دانشکده مهندسی و فنآوری دانشگاه مازندران

عنوان درس: تحلیل و مدیریت سیستم‌های منابع آب ۱

Water Resources System Analysis-1

مدرس: دکتر محمود محمد رضاپور طبری

دانشیار گروه مهندسی عمران

مدلسازی سیستم‌ها

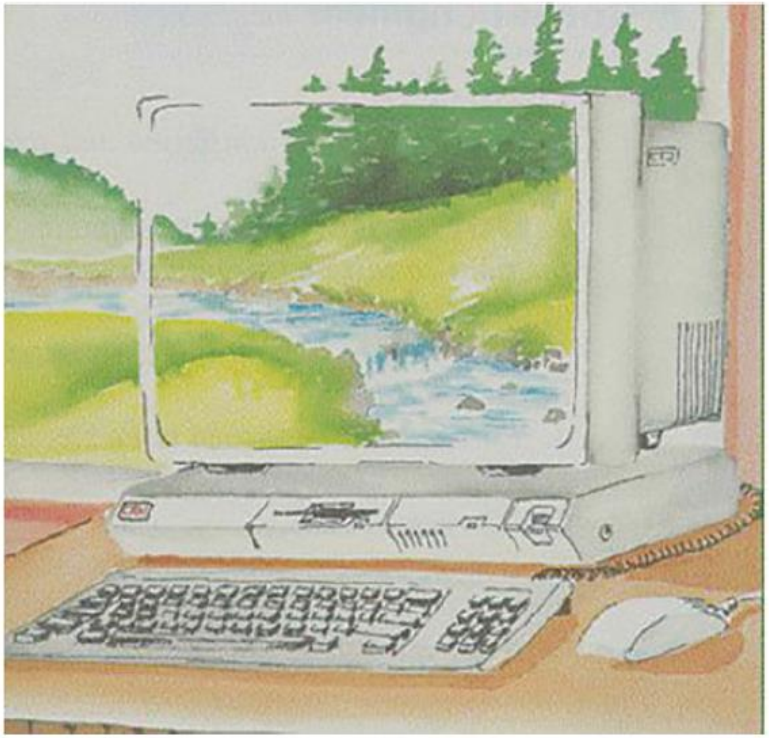
- چالش‌ها و پیشرفت‌ها در مدلسازی سیستم‌های منابع آب
- روش‌های مدلسازی
- شبیه‌سازی و بهینه‌سازی
- گام‌های مدلسازی

مدلسازی سیستم‌ها

مدلسازی روشی را جهت پیش بینی رفتار زیربنایی طرح های پیشنهادی و یا سیاست های بهره برداری فراهم می کند.

مدلسازی سامانه های منابع آب به دلایل زیر بسیار پیچیده است:

- عدم شناخت کافی از فرآیندهای متعدد فیزیکی، زیست-شیمیایی، بوم شناختی، اجتماعی، حقوقی و سیاسی حاکم بر رفتار سامانه های منابع آب
- وجود عدم قطعیت در متغییرهای مدلسازی همانند میزان آب در دسترس، نیازهای آبی، ...
- وجود اقدامات غیرقابل پیش بینی افراد و سازمان های مختلفی که متأثر از سامانه های آبی می باشند و یا به صورت مستقیم از منابع آب بهره برداری می نمایند.



مدل های سامانه های دنیای واقعی (Real-world systems) همیشه **نماینده ساده شده** سامانه های دنیای واقعی می باشند.

کیفیت مدلسازی وابسته به **مهارت مدلساز** و از همه مهم تر **درک مدلسازی از فرآیند تصمیم گیری و سامانه واقعی** است.

مدل ها تنها به **تولید اطلاعات** می پردازند و **ارائه دهنده تصمیم نمی باشند.**

مدلسازی سیستم‌ها

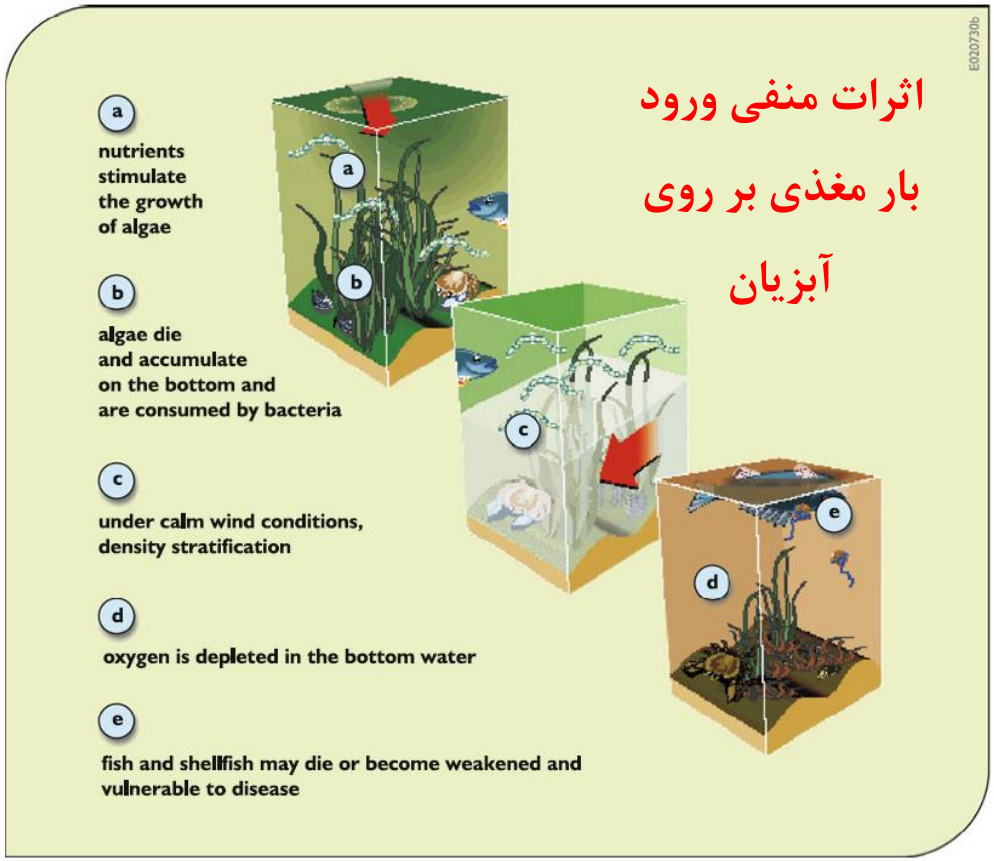
مثالی از یک رویکرد مدلسازی

مجموعه ای از مدل های مورد نیاز جهت پیش بینی زنده ماندن ماهی ها و حلزون های صدف دار (shellfish) را که تابعی از بار مواد مغذی ورودی به یک رودخانه می باشد، مورد مدلسازی قرار گیرد.

موارد قابل توجه در این مدلسازی:

- شرایط ماهی ها و حلزون های صدف دار برای ذی نفعان مهم می باشند.
- جهت سالم نگه داشتن این آبزیان لازم است تراز اکسیژن در ورودی رودخانه بالا باشد. برای این منظور شکوفایی جلبک ها (algae blooms) که در نتیجه ورود بار مغذی به رودخانه صورت می گیرد، باید کنترل شود.

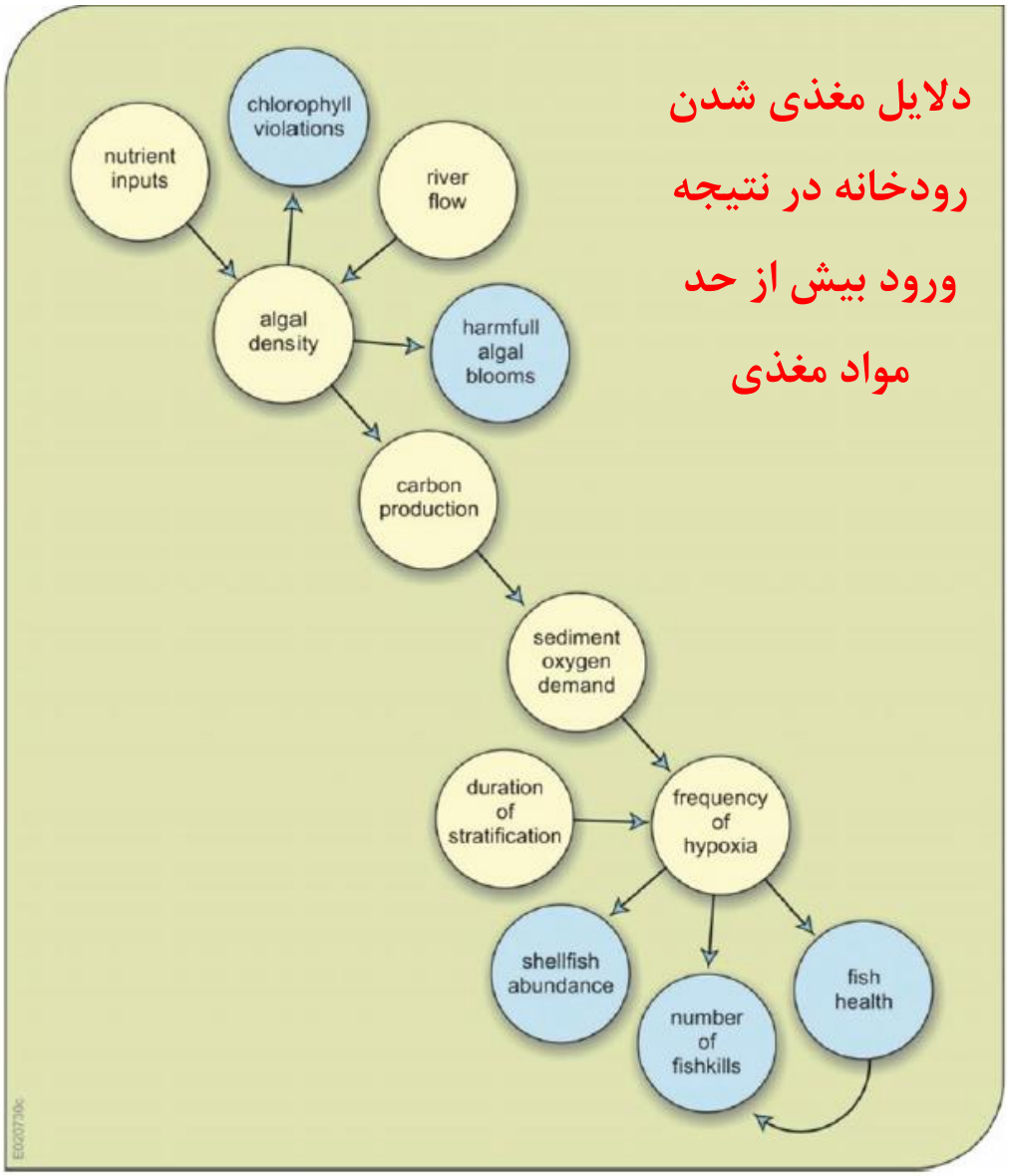
هدف مدلسازی: تعیین ارتباط (رابطه کمی) بین بار مواد مغذی و زنده ماندن ماهی ها و حلزون صدف دار است.



مدلسازی سیستم‌ها

در این مدلسازی داده های ورودی قطعی و غیرقطعی زیادی وجود دارد که بر روی مدل پیش بینی فراوانی آبزیان تأثیر می گذارد.

مدل هایی که در این مثال می تواند مورد استفاده قرار گیرد از رگرسیون ساده تا مدل های مبتنی بر هوش مصنوعی را در بر می گیرد. هر کدام از این مدل ها دارای مزایا و محدودیت هایی می باشند و بکار گیری آن ها وابسته به مقدار و دقت داده های در دسترس جهت کالیبراسیون (Calibration) و صحت سنجی (Verification) است.



مدلسازی سیستم‌ها

موفقیت در مدلسازی در نتیجه داشتن ویژگی های زیر حاصل می شود:

- ✓ تمرکز سامانه (systems focus) یا جهت گیری (orientation): لازم است وابستگی ها و فعل و انفعالات مؤلفه ها درون سامانه، به عنوان یک مجموعه کل و همچنین به خود مؤلفه شناسایی شوند.
- ✓ بکارگیری گروه های مختلف بین رشته ای (The use of interdisciplinary teams): در بسیاری از مسائل پیچیده و نامتعارف، نقطه شروع حل مسأله جهت دستیابی به پاسخ مشخص نیست. لذا ضروری است از روش ها و مفاهیم سایر رشته ها استفاده شود.
- ✓ استفاده از علوم ریاضیات: غالب تحلیل گران جهت توصیف، شناسایی و ارزیابی تقابلات (Tradeoffs) بین اهداف متضاد و جهت تهیه گزارشات بدون ابهام از مدل های ریاضی استفاده می نمایند.

استفاده از مدلسازی برای مطالعه و بررسی تمامی مسائل مدیریت و برنامه ریزی منابع آب مناسب نمی باشد. زمانی می توان از روش های مدلسازی استفاده نمود که مشخصه های زیر موجود باشد:

- ➢ اهداف برنامه ریزی و مدیریت به طور منطقی توصیف شده باشند و افراد و سازمان هایی که از نتایج این مدل می توانند بهره مند شوند، مشخص باشند.
- ➢ عدم آشکار بودن بهترین تصمیم در صورت وجود گزینه های تصمیم گیری فراوان که اهداف مدلسازی را تأمین می نمایند.
- ➢ قابل توصیف بودن سامانه منابع آب و اهدافی که در آن تحلیل می شوند با استفاده از عبارات ریاضی
- ➢ امکان تخمین بهتر اطلاعات مورد نیاز همانند اثرات زیست محیطی، اقتصادی، آب شناسی و ... با استفاده از مدل فراهم باشد.
- ➢ مقدار پارامترهای مدل را بتوان با استفاده از داده های در دسترس به آسانی تخمین زد.

چالش های در مدلسازی سامانه های منابع آب

برنامه ریزان و مدیران سامانه های منابع آب، مسئولین حل مسائل مرتبط با می باشند. زمانی که با شکست مواجه می شوند، مورد نکوهش قرار می گیرند. عوامل ایجاد چالش در سامانه های منابع آب:

- متفاوت بودن عوامل، نیازها و انتظارات در یک سیستم منابع آب
- محدودیت منابع مالی و انسانی (افراد متخصص)
- وجود اهداف متناقض در تأمین نیازها و تخصیص از منابع آب (تأمین آب قابل اطمینان، ارزان، با کیفیت، تولید برق آبی، حفاظت در برابر سیلاب ها، ایجاد فرصت های تفریحی و کشتی رانی، حفاظت از محیط زیست و بهبود آن که ارضای تمامی اهداف با هم بسیار مشکل و چه بسا غیرممکن است.)

نکته: هر کسی نمی تواند سامانه منابع آب را بدون وجود تقابل (همانند برق آبی و کنترل سیلاب)، طراحی یا بهره برداری کند.

مهمترین چالش هایی که مدلسازان در نتیجه فعالیت سازمان ها و نهادها در دستیابی به اهداف مختلف با آن مواجه می باشند عبارتند از:

- شناسایی گزینه های خلاقانه برای حل مسائل
- یافتن آنچه را که هر یک از ذی نفعان جهت رسیدن به درک درستی از مسائل و اجماع بر آنچه که انجام می دهند، می خواهند بدانند.

مدلسازی سیستم‌ها

- توسعه و کاربرد مدل ها و ارائه نتایج آن ها به گونه ای که هر کس بتواند به درک مشترک که سازگار با ارزش های فردی خود باشد، برسد.
- تصمیم گیری و اجرای آن ها، با توجه به تفاوت در نظرات، ارزش های اجتماعی و اهداف

جهت حل چالش های مطرح شده، برنامه ریزان و مدیران باید موارد زیر را مدنظر قرار دهند:

- قوانین و مقررات حقوقی
- سابقه ای تصمیمات قبلی
- اولویت های مرتبط با ذی نفعان
- واکنش های احتمالی متأثران از تصمیمات
- اهمیت نسبی موضوعات مختلفی که به آن پرداخته می شود.
- جنبه های فنی، اقتصادی، مهندسی و علمی قابل اجرا از کار آن ها

نکته: جهت تضمین یک مطالعه موفق سامانه های منابع آب، مدلساز نه تنها باید مهارت های ریاضی و روش شناسی سامانه ها را کسب نماید، بلکه درک درستی از مهندسی محیط زیست، جنبه های اقتصادی، سیاسی، فرهنگی و اجتماعی مسائل برنامه ریزی منابع آب را داشته باشد.

مدلسازی سیستم‌ها

موارد مهم در ارزیابی سامانه های منابع آب:

۱- **به ندرت یک راه حل نهایی** برای مسائل برنامه ریزی منابع آب وجود دارد. برنامه ها و طرح ها پویا بوده و در طی زمان با امکانات ایجاد می شوند و جهت تطبیق با تغییرات مربوط به اهداف مدیریت و تقاضا، **اصلاح** می شوند.

۲- برای هر تصمیم اصلی، **تصمیمات کوچک تر** بسیاری وجود دارند که برای جنبه های مختلف یک طرح توسط سازمان های مختلف به وجود می آیند.

۳- به طور معمول زمان موجود برای مطالعات مسائل خاص منابع آب، **کوتاه تر از زمان مورد نیاز است.** در صورت وجود زمان کافی، به احتمال زیاد، اهداف مطالعات پایه به طور قابل توجهی توسط مدت زمان مطالعاتی که باید تکمیل شوند، **تغییر می کنند.**

لازم به ذکر است مهمترین مسأله ای که در رفع چالش های منابع آب باید به آن توجه شود این است که **ارتباط مداوم میان تحلیل گران، برنامه ریزان، مدیران، بهره برداران و سیاست گذاران سامانه** برقرار باشد. در واقع تصمیم گیری نیاز به اطلاعاتی است که در فرآیند مدلسازی باید به صورت مفید و معنی دار از آن استفاده شود. هنگامی که تصمیم گیری سپری شد، اغلب این اطلاعات بی فایده می شوند.

مدلسازی سیستم‌ها– روش های مدلسازی

در برنامه ریزی سامانه های منابع آب، باید طراحی ها بر مبنای **اهداف اقتصادی، زیست محیطی، بوشناسی، اجتماعی و یا سیاسی** صورت پذیرد. برخی از اهداف ممکن است در تضاد با هم باشند که مدل های می توانند به **شناسایی تقابلات مؤثر (Tradeoffs)** در میان این اهداف کمک نمایند. این تقابلات نشان می دهند که چه ترکیبی از اهداف می تواند از طراحی های مختلف سامانه و سیاست های مختلف بهره برداری بدست آید.

به طور کلی صرفنظر از پیچیدگی مسائل مدیریت منابع آب، **روش های مدلسازی یکسان** می باشند. امروزه برنامه ریزی و مدیریت منابع آب با استفاده از مدل های بهینه سازی و شبیه سازی صورت می گیرد. هیچ نرم افزاری در حال حاضر وجود ندارد که به خودی خود این مدل ها را بسازد. اینکه چه چیزی در مدل ها دخالت داده شود و یا نشود، مستلزم **قضاوت، تجربه و دانش در مورد مسئله مورد مطالعه** است.

مدل های ریاضی مشتمل بر معادلات جبری می باشند. این معادلات شامل متغییرهای معلوم و مجهول هستند. متغییرهای معلوم اغلب نمایه ها و متغییرهای مجهول اغلب متغییرهای تصمیم (Decision Variable) نامیده می شوند. مدل ها با هدف اولیه شناسایی بهترین متغییر تصمیم توسعه داده می شوند.

حل یک مدل به معنی یافتن مقادیر متغییر تصمیم مجهول است. مقادیر این متغییرهای تصمیم می توانند یک طرح یا سیاست را توصیف نمایند. آن ها همچنین می توانند تعیین کننده هزینه ها یا منافع یا دیگر نمایه های عملکرد سامانه در یک طرح یا سیاست مدیریتی خاص باشند.

مدلسازی سیستم‌ها

نمونه ای از یک مدلسازی فیزیکی که ذی نفعان در حال بررسی حوضه مورد مطالعه می باشند.

لازم به ذکر است مدل چه فیزیکی باشد و چه ریاضی، یابد اطلاعات مطلوب را به گونه ای فراهم کند که افراد ذی نفع بتوانند درک صحیحی از آن داشته باشند.

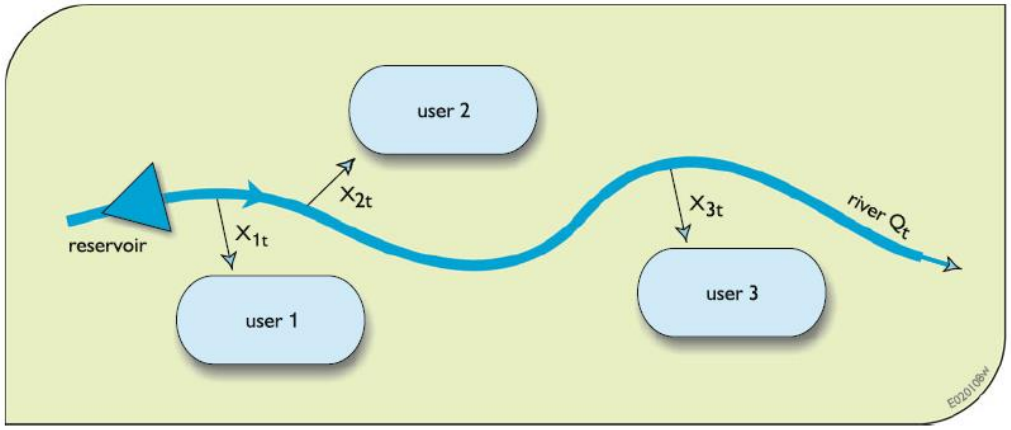
روش های مدلسازی (شبیه سازی یا بهینه سازی)

الف) شبیه سازی (Simulation)

- مدل های شبیه سازی با استفاده از فرضیه های موجود در مدل های بهینه سازی ساده سازی نمی شوند.
- ورودی های مدل های شبیه سازی می توانند سری زمانی داده های مرتبط با آب شناسی، اقتصادی، زیست محیطی (بارش، جریان رودخانه، تقاضای آب، بار آلودگی) و ... باشند. خروجی های آن می تواند تغییرات شاخص های عملکرد سامانه را شناسایی نمایند.
- شبیه سازی سیاست های طراحی و بهره برداری از یک سامانه منابع آب می تواند مدت زمان زیادی طول بکشد. به عنوان مثال اگر ۲۰ متغییر تصمیم در نظر گرفته شود و بخواهیم تنها دو مقدار برای هر یک از این ۲۰ متغیر را بررسی کنیم، تعداد ترکیبات مورد نیاز جهت شبیه سازی برابر با 2^{20} است. اکثر مدل های شبیه سازی منابع آب دارای متغییرهای زیاد و پیچیده می باشند که ترکیب های نامحدودی از مقادیر موجه را برای متغیرهای تصمیم ایجاد می نمایند.
- شبیه سازی تنها زمانی که **تعداد کمی گزینه** برای ارزیابی وجود داشته باشد، کاراست. فرآیند سعی و خطا شبیه سازی می تواند زمان بر باشد. بر این اساس روش های بهینه سازی می توانند تعداد گزینه ها جهت تحلیل شبیه سازی را کاهش دهند.
- **در صورتی که یک گزینه برای ارزیابی یک سامانه پیچیده منابع آب مورد استفاده قرار گیرد، اغلب شبیه سازی همراه با قضاوت انسانی، روشی مناسب است.**

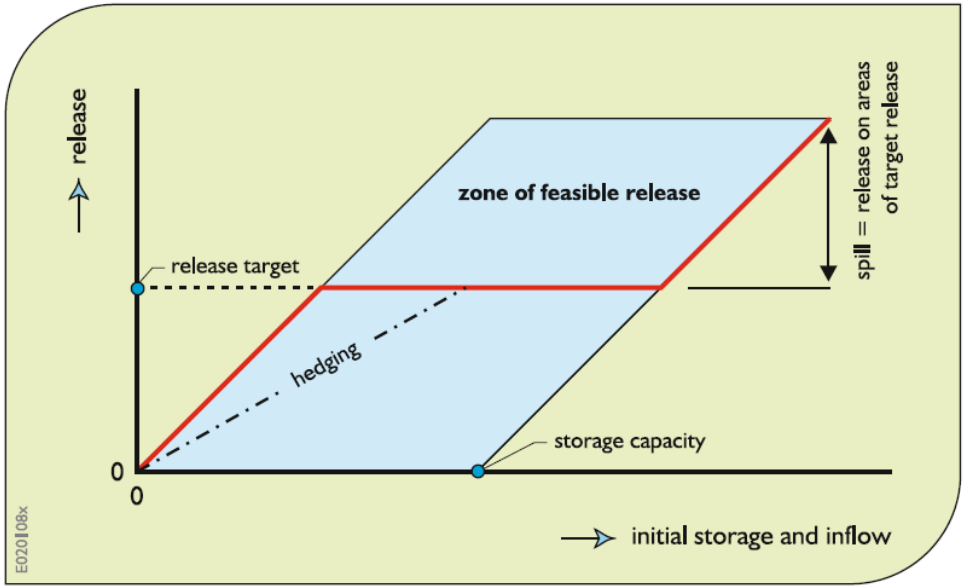
مدلسازی سیستم‌ها

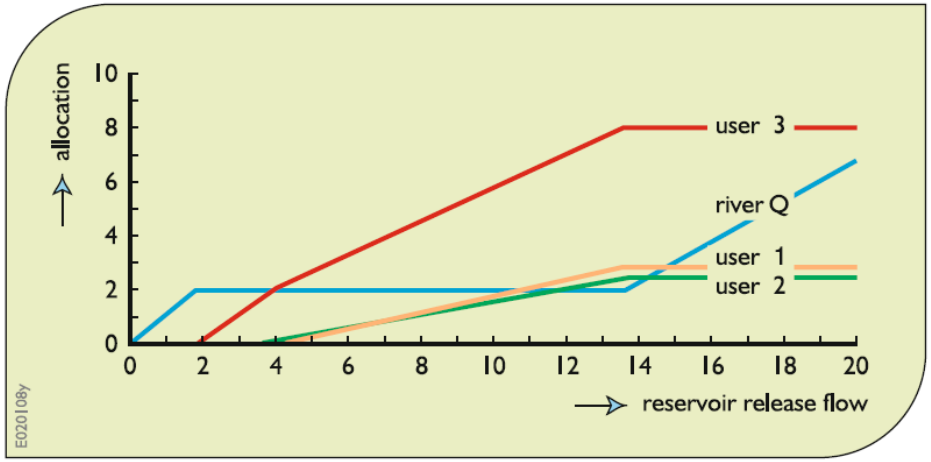
شبیه سازی می تواند بر اساس وقایع گسسته (Discrete Events) یا دوره های زمانی گسسته (Discrete Time Periods) انجام شود. در اکثر مدل های شبیه سازی منابع آب، دنباله ای از **دوره های زمانی گسسته** را مدل می نمایند. در هر دوره زمانی گسسته، مدل شبیه سازی، **ورودی ها را به خروجی ها** تبدیل می نماید. **مدت زمان** هر دوره وابسته به **سامانه** مدنظر است.



مثالی از شبیه سازی سامانه تخصیص آب از مخزن سد به نیازهای آبی پایین دست

سیاست رهاسازی آب از مخزن تابعی از حجم ذخیره فعلی، جریان ورودی فعلی و سیاست تخصیص رهاسازی برای جریان پایین دست است.

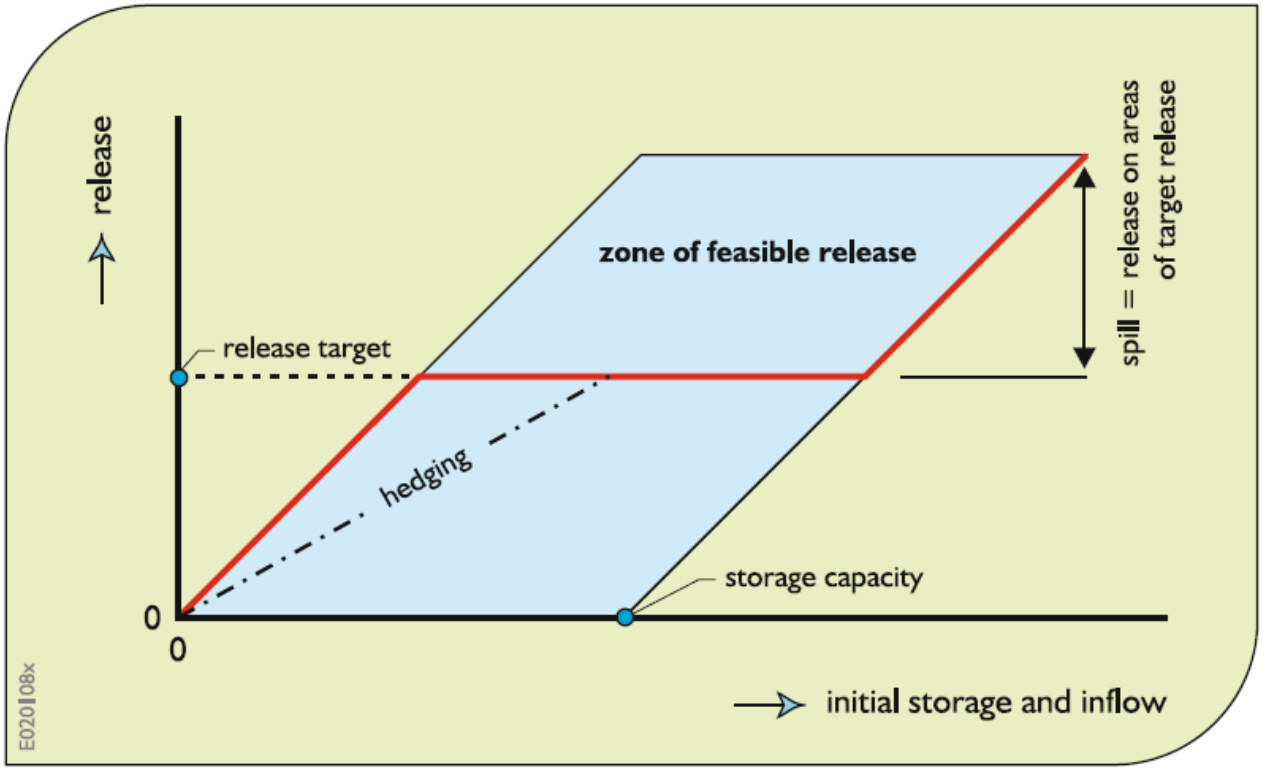




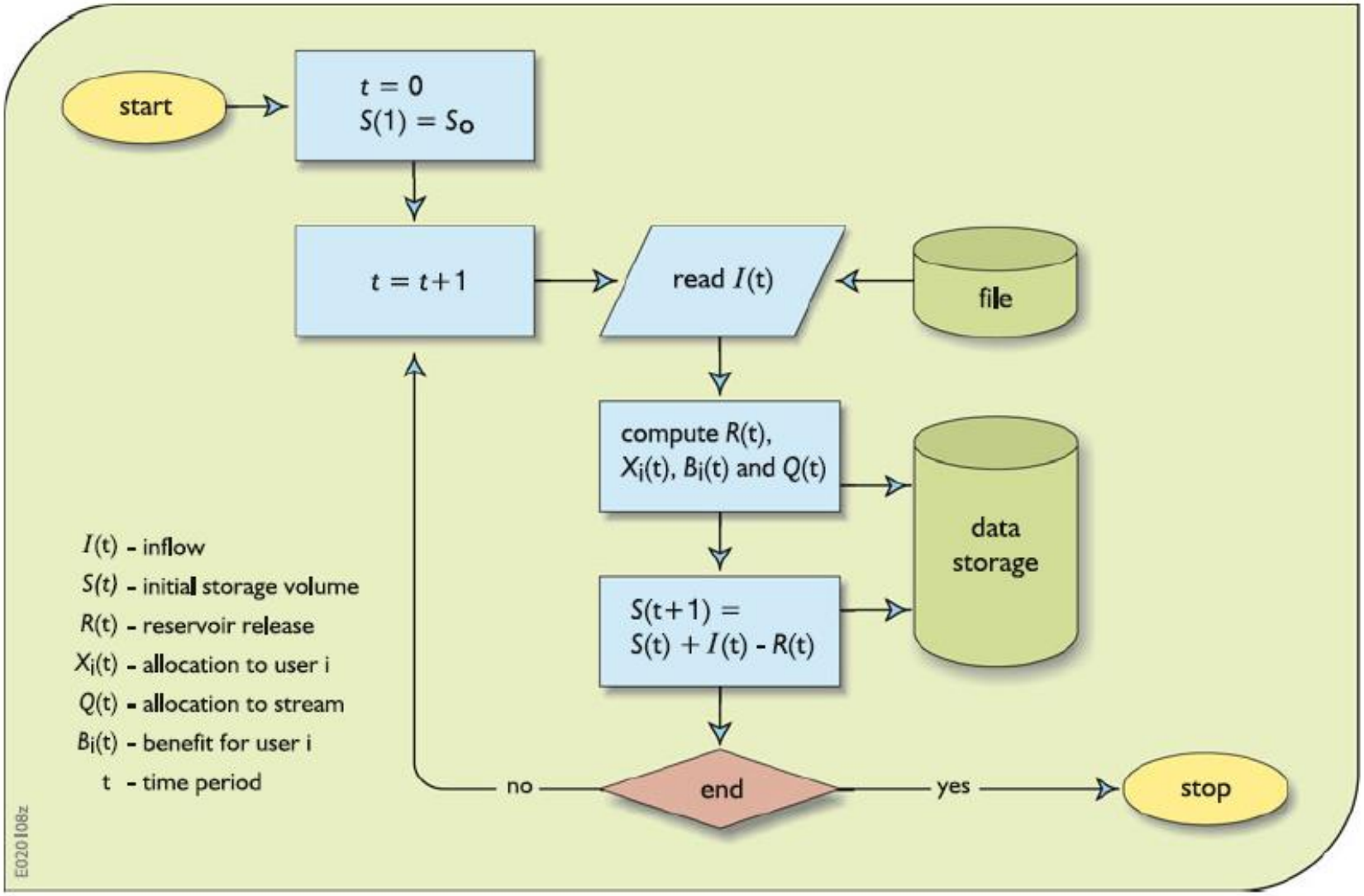
مدلسازی سیستم‌ها

خط چین قرمز رنگ، رهاسازی مطلوب را در سیاست بهره برداری از مخزن سد نشان می دهد. در صورتی که آب کافی در دسترس باشد، تمام آب در دوره زمانی مدنظر، رهاسازی خواهد شد. در صورتی که جریان ورودی بیش از ظرفیت مخزن باشد، سرریز رخ خواهد داد. این سیاست بهره برداری به عنوان **سیاست بهره برداری استاندارد** (Standard Operation Policy (SOP)) نامیده می شود.

اغلب سیاست های بهره برداری به این صورت است که در دوره های خشک جهت ذخیره سازی آب در مخزن، رهاسازی کمتری از میزان رهاسازی مطلوب انجام می شود. این سیاست بهره برداری به عنوان **سیاست جیره بندی** (Hedging Policy) نامیده می شود.

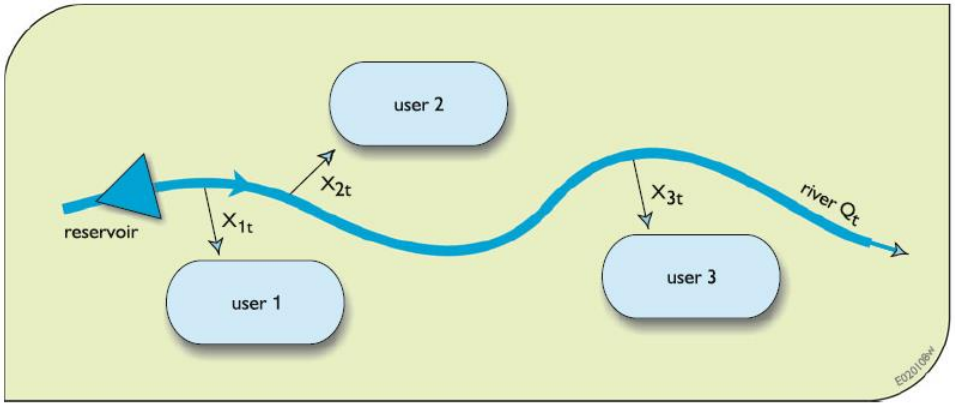


رویکرد مدل شبیه سازی سامانه تخصیص آب از مخزن سد به نیازهای آبی پایین دست



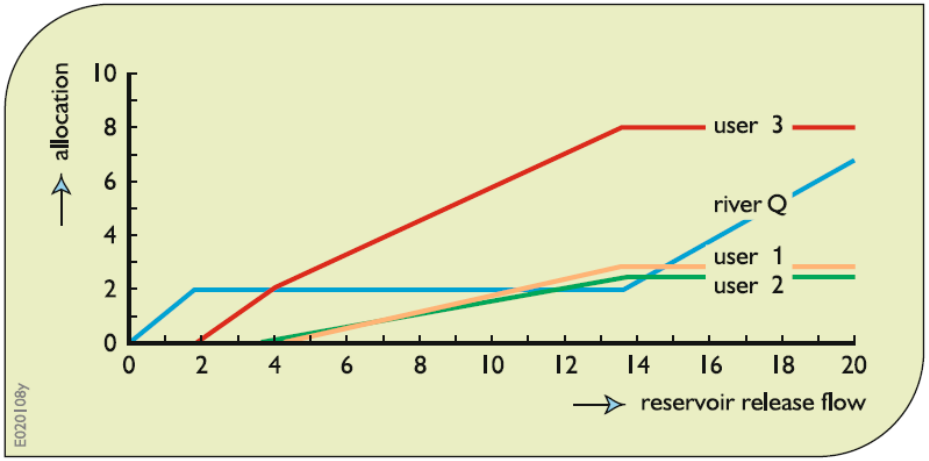
ب) بهینه سازی (Optimization)

در سیستم تخصیص آب از رودخانه، همانطور که مشاهده می شود، **سیاست های تخصیص** (شکل پایین صفحه) به عنوان یکی از ورودی های مدل شبیه سازی در نظر گرفته شده است. برای داشتن این سیاست بهره برداری لازم است فرآیند بهینه سازی بر روی این سیستم منابع آب انجام شود. برای این منظور لازم است تابع هدف مدل که نشان دهنده عملکرد سیستم است و تابعی از متغیرهای تصمیم می باشند، بدرستی تعریف گردد.



متغیرهای تصمیم عبارتند از:

- ظرفیت مخزن (Reservoir capacity)
- ذخیره مخزن (Reservoir storage)
- میزان تخصیص و آب رهاسازی شده در هر دوره زمانی



مقدار این متغیرهای تصمیم باید بگونه ای تعیین شوند تا **حداکثر عملکرد سیستم** حاصل شود. با استفاده از مدل بهینه سازی می توان مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم را تعیین نمود.

مدلسازی سیستم‌ها

اولین مرحله در تهیه مدل بهینه سازی، مدل سازی لغوی (Word Modeling) است. یعنی جهت مدلسازی دقیق تر و آسان تر روابط ریاضی، لازم است مفاهیم و روابط حاکم بر سیستم منابع آب به صورت لغوی نوشته شود. سپس از روی آن، مدل ریاضی طراحی می شود.

در مثال تخصیص آب از مخزن به سه مصرف کننده، هدف، حداکثر نمودن منافع سیستم (B(K, S, R, A)) است که تابعی از ظرفیت مخزن (K)، حجم ذخیره اولیه ($S(t)$)، رهاسازی ($R(t)$)، آب تخصیص یافته به مصرف کننده iام در زمان tام ($A(i,t)$) می باشد.

maximize B(K, S, R, A) **تابع هدف (Objective function)**

محدودیت ها (Constraints)

۱- محدودیت بیلان آب که جهت تعیین میزان ذخیره آب در هر دوره زمانی مورد استفاده قرار می گیرد.

$$S(t) + Inflow(t) - \mathrm{R}(t) = S(t+1)\ , \qquad t = 1,2,\dots,T \quad (if\ t = T\ \Rightarrow T+1 = 1)$$

۲- محدودیت ظرفیت مخزن سد

$$S(t) \le K\ , \qquad t = 1,2,\dots,T$$

۳- محدودیت تخصیص به نیازهای پایین دست

$$\sum_{i=1}^{3} A(i,t) \le \mathrm{R}(t) - Q(t), \qquad t = 1,2,\dots,T$$

میزان تخصیص به نیازها نباید بیشتر از میزان آب رهاسازی شده منهای حداقل آبی که در رودخانه باید جاری باشد، در نظر گرفته شود.

با حل این مسأله، می توان مقدار بهینه متغیرهای تصمیم مشتمل بر تخصیص به نیازها ($A(i,t)$)، میزان رهاسازی ($R(t)$) و حجم مخزن ($S(t)$) در هر دوره زمانی را تعیین نمود.

مقایسه مدل های شبیه سازی و بهینه سازی

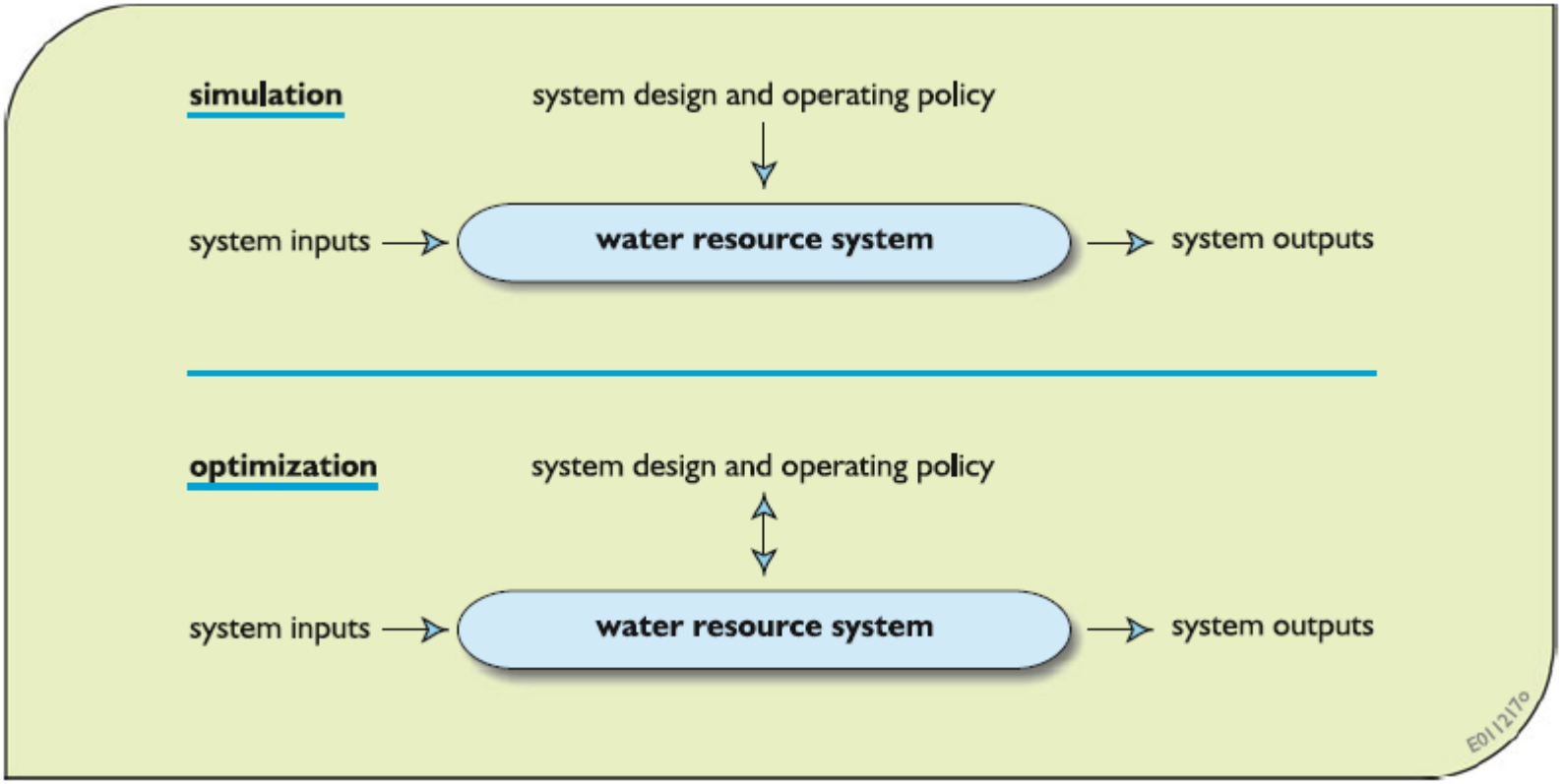
- بر خلاف مدل های شبیه سازی، پاسخ های مدل بهینه سازی بر مبنای **توابع هدف حاصل از متغیرهای تصمیم نامعلوم** می باشند که بایستی این توابع هدف بیشینه و یا کمینه کنند. محدودیت های یک مدل بهینه سازی مشتمل بر **متغیرهای تصمیم نامعلوم و نمایه های معلوم** می باشند. مناسب ترین فرآیند یا الگوریتم برای حل هر مدل بهینه سازی خاص تا حدی وابسته به ساختار ریاضی آن مدل دارد. هیچ فرآیند حل کلی منحصر به فردی وجود ندارد که به صورت کارآمد تمام مدل های بهینه سازی را حل نماید.
- **مدل های شبیه سازی به شکل خاصی از ریاضیات محدود نمی شوند** و می توانند بسیاری از رابطه ها را تعیین نمایند و لذا به آسانی ممکن است در مدل بهینه سازی نتوان از آن ها استفاده نمود.
- در مدل های بهینه سازی، تنها می توان یک مدل ریاضی از یک سامانه پیچیده منابع آب را که فقط یک **توصیف تقریبی** از یک سامانه واقعی است، ارائه نمود. در بسیاری از موارد امکان تعیین و بیان ریاضی وار دقیق از تمامی اهداف برنامه ریزی، قیدهای فنی، اقتصادی و سیاسی و عدم قطعیت ها و سایر ملاحظات مهم در سامانه های منابع آب وجود ندارد.

مدلسازی سیستم‌ها

- در مدل های بهینه سازی، پاسخ هر مدل فقط برای همان مدل بهینه است و برای سایر سامانه ها بهینه، بهینه نخواهد بود.
- مدل های بهینه سازی نیاز به توصیفات مشخصی از اهداف دارند اما مدل های شبیه سازی اینگونه نیستند.
- شبیه سازی به صورت ساده بیانگر سناریوهای "**چه چیز اگر**" ("What if")، یعنی اینکه چه چیزی ممکن است رخ دهد اگر سناریوی خاص فرض شود یا تصمیم خاص گرفته شود.
- در استفاده از مدل های شبیه سازی لازم است مقادیر متغیرهای تصمیم طراحی و بهره برداری قبل از انجام شبیه سازی **معین** باشند. زمانی که این مقادیر متغیرهای تصمیم مشخص شدند، شبیه سازی می تواند به ما کمک کند تا برآورد دقیق تری از اثرات تصمیم داشته باشیم.
- مهمترین مشکل استفاده تنها از شبیه سازی برای تحلیل گزینه های متعدد زمانی رخ می دهد که **زمان یا منابع کافی برای شبیه سازی همه آن ها وجود ندارد**، حتی وقتی که برای انتخاب مقادیر هر یک از متغیرهای تصمیم از روش های کارآمد استفاده شود، هنوز انجام محاسبات می تواند منجر به ایجاد پاسخی شود که با بهترین شرایط **فاصله بسیار** زیادی داشته باشد.

مدلسازی سیستم‌ها

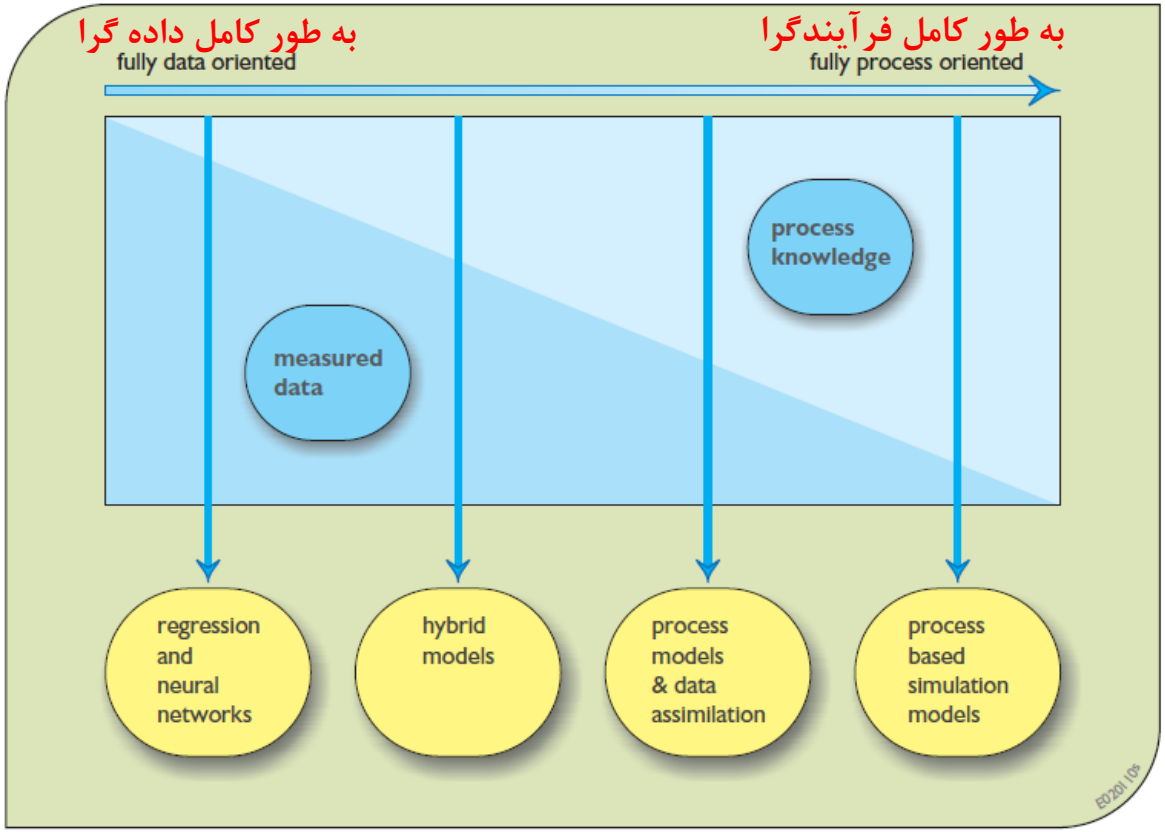
- بهینه به ما می گوید که **چه چیزی را باید انجام دهیم** ("What should be“) (بهترین تصمیم ممکن چیست؟) و اغلب پاسخ مدل بر مبنای فرضیات محدودکننده بسیاری استوار است. لذا استفاده از بهینه سازی نه تنها برای یافتن بهترین پاسخ، بلکه برای توصیف تعداد به نسبت کمی از گزینه های مناسب که بتوانند توسط شبیه سازی ارزیابی شده و بهبود یابند، ضروری است. این فرآیند استفاده از بهینه سازی برای **کاهش تعداد برنامه ریزی ها و سیاست ها** به طوری که بتوانند بهتر شبیه سازی و ارزیابی شوند، اغلب **غربال گری اولیه** (Preliminary screening) نامیده می شوند.



انواع مدل های شبیه سازی

مدل های شبیه سازی می توانند به صورت **آماری** (statistical)، **فرآیندگرا** (process oriented) و یا ترکیبی از این دو حالت باشند.

- ✓ مدل های آماری محض تنها بر اساس آمار و اطلاعات موجود کار می کنند (مانند مدل های مبتنی بر رگرسیون، مدل های نرم و ...).
- ✓ مدل های فرآیندگرای محض بر مبنای درک فرآیندهای پایه ای کار می نمایند.
- ✓ مدل های شبیه سازی فقط مدل فرآیندگرا هستند که فرآیندهای فیزیکی انجام شده در سامانه را ترکیب و شبیه سازی می نمایند. بسیاری از مدل های شبیه سازی هر دوی این ویژگی ها را ترکیب می کنند.



مدلسازی سیستم‌ها

- مدل های شبیه سازی می توانند جهت مطالعه آنچه که ممکن است در طول یک دوره زمانی (یک سال، آینده، حال تا آینده) رخ می دهد، مورد استفاده قرار گیرند. به مدل هایی که برخی از زمان های خاص در آینده را شبیه سازی می کنند، جایی که شرایط آینده (تقاضا، طراحی و بهره برداری زیرساخت) ثابت باشد)، **مدل های ایستایی** (Stationary) یا استاتیک (Static) می گویند. در این مدل ها، **محیط بیرونی** سامانه ای که شبیه سازی می شود، **تغییر نمی کند.** همانند تقاضای آب، شرایط خاک، توابع سود و هزینه اقتصادی، جمعیت و عوامل دیگر از یک سال به سال دیگر تغییر نمی کند. **در واقع این مدل ها یک تصویر فوری در یک لحظه زمانی را فراهم می کنند.** به عنوان مثال، سال های متعددی از داده های ورودی ممکن است شبیه سازی شود، اما از خلاصه های آماری خروجی آن، می توان مقادیر متغیرهای مؤثر به همراه احتمال آن ها (در دوره زمانی آینده) را تعیین نمود.
- مدل هایی که توسعه و نمو را در طول زمان پیش بینی می کنند، **مدل های پویا** (Dynamic) نامیده می شود. در این مدل ها، **محیط بیرونی در طول زمان در حال تغییر است.** همانند ظرفیت ذخیره مخزن که می تواند توسط فرآیند رسوب گذاری کاهش یابد، هزینه ها می توانند به دلیل تورم افزایش یابند، دبی فاضلاب به دلیل تغییر در جمعیت و یا قابلیت تصفیه فاضلاب و ... تغییر کند.

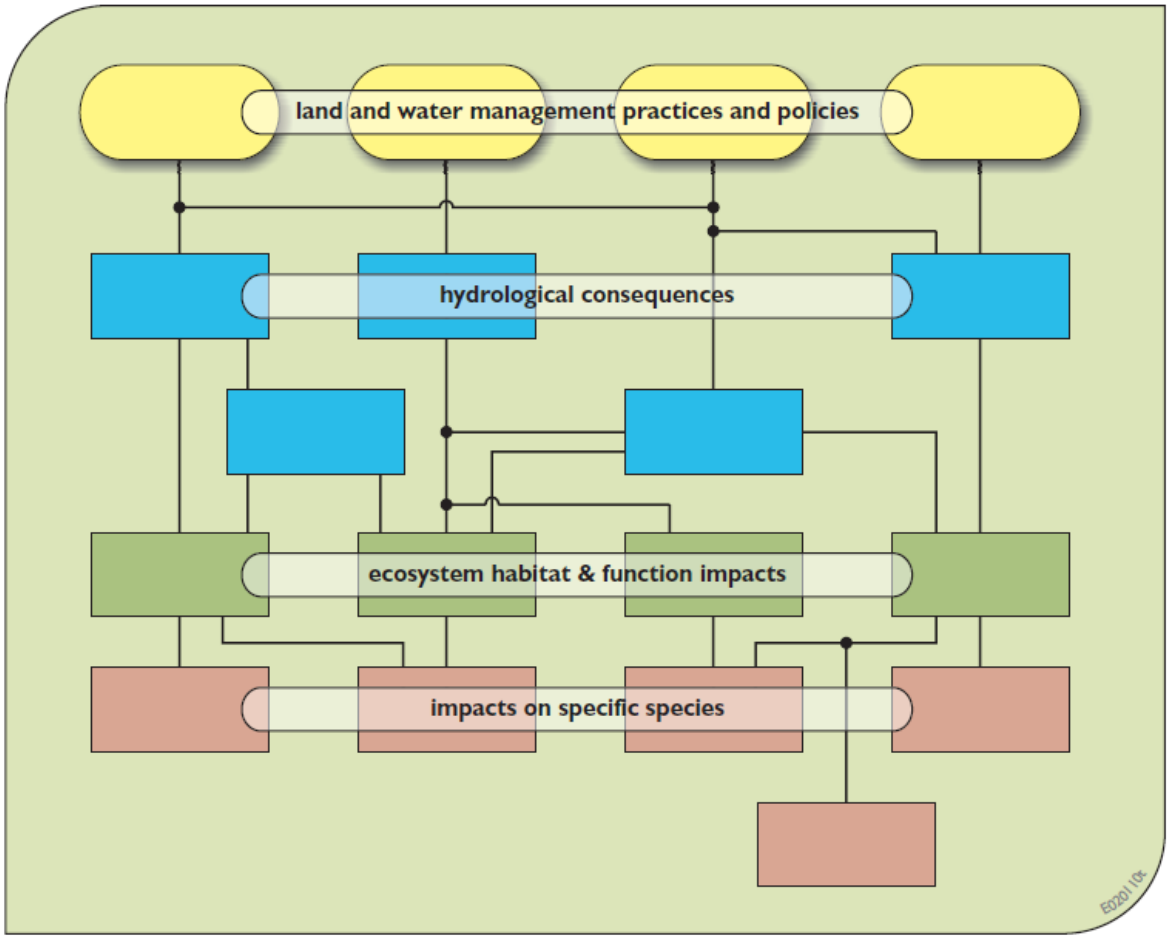
انواع مدل های بهینه سازی

روش های متعددی جهت طبقه بندی انواع مختلف مدل های بهینه سازی مقید وجود دارد.

- مدل های بهینه سازی می توانند قطعی (Deterministic)، بر مبنای احتمال (Probabilistic) و یا ترکیبی از هر دو دسته باشند.
- از نظر زمانی به دو دسته استاتیک و پویا تقسیم می شوند.
- می توانند خطی یا غیرخطی باشند.
- می توانند شامل متغیرهای پیوسته، گسسته یا عدد صحیح و یا ترکیبی از هر دو باشند.
- می توانند تک هدفه یا چندهدفه باشند.
- مدل های بهینه سازی از نقطه نظر الگوریتم حل مسئله به انواع مختلفی تقسیم می شوند. الگوریتم های بهینه سازی مقید، عددی هستند. برخی یافتن بهترین پاسخ مدل را تضمین می کنند و برخی دیگر تنها می توانند به صورت محلی (Locally) پاسخ را تضمین کنند. برخی مدل ها شامل روش های برنامه نویسی ریاضی (ضرایب لاگرانژ (Lagrange multipliers)، برنامه ریزی خطی (Linear programming)، برنامه ریزی غیرخطی (Non-linear programming)، برنامه ریزی پویا (Dynamic programming)، برنامه ریزی هندسی (Geometric programming)، برنامه ریزی درجه دو (Quadratic programming) و برنامه ریزی کسری (Fractional programming)) و برخی دیگر شامل روش های قطعی یا جستجوی تصادفی مبتنی بر سعی و خطا می باشند.

توسعه مدل های منابع آب (Water Resources Model Development)

قبل از انتخاب و یا توسعه یک مدل شبیه سازی کمی، توسعه یک مدل **مفهومی** (Conceptual) می تواند بسیار پرکاربرد و مفید باشد. مدل های مفهومی معرف غیرکمی از یک سامانه منابع آب می باشند. در این مدل ها، ساختار کلی سامانه بدون جزئیات و رابطه ها ارائه می شود.



شکل مقابل یک مدل مفهومی را نشان می دهد بدون اینکه نشان دهد هر کادر چه چیزی را نشان می دهد و بدون اینکه مشخص شود همبستگی بین مدیران، آب و زمین چگونه است و اینکه اثرهای بوم شناسی این فعالیت ها چیست.

در واقع این مدل مفهومی، **ارتباط علت و معلولی بین تصمیمات مدیریتی و اثرهای سامانه مشخص** را نشان می دهد.

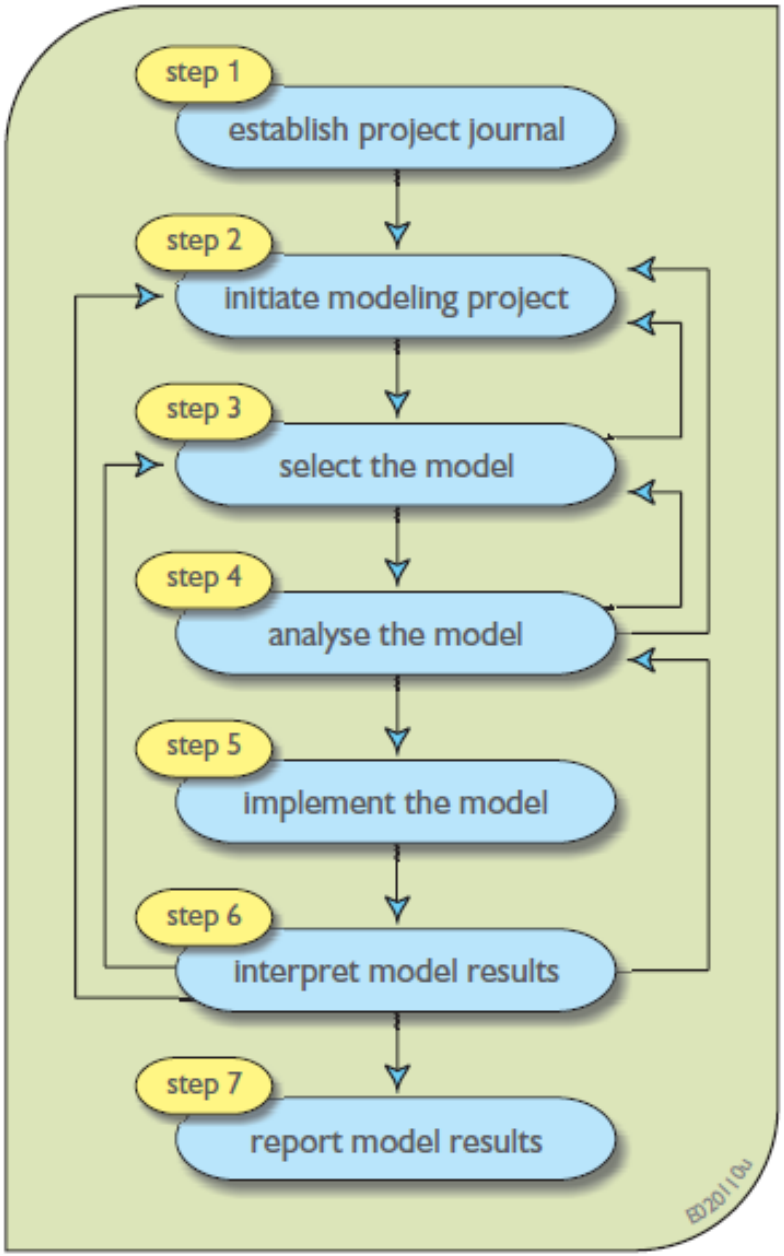
مدلسازی سیستم‌ها

در توسعه مدل های منابع آب، لازم است موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

- پس از تهیه مدل مفهومی، این مدل به مدل ریاضی تبدیل می شود. روابط مدل عمدتاً مشتمل بر متغیرهای حالت (State)، متغیرهای کمی (Auxiliary)، پارامترها و دیگر اجزای مدل می باشند.
- لازم است مقادیر پارامترهای مدل تعیین شوند. واسنجی (Calibration) شامل یافتن بهترین مقادیر برای پارامترها بر اساس مقایسه نتایج مدل شبیه سازی با مقادیر اندازه گیری صحرایی است. گاهی اوقات از بهینه سازی جهت تعیین مقدار بهینه پارامترهای مدل استفاده می شود. این فرآیند به عنوان کالیبراسیون یا شناسایی (Identification) مدل نامیده می شود.
- تحلیل حساسیت مدل: برای تعیین اثرات مقادیر پارامترهای غیرقطعی بر روی نتایج مدل بکار گرفته می شوند.
- علاوه بر واسنجی، مدل های شبیه سازی باید اعتبارسنجی (Validation) یا صحت سنجی (Verification) شوند. در فرآیند اعتبارسنجی یا صحت سنجی، نتایج مدل با یک مجموعه مستقل از مشاهدات اندازه گیری شده ای که در فرآیند واسنجی استفاده نشده اند، مورد مقایسه قرار می گیرد. این مقایسه برای صحت سنجی جهت ارزیابی مدل است که مشخص شود **آیا مدل به صورت کارآمد و صحیح رفتار سامانه واقعی منابع آب را نشان می دهد یا خیر**.

مدلسازی سیستم‌ها

مراحل مدلسازی



مدلسازی سامانه منابع آب دارای مراحلی است که در صورت رعایت آن می تواند منجر به کاهش مشکلات نهفته در آن و منجر به بروز پیامدهای بسیار کارآمد شود. لازم به ذکر است در یک طرح مدلسازی خاص، ممکن است برخی از مراحل مورد نیاز نباشند و لذا می توانند حذف شوند. مراحل مدلسازی عبارتند از:

۱- جمع آوری سوابق طرح

۲- شروع مدلسازی

۳- انتخاب مدل

۴- تحلیل مدل

۵- اجرای مدل

۶- تفسیر نتایج مدل

۷- گزارش نتایج مدل

مدلسازی سیستم‌ها

۱- جمع آوری سوابق طرح

جهت مدلسازی یک مسأله منابع آب لازم است به نتایج شبیه سازی های قبلی مراجعه شود. در این مراجعه موارد زیر مشخص می شود:

- الگوی مطالعاتی حاکم در طرح های قبلی
- فعالیت ها و عملیات صورت گرفته
- افرادی که در مطالعات قبلی نقش مؤثری داشته اند.
- انتخاب های صورت گرفته و میزان اطمینان بخش بودن نتایج حاصله

۲- شروع مدلسازی

شروع مدلسازی مشتمل بر **تعریف مسئله مورد مدلسازی و اهدافی که قرار است برآورده شوند**، می باشد. همچنین مقیاس زمانی و مکانی مناسب باید مشخص شوند. گزینه های مختلف مدلسازی شناسایی شوند. با توجه به اینکه در یک مدلسازی خاص، خود مدل می تواند بخشی از یک شبکه مدل ها باشد، ضروری است قیدهای مدلسازی به نحوه مطلوبی در ابتدا مدلسازی مشخص شوند. در بسیاری از موارد، فعالیت های مدلسازی لازم است توسط ذی نفعان مورد تأیید قرار گیرند. لازم است وقایع یا زمان هایی که نیاز به این تأیید دارد در شروع مدلسازی تعریف شوند.

۳- انتخاب مدل

جهت انتخاب مدل مناسب، توجه به نکات زیر حائز اهمیت است:

- فرآیندهایی که مورد مدلسازی قرار می گیرد (می توان با استفاده از مدل مفهومی، این فرآیندها را تعیین نمود)
- داده های موجود و مورد نیاز فرآیند مدلسازی
- داشتن برآوردی از میزان عدم قطعیت مدل
- مشخص نمودن حدود مدل (توجه به فرضیات و قیودات مدل) (بایدها و نبایدهای مدلسازی)
- موضوعات مبتنی بر طرح (Project-based matters) همانند زمان و مهارت های فنی موجود، سیستم سخت افزاری و نرم افزاری مورد استفاده، اولویت های فرد مدلسازی، خواسته ها و نیازهای ذی نفعان

۴- تحلیل مدل

زمانی که یک روش مدلسازی انتخاب می شود، نقاط ضعف و قوت آن باید با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گیرند. اولین گام جهت آزمون و ارزیابی مدل، اجرای یک طرح است. هرچه عدم تطابق بین نتایج مدل و مشاهدات صحرایی کمتر باشد، مدل بهتر است. این عدم تطابق می تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد: خطاهای نرم افزاری، فرضیات نامناسب مدلسازی (ساده سازی ساختارهای پیچیده)، صرفنظر از فرآیندهای معین، خطاها در توصیف های ریاضی یا در روش های عددی مورد استفاده، مقادیر نامناسب پارامترها، خطا در داده های ورودی و شرایط مرزی و خطای اندازه گیری در مشاهدات صحرایی.

جهت تعیین درجه اعتبار مدل، لازم است آن مدل مورد صحت سنجی قرار گیرد. در واقع مدل های واسنجی شده باید **قادر به تولید مجدد مشاهدات صحرایی** باشد که در فرآیند واسنجی از آن ها استفاده نشده است. در صورت **محدود بودن داده** های مدلسازی، **حذف** فرآیند صحت سنجی توجیه پذیر است. تنها با استفاده از آزمون های اعتبارسنجی است که مشخص می نماید یک سامانه پیچیده منابع آب را می توان مورد مدلسازی قرار دارد یا خیر.

۵- اجرای مدل

پس از تأیید مناسب بودن یک مدل، لازم است از آن جهت دستیابی به اطلاعات مطلوب استفاده کرد. لذا می توان طرحی را توسعه داد که بیانگر چگونگی کاربرد یک مدل باشد و تعیین کننده ورودی های مورد استفاده، دوره های زمانی شبیه سازی شده و کیفیت نتایج مورد انتظار باشد. نکته قابل توجه این است که در مراحل **طراحی و اجرای** مدل ها ضروری است که بین **مدلساز و ذی نفع مدل ارتباط نزدیک برقرار باشد** تا از هر گونه درک نادرست در مورد اطلاعت مورد نیاز و فرضیه های لازم که اطلاعات بر اساس این فرضیه ها می باشند، اجتناب شود. پس از اجرای مدل، باید به سئوالات زیر پاسخ داده شود و در صورتی که نتوان پاسخ مناسبی برای هر یک از آن یافت، لازم است فرآیند مدلسازی تصحیح گردد و در صورتی که امکان تصحیح آن نباشد، باید دلایل قاطعی برای آن ارائه گردد:

- آیا مدل اهداف را برآورده نموده است؟
- آیا نتایج ارائه شده معتبر می باشند؟

- آیا الزامات کیفیت رعایت شده است؟
- آیا گسستگی های زمانی و مکانی به خوبی انتخاب شده اند؟
- آیا قیودات انتخاب شده برای مدل درست بوده اند؟
- آیا مدل، درست انتخاب شده است؟
- آیا رویکردهای عددی برای حل مسئله مناسب هستند؟
- آیا اجراهای برنامه به درستی انجام شده اند؟
- آیا پارامترهای حساس به وضوح شناسایی شده اند؟
- آیا تحلیل عدم قطعیت انجام گرفته است؟

۶- تفسیر نتایج مدل

تفسیر اطلاعات حاصل از مدل های شبیه سازی یک مرحله ضروری در مدلسازی است. **ذی نفعان فقط علاقمند به دانستن نتایج** بوده و علاقه ای به اینکه بر اساس چه روشی بدست آمده اند، ندارند. نتایج باید با نتایج مشابه مقایسه شود. نتایج غیرقابل پیش بینی مورد بحث قرار گیرد و توجیه شود. نتایج باید بر اساس اهداف مدلسازی مورد قضاوت قرار گیرند. **نتایج باید آشکارکننده محدودیت ها و عدم قطعیت ها** باشد تا بر مبنای آن بتوان شکاف در دانش مسئله مورد مدلسازی شناسایی شده و نیاز به مشاهدات و اندازه گیری های صحرایی تعیین شوند.

۷- گزارش نتایج مدل

اگرچه نتایج یک مدل نباید تنها بر اساس تصمیمات سیاست گذاران باشند، اما مدلسازان این مسئولیت را دارند که نتایج را به صورت توصیه های سیاسی بیان نمایند. سیاست گذاران و ذی نفعان اغلب خواهان پاسخ های ساده، واضح و غیرمبهم به سئوالات پیچیده می باشند.

خلاصه اجرایی (Executive summary) از یک گزارش، منجر به حذف بسیاری از بحث های علمی و نیز عدم قطعیت های مرتبط با برخی داده ها می شود. گزارش های مدیریتی اغلب توسط افراد مسئول برای تصمیم گیری مطالعه می شود. لذا نتیجه گیری های مطالعه باید نه تنها از لحاظ علمی، صحیح و کامل باشند، بلکه باید به صورت خلاصه نیز تدوین شوند. این گزارشات باید دارای مشخصات زیر باشند:

- عاری از سخنان مبهم باشند.
- بیان کننده قابلیت ها و محدودیت های استفاده از مدل توسعه داده شده باشند.
- توصیفات بصری همانند نمودارها و استفاده از نقشه هایی در بستر GIS می تواند بسیار کمک کننده باشد.

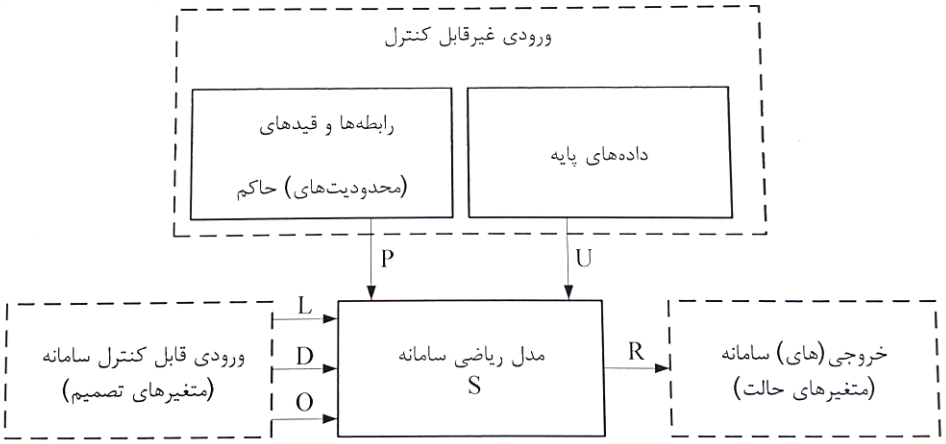
نکته: گزارش نهایی باید مشتمل بر جزئیات بیشتری باشد تا امکان تکرار مدل توسط سایر محققین فراهم شود و یا بتوان مطالعه جدیدی را از نقطه ای که این مطالعه پایان یافته، شروع نمایند.

اصول کلی مدلسازی سامانه منابع آب

در یک مسئله مدیریت منابع آب که هدف آن از پیش تعیین شده است، پس از تبیین مدل مفهومی و ریاضی مسئله می توان از روش های بهینه سازی جهت حل و یافتن پاسخ بهینه بهره گرفت.

برای این منظور لازم است تعریف مشخصی از سامانه ارائه گردد.

یک سامانه مجموعه ای از بخش ها و اجزای مرتبط است که هدف خاصی را دنبال کرده و ورودی های مشخص سبب دست یابی به خروجی های متناظر می شوند.



مشخصه های کلی سامانه ها:

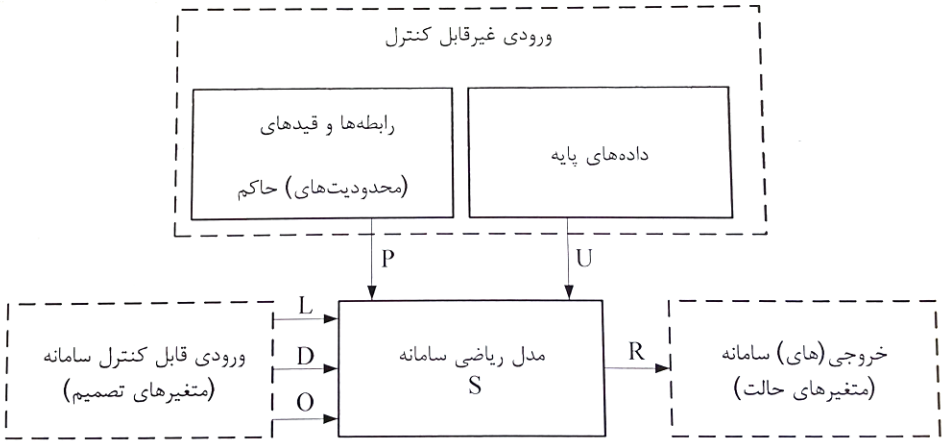
- ورودی (های) قابل کنترل و غیرقابل کنترل
- قوانین فیزیکی حاکم بر سامانه
- خروجی (ها)

بر این اساس سامانه های متعددی در منابع آب وجود دارند که عبارتند از:

- منابع تأمین آب
- منابع مصرف کننده آب
- انتقال های آب بین منابع تأمین و مصارف
- تبادل های آب بین منابع مختلف تأمین یا بین مصارف گوناگون

مدلسازی سیستم‌ها

مطابق شکل زیر، در حالت کلی هر سامانه (S) از مجموعه رابطه ها و معادله هایی تشکیل شده است که با معرفی برخی نمایه ها و داده های ورودی (P، U، L، D، O) به آن، داده های خروجی (R) بدست می آیند. با استفاده از این داده های خروجی می توان وضعیت عملکردی سامانه را مورد ارزیابی قرار داد.



ورودی های سامانه شامل: داده های پایه، رابطه ها، قیدها، محدودیت ها و متغیرهای تصمیم می باشند که جهت تعیین وضعیت یا عملکرد یک سامانه مورد نیاز هستند.

خروجی های سامانه مشتمل بر: نتیجه ها، شاخص ها و متغیرهای حالت سامانه می باشند، که برای بررسی سامانه و بر اساس ورودی های آن حاصل می شوند.

ورودی های سامانه به دو دسته زیر تقسیم می شوند:

۱- ورودی های غیر قابل کنترل (State variable): به مجموعه داده های مرتبط با پدیده های طبیعی و فرآیندهای موجود در یک سامانه که انتخاب و تغییر مقدار آن ها خارج از اختیار تحلیلگر سامانه است، ورودی های غیر قابل کنترل (U و P) گفته می شود.

نمونه ای از این ورودی ها: در بررسی سامانه آبخوان، داده های مربوط به عامل های هواشناسی شامل بارش و تبخیر، عامل های هیدرولوژیکی شامل درجه حرارت و همچنین عامل های هیدروژئولوژیکی شامل جنس سنگ کف منطقه و میزان آبگذری برای منطقه مورد بررسی به عنوان داده های ورودی غیر قابل کنترل هستند که به شرایط حاکم بر منطقه مرتبط می باشند (U).

شرایط مرزی و اولیه موجود در رابطه های سامانه از جمله ورودی های غیر قابل کنترل سامانه می باشند که به شرایط حاکم بر ساختار مدل سامانه مربوط می شوند (P). برای مثال در سامانه آبخوان، محل مرزها و مقدار تراز آب در آن ها به عنوان شرایط مرزی و تراز اولیه آبخوان در کل محدوده آن به عنوان شرایط اولیه شناخته می شوند.

۲- ورودی های قابل کنترل (Decision variable): به سیاست ها و تصمیم های مدیریتی مربوط به سامانه، ورودی های قابل کنترل گفته می شود که تنظیم و انتخاب این ورودی ها در اختیار تحلیلگر سامانه می باشد. برای مثال نمایه ها یا متغیرهای مربوط به جانمایی (L)، داده های مربوط به طراحی (D) و متغیرهای بهره برداری (O) سامانه از جمله ورودی های قابل کنترل سامانه محسوب می شوند.

- در علم ریاضی، بهینه سازی به انتخاب بهترین گزینه (ها) از بین مجموعه گزینه های موجه (شدنی) (Feasible) یا ناموجه (ناشدنی) (Infeasible) می پردازد.
- در واقع بهینه سازی به دنبال یافتن بهترین مقدار گزینه موجه در راستای هدف تعریف شده در یک محدوده معین از مقدارهای متغیرهای مختلف (قیدها) می باشد. اهداف می توانند کمینه یا بیشینه کردن یک یا چند تابع حقیقی با انتخاب نظام مند مقدارهای حقیقی یا عددهای صحیح از یک مجموعه از مقدارهای ممکن باشند.
- بهینه سازی می تواند به صورت یک یا چند بعدی، پویا یا ایستا، مقید یا نامقید، پیوسته یا ناپیوسته و یک یا چندهدفه انجام شود.

مدلسازی سیستم‌ها

با توجه به مجهول بودن هر یک از داده های جانمایی (L)، ورودی های طراحی (D) و ورودی های بهره برداری (O)، بهینه سازی سامانه های منابع آب می تواند به سه دسته کلی زیر تعریف شود:

۱- بهینه سازی جانمایی (هدف: تعیین بهترین موقعیت برای ساختن و قرارگیری سامانه منابع آب در طبیعت است. در این حالت ورودی های طراحی و بهره برداری به صورت ورودی های ثابت (معلوم) و داده های مربوط به جانمایی به صورت ورودی های متغیر (مجهول) تعریف می شوند و لذا خروجی پس از تعیین ورودی های قابل کنترل محاسبه می شود.)

۲- بهینه سازی طراحی (هدف: تعیین بهترین مقدارها برای ورودی های طراحی قابل کنترل متغیر (مجهول) به ازای داده های جانمایی و ورودی های بهره برداری غیر قابل کنترل ثابت (معلوم) در بررسی سامانه های منابع آب می باشد که به کمک آن می توان خروجی سامانه را استخراج نمود.)

۳- بهینه سازی بهره برداری (هدف: یافتن بهترین مقدارها برای ورودی های بهره برداری قابل کنترل متغیر (مجهول) به ازای داده های جانمایی و ورودی های طراحی غیر قابل کنترل ثابت (معلوم) می باشد تا بر اساس آن بهترین خروجی سامانه بدست آید.)

به طور کلی، در فرآیند بهینه سازی، با فرض مجهول بودن R، به عنوان خروجی سامانه منابع آب، **هدف کلی یافتن بهترین مقدار برای R با تعیین مقدارهای مربوط به ورودی ها و متغیرهای قابل کنترل** می باشد.

مدلسازی سیستم‌ها

بر مبنای مفاهیم مطرح شده، فعالیت هایی که جهت بهینه سازی یک سامانه منابع آب باید انجام شود به شرح زیر است:

۱- تدوین مدل مفهومی و ریاضی مناسب بیانگر سامانه

۲- شناسایی اهداف، متغیرهای مختلف به خصوص متغیرهای تأثیر گذار در مطلوبیت هدف

۳- استخراج جواب (متغیرهای) بهینه متناظر با بهینه ترین مقدار هدف با انتخاب یک روش مناسب

نمونه های کاربردی مدلسازی سامانه منابع آب

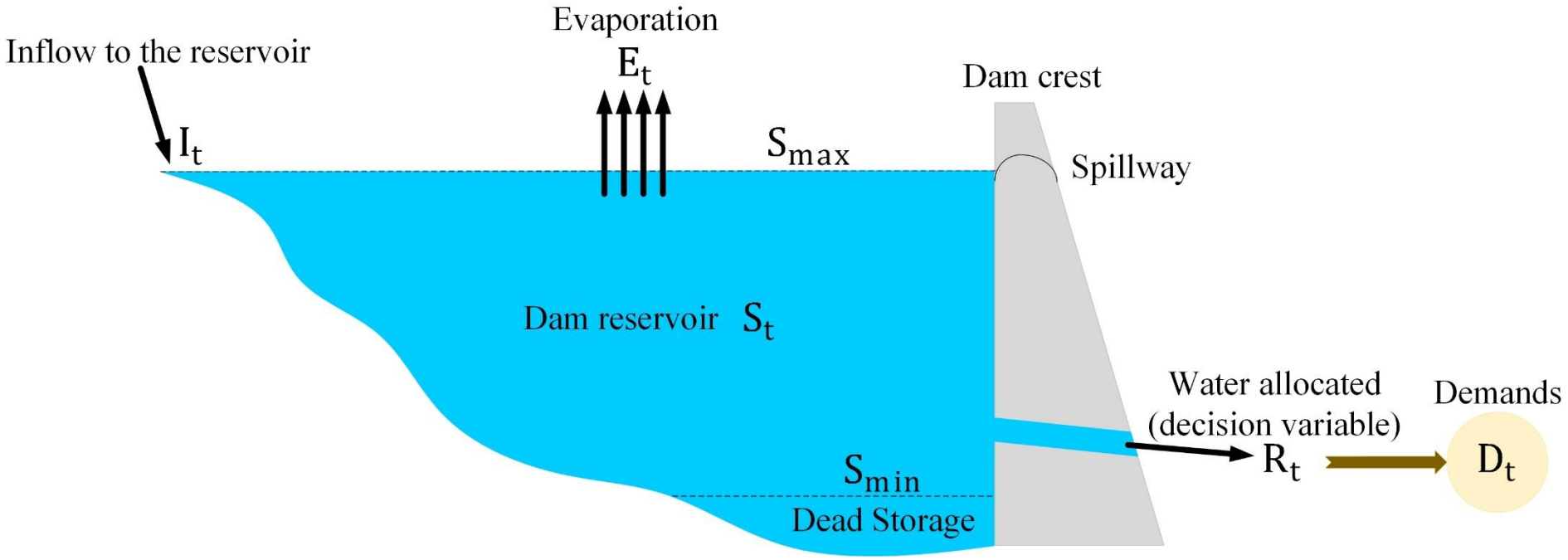
۱- بهره برداری از مخزن سد

سدی را در نظر بگیرید که بهره برداری از آن در طی یک بازه T ماهه مدنظر است. بهره برداری ماهانه از سد با توجه به نیاز در اراضی کشاورزی پایین دست صورت می پذیرد که مقدارهای حجم نیاز هر دوره آن به صورت ماهانه در طول یک بازه T ماهه مشخص است. در صورت تعریف نمایه کمبود به صورت اختلاف رهاسازی از سد و حجم نیاز پایین دست، هدف از حل این مسئله مدیریت منابع آب، **دست یابی به بیشینه مجموع تأمین نیاز پایین دست و یا دستیابی به کمینه مجموع حجم کمبود** در بازه T ماههٔ افق برنامه ریزی است.

متغیرهای تصمیم: حجم های رهاسازی ماهانه در طول بازه بهره برداری هستند. حجم رهاسازی ماهانه با توجه به حجم آورد همان ماه، حجم نیاز پایین دست همان ماه و همچنین حجم ذخیره سد در ابتدای همان ماه صورت می پذیرد.

مدلسازی سیستم‌ها

تصمیم بهینه در هر ماه: رهاسازی آب به اندازه نیاز پایین دست است. در صورتی که میزان مجموع آورد موجود در یک دوره زمانی کمتر از میزان مجموع نیاز در همان دوره زمانی باشد، در برخی ماه ها تأمین کل نیاز پایین دست ممکن نبوده و بنابراین مصرف کنندگان با کمبود مواجه می شوند.

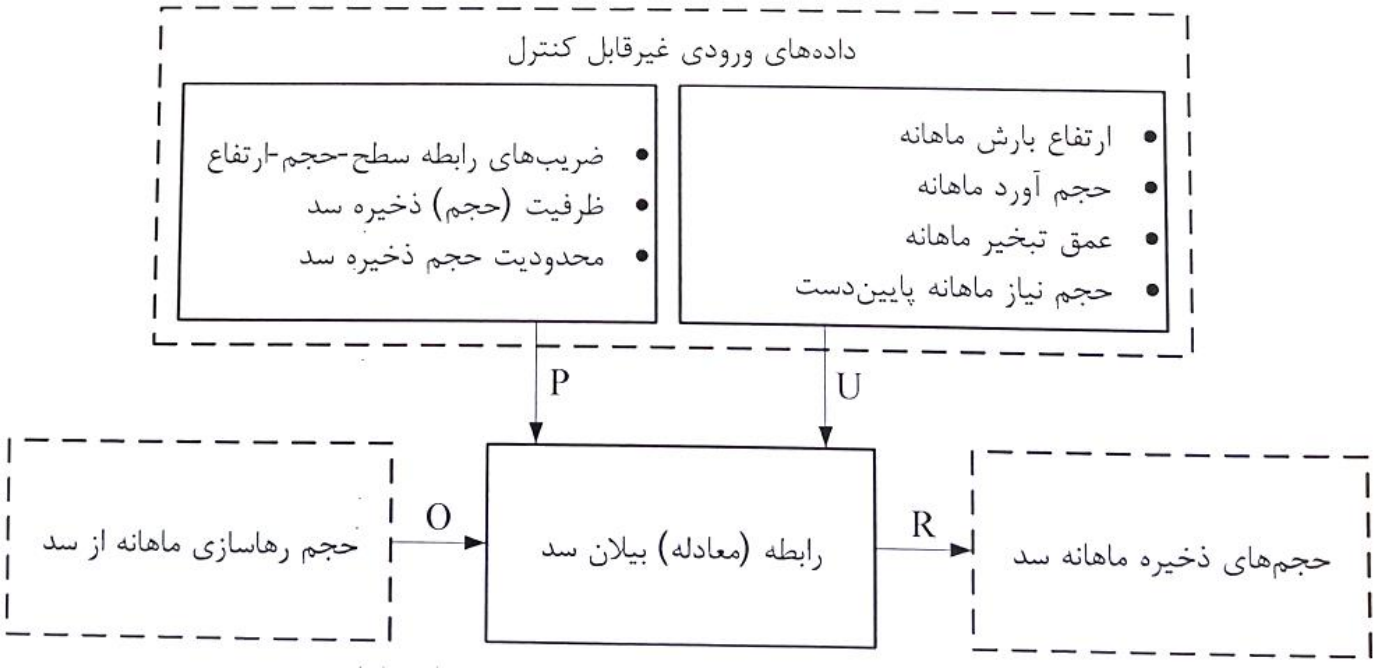


برنامه ریزی **بلندمدت** بهره برداری از سد با هدف کمینه کردن مجموع حجم کمبود در تأمین نیاز پایین دست، یکی از مسائلی است که با استفاده از روش های مختلف بهینه سازی امکان حل آن وجود دارد.

مدلسازی سیستم‌ها

شکل زیر بخش های مختلف سامانه سد را جهت بهره برداری بهینه نمایش می دهد. اهدافی که در بهره برداری و مدیریت یک سد می تواند مدنظر قرار گیرد عبارتند از:

- کمینه کردن کمبود نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی
- بیشینه کردن انرژی تولیدی برق آبی
- بیشینه سازی حجم کنترل سیلاب
- حداکثر نمودن منافع حاصل از کشتیرانی، تفریحات آبی، آبزی پروری
- حداکثر نمودن میزان رهاسازی جهت حفظ محیط زیست و اکوسیستم پایین دست سد

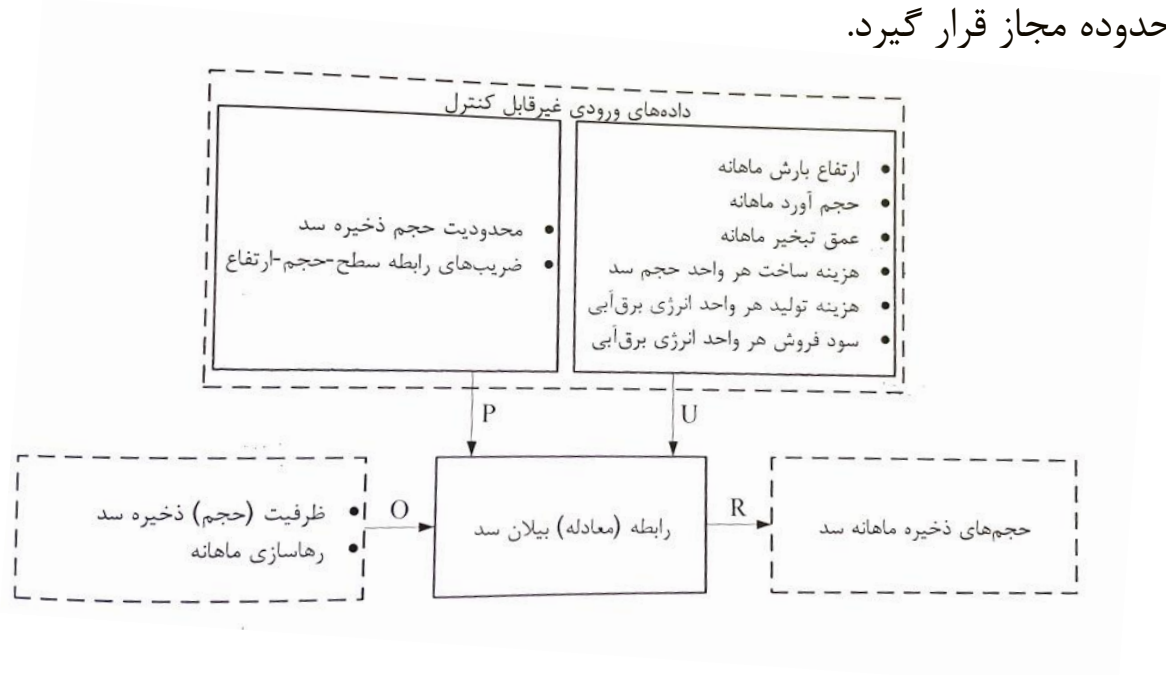


۲- بیشینه کردن سود اقتصادی حاصل از ساخت یک سد

این مسئله با استفاده از روش های مختلف بهینه سازی قابل حل است. منطقه ای را در نظر بگیرید که در آن امکان **ساخت یک سد** وجود دارد. همچنین امکان **تولید انرژی برق آبی و استفاده از برق تولید شده در شهرک های صنعتی پایین دست** وجود دارد. به این ترتیب، هدف تعیین حجم سد به نحوی است که با بهره برداری در افق برنامه ریزی بیشترین سود بدست آید. حل این مسئله توسط یک تابع هدف اقتصادی و با برآورد و انجام محاسبه های اقتصادی بلندمدت صورت می پذیرد.

داده های پایه: حجم آورد ماهانه، داده های بارش، تبخیر، هزینه های ساخت هر واحد حجم سد و تولید هر واحد انرژی برق آبی و سود حاصل از فروش برق

محدودیت: حجم آب ذخیره در سد که باید در محدوده مجاز قرار گیرد.

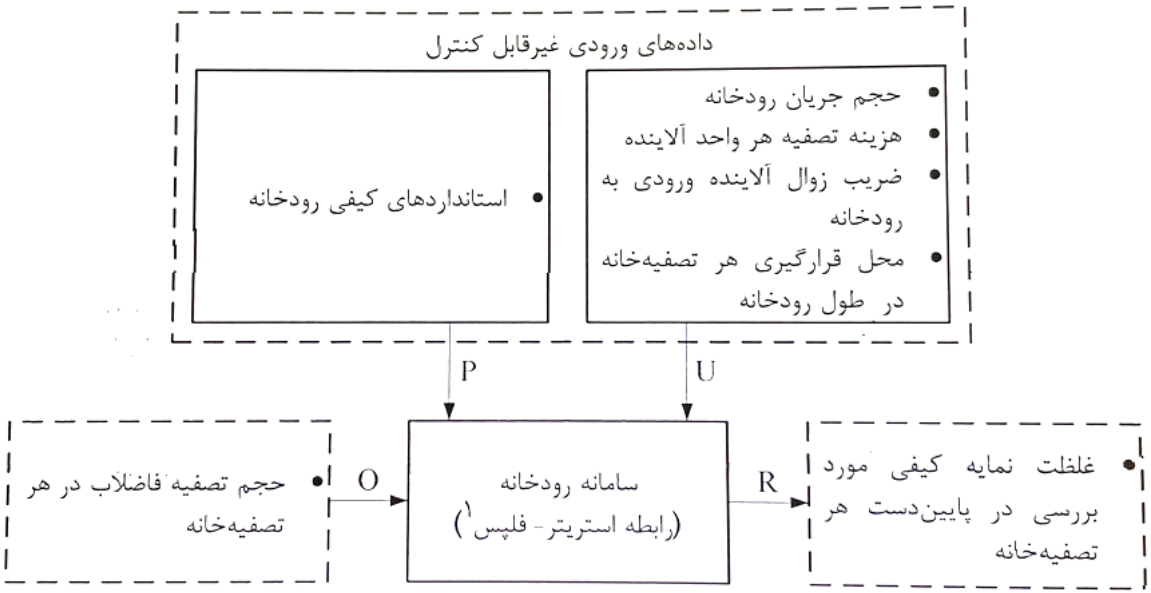


از آنجایی که مسئله طراحی و بهره برداری است، **ظرفیت حجم ذخیره سد و مقدارهای رهاسازی** به عنوان ورودی های قابل کنترل و حجم آب ذخیره شده در سد در هر دوره به عنوان خروجی مدل می باشند.

۳- تعیین بهینه ترین تصمیم های مدیریتی ممکن در تعیین حجم تصفیه فاضلاب

چند کارخانه در حاشیه یک رودخانه در یک بازه زمانی وجود دارند. فرض کنید که سه کارخانه متوالی، فاضلاب خود را پس از تصفیه وارد یک رودخانه می کنند.

هدف: کمینه کردن مجموع هزینهٔ تصفیه در تصفیه خانه های این کارخانه ها با رعایت استانداردهای کیفی در مجرای رودخانه است. لذا با توجه به هزینه تصفیه هر واحد حجم فاضلاب در هر یک از تصفیه خانه ها و همچنین کیفیت پسآب خروجی از هر تصفیه خانه، ضمن توجه به بازده های مختلف تصفیه در هر تصفیه خانه، می توان ترکیب بهینه از مقادیر تصفیه در هر یک از سه تصفیه خانه را به گونه ای یافت که علاوه بر رعایت استانداردهای کیفی رودخانه، مجموع هزینه تصفیه کمینه شود. بنابراین با تدوین مدل ریاضی این مسئله و انتخاب یک روش بهینه سازی مناسب برای حل آن می توان برنامه تصفیه بهینه در این مجموعه را ارائه کرد.



۴- طراحی شبکه توزیع آب شهری

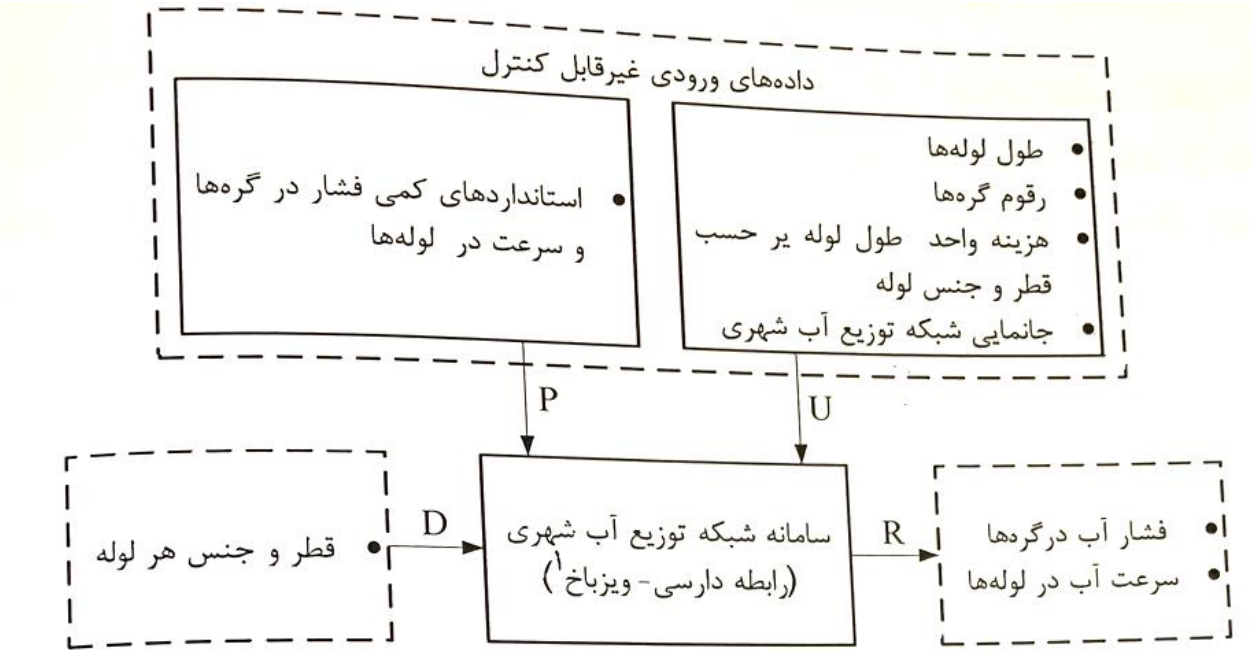
هدف: طراحی شبکه توزیع آب شهری با توجه به قطرهای موجود در بازار برای لوله ها با کمترین هزینه (مسئله بهینه سازی از نوع عدد صحیح)

محدودیت ها: رعایت فشار و سرعت آب به ترتیب در گره ها و لوله های شبکه

خروجی های سامانه: فشار آب در گره ها و همچنین سرعت آب در لوله ها

داده های ورودی قابل کنترل: مشخصه های فیزیکی لوله ها شامل قطر و جنس لوله ها

داده های ورودی غیر قابل کنترل: استانداردهای کمی فشار در گره های مختلف و هزینه هر واحد طول لوله



۵- انتخاب شبکه پایش کمی بهینه آبخوان

هدف: کمینه سازی اختلاف مقدارهای تراز مشاهده ای و محاسبه ای توسط مدل در چاه های موجود با توجه به چاه های مشاهده ای موجود و گزینه های چاه های قابل حفر

ورودی قابل کنترل: موقعیت چاه های مشاهده ای

خروجی مدل بهینه سازی: تراز آب محاسبه ای در چاه های مذکور

ورودی های غیر قابل کنترل: ضریب های انتقال، ذخیره، نفوذپذیری و تراز آب در چاه های مشاهده ای