نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۲، خرداد - تیر ۱۳۹۷، ص. ۵۰۲-۴۹۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 12, Jan.-Jul. 2018, p. 491-502

استفاده از روش AHP در بهینه‌سازی چند معیاره غیرخطی تخصیص آب مخازن با لحاظ معیارهای برابری و کارایی (مطالعه موردی: تخصیص آب مخزن سد گیوی)

محمدتقی اعلمی[۱]*، حمید فضایلی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۶

چکیده

تخصیص آب مخازن با سه شرط اساسی، برابری، کارآمدی و پایداری از ملزومات توسعه پایدار است. با توجه به محدود بودن منابع آب تجدیدپذیر در سطح حوضه رودخانه‌ها و نیز افزایش تقاضا برای آب در مصارف مختلف (کشاورزی، شرب، صنعت و محیط زیست) در اثر افزایش جمعیت و نیز رقابت بر سر استفاده از منابع، ضرورت توجه به مباحث تخصیص منابع آب افزایش یافته است. این امر لزوم توجه به روش‌های مختلف بهینه‌سازی جهت تخصیص منابع آب را دو چندان می‌کند. بنابراین در پژوهش حاضر سعی شد تا مدلی ارایه گردد که بتواند معیارهای مختلف تخصیص آب به‌خصوص دو معیار اساسی عدالت و کارایی در نظر گرفته شود و در کنار آن معیارهای مختلف زیست محیطی رعایت گردد. در حوضه آبریز مورد مطالعه، رودخانه گیوی چای با مساحت حدود ۶۰۰ کیلومترمربع از زیر حوضه‌های اصلی رودخانه قزل‌اوزن می‌باشد مخزن سد جدید گیوی با حجم نرمال ۵۴ میلیون مترمکعب در این حوضه واقع شده است و با توجه به این‌که شبکه آبیاری سد مزبور احداث نشده و جزئیات تخصیص مخزن سد فعلا مشخص نیست در این مطالعه سعی شد با بررسی اراضی پایین‌دست سد مذکور و با توجه به پتانسیل‌های کشاورزی و صنعت در منطقه و همچنین نیازهای شرب در حال حاضر و در افق ۲۰ ساله، مدلی ارایه گردد که به توسعه پایدار منطقه کمکی شایان توجه نماید. خروجی مدل به ازای ضرایب مختلف برای توابع هدف(سود و عدالت) بدست آمد و نتایج با افزایش ضریب تابع سود و کاهش ضریب تابع عدالت (تابع جینی) نشان داده شد. در نهایت با استفاده از روش AHP و بدست آوردن ماتریس مقایسات زوجی، مدل بهینه و نتیجه ضرایب توابع سود و عدالت بهینه محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد ضرایب توابع هدف (۰/۶و۰/۴) به ترتیب برای توابع سود و عدالت بهینه‌ترین حالت خواهد بود و یک نقطه بهینه سراسری است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، تخصیص آب، ضریب جینی،ضریب تبیین

مقدمه

رشد جمعیت و رشد اقتصاد سبب[۱] افزایش تقاضای آب کشاورزی و شهری شده است. گروه‌های مختلف مصرف‌کننده آب باید بدانند چه مقدار آب برای تخصیص در فعالیت‌های‌شان در دسترس خواهند داشت. هم‌چنین مصرف‌کنندگان باید بدانند چه مقدار آب وعده داده شده به آن‌ها ممکن است تامین نشود تا بتوانند در صورت لزوم آب را از منبع گران‌تر تهیه کرده و یا توسعه فعالیت‌های خود را کاهش دهند و یا سیاست‌هایی برای تامین آب شهری و کشاورزی به وسیله سازمان آب منطقه‌ای برای آینده گرفته شود.

مسئله تخصیص منابع آب، به صورت بیشینه شدن ارزش سود خالص مورد انتظار سیستم ارایه می‌شود. براساس سیاست گذاری‌های سازمان آب منطقه‌ای، از مهم‌ترین اهداف مدیریت آب سد گیوی تخصیص آب بین مصرف‌کنندگان رقیب می‌باشد. اگر مقدار وعده داده شده در آینده رها شود سود خالص سیستم افزایش و اگر رها نشود ضرر در سیستم رخ خواهد داد. اما مدیریت منابع آب به علت وجود عدم قطعیت شدید در پارامترها، دارای سیستم پیچیده‌ای است. به دیگر سخن نوعی پیچیدگی ذاتی و عدم قطعیت در مدیریت منابع آب در دنیای واقعی وجود دارد که سبب شده است حل مسایل آب یک گام فراتر و دشوارتر از سایر مسایل باشد (Maqsood et al., 2005).

مدل‌های مختلفی جهت تخصیص بهینه منابع آب در سال‌های اخیر مطرح شده و هرکدام با توجه به نیاز شدید مدیران منابع آب به یک مدل بهینه سعی کرده‌اند با ساده‌سازی پیچیدگی‌های مختلف مدلی ساده و در عین حال سودمند ارایه نمایند. چن و همکاران یک مدل تخصیص آب تحت عدم قطعیت طراحی کردند. آن‌ها با ترکیب

۱- استاد دانشکده فنی دانشگاه تبریز
۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران – آب، دانشگاه تبریز
(*-نویسنده مسئول: (Email: mtaalami@Tabrizu.ac.ir

مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای و روش برنامه‌ریزی پارامترهای بازه‌ای، مدلی را توسعه دادند که بتواند عدم قطعیت پارامترهای ورودی را لحاظ کند (Chen et al., 2017) رضوی طوسی و همکاران با ارایه مقاله ای با عنوان "ارزیابی استراتژی‌های مدیریت آب در حوضه آبریز با استفاده از روش هیبریدی F-ANP" به طراحی متدولوژی جهت اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با در نظر گرفتن معیارهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی پرداختند. آن‌ها این روش را جهت اولویت‌بندی ۵ حوضه آبریز در ایران به نام‌های ارومیه، اترک، سفیدرود، نامک و زاینده‌رود به کاربردند. آن‌ها از مزایای اصلی روش مورد استفاده را در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها و متغیرهای تصمیم دانستند (RazaviToosi., 2016). هو و همکاران مدل تخصیص آب بر پایه معیارهای عدالت، کارآمدی و پایداری برای حوضه آبریز کوجیانگ در کشور چین طراحی کردند. آن‌ها با استفاده از روش برنامه‌ریزی سازشی (CP) مقادیر بهینه این مدل را که هر سه معیار فوق را ارضا می‌کند پیدا کردند. آن‌ها از ضریب جینی به‌عنوان شاخص عدالت استفاده کردند. در این مدل رهاسازی یک مقدار دبی پایه به عنوان تخصیص زیست محیطی به عنوان شاخص پایداری مدل تخصیص آب در نظر گرفته شد و بعد از اجرای مدل و مشخص شدن میزان تخصیص مصرف‌کننده‌های مختلف شامل شرب، صنعت، کشاورزی و زیست محیطی آنالیز حساسیت و صحت‌سنجی مدل انجام شد (Hu et al., 2016).

لی و همکاران در مقاله‌ای با عنوان "مدل تخصیص آب آبیاری کارآمد تحت عدم قطعیت" مدل ILFIWA را در پاسخ به پیچیدگی توسعه خطا در برآورد عملکرد محصولات، نوسان عناصر هیدرولوژیکی در برابر تغییر سود اقتصادی، در سیستم آبیاری توسعه دادند. این مدل قادر به حل کمی مسئله بهینه‌سازی چند معیاره تخصیص بود که می‌تواند در برابر حداکثرسازی سود، میزان آب مصرفی را بهینه کند. همچنین مدل معرفی شده می‌تواند عدم قطعیت‌های متغیر و پارامترها و توابع مورد استفاده را بیان کند. پتانسیل کاربردی بودن مدل طراحی شده در حوضه شمال‌غربی چین بررسی شد (Li et al., 2016).

جهادی و همکارن (۱۳۹۱) با استفاده از روش AHP گزینه‌های پیشنهادی طرح انتقال آب بین حوضه‌ای را رتبه‌بندی کردند. طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای به لحاظ اهمیت و حساسیت زیاد و گستردگی مناطق تحت تاثیر از جمله طرح‌هایی هستند که با مناقشات زیادی مواجه‌اند. رعایت اصول جامع مدیریت منابع آب عدالت اجتمای و حفاظت محیط زیست، در تصمیم‌گیری در مورد این طرح‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به تنوع و پیچیدگی فراوان در معیارهای تعیین شده استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره امری کاملا ضروری است. بنابراین در این مطالعه روش تحلیل سلسله مراتبی به عنوان ابزاری کارآمد به حل این مشکل پرداخته است.

رودی و همکاران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی روشی برای تخصیص آب حوضه آبریز رودخانه تامپو کشور اندونزی طراحی کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی استفاده‌کنندگان آب و فیزیکی منابع آب و اندرکنش بین آن‌ها، بیان کردند که ارزیابی روابط بین این دو جنبه، در نظر گرفتن دیدگاه‌های اکولوژیکی منطقی می‌باشد. همچنین بسیاری از جنبه‌های اجتماعی استفاده‌کنندگان، زمانی که برنامه‌های فیزیکی منابع آب اجرا می‌گردد، نباید نادیده گرفته شود. نتایج حاکی از آن بود که تغییر در الگوی تقاضا و عرضه حوضه رودخانه چالشی، بین استفاده‌کنندگان آب بوجود می آورد (Rudi et al., 2009).

با توجه به منابع مورد مطالعه مشخص شد که از روش AHP به منظور رتبه‌بندی اولویت تخصیص و از روش بهینه‌سازی چند معیاره در مسئله تخصیص آب استفاده شده ولیکن به نظر می‌رسد استفاده از روش AHP در فرآیند بهینه‌سازی چند معیاره بتواند مدل‌سازی ریاضی صورت گرفته را به شرایط بهینه نزدیکتر نماید. در این مقاله با استفاده از روش مقایسات زوجی در فرایند تحلیل کمی مدل چند معیاره تخصیص آب سد مخزنی گیوی، خروجی بهینه محاسبه شد و ضرایب تابع سود و تابع برابری (ضریب جینی) به کمک آن محاسبه گردید. در واقع رسیدن به یک مدل تخصیص آب پایدار و کارا جزو اهداف اصلی این پژوهش است.

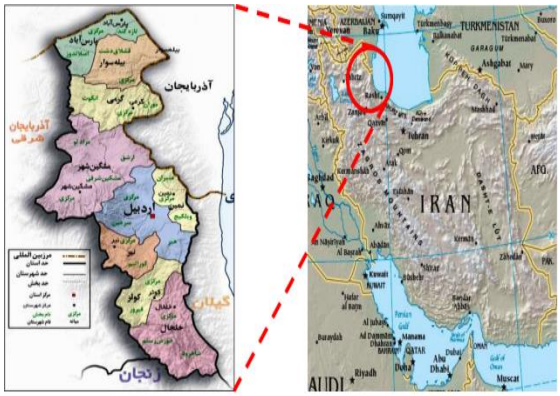
مواد و روش‌ها

معرفی حوضه و داده‌های مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه سد گیوی است که بر روی رودخانه گیوی چای و پس از اتصال شاخه آرپاچای قرار دارد که مختصات جغرافیایی آن ۱۷ ۲۳ ۴۸ طول شرقی ۱۷ ۴۱ ۳۷ عرض شمالی است. حوضه رودخانه گیوی چای از زیر حوضه‌های رودخانه قزل اوزن می‌باشد که تا محل ساختگاه سد گیوی وسعتی حدود ۶۰۰ کیلومترمربع دارد (شکل ۱).

شکل ۱- موقعیت سد مخزنی گیوی و اراضی تحت پوشش

این سد در ۷۸ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان اردبیل و ۵ کیلومتری شرق شهرستان گیوی قرار دارد. رودخانه گیوی چای از سرشاخه‌های رودخانه قزل‌اوزن است که از کوه‌های آق‌داغ طالش سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از پیوستن شاخه‌های فرعی سنگورچای در پایین‌دست و آرپاچای در بالادست رودخانه به آن وارد حوضه آبریز رودخانه قزل‌اوزن شده و از آن‌جا به دریای خزر می‌پیوندد. هدف از احداث این سد تامین آب مورد نیاز حدود ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی گیوی بالا و پایین می‌باشد. در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه سد مخزنی گیوی نشان داده شده است.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه سد مخزنی گیوی

وضعیت هیدرولوژی و هواشناسی

منطقه مورد نظر در ناحیه کوهستانی، سرد و نیمه‌خشک قرار دارد و دارای زمستان‌های سرد است. رودخانه گیوی از رودخانه‌های دایمی کشور می‌باشد که از کوه‌های تالش واقع در جنوب منطقه مورد نظر سرچشمه می‌گیرد. حوضه آبریز رودخانه گیوی مساحتی در حدود ۶۰۰ کیلومترمربع است که دارای رژیم آبی عمدتا متاثر از ذوب برف و جریان‌های سطحی است.

داده‌های مورد مطالعه

در مدل‌سازی انجام شده دو زیر حوضه برای تخصیص آب مخزن سد در نظر گرفته شد. زیر حوضه اول حوضه آبریز گیوی چای و حوضه دوم سنگورچای است.

داده‌های مربوط به پتانسیل منابع آبی این دو حوضه از سازمان آب منطقه اردبیل گردآوری شد و جهت محاسبه متوسط بارش سالانه (محاسبه فاکتور سایر منابع آبی قابل استحصال در حوضه(WS)) از آمار بارش سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۲ استفاده شد.

برای محاسبه میزان نیاز اکولوژیکی، زیر حوضه از روش Tenant (Tenant., 1976) و جهت محاسبه میزان سود سالانه هر یک از مصرف‌کننده‌های کشاورزی، شرب و صنعت از روش Divaker (Divaker., 2011) هم‌چنین با توجه به پیش‌بینی یک واحد پتروشیمی در حوضه گیوی و یک واحد شهرک صنعتی در حوضه سنگور میزان حداقل و حداکثر نیاز آبی این صنایع از سازمان صنایع و معادن استعلام گردید. نتایج محاسبات پارامترهای تخصیص و استعلامات صورت گرفته در جدول ۱ آورده شده است.

چارچوب مفهومی مدل

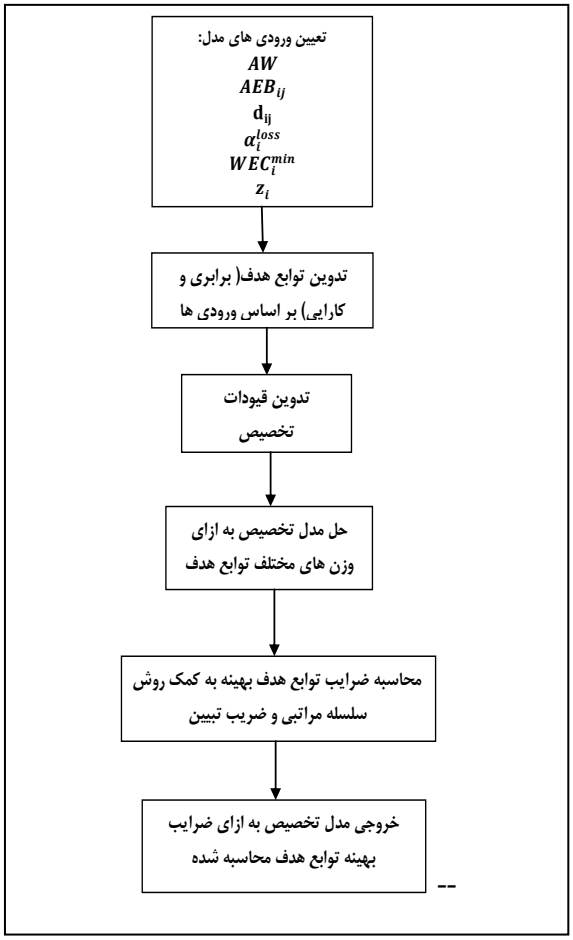
شکل ۳ فرآیند تخصیص آب را در قالب فلوچارت نشان می‌دهد. بر اساس این مدل کل فرآیند تخصیص در شش مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول بایستی ورودی‌های مدل مشخص گردند. این ورودی‌ها در جدول شماره یک آورده شده‌اند. مرحله دوم، مرحله تدوین توابع هدف بر اساس معیارهای عدالت و کارایی است. در مرحله سوم قیودات تخصیص مشخص شده و یک مدل تخصیص آب چند معیاره کامل می‌گردد. در مرحله بعد مدل تخصیص چند معیاره بر اساس اوزان مختلف توابع هدف حل می‌گردد. در گام بعد ضرایب توابع هدف بهینه به کمک روش سلسله مراتبی بدست آمد و در نهایت خروجی مدل تخصیص به ازای ضرایب بهینه توابع هدف بدست آمد.

تصمیم‌گیری چند معیاره

تصمیم‌گیری قسمتی از زندگی بشر است با این وجود اتخاذ یک تصمیم مناسب به دلیل این‌که همواره شامل فاکتورهایی مختلف است همواره ساده نیست به عنوان مثال ممکن است یک تصمیم‌گیری شامل چند معیار باشد یا حتی شامل چند هدف باشد.

جدول ۱- پارامترهای مدل تخصیص

	AEB DOM(ریال /m^3)	AEB AGR(ریال/m^3)	AEB IND(ریال/m^3)	z_i^{max}	z_i^{min}	WS_i (MCM)	α_i^{loss}
حوضه گیوی	۱۹۷۸۹۶/۳۲	۱۹۱۹۸۵/۶۰	۲۷۳۴۷۲/۳۲	۴۰	۱۰	۱۰	./۵
حوضه سنگور	۱۴۵۵۵۷/۱۲	۱۵۵۵۷۳/۷۶	۲۴۵۲۲۷/۲۰	۳۰	۱۰	۸	۰/۸
	WEC_i^{min} (MCM)	d_{i3}^{min}	d_{i3}^{max}	d_{i2}^{min}	d_{i2}^{max}	d_{i1}^{min}	d_{i1}^{max}
حوضه گیوی	۶/۳۰	۲	۵	۷	۴۰	۵	۹
حوضه سنگور	۴/۷	۱	۲	۳	۳۰	۲	۵



شکل۳- چارچوب مفهومی مدل مورد استفاده

توجه محققین در دهه‌های اخیر معطوف به مدل‌های چند معیاره (MCDM) برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی از چندین معیار سنجش استفاده می‌شود. مدل‌های تصمیم‌گیری به دو دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند: مدل‌های چند هدفه (MODM) و مدل‌های چند شاخصه (MADM) به طوری‌که مدل‌های چندهدفه به منظور طراحی به کار گرفته می‌شوند در حالی‌که مدل‌های چند شاخصه به منظور انتخاب گزینه برتر استفاده می‌گردند.

شکل ریاضی روش MODM مطابق رابطه ۱است.

$$\text{optimize}\left(f_1(x), f_2(x), \dots f_k(x)\right) = F(x)$$
$$S.t: g_i(x)\begin{cases}\leq\\ \geq\\ =\end{cases} 0; i = 1,2,\dots,m \qquad (۱)$$

که در آن توابع $\left(f_1(x), f_2(x), \dots f_k(x)\right)$ *توابع هدف و* $g_i(x)$ ها قیودات مسئله هستند. این روش مشهور به Vector minimization problem یا به اختصار VMP است. مدل چند شاخصه به‌صورت ماتریس تصمیم گیری فرموله می‌شود (رابطه ۲):

$$\begin{matrix} & x_1 & \dots & x_n \\ A_1 & & & \\ \vdots & & & \\ A_m & & & \end{matrix}\begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} \qquad (۲)$$

که در آن xها معرف شاخص‌ها (Attribute) برای سنجش مطلوبیت هر گزینه و Aها معرف گزینه‌هایی (Alternative) که از قبل معلوم هستند، می‌باشد.

در تصمیم‌گیری چند معیاره منظور از هدف (Objective) در واقع جهت مناسب ریاضی برای بهینه شدن جهت یا جهاتی که تصمیم-گیرنده نیاز به طراحی برای بهینه شدن تصمیم خود دارد و مقصد (Objective) عبارت است از وضعیت مشخص در زمان و مکان که تصمیم‌گیرنده در صدد دسترسی به آن است و با توجه به این دو تعریف،راه حل بهینه[1] راه حلی است که موجب بهینه بودن برای هریک از توابع هدف (یا برای هریک از شاخص‌ها) به طور هم‌زمان بشود. روش‌های مختلفی برای حل مسایل بهینه‌سازی چند معیاره وجود دارد یکی از آن‌ها روش برنامه‌ریزی سازشی است (اصغر پور، ۱۳۸۹).

1- An Optimal Solution

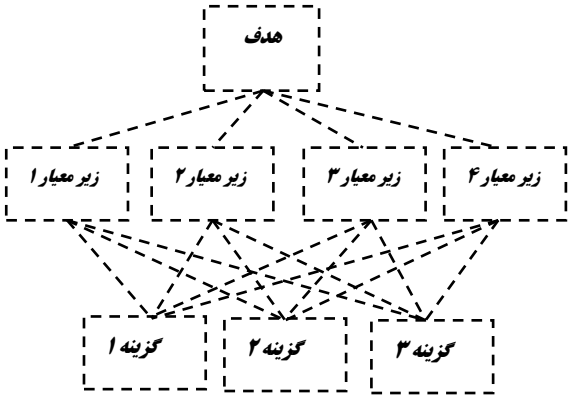
روش AHP

این روش بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسایل پیچیده و فازی پیشنهاد گردیده است. این روش توسط محققی به نام توماس ساعتی در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد گردید (Saaty., 1980) به طوری‌که کاربردهای متعددی از آن زمان تاکنون برای این روش مورد بحث قرار گرفته است. AHP و کاربرد آن بر سه اصل زیر استوار است.

برپایی ساختار و قالب رده‌ای برای مساله

درک پدیده‌ها و مسایل بزرگ و پیچیده برای ذهن انسان می‌تواند مشکل آفرین باشد، از این رو تجزیه یک مساله بزرگ به عناصر جزیی آن (با استفاده از یک ساختار رده‌ای)می‌تواند به درک انسان کمک نماید. ارتباط هر عنصر با سایر عناصر باید در ساختار رده‌ای و در سطوح مختلف مشخص گردد و ارتباط هدف اصلی موجود از مساله با پایین‌ترین رده موجود از سلسله مراتب تشکیل شده دقیقا روشن شده باشد.

عوامل و زیر فاکتورهای موثر در تصمیم‌گیری را می‌توان به صورت رده‌ای و در سطوح مختلف نشان داد به طوری‌که هر سطح شامل زیرفاکتورهای متاثر از متغیر یا متغیرهای موجود در سطح بلافاصله ماقبل باشد(Hsu et al., 2016) .



شکل٤- یک نمونه کلی از ساختمان سلسله مراتبی

اولین سطح شامل هدف تصمیم‌گیری با ارجحیت واحد (اسکالر واحد) می‌باشد. دومین سطح از تصمیم‌گیری رده‌ای شامل پنج شاخص موجود و متاثر از هدف تصمیم‌گیری است که بردار ارجحیت برای آن‌ها با توجه به هدف تصمیم قابل محاسبه است. سومین سطح شامل گزینه‌های مفروض از مساله است که هرکدام تحت تاثیر هر یک از شاخص‌های موجود در سطح دوم می‌باشد

برقراری ترجیحات از طریق مقایسات زوجی

جدول‌های مقایسه‌ای بر اساس درخت سلسله مراتب از پایین به بالا تهیه می‌شوند. به عبارت دیگر گزینه‌های رقیب در سطح سه باید به واسطه هریک از فاکتورها در سطح دو مورد مقایسه دو به دو قرار گیرند. مقایسه دو به دو با استفاده از مقیاسی که از ترجیح یکسان تا بی‌اندازه مرجح طراحی شده است. انجام می‌گیرد. تجربه نشان داده است که استفاده از ۱/۹ تا ۹ تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا مقایسات را به گونه‌ای مطلوب انجام دهد.

هنگام مقایسه دوبه دو در آغاز باید معادل اهمیت دو به دو از طریق رتبه‌ای مشخص گردد. سپس مقدار عددی متناظر در جدول مقایسه‌ای آورده شود. طبیعی است که قطر ماتریس مقایسات زوجی با عدد یک مشخص شود. چون که ترجیح هر سیستم به خودش یکسان است. همچنین ماتریس مقایسه‌ای یک ماتریس معکوس است (Reciprocal Matrix) یعنی این‌که اگر ترجیح معیار یک به دو x باشد، ترجیح معیار دو به یک 1/x است(Hsu et al., 2016).

برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها

به تقریب تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. نرخ ناسازگاری که در ادامه نحوه محاسبه آن خواهد آمد، وسیله‌ای است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسات اعتماد کرد.

جدول۲- مقیاس مقایسه زوجی در AHP (Saaty., 1980)

ترجیحات (قضاوت شفاهی)		مقدار عددی
کاملا مرجح یا کاملا مهم‌تر یا کاملا مطلوب‌تر	Extremely preferred	۹
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی‌قوی	Very strongly preferred	۷
ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی	Strongly preferred	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	Moderately preferred	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	Equally preferred	۱
ترجیحات بین فواصل - بینابین		۸-۶-۴-۲

برای مثال اگر گزینه A نسبت به B مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۵) و B نسبتا مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۳) باشد، آن‌گاه باید انتظار داشت A نسبت به C خیلی مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۷ یا بیش‌تر) ارزیابی گردد یا اگر ارزش ترجیحی A نسبت به B، ۲ و B نسبت به C، ۳ باشد آن‌گاه ارزش A نسبت به C باید ارزش ترجیحی ۴ را ارایه کند. شاید مقایسه دو گزینه امری ساده باشد، اما زمانی‌که تعداد مقایسات افزایش یابد اطمینان از سازگاری مقایسات به راحتی میسر نبوده و باید با به کارگیری نرخ سازگاری به این اعتماد دست یافت. تجربه نشان داده است که اگر نرخ ناسازگاری کم‌تر از ۰/۱۰ باشد سازگاری مقایسات قابل‌قبول بوده و در غیر این‌صورت در مقایسه‌ها باید تجدید نظر شود.

نشان داده شده است که λ_{max} برای یک ماتریس عکس‌پذیر و مثبت همیشه بزرگ‌تر و یا مساوی با n(بعد ماتریس) بوده و این ارزش فقط و فقط در صورت وجود یک ماتریس با ثبات کامل (سازگار) برابر با n خواهد بود از این رو $(\lambda_{\max} - n)$ یک اندازه‌گیری مناسب از درجه ناسازگاری یک ماتریس می‌باشد. این شاخص اندازه-گیری(Consistency Index) پس از نرمال سازی شدن توسط بعد ماتریس به صورت فرمول ۳ بیان می‌شود

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \qquad (۳)$$

که در آن CI نرخ سازگاری n بعد ماتریس و $\lambda_{\max}$ مقادیر ویژه ماتریس مقایسات زوجی است.

سپس CI با یک شاخص تصادفی (Random Index) نیز مقایسه می‌شود. جدول شماره ۳ مقدار شاخص تصادفی RI به ازای مقادیر مختلف n را نشان می‌دهد.

جدول۳- جدول محاسبه میزان RI (Saaty., 1980)

N	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷
R.I	۰/۰	۰/۰	/۵۸	/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	**۱/۳۲**
N	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	**۱٤**
R.I	۱/۴	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	**۱/۵۷**

در نهایت برای اندازه‌گیری سازگاری ماتریس زوجی، شاخص CR (Consistency Ratio) به صورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \qquad (۴)$$

در صورتی که ارزش C.R کوچک‌تر مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری محاسبات پذیرفته می‌شود وگرنه باید در جدول مقایسات برای رسیدن به سازگاری قابل‌قبول تجدیدنظر شود.

معرفی توابع هدف و محدودیت‌ها

توابع هدف مورد استفاده جهت برپایی مدل تخصیص چند معیاره به صورت زیر بیان می‌شوند:

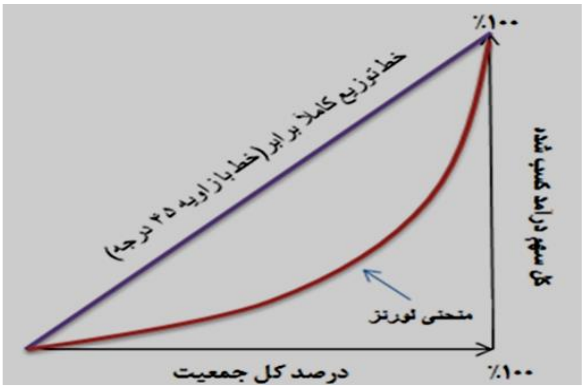
۱-کارآمدی(Efficiency[1]) به معنای استفاده اقتصادی از آب تعریف شده و به صورت رابطه ۵ بیان می‌شود(Hu et al., 2016):

$$\max \overline{EBE} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{\sum_{j=1}^{n}(AEB_{ij} \times q_{ij})}{(AEB_{i\,max}((1-\alpha_i^{loss})Q_i + WS_i)} \qquad (۵)$$

در جدول ۴ پارامترها و نمادهای مورد استفاده تعریف شده‌اند.

۲-برابری (Equity[2]) برای رسیدن به این هدف از شاخص ضریب جینی استفاده خواهد شد شاخص جینی معمولا به صورت درصد بیان می‌شود. عدد صفر نشان‌دهنده برابری کامل است و بالا رفتن این عدد به معنای نابرابری بیش‌تر است.

ضریب جینی فقط از برابری عددی صحبت می‌کند و ربطی به عدالت به معنای فلسفی آن ندارد. در شکل ۵ تعریفی از این مفهوم ارایه شده است.



شکل۵- تعریف نموداری ضریب جینی (دانش‌نامه ویکیپدیا)

خط چهل و پنج درجه مقدار تجمعی ثروت در شرایط توزیع کاملا برابر را نشان می‌دهد. در این شرایط مثلا سی درصد اول جمعیت

1 Efficiency: Economic Use of Water (Minimizing cost Maximizing benefit)

2 Equity: Fairly shared by all of the stakeholders

کشور سی درصد ثروت جامعه را خواهند داشت و پنجاه درصد بعدی پنجاه درصد را و ... در مقابل منحنی لورنتس نشان‌گر توزیع واقعی ثروت در یک جامعه است. طبیعی است که این منحنی از خط قبلی فاصله داشته باشد.

جدول٤- معرفی پارامترهای مورد استفاده در توابع هدف

i	شمارنده زیر حوضه(i=1,2,…,m)
j	شمارنده نوع مصرف در هر زیرحوضه(j=1,2,…,n)
EB_{ij}	سود اقتصادی مصرف‌کننده j در زیر حوضه i
AEB_{ij}	متوسط سود اقتصادی مصرف‌کننده j در زیر حوضه i
EBE	شاخص کارآمدی اقتصادی
q_{ij}	آب مصرف شده توسط مصرف‌کننده j در زیر حوضه i
Q_i	آب تخصیص یافته به زیر حوضه i
d_{ij}^{min}	حداقل دیماند مصرف‌کننده j در زیر حوضه i
d_{ij}^{max}	حداکثر دیماند مصرف‌کننده j در زیر حوضه i
α_i^{loss}	نرخ تلفات برای انتقال آب از مبدا تا زیر حوضه i
WS_i	سایر منابع آبی قابل استحصال در زیر حوضه i
WEC_i^{min}	حداقل نیاز اکولوژیکی زیر حوضه i
AW	میزان آب قابل تخصیص موجود در مخزن
z_i^{min}	حداقل میزان آب قابل انتقال به زیر حوضه i
z_i^{max}	حداکثر میزان آب قابل انتقال به زیر حوضه i

ضریب جینی در واقع نسبت تفاوت مساحت زیر خط چهل و پنج درجه و زیر منحنی لورنتس به کل مساحت مثلث را اندازه می‌گیرد. در شرایط توزیع کاملا برابر ثروت منحنی توزیع درست روی خط چهل و پنج درجه می‌افتد بنابراین اختلاف مساحت صفر می‌شود. حال اگر توزیع نابرابرتر شود منحنی لورنتس در دهک‌های پایین به محور افقی نزدیک‌تر می‌شود و از خط فاصله می‌گیرد و ضریب جینی بزرگ‌تر می‌شود. در یک حالت حدی که فقط یک نفر همه ثروت را در اختیار داشته باشد منحنی لورنتس روی محورهای مختصات می‌افتد(۹۹/۹) درصد جامعه صفر درصد ثروت را دارند و ضریب جینی یک می‌شود. محاسبه ضریب جینی کار نسبتا پیچیده‌ای است و نیاز به تخمین‌های آماری دارد و ممکن است اعداد متفاوتی برای آن اعلام شود.

ضریب جینی به شکل رابطه ۶ در مباحث مربوط به تخصیص آب قابل مدل‌سازی است (Hu et al., 2016) .

$$\min \quad G = \frac{1}{(2m\sum_{i=1}^{m}\frac{Q_i}{EB_i})}\sum_{l=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}\left|\frac{Q_l}{EB_l} - \frac{Q_k}{EB_k}\right| \qquad (۶)$$

در جدول ۴ پارامترها و نمادهای مورد استفاده تعریف شده‌اند.

با داشتن توابع هدف ذکر شده و با توجه به پارامترهای معرفی شده در جدول۴، مدل شامل محدودیت‌هایی به صورت زیر که جزو ذاتی کلیه طرح‌های انتقال آب است، خواهد بود. محدودیت اول در خصوص میزان آب در دسترس در مخزن، محدودیت دوم در خصوص حداقل میزان آب در دسترس در هر زیر حوضه، محدودیت سوم در خصوص میزان آب مصرف شده در هر زیر حوضه، محدودیت چهارم در خصوص میزان نیاز اکولوژیکی هر بخش، محدودیت پنجم در خصوص محدودیت سازه‌های انتقال آب و در نهایت محدودیت ششم در خصوص حداقل دیماند هر مصرف‌کننده می‌باشد (Hu et al., 2016.۸.۹.۱۰.۱۱.۱۲)

محدودیت‌ها:

$$\sum_{i=1}^{m} Q_i \le AW \qquad (۷)$$

$$(1-\alpha_i^{loss})Q_i + WS_i \ge \sum_{k=1}^{TS} d_{ik}^{min} \qquad (۸)$$

$$(1-\alpha_i^{loss})Q_i + WS_i \ge \sum_{j=1}^{n} q_{ij} \qquad (۹)$$

$$(1-\alpha_i^{loss})Q_i + WS_i - \sum_{j=1}^{n} q_{ij} \ge WEC_i^{min} \qquad (۱۰)$$

$$Z_i^{min} \le Q_i \le Z_i^{max} \qquad (۱۱)$$

$$d_{ij}^{min} \le q_{ij} \le d_{ij}^{max} \qquad (۱۲)$$

$$i = 1,2,\dots,m \qquad j = 1,2,\dots,n$$

در جدول ۴ پارامترها و نمادهای مورد استفاده تعریف شده‌اند.

مدل‌سازی در نرم‌افزار GAMS

جهت حل مدل چند معیاره از نرم‌افزار GAMS[1] استفاده شد. نرم‌افزار GAMS برای حل مسایل برنامه‌ریزی خط (LP)،

1 General Algebraic Modeling system

برنامه‌ریزی غیرخطی(NLP) ، برنامه‌ریزی صحیح مختلط (MIP)، برنامه‌ریزی خطی صحیح مختلط (MINLP) و مسایل مکمل خطی (MCP) کاربرد دارد و پرقدرت‌ترین نرم‌افزار تحقیق در عملیات می‌باشد. تابع هدف مدل تخصیص به زبان GAMS به فرم زیر نوشته می‌شود:

```
Objective..
Obj=e=W1*0.5*sum((i,j),(AEB(i,j)*q(i,j)))/(AEBmax(i)
*((1-alfa(i))*QA(i)+WS(i))))-
W2*0.5*sum((i,j),(AEB(i,j)*q(i,j))/QA(i))*
    abs(QA('Givi')/(sum(j,(AEB('Givi',j)*q('Givi',j))))-
QA('Sangvar')/
    (sum(j,(AEB('Sangvar',j)*q('Sangvar',j))));
```

دو تابع هدف سود و عدالت به روش جمع وزنی ساده[1] با هم ترکیب شده‌اند و پارامترهای W1 و W2 در واقع اوزان توابع هدف می‌باشند. چون قبلا این دو تابع نرمال‌سازی شده‌اند نیازی به استفاده از روش‌های پیچیده‌تر نیست. چنان‌چه دو تابع هدف نرمال‌سازی نشده باشد، می‌بایست از روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی سازشی[2] استفاده نمود. همچنین قیود مدل به زبانGAMS به فرم زیر خواهد بود:

```
    Availability1.      sum(i,QA(i))=e=AW;
    Availability2(i).. sum(j,q(i,j))=l=(1-
alfa(i))*QA(i)+WS(i);
    Availability3(i).. (1-alfa(i)) *QA(i)+WS(i)=g = sum
(j,dmin(i,j));
    Ecological(i)..              (1-alfa(i))*QA(i)+WS(i)-
sum(j,q(i,j))=g=WECmin(i);
    Demand1(i,j)..       dmin(i,j)=l=q(i,j);
    Demand2(i,j)..       q(i,j)=l=dmax(i,j);
    Technical1(i)..      Zmin(i)=l=QA(i);
    Technical2(i)..      QA(i)=l=Zmax(i);
```

IND	AGR	DOM
	3.0	5.0
		8.0
Incon: 0.04		

شکل٦ ماتریس مقایسات زوجی اولویت تخصیص برای مصارف مختلف (زیرحوضه گیوی)- خروجی نرم‌افزار Expert Choice

ضریب تبیین

این تابع نسبت مجموع مربعات تفاضل مقادیر محاسباتی از متوسط محاسباتی (SSR) به مجموع مربعات تفاضل مقادیر مشاهداتی از متوسط مشاهداتی (SST) است. همچنین تابع (SSE) میزان خطا را محاسبه می‌کند و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده تناسب بهتری است. رابطه ۱۳ ارتباط بین ضریب تبیین با SSE و SST وSSR را نشان می‌دهد.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \qquad (۱۳)$$

نتایج و بحث

با اجرای مدل در شش وزن مختلف توابع هدف، خروجی‌های مدل بدست می‌آید. چون تابع هدف دارای مشتقات ناپیوسته است بایستی از حالت DNLP[3] (حالت برنامه‌ریزی غیرخطی با مشتقات ناپیوسته) استفاده شود. جدول ۵ خروجی مدل تخصیص برای مصرف‌کننده‌های مختلف به ترتیب صنعت، کشاورزی و شرب را نشان می‌دهد.

Priorities with respect to:
Goal: GIVI Allocation

IND	.272
AGR	.661
DOM	.067

Inconsistency = 0.04
with 0 missing judgments.

شکل ۷-محاسبه وزن هریک از مصرف‌کننده‌ها و هم‌چنین شاخص ناسازگاری (زیرحوضه گیوی) - خروجی نرم‌افزارExpert Choice

IND	AGR	DOM
	2.0	6.0
		9.0
Incon: 0.01		

شکل۸- ماتریس مقایسات زوجی اولویت تخصیص برای مصارف مختلف (زیرحوضه سنگور) - خروجی نرم‌افزار Expert Choice

Priorities with respect to:
Goal: SANGVAR Allocation

IND	.333
AGR	.606
DOM	.061

Inconsistency = 0.00877
with 0 missing judgments.

شکل ۹- محاسبه وزن هریک از مصرف‌کننده‌ها و همچنین شاخص ناسازگاری (زیرحوضه سنگور) - خروجی نرم‌افزارExpert Choice

1- weighted sum model
2- Compromise Programming

3- Nonlinear programming with discontinuous derivatives

جدول۵- خروجی مدل تخصیص برای مصرف‌کننده‌های مختلف (واحد میلیون مترمکعب)

SUM	AGR	DOM	IND	(W1,W2)=(1,0)
۳۳/۹۱۶	۱۹/۹۱۶	۵	۹	GIVI
۲۶/۶۲۴	۲۰/۶۲۴	۱	۵	SANGVAR
SUM	AGR	DOM	IND	(W1,W2)=(0.8,0.2)
۲۱/۹۹	۹/۹۸۶	۴/۴۱۵	۷/۵۸۹	GIVI
۲۷/۸۵۵	۲۱/۰۵۱	۱/۸۰۴	۵	SANGVAR
SUM	AGR	DOM	IND	(W1,W2)=(0.6,0.4)
۲۱/۲۹۶	۹/۵۷۱	۴/۲۶۸	۷/۴۵۷	GIVI
۲۵/۶۴۸	۱۸/۹۷	۱/۷۳۸	۴/۹۴	SANGVAR
SUM	AGR	DOM	IND	(W1,W2)=(0.4,0.6)
۴۱/۷	۲۷/۷	۵	۹	GIVI
۱۶/۱۸	۱۰/۱۸	۱	۵	SANGVAR
SUM	AGR	DOM	IND	(W1,W2)=(0.2,0.8)
۲۱/۳۹۸	۹/۵۹	۴/۳۱۶	۷/۴۹۲	GIVI
۲۶/۲۶۶	۱۵/۵۵۱	۱/۷۶	۴/۹۵۵	SANGVAR
SUM	AGR	DOM	IND	(W1,W2)=(0,1)
۲۱/۲۴۸	۹/۵۶۸	۴/۲۴۲	۷/۴۳۸	GIVI
۲۵/۲۹۱	۱۸/۶۳	۱/۷۲۶	۴/۹۳۲	SANGVAR

جدول٦- مقادیر نرمال شده خروجی مدل تخصیص

۱	IND	AGR	DOM	sum
GIVI	۰/۲۶۵۳۶۱۵	۰/۵۸۷۲۲	۰/۱۴۷۴۲	۱
SANGVAR	۰/۱۸۷۸۰۰۵	۰/۷۷۴۶۴	۰/۰۳۷۵۶	۱
۲	IND	AGR	DOM	sum
GIVI	۰/۳۴۵۱	۰/۴۵۴۱۱۵	۰/۲۰۱	۱
SANGVAR	۰/۱۷۹۵	۰/۷۵۵۷۳۵	۰/۰۶۵	۱
۳	IND	AGR	DOM	sum
GIVI	۰/۳۵	۰/۴۴۹	۰/۲	۱
SANGVAR	۰/۱۹۳	۰/۷۴	۰/۰۶۸	۱
۴	IND	AGR	DOM	sum
GIVI	۰/۲۱۵۸۲۷۳	۰/۶۶۴۲۷	۰/۱۱۹۹	۱
SANGVAR	0.3090235	0.62917	0.0618	۱
۵	IND	AGR	DOM	sum
GIVI	۰/۳۵۰۱	۰/۴۴۸۱۷۲	۰/۲۰۲	۱
SANGVAR	۰/۱۸۸۶	۰/۷۴۴۳۴۶	۰/۰۶۷	۱
۶	IND	AGR	DOM	sum
GIVI	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۲	۱
SANGVAR	۰/۱۹۵	۰/۷۳۷	۰/۰۶۸	۱

برای محاسبه میزان تخصیص بهینه از بین مقادیر بهینه محاسبه شده به ازای مقادیر مختلف وزن توابع هدف، از روش AHP استفاده شد. بدین منظور بایستی ابتدا مقادیر خروجی مدل GAMS نرمال-سازی شود. مقادیر نرمال شده خروجی مدل در جدول ۶ ارایه شده است.

جدول ۷ مقدار تابع هدف کلی که با روش جمع وزنی ساده تشکیل شده به ازای وزن‌های مختلف توابع هدف سود و عدالت را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌ها روند نزولی تابع هدف کلی به ازای کاهش وزن تابع سود و افزایش وزن تابع عدالت کاملا مشخص است. در ادامه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مقادیر نرمال شده

تک، تک تخصیص‌ها در هر زیرحوضه محاسبه می‌شود. برای این کار از برنامه Expert choice استفاده شده و خروجی برنامه در اشکال ۶ تا ۹ آورده شده است. میزان تفاوت بین این داده‌ها و داده‌های خروجی مدل GAMS را ضریب تبیین مشخص می‌کند.

جدول ۸ ضریب تبیین محاسبه شده برای تک، تک خروجی‌های مدل برای اوزان مختلف توابع هدف را نشان می‌دهد. با توجه به میزان ضریب تبیین، خروجی چهارم با ضریب توابع هدف (۰/۶و۰/۴) با ضریب تبیین ۰/۹۷کم‌ترین خطا را داشته و به عنوان بهینه‌ترین حالت در نظر گرفته می‌شود. شاخص ناسازگاری برای زیرحوضه گیوی ۰/۰۴ وبرای زیرحوضه سنگور ۰/۰۰۸محاسبه شده و با توجه به این‌که هر دو کم‌تر از میزان مجاز ۰/۱ می‌باشد، قابل‌قبول است.

جدول ۷- مقدار تابع هدف به ازای وزن‌های مختلف

(W1,W2)	OBJ
(۱,۰)	۰/۶۲۷
(۰/۸,۰/۲)	۰/۴۹۱
(۰/۶,۰/۴)	۰/۳۲۷
(۰/۴,۰/۶)	۰/۲۱
(۰/۲,۰/۸)	۰/۱۰۴
(۰,۱)	-۱/۴۲۲۷E-۱۶

جدول۸- محاسبه ضریب تبیین خروجی‌های نرم‌افزار

۱	IND	AGR	DOM
GIVI	-۰۵E۴/۴۰۶۹۹	۰/۰۰۵۴۴	۰/۰۰۶۴۷
SANGVAR	۰/۰۲۱۰۸۲۹	۰/۰۲۸۴۴	۰/۰۰۰۵۵
	$۰/۸۱۲۳۶ \boldsymbol{R^2(1)} =$		
۲	IND	AGR	DOM
GIVI	۰/۰۰۵۳	۰/۰۴۲۸۰۱۲	۰/۰۱۸
SANGVAR	۰/۰۲۳۶	۰/۰۲۲۴۲۰۶	-۰۵E۱
	$۰/۶۶۱۰۸ \boldsymbol{R^2(2)} =$		
۳	IND	AGR	DOM
GIVI	۰/۰۰۶	۰/۰۴۵	۰/۰۱۸
SANGVAR	۰/۰۲	۰/۰۱۸	-۰۵E۵
	$۰/۶۷۸۴۸۷۳ \boldsymbol{R^2(3)} =$		
۴	IND	AGR	DOM
GIVI	۰/۰۰۳۱۵۵۳۶۸	-۰۵E۱/۱	۰/۰۰۲۸
SANGVAR	۰/۰۰۰۵۷۴۸۷۳	۰/۰۰۰۵۴	-۰۷E۶/۵
	$۰/۹۷۸۵۹ \boldsymbol{R^2(4)} =$		
۵	IND	AGR	DOM
GIVI	۰/۰۰۶۱	۰/۰۴۵۲۹۵۴	۰/۰۱۸
SANGVAR	۰/۰۲۰۸	۰/۰۱۹۱۳۹۷	-۰۵E۴
	$۰/۶۶۸۵۸ \boldsymbol{R^2(5)} =$		
6	IND	AGR	DOM
GIVI	۰/۰۰۶	۰/۰۴۴	۰/۰۱۸
SANGVAR	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	-۰۵E۵
	$۰/۶۸۴۵۸۲۶ \boldsymbol{R^2(6)} =$		

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق مدل چند معیاره تخصیص آب با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی با مشتقات ناپیوسته بهینه‌سازی گردید. در نهایت با مقایسه نتایج مدل تخصیص به ازای وزن‌های مختلف تابع

هدف و خروجی مدل تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از ضریب تبیین، میزان ضرایب بهینه توابع هدف و در نتیجه میزان آب تخصیص یافته به مصرف‌کنندگان در زیرحوضه‌های مختلف تعیین گردید. با افزایش ضریب تابع جینی، میزان متوسط سود حاصل از تخصیص کاهش می‌یابد و در صورتی‌که میزان ضریب تابع جینی حداکثر مقدار باشد، سودآوری کمینه خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد ضرایب توابع هدف(۰/۶و۰/۴)بهینه‌ترین حالت خواهد بود. و در واقع یک نقطه بهینه سراسری است. بنابراین یک تفسیر از جواب بهینه بدین شکل خواهد بود که در صورت توجه ۴۰ درصدی به مسایل اقتصادی و سودآوری و ۶۰ درصدی به مسایل برابری و عدالت به جواب بهینه در مسایل تخصیص آب خواهیم رسید.

برای تکمیل تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود مدل‌سازی در شرایط عدم قطعیت انجام شده و از روش FAHP (روش تحلیل سلسله مراتب فازی) جهت مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها استفاده شود. همچنین در صورت محاسبه فاکتورهای ریسک، مدل تخصیص به حالت بسیار کارآمدی تبدیل خواهد شد.

منابع

اصغرپور،م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. موسسه انتشارات دانشگاه تهران

جهادی،م.، صمدی بروجنی،ح.، فتاحی،ر.، محمدی،ف. ۱۳۹۱. رتبه-بندی گزینه‌های پیشنهادی طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت‌آباد با استفاده از روش AHP. همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای. شهرکرد.

Chen,S. 2017. An interval multistage water allocation model for crop different growth stages under inputs uncertainty. Agricultural Water Management. 186 : 86-97

Divaker,L., Babel,M.S., Perret,S.R., Das Gupta,A. 2011. Optimal allocation of bulk water supplies to competing use sectors based on economic criterion - an application to the chao phraya River Basin, Thailand Journal of Hydrology. 401 .1-2: 22-35.

Hu,H., Chen,Y., Yao,L., Wei,C., Li,C. 2016. Optimal allocation of regional water resources:From a perspective of equity–efficiency tradeoff. Resources, Conservation and Recycling 109 : 102-113

Hsu,W., Huang,S., Tseng,W. 2016. Evaluating the risk of operational safety for dangerous goods in airfreights - A revised risk matrix based on fuzzy AHP. Transportation Research Part D 48:235–247

Li,M., Guo,P., Singh,V. 2016. An efficient irrigation water allocation model under uncertainty. Agricultural Systems. 144:46-57

Maqsood,I., Huang,G.H and Yeomans,J.S. 2005. An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty, European Journal of Operat Research. 167: 208-225

Rudi,F. 2009.The use of AHP(the Analytic Hierarchy Process) method for irrigation water allocation in a small river basin(Case study in Tampo river basin in West Sumatra,Indonesia). 11 th conference of international association for water allocation, Indonesia.121-127.

RazaviToosi,S.L. 2016. Evaluating water management strategies in watersheds by new hybrid Fuzzy Analytical Network Process (FANP) methods. Journal of Hydrology.

Saaty,T.L. 1980. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York

Tennant,D.L. 1976. Instream flowregimens for fish, Wildlife, recreation andrelated environmental resources. Fisheries 1 .4:6-10.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 12, Jan.-Jul. 2018, p. 491-502

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۲، خرداد - تیر ۱۳۹۷، ص. ۵۰۲-۴۹۱

Application of AHP Method for Optimization of Nonlinea Multi - Criteria Water Allocation of Reservoirs in Terms of Equality and Efficiency Criteria (Case Study: Water Allocation of Reservoir of Givi dam)

MT.Aalami[1*], H.Fazaeli[2]

Recived: Sep.17, 2017 Accepted: Nov.27, 2017

Abstract

The allocation of water reservoirs with three basic conditions, equality, efficiency and sustainability is a prerequisite for sustainable development. Due to the limited availability of renewable water sources at the river basin level and the increasing demand for water in various uses (agriculture, domestic, industry and the environment) due to population growth and competition over resource use, the need to pay attention to The allocation of water resources has increased, and this calls for attention to different ways of optimizing water resources allocation. Therefore, in this research, we have tried to provide a model that can consider different criteria for water allocation, especially two basic criteria of justice and efficiency, and to comply with different environmental criteria.The new constructed dam of Givi With a normal volume of 54 million cubic meters is located in the catchment area of the Givi Chai River With an area of about 600 square kilometers from the subbasins of the Ghezel Ozan River and due to the fact that the dam's irrigation network has not been constructed and reservoir allocation details are not known yet, In this study, we tried to provide a model for the sustainable development of the area by paying attention to the agricultural and industrial potential of the region, as well as the needs of domestic in the present and in the 20 years horizons.The output of the model was obtained for various coefficients for the objective functions (efficiency and equity) and the results were shown by increasing the coefficient of efficiency function and reducing the function of justice (the function of Gini) and finally, using the AHP method and obtaining the Paired Comparison matrix, The optimal model and thus the coefficients of optimal efficiency and equity functions were calculated. The results show that the coefficients of the target functions (0.6 and 0.4) are optimal for the functions of efficiency and equity, respectively. And in fact it's a global optimum point.

Keywords: Determination Coefficient, Gini coefficient, Hierarchical analysis method, Water allocation

1 -Professor of civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran
2 -PhD candidate of Water Resources Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran
(*-Corresponding Author Email: mtaalami@Tabrizu.ac.ir)