



کلان شهر تهران از منظر پایداری آب شهری

علی باقری ، دانشجوی دکترای مدیریت منابع آب ، دانشکده عمران ، دانشگاه صنعتی شریف*

احمد ابریشمی ، دانشیار دانشکده عمران ، دانشگاه صنعتی شریف**

مسعود تجریشی ، استادیار دانشکده عمران ، دانشگاه صنعتی شریف***

* تلفن: ۰۲۱-۶۱۶۴۲۶۳ ، bagheri@mehr.sharif.edu

** تلفن: ۰۲۱-۶۱۶۴۲۳۸ ، abrisham@sharif.edu

*** تلفن: ۰۲۱-۶۱۶۴۱۸۶ ، tajrishy@sharif.edu

چکیده

توسعه پایدار ، به گونه ای که در سال ۱۹۸۷ توسط Brundtland در گزارش خود با عنوان آینده مشترک ما ، معرفی شده است سه عنصر اجتماع، اقتصاد و محیط زیست را مورد توجه قرار می دهد و بر حفظ حقوق نسل آینده تاکید می کند. از زمان طرح این مفهوم تاکنون تلاشهای زیادی در جهت عملیاتی کردن مفهوم پایداری در مسایل مرتبط با زندگی بشر صورت گرفته است. در این مقاله نیز برای تعیین پایداری یک شهر از منظر سیستم آب شهری، شاخصی تعریف شده است که از نگاهت فازی شش معیار به شرح زیر به دست می آید: فنی، زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی، استقلال و همزیستی. این شاخص به صورت فازی به سه بازه غیر پایدار، نیمه پایدار و پایدار تقسیم بندی شده است. برای کمی کردن هر یک از معیارهای مزبور که یک بعد از ابعاد پایداری سیستم مورد مطالعه را از منظر آب شهری مورد توجه قرار می دهد، شاخص جداگانه ای در نظر گرفته شده است. پایداری سیستم آب شهر تهران به عنوان مطالعه موردی توسط معیارهای فوق مورد سنجش قرار گرفته و مشاهده شد شاخص پایداری آب در این شهر از حالت پایدار در دهه ۱۳۳۰ از اواخر دهه ۴۰ سیر نزولی گرفته و از اواخر دهه ۵۰ به حالت نیمه پایدار رسیده است.

کلید واژه ها: تهران، آب شهری، توسعه پایدار، استنتاج فازی

۱- مقدمه

عبارت "توسعه پایدار" اولین بار در گزارش Brundtland با عنوان "آینده مشترک ما"، به کمیسیون جهانی

محیط زیست و توسعه^۱، با بیان مفهوم زیر به کار گرفته شد [۱]:

^۱ World Commission on Environment and Development (WCED)

“بشر توانایی دارد که توسعه را پایدار نماید - اطمینان حاصل کند از اینکه نیازهای نسل حاضر را بدون خدشه در توانایی نسلهای بعد برای تامین نیازهایشان، برآورده نماید.”

امروزه توسعه پایدار به فرایندی اشاره دارد که در آن اقتصاد، محیط زیست و اکوسیستم یک منطقه هماهنگ با همدیگر و به گونه ای تغییر می کنند که در طول زمان بهبود می یابند [۲]. در سالهای اخیر در مباحث مربوط به توسعه به حقوق بشر توجه خاصی مبذول شده است، به طوری که گزارش بیانیه انسانی UNDP در سال ۲۰۰۰ بر نقش حقوق بشر به عنوان مهمترین عامل در توسعه انسانی تاکید می کند [۳]. پایداری به گونه ای که در بالا تعریف شده است سیستمی از اهداف ارزشی می باشد (چه باید انجام شود). از این رو این مفهوم را نمی توان از تحلیل تجربی یا علمی استخراج نمود، بلکه باید به صورت خطوط راهنما برای تمامی کسانی که در جامعه نقشی بر عهده دارند در نظر گرفته شود [۴].

۲- سنجش پایداری

پایش پایداری امکان کمی کردن سطوح نسبی پایداری را برای استفاده در تصمیم گیریها فراهم می سازد. McLaren & Simonovic سنجشگرهای پایداری را در دو دسته شاخصها و معیارها طبقه بندی می کنند [۵]. et Simonovic al. بیان می کنند که از شاخصها نباید مستقیماً در تصمیم گیری استفاده کرد بلکه سیاستگذاری و تصمیم گیری در امر توسعه پایدار نیازمند طراحی و کاربرد معیارهای پایداری می باشد [۶]. Opschoor & Reijnders بیان می کنند که معیارهای پایداری در واقع خطوط راهنمایی هستند که شاخصهای پایداری در چارچوب آنها اندازه گیری می شوند [۷]. در جدول (۱) معیارهای پیشنهاد شده توسط محققان مختلف برای سنجش پایداری یک سیستم به نمایش درآمده است.

جدول (۱) معیارهای پیشنهادی برای سنجش پایداری یک سیستم

مرجع	معیار
[۷]	انحراف از حالت یکنواخت
[۹]	روش معیارهای وزن دار شامل معیارهای زیر: جنبه های اقتصادی - اجتماعی، استفاده از منابع طبیعی و 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 پدیده های در حال تغییر
[۱۰]	یکپارچگی / هم افزایی (Integrity/Synergy)، سادگی (Simplicity)، خصوصیات ورودی / خروجی (Input/Output Characteristics)، آزادی عمل (Freedom of Action)، انطباق پذیری (Adaptability)، تنوع (Diversity)، ظرفیت تحمل طبیعی (Natural Carrying Capacity)
[۱۱]	کمیابی اکولوژیکی
[۱۲]	آگاهی عمومی
[۱۳]، [۱۴]، [۱۵]	عدالت (در بعد مکان و زمان)، برگشت پذیری و ریسک
[۱۶]	
[۱۷]	موجودیت (Existence)، استقلال و آزادی عمل (Freedom of Action)، اثربخشی (Effectiveness)، امنیت (Security)، قابلیت انطباق (Adaptability)، همزیستی (Coexistence)، تولید مثل (Reproduction)، نیازهای روانشناختی (Psychological Needs)، و مسئولیت پذیری (Responsibility)

اندازه گیری معیارهای سنجش پایداری از طریق کمی کردن آنها به وسیله شاخصهای مناسب قابل انجام است. انتخاب شاخصها کار ظریفی است و باید با در نظر گرفتن قابلیت دسترسی، قابلیت اعتماد، دقت و ارتباط اطلاعات انجام شود. برای تعریف شاخصهای اندازه گیری پایداری باید الزامات زیر را در نظر گرفت [۸]: اطلاعاتی را در مورد فرایند مورد نظر ارائه دهد، کارکرد پیشگیری و کنترل داشته باشد، از روش روشنی استفاده شود، از یک روش قابل درک برای تلفیق استفاده گردد، براحتی قابل استفاده باشد، امکان مقایسه گزینه های مختلف را فراهم سازد.

برای تعریف شاخصهای اندازه گیری پایداری به سه طریق می توان عمل کرد [۸]: تعریف یک شاخص تلفیقی مانند شاخص توسعه انسانی (HDI)^۲، تعریف مجموعه ای از شاخصها برای سنجش توسعه پایدار مانند شاخصهای پیشنهادی توسط کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل، و تعریف شاخصهای تلفیقی جزئی. در این روش برای هر یک از اجزای تشکیل دهنده توسعه پایدار (اقتصاد، محیط زیست و اجتماع) تعدادی شاخص تعریف می شود که در نهایت به یک شاخص تلفیقی منجر می گردد.

۲-۱) **تعریف پایداری در سیستم آب شهری.** در این نوشتار مفهوم پایداری در یک سیستم آب شهری از بعد کمیت آب - با الهام از تعریف Brundtland - به صورت زیر ارائه شده است:

^۲) Human Development Index

تأمین تقاضای کمی نسل حاضر در شهر به آب به طوری که توانایی سکنه سایر شهرها و نیز نسلهای آینده برای تامین تقاضایشان به آب از نظر کمی محفوظ بماند.

۲-۲) معیارهای سنجش پایداری سیستم آب شهری. در مطالعات قبلی به طور مشخص برای سنجش پایداری در سیستم آب شهری معیار و شاخصی معرفی نشده است. در این مقاله به منظور ارائه روشی جهت عملیاتی کردن مفهوم پایداری در سیستم آب شهری و سنجش آن، شش معیار به عنوان شرایطی که برای پایداری یک سیستم لازم است در نظر گرفته شده و متناظر با هر معیار یک شاخص کمی برای اندازه گیری آن بیان شده است. خاطرنشان می شود معیارهای پیشنهاد شده یک چارچوب ارزشی را برای سنجش پایداری براساس تعریف ارائه شده در یک سیستم آب شهری ارائه می کنند. معیارهای در نظر گرفته شده برای توصیف پایداری سیستم آب شهری و شاخصهای متناظر هر یک عبارتند از:

- **معیار فنی**. این معیار کفایت اثربخشی طراحی و مدیریت در بهره برداری از منابع را سنجش می کند. شاخص اندازه گیری این معیار به صورت نسبت تعادل بین عرضه و تقاضای آب در نظر گرفته شده است. تغییرات این شاخص بین صفر و یک است و هر چه نسبت مزبور به یک نزدیکتر باشد از مطلوبیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

$$\frac{\text{Sold Water}}{\text{Water Demand}} = \text{شاخص اندازه گیری معیار فنی}$$

- **معیار زیست محیطی**. این معیار ظرفیت تحمل پذیرش طبیعت را برای پساب تولیدی و نیز فشار وارد بر آن برای برداشت از منابع آب زیرزمینی می سنجد. شاخص در نظر گرفته شده برای این معیار عبارتست از نسبت برداشت از منابع آب زیرزمینی به فاضلاب دفع شده در زمین. این شاخص معمولاً بین صفر و مقادیر بیشتر از یک می تواند تغییر کند ولی انحراف آن از نسبت یک از مطلوبیت آن می کاهد. مقادیر نسبت کمتر از یک به معنی فزونی ورود پساب به زمین نسبت به برداشت از منابع زیرزمینی است در حالیکه نسبت بیشتر از یک به معنی برداشت بیشتر از منابع زیرزمینی نسبت به تغذیه آنها از طریق پساب می باشد. به این ترتیب شدت خسارت ناشی از حالت اخیر از حالت اول بیشتر خواهد بود.

$$\frac{\text{GroundWater Withdrawal}}{\text{WasteWater Disposed Under Ground}} = \text{شاخص اندازه گیری معیار زیست محیطی}$$

- **معیار اقتصادی**. در هر سیستم پایدار هزینه های سیستم باید توسط خود آن جبران شود. در سیستم آب شهری درآمد اقتصادی سیستم از محل فروش آب و دریافت آب بها تأمین می گردد. شاخص مورد نظر برای سنجش این معیار به صورت نسبت میزان آب فروش رفته (تحویلی به مصرف کننده) نسبت به کل آب استحصال شده در سیستم در نظر گرفته شده است. این شاخص بین صفر و یک تغییر می کند و هر چه مقدار

این نسبت به یک نزدیکتر باشد امکان جبران هزینه‌ها از طریق دریافت آب‌بها بیشتر فراهم بوده از مطلوبیت بیشتری برخوردار است.

$$\frac{\text{Sold Water}}{\text{Total Water Withdrawal}} = \text{شاخص اندازه‌گیری معیار اقتصادی}$$

• **معیار اجتماعی.** چنانچه شهروندان یک شهر از سرانه آب کافی برخوردار باشند پتانسیل دستیابی به آن بخش از رفاه اجتماعی که تحت تأثیر آب است (مانند بهداشت) خواهند داشت. شاخص مورد نظر برای سنجش این معیار به صورت نسبت سرانه آب قابل دسترس سالانه به سرانه مصرف نرمال سالانه در شهر در نظر گرفته می‌شود. یادآوری می‌شود در سرانه مصرف نرمال علاوه بر سرانه مصرف هر شخص، سرانه مصارف عمومی و پرت مجاز شبکه نیز باید لحاظ شوند. حدود تغییرات این شاخص می‌تواند بین صفر و مقادیر بیشتر از یک باشد. هرچه مقدار این نسبت بیشتر باشد مطلوبیت آن نیز بالاتر خواهد بود.

$$\frac{\text{Per Capita Available Water Per Year}}{\text{The Normal Per Capita Water Consumption Per Year}} = \text{شاخص اندازه‌گیری معیار اجتماعی}$$

• **معیار استقلال (آزادی عمل).** هر سیستمی هرچه گزینه‌های بیشتری را برای پاسخگویی به نیاز اجزای خود پیش رو داشته باشد از پایداری بیشتری برخوردار است. در یک سیستم آب شهری داشتن منابع متعدد برای تأمین آب شهر باعث افزایش استقلال سیستم می‌شود. از این رو برای سنجش این معیار شاخص مورد نظر به صورت نسبت آب استحصال شده در سال به آب قابل دسترس سالانه برای شهر در نظر گرفته می‌شود. این نسبت نیز بین صفر و یک تغییر خواهد کرد و هرچه مقدار آن به یک نزدیکتر شود از مطلوبیت شاخص کاسته خواهد شد.

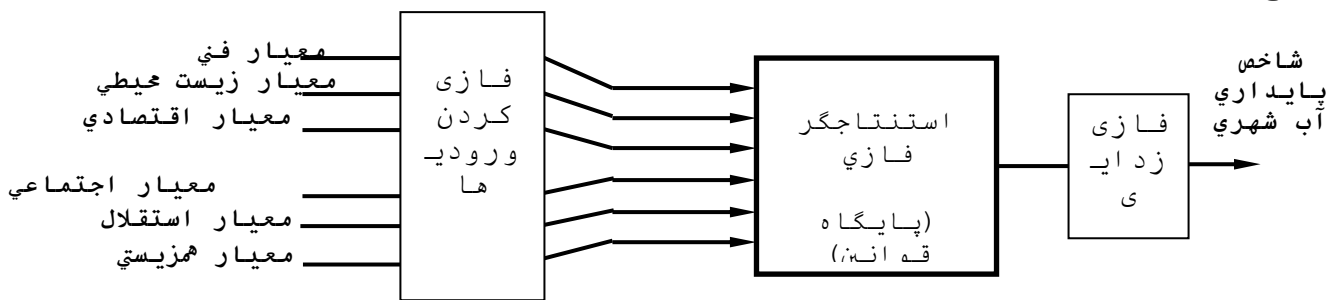
$$\frac{\text{Withdrawal Water Per Year}}{\text{Available Water Per Year}} = \text{شاخص اندازه‌گیری معیار استقلال}$$

• **معیار همزیستی.** یک سیستم پایدار در اثر کارکرد خود نباید حیات سیستمهای مجاور خود را به مخاطره اندازد. ترجمان این موضوع در یک سیستم آب شهری در قالب میزان آب انتقالی از حوضه‌های مجاور معنی پیدا می‌کند. انتقال آب از یک حوضه به شهر مورد نظر ضمن کاهش فرصتهای آبی برای حوضه مبداء باعث افزایش جذابیت حوضه مقصد خواهد شد که این موضوع نیز به نوعی تهدید برای حوضه مبداء محسوب می‌گردد. شاخص مورد نظر برای سنجش این معیار به صورت نسبت آب انتقالی در سال به کل آب استحصال شده سالانه برای شهر در نظر گرفته می‌شود. دامنه تغییرات این شاخص بین صفر و یک خواهد بود. هرچه نسبت مزبور به یک نزدیکتر باشد مطلوبیت آن نیز کاهش می‌یابد.

Transferred Water Per Year
Total Withdrawal Water Per Year

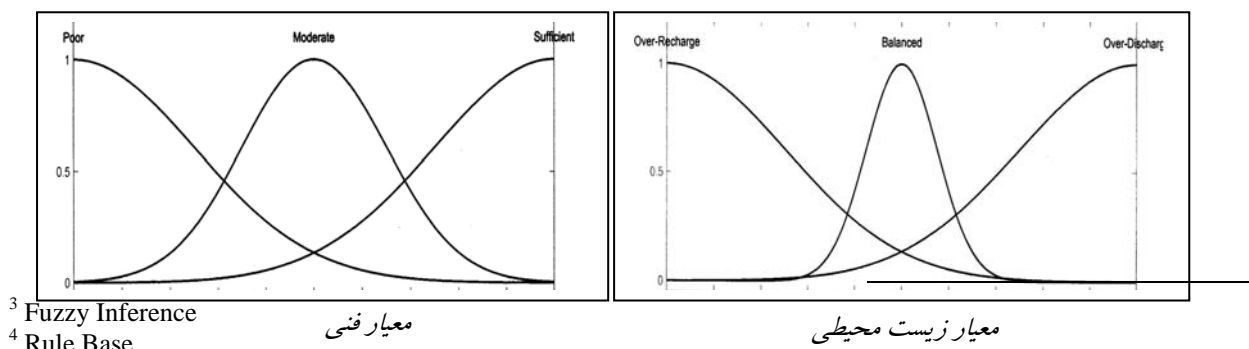
شاخص اندازه‌گیری معیار همزیستی =

۳-۲) شاخص پایداری آب شهری. هریک از معیارهای ذکر شده در بالا یک جنبه از پایداری سیستم آب شهری را محک می‌زند. لازم است روشی برای تلفیق این معیارها و استخراج یک شاخص جامع که دربرگیرنده همه ابعاد سنجش شده در بالا باشد تبیین گردد. برای تلفیق این معیارها از روش استنتاج فازی^۳ استفاده شده است. برای این منظور مطابق مدل فازی Mamdani برای هریک از معیارهای پایداری و نیز برای شاخص پایداری کل یک تابع عضویت تعریف می‌شود. توابع عضویت اشاره شده براساس جهت افزایش یا کاهش مطلوبیت برای هریک از شاخصها به صورت نمودارهای گوسی تعریف شده‌اند. همچنین یک پایگاه قوانین^۴ برای تعریف چگونگی نگاشت متغیرهای ورودی به خروجی طراحی شده است. در این مدل استنتاجگر فازی، ورودیها (شاخصها) براساس مقادیر خود و تابع عضویت مربوط، فازی می‌گردند. سپس متغیرهای فازی شده براساس ضوابطی که در پایگاه قوانین تعریف شده است با هم تلفیق شده، خروجی به صورت متغیر توصیفی از وضعیت پایداری سیستم آب شهری به دست می‌آید. در نهایت متغیر توصیفی خروجی (شاخص پایداری آب شهری) به روش مرکز سطح فازی‌زدایی گشته به عنوان وضعیت پایداری سیستم مورد مطالعه گزارش می‌شود. در شکل (۱) دیاگرام کلی نحوه تلفیق معیارها و استخراج شاخص پایداری کل به نمایش درآمده است.

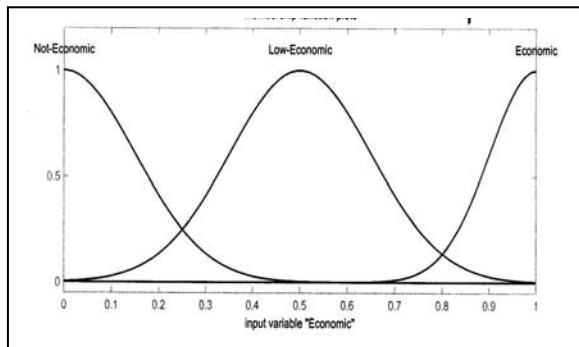


شکل (۱) تلفیق معیارها و استخراج شاخص پایداری آب شهری

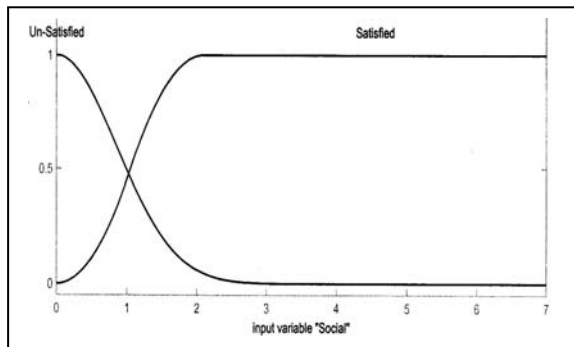
توابع عضویت به کار گرفته شده برای هریک از مؤلفه های مدل فازی فوق در شکل (۲) به نمایش درآمده است.



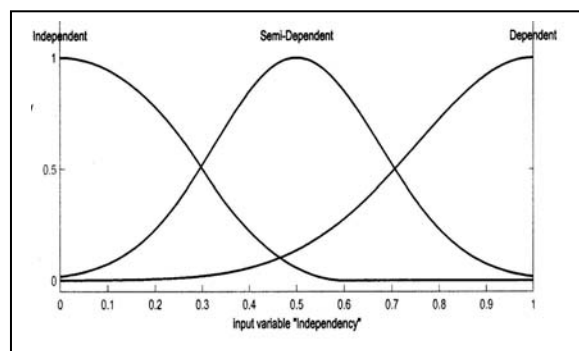
³ Fuzzy Inference
⁴ Rule Base



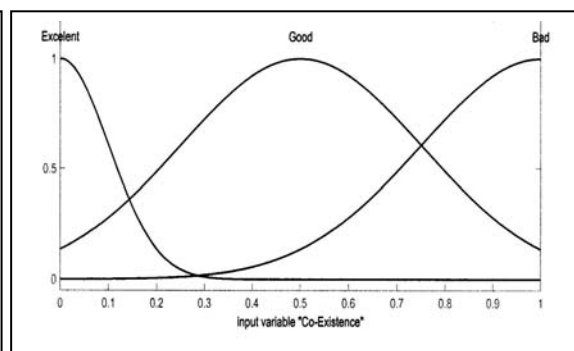
معيار اقتصادی



معيار اجتماعی

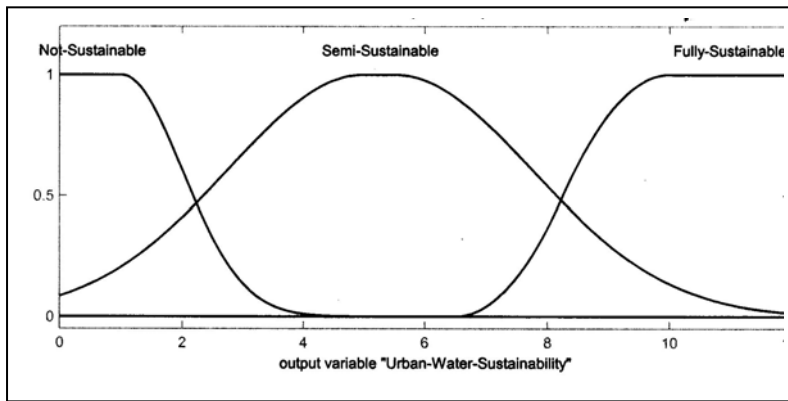


معيار استقلال



معيار همزیستی

شکل (۲-الف) توابع عضویت به کار رفته برای معیارهای سنجش پایداری آب شهری



شکل (۲-ب) تابع عضویت شاخص پایداری آب شهری

۳- مطالعه موردی : پایداری

آب شهر تهران

۱-۳ مقدمه

آب شرب شهر تهران ابتدا توسط منابع آب زیرزمینی داخل محدوده شهر تأمین می‌شد. از سال ۱۳۳۴ با انتقال آب رودخانه کرج از محل روستای بیلقان و احداث

شبکه آبرسانی شهری، عملاً سیستم آب این شهر به صورت نوین شروع به کار کرد. در سال ۱۳۴۲ سد کرج به همراه تأسیسات وابسته از جمله خط انتقال و تأسیسات آبرگیر بیلقان وارد مدار بهره‌برداری شد و آب رودخانه کرج از این طریق به تهران منتقل گردید. همچنین در سال ۱۳۵۷ با بهره‌برداری از سد لتیان و در سال ۱۳۶۳ با شروع به کار سد لار و تأسیسات وابسته انتقال بخشی از آب رودخانه‌های جاجرود و لار به تهران آغاز گشت.

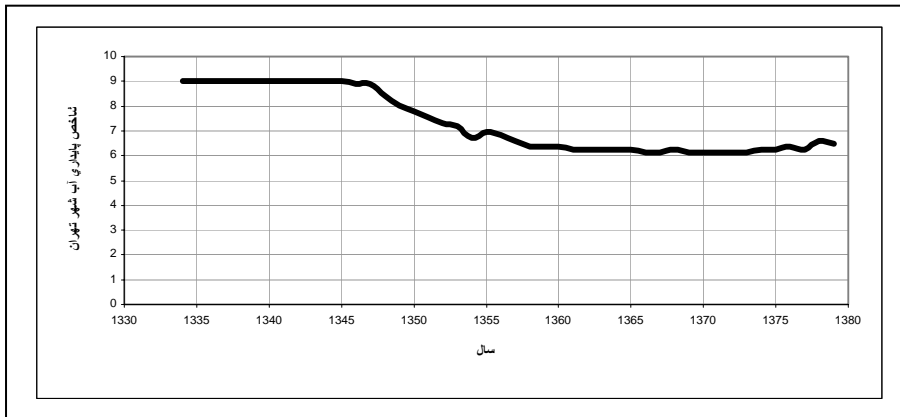
۲-۳ تغییرات شاخص پایداری آب در تهران

بر اساس معیارهای تعریف شده و با استفاده از مدل استنتاجگر فازی طراحی شده، شاخص پایداری آب تهران محاسبه گردید که تغییرات آن طی سالهای مورد مطالعه در شکل (۳) به نمایش درآمده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود آب شهر تهران در ابتدای شکل گیری سیستم آن به شکل امروزی در حالت پایدار قرار داشت، ولی از اواخر دهه ۴۰ این روند سیر نزولی به خود گرفت به طوری که از اواخر دهه ۵۰ سیستم مورد مطالعه در وضعیت نیمه پایدار قرار گرفته است.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله برای سنجش پایداری یک سیستم آب شهری شش معیار: فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، استقلال و همزیستی پیشنهاد شده و برای کمی کردن هر یک از آنها شاخص متناظری تعریف گردیده است. برای تلفیق این معیارها و رسیدن به یک شاخص کلی برای بیان پایداری در یک سیستم آب شهری یک مدل استنتاجگر فازی مطابق با مدل فازی Mamdani ساخته شده و برای هر یک از معیارها و شاخص پایداری کل نیز توابع عضویت فازی برای استفاده در مدل مزبور تعریف شده است. معیارها و مدل طراحی شده به صورت موردی برای شهر تهران با استفاده از داده‌های آماری از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۹ به کار گرفته شدند. همانطور که از نتایج پیداست، سیستم آب این شهر در ابتدا در وضعیت پایدار قرار داشت ولی از اواخر دهه ۴۰ روند آن سیر نزولی پیدا کرد به طوری که از اواخر دهه ۵۰ سیستم مزبور در حالت نیمه پایدار قرار گرفته است. در ادامه این مطالعه، تهیه یک مدل دینامیکی برای بررسی اثر سناریوهای مختلف مدیریت آب تهران بر وضعیت پایداری آن در آینده در دست انجام می‌باشد.

شکل (۳) تغییرات شاخص
پایداری آب تهران



۵- مراجع

- [1] World Commission on Environment and Development (1987), **Our Common Future**. (The Brundtland Report) Oxford University Press, Oxford, UK, 383 pp.
- [2] ASCE Task Committee for Sustainability Criteria, (1998). **Sustainability criteria for water resource systems**. Div. of Water Resour. Plng. and Mgmt., ASCE, Reston, Va.
- [3] UNDP, (2000). Human development report 2000, New York and Oxford, Oxford University Press.
- [4] Giljum, S. ; Hinterberger, F. ; and J. Kohn (2001), On the interrelation of social, economic and ecological systems – Theoretical approaches and policy implications on the feasibility of comprehensive sustainability. , in Proc. Integrative systems approaches to natural and social dynamics. Matthies, M. & Malchow, H. (Eds.), Springer.
- [5] McLaren, R.A. ; and Simonovic, S.P. (1999). **Data needs for sustainable decision making**. Int. Jr. Sustainable Development and World Ecology, Vol. 6, pp. 103-113.
- [6] Simonovic, S.P. ; Burn, D.H. ; and Lence, B.J. (1997). **Practical sustainability criteria for decision – making**. Int. Jr. of Sustainable Development and World Ecology, Vol. 4, pp. 231-244.
- [7] Opschoor, H. ; and Reijnders, L. (1991). **Towards sustainable development indicators**. In Kuik, O. and Verbruggen, H. (eds.), In Search of Indicators of Sustainable Development, pp. 7-27. (Boston : Kluwer Academic Publishers).
- [8] Tulbure, I. (2001), An approach to define sustainable development indicators. , in Proc. Integrative systems approaches to natural and social dynamics. Matthies, M. & Malchow, H. (Eds.), Springer.
- [9] Baan, J.A., (1994). **Evaluation of water resources projects on sustainable development**. Proceedings, International UNESCO System, Water Resources Planning in a Changing World, Karlsruhe, Germany, June 28-30, pp. IV 63-72.
- [10] Baetz, B.W.; and R.M. Korol, (1995). **Evaluating technical alternatives on basis of sustainability**. J. of Professional Issues in Engineering Education and Practice, ASCE, Vol. 121, No. 2, April, pp. 102-107.
- [11] McMahon, G.F. (1995). **Metrics of sustainability**. Proceedings of WEFTEC 95, 68th Annual Conference and Exposition, Oct. 21-25, pp. 475-483. (Miami , Florida : Water Environment Federation).
- [12] Bender, M.J. ; and Simonovic, S.P. (1997). **Consensus as the measure of sustainability**. Hydrological Sciences Journal, 42 (4), pp. 493-500.
- [13] Simonovic, S.P. ; Burn, D.H. ; and Lence, B.J. (1997). **Practical sustainability criteria for decision – making**. Int. Jr. of Sustainable Development and World Ecology, Vol. 4, pp. 231-244.
- [14] Matheson, S. ; Lence, B.J. ; and Furst, J. (1997). **Distributive fairness consideration in sustainable project selection**. Hydrological Sciences Journal, 42 (4), pp. 531-548.
- [15] Fanai, M. ; and Burn, D.H. (1997). **Reversibility as a sustainability criterion for project selection**. Int. Jr. of Sustainable Development and World Ecology, Vol. 4, pp. 259-273.
- [16] Kroeger, A.I. ; and Simonovic, S.P. (1997). **Development of a risk measure as a sustainable project selection criterion**. Int. Jr. of Sustainable Development and World Ecology, Vol. 4, pp. 274-285.
- [17] Bossel, H., (1999). **Indicators for sustainable development: Theory, method, applications**. International Institute for Sustainable Development, Canada.