت برای توسعهٔ اقتصادی منطقه و حفاظت از محیط زیست منجر شود. همچنین، نتایج تحقیق یادشده به منظور شناسایی سیاست مدیریت منابع آب و الگویی برای برنامه‌ریزی توسعهٔ پایدار منطقه‌ای مفید است. سعدالدین و همکاران [۱۰] یک پروپوتیپ سامانهٔ پشتیبان تصمیم شبکه‌های بیزی برای مدیریت شوری را بررسی کردند. در تحقیق یادشده اجزای هیدرولوژیک، اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی در یک شبکهٔ تصمیم بیزی با هم ترکیب شده‌اند و در نرم‌افزار ICMS برای تهیهٔ نوعی پروپوتیپ سامانهٔ پشتیبان تصمیم به منظور مدیریت شوری در آبخیز لیتل ریوی استرالیا به کار گرفته شده است. تجزیه و تحلیل موازنهٔ نتایج در تحقیق یادشده نشان داد یک روش واحد برای حل نهایی مشکل شوری وجود ندارد، ولی سامانهٔ پشتیبان تصمیم شبکه‌های بیزی قادر است گزینه‌های مدیریتی را نشان دهد. با کمک این رویکرد کاربران می توانند با شناخت بهتر از سامانهٔ آبخیز و نیز موازنه بین نتایج مختلف به‌دست‌آمده از اجرای سناریوهای مدیریتی به نتیجه‌گیری و قضاوت نهایی برسند. کازاک و همکاران [۱۱] توسعهٔ یک سامانهٔ پشتیبان تصمیم برای مکان‌یابی محل زیرساخت‌های سبز را مطالعه کردند. سامانهٔ طراحی‌شده براساس نوعی روش چندمنظوره شامل شرایط جوی و ویژگی‌های خاک است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد سامانهٔ توسعه داده‌شده می‌تواند مناسب‌ترین مناطق را برای توسعهٔ زیرساخت‌های سبز پیش روی تصمیم‌گیرندگان قرار دهد. ژانگ و همکاران [۱۲] توسعهٔ یک سامانهٔ پشتیبان محیطی برای کنترل آلودگی آب رودخانهٔ بی‌یون در چین را مطالعه کردند. رویکرد ترکیبی استفاده‌شده در این سامانه سبب تسهیل در فرایند تصمیم‌گیری خواهد شد و استفادهٔ مجدد از مدل‌های موجود را راحت‌تر می‌کند. شایان یادآوری است این EDSS برای مدیریت آب رودخانهٔ بی‌یون استفاده شده است و می‌تواند برای نواحی جغرافیایی دیگر نیز به کار رود. گوهریان و همکاران [۱۳] توسعهٔ چارچوبی یکپارچه برای ایجاد ابزار پشتیبانی تصمیم برای مدیریت آب شهری را مطالعه کردند. سامانهٔ توسعه داده‌شده به تغییرات شرایط آب‌وهوایی حساس است. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد طی خشکسالی، مدیریت عرضه تنها راه حل نیست و اقدامات اجرایی مدیریت تقاضا باید آغاز شود. شریف و همکاران [۱۴] توسعهٔ سامانهٔ پشتیبان تصمیم برای تهیهٔ نقشهٔ حساسیت سیل را مطالعه کردند. برای تهیهٔ نقشهٔ حساسیت سیل در دو منطقهٔ مطالعه‌شده ۱۱ عامل شناسایی و استفاده شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد از سال ۱۹۷۰ تأثیر توسعهٔ شهری بر خطر سیل مشخص است. همچنین، با وجود کاهش بارندگی سالانه، مقدار رواناب سطحی سالانه روند افزایشی را نشان داد. اشرفی و محمودی [۱۵] توسعهٔ نوعی سیستم پشتیبان تصمیم نیمه‌توزیعی برای سامانهٔ منابع آب حوضهٔ رودخانهٔ کارون را مطالعه کردند. در این سامانه از مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) استفاده شد. مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با داده‌های مشاهده‌شده دقت مدل واسنجی‌شده را نشان می‌دهد. رافالی و همکاران [۱۶] توسعهٔ سامانهٔ پشتیبان تصمیم، برای اثربخشی مدل‌های بارش-رواناب را مطالعه کردند. در مطالعهٔ یادشده عملکرد دو مدل مبتنی بر فیزیکی و دو مدل مبتنی بر عددی بررسی شد. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد مدل‌های SWAT و TOPMODEL در مقایسه با مدل‌های مبتنی بر عددی (RT و ANN) عملکرد کمتری دارند. سعدالدین و همکاران [۱۷] توسعهٔ نوعی سامانهٔ پشتیبانی تصمیم به منظور مدیریت مشارکتی و جامع آبخیز چهل‌چای استان گلستان را بررسی کردند. در تحقیق یادشده از محیط نرم‌افزار ICMS (سامانهٔ مدل‌سازی اجزای تعاملی) برای توسعهٔ سامانهٔ پشتیبان تصمیم استفاده شد. همچنین، برای ایجاد ارتباط بین کاربر غیرفنی و DSS، نوعی واسط کاربر گرافیکی در محیط دلفی تهیه شده است. نتایج پژوهش آنها نشان داد این سامانهٔ پشتیبانی تصمیم قادر است با افزایش ادراک کاربر از سامانهٔ آبخیز و اجزای آن، به مدیریت مشارکتی و جامع حوضهٔ آبخیز کمک کند و موجب تسهیل فرایند تصمیم‌گیری شود.

مطالعهٔ پژوهش‌های یادشده نشان داد سامانه‌های پشتیبان تصمیم می‌توانند به سهولت در تصمیم‌گیری و دست‌یابی سریع به خروجی‌ها کمک کنند. این سامانه‌ها می‌توانند به عنوان یک ابزار، با مدیریت بسیاری از داده‌ها، اطلاعات و نیز استفاده از مدل‌های مختلف در ارزیابی‌های پیچیده به برنامه‌ریزان و مدیران در روند تصمیم‌گیری کمک

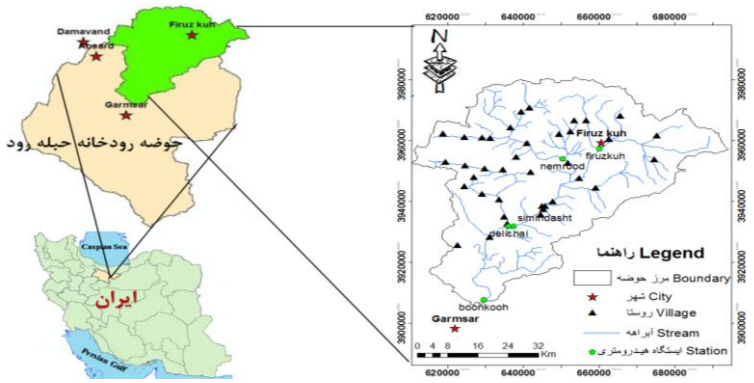
کنند و سبب بهبود عملکرد و ارتقای سطح کارایی آنها شوند. بنابراین، برای تسهیل در فرایند تصمیم‌گیری گروه‌های مختلف ذی‌نفعان و افزایش مشارکت آنها برای مدیریت بهتر و ساده‌تر حوضهٔ آبخیز بنکوه، توسعهٔ نوعی سامانهٔ پشتیبان تصمیم ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور، در تحقیق حاضر سعی شده است یک سامانهٔ پشتیبان تصمیم برای مدیریت جامع حوضهٔ آبخیز بنکوه طراحی شود که بتواند اثربخشی اقدامات مدیریتی را از نظر شاخص‌های مختلف ارزیابی پیش روی تصمیم‌گیرندگان قرار دهد. شایان یادآوری است برای دسترسی آسان‌تر و فراگیر کاربران، این سامانهٔ پشتیبان تصمیم مبتنی بر شبکه طراحی شده است.

رودخانهٔ حبله‌رود تنها رودخانهٔ دائمی استان سمنان و شهرستان گرمسار است. این رودخانه مهم‌ترین منبع آب کشاورزی و شرب مردم گرمسار است. شهرستان گرمسار روی مخروط‌افکنهٔ حبله‌رود قرار دارد و جزء دشت‌ها و مناطق نسبتاً خشک کشور است و آب مورد نیاز بخش‌های مختلف آن بیشتر از رودخانه‌های حبله‌رود، رامه و منابع آب زیرزمینی همانند چاه و قنات تأمین می‌شود. با توجه اهمیت اقتصاد کشاورزی در شهرستان گرمسار، منابع آب یادشده، مهم‌ترین عوامل توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی این شهرستان به شمار می‌روند. عبور رودخانهٔ حبله‌رود از سازندهای شور در حد فاصل سیمین‌دشت تا ایستگاه بنکوه بر شوری و املاح آب آن می‌افزاید و کیفیت آن را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. همچنین، میانگین متوسط بلندمدت جریان‌های سطحی واردشده به دشت گرمسار حدود ۲۷۷ میلیون مترمکعب در سال است. به دلیل وقوع پدیدهٔ خشکسالی طی سال‌های گذشته، میانگین سالانهٔ این جریان سطحی به ۱۷۰ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. پایین آمدن سطح کیفی آب، کاهش کمی و کیفی محصولات کشاورزی، بایر شدن اراضی، افزایش مهاجرت روستاییان، کاهش حاصل‌خیزی خاک و در نهایت، نابودی بخش کشاورزی در این منطقه از جمله موارد دیگری است که لزوم تحقیق در زمینهٔ روش‌های بهبود کمیت و کیفیت آب در این حوضه را نشان می‌دهد. به‌کارگیری بهترین اقدامات مدیریتی (BMP)، راه‌کاری نوین برای بهبود کیفیت و کمیت آب و افزایش نفوذپذیری آب‌های زیرزمینی است. در حوضهٔ آبخیز بنکوه که انواع خاک‌ها و کاربری‌های مختلف وجود دارد، یک نوع BMP نمی‌تواند درمانی برای همهٔ مشکلات کیفیت و کمیت مرتبط با آب باشد. برای متعادل کردن بیلان آبی و بهبود اجزا و فرایندهای آن از لحاظ کمی و کیفی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، از مجموعهٔ بهترین اقدامات مدیریتی، انتخاب بهترین گزینه اهمیت زیادی دارد. با توجه به شاخص‌های مختلف ارزیابی (فیزیکی، اقتصادی- اجتماعی و اکولوژیکی) انتخاب بهترین گزینه معمولاً فرایند پیچیده‌ای است. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر، توسعهٔ نوعی سامانهٔ پشتیبانی تصمیم مبتنی بر شبکه برای معرفی بهتر ویژگی‌های آبخیز بنکوه در قالب سامانه و معرفی راه حل‌ها و انتخاب بهترین اقدامات مدیریتی با کمک فناوری‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت آب آبخیز بنکوه حوضهٔ رودخانهٔ حبله‌رود است. شایان یادآوری است تا کنون در کشور تحقیقات اندکی در زمینهٔ طراحی و توسعهٔ سامانه‌های پشتیبان تصمیم مبتنی بر شبکه در منابع طبیعی و آبخیزداری صورت گرفته است. بنابراین، برای توسعهٔ استفاده از این گونه ابزارهای تصمیم‌گیری، تحقیق حاضر انجام شده است.

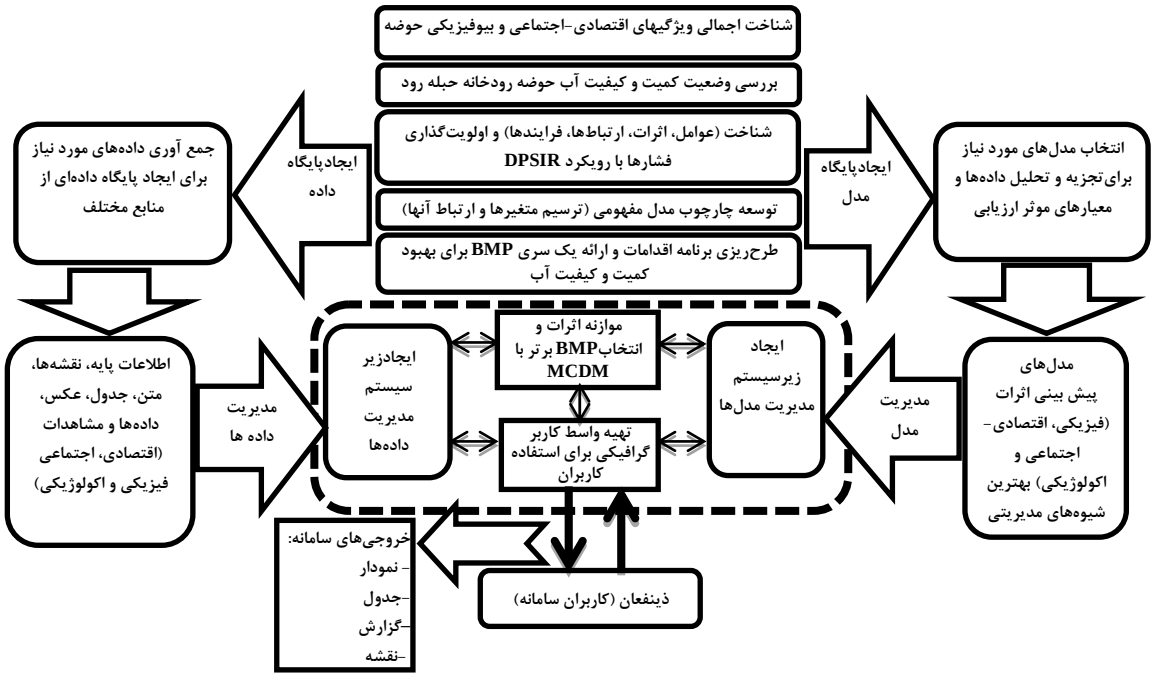
مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضهٔ آبخیز بنکوه با مختصات °۳۵ تا َ ۱۰ ° ۳۶ عرض شمالی و َ۳۹ ° ۵۱ تا َ ۸ ° ۵۳ طول شرقی و با مساحت ۳۲۶۹ کیلومترمربع در استان تهران واقع شده است (شکل ۱). از نظر توپوگرافی منطقهٔ مطالعه‌شده بیشتر شامل کوهستان‌ها، تپه‌ها و نیز دشت‌های میان‌کوهی است. بارندگی متوسط سالیانهٔ این حوضه ۳۱۸ میلی‌متر و دمای متوسط سالیانهٔ آن ۷/۸ درجهٔ سانتی‌گراد است. ارتفاع متوسط وزنی حوضه ۱۶۲۹ متر از سطح دریاست. بیشترین کاربری‌های اراضی شامل مراتع و چراگاه‌های فصلی، اراضی کشاورزی دیم، باغ‌ها و اراضی بایر هستند. فرسایش غالب در منطقهٔ مطالعه‌شده از نوع فرسایش آبی است که به شکل‌های مختلف و شدت‌های گوناگون موجب تخریب اراضی و در نتیجه تخریب محیط زیست و منابع تولیدی آن می‌شود [۱۸].



شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبخیز بنکوه - حوضهٔ رودخانهٔ حبله‌رود



شکل ۲. مراحل طراحی و توسعهٔ سامانهٔ پشتیبان تصمیم برای انتخاب بهترین اقدامات مدیریتی (BMP)

چهارچوب طراحی سامانه

در تحقیق حاضر مراحل توسعهٔ یک سامانهٔ پشتیبانی تصمیم براساس مدل بیزی برای آبخیز بنکوه در محیط شبکه، تشریح شده است. در این سامانه برای پیش‌بینی آثار مختلف حاصل از اجرای فعالیت‌های مدیریتی (قرق، درختکاری، علوفه‌کاری، جوامع گیاهی کنار رودخانه، تراس‌بندی، اگروفارستری، احداث باغ، پیتینگ، کنتورفارو، بذرپاشی، کپه‌کاری) از مدل‌های فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیک استفاده شده است و نتایج به‌دست‌آمده در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. به این ترتیب، موازنهٔ نتایج احتمالی مختلف آسان‌تر شده است و به کاربران برای تصمیم‌سازی کمک می‌کند. شکل ۲ مراحل تهیهٔ سامانهٔ پشتیبانی تصمیم برای انتخاب بهترین اقدامات مدیریتی (BMP) در حوضهٔ آبخیز بنکوه را نشان می‌دهد. شایان یادآوری است، با استفاده از نتایج تحلیل رویکرد DPSIR طی برگزاری کارگاه و جلسات با کارشناسان و آبخیزنشینان حوضهٔ آبخیز بنکوه، مهم‌ترین فشارهای دخیل در آبخیز بنکوه، «تصرف و تغییر کاربری و از بین بردن پوشش گیاهی» و «بهره‌برداری زیاد از منابع آب (سطحی و زیرزمینی)» و «کاهش کیفیت منابع آب» بیان شده است.

در تحقیق حاضر برای بررسی آثار فیزیکی فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی از مدل‌های L-THIA[1]، WetSpass[2] و

1. Long-Term Hydrologic Impact Assessment
2. Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere under quasi-Steady State

روش RUSLE[1] استفاده شده است. برای پیش‌بینی آثار فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی بر رواناب سطحی و کیفیت آب از مدل L-THIA استفاده شد. برای برآورد تغذیهٔ آب زیرزمینی از مدل WetSpass استفاده شد. همچنین، برای برآورد فرسایش خاک نیز از روش RUSLE استفاده شد. به منظور بررسی آثار اقتصادی فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی در آبخیز مطالعه‌شده، تجزیه و تحلیل اقتصادی در سطح آبخیز به عمل آمده است. برای ارائهٔ یک تصویر از مفاهیم هزینه و درآمد از نشانگرهای اقتصادی سود ناخالص و هزینه‌های متغیر استفاده شده است. برای استخراج احتمال پذیرش مردمی فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی در جامعهٔ آبخیزنشین، از توزیع احتمالاتی دوجمله‌ای استفاده شد. برای بررسی آثار اکولوژی فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی در این حوضه از دو شاخص میانگین وزنی اندازهٔ لکهٔ پوشش گیاهی (WMPSI[2]) و شاخص وزنی سطح پوشش گیاهی (WLCAI[3]) استفاده شده است. در نهایت، با توجه به نوع و فراهمی داده‌ها، میزان نیاز به تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، ترجیح استفاده از رویکرد مبتنی بر سناریو به جای بهینه‌سازی و مقیاس‌های زمانی و مکانی مد نظر، از رویکرد تلفیق بیزی استفاده شد.

ایجاد پایگاه داده‌ای برای تهیهٔ DSS آبخیز بنکوه

دادگان (پایگاه داده‌ها یا بانک اطلاعاتی) مجموعه‌ای از اطلاعات ذخیره‌شده در رایانه با روشی سیستماتیک است که با مجموعه‌های دیگر اطلاعات ارتباط دارد و همانند یک برنامهٔ رایانه‌ای عمل می‌کند. پایگاه داده‌ها در تهیهٔ سامانهٔ پشتیبانی تصمیم و مدیریت جامع حوضهٔ آبخیز شامل داده‌های مکانی، متن، جدول، نقشه‌ها، عکس‌ها و نمودارها می‌شوند. در تحقیق حاضر برای مدیریت داده‌ها و ایجاد پایگاه داده از محیط MySQL استفاده شد. MySQL نوعی سرور پایگاه داده متن‌باز[4] است که همانند SQLServer برای نگهداری و کار با داده‌ها استفاده می‌شود. MySQL سازگاری کاملی با سرویس‌دهندهٔ PHP دارد. این سرور همانند SQLServer، از دستورات ساختاریافتهٔ زبان SQL استفاده می‌کند و تفاوتی بین دستورات آنها وجود ندارد.

فضای مدل‌سازی و ایجاد پایگاه مدل برای تهیهٔ DSS آبخیز بنکوه

براساس داده‌های ورودی و اهداف مد نظر در مدیریت حوضهٔ آبخیز، شرایط موجود حوضه با مدل‌های مختلف شبیه‌سازی‌شده است. با توجه به هدف مدیریت و شاخص‌های مد نظر، ممکن است مدل‌های متفاوتی در سامانهٔ پشتیبانی تصمیم مورد نیاز باشد. این مدل‌ها در محیط مدل‌سازی نوشته و مدیریت شده است که در نهایت به ایجاد پایگاه مدل‌ها منجر می‌شود و وظیفهٔ پردازش داده‌ها را به عهده دارد و به عنوان موتور سامانهٔ تلقی می‌شود. در تحقیق حاضر برای مدل‌سازی و ایجاد پایگاه مدل از زبان برنامه‌نویسی PHP۵[5] استفاده شد. شایان یادآوری است، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و TOPSIS با استفاده از زبان PHP برای اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی مدل‌سازی شده است. PHP نوعی زبان متن‌باز است که برای طراحی برنامه‌های تحت شبکهٔ سرور به کار می‌رود. زبان PHP امکان استفاده از انواع مختلفی از پایگاه داده را از جمله: MySQL، SqlLite، Oracle، IBMDB2، MicrosoftSql Server و غیره را با دستورهایی ساده فراهم می‌سازد.

تهیهٔ واسط کاربر گرافیکی DSS آبخیز بنکوه

برای سادگی و کاهش خطا در ورود داده‌ها، سنجش گزینه‌های مختلف در شرایط گوناگون و نمایش نتایج به صورت نقشه و نمودار، وجود نوعی واسط کاربر گرافیکی برای استفاده از سامانهٔ پشتیبانی تصمیم لازم است. واسط کاربر گرافیکی، یکی از اجزای سامانهٔ پشتیبانی تصمیم است که سبب ارتباط بین اجزای سامانه و کاربر می‌شود. همچنین، موجب می‌شود که کاربران غیرحرفه‌ای راحت‌تر با سامانهٔ ارتباط برقرار کنند. در تحقیق حاضر برای توسعهٔ واسط کاربر گرافیکی از زبان HTML[6] و CSS استفاده شد. HTML یا زبان نشانه‌گذاری ابرمتن همراه با CSS پایهٔ ایجاد صفحات شبکه است. CSS زبان برنامه‌نویسی است که کنسرسیوم بین‌المللی شبکهٔ جهانی یا W3C برای غلبه بر مشکلاتی که طی زمان با استفاده از HTML به وجود آمده‌اند، پیشنهاد داده است.

نتایج

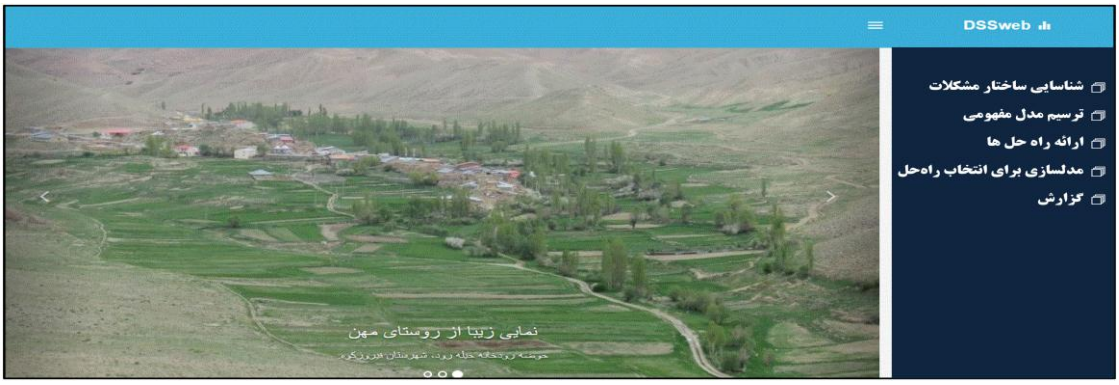
همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، در نهایت

1. Revised Universal Soil Loss Equation
2. Weighted mean Patch Size Index
3. Weighted Land Cover Area Index
4. Open Source
5. Hypertext PreProcessor
6. Hyper text markup language

برای افزایش ادراک، تسهیل یادگیری و تمرین سیاستگذاری ذی‌نفعان، نتایج به‌دست‌آمده از مراحل قبل برای برپایی نوعی سامانهٔ پشتیبان تصمیم‌گیری به‌منظور نیل به بهبود وضعیت کیفیت و کمیت آب، تلفیق شد. این سامانه شامل پایگاه داده‌ای، پایگاه مدل‌ها، واسط کاربر گرافیکی و ابزار تصمیم‌گیری (MCDM) می‌شود. در این بخش به معرفی اجزای واسط کاربری گرافیکی به عنوان یکی از اجزای سامانه پرداخته شده است. این بخش از سامانه به تصمیم‌گیری سریع و منطقی کمک می‌کند و نتایج را به صورت ترسیمی در اختیار ذی‌نفعان قرار می‌دهد. بنابراین، در این بخش به تشریح اجزای واسط کاربری گرافیکی به عنوان یکی از اجزای سامانه پرداخته شده است. در شکل‌های ۳ تا ۱۰ صفحات مختلف واسط کاربر گرافیکی سامانهٔ تهیه‌شده برای آبخیز بنکوه ارائه شده است. نمایی از صفحهٔ اصلی واسط کاربر گرافیکی سامانهٔ پشتیبان تصمیم تهیه‌شده ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، این واسط کاربر ترسیمی که گویای کارکرد سامانه است از بخش‌های مختلفی شامل شناسایی ساختار مشکلات، ترسیم مدل مفهومی، ارائه و توسعهٔ راه‌حل‌ها و مدل‌سازی برای انتخاب راه‌حل‌ها تشکیل شده است. در ادامه، به تشریح مختصری دربارهٔ چگونگی کارکرد سامانهٔ پشتیبان تصمیم تهیه‌شده برای آبخیز بنکوه پرداخته شده است.

شناسایی ساختار مشکلات

نمایی از صفحهٔ شناسایی ساختار مشکلات، واسط کاربر گرافیکی آبخیز بنکوه در شکل ۴ ارائه شده است. با انتخاب این صفحه ذی‌نفعان می‌توانند به شناخت اجمالی ویژگی‌های حوضه دست یابند، همچنین در قالب رویکرد DPSIR به بررسی مشکلات حوضهٔ آبخیز بپردازند. شایان یادآوری است در این صفحه، ذی‌نفعان می‌توانند به شناخت اجمالی از خصوصیات منطقه و مشکلات موجود دست یابند و عکس‌ها و نقشه‌هایی از موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مطالعه‌شده و فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی در حوضه را مشاهده کنند.



شکل ۳. صفحهٔ اصلی حد واسط گرافیکی کاربر در سامانهٔ پشتیبان تصمیم مدیریت کمیت و کیفیت آب برای آبخیز بنکوه

شکل ۴. نمایی از صفحهٔ شناسایی ساختار مشکلات، سامانهٔ پشتیبان تصمیم آبخیز بنکوه

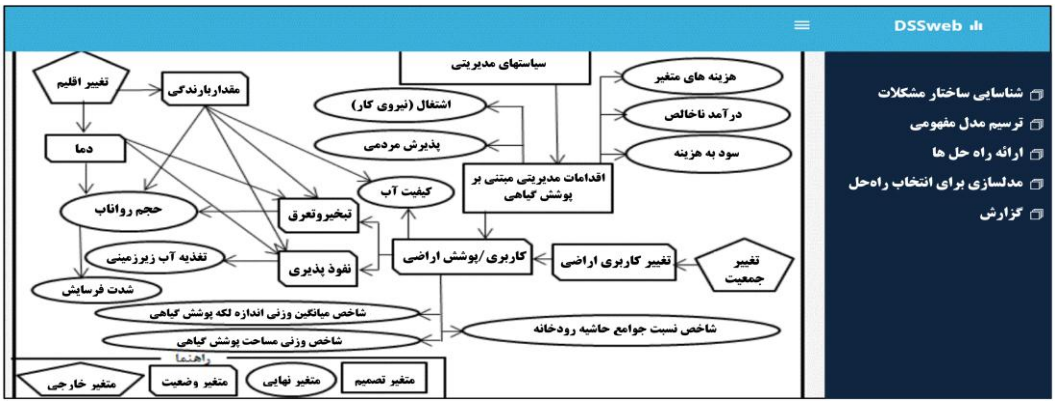
تهیهٔ مدل مفهومی

پس از شناسایی سیستم و ساختار مشکلات، به‌منظور دخالت در محیط برای کاهش فشارها و بهبود وضعیت سلامت و پایداری حوضهٔ آبخیز، نیاز به تهیهٔ چارچوبی است که در قالب آن سامانهٔ حوضه با توجه به متغیرهای مؤثر در آن و تعاملات بین آنها نمایش داده شود. نمایی از صفحهٔ ترسیم مدل مفهومی، واسط کاربر گرافیکی آبخیز بنکوه در شکل ۵ ارائه شده است. شکل ۵ چهارچوب مدل مفهومی تحقیق را نشان می‌دهد. پیکان‌ها نشان‌دهندهٔ ارتباط بین متغیرهاست. این صفحه به ذی‌نفعان در خصوص بررسی روابط احتمالی، اطلاعات اساسی دربارهٔ مدل و منبع داده‌ها کمک می‌کند. با انتخاب هر یک از این گزینه‌ها از روی شکل اطلاعات کامل (این اطلاعات از منابع مختلف در پایگاه داده‌ای سامانهٔ ذخیره و مدیریت شده است) و مختصر دربارهٔ آنها نمایان خواهد شد، که می‌تواند به شناخت بهتر ذی‌نفعان از متغیرها منجر شود.

در نهایت، ذی‌نفعان بتوانند با یک دید باز به انتخاب فعالیت‌های مدیریتی و معیارهای ارزیابی مد نظر خود بپردازند.

ارائهٔ راه‌حل‌ها

براساس چارچوب مفهومی مدیریت جامع حوضهٔ آبخیز (IWM) پس از شناسایی ساختار مشکلات و ترسیم مدل مفهومی حوضهٔ آبخیز و تعیین اهمیت نسبی فشارها، طرح‌ریزی برنامهٔ اقدامات برای کاهش و تعدیل فشارها انجام خواهد شد. بنابراین، ۱۱ فعالیت مدیریتی برای برطرف کردن مشکلات حوضه تهیه شد. قواعد اجرای هر فعالیت مدیریتی در حوضهٔ آبخیز بنکوه نیز با توجه به شرایط طبیعی حاکم بر آن، شناخت و بازدید از منطقه، بررسی منابع علمی و نظرخواهی از کارشناسان واحد اجرا و بخش دانشگاهی تعیین شد. قواعد ایجاد هر یک از فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۵. نمایی از صفحهٔ ترسیم مدل مفهومی برای توسعهٔ سامانهٔ پشتیبان تصمیم مدیریت کمیت و کیفیت آب

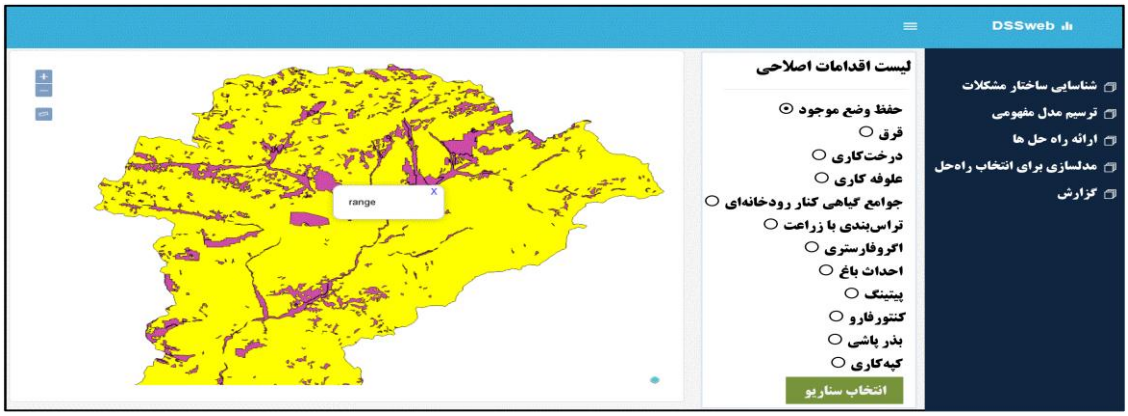
جدول ۱. قواعد ایجاد فعالیت‌های مدیریتی پیشنهادی برای حوضهٔ آبخیز بنکوه

ردیف	عنوان فعالیت	ویژگی‌های مناطق مستعد اجرا
۱	قرق	اراضی مرتعی، بارندگی ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر، شیب بیش از ۶۰ درصد، خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق و ارتفاع بدون محدودیت
۲	درخت‌کاری	مناطق با سابقهٔ جنگلی و جنگلی کم‌تراکم، بارندگی بیش از ۴۰۰ میلی‌متر، خاک عمیق – نیمه‌عمیق و ارتفاع ۱۰۰ تا ۲۶۰۰ متر
۳	علوفه‌کاری	اراضی زراعی، بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، شیب بیشتر از ۵۰ درصد، خاک عمیق – نیمه‌عمیق و ارتفاع بدون محدودیت
۴	جوامع گیاهی کنار رودخانه‌ای	نواحی کنار رودخانه، بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، خاک عمیق و نیمه‌عمیق. حریم با عرض ۵۰ متر از محور مرکزی آبراهه برای رتبهٔ ۵ و ۶ با عرض ۲۵ متر از محور مرکزی آبراهه برای رتبهٔ ۳ و ۴ و ۱۲/۵ متر از محور مرکزی آبراهه با رتبهٔ ۲
۵	تراس‌بندی	اراضی زارعی، بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، خاک عمیق
۶	اگروفارستری	اراضی زارعی، بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، خاک نیمه‌عمیق
۷	احداث باغ	اراضی زارعی، بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، شیب ۳۰ تا ۵۰ درصد، خاک عمیق- نیمه‌عمیق
۸	پیتینگ (چاله‌کنی)	اراضی مرتعی، بارندگی ۱۲۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر، شیب کمتر از ۸ درصد، خاک کم‌عمق تا متوسط
۹	کنتور فارو (حفر شیار)	اراضی مراتعی، بارندگی ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر، شیب کمتر از ۲۰ درصد، خاک نیمه‌عمیق تا عمیق
۱۰	بذرپاشی	اراضی مراتعی، بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، شیب ۲۵ تا ۴۵ درصد، خاک نیمه‌عمیق تا عمیق
۱۱	کپه‌کاری	اراضی مراتعی، بارندگی بیش از ۳۰۰ میلی‌متر، شیب ۴۵ تا ۶۰ درصد، خاک کم‌عمق تا متوسط

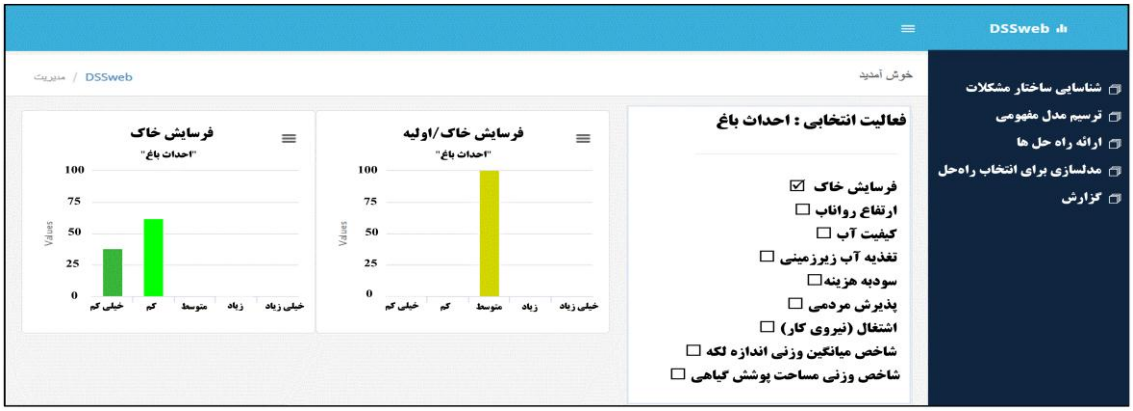
نمایی از صفحه ارائه و توسعهٔ راه‌حل‌ها، واسط کاربر گرافیکی آبخیز بنکوه در شکل ۶ ارائه شده است. این صفحه به عنوان اصلی‌ترین بخش سامانه در نظر گرفته شده است. در این صفحه ذی‌نفعان می‌توانند اقدامات اصلاحی مد نظر خود را که در بخش‌های قبل دربارهٔ آنها اطلاعاتی به دست آورده‌اند، انتخاب کنند. در این صفحه همچنین نقشهٔ پراکنش مکانی اقدامات اصلاحی در سطح حوضهٔ آبخیز بنکوه نشان داده شده است. برای یک اقدام مدیریتی انتخاب‌شده از طرف ذی‌نفعان مجموعه‌ای از شاخص‌ها در صفحهٔ خروجی در نظر گرفته شده است. هنگامی که ذی‌نفعان اقدام اصلاحی مد نظر خود را انتخاب کردند، به اجرای مدل نیاز دارند، در غیر این‌صورت، آنها قادر به مشاهدهٔ نتایج آخرین اقدام اصلاحی اجراشده در صفحهٔ خروجی نخواهند بود.

مدل‌سازی برای انتخاب راه‌حل‌ها

در این بخش کاربران می‌توانند اثربخشی اقدامات اصلاحی انتخابی را مشاهده کنند. شایان یادآوری است در این بخش مدل‌سازی تأثیرات تحت تأثیر چهار سناریوی «بدون تغییر اقلیم و ویلاسازی»، «فقط تغییر اقلیم»، «فقط توسعهٔ ویلا» و «تغییر اقلیم همراه با توسعهٔ ویلا» ارائه شده است. این سناریوها بر مبنای ترکیب‌های محتمل تغییر اقلیم و تبدیل اراضی زراعی و باغی به ویلا در نظر گرفته شده‌اند. در مورد تغییر اقلیم تغییر دو متغیر دما و بارندگی مد نظر بوده است و در مورد ویلاسازی نیز، ۲۰ درصد توسعهٔ ویلا در نظر گرفته شده است. در نهایت، کاربران می‌توانند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی را انجام دهند. نمایی از صفحهٔ توزیع فراوانی متغیرهای خروجی، واسط کاربر گرافیکی آبخیز بنکوه در شکل ۷ ارائه شده است. این صفحه به ذی‌نفعان در انتخاب شاخص‌های ارزیابی مد نظر خود کمک خواهد کرد. همچنین، در این صفحه ذی‌نفعان می‌توانند نتایج چند شاخص ارزیابی را با هم ببینند، فقط کافی است که گزینهٔ هر یک از شاخص‌های ارزیابی را انتخاب کنند.



شکل ۶. نمایی از صفحه ارائه و انتخاب راه حل‌ها در سامانهٔ پشتیبان تصمیم برای مدیریت کمیت و کیفیت آب آبخیز بنکوه

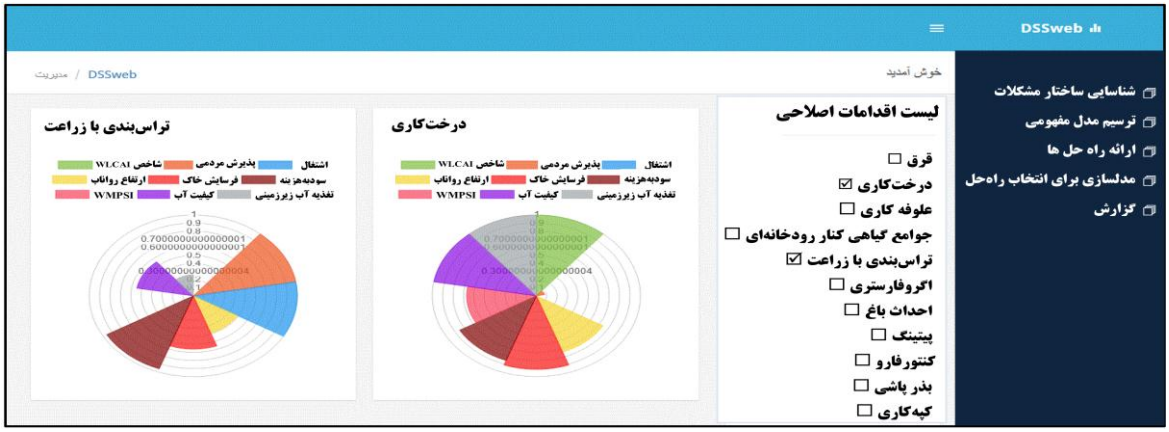


شکل ۷. نمایی از صفحهٔ خروجی متغیرهای نهایی بر حسب توزیع فراوانی، سامانهٔ پشتیبان تصمیم آبخیز بنکوه

نمایی از صفحهٔ مقایسهٔ سناریوهای مختلف، واسط کاربر گرافیکی آبخیز بنکوه در شکل ۸ ارائه شده است. در این صفحه ذی‌نفعان می‌توانند آثار بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی هر یک از ۱۱ اقدام اصلاحی را برای کلیهٔ شاخص‌های ارزیابی به صورت نمودار قطاعی (ستاره‌ای) مشاهده کنند. در نمودار ستاره‌ای مقادیر هر متغیر به طور جداگانه در یک قطاع دایره مدرّج می‌شود، به طوری که حداکثر مقدار (بهترین حالت) برای هر متغیر عدد یک بوده و حداقل مقدار (بدترین حالت) عدد صفر است. در تحقیق حاضر، شاخص‌های ارزیابی فرسایش خاک، ارتفاع رواناب، سود به هزینه، پذیرش مردمی، اشتغال، کیفیت آب، تغذیهٔ آب زیرزمینی، شاخص میانگین وزنی اندازهٔ لکهٔ پوشش گیاهی (WMPSI) و شاخص وزنی مساحت پوشش گیاهی (WLCAL) در نمودار ستاره‌ای ارائه شده است.

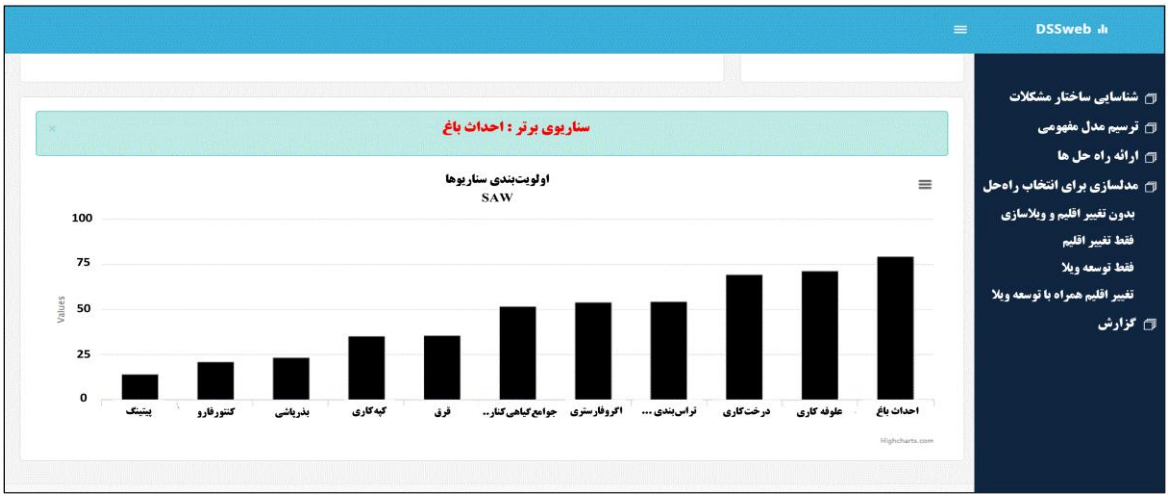
همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، اقدام اصلاحی «تراس‌بندی با زراعت» از نظر شاخص‌های ارزیابی اشتغال و پذیرش مردمی بیشترین امتیاز را کسب کرده است.

نمایی از صفحهٔ اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی، سامانهٔ پشتیبان تصمیم آبخیز بنکوه در شکل ۹ ارائه شده است. در این سامانه پشتیبان تصمیم توسعه داده‌شده برای آبخیز بنکوه برای اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی روش‌های SAW و TOPSIS مدل‌سازی شده است. همچنین، برای اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی از نظر شاخص‌های ارزیابی، ذی‌نفعان باید نسبت به انتخاب وزن هر یک از شاخص‌ها اقدام کنند. در این صفحه ذی‌نفعان می‌توانند نسبت به انتخاب وزن مد نظر خود برای هر یک از شاخص‌های ارزیابی اقدام کنند. شایان یادآوری است مجموع وزن‌های در نظر گرفته‌شده برای کلیهٔ شاخص‌های ارزیابی باید ۱۰۰ باشد.



شکل ۸. نمایی از صفحهٔ خروجی متغیرهای نهایی برای مقایسهٔ گزینه‌های مدیریتی در سامانهٔ پشتیبان تصمیم آبخیز بنکوه

شکل ۹. نمایی از صفحهٔ وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی، سامانهٔ پشتیبان تصمیم آبخیز بنکوه



شکل ۱۰. نمایی از صفحهٔ خروجی اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سامانهٔ پشتیبان تصمیم آبخیز بنکوه

پس از انتخاب وزن‌های مد نظر برای شاخص‌های ارزیابی و اجرای مدل، ذی‌نفعان می‌توانند نتایج به‌دست‌آمده از اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی را با استفاده از دو روش TOPSIS و SAW ملاحظه کنند. در شکل ۱۰ نمایی از صفحهٔ اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW با وزن‌های برابر برای شاخص‌های ارزیابی ارائه شده است.

در نهایت، ذی‌نفعان می‌توانند از صفحهٔ ارائه و توسعهٔ راه حل‌ها، سایر اقدامات اصلاحی را انتخاب کرده و کلیهٔ نتایج را با توجه به شاخص‌های مختلف، ارزیابی کنند. سپس، با توجه به نیازها، محدودیت‌ها و اولویت‌های مختلف به تصمیم‌گیری نهایی از نظر انتخاب فعالیت‌های مدیریتی دست یابند؛ تا در نهایت بتوانند مدیریت بهتری برای حوضهٔ آبخیز داشته باشند. شایان یادآوری است در بخش گزارش‌دهی سامانه، کاربران می‌توانند گزارش کاملی از کلیهٔ مراحل تصمیم‌گیری را مشاهده و ذخیره کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه، نیاز مدیران و برنامه‌ریزان به جمع‌آوری و طبقه‌بندی داده‌ها به‌منظور استفاده از منابع موجود و تصمیم‌گیری برای رفع نیازها، همواره افزایش می‌یابد. به این منظور، وجود نوعی سامانه که بتواند مشاور و پشتیبان تصمیم‌گیری‌ها باشد، لازم و ضروری است. سامانه‌های پشتیبان تصمیم از ابزارهای نوین در زمینهٔ مدیریت منابع محیطی هستند که به دلیل نوظهور بودنشان، استفاده از آنها در بین مدیران و برنامه‌ریزان گسترش نیافته است. آگاهی مدیران و برنامه‌ریزان از مزایای سامانه‌های پشتیبان تصمیم محیطی و استفاده از آنها در مسائل و مشکلات منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، نه تنها سبب بهبود عملکرد برنامه‌ریزان و ارتقای سطح کارایی آنها در سطح حوضهٔ آبخیز خواهد شد، بلکه موجب سرعت عمل در تصمیم‌گیری‌ها می‌شود و امکان اشتباه و خطا در تصمیم‌گیری‌ها نیز به میزان درخور توجهی کاهش خواهد یافت.

در تحقیق حاضر مراحل تهیهٔ یک سامانهٔ پشتیبانی تصمیم محیطی مبتنی بر شبکه برای انتخاب بهترین اقدامات مدیریت به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت حوضهٔ آبخیز بنکوه تشریح شد. این سامانه با فراهم کردن امکان پذیرش اقدامات مختلف مدیریتی شامل قرق، درختکاری، علوفه‌کاری، جوامع گیاهی کنار رودخانه، تراس‌بندی، اگروفارستری، احداث باغ، پیتینگ، کنتورفارو، بذرپاشی و کپه‌کاری توسط ذی‌نفعان حوضهٔ مطالعه‌شده، با افزایش سطح مشارکت ذی‌نفعان به مدیریت مشارکتی کمک می‌کند. همچنین، با محاسبهٔ طیف متفاوتی از شاخص‌های ارزیابی شامل پذیرش اجتماعی، اشتغال، سود ناخالص، هزینه‌های متغیر، فرسایش خاک، حجم رواناب، کیفیت رواناب سطحی، تغذیهٔ آب زیرزمینی، شاخص میانگین وزنی اندازهٔ لکه پوشش گیاهی و شاخص وزنی سطح پوشش گیاهی، موجب تسهیل فرایند تحلیل و موازنهٔ آثار احتمالی اجرای اقدامات مدیریتی برای مدیریت جامع حوضهٔ آبخیز می‌شود. به بیان دیگر، این سامانه با در نظر گرفتن ابعاد

مختلف فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی نگاه جامعی به حوضهٔ آبخیز داشته و ابعاد مختلف مشکلات مدیریتی در حوضه را در نظر گرفته است. در منابع مختلفی از جمله کیم‌لوی [۱۹]، الوارز [۳]، ونگ و همکاران [۹]، بابار و همکاران [۲۰]، اسمیت و همکاران [۲۱] و زولکافلی و همکاران [۲۲]، با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف مشکلات مدیریتی در حوضه‌های آبخیز به توسعهٔ سامانه‌های پشتیبان تصمیم پرداخته‌اند. همچنین، سامانهٔ پشتیبان تصمیم یادشده با افزایش ادراک کاربر از سامانهٔ آبخیز و اجزای آن و معرفی اقدامات مدیریتی و نمایش ترسیمی نتایج احتمالی اجرای آنها، فرایند تصمیم‌گیری را برای ذی‌نفعان آسان می‌کند و موجب تسریع این فرایند می‌شود. محققانی همچون وحیدنیا و همکاران [۲۳]، کابارانزاده قدیم و همکاران [۲۴]، فیروزی و همکاران [۲۵]، هافمن و همکاران [۲۶]، لی و همکاران [۲۷] و بوتچارت و همکاران [۲۸] بر تأثیرگذاری سامانه‌های پشتیبان تصمیم از نظر سهولت در امر تصمیم‌گیری و دست‌یابی سریع به خروجی‌ها تأکید داشتند.

سامانهٔ پشتیبانی تصمیم یادشده با واسط کاربر گرافیکی خود که از بخش‌های مختلف مانند شناسایی ساختار مشکلات، ترسیم مدل مفهومی، ارائه و توسعهٔ راه حل‌ها و مدل‌سازی برای انتخاب راه حل‌ها تشکیل شده است، سبب دسترسی آسان کاربران غیرفنی به داده‌ها و خروجی مدل‌های مختلف می‌شود. همچنین، زمینهٔ مشارکت کلیهٔ گروه‌های مختلف ذی‌نفع به‌خصوص ذی‌نفعان غیرفنی را فراهم می‌کند و در نهایت با ایجاد تعامل بین گروه‌های مختلف ذی‌نفع می‌تواند به مدیریت مشارکتی کمک کند که با دیدگاه‌های لچر و الووهیر [۲۹]، دراگان و همکاران [۳۰] و وان‌دلدن و همکاران [۳۱] نیز همسوست. سامانهٔ پشتیبانی تصمیم توسعه داده‌شده در تحقیق حاضر، می‌تواند با مدیریت داده‌ها و اطلاعات و استفاده از مدل‌های مختلف به تصمیم‌گیری منطقی در شرایط پیچیده و نامطمئن به ذی‌نفعان حوضه کمک کند و نیز تعداد گزینه‌های آزمایش‌شده را افزایش دهد. سامانهٔ پشتیبان تصمیم‌گیری طراحی‌شده، فرایند تصمیم‌گیری را با دقت و سرعت عمل بیشتر انجام می‌دهد. با استفاده از این سامانه ذی‌نفعان می‌توانند رویهٔ تصمیم‌گیری را بازبینی کنند، وزن‌ها را تغییر دهند و به کیفیت تصمیم بهتر دست یابند. البته، در منابع مختلف می‌توان اهمیت زیادی را در درک و استفادهٔ صحیح از سامانه‌های پشتیبان تصمیم محیطی و فناوری‌های مرتبط با آن مشاهده کرد (لی و همکاران [۲۷]، دراگان و همکاران [۳۰]، ایزگونس و همکاران [۳۲] و رنجان و همکاران [۳۳]).

شایان توجه است که هر چه این نوع سامانه‌ها پایگاه داده‌ای جامع‌تر و به‌روزتری داشته باشند و بتوانند مشکلات و فرصت‌های موجود در حوضه را بهتر معرفی و ارائه کنند، جنبهٔ کاربردی آنها افزایش می‌یابد. برای موفقیت بهتر و پذیرش همگانی سامانهٔ پشتیبانی تصمیم و امکان اجرای آن به شکل عملیاتی در حوضه، باید عواملی را که بیشتر مد نظر ذی‌نفعان است، در سامانه دخالت داد. همچنین، باید از همان مراحل اولیهٔ تهیهٔ این نوع سامانه‌ها از دیدگاه‌های ذی‌نفعان مختلف استفاده کرد و آنها را در کلیهٔ مراحل توسعهٔ سامانهٔ پشتیبان تصمیم مشارکت داد، تا سامانه‌های متناسب با نیازها و اولویت‌های آنها ارائه شود و نیز بازخوردهای آنها جمع‌آوری شده و در نسخه‌های اصلاح‌شدهٔ بعدی اعمال شود. محققانی همچون لچر و الووهیر [۲۹]، وان‌دلدن و همکاران [۳۱] و دراگان و همکاران [۳۰] بر این موضوع تأکید زیادی دارند و دلایل عدم موفقیت این نوع سامانه‌ها را دخالت ندادن ذی‌نفعان و استفاده نکردن از دیدگاه‌های آنها در کلیهٔ مراحل توسعهٔ سامانه می‌دانند.

سامانهٔ پشتیبان تصمیم ارائه‌شده در مقالهٔ حاضر در مجموع توانسته است به مواردی همچون معرفی ویژگی‌های حوضه به صورت تصویری؛ شناسایی ساختار مشکلات حوضه در قالب رویکرد DPSIR؛ شناسایی و معرفی راه‌حل‌های ممکن همراه با پراکنش مکانی آنها؛ ارائهٔ آثار مختلف راه حل‌ها از جنبه‌های (فیزیکی، اقتصادی – اجتماعی و اکولوژیکی)؛ موازنهٔ تأثیرات و اعمال فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب گزینهٔ مدیریتی برتر؛ ارائهٔ واسط کاربر ترسیمی قابل فهم و آسان برای استفاده‌کنندگان غیر حرفه‌ای و در آخر، طراحی سامانه در محیط شبکه و قابل دسترس و رایگان برای تمامی کاربران بپردازد. این امر بیان‌کنندهٔ سودمندی‌های مترتب بر استفاده از سامانهٔ یادشده در مقایسه با سازوکار تصمیم‌گیری سنتی و مرسوم (فاقد ابزار تصمیم‌گیری) است.

بنابراین، توسعهٔ سامانه‌های پشتیبانی تصمیم به منظور تسهیل فرایند تصمیم‌گیری در زمینه‌های مختلف برای آبخیزهای کشور با تأکید بر مشارکت ذی‌نفعان هنگام توسعهٔ آنها و اخذ بازخورد بعد از بهره‌برداری آنها توصیه می‌شود. همچنین، مهیا کردن زمینهٔ استفاده از این نوع سامانه‌ها در ادارات و سازمان‌ها برای کمک به مدیران، کارشناسان و برنامه‌ریزان برای پشتیبانی از تصمیم و تسهیل در فرایند تصمیم‌گیری توصیه می‌شود. نسخهٔ اولیهٔ DSS تهیه‌شده در تحقیق حاضر می‌تواند براساس نیازها و ویژگی‌های خاص کشورمان برای توسعهٔ نسخهٔ ژنریک سامانهٔ پشتیبان تصمیم آبخیزهای کشور در مناطق مشابه به جای نسخه‌های خارجی استفاده شود. واسط کاربر ساده و قابل فهم، انعطاف‌پذیری زیاد و امکان اعمال تغییرات براساس شرایط و نیازهای مختلف و امکان حذف و اضافه کردن متغیرها از دیگر مزایای نسخهٔ بومی ارائه شده است. به‌منظور دسترسی آسان و فراگیر، این سامانه تحت شبکه طراحی شده است تا کاربران بتوانند از طریق شبکهٔ اینترنت از این ابزار تصمیم‌گیری، بدون محدودیت استفاده کنند. این ویژگی به منظور مدیریت جامع و مشارکتی آبخیزها اهمیت زیادی دارد.

با توجه به تنوع اقدامات اصلاحی، تنوع آثار و تنوع سناریوها، سامانهٔ پشتیبان تصمیم توسعه داده‌شده در تحقیق حاضر با معرفی ویژگی‌های آبخیز و مشکلات آن و ارزیابی راه حل‌ها و تأثیرات احتمالی مختلف آنها برای کاربران اعم از افراد متخصص و غیر آن سودمند است و به این ترتیب، فرایند تصمیم‌گیری را ارتقا می‌دهد و تسهیل می‌کند. شایان یادآوری است سامانهٔ ارائه‌شده در تحقیق حاضر یک نسخهٔ اولیه است و بررسی‌های فنی در خصوص ارزیابی ویژگی‌های مختلف سامانه در مطالعات تکمیلی می‌تواند به ارائهٔ نسخهٔ نهایی این سامانه منجر شود.

در مجموع، می‌توان گفت که وارد شدن سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری به برنامه‌ریزی و مدیریت در منابع طبیعی و آبخیزداری، مقوله‌ای جدید در کشور است که نیاز به آزمون بیشتری دارد تا بتواند کارایی و اثربخشی خود را در این ساختار نشان دهد. کاربردی شدن سامانه‌های پشتیبان تصمیم محیطی توسط کاربران یکی از چالش‌های عمده در طراحی این سامانه‌هاست، بنابراین تحقیقات آتی در زمینهٔ توسعهٔ مشارکتی سامانه‌های پشتیبان تصمیم با ایفای نقش فعال توسط کلیهٔ ذی‌نفعان در همهٔ مراحل طراحی، ساخت و استفاده از سامانه‌های پشتیبان تصمیم تأکید شده است. علاوه بر این، مشارکت ذی‌نفعان و مدل‌سازان در توسعهٔ اجزای واسط کاربر گرافیکی سامانه، می‌تواند به طراحی سامانه‌ای کاربرپسندتر و مطلوب‌تر منجر شود.

منابع

[1].Kelly RA, Jakeman AJ, Barreteau O, Borsuk ME, Elsawah S, Hamilton, S, et al. Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. Environmental Modelling & Software. 2013; 47: 159-181.

[2].Kim Y, Chung ES. An index-based robust decision making framework for watershed management in a changing climate. Science of the Total Environment. 2014; 473–474: 88–102.

[3].Alvarez IN. A Bayesian model to construct a knowledge-based spatial decision support system for the Chaguana River Basin. PhD Thesis in Engineering. 2010; 164 p.

[4].Ako A, Eyong GT, NKeng GE. Water Resources Management and Integrated Water Resources Management (IWRM) in Cameroon. Water Resources Management. 2009; 24: 871-888.

[5].Quinn NWT. Environmental Information Management Systems as Templates for Successful Environmental Decision Support. International Congress on Environmental Modeling and Software: Modeling for Environment Sake. Fifth Biennial Meeting. Ottawa. Canada; 2010.

[6].Sadoddin A, Shahabi M, Bai M. Integrated watershed assessment and management Principles and approaches for modeling and decision making. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publishing: 2017; 170 p. [Persian]

[7].Shao H, Yang W, Lindsay J, Liu Y, Yu Z, Oginskyy A. An open source GIS-based decision support system for watershed evaluation of best management practices. Journal of the American Water Resources Association. 2017; 53(3): 521–531.

[8].Merritt WS, Pollino C, Powell S, Rayburg S. Integrating hydrology and ecology models into flexible and adaptive decision support tools: the IBIS DSS. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia; 2009. 13-17.

[9].Weng SQ, Huang GH, Li Y. An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning- A case study in the Haihe River Basin. Expert Systems with Applications. 2010; 37: 8242-8254.

[10]. Sadoddin A, Letcher RA, Jakeman AJ, Croke BW, Newham LTH. A Bayesian model decision support system for salinity management. First International Conference of Sustainable Watershed Management (SuWaMa). Istanbul. Turkey; 2011.

[11]. Kazak J, Chru´sci J, Szewra ´nski S. The Development of a Novel Decision Support System for the Location of Green Infrastructure for Stormwater Management. Sustainability. 2018; 10(4388):1-20.

[12]. Zhang Sh, Li Y, Zhang T, Peng Y. An integrated environmental decision support system for water pollution control based on TMDL - A case study in the Beiyun River watershed. Journal of Environmental Management. 2015; 156: 31- 40.

[13]. Goharian E, Burian S. Developing an integrated framework to build a decision support tool for urban water management. Journal of Hydroinformatics. 2018; 20 (3): 708-727.

[14]. Shereif H, Mahmoud E, Thian YG. Urbanization and climate change implications in flood risk management: Developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping. Science of the Total Environment. 2018; 636: 152-167.

[15]. Ashrafi M, Mahmoudi M. Developing a semi-distributed decision support system for great Karun water resources system. Journal of Applied Research in Water and Wastewater. 2019; 6:16-24.

[16]. Rafaeli S, Schatz Sá E, Debastiani A, Antunes T. Efficacy of Rainfall-Runoff Models in Loose Coupling Spacial Decision Support Systems Modelbase. Water Resources Management. 2019; 33:889–904.

[17]. Sadoddin A, Alvandi E, Sheikh VB. Developing a decision support system for participatory and integrated management of the Chel-Chay watershed, Golestan. Journal of Watershed Management Research. 2015; 6(11): 124-136. [Persian]

[18]. Keshtkar AR, Salajegheh A, Sadoddin A, Allan MG. Application of Bayesian networks for sustainability assessment in catchment modeling and management, case study: the Hablehrood river catchment. Ecological Modeling. 2013; 268: 48–54.

[19]. Kimloi N. Decision Support System (DSS) for sustainable watershed management in Dong Nai Watershed. Vietnam. Conceptual Framework and Proposed Research Techniques; 1998.

[20]. Babbar M, Mukhopadhyay S, Singh V, Piemontia A. A web-based software tool for participatory optimization of conservation practices in watersheds. Environmental Modelling & Software. 2015; 69: 111-127.

[21]. Smith R, Kasprzyk J, Dilling L. Participatory Framework for Assessment and Improvement of Tools (ParFAIT): Increasing the impact and relevance of water managementdecision support research. Environmental Modelling & Software. 2017; 95: 432-446.

[22]. Zulkafli Z, Perez K, Vitolo C, Buytaert W, Dewulf A, Clark J, et al. User-driven design of decision support systems for polycentric environmental resources management. Environmental Modelling & Software. 2017; 88: 58-73.

[23]. Vahidnia M, Aleshaikh A, Alimohammadi A, Hosineali F. A spatial decision support system based on AHP. Conference and Exhibition of Geomatic. 2009; 14 pp. [Persian]

[24]. Kabaranzad M, Refogar astaneh H. Designing a decision support system for resource allocation problems in project management using Genetic Algorithm (GA). Journal of Information Technology Management. 2009; 1(3): 69- 88 [Persian]

[25]. Firuzi MA, Sajadian N, Sajadian M. Spatial decision support system for natural disaster risk management in rural areas using GIS, step towards sustainable development: Case study villages in Mazandaran province. Journal of Rural Development. 2011; 2: 93-115 [Persian]

[26]. Hofman D, Monte L, Boyer P, Brittain J, Donchytse G, Gallego D, et al. Computerised decision support systems for the management of freshwater radioecological emergencies: assessment of the state-of-the-art with respect to the experiences and needs of end-users. Journal of Environmental Radioactivity. 2011; 102: 119-127.

[27]. Lu Sh, Li J, Guan X, Gao X, Gu Y, Zhang D, et al. The evaluation of forestry ecological security in China: Developing a decision support system. Ecological Indicators. 2018; 91: 664-678.

[28]. Butchart D, Kralisch S, Fleischer M, Meinhardt M, Brenning A. Multicriteria decision analysis framework for hydrological decision supportusing environmental flow components. Ecological Indicators. 2018; 93:470–480.

[29]. Letcher RA, Aluwihare P. Development of a decision support system for the Namoi and Gwydir Valleys. Integrated Catchment Assessment and Management (iCAM) Centre. The Australian National University. Canberra; 2004.

[30]. Dragan A, Savic JB, Mark SM. A DSS generator for multi-objective optimisation of spreadsheet-based models. Journal of Environmental Modeling & Software. 2011; 26(5): 551-561.

[31]. Van Delden H, Seppelt R, White R, Jakeman AJ. A methodology for the design and development of integrated models for policy support. Environmental Modelling & Software. 2011; 26: 266-279.

[32]. Isigonis P, Critto A, Stefan M, Zabeo A, Ciffroy Ph, Marcomini A. "AMORE" Decision Support System for probabilistic Ecological Risk Assessment - Part I: Exposure and risk assessment of the case study on cyanide. Science of Total Environment. 2019; 648: 693-702.

[33]. Ranjan P, Singh A, Tomer M, Lewandowski A, Prokopy L. Lessons learned from using a decision-support tool for precision placement of conservation practices in six agricultural watersheds in the US Midwest. Journal of Environmental Management. 2019; 239: 57-65.