

## برنامه‌ریزی توسعه پایدار منابع آب

احمد ابریشم‌چی (دانشیار)

مسعود تجریشی (استادیار)

علی باقری (کارشناس ارشد)

### چکیده

تعبیر مختلفی برای مفهوم توسعه پایدار شده است. آنچه که در واقع در تمامی این تعاریف مشترک است، عبارت است از: تأمین نیازهای نسل حاضر و نسلهای آینده با حفظ حقوق آنها و نیز حفظ انسجام فرهنگی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی جوامع. مفهوم پایداری در برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی، برای محیط زیست و اجزای آن، به ویژه منابع آب، اهمیت ویژه‌ای قائل است. به بیان دیگر، توسعه پایدار اقتصادی-اجتماعی بدون توسعه پایدار منابع آب میسر نمی‌باشد. علیرغم اهمیتی که مفهوم توسعه پایدار در برنامه‌ریزیها و استفاده از منابع دارد، عملیاتی کردن آن دشوار است. در این مقاله، مفاهیم و تعابیر پایداری به طور اعم و پایداری منابع آب به طور اخص بررسی شده و معیارهای پایداری و روشهای سنجش پایداری به نسبی که برای ارزیابی و مقایسه گزینه‌های مختلف توسعه منابع آب و انتخاب گزینه برتر ضروری است، بحث شده است.

**کلمات کلیدی:** توسعه پایدار، منابع آب، دینامیک سیستمها، محیط زیست، تصمیم‌گیری چند معیاره

### مقدمه

رشد جمعیت، توسعه صنعتی و پیدایش سریع فناوریهای جدید، جهان را تغییر می‌دهند. افزایش تقاضاهای آب برای مصارف شهری، کشاورزی و صنعتی، رقابت بر سر تخصیص منابع محدود آب را بین مناطق مختلف و بین انواع مصرف‌کنندگان تشدید می‌کند. کمبود منابع آب شیرین، یکی از بزرگترین مسائلی است که جهان در حال توسعه با آن مواجه است. در سطح کره زمین در مجموع یک میلیارد و چهار صد میلیون کیلومتر مکعب آب وجود دارد. از این مقدار، تنها  $2/5$  درصد آن آب شیرین است و فقط  $3/0$  تا  $4/0$  درصد از این آب شیرین، تجدید شونده است. بخش قابل توجهی از آب شیرین تجدید شونده بر اثر تلفاتی همچون تبخیر، غیر قابل دسترسی است. حدود ۴۰ هزار کیلومتر مکعب از آب شیرین تجدید شونده در هر سال به صورت رواناب جاری می‌شود. اگر تمام این مقدار آب به صورت یکنواخت بین ۵ تا ۶ میلیارد جمعیت کره زمین تقسیم می‌شد، به هر نفر ۲۰ متر مکعب در روز آب شیرین می‌رسید. این مقدار ۱۰ برابر میزان مصرف کنونی است. لکن به دلیل عدم توزیع یکنواخت آب در سراسر جهان، در بسیاری از مناطقی که بارش بالای جمعیت مواجه‌اند، مانند آفریقا، خاورمیانه، بخشهایی از آسیا، آمریکای لاتین و جنوب اروپا، کمبود آب وجود دارد [1]. در حال حاضر، ۳۱ کشور که ۸ درصد جمعیت جهان را دارند، با کمبود شدید آب روبرو هستند. تا سال ۲۰۲۵، کمبود شدید آب ۴۸ کشور با جمعیتی حدود  $2/8$  میلیارد- ۳۵ درصد جمعیت پیش‌بینی شده جهان - را در بر خواهد گرفت.



مدار هیدرولوژیکی، شریان حیات روی کره زمین است. افزایش جمعیت، افزایش تقاضاهای آب و نیز آلودگی منابع آب را به دنبال دارد. از اینرو، بهبود فهم ارتباطات اکوهیدرولوژیکی و اندرکنش انسان با محیط جهت تدوین استراتژی بهره‌برداری و توسعه پایدار منابع آب امری ضروری است.

از زمانی که مفهوم پایداری در گزارش Brundtland با عنوان "آینده مشترک" در کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه سازمان ملل مطرح شد، متخصصان بسیاری از رشته‌ها، سعی در تعریف پایداری و نحوه سنجش آن داشته‌اند [2]. آنچه که در واقع در تمامی تعریفها مشترک است، عبارت است از: تأمین نیازهای نسل حاضر و نسلهای آینده با حفظ حقوق آنها و در عین حال حفظ انسجام فرهنگی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی جوامع. مفهوم توسعه پایدار در واقع در برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی، برای محیط زیست و اجزای آن از جمله منابع آب، جایگاه ویژه‌ای قایل می‌شود و بر ارتباط دو طرفه هر یک از موضوعات محیط زیست، اقتصاد و مسائل اجتماعی با یکدیگر تأکید می‌ورزد. علیرغم این تأکید، برنامه‌های توسعه اقتصادی-اجتماعی و نیز برنامه‌ریزیهای شهری و منطقه‌ای کشورها بر مبنای محیط زیست و به ویژه منابع آب صورت نمی‌گیرد؛ بلکه پس از تعیین محورهای رشد اقتصادی، مسئله تأمین آب مطرح می‌شود. این در حالی است که توسعه پایدار اقتصادی-اجتماعی بدون پشتیبانی توسعه پایدار منابع آب میسر نمی‌باشد. در این مقاله، مفاهیم و معیارهای پایداری و نحوه سنجش آن به ویژه در سیستمهای منابع آب ارائه می‌شود. با استفاده از این مفاهیم و روشهای سنجش پایداری، گزینه‌های مختلف طرحهای توسعه منابع آب و در واقع، طرحهای توسعه اقتصاد، محیط زیست و سیستمهای اجتماعی را می‌توان از نظر پایداری ارزیابی و پایش کرد.

## مفاهیم توسعه و پایداری

**توسعه اقتصادی:** تعاریف مختلفی برای توسعه وجود دارد. از نظر اقتصادی، در دهه‌های گذشته، توسعه به معنی توانایی اقتصاد ملی در تولید و حفظ تداوم رشد GNP<sup>۱</sup> به میزان ۵٪ تا ۷٪ یا بیشتر تعبیر می‌شد [۳]. به عنوان مثال در بیانیه سازمان ملل، دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، دهه‌های توسعه نامگذاری شده بودند به این امید که آهنگ رشد ۹٪ در GNP محقق شود. شاخص سرانه GNP حقیقی (یعنی سرانه GNP منهای تورم) معمولاً برای سنجش توسعه و رفاه اقتصادی جوامع به کار می‌رود. سنجش توسعه اقتصادی در گذشته مبتنی بر ساختار تولید و بیکاری در کشورها بود. این امر باعث شد تا استراتژیهای توسعه یک رویکرد صنعتی شدن را دنبال کنند. این شاخص اقتصادی در نهایت با یک سری شاخصهای اجتماعی غیراقتصادی مانند بهبود وضع آموزش و پرورش، بهداشت و مسکن، کامل شد.

**دیدگاههای جدید توسعه:** در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، بسیاری از کشورهای جهان سوم به اهداف رشد سازمان ملل رسیدند؛ لکن رفاه مردمان آنها تغییر نکرد که این به معنی شکست تلقی آهنگ رشد GNP به عنوان شاخصی برای توسعه بود. در دهه ۱۹۷۰، توسعه اقتصادی براساس مفاهیم از بین بردن فقر، بی‌عدالتی، و بیکاری مجدداً تعریف شد [۳]. با این تعریف جدید، در صورتی که کشوری هر سه پدیده فوق را در یک دوره زمانی کاهش دهد، آن دوره را می‌توان دوره توسعه برای آن کشور خواند. بسیاری از کشورهایی که در دهه ۱۹۶۰ به سبب آهنگ بالای رشد سرانه GNP در حال توسعه محسوب می‌شدند، با این تعریف جدید از توسعه، توسعه نیافته به حساب آمدند.

در حقیقت، توسعه را باید فرآیندی چند بعدی در نظر گرفت که به تغییرات اساسی در ساختار اجتماعی، تفکر مردم و نهادهای ملی، سرعت در رشد اقتصادی، کاهش بی‌عدالتی و رفع فقر نیازمند است. توسعه اساساً باید نشان دهنده وضعیت گذار سیستم اجتماعی از حالت نامطلوب قبلی به یک وضعیت جدید بهتر متناسب با نیازهای اساسی افراد و گروه‌های اجتماعی سیستم باشد. به منظور درک

۱ - Gross National Product



مفهوم توسعه، سه ارزش پایه باید به عنوان اساس تفکرات و استراتژیها قرار گیرد. این سه ارزش عبارت‌اند از: تأمین معاش (توانایی تأمین نیازهای اساسی)؛ خوداتکایی و اعتماد به نفس؛ و آزادی و استقلال (قدرت انتخاب). این سه ارزش به نیازهای اساسی انسان مربوط می‌شود و تقریباً در همه جوامع و فرهنگها و در تمام زمانها نمود پیدا می‌کند.

اهداف توسعه: توسعه، مفهومی مادی-معنوی است که براساس آن، جامعه از طریق ترکیب پدیده‌های اجتماعی، اقتصادی و نهادی، زندگی بهتری را برای اعضای خود فراهم می‌آورد. صرف نظر از جزئیات مربوط به «زندگی بهتر»، توسعه در تمام جوامع باید سه هدف زیر را دنبال کند [۳]:

- امکان تأمین اقلام ضروری برای زندگی، مانند غذا، مسکن و بهداشت
- بهبود سطح رفاه جامعه شامل درآمد، اشتغال، آموزش و رعایت ملاحظات فرهنگی و انسانی
- بسط قلمرو انتخاب اقتصادی و اجتماعی افراد جامعه از طریق استقلال

محیط زیست و توسعه: امروزه، باور عمومی براین است که رشد اقتصادی بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی پایدار نخواهد بود؛ چرا که شاخصهای سنتی سنجش رشد اقتصادی نظیر رشد GNP و مفهوم ارزش افزوده کشورها در طول سال، عملاً منجر به تضییع حقوق نسلهای آینده و تخریب هرچه بیشتر محیط زیست طبیعی می‌گردد. از اینرو، اصلاح سیستمهای حسابداری ملی به شدت مورد تأکید است به طوری که در آنها خسارتهای زیست محیطی ناشی از فعالیتهای اقتصادی نیز در محاسبه ارزش افزوده لحاظ گردند. بعلاوه، روشهای متداول در اقتصاد مهندسی برای تحلیل فایده-هزینه پروژهها، خسارتهای سودهای حاصل از پروژهها را در زمان آینده نسبت به زمان حال کمتر از مقدار حقیقی نشان می‌دهند و از این طریق حقوق نسل آینده را در زمان حال با مطلوبیت کمتری مواجه می‌سازد.

در طول تاریخ، دو انقلاب زیست محیطی به وقوع پیوسته است [۴]. اولین انقلاب زیست محیطی در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ واقع شد که مشخصاً آن، مجادلات کیفیت محیط زیست علیه رشد اقتصادی بود. در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰، دومین انقلاب زیست محیطی به وقوع پیوست که نگرش جامعه را برای بیشتر مفاهیم پایه مربوط به توسعه پایدار در نظر گرفت. این دیدگاهها از تغییرات اساسی در درک مدل‌های سنتی رشد اقتصادی نشأت گرفت. در دهه ۱۹۷۰، بحث بر سر این بود که آیا رویکردهای سنتی رشد اقتصادی (که منجر به افزایش درآمد می‌شوند) با توجه به محدودیتهای ملزومات رشد می‌توانند تداوم یابند. در دهه ۱۹۸۰، بحث بر سر این بود که چگونه می‌توان بدون ایجاد خطر برای محیط زیست به رشد اقتصادی دست یافت.

وقایع دهه ۱۹۸۰ نشان داد مادامی که سیاستهای اقتصادی در مسیری که مبتنی بر محیط زیست هدایت نشوند، توسعه اقتصادی محدود خواهند شد. در حالیکه، اگر رویکردهای اقتصادی، با رعایت مسائل زیست محیطی، مدیریت شوند، رشد اقتصادی در حاشیه امن قرار خواهد داشت. بعلاوه، حفظ منابع طبیعی در سطحی بالاتر از حدود حداقل آن، به جای توقف رشد، منجر به سرعت آن خواهد شد. این مفهومی است که «توسعه پایدار»<sup>۱</sup> به آن اشاره دارد. اصطلاح «توسعه پایدار» بخصوص در دومین انقلاب زیست محیطی در دهه ۱۹۸۰ خیلی رایج شد. توسعه پایدار فرآیندی را برای محافظت منابع طبیعی پایه و جلوگیری از نابودی آنها معرفی می‌کند. این مفهوم در واقع بر نقش کلیدی ولی فراموش شده کیفیت محیط زیست در بهبود رفاه زندگی بشر تأکید دارد. در یک دید کلی، برای محیط زیست طبیعی سه عملکرد می‌توان متصور شد. تأمین مستقیم مواد مورد نیاز انسان، تأمین مواد اولیه لازم برای فعالیتهای اقتصادی، و تأمین خدمات پشتیبانی حیات. این سه عملکرد به تفسیر توسعه پایدار مربوط می‌شوند. فلسفه توسعه پایدار می‌کوشد اهمیت محیط زیست را در سیاستگذاریها بیشتر مورد توجه قرار دهد به طوری که سرمایه‌گذاری برای حفاظت و بهبود محیط زیست از اولویت اجتماعی بیشتری برخوردار گردد. در واقع، توسعه پایدار به دنبال مجموعه‌ای از سیاستهای جامع و یکپارچه است که رفاه بشر را در یک



چارچوب زمانی درون نسلی و بین نسلی بیشینه نماید.

**توسعه پایدار:** اصطلاح توسعه پایدار در گزارش Brundtland تحت عنوان "آینده مشترک ما" در کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه سازمان ملل مطرح شد [2]. در این گزارش توسعه پایدار به صورت زیر تعریف شده است:

«بشر توانایی دارد تا توسعه را پایدار نماید؛ بدین معنی که قادر است نیازهای نسل حاضر را بدون تعارض با توانایی نسلهای آینده در تأمین نیازهایشان برآورده کند». این تعریف سه موضوع را در سیاستگذاریها و تحلیلهای اقتصادی بیان می‌کند. اول، اشاره به مفهوم «نیاز» در یک بعد وسیع (نه تنها نیاز اقتصادی بلکه نیاز به محیط زیست تمیز، نیاز به یک جامعه امن و نیاز به فرصتهای شغلی متنوع) دارد. دوم، این تعریف بر عدالت بین نسلی تأکید دارد به این معنی که نسل آینده نیز باید از فرصتهای مطمئن مشابه آنچه که در دسترس نسل حاضر است، برخوردار باشد. سوم، این تعریف بر عدالت درون نسلی تأکید می‌ورزد. این جنبه درون نسلی، هم داخلی کشورها و هم بین کشورهاست. براین اساس، محافظت از محیط زیست مسئولیت مشترک همه کشورها اعم از توسعه یافته و در حال توسعه است. توسعه پایدار سه بعد مختلف رفاه، ایمنی اقتصاد، محیط زیست و مسایل اجتماعی و شرایط نیل به پایداری آنها را تلفیق می‌کند. بعد اجتماعی توسعه پایدار بر عملکرد صحیح بازار کار و اشتغال، تطبیق با تغییرات ویژگیهای اصلی جمعیتی، ملاحظات عدالت اجتماعی، و مشارکت مؤثر مردم در تصمیم‌گیری تأکید می‌ورزد. بعد زیست محیطی توسعه پایدار بر تعادل سیستمهای بیولوژیکی و فیزیکی و حفظ دسترسی به محیط زیست سالم اشاره می‌کند. امروزه، توسعه پایدار به فرآیندی اطلاق می‌شود که طی آن اقتصاد، محیط زیست و اکوسیستم یک منطقه به گونه‌ای هماهنگ با یکدیگر و در مسیری تغییر می‌کنند که در طول زمان بهبود یابند [1]. رسیدن به اهداف پایداری قطعاً نیازمند یک درک فزاینده از اندرکنش طبیعت و اجتماع است.

Solow منظور از پایداری را حفظ ظرفیت تولید برای آینده نامحدود معرفی می‌کند [5]. pearce et al. توسعه را برداری از اهداف اجتماعی مطلوب می‌دانند که جامعه به دنبال حداکثر کردن یا دست یابی به مؤلفه‌های این بردار است [6]. مؤلفه‌های بردار مزبور عبارت اند از: افزایش درآمد واقعی سرانه، بهبود وضعیت بهداشت و تغذیه، موفقیت‌های آموزشی، دستیابی به منابع، توزیع عادلانه ثروت، افزایش آزادی و ... توسعه پایدار شرایطی است که در آن، بردار توسعه در طول زمان کاهش نمی‌یابد [7].

Fuwa پایداری بیوفیزیکی را به صورت حفظ یا بهبود انسجام سیستم پشتیبانی حیات بر روی زمین تعریف می‌کند [8]. Klauer وجه مشترک تعاریف پایداری را حفظ وضعیت یک سیستم می‌داند [9]. به عنوان مثال در تعریف Solow، حفظ ظرفیت تولید، در تعریف Pearce و همکاران، حفظ خصوصیات یک سیستم اجتماعی و در تعریف Euwa، حفظ سیستم پشتیبانی حیات بر روی زمین مورد تأکید قرار گرفته است.

Goodland et al. توسعه پایدار را به عنوان رابطه‌ای بین سیستمهای اقتصادی در حال تغییر بشر و سیستمهای بزرگتر ولی با تغییر کندتر اکولوژیکی می‌داند [10]. در این رابطه، زندگی بشر تا بینهایت می‌تواند ادامه داشته باشد و در عین حال کیفیت اکوسیستمهای پشتیبان زندگی و محیط زیست نیز حفظ و بهبود یابند. بنابراین تعریف، در توسعه پایدار کیفیت زندگی بشر بهبود می‌یابد بدون آنکه لزوماً بر کمیت منابع مورد استفاده افزوده شود. لکن ایده رشد پایدار، به معنی به صورت مداوم بزرگتر شدن غیر ممکن است. در مقابل، توسعه پایدار به معنی بهبود مستمر کیفیت امکان پذیر است.

## توسعه پایدار منابع آب

هنگامی که از پایداری سیستمهای منابع آب صحبت می‌شود، سه مفهوم مد نظر قرار می‌گیرد:

طبیعت: اکوسیستم‌های طبیعی محیط‌های آبی باید محافظت شوند.

نسل حاضر: نیازهای نسل کنونی از منابع آب باید تأمین گردد. این نیازها در طول زمان و مکان متغیراند و از مدیریت سیستمهای منابع آب انتظار می‌رود در جهت افزایش عدالت اجتماعی حرکت کند.



نسل‌های آینده: فرزندان ما حق دارند حداقل به همان سطح از اقتصاد، محیط زیست و رفاه زندگی که ما الان از آنها برخوردار هستیم، دسترسی داشته باشند.

تعاریف مختلفی برای توسعه پایدار منابع آب ارائه شده است. به یک تعبیر می‌توان توسعه پایدار را بر مبنای استفاده از منابع آب تعریف کرد [11]. بر این اساس سیاستی را می‌توان پایدار دانست که بتواند منافع مثبت حاصل از منابع (شامل منابع آب) را در آینده نیز حفظ کند. ولی باید توجه داشت که محاسبه منافع حاصل از منابع طبیعی مشکل است. همچنین توسعه پایدار بر مبنای پایداری مالی نیز به این صورت تعریف می‌شود که به منظور رسیدن به یک سیستم پایدار از نظر مالی، کلیه هزینه‌های ناشی از یک سیاست مالی در یک سیستم منابع آب باید قابل جبران باشد [12].

**Falkenmark** بر نقش آب در توسعه پایدار توجه کرده و شرایط لازم را برای حصول به پایداری بیان می‌کند [13]. از نظر وی شرایط لازم برای پایداری به قرار زیر است: نفوذپذیری خاک و ظرفیت نگهداشت آب در زمین باید به گونه‌ای حفظ شود که امکان نفوذ بارش را به درون زمین و جهت تولید بیوماس در یک مقیاس کافی فراهم آورد. آب قابل آشامیدن باید فراهم باشد. آب کافی برای بهداشت باید فراهم باشد. حیات آبی برای ماهیها و دیگر توده‌های آبی باید محافظت شوند. با جمع‌بندی تعاریف فوق، تعریف زیر را برای پایداری سیستمهای منابع آب ارائه شده است [1]. سیستمهای پایدار منابع آب، سیستمهایی هستند که به گونه‌ای طراحی و مدیریت می‌شوند که کاملاً به نیازهای جامعه در حال و آینده نامحدود پاسخ می‌دهند و در عین حال انسجام فرهنگی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی آنها را حفظ می‌نمایند.

**Pearce** بیان می‌کند که لازمه پایداری در سیستم منابع آب آن است که استفاده از آب شیرین در زمان حال نباید هزینه‌ای را چه به طور مستقیم (مانند کیفیت پایین تر بهداشت ناشی از آلودگی) و چه به طور غیرمستقیم (مانند فرصتهای از دست رفته)، به نسلهای آینده تحمیل نماید [6]. پایداری مفهومی صرفاً علمی نیست، بلکه یک هدف اجتماعی نیز به شمار می‌رود. رشته‌های مختلف از منظر خود اهداف مختلفی را برای پایداری پیشنهاد می‌کنند [1]. جامعه شناسان اهداف اجتماعی زیر را برمی‌شمرند: اقتدار، مشارکت، تحرک اجتماعی، پیوستگی اجتماعی، هویت فرهنگی و توسعه نهادی. اهداف اقتصادی را نیز می‌توان به صورت زیر برشمرد: کارآیی، رشد و عدالت. مهندسان نیز از دو طریق می‌توانند در فرآیند پایداری مشارکت داشته باشند: با ارائه فعالیتهای مفید به حال محیط زیست و با درگیر شدن در پروژه‌هایی که در جهت توسعه پایدار می‌باشند. **Cywinski** نیز بر در نظر گرفتن اخلاقیات در طرحهای مهندسی تأکید می‌کند [14]. به نظر **McLaren & Simonovic** و **Klauer** عملیاتی کردن مفهوم توسعه پایدار کار دشواری است [15,9]. **Patten** می‌گوید چنانچه در مورد عملیاتی کردن مفهوم پایداری کاری نشود، توسعه پایدار در حد بازی با کلمات (buzzword) باقی خواهد ماند [16]. **Klauer** بیان می‌کند عملیاتی کردن پایداری غیرممکن است؛ در مقابل، وی منظور از عملیاتی کردن پایداری را پیشنهاد اصول و قوانینی می‌داند که در صورت پیروی از آنها می‌توان انتظار داشت که توسعه پایدار تضمین می‌شود [9].

**Patten** تعادل<sup>۱</sup> را شرط لازم برای پایداری سیستم می‌داند؛ لکن تعادل در سطح سیستم را برای پایداری کافی نمی‌داند [16]. همچنین تعادل اجزای سیستم برای پایداری سیستم شرط لازم است. **patten** همچنین دوام یک سیستم را در طول زمان در حد نرمهای تعریف شده شرط کافی و نه لازم برای پایداری می‌داند. **Alaerts et al.** شرایط زیر را برای پایداری پیشنهاد می‌کنند [17]:

- فنی: طراحی و مدیریت اثر بخش و کارا در پروژه‌های توسعه منابع شامل ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا.
- زیست محیطی: آثار منفی غیرقابل برگشت دراز مدت نباید وجود داشته باشد.
- مالی: هزینه‌های کلیه طرحهای توسعه و مدیریت باید بازیابی شود.
- اجتماعی: جامعه باید طرحهای توسعه را پشتیبانی کند و حاضر باشد بهای آنها را بپردازد.



- نهادی: بنگاهها باید ظرفیت طراحی، مدیریت، پایش و تطابق با شرایط متغیر را دارا باشند.
- در گزارش Committee for Water Research شرایط زیر برای پایداری پیشنهاد شده است [11]:
- سیستمهای منابع آب، به همراه جامعه و محیط زیست باید از دید رشته‌های مختلف به صورت اجزای یکپارچه با سیستم اجتماعی در نظر گرفته شوند. طراحی و بهره‌برداری از سیستم منابع آب یک کار بین رشته‌ای است که در آن نه تنها کارشناسان بلکه عموم مردمی که از طرح متأثر می‌شوند نیز باید مشارکت داشته باشند.
- سیستمهای مورد نظر باید با شرایط زندگی و محیط زیست منطقه تطابق داشته باشد و به گونه‌ای مقاوم باشند که بتوانند با تغییر تقاضاها و اهداف در آینده هماهنگ شوند.
- سیستمهای مورد بررسی باید مقاوم باشند؛ به این معنی که با نگهداری مناسب تا بینهایت قابل بهره‌برداری باشند و یا اگر در اثر یک پدیده نادر خراب شدند با کمترین هزینه قابل بازسازی و استفاده باشند.
- Bruce شرایط دیگری را برای پایداری برمی‌شمرد [12]:
- توسعه نباید زیر ساختهای اساسی زندگی، مانند هوا، آب و خاک و نیز سیستمهای بیولوژیکی پشتیبانی کننده آنها را نابود کند.
- لازمه توسعه پایدار، داشتن جامعه پایدار در سطوح بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و خانواده است تا از آن طریق توزیع عادلانه منافع کالاها و خدمات تولیدی و حفظ پایداری سیستمهای پشتیبان حیات تضمین گردد. در مناطقی که ساختار اجتماعی آنها پایدار نیست، توسعه سیستم اجتماعی باید بخش عمده‌ای از برنامه توسعه منابع آب را تشکیل دهد.

### سنجش پایداری سیستمهای منابع آب

یکی از مباحث مهم در توسعه پایدار سیستمهای منابع آب، اندازه‌گیری و پایش پایداری است. زبان ریاضی و فنی به تنهایی برای اندازه‌گیری کامل پایداری کافی نیستند. بهر حال، چنانچه نتوانیم آنچه را که مطلوب است اندازه‌گیری و یا با واژه‌های دقیق توصیف کنیم، مشکل و یا حتی غیرممکن می‌شود که اثر بخشی اقدامات خود را در جهت نیل به مطلوب تعیین کنیم؛ حتی نمی‌توان برنامه‌ها و سیاستهای بدیل را از نظر پایداری مقایسه کرد.

شاخص پایداری مبتنی بر وزندهی معیارها (Weighted Criteria Indices): آزمایشگاه هیدرولیک دلفت هلند، روشی برای سنجش یا کمی کردن نقش پروژه‌های آبی در توسعه پایدار پیشنهاد کرده است. در این روش، مجموعه‌ای از معیارها برای سنجش میزان پایداری و نیز وزن مربوط به هر معیار برای سیستمهای مختلف تعریف می‌شود. Baan پنج معیار زیر را برای مقایسه اینکه کدام پروژه نقش بیشتری در توسعه پایدار دارند، پیشنهاد نموده است [18]:

- جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی و آثار بر رشد، مقاومت و استقامت
- استفاده از منابع طبیعی و محیط زیست شامل مواد خام و ورود ضایعات در حد ظرفیت تحمل محیط زیست
- محافظت و بهبود منابع طبیعی و محیط زیست، و بهبود در ظرفیت تحمل طبیعت
- بهداشت، امنیت و رفاه عمومی
- انعطاف پذیری و پایداری امور زیربنایی و قابلیت انطباق با فرصتها و پدیده‌های در حال تغییر.
- هر کدام از این معیارها به چهار زیر معیار تقسیم می‌شود که به صورت استنباطی برای هر پروژه تعیین می‌شوند.
- Baetz & Korol معیارهای زیر را برای مقایسه پروژه‌های مختلف از نظر پایداری پیشنهاد می‌کنند [19]:
- یکپارچگی / هم افزایی: پروژه‌های مهندسی به منظور پایداری باید با محیط زیست طبیعی و همه جنبه‌های اجتماعی یکپارچه باشند.
- سادگی: برخی راه‌حلهای فنی از طریق عملکرد ساده می‌توانند منافع متنوعی را حاصل نمایند.



- خصوصیات ورودی/خروجی: گزینه‌هایی که از ورودیهای کمتری (مانند انرژی، زمین، مواد خام) استفاده می‌کنند، ارجحیت دارند. همچنین سیستمهای بازیافت و استفاده مجدد نیز از بعد خروجیها ترجیح دارد.
  - آزادی عمل: گزینه‌هایی که راههای متنوعی را جهت انجام یک کار ارائه می‌دهند پایدارترند.
  - انطباق پذیری: گزینه‌های فنی پایدار باید قابلیت انطباق با تغییرات اجتماعی، اقلیمی و زیست محیطی را داشته باشند.
  - تنوع نظرات: هر چقدر بیشتر یک پروژه بین گروه‌های ذینفع به بحث و تبادل نظر گذاشته شود به پایداری نزدیکتر خواهد شد.
  - ظرفیت تحمل طبیعی: پروژه‌هایی که کمترین تغییر و بار آلودگی را در محیط زیست وارد می‌کنند پایدارترند.
- شاخصهای آماری وزن دار (Weighted Statistical Indices):** شاخصهای پایداری در این روش، سنجشگرهای قابلیت اعتماد<sup>۱</sup>، برگشت پذیری<sup>۲</sup> و آسیب پذیری<sup>۳</sup> معیارهای گوناگون اقتصادی، زیست محیطی، اکولوژیکی و اجتماعی می‌باشند. هر کدام از این سنجشگرها می‌توانند به صورت جداگانه به عنوان شاخصهای پایداری محسوب شده و یا به صورت ترکیبی با اعمال وزن مناسب به هر یک استفاده شوند. برای این کار، ابتدا باید معیارهای مناسب اقتصادی، زیست محیطی، اکولوژیکی و اجتماعی که در سنجش "پایداری نسبی" کلی مؤثرند، شناسایی و تعریف شده و با استفاده از سربهای زمانی متغیرهای سیستم منابع آب، (مثل دبی جریان، سرعت، تراز سطح آب، تولید و یا مصرف برق آبی و غیره) به صورت کمی و یا حداقل به صورت زبانی (مثل ضعیف، خوب و عالی) توصیف شوند.

معیارهایی که با واحدهای پولی قابل توصیف‌اند را می‌توان به عنوان معیارهای اقتصادی دانست: مثل ارزش فعلی هزینه‌ها و منافع اقتصادی حاصل از تولید برق آبی، آبیاری، صنعت و کشتیرانی. در نظر گرفتن توزیع و اثر بخشی معیارهای اقتصادی اهمیت دارد. برای مثال، اینکه چه کسانی هزینه‌ها را می‌پردازند و چه کسانی منافع نصیبشان می‌شود، حداقل با میزان هزینه‌ها و منافع به یک اندازه مهم‌اند. معیارهای زیست محیطی شامل غلظت آلاینده‌ها و دیگر اجزای بیولوژیکی و شیمیایی در آب و نیز توصیفگرهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در سایت‌های مورد نظر در سیستمهای منابع آب است. معیارهای اکولوژیکی شامل وسعت و عمق آب در تالابها، تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری در سیلابدشته‌ها و انسجام و بقای اکوسیستمهای طبیعی پشتیبان زیستگاههای مناسب گونه‌های مختلف آبزیان (شامل ماهیها) است. معیارهای اجتماعی شامل فراوانی و شدت سیلابها و خشکسالیهای مشقت بار که هزینه‌ها و خسارات اختلالات اجتماعی ناشی از آنها را نمی‌توان به راحتی پولی کرد، امنیت تأمین آب شهری، فرصتهای تفریحی ایجاد شده توسط رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن سدها و جذابیت مناظر است.

با شبیه سازی سیستم منابع آب با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی معرف آینده، سربهای زمانی معیارهای عملکردی سیستم به دست می‌آیند. از این سربهای زمانی مستقیماً برای مقایسه گزینه‌های طرحها و یا سیاستهای مختلف بهره‌برداری می‌توان استفاده کرد. راه دیگر، محاسبه سنجشگرهای قابلیت اعتماد، برگشت پذیری و آسیب پذیری از این سربهای زمانی است. به طور کلی هر چقدر قابلیت اعتماد و برگشت پذیری بیشتر و آسیب پذیری کمتر باشد، پایداری نسبی یک سیستم از نظر یک معیار مشخصی (مثلاً یک معیار زیست محیطی)، بیشتر است. اغلب در یک سیستم منابع آب، تعامل بین سنجشگرهای آماری عملکرد سیستم وجود دارد. برای تعریف و محاسبه سنجشگرهای آماری، معیار C را در نظر بگیرید. سری زمانی C<sub>t</sub> از شبیه‌سازی سیستم منابع آب در دوره زمانی T در آینده به دست می‌آید. گستره رضایتبخش و غیر رضایتبخش این معیار، که می‌تواند با زمان تغییر کند، توسط تحلیلگر و یا برنامه‌ریز آب شناسایی می‌شود. این گستره‌ها معمولاً براساس آرمانها و قضاوتهای انسان تعیین می‌شوند؛ البته برخی از آنها ممکن است بر مبنای استانداردهای تعریف شده، مشخص شوند. با داشتن این اطلاعات برای کلیه معیارها، سنجشگرهای آماری را با تعریفهای زیر می‌توان محاسبه کرد.

۱ - Reliability

۲ - Resiliency

۳ - Vulnerability



قابلیت اعتماد، احتمال بودن معیار C در گستره رضایتبخش است. برگشت پذیری، نشانگر سرعت بهبودی از شرایط غیر رضایتبخش به شرایط رضایتبخش است. آسیب پذیری، سنجشگری آماری است که میزان و تداوم شکست را نشان می‌دهد. با محاسبه سنجشگری‌های مزبور برای هر معیار اقتصادی، اکولوژیکی، زیست محیطی و اجتماعی، آنها را در چارچوب تحلیل چند هدفه می‌توان ترکیب کرد و پایداری نسبی را محاسبه کرد. برای مقایسه گزینه‌های مختلف، از روشهای مناسب تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌شود. رویکرد دیگر در سنجش پایداری استفاده از مفهوم مقاومت<sup>۱</sup> و بازگشت پذیری<sup>۲</sup> مربوط به آنتروپی و سطح انرژی سطح انرژی سیستم است. منظور از مقاومت سیستم، قابلیت انطباق سیستم با شرایط متغیر و غالباً غیر قابل پیش‌بینی آینده با کمترین هزینه است. از اینرو از مقاومت سیستم گاهی به انعطاف پذیری<sup>۳</sup> نیز تعبیر می‌شود. برگشت پذیری سیستم برحسب آنتروپی آن اندازه‌گیری می‌گردد. Nachtnebel مفهوم آنتروپی را برای اندازه‌گیری برگشت پذیری یک سیستم آب زیرزمینی به کار گرفت [20]. McMahon & Mrozek بیان می‌کنند که اقتصاد نئوکلاسیک به طور ضمنی قانون اول ترمودینامیک را مبنی بر اینکه انرژی و ماده نه به وجود می‌آیند و نه از بین می‌روند، بلکه به همدیگر تبدیل می‌شوند، می‌پذیرد [21]. تبدیل از حالتی به حالت دیگر با افزایش آنتروپی همراه است. این موضوع به قانون دوم ترمودینامیک منجر می‌شود که سیستمها در طول زمان تمایل دارند به حالتی با آنتروپی بیشتر برسند. فرآیند انتقال از آنتروپی کمتر به آنتروپی بیشتر برگشت ناپذیر است. McMahon & Mrozek در واقع به این موضوع اشاره دارند که منابع با آنتروپی کم به عنوان کالای اقتصادی کمیاب محسوب می‌شوند؛ بنابراین می‌توان با اندازه‌گیری آنتروپی، پایداری را اندازه گرفت. Ruth و Rifkin، Meadows et al. نیز سعی کردند از مفهوم آنتروپی در اندازه‌گیری برگشت پذیری و پایداری استفاده نمایند [22,23,7].

علاوه بر موضوع سنجش پایداری، نحوه برخورد با مسئله و تحلیل آن نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. برای این منظور استفاده از نگرش سیستماتیک و جامع و نیز توجه به دینامیک سیستمها روش مفیدی را پیش پای ما می‌گذارد. Robert بیان می‌کند برای انتخاب متغیرهای مناسب که بتوان به وسیله آنها به شکل سیستماتیک و جامع به تحلیل پیچیدگیهای سیستم پرداخت، باید: (۱) در حلقه‌های علت و معلولی به بالا دست بیندیشیم؛ به این معنی که باید به سر منشأ وقوع مشکلات توجه داشت نه فقط به راه چاره آنها پس از وقوع و (۲) در مراحل برنامه‌ریزی، از روشهای آینده‌نگری<sup>۴</sup> استفاده کنیم [24]. مفهوم آینده‌نگری با پیش‌بینی<sup>۵</sup> متفاوت است. در پیش‌بینی، با تعمیم مسایل و روندهای زمان حاضر به آینده به برنامه‌ریزی می‌پردازیم و راه‌حلهای امروز را برای فردا نیز معتبر فرض می‌کنیم. در آینده‌نگری، در واقع با نگرش استراتژیک، به تعیین اهداف استراتژیک می‌پردازیم و برنامه‌ریزی برای رسیدن به آن اهداف صورت می‌گیرد.

Robert همچنین تشریح می‌کند که برای مطالعه هر سیستمی موارد زیر را باید در نظر گرفت [24]:

- اصول تشکیل دهنده سیستم شامل: (۱) اصولی که سیستم را تعریف می‌کنند، (۲) اصولی که حالت ایده‌آل سیستم را مشخص می‌کنند و (۳) اصولی که استراتژیهای رسیدن به حالت ایده‌آل سیستم را تعریف می‌نمایند.
- اقداماتی که در راستای اصول فوق باید انجام شوند.
- راههای سنجش و پایش اقدامات فوق
- موارد بالا را برای پایداری سیستم یک جامعه به صورت زیر میتوان بکار برد:
- اصولی که بیان‌کننده چگونگی ساختار اجتماعی می‌باشند شامل اصول اجتماعی

۱ - Robustness

۲ - Reversibility

۳ - Design Flexibility

۴ - Backcasting

۵ - Forecasting





- اصولی که بیان‌کننده حالت مطلوب سیستم می‌باشند شامل اصول پایداری
- اصولی که استراتژیهای رسیدن به پایداری را تعیین می‌کنند؛ به عنوان مثال، استراتژی کاهش مواد زاید.
- اقدامات عملی برای رسیدن به استراتژیها؛ به عنوان مثال، بازیافت مواد یک اقدام عملی در جهت نیل به استراتژی کاهش مواد زاید می‌باشد.

روشهای سنجش اقدامات خود به دو بخش تقسیم می‌شوند. یکی اندازه‌گیری مستقیم خود اقدامات؛ به عنوان مثال، اندازه‌گیری کمیت مواد زاید تولید شده. دومین بخش سنجش آثار ناشی از اقدامات است؛ به عنوان مثال، اندازه‌گیری نیترات موجود در خاک. Bai & Imura بر نقش توسعه پایدار منابع آب در برنامه‌ریزیهای شهری تأکید می‌کنند [25]. آنها برای شهر Tianjin در چین، برنامه‌ریزی منابع آب را بر مبنای اصول پایداری مورد مطالعه قرار دادند و استراتژیهایی را به قرار زیر برای مدیریت آب در شهر مزبور پیشنهاد کردند: مدیریت تقاضا، مدیریت عرضه، مدیریت بازدهی، و مدیریت پساب. Bai و Imura تأکید میکنند که در مدیریت آب شهری باید با نگرش یکپارچه و سیستماتیک به مطالعه چرخه طبیعی هیدرولوژیک و عوامل اقتصادی-اجتماعی در محدوده‌ای گسترده‌تر از گستره خود شهر پرداخت. منابع آب و آلودگی آنها، ظرفیت منابع و مدیریت تقاضا، و روابط بین منطقه‌ای در تخصیص آب، سه موضوع اصلی‌اند که در نگرش سیستماتیک فوق باید مورد توجه قرار بگیرند.

Guo et al. بر مبنای نگرش سیستماتیک و با روش سیستمهای دینامیکی، مدلی را برای مدیریت محیط زیست و برنامه‌ریزی منطقه‌ای در حوضه دریاچه Erhai در چین توسعه دادند [26]. آنها در مطالعه خود هشت زیر سیستم را به شرح زیر در نظر گرفتند: جمعیت، کشاورزی، صنعت، گردشگری، منابع آب، کنترل آلودگی، کیفیت آب و جنگل.

Palmer et al. و Palmer برنامه‌ریزی حوضه رودخانه را با استفاده از سیستمهای دینامیکی انجام دادند [27,28]. Fletcher از سیستمهای دینامیکی به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری برای مدیریت منابع آب کمیاب استفاده نمود [29]. Simonovic et al. و Simonovic & Fahmy سیستمهای دینامیکی را برای برنامه‌ریزی درازمدت منابع آب و تحلیل سیاستگذاری برای حوضه رودخانه نیل در مصر به کار بردند [30,31].

## نتایج و بحث

تعاریف و تعابیر مختلفی برای توسعه پایدار ارائه شده است. آنچه که در واقع در تمامی این تعاریف مشترک است عبارت است از: تأمین نیازهای نسل حاضر و نسلهای آینده با حفظ حقوق آنها و در عین حال حفظ انسجام فرهنگی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی جوامع. مفهوم توسعه پایدار در واقع در برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی، برای محیط زیست و اجزای آن جایگاه ویژه‌ای قایل می‌شود و بر ارتباط دو طرفه هر یک از موضوعات محیط زیست، اقتصاد و مسایل اجتماعی با یکدیگر تأکید می‌ورزد.

علیرغم اهمیتی که مفهوم توسعه پایدار در برنامه ریزیها و استفاده از منابع دارد، عملیاتی کردن آن دشوار است. محققان رهنمودهایی را پیشنهاد می‌کنند که در صورت پیروی از آنها میتوان امیدوار بود که در جهت نیل به پایداری حرکت خواهد شد. اهم محورهایی را که در رهنمودهای مزبور برای پایداری سیستمهای منابع آب ارائه شده است به شرح زیر میتوان برشمرد: نظام طراحی و مدیریت بهره‌برداری از طرحها باید تغییر کند و در آن به تعادل بین عرضه و تقاضا بیشتر توجه گردد. طرحهای پیشنهادی باید فاقد آثار منفی غیر قابل برگشت بوده و به گونه‌ای باشند که هزینه‌های خود را جبران نمایند. در طراحی و بهره‌برداری از طرحها، مشارکت عمومی و مقبولیت اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طرحهای پیشنهادی و بنگاه‌های اداره‌کننده آنها باید از انعطاف‌پذیری کافی برخوردار باشند و بتوانند با شرایط متغیر محیط به خوبی تطابق حاصل نمایند. ساخت و بهره‌برداری از طرحها نباید به زیرساختهای حیاتی شامل هوا، آب و خاک لطمه وارد کنند.

برای اندازه‌گیری پایداری باید چارچوبی در اختیار داشت. ابزارهای سنجش پایداری به دو دسته معیارها و سنجشگرها تقسیم



می‌شوند. برای معیارهای پایداری، پیشنهادهای گوناگونی ارائه شده است. دسته‌ای از معیارها که به معیارهای وزندار معروف‌اند جنبه‌های زیر را دربرمی‌گیرند:

- ۱) موجودیت سیستم و عدالت در بین اجزای آن: حفظ بقا و به دست آوردن مواد، اطلاعات و انرژی لازم برای ادامه حیات.
  - ۲) استقلال و آزادی عمل: وجود راههای مختلف برای سیستم در استفاده بهینه از منابع.
  - ۳) اثر بخشی، کارایی و سادگی: توانایی سیستم در استفاده بهینه از منابع.
  - ۴) امنیت: توانایی سیستم در محافظت از خودش در برابر مخاطرات محیطی.
  - ۵) تطبیق پذیری و برگشت پذیری: توانایی سیستم در انطباق با شرایط محیطی.
  - ۶) همزیستی و یکپارچگی: توانایی سیستم برای مراعات مصالح سایر سیستمهای موجود در محیط.
  - ۷) تنوع و آگاهی عمومی: مشارکت اجتماعی گروههای ذینفع در بهره‌برداری و اداره سیستم.
- در رویکردی دیگر برای معیارهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و اکولوژیکی، سنجشگرهای آماری اعتمادپذیری، برگشت پذیری و آسیب پذیری اندازه گرفته شده و با تلفیق آنها، پایداری سیستم از حیث معیار مورد نظر سنجیده می‌شود. معیار پیشنهادی دیگر برای اندازه‌گیری پایداری سیستم، آنتروپی و مقدار انرژی سیستم است ولی این روش مشکل و غیرکاربردی به نظر می‌رسد.

برای تحلیل سیستمها از حیث پایداری، لازم است که از نگرش سیستماتیک و جامع استفاده شود. در این راستا روش "سیستم دینامیکی" برای مطالعه رفتار سیستمها مناسب است. در کنار این روش، تفکر حاکم در برنامه‌ریزیها باید به صورت استراتژیک باشد و به جای پیش‌بینی آینده، به معنی تعمیم روندهای گذشته به آینده، از تکنیکهای آینده‌نگری، به مفهوم نگرش استراتژیک به آینده، استفاده شود. براساس چنین نگرشی، مدیریت تقاضا به عنوان آینده در مدیریت منابع آب مطرح شده است که باید بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد.

## تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف به خاطر حمایت از طرح تحقیقاتی که منجر به این مقاله شده، سپاسگزاری می‌شود. همچنین از سرکار خانم مریم گذشتی به خاطر زحمت تایپ مقاله مزبور صمیمانه تشکر می‌شود.

## مراجع

1. ASCE Task Committee for Sustainability Criteria, Sustainability Criteria for Water Resource Systems, Div. of Water Resour Plng. and Mgmt., ASCE, Reston, Va., 1998.
2. WCED (World Commission on Environment and Development), Our Common Future, The Brundtland Report, Oxford University press, 1987.
۳. تودارو، مایکل؛ مترجم: غلامعلی فرجادی توسعه اقتصادی در جهان سوم، مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، تهران، (۱۳۷۸).
۴. میکسل، ریموند اف؛ مترجم: ارباب، حمیدرضا توسعه اقتصادی و محیط زیست، مقایسه بین اقتصاد توسعه سنتی و توسعه پایدار، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، تهران، ۱۳۷۶.
5. Solow, R., An Almost Practical Step Towards Sustainability, An Invited Lecture on the Occasion of the Fortieth Anniversary of Resources of the Future, Oct. 8, 1992.



6. Pearce, D., *Measuring Sustainable Development, Economics and Environment in the Third World*, 1993.
7. Ruth, M., *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*, Kluwer Academic Publishers, 1993.
8. Fuwa, K., *Defining and Measurement of Sustainability, the Biophysical Foundations*, World Bank, Washington DC, 1995.
9. Klauer, B., *Defining and Achieving Sustainable Development of a Risk Measure as a Sustainable Project Selection Criterion*. *Int. Jr. of Sustainable Development and World Ecology*, Vol 4, 1999, pp 274-285.
10. Goodland, R., Daly, H., and El Serafy, S., *Environmentally Sustainable Economic Development, Building on Brundtland*, World Bank Environmental Working Paper No. 46, World Bank, Washington DC, 1991.
11. Jordaan, J.M., Plate, E.J. Prins, J.E, and Veltrop, J.A., *Water in our Common Future, Research Agenda for Sustainable Development of Water Resources*. COWAR/UNESCO, Paris, France, April, 1993.
12. Bruce, J.P., *Meteorology and Hydrology for Sustainable Development*, World Meteorological Organization, No. 769, Secretariat of the WMO Geneva, Switzerland 1992.
13. Falkenmark, M., *Sustainable Development as Seen from a Water Perspective, Perspectives of Sustainable Development*, Stockholm Studies in Natural Resources Management, No.1, Stockholm, 1988, pp 71-84.
14. Cywinski, Z., *Current Philosophy of Sustainability in Civil Engineering Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, ASCE, Vol. 127, No. 1, January, 2001, pp 12-16.
15. McLaren, R.A. and Simonovic, S.P., *Data Needs for Sustainable Development and World Ecology*, Vol. 6, 1999, pp 103-113.
16. Patten, B.C., *Ecology's AWFUL Theorem, Sustaining Sustainability, Ecological Modelling*, Vol. 108, 1998, pp 97-105.
17. Alarets, G.J., Blair, T.L., and Hartvelt, F.J.A., *A Strategy for Water Sector Capacity Building*, IHE Report 24, IHE, Delft, NL, 1991.
- 18- Baan, J.A., *Evaluation of Water Resources Projects on Sustainable Development*, proceedings International UNESCO System, Water Resources Planning in a Changing World, Karlsruhe, Germany, June 1994, pp 63-72.
19. Baetz, B.W. and Korol, R.M. *Evaluating Technical Alternatives on Basis of Sustainability*, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, ASCE, Vol. 121, No. 2, April, 1995, pp 102-107.
20. Nachtnebel, H.P., *Irreversibility and Sustainability in Water Resource Systems*, Third IHP/IAHS



- Kovas Colloquium, UNESCO, Paris, France, September, 1996.
21. McMahon, G.F. and J.R. Mrozek, J.R., Economics, Entropy and Sustainability, Hydrologic Sciences Journal, 42 (4), 1997, pp 501-512.
  22. Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., and Behmes., W.W., Limits to Growth, Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, 2nd edition, Universe Books, NY, NY, 205 pp.
  23. Rifkin, J., Entropy: Into the Greenhouse, World Bantam Books, NY, 1989.
  24. Robert, K.H., Tools and Concepts for Sustainable Development, How Do they Relate to a General Framework for Sustainable Development, and to Each Other, Journal. of Cleaner Production, Vol. 8, 2000, pp 243-254.
  25. Bai, X. and Imura, H., Towards Sustainable Urban Water Resource Management, A Case Study in Tianjin, China, Sustainable Development, Vol. 9, 2001, pp 24-35.
  26. Guo, H.C., Liu, L., Huang, G.H., Fuller, G.A., Zou, R., and Yin, Y.Y., A System Dynamics Approach for Regional Environmental Planning and Management, A Study for the Lake Erhai Basin, Journal of Environmental Management, Vol. 61, 2001, pp 93-111.
  27. Palmer, R., River Basin Planning Study, 1994.
  28. Palmer, R., Hilton, K., and Hahn, M., Willamette River Basin Reauthorization Feasibility Study, 1995.
  29. Fletcher, E.J., The Use of System Dynamics As a Decision Support Tool for the Management of Surface Water Resources. Proceedings., 1st Int. Conf. on New Information Technology for Decision Making in Civil. Engrg., University of Quebec, Montreal, Canada, 1998, pp 909-920.
  30. Simonovic, S.P., Bum, D.H., and Lence, B.J., Practical Sustainability Criteria for Decsion-Making Int. Jr. of Sustainable Development and World Ecology, Vol 4, 1997, pp 231-244.
  31. Simonovic, S.P. and Fahmy, H., A New Modelling Approach for Water Resoruces Policy Analysis, Water Resour Res., 35 (1), pp 1999, 295-304.