بررسی روش های تصمیم گیری چند معیاره و کاربرد آنها در مدیریت منابع آب

محمد نوری[۱]، محمد باقر شریفی[۲]

۱- دانشجوی دکتری آب و هیدرولیک، شرکت مهندسی مشاور طوس آب

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

Mohammad80_noori@yahoo.com
Mbsharif@ferdowsi.um.ac.ir

خلاصه

در برنامه‌ریزی منابع آب ارائه یک طرح مشخص که تمام شرایط حاکم را تأمین نماید امکان پذیر نیست. تئوری‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ابزار موثری را برای برخورد با این مسائل که شامل بیش از یک هدف‌اند فراهم می‌کنند.در این تحقیق به بررسی انواع روش های تصمیم گیری چند معیاره و کاربرد آنها در حل مسائل مدیریت منابع آب پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد برنامه ریزی منابع آب با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره ، توجه بسیاری از تصمیم گیران را به خود جلب کرده و این روش ها، راه حلی مناسب برای مسائل تصمیم گیری پیچیده آب فراهم می کنند.

کلمات کلیدی: تصمیم گیری چند معیاره، بهینه سازی ، چند هدفه، چند شاخصه.

۱. مقدمه

انسان در زندگی روزمره خود تصمیمات بسیاری می‌گیرد، این تصمیمات از مسائل شخصی و فردی تا مسائل بزرگ و کلان را شامل می‌شود. در اکثر مسائل تصمیم‌سازی عموماً اهداف و عوامل متعددی مطرح است و فرد تصمیم‌ساز سعی می‌کند که بین چندین گزینه موجود (محدود یا نامحدود) بهترین گزینه را انتخاب نماید.[۱]

برای تحلیل یک سیستم چند معیاره باید عناصر آنرا به خوبی شناخت و آنها را به طور دقیق تعریف کرد و سپس به مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل آن پرداخت. به طور کلی می توان گفت مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره MCDM [۱] شامل ۶ مؤلفه می‌باشند [۲]:

۱ـ یک هدف یا مجموعه‌ای از اهداف

۲ـ تصمیم گیرنده یا گروهی از تصمیم گیران

۳ـ مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی(شاخصه‌ها)

۴ـ مجموعه‌ای از گزینه‌های تصمیم

۵ـ مجموعه‌ای از متغیرهای مجهول یا متغیرهای تصمیم

۶ـ مجموعه‌ای از نتایج حاصل شده از هر زوج گزینه ـ شاخصه

عنصر مرکزی این ساختار، یک ماتریس تصمیم است که شامل مجموعه‌ای از سطرها، و ستون‌هاست.

این ماتریس نتایج تصمیم را برای مجموعه‌ای از گزینه‌ها و معیارهای ارزیابی بیان می کند.

مسائل تصمیم گیری پیچیده عموماً از تعدادی از تصمیم گیرنده تشکیل شده که به آنها گروه‌های ذینفع نیز گفته می‌شود. تصمیم گیرنده می‌تواند یک نفر یاگروهی از مردم ا زقبیل دولت یا نهادهای حقوقی باشد که این افراد با اولویتهای منحصر به فرد خود مشخص میشوند. که اولویت‌ها براساس اهمیت نسبی معیارها و گزینه‌های تصمیم می‌باشند. همچنین اولویت‌ها می توانند بصورت وزنهای

1-Multi-Criteria Decision Making

اختصاص داده شده برای معیارهای ارزیابی مورد استفاده قرار گیرند. با اولویت بندی نتایج تصمیم می‌توان بهترین گزینه را انتخاب نمود[۳].

۲. تعاریف و مفاهیم در تصمیم گیری چندمعیاره

اهداف[1]

هدف بصورت یک تابع عبارت است از جهت ریاضی مناسب برای بهینه شدن، به عبارتی دیگر جهت یا جهاتی که تصمیم گیر یا DM[2] برای بهینه کردن تصمیم خود نیاز به طراحی آن دارد [۴] .

شاخصه‌ها[3]

یک شاخصه پارامتری برای ارزیابی سطح هدف می باشد.

معیارها[4]

معیارها ، استانداردها ، قوانین یا آزمون هایی هستند که تصمیم گیری بر اساس آنها صورت می گیرد.

متغیرهای تصمیم[5]

متغیرهای تصمیم حامل‌هایی هستند که برای ساخت تصمیمات ویژه توسط یک تصمیم گیرنده استفاده میشوند.

قیدها[6]

قیدها، محدودیت‌هایی درمشخصه‌ها و متغیرهای تصمیم هستند که می‌توانند بصورت ریاضی یا غیر آن بیان شوند و باید برای حل درست و قابل قبول یک مسئله بهینه‌سازی ارضاء شوند.

تصمیم گیرنده و تحلیل گر

عنصر اصلی در فرآیند تصمیم گیری وجود تصمیم‌گیریا DM می‌باشد.

تصمیم گیرنده می‌تواند فرد یاگروهی از افراد باشند که قراراست از نتیجهٔ فرآیند تصمیم گیری چندمعیاره رضایتمند باشند. مسئولیت تصمیم گیرنده اینست که هم مسئله تصمیم و هم اهداف مسئله را تعیین کند.

جواب قابل قبول یا امکانپذیر

جواب قابل قبول ، جوابی است که مجموعه قیدها یا محدودیت‌ها را ارضاء نماید.

جواب بهینه[7]

جوابی که موجب بهینه بودن هر یک از توابع هدف (یا هر یک از شاخص‌ها) به‌طور همزمان شود.

1.Objectives
2. Decision Maker
3. Attributes
4. Criteria
5. Decision variables
6 . Constraints
7. Optimal Solution

جواب ارجح یا برتر[1]

جوابی که توسط DM از بین جوابهای بهینه بعنوان تصمیم نهایی انتخاب می‌شود. این جواب را بهترین جواب نیز نامیده‌اند [۵] .

۲. انواع مدلها

توجه محققین در دهه‌های اخیر معطوف به مدل‌های چندمعیاره برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار سنجش از چندین معیار استفاده می گردد. انواع مدلها را می‌توان صورت زیر تقسیم بندی کرد[۶].

مدل‌های فیزیکی [2] : واقعیت را در ابعادی کوچکتر ارائه می کنند.

مدل‌های شماتیک [3] : واقعیت را بصورت سمبلیک یا شماتیک ارائه می کنند.

مدل‌های مفهومی [4] **:** با مجموعه‌ای از مفاهیم و جملات بیان می‌شوند.

مدل‌های ریاضی [5] : روابط عناصر را از طریق متغیرها و پارامترها بیان می کند.

علاوه بر دسته‌بندی فوق تقسیمات دیگری نیز برای مدلهای چند معیاره وجود دارد که سه تقسیم‌بندی مهم دیگر در اینجا ذکر می گردد:

- مدل‌های گسسته و پیوسته
- مدل‌های جبرانی و غیر جبرانی
- مدل‌های فردی و گروهی

مدل‌های گسسته و پیوسته

اگر مجموعه جوابهای قابل قبول قابل شمارش باشد مسئله چند معیاره را گسسته می‌نامیم. این نوع مسائل را به اختصار MADM[6] یا چند شاخصه نامگذاری کرده‌اند.

اگر مجموعه جوابهای قابل قبول (F_d) قابل شمارش نباشد در این صورت مسئله چند منظوره را پیوسته می‌نامیم. این نوع مسائل را MODM[7] یا چند هدفه نامیده‌اند.

جدول (۱) یک مقایسه بین روشهای MADM,MODM انجام میدهد.[۷]

جدول (۱) مقایسه روشهای MADM, MODM

	MODM	MADM
معیارها تعریف می‌شوند با:	اهداف	شاخصه‌ها
اهداف	صریح[8]	ضمنی[9]
شاخصه‌ها	ضمنی	صریح

8. Preferred Solution
2. Icon Models , Physical Models
3. Anagog Models
4. Conceptual Models
5. Mathematical Models
6.Multi Attribute Decision Making
7. Multi Objective Decision Making
8.Explicit
9.Implicit

قیدها	صریح	ضمنی
گزینه‌ها	ضمنی	صریح
تعداد گزینه‌ها	نامحدود	محدود
کنترل تصمیم گیر	مهم	محدود شده
الگوی مدل سازی تصمیم	فرآیند گرا	نتیجه گرا
وابسته است به	طراحی /جستجو	ارزیابی / انتخاب

مدل‌های جبرانی و غیر جبرانی

اگر یک معیار باعث جبران ضعف معیار دیگر شود مدل را جبرانی در غیر به آن مدل غیر جبرانی گویند.

مدل‌های فردی و گروهی

مدلهای فردی بر اساس نظرات یک نفر ساخته می‌شود و در حالیکه مدل‌های گروهی بر نظرات جمع استوار است[۸].

۳. روش‌های حل مدل‌ها

روشهای آماری، حل بهینه، شبیه‌سازی و روشهای ابتکاری از جمله روشهای حل مدلها می‌باشند.

روشهای آماری

روشهای آماری بیشتر در مدل‌های مفهومی استفاده می‌شوند و به توصیف متغیرها و پارامترها، با استفاده از میانگین و واریانس می‌پردازند.

روش حل بهینه

روش حل بهینه بیشتر در مدلهایی استفاده می‌شود که تغییرات زیادی در شرائط واقعی اتفاق نیفتد. در این حالت باید فرضیات به گونه‌ای باشند که مدل از واقعیت خیلی فاصله نگیرد. ساختن این نوع مدل‌ها نیاز به تخصص ویژه داشته و انعطاف‌پذیری مدل هم کم است. در این حالت عموماً مدل بصورت ریاضی بوده و بهترین جواب مسئله با حل ریاضی مشخص خواهد شد.

روش شبیه‌سازی

روش شبیه‌سازی بیشتر در مواردی به کار می‌رود که تعداد متغیرها زیاد بوده و تصادفی نیز باشند. در این صورت برای حل مدل باید از متخصصین مربوطه استفاده کنیم. در این حالت تضمینی وجود ندارد که به بهترین جواب برسیم اما می‌توان مطمئن شد که در محدوده اجرای مدل بهترین جواب انتخاب شده است.

روشهای ابتکاری

روش یا روشهای ابتکاری در حالتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که امکان رسیدن به جواب بهینه وجود نداشته و یا بسیار پرهزینه باشد. در این حالت با اطمینان زیادی می‌توان گفت که جواب بدست‌آمده به اندازه کافی خوب است.

همانگونه که قبلاً بحث شد مدلهای چند معیاره به دو دسته کلی مدلهای گسسته و مدلهای پیوسته تقسیم می‌شوند. زیمرمن[1] (نقل از [۱]) معتقد است که با اندکی اغماض می‌توان بیان داشت که مدل‌های گسسته همان مدل‌های چند شاخصه و مدل‌های پیوسته همان مدل‌های چند هدفه می‌باشند.

کورهنن و همکاران (نقل از [۱]) اظهار می‌دارند که مدلهای گسسته مدلهائی هستند که در آنها گزینه‌ها بطور صریح تعریف شده‌اند، در حالیکه مدلهای پیوسته مدلهایی هستند که گزینه‌ها بصورت ضمنی اعلام شده‌اند.

در اینجا به چند روش معمول برای حل مسائل بهینه‌سازی چندمعیاره اشاره می‌شود.

الف. برنامه‌ریزی آرمانی[2] (GP)

برنامه‌ریزی آرمانی به تصمیم‌گیر اجازه می‌دهد که برای هر معیار یک مقدار مشخص کند. جواب ارجح به جوابی گفته می‌شود که مجموع انحرافات از مقادیر تعیین شده برای اهداف را کمینه کند.

الف.۱. روش کمینه – بیشینه[3]

در این روش معادله‌ای به صورت زیر حل می‌شود که ضرائب $c_1,\ldots,c_I$ ثابت می‌باشند. حل چنین مسائلی به مینی ماکس یا حل چبیشف می‌باشد.

$$Minimize \;\; Max\left\{c_1\left|f_1^* - f_1(x)\right|;\ldots;c_I\left|f_I^* - f_I(X)\right|\right\} \qquad (۱)$$

الف.۲. روش فاصله وزنی[4]

در این روش به هرکدام از توابع هدف f_i، وزن c_i نسبت داده می‌شود. بنابراین تابع هدف کل، به این صورت نوشته می‌شود.

$$Minimze \;\; \sum_{i=1}^{I} c_i \left| f_i^* - f_i(x) \right| \qquad (۲)$$

الف.۳. روش حداقل مربعات[5]

در این روش بیان فاصله هر گزینه از نقطه آرمانی با یک روش وزن‌دهی اقلیدسی مانند زیر صورت می‌گیرد:

$$Minimize \;\; \sum_{i=1}^{I} c_i \left(f_i^* - f_i(x)\right)^2 \qquad (۳)$$

در صورتی که قیود و توابع هدف خطی باشند یک مسئله برنامه‌ریزی درجه ۲ بدست می‌آید.

ب. برنامه‌ریزی سازش[6] (CP)

در این روش ابتدا توابع هدف نرمال می‌شوند و سپس جوابهائی که به نقطه ایده‌آل نزدیکترند، با استفاده از یک روش تعیین فاصله مشخص می‌شوند. در مرحله اول به ازای $i = 1,2,\ldots,I$ مسائل بهینه‌سازی زیر حل می‌شوند.

$$\begin{array}{ll} Maximize & f_i(x) \\ Subject\ to & x \in X \end{array} \quad \text{و} \quad \begin{array}{ll} Minimize & f_i(x) \\ Subject\ to & x \in X \end{array} \qquad (۴)$$

---

1. Zimmermann (1996)
2. Goal Programming
3. Mini Max solution
۴. Weighted Distance Solution
5. Least Squares Solution
6.Compromise Programming

m_i و M_i برابر مقادیر کمینه و بیشینه $f_i(x)$ در نظر گرفته می‌شوند. سپس در مرحله دوم با فرض اینکه m_i و M_i برای تمامی iها موجود باشند، توابع هدف جدید را می‌توان به شکل زیر ایجاد کرد:

$$\bar{f}_i(x) = \frac{M_i - f_i(x)}{M_i - m_i} \quad \text{یا} \quad \bar{f}_i(x) = \frac{f_i(x) - m_i}{M_i - m_i} \qquad (۵)$$

پس از این مرحله، باید $L_p(x)$ از فرمول کلی زیر کمینه می شود:

$$L_P(x) = \left[\sum_{i=1}^{I} w_i^p \left| \frac{M_i - f_i(x)}{M_i - m_i} \right|^p \right]^{1/p} \qquad (۶)$$

که در آن $L_P(x)$ فاصله متریک، w_i وزن مربوط به معیار iام، M_i بهترین مقدار معیار iام، m_i بدترین مقدار معیار iام، P پارامتر $1 \le p \le \infty$ [۴].

ج. روش TOPSIS[1]

در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه Ai از نقطه ایده آل، فاصله آن از نقطه ایده آل منفی هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده آل بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از راه‌حل ایده آل منفی باشد سپس براساس ترتیب نزولی می‌توان گزینه‌های موجود از مسئله مفروض را رتبه‌بندی نمود[۵].

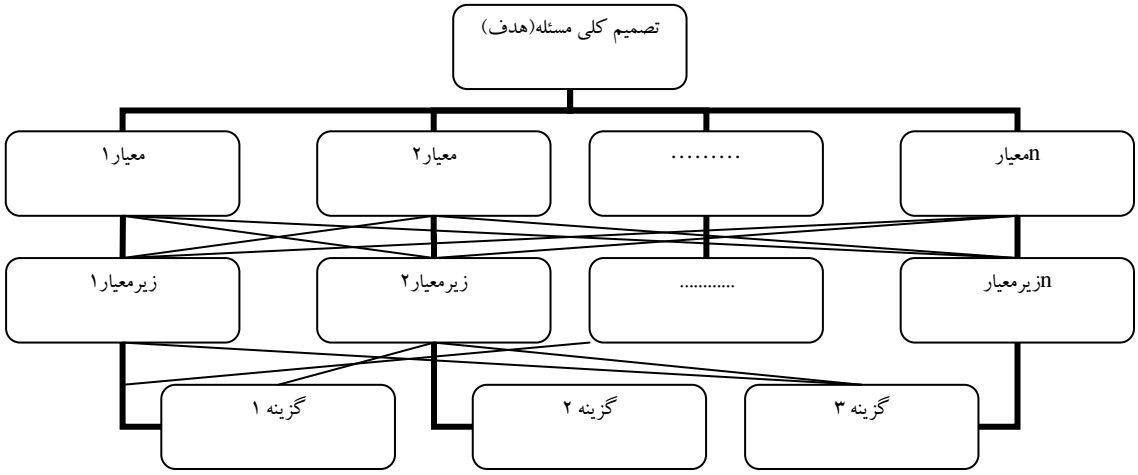
د. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[2]

این فرایند گزینه های مختلف را در تصمیم گیری دخالت داده وامکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد ، علاوه بر این بر مبنای مقایسات زوجی بنا نهاده شده ، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می نماید ، همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم گیری چندمعیاره می باشد[۹]. حل یک مسئله به روش AHP طی سه مرحله انجام می شود :

- ساختن مدل سلسله مراتبی
- محاسبه وزن
- سازگاری سیستم

اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می باشد که در رأس آن هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه ها قرار دارند. گاهی اوقات خود معیارها نیز باید به صورت جزیی تر مورد تجزیه تحلیل واقع شوند. که در اینگونه موارد یک سطح دیگر (که شامل زیر معیارها می باشد) به مدل سلسله مراتبی اضافه می گردد.باید توجه شود که در یک مدل سلسله مراتبی محدودیتی برای تعداد سطوح وجود ندارد. یک فرم کلی از مدل سلسله مراتبی در شکل (۱) نشان داده شده است[۹] .

1 - Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution
2.Analytical Hierarchy Process



شکل (۱): یک نمونه کلی از ساختار مدل سلسله مراتبی

محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در دو قسمت جداگانه زیر مورد بحث قرار می گیرد[۱۰]:

- وزن نسبی[۱]
- وزن نهایی یا مطلق[۲]

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی بدست می آید و با استفاده از این ماتریس وزن نسبی عناصر (مطابق جدول (۲)) محاسبه می شود[۹] سپس با تلفیق وزنهای نسبی وزن نهائی هر گزینه مشخص می شود.

جدول(۲) مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی

ترجیحات(قضاوت شفاهی)		مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهمتر یا کاملاً مطلوبتر	Extremely Prefered	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	VeryStrongly Prefered	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	Strongly Prefered	۵
کمی مرجح یا کمی مهمتر یا کمی مطلوبتر	Moderately Prefered	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	Equally Prefered	۱
ترجیحات بین فواصل فوق		۸و۶و۴و۲

وزن نهایی هر گزینه در یک فرآیند سلسله مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه ها به دست می آید.

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است. به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب یا بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد.در حالت کلی می توان گفت که میزان قابل قبول سازگاری یک ماتریس یا سیستم بستگی به تصمیم گیرنده دارد اما ساعتی ، عدد ۰/۱ را بعنوان حد قابل قبول ارائه می نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است در قضاوت ها تجدید نظر گردد[۱۱].

1. Local Priority
2. Overal Priority

نتیجه گیری

نتایج کلی بدست آمده از مطالعات انجام شده را می توان به طور خلاصه در قالب موارد زیر ارائه کرد:

- راه رهایی از بن بست در مدیریت آب شهری در کشورمان بکار بستن ابزارهای تحلیل سیستم و مدیریت تقاضا می باشد.
- روشهای تصمیم گیری چندمعیاره می توانند توسط تصمیم گیران در مطالعات جامع منـابع آب بکـار گرفتـه شـود. چـون میـزان عمـده ای از بودجه مالی ، برای پروژه های آب در مناطق خشک ایران سرمایه گذاری می شود و این امر در آینده نیـز ادامـه خواهـد داشـت ، اسـتفاده از مدیریت جامع منابع آب برای دستیابی به سود بیشتر بسیار مفید خواهد بود.
- تحلیل سیستم های آب شهری و نیز امتداد این مطالعات در طول سال های آینده باعث بهینه سازی زمان شروع اجرای طـرح هـای انتقـال آب شده ، میزان بهینه افزایش ظرفیت برای عرضه آب را ممکن می سازد.
- برنامه ریزی منابع آب با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره ، توجه بسیاری از تصمیم گیران را به خود جلـب کـرده اسـت و ایـن بیانگر اینست که این روش ها ، راه حلی مناسب برای مسائل تصمیم گیری پیچیده آب فراهم می کنند.
- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ابزاری توانمند جهت مرتب کردن معیارهـا در سـاختار درخـت تصـمیم گیـری اسـت کـه بـا اسـتفاده از جدول تعیین ارزش نظری ساعتی و بر پایه نظرات کارشناسی می توان ارزش و اهمیت نسبی معیارها را مشخص نمود. بنابراین می توان از این روش در مدیریت آب شهری یا دیگر جنبه های مدیریت منابع آب استفاده نمود.

۱۲. مراجع

۱. قدسی پور، سید حسن ،" برنامه ریزی چندهدفه" ، چاپ اول ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، .۱۳۸۲

2. Bogardi, J.J., and Nachtnebel . H.P., "Multicriteria Decision Analysis in Water Resources Management, International Training Center (PHLO) and the Department of Water Resources of the Wageningen Agricultural University, the Netherlands,1992.

۳. ضرغامی، مهدی ،"استفاده از تصمیم گیری چندمعیاره در مدیریت تأمین و تقاضای آب" ، پایان نامه کارشناسـی ارشـد ، دانشـکده مهندسـی عمـران ، دانشگاه صنعتی شریف ،.۱۳۸۱

۴. بشاورد، مهدی ،" مدیریت آب شهری در مناطق خشک به روش تصمیم گیری چندمعیاره " ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه صنعتی شریف ،.۱۳۸۲

۵. اصغرپور، محمد جواد ،" تصمیم گیری های چند معیاره " ، چاپ چهارم ، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.

6. Fulop, J., "Introduction to Decision Making Methods ", Laboratory of Operations Research and Decision Systems,Computer and Automation Institute , Hungarian Academy of Sciences,2005.

7. Malczewski Jacek ."Gis and Multi Criteria Decision Analysis"department of geography University of westernontario,1999

8. Cai,X., Lasdon, L, Michelsen, A.M., "Group Decision Making in Water Resources Planning using Multiple Objective Analysis ", Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.130, No.1,January 1,2004.

۹. قدسی پور، سید حسن ،" فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)" ، چاپ چهارم ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۴.

10.Rudi Febriamansyah , " The Use of AHP (The Analytic Hierarchy Process)Method for Irrigation Water Allocation In a Small River Basin", Andalas University , 2003.

11. Keith Willett & Ramesh Sharda, " Using The Analytic Hierarchy Process in Water Resources Planning : selection of Flood Control Projects", Department of economics and department of Management , College of Business Administration , Oklahoma State University , 1991.