دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

ارائه مدل مدیریت جامع منابع آب و خاک حوضه رودخانه حبله‌رود با استفاده از رویکرد پویایی سامانه

ابراهیم کریمی سنگچینی[۱]، مجید اونق[۲]، امیر سعدالدین[۲]، مهدی ضرغامی[۳] و ایرج ویسکرمی[۴]

۱- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران (نویسنده مسوول: E.karimi64@gmail.com)
۲- استاد و دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه تبریز
۴- مربی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

تاریخ ارسال: ۹۸/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۶
صفحه: ۱۱۹ تا ۱۲۹

چکیده

در این تحقیق، مدل پویایی سامانه به‌منظور افزایش سطح ادراک سامانه آبخیز و تسهیل مدیریت جامع و پایدار منابع آب و خاک در حوضه رودخانه حبله‌رود ارائه داده شد. مدل مفهومی شامل زیرسامانه‌های فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی بر مبنای روابط علی – معلولی و بازخوردها ترسیم شد. نمودار ذخیره- جریان در نرم‌افزار Vensim اجرا شد. صحت‌سنجی مدل با آزمون‌های حدی و آزمون‌های ارزیابی عملکرد مدل انجام گرفت. مدل پویایی سامانه با ضریب نش- ساتکلیف و ضریب تبیین به‌ترتیب بیش‌تر از ۰/۶۲و ۰/۶۳ برای همه متغیرها صحت قابل‌قبولی داشته‌اند. سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی، اقلیمی، مدیریت منابع آب و الگوی کشت با وضعیت موجود مقایسه شدند. نتایج حاصل از تحلیل سناریوهای مورد بررسی در یک دوره ۳۰ ساله نشان داد که سناریوی مدیریت کارآیی آب کشاورزی به‌عنوان سناریوی برتر به‌ترتیب ۱۴/۳ و ۱۱/۱ درصد حجم آب زیرزمینی و نفوذ آب را نسبت به وضع موجود بهبود می‌بخشد. از نظر متغیرهای فرسایش و رسوب، سناریوی فعالیت‌های اصلاح مراتع به‌ترتیب با ۷/۶ و ۵/۳ درصد کاهش نسبت به وضع موجود به‌عنوان سناریوی برتر شناخته شدند. بیش‌ترین کاهش در هدررفت‌های نیتروژن و فسفر به‌ترتیب با ۸ و ۶/۴درصد نسبت به وضع موجود، با اجرای سناریوی اصلاح مراتع حاصل شد. سناریوی پرداخت ۵۰ درصد درآمد خدمات زیست‌بومی با بهبود وضعیت در حدود ۴۶ درصد در یک دوره ۳۰ ساله نسبت به وضع موجود به‌عنوان سناریوی برتر شناخته شد. ذینفعان تمایل بیش‌تر خود را برای مشارکت در پروژه‌های مربوط به مدیریت مزرعه (امتیاز تجمعی شاخص پذیرش مردمی ۸۵/۶) نشان دادند. مدل پویایی سامانه برای افزایش ادراک ذینفعان از روابط علی و معلولی و بازخوردهای سامانه سودمند است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره‌های بازخوردی، سناریوهای پیشنهادی، مدل مفهومی، نمودار علی-معلولی، Vensim

مقدمه

منابع آب و خاک، زیرساخت‌های توسعه کشاورزی و منابع طبیعی در سراسر جهان هستند. مدیریت و استفاده مناسب از منابع آب و خاک زیرساخت توسعه پایدار اقتصادی می‌باشند (۵). مدیریت منابع آب و خاک نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکردی جامع است. علم پویایی سامانه، یک ابزار مدیریتی بر اساس این نگرش می‌باشد. (۱۷ و ۲۲). به کمک این شبیه‌سازی پیامدهای نامشخص تصمیم‌گیری‌ها آشکار می‌شود. هدف عمده این روش شبیه‌سازی، تسریع و تسهیل یادگیری رفتار سامانه‌ها در شرایط فعلی و آینده است (۱، ۸، ۱۴، ۱۶، ۲۵ و ۲۶). رویکرد پویایی سامانه به ارزیابی تصمیمات و سیاست‌های مختلف کمک می‌کند و هم‌چنین می‌تواند به سؤالات زیادی در باره استفاده از آب، محیط زیست، اهداف جریان، طراحی و سیاست‌های برداشت و تخصیص آب پاسخ گوید (۷، ۱۰، ۱۶، ۲۳ و ۲۹). رودخانه حبله‌رود تنها رودخانه دائمی استان سمنان و شهرستان گرمسار می‌باشد. این رودخانه مهم‌ترین منبع آب کشاورزی و شرب مردم گرمسار است. آبخیز حبله‌رود دارای مشکلات طبیعی و انسان‌ساخت زیادی در زمینه منابع آب و خاک (پایین‌رفتن سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب، کاهش کیفیت خاک زراعی و شوری اراضی، بروز سیلاب، بیابان‌زایی، افزایش برداشت از آب، خشکسالی‌های پی‌درپی، تصرفات اراضی ملی در عرصه‌های بالادست رودخانه، چرای بیش‌ازحد دام‌ها، تبدیل مراتع به دیمزارهای کم‌بازده، تخریب جنگل، توسعه شهرنشینی و صنعتی) است (۱۲). شاراوات و همکاران (۱۹)، رویکرد پویایی سامانه را برای مدیریت یکپارچه منابع آب در شهری در شمال هند به‌کار بردند. هدف از این مطالعه، بررسی سناریوهای سیاستی مدیریت مصرف آب و دفع فاضلاب برای شهرهای درحال رشد بود. نتایج نشان داد که در صورت ادامه روش‌های فعلی آبرسانی، تقاضای آب در ۲۵ سال ۶۹ درصد افزایش می یابد. هم‌چنین اقدامات کاهش رشد جمعیت و استفاده مجدد از آب پس از تصفیه به‌عنوان سناریوهای برتر برای کاهش تقاضای آب و کاهش تولید فاضلاب انتخاب شدند. سان و همکاران (۲۴)، کاربرد پویایی سامانه را در مدیریت پایدار منابع آب کشور چین ارزیابی نمودند. پنج زیرسامانه اصلی اقتصادی، جمعیت، عرضه و تقاضای آب، منابع زمینی، آلودگی آب و مدیریت بررسی شد. نتایج نشان داد که تغییرات عرضه و تقاضا به صرفه‌جویی

1- Driver-Pressure-State-Impact-Response

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]

در مصرف آب بسیار وابسته هستند. زارع و همکاران (۲۹)، مدل‌سازی یکپارچه منابع آب را با استفاده از ترکیب محرک–فشار–حالت–تأثیر–پاسخ (DPSIR[1]) و مدل‌سازی مفهومی پویایی سامانه در حوزه آبخیز گرگانرود انجام دادند. از چارچوب DPSIR برای تعریف مشکل و از نمودارهای علی–معلولی و الگوهای سامانه‌ای برای تهیه مدل مفهومی استفاده کردند. نتیجه‌گیری شد که ترکیبی از چندین مدل مفهومی، به‌عنوان مبنایی برای توسعه مدل پویایی سامانه، بینش متقابل را به مرزهای مشکل و ساختار مدل می دهد.

با بررسی تحقیقات صورت‌گرفته، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل پویایی سامانه، رویکردی جامع برای بررسی مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست است. هم‌چنین قابلیت آزمون سناریوهای مختلف را دارا می‌باشد. به‌همین دلیل، در این تحقیق سعی شد مدلی جامع برای مدیریت منابع آب و خاک با استفاده از رویکرد پویایی سامانه در حوضه حبله‌رود ارائه داده شود. هم‌چنین به‌منظور رفع مشکلات و در نظرگرفتن همه عوامل مؤثر در این حوضه، می‌توان برنامه مدیریت جامع منابع آب و خاک را به‌عنوان زیربنای اقدامات در جهت توسعه پایدار گسترش داد.

مواد و روش‌ها

۱- معرفی حوضه مورد تحقیق

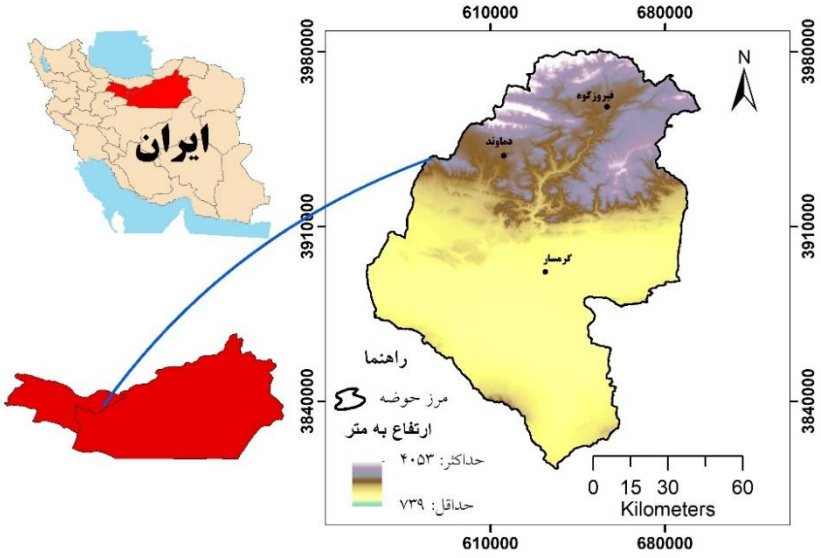
منطقه مورد مطالعه با مختصات ˚۳۵ تا ´۱۰ ˚۳۶ عرض شمالی و ´۳۹ ˚۵۱ تا ´۸ ˚۵۳ طول شرقی و با مساحت ۱۱۶۰۰ کیلومتر مربع در دو استان سمنان و تهران واقع شده است (شکل ۱). بخش شمالی حوضه عمدتاً کوهستان‌ها و تپه‌ها و هم‌چنین دشت‌های میان‌کوهی در محدوده استان تهران و بخش‌های دشتی آن عمدتاً در استان سمنان واقع شده است. بارندگی متوسط سالیانه این حوضه ۲۱۱ میلیمتر و دمای متوسط سالیانه ۷/۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. ارتفاع بلندترین نقطه این محدوده ۴۰۵۳ متر و پست‌ترین نقطه آن ۷۳۹ متر از سطح دریا می‌باشد. سازندهای حوضه مربوط به دوران سنوزوئیک، کواترنر و ترشیاری می‌باشد. عمده‌ترین کاربری‌های اراضی به‌صورت عمده شامل مراتع و چراگاه‌های فصلی، اراضی کشاورزی دیم، باغات و اراضی بایر هستند. فرسایش غالب در منطقه مورد مطالعه از نوع فرسایش آبی می‌باشد (۱۲).

۲- تعریف زیرسامانه‌ها

زیرسامانه‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به‌عنوان ارکان مدیریت جامع منابع آب و خاک در حوضه حبله‌رود انتخاب شدند.

۲-۱- زیرسامانه فیزیکی

بهبود الگوی کاربری اراضی در اثر اجرای فعالیت‌های مدیریتی، بر روی افزایش رواناب تأثیر کاهشی دارد. افزایش رواناب تأثیر تشدیدی بر روی کاهش کیفیت، بهبود بیلان آب و افزایش فرسایش خاک و تولید و انتقال رسوب دارد. که اثر تشدیدی بر کاهش کیفیت آب دارد (شکل ۳). روش شماره منحنی انجمن حفاظت خاک امریکا برای محاسبه رواناب استفاده شد. از مدل ارزیابی اثرات آب‌شناختی بلندمدت (L-THIA[1]) برای ارزیابی کیفیت آب استفاده شده است (۲۸). با استفاده از معادله تورک تبخیر و تعرق واقعی سالانه تخمین شد. جهت پیش‌بینی فرسایش از مدل EPM[2] استفاده شد. این مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های R^2 و نش–ساتکلیف[3] صحت سنجی شدند(۲۱ و ۲۷).



شکل۱- موقعیت حوضه رودخانه حبله‌رود در استان‌های تهران و سمنان و ایران
Figure 1. Location of the Habel-Rood basin in the provinces of Tehran and Semnan and in Iran

۲-۲- زیرسامانه اقتصادی

زیرسامانه اقتصادی از هزینه کل و درآمد کل تشکیل می‌شود که هزینه کل اثر منفی بر روی درآمد کل دارد. هزینه‌های فرسایش خاک، تولید رسوب، آلودگی آب و هزینه اجرا و نگه‌داری کاربری‌ها و فعالیت‌های مدیریتی اثر تشدیدی بر روی هزینه کل دارند. درآمد حاصل از کاربری‌ها و

1- Long-Term Hydrologic Impact Assessment 2- Erosion Potential Method 3- Nash–Sutcliffe

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]

فعالیت‌های موجود و درآمد حاصل از اجرای فعالیت‌های مدیریتی اثرات تشدیدی بر درآمد کل دارند (۱۱).

۲-۳- زیرسامانه اجتماعی

پذیرش سناریوها اثر مثبتی بر سطح مشارکت در طرح‌ها دارند و برعکس. عوامل امکانات و تسهیلات دولت، نقش دولت و سیاست‌گذاری، فعال‌کردن افراد تأثیرگذار و نقش NGOها اثرات مثبت بر وضعیت مشارکت مردم در طرح‌ها دارند (۶، ۴ و ۱۵). برای ارزیابی مشارکت در طرح‌ها از شاخص درصد افراد شرکت‌کننده در طرح‌ها تحت تأثیر عوامل اثرگذار بر آن‌ها استفاده شد (شکل ۳). این اطلاعات از طریق پرسشنامه و مصاحبه حضوری برداشت شدند. پذیرش مردمی سناریوهای مدیریتی با روش توزیع دوجمله‌ای تجزیه و تحلیل شد.

۳- حلقه‌های بازخورد

حلقه‌های بازخوردی شامل متغیرهای کمیت و کیفیت آب، حجم آب زیرزمینی، بیلان آب، جمعیت و اقتصاد می‌باشند. معمولاً ده الگو به‌عنوان به وجود آورنده مجموعه‌ای از الگوهای رفتاری در سامانه‌ها شناخته شده است: محدودیت‌های رشد[1]، تعویض بار مسئولیت[2]، اهداف در حال فرسایش[3]، صعود[4]، موفقیت برای موفق[5]، تراژدی منابع مشترک[6]، راه‌حل‌هایی که شکست می‌خورند[7]، رشد و شکست در سرمایه‌گذاری[8]، مخالفان تصادفی[9] و اصل جاذبیت[10] (۲).

٤- مدل مفهومی، نمودار ذخیره و جریان و اجرای مدل

پس از تعریف حلقه‌های بازخوردی، مدل مفهومی تهیه شد. برای کمی کردن این مدل، از نمودارهای ذخیره – جریان استفاده گردید. در مرحله بعد، این مدل در نرم‌افزار Vensim اجرا و سپس نتایج آن بررسی شد.

۵- آزمون‌های صحت سنجی مدل

برای بررسی صحت سنجی مدل تهیه‌شده از آزمون‌های شرایط حدی و آزمون عملکرد مدل استفاده شد. (۲۲).

۵-۱- آزمون شرایط حدی

آزمون شرایط حدی با اعمال شرایط حدی و بررسی نتایج حاصل از مدل انجام می‌شود. آزمون شرایط حدی، بر مقاوم بودن مدل در شرایط حدی تأکید دارد، یعنی تحت هر شرایطی با تغییر یافتن سیاست‌ها و یا مقادیر ورودی‌ها، مدل باید رفتار مورد انتظار را از خود نشان دهد (۲۰).

۵-۲- آزمون‌های رفتار (عملکرد) مدل

انجام این آزمون توانایی مدل در ایجاد نتایج صحیح و قابلیت اطمینان آن را نشان می‌دهد (۲۲). ضریب تعیین R^2 (متغیر بین صفر و یک) بیانگر میزان احتمال همبستگی میان دو دسته داده می‌باشد.

$$R^2=\frac{\left[\sum (y_{m,i}-\bar{y}_{m,i})(y_{s,i}-\bar{y}_{s,i})\right]^2}{\sum (y_{m,i}-\bar{y}_{m,i})^2 \sum (y_{s,i}-\bar{y}_{s,i})^2}$$

دامنه تغییرات معیار نش-ساتکلیف از منفی بی‌نهایت تا ۱ است. مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۰۵ حاکی از عملکرد قابل‌قبول مدل می‌باشد.

$$NSE=1-\frac{\sum (y_{m,i}-y_{s,i})^2}{\sum (y_{s,i}-\bar{y}_{s,i})^2}$$

در روابط بالا $y_{m,i}$، مقدار داده محاسباتی و $y_{s,i}$ نمایانگر داده مشاهداتی و $\bar{y}_{s,i}$ و $\bar{y}_{m,i}$ مقدار میانگین داده‌های محاسباتی و مشاهداتی می‌باشند (۱۳).

٦- طراحی سناریوها

سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی، اقلیمی، مدیریت منابع آب و تغییر الگوی کشت جهت تحلیل و بررسی اثر فعالیت‌های مدیریتی بر وضعیت فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌بومی منابع آب و خاک تعریف شدند (جدول ۱).

نتایج و بحث

۱- حلقه‌های بازخوردی

حلقه جمعیت–اقتصاد از الگوی "محدودیت‌های رشد" تبعیت دارد (شکل ۳). حلقه بیلان آب–جمعیت از الگوی " تراژدی منابع مشترک" تبعیت کرد (شکل ۴). حلقه اقتصاد–فرسایش و رسوب از الگوی "صعود" پیروی کرد (شکل ۶). حلقه اقتصاد– کمیت و کیفیت آب، از الگوی " تراژدی منابع مشترک" تبعیت کرد (شکل۵). حلقه اقتصاد–بیلان آب از الگوی " تراژدی منابع مشترک" تبعیت کرد (شکل ۷).

۲- نمودار ذخیره و جریان

به منظور کمی‌کردن مدل، نمودارهای ذخیره– جریان در محیط نرم‌افزار Vensim ترسیم شد قسمتی از این نمودار در شکل ۸ نمایش داده شده است.

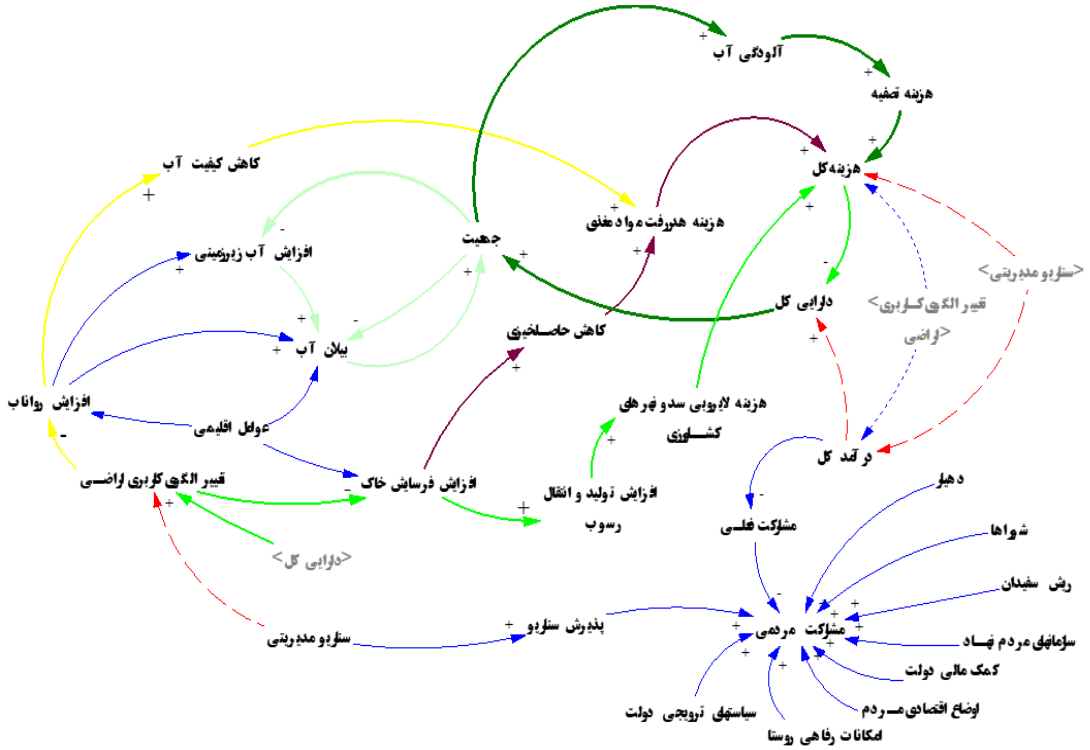
۳- آزمون‌های صحت سنجی مدل

صحت‌سنجی مدل با آزمون‌های حدی و ارزیابی عملکرد مدل بررسی شد. آزمون‌های حدی با فرض‌های صفر نمودن و افزایش دوبرابری میزان خروجی‌های آب زیرزمینی، صفر نمودن و افزایش دوبرابری میزان استفاده از آب در متغیر حالت بیلان آب، عدم افزایش جمعیتی در حوضه در ۲۰۰ سال آینده، عدم در نظر گیری هزینه و خسارت و افزایش دو برابری برای حوضه، افزایش دو برابری و عدم رخداد فرسایش و رسوب و بهبود شرایط حوضه روی شاخص‌های مشارکت مردمی و ساختار و عملکرد زیست‌بوم ارزیابی شد.

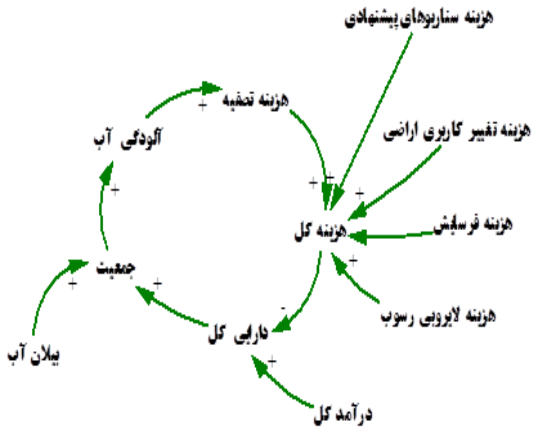
ارزیابی عملکرد مدل برای دبی متوسط سالیانه (۲۵ سال آمار مشاهداتی)، کیفیت آب (۸ سال آمار مشاهداتی)، رسوب (۱۰ سال آمار مشاهداتی) و آب زیرزمینی (۳۰ سال آمار مشاهداتی) بررسی و نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.

1- Limits to Growth
2- Shifting the Burden
3- Eroding Goals
4- Escalation
5- Success to the Successful
6- Tragedy of the Commons
7- Fixes that Fail
8- Growth and Under investment
9- Accidental Adversaries
10- Attractiveness Principle

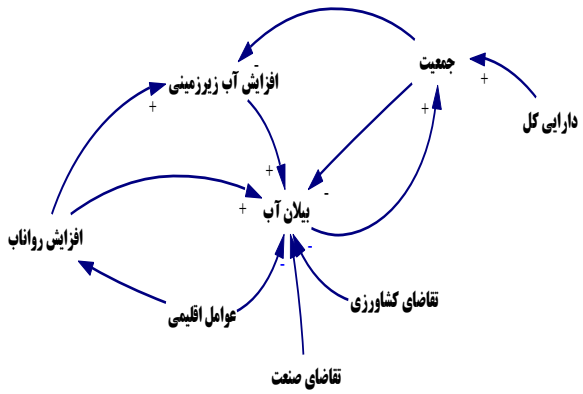
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]



شکل ۲- نمودار مفهومی حاکم بر مدل
Figure 2. The conceptual flowchart of the model

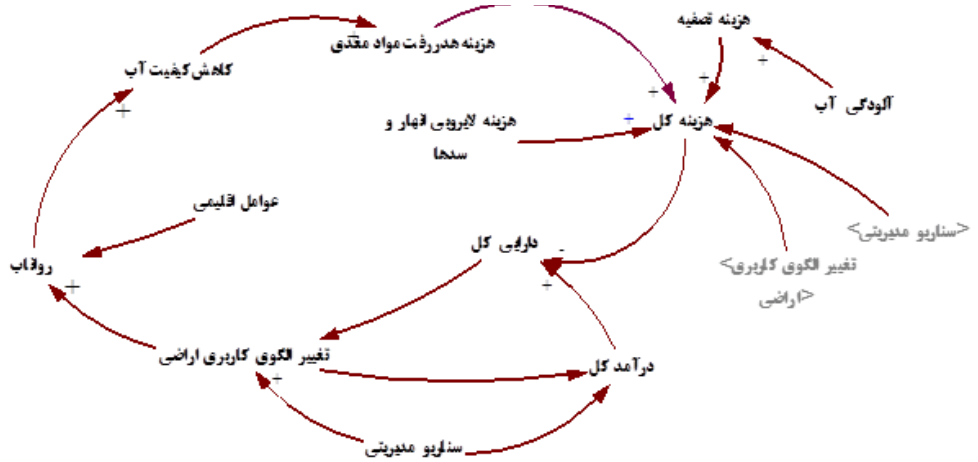


شکل ۳- توالی و اجزای حلقه بازخوردی اقتصاد- جمعیت
Figure 3. The sequence and components of the economic-population loop



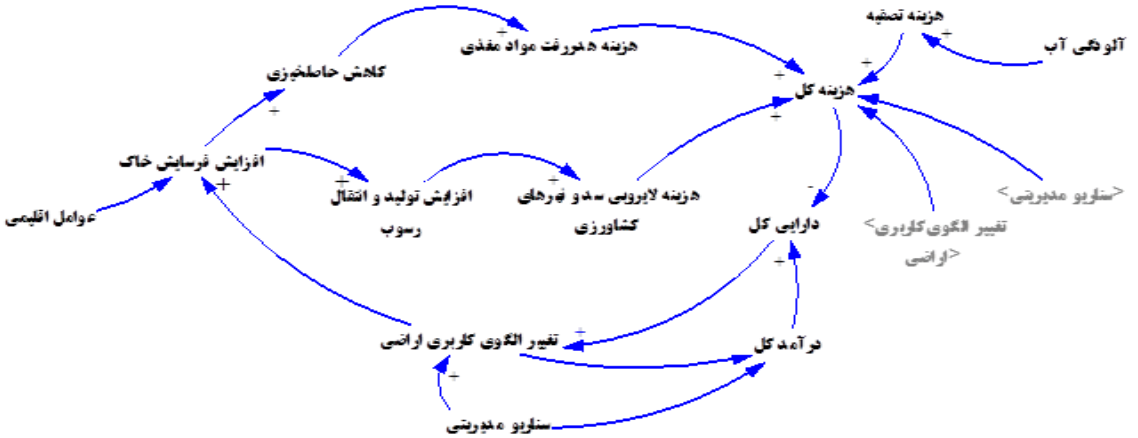
شکل ۴- توالی و اجزای حلقه بازخوردی جمعیت- بیلان آب
Figure 4. The sequence and components of the population-water balance loop

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]



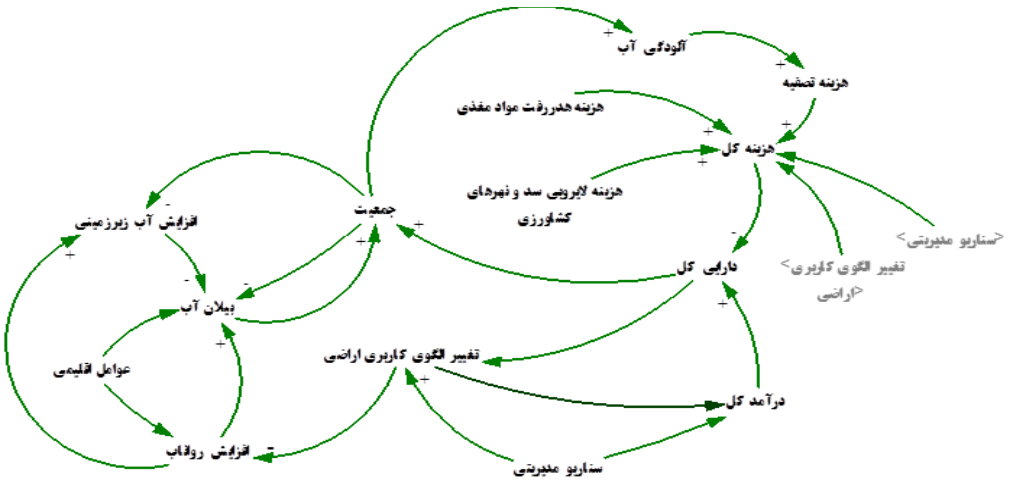
شکل ۵- توالی و اجزای حلقه اقتصاد- کمیت و کیفیت آب

Figure 5. The sequence and components of the economic - quantity and quality of water loop



شکل ۶- توالی و اجزای حلقه اقتصاد- فرسایش و رسوب

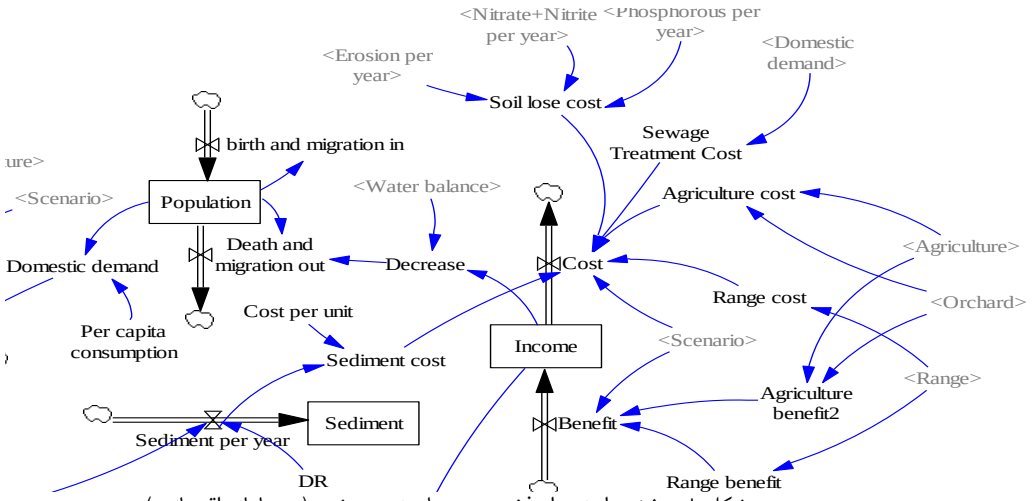
Figure 6. The sequence and components of the economic erosion and sedimentation loop



شکل ۷- توالی و اجزای حلقه بازخوردی اقتصاد- بیلان آب

Figure 7. The sequence and components of the economic - water balance loop

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]



شکل ۸- بخشی از نمودار ذخیره – جریان ترسیم شده (زیرسامانه اقتصادی)
Figure 8. Part of the stocks and flows diagram (Economic Subsystem)

جدول ۱- قواعد ایجاد سناریوهای مدیریت پوشش‌گیاهی، مدیریت آب و تغییر اقلیم حوضه حبله‌رود (اقتباس از ۳، ۹ و ۱۸)
Table 1. Principle for creating covert management scenarios, water management and climate change in Hableh-Rud River Basin

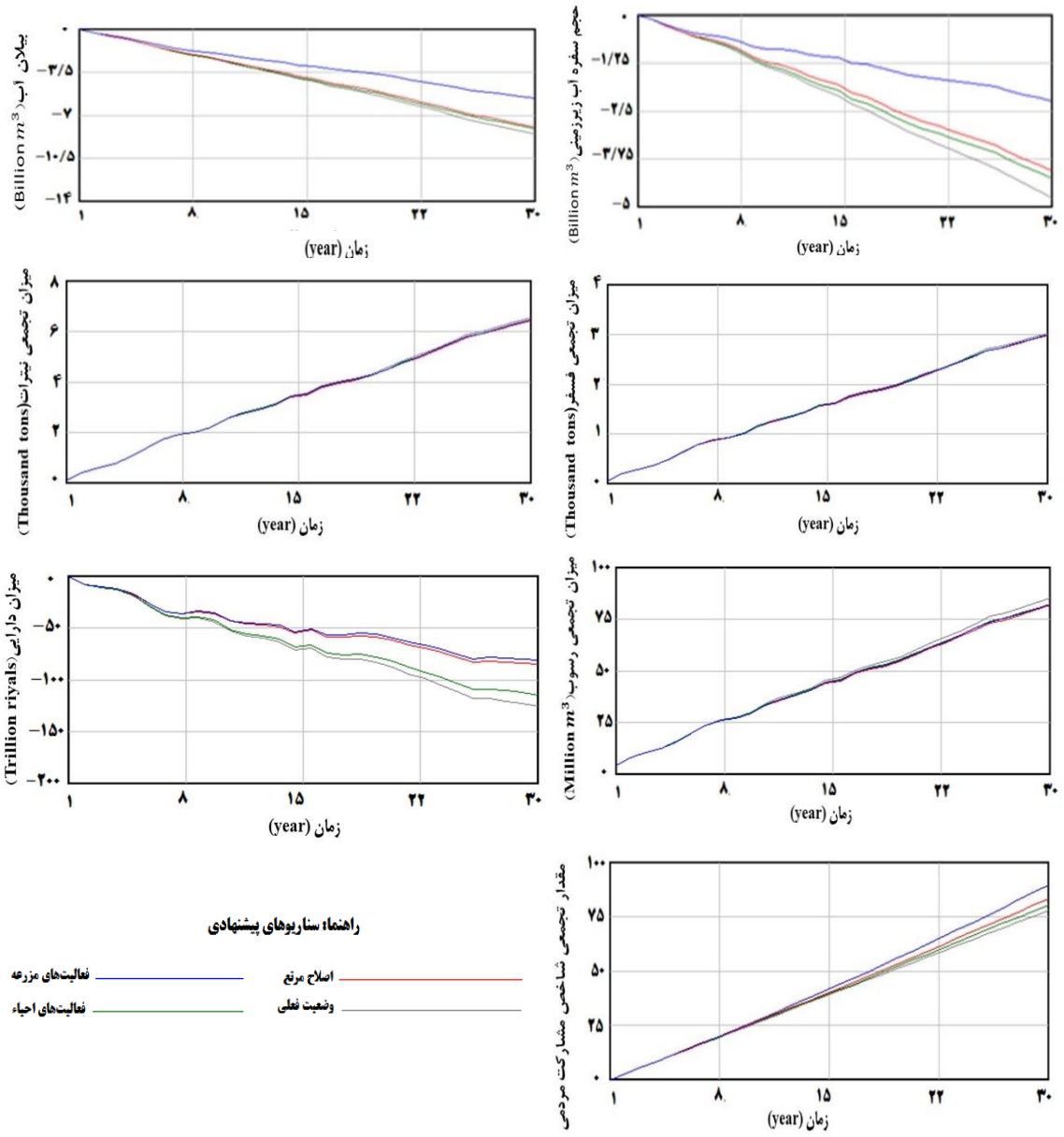
ردیف	عنوان سناریو	عنوان فعالیت	شرایط اجرا
۱	اصلاح مرتع	بذرکاری و اعمال روش‌های چرای چرخشی	مراتع با بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، با خاک عاری از سنگ و نیمه عمیق تا عمیق با بافت متوسط، شیب صفر تا ۱۰ درصد
۲		بذرپاشی همراه با اعمال روش‌های چرای چرخشی	مراتع با بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، با خاک متوسط و عمیق، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد
۳		کپه کاری همراه با روش‌های چرای چرخشی	مراتع با بارندگی بالای ۳۵۰ میلی‌متر، خاک ضعیف و کم‌عمق، سنگلاخی، پوشش‌گیاهی فقیر و خیلی‌فقیر، شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد
۴		قرق	مراتع با بارندگی بالای ۲۰۰ میلی‌متر، دارای صخره سنگی و برون‌زدگی سنگی، ضعیف تا متوسط، شیب بالای ۶۵ درصد
۵		ایجاد کنتور فارو همراه با کشت گیاهان مرتعی	مراتع با بارندگی ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر، پوشش گیاهی فقیر و خیلی فقیر، با خاک عاری از سنگ و نیمه عمیق تا عمیق با بافت متوسط، شیب صفر تا ۱۰ درصد
۶	احیاء	بهبود جوامع کنار رودخانه‌ای	فقط در نواحی کنار رودخانه‌ای که مستعد (بارندگی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر) باشند
۷		درختکاری	کشت درختان بومی مناطق با سابقه جنگلی و جنگلی کم تراکم با شیب صفر تا ۴۵ درصد، بارش بیش از ۴۰۰ میلی‌متر، خاک عمیق- نیمه عمیق و ارتفاع تا ۲۶۰۰ متر
۸		تاغ کاری	مناطق با سابقه تاغ زار و بایر، خاک عمیق- نیمه عمیق، شیب صفر تا ۴۵ درصد، با بارش کم‌تر از ۱۲۰ میلی‌متر
۹	عرصه مدیریت شده	تراس‌بندی	مناطق زارعی، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، خاک عمیق، بارش بالای ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع زیر ۳۰۰۰ متر و مناطق خطر فرسایش
۱۰		اگروفارستری	مناطق زارعی ، شیب ۱۰ تا ۳۰ درصد، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، خاک نیمه عمیق
۱۱		احداث باغ	مناطق زارعی ، شیب ۳۰ تا ۴۵ درصد، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، خاک عمیق- نیمه عمیق
۱۲		علوفه کاری روی خطوط تراز	مناطق زراعی ، شیب بیش‌تر از ۴۵ درصد، خاک عمیق و نیمه عمیق، بارش بیش از ۲۵۰ میلی‌متر، ارتفاع بدون محدودیت
۱	مدیریت آب و تغییر اقلیم	وضعیت موجود	فرض شود که هیچ گونه تغییری در وضعیت موجود اعمال نشود.
۲		مدیریت الگوی کشت کشاورزی	فرض شود، الگوی کشت کشاورزی به الگوی کشت ایده آل براساس مدل آمایش سرزمین تدوین شده تغییر نماید.
۳		مدیریت نامناسب آب کشاورزی	فرض شود، کارآیی آب کشاورزی ۲۰ درصد کاهش یابد.
۴		مدیریت کارآیی آب کشاورزی	فرض شود، کارآیی آب کشاورزی ۲۰ درصد بهبود یابد.
۵		تغییرات اقلیمی	فرض شود، کاهش ۱۰ درصدی در بارش و افزایش ۱ درجه‌ای در دما اتفاق افتد.
۶		پرداخت ۲۵ درصد از درآمد خدمات زیست‌بومی برای ذینفعان	به منظور ایجاد انگیزه برای مدیریت بهتر مراتع، ۲۵ درصد از خدمات زیست‌بومی به ذینفعان پرداخت شود.
۷		پرداخت ۵۰ درصد از درآمد خدمات زیست‌بومی برای ذینفعان	به منظور ایجاد انگیزه برای مدیریت بهتر مراتع، ۵۰ درصد از خدمات زیست‌بومی به ذینفعان پرداخت شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]

جدول ۲- مقادیر معیارهای ضریب تبیین و ناش- ساتکلیف برای متغیرهای بررسی شده در حوضه رودخانه حبله رود

Table 2. Values of Coefficient of determination and Nash–Sutcliffe Factors for Variables Investigated in Hableh-Rud River Basin

متغیر / معیار	دبی	نیترات +نیتریت	فسفر	رسوب	آب زیرزمینی
ضریب تبیین (R^2)	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۷	۰/۷	۰/۸۹
ناش – ساتکلیف	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۷۹	۰/۸۶



شکل ۹- اثر سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر وضعیت فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی حوضه حبله‌رود

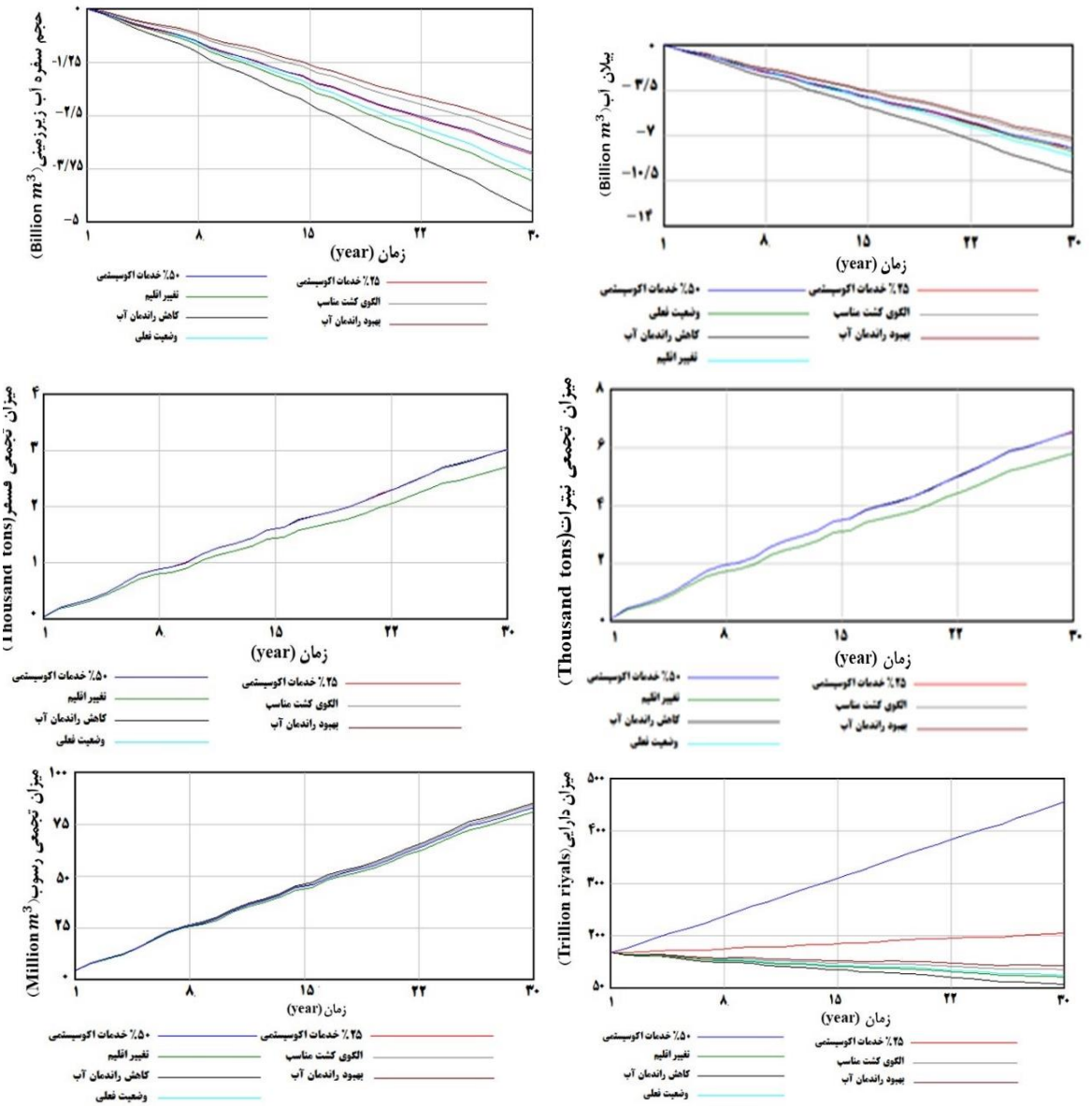
Figure 9. Effect of vegetation-based management scenarios on the Physical, Economic, and Social Conditions of the Hableh-Rud River Basin

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]

جدول ۳- وضعیت رتبه‌بندی سناریوهای مدیریت پوشش‌گیاهی بر اساس پارامترهای موردبررسی در حوضه حبله رود

Table 3. Status of the ranking of vegetation-based management scenarios based on the parameters studied in the Hableh-Rud River Basin

نام سناریو	رتبه سناریو							
	بیلان آب	آب زیرزمینی	نیترات و نیتریت	فسفر	دارایی (خسارت)	رسوب	مشارکت مردمی	اکولوژی
وضعیت موجود	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
اصلاح مراتع	۲	۲	۱	۱	۲	۱	۲	۱
فعالیت مزرعه	۱	۱	۳	۳	۱	۳	۱	۳
سناریوهای احیاء	۳	۳	۲	۲	۳	۲	۳	۲



شکل ۱۰- اثر سناریوهای پیشنهادی بر وضعیت بیلان آب و حجم سفره آب زیرزمینی، کیفیت آب (فسفر، نیترات)، رسوب و اقتصادی حوضه رودخانه حبله رود

Figure 10. Effect of proposed scenarios on water balance and volume of groundwater table, water quality (phosphorus, nitrate), sediment and economics of the Hableh-Rud River Basin

با بررسی متغیرهای آب زیرزمینی و بیلان آب نتیجه گیری می‌شود که اگر سناریوهای مدیریت کارآیی آب کشاورزی (به‌صورت مکانیزه) و تغییر الگوی کشت مناسب اجرا شوند، بیش‌ترین تأثیر را روی بهبود منابع آب سطحی و زیرزمینی خواهند داشت. یعنی بیش‌ترین هدررفت را کاربری کشاورزی در حوضه رودخانه حبله رود دارد. گوهری و همکاران (۹) نیز در تحقیق خود در ارتباط با مدیریت منابع آب حوضه آبخیز زاینده رود نیز به این نکته دست یافتند که با

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]

مدیریت تقاضای آب کشاورزی می‌توان به مدیریت پایدار در حوضه آبخیز دست یافت. با اجرای فعالیت‌های اصلاح مرتع، پرداخت خدمات زیست‌بومی مرتع به ذینفعان و مدیریت الگوی کشت بیش‌ترین کاهش در فرسایش و رسوب و هدررفت نیترات، نیتریت و فسفر مشاهده خواهد شد. بیش‌ترین مساحت حوضه حبله رود را مرتع پوشانده است، پس سناریوهای پیشنهادی بر روی اصلاح این کاربری نیز بااهمیت هستند. یه و همکاران (۲۷) و سلیمانی و همکاران (۲۱) در تحقیقات خود به نقش پررنگ مدیریت الگوی کشت بر کاهش میزان فرسایش و رسوب اشاره نمودند. با مکانیزه کردن آبیاری، می‌توان به کاهش فرسایش و رسوب و به تبع آن حفظ حاصلخیزی خاک کمک نمود.

جدول ۴– وضعیت تغییر سناریوهای مدیریت منابع آب، تغییر الگوی کشت و تغییر اقلیم بر اساس پارامترهای ارزیابی حوضه حبله رود
Table 4. Status of the proposed scenarios for water resources management, changing the pattern of cultivation and climate change based on the Parameters evaluated of the Hableh-Rud River Basin

نام سناریو	رتبه سناریو						
	بیلان آب (میلیارد مترمکعب) Billion m^3	آب زیرزمینی (میلیارد مترمکعب) Billion m^3	نیترات و نیتریت تجمعی (هزار تن) Thousand tons	فسفر تجمعی (هزار تن) Thousand tons	دارایی (هزار میلیارد ریال) Trillion Rials	فرسایش تجمعی (میلیون متر مکعب) Million m^3	رسوب تجمعی (میلیون متر مکعب) Million m^3
وضعیت موجود	-۹/۲۱	-۳/۸۲	۶/۵۱	۳/۱۳	۱۲۵/۸۱	۱۳۳/۸۷	۸۵/۳۱
مدیریت الگوی کشت کشاورزی	-۷/۶	-۳/۱۴	۶/۲۸	۳/۰۳	۱۳۷/۶۷	۱۲۷/۳۲	۸۰/۳۲
مدیریت نامناسب آب کشاورزی	-۱۰/۱۵	-۴/۱۶	۶/۵۳	۳/۱۳	۷۰/۶	۱۳۴/۶	۸۵/۵۴
مدیریت کارآیی آب کشاورزی	-۷/۲۸	-۲/۸۹	۶/۴۷	۳/۱۱	۱۸۰/۱۲	۱۲۸/۷۱	۸۰/۶۸
تغییرات اقلیمی	-۹/۶۹	-۳/۹۵	۴/۴۸	۲/۸	۹۳/۵	۱۳۱/۴۹	۸۱/۰۵
پرداخت ۲۵ درصد درآمد خدمات بیوسیستمی	-۸/۴۳	-۳/۶۴	۶/۴	۳/۱	۲۱۵/۷۵	۱۳۲/۴۳	۸۲/۹۶
پرداخت ۵۰ درصد درآمد خدمات بیوسیستمی	-۸/۳۷	-۳/۵	۶/۳۴	۳/۰۴	۴۶۶/۴۱	۱۳۰/۲۶	۸۰/۷۳

نتایج بخش اقتصادی نشان داد که سناریوهای پرداخت خدمات زیست‌بومی مرتع به ذینفعان، مدیریت کارآیی آب کشاورزی و تغییر الگوی کشت مناسب بالاترین کارایی را در اقتصاد ذینفعان خواهند داشت و می‌توانند هم‌چنین بیش‌ترین انگیزه اقتصادی را در ذینفعان برای اجرای این فعالیت‌ها داشته باشند. در تحقیق گوهری و همکاران (۹)، نیز مدیریت کارآیی آب کشاورزی و تغییر الگوی کشت بااهمیت بوده‌اند. از نظر اجتماعی، هر فعالیتی (ازجمله اگروفارستری، احداث باغ و تراس‌بندی) که به‌طور مستقیم بر اقتصاد ذینفعان تأثیرگذار باشد، طبیعتاً بیش‌ترین پذیرش مردمی را خواهد داشت. چن و همکاران (۶)، بلوملی (۴) و رویزمالن و همکاران (۱۵) در تحقیقات خود این عوامل را به‌عنوان عوامل مؤثر در مشارکت مردمی معرفی کردند. با توسعه مدل پویایی سامانه‌ای بر پایه زیرسامانه‌های چندمعیاره، می‌توان به مدیریت پایدار منابع آب و خاک حوضه رودخانه حبله‌رود نزدیک‌تر شد. مدل تهیه‌شده در این تحقیق می‌تواند برای افزایش ادراک ذینفعان از روابط علی و معلولی و بازخوردهای سامانه مفید باشد. همچنین این مدل، امکان پیش‌بینی نتایج سناریوهای مختلف را برای مدیران و تصمیم گیران در طی زمان فراهم می‌کند.

منابع

1. Barati, A.K., H. Azadi and J. Scheffran. 2019. A system dynamics model of smart groundwater governance. Agricultural Water Management, 221: 502-518.
2. Baron, J.S., N.L. Poff, P.L. Angermeier, C.N. Dahm, P.H. Gleick, R.B. Jackson, C.A. Johnston, B.D. Richter and A.D. Steinman. 2002. Meeting ecological and social needs for fresh water. Applied Ecology, 12(5): 1260-1274.
3. Bastin, G., P. Thomas, P. Novelly, M. Fleming and C. Baulderstone. 2008. ACRIS landscape function update 2006-2010 Updated information to that provided in rangelands 2008 – Taking the pulse. Published on behalf of the ACRIS Management Committee by the National Land and Water Resources Audit, Canberra. http://www.environment.gov.au/land/rangelands/acris/index.html
4. Blomley, T. 2006. Mainstreaming participatory forestry within the local government reform process in Tanzania. International institute for Environmental and Development. Gatekeeper series, 26 p.
5. Brooks, K.N. and M. Tayaa. 2002. Planning and managing soil and water resources in dry lands: role of watershed management. IALC Conference published in the Arid Lands Newsletter. International Arid Lands Consortium, 18 p.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]

6. Chen, Y., D. Zhang, Y. Sun, X. Liu, N. Wang and H.G. Savenije. 2005. Water demand management: A case study of the Heihe River Basin in China. Physics and Chemistry of the Earth, 30: 408-419.
7. Elmahdi, A., H. Malano and T. Etchells. 2007. Using system dynamics to model water -reallocation. Environmentalist, 27: 3-12.
8. Gastelum, J.R., G. Krishnamurthy, N. Ochoa, S. Sibbett, M. Armstrong and P. Kalaria. 2018. The Use of System Dynamics Model to Enhance Integrated Resources Planning Implementation. Water Resources Management, 32: 2247-2260.
9. Gohari, A., S. Eslamian, A. Mirchi, J. Abedi-Koupaei, A. Massah Bavani and K. Madani. 2013. Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can backfire. Journal of Hydrology, 491: 23-39.
10. Hassanzadeh, E., M. Zarghami and Y. Hassanzadeh. 2012. Determining the main factors in declining the Urmia lake level by using system dynamics modeling. Water Resource Management, 26:129-145.
11. Karimi Sangchini, E., M. Ownegh and A. Sadoddin. 2016. Landslide Hazard Management for Two Normal and Critical Scenarios in the Chehel - Chay Watershed. Golestan Province. Journal of Wound Management and Research, 7(13): 181-173.
12. Mahini, A.R. 2013. Capability evaluation and land use planning of integrated watershed management in Hablerud River Basin. Pooneh publication, Tehran, 368 pp (In persian).
13. McCuen, R., Z. Knight and A. Cutter. 2006. Evaluation of the Nash–Sutcliffe Efficiency Index. Journal of Hydrologic Engineering, 10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:6(597): 597-602.
14. Papachristos, G. 2019. System dynamics modelling and simulation for sociotechnical transitions research. Environmental Innovation and Societal Transitions, 31: 248-261.
15. Ruiz-Malle´n, I., E. Corbera, D. Calvo-Boyero and V. Reyes-Garcı´a. 2015. Participatory scenarios to explore local adaptation to global change in biosphere reserves: Experiences from Bolivia and Mexico. Environmental Science and Policy, 54: 398-408.
16. Sabbaghi, M., A. Shahnazari and A.N. Ziaei. 2018. Simulation and operation evaluation of Shahid Yaghoobi dam by using system dynamic. Journal of Watershed Management Research, 8(16):188-199.
17. Sadoddin, A., E. Alvandi, and V.B. Sheikh. 2015. Developing a Decision Support System for Participatory and Integrated Management of the Chel-Chai Watershed, Golestan Province. Journal of Watershed Management Research, 6(11): 124-136.
18. Sadoddin, A., R.A. Letcher, A.J. Jakeman and L.T.H. Newhamb. 2005. A Bayesian decision network approach for assessing the ecological impacts of salinity management. Journal of Mathematics and Computers in Simulation, 69: 162-176.
19. Sharawat, I., R. Dahiya, R.P. Dahiya, T.R. Sreekrishnan and S. Kumari. 2019. Policy options for managing the water resources in rapidly expanding cities: a system dynamics approach Sustain. Water Resource Management, 5(3): 1201-1215.
20. Simonovic, S.P. and S. Ahmad. 2000. System dynamics modeling of reservoir operation for flood management. Journal of computing in Civil Engineering, 14(3): 190-199.
21. Solaimani, K., S. Modallaldoust and S. Lotfi. 2009. Investigation of land use changes on soil erosion process using geographical information system. International Journal of Environmental Science Technology, 6(3): 415-424.
22. Sterman, J. 2000. Business dynamics: systems thinking for a complex world. Irwin/McGraw-Hill, 1008 pp.
23. Stojkovic, M. and S.P. Simonovic. 2019. System Dynamics Approach for Assessing the Behaviour of the Lim Reservoir System (Serbia) under Changing Climate Conditions. Water, 11, 1620; doi:10.3390/w11081620.
24. Sun, Y., N. Liu, J. Shang and J. Zhang. 2016. Sustainable utilization of water resources in China: A system dynamics model. Journal of Cleaner Production, 142. 10.1016/j.jclepro.2016.07.110.
25. Tseng, C.H., I.H. Lee and Y.C. Chen. 2019. Evaluation of hexavalent chromium concentration in water and its health risk with a system dynamics model. Science of the Total Environment, 669: 103-111.
26. Weng, S.Q., G.H. Huang and Y.P. Li. 2010. 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, 37: 8242-8254.
27. Yeh, S.C., C.A. Wang and H.C. Yu. 2006. Simulation of soil erosion and nutrient impact using an integrated system dynamics model in a watershed in Taiwan. Environmental Modeling and Software, 21: 937-948.
28. Youa, Y.Y., W.B. Jin. Q.X. Xiong, L. Xu, T.C. Ai and B.L. Li. 2012. Simulation and validation of on-point source nitrogen and phosphorus loads under different land uses in Sihu Basin, Hubei Province. China. The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling Procedia Environmental Sciences, 13: 1781.
29. Zare, F., E. Sondoss, A. Bagheri, E. Nabavi and A.J. Jakemane. 2019. Improved integrated water resource modelling by combining DPSIR and system dynamics conceptual modelling techniques. Journal of Environmental Management, 246: 27-41.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]

Developing a Model for the Integrated Management of Water and Soil Resources in the Hableh-Rud River Basin Using the System Dynamics Approach

Ebrahim Karimi Sangchini[1], Majid Ownegh[2], Amir Sadoddin[2], Mahdi Zarghami[3] and Iraj Vayskarami[4]

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran,
(Corresponding Author: E.karimi64@gmail.com)
2- Professor and Associate Professor of Watershed Management Department,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Professor of Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz
4- Research Assistant of Soil Conservation and Watershed Management Research Department,
Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and
Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.
Received: 22 July, 2019 Accepted: 15 Februery, 2020

Abstract

In this research, System Dynamics (SD) modeling was developed for facilitates the integrated and sustainable management of water and soil resources and improving the understanding of watershed systems in the Hableh-Rud River Basin. Reference diagrams were created to represent causal relationships and feedbacks. The conceptual model, included physical, economic, and social sub-systems, was created based by causal relationships and feedbacks. The model of stocks and flows run in the Vensim software environment. The model is comprised of Model verification was carried out through extreme condition tests and behavior reproduction test. Having the Nash-Sutcliff and R^2 coefficients with greater values than 0.62 and 0.63, respectively, the SD model satisfactorily simulates all variables. Different scenarios of vegetation management, climate, water resources management, and cropping patterns were compared to the outputs of the existing condition. The results of scenario analyses for a 30-year period show that the agricultural water use efficiency scenario, as the best scenario, increases groundwater and water infiltration volume by 14.3 and 11.1 percent, respectively. With regard to the erosion and sedimentation variables, rangeland restoration activities were chosen as the best scenario, with 7.12 and 5.24 percent reduction. The greatest reduction in nitrogen and phosphorous loss, 8% and 6.4% reduction could be achieved by implementing the rangeland restoration scenario. From an economic perspective, payment for 50% of the ecosystem services, with about 46 percent improvement compared to the current condition, was determined as the best scenario. Stakeholders expressed their highest willingness to participate in the farm management activities with the accumulated score of 85.6 for public acceptance index. The SD model is a beneficial approach for stakeholders understanding of the causal relationships and feedbacks in the system.

Key words: Conceptual model, Cause–effect diagram, Feedback loops, Suggested scenarios, Vensim

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-06-30]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.12.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.119]