

مدیریت یکپارچه منابع آب راهکاری برای گذر از بحران کم آبی

سجاد مشایخی^۱، شهاب عراقی نژاد^۲، فرشته مدرسی^۳ و کیومرث ابراهیمی^{۴*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

۳- دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه تهران

۴- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

* EbrahimiK@ut.ac.ir

چکیده

افزایش جمعیت، توسعه کشاورزی و صنعت، کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی از عوامل اصلی کمبود آب بوده و یک راه موثر مقابله با آن مدیریت یکپارچه منابع آب است. هدف از مقاله حاضر بررسی و تحلیل تکامل مدیریت یکپارچه و مدل‌سازی منابع آب جهت حل بحران کم آبی از منظر محققان است. این بررسی در سه بخش مدیریت منفصل، مدیریت یکپارچه و مدل‌سازی منابع آب برای بیان راهکارهای در مقابله با اثرات خشکسالی، سیلاب‌ها، آلودگی‌ها و تخریب محیط زیست صورت گرفته است. در بخش مدیریت یکپارچه راهکارهای اجرایی جهت تعادل بین عرضه و تقاضا با در نظر گرفتن تمامی نیازهای شرب، کشاورزی، صنعت و محیط زیست با رویکرد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و در بخش مدل‌سازی یکپارچه متناسب با تابع هدف، متغیرهای تصمیم و متغیرهای حالت نتایج تحقیقات و طرح‌های اجرایی نمونه‌ی جهانی مطرح شده است. بر اساس موقعیت جغرافیایی و مورفولوژیک کشور ایران، نمی‌توان برای آن از یک مدل جامع واحد جهت پیشبرد اهداف مقابله با کم آبی بهره برد، لذا با الگو گرفتن از مدل‌های مختلف اجرایی می‌توان متناسب با هر حوضه سیاست‌های مختلف را بررسی نمود. بر همین اساس در جمع بندی این مقاله روش مدل‌سازی جامع و دینامیک کای و همکاران و دیویس و سیمونویچ برای طرح‌های اجرایی در ایران پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: ، مدل‌سازی یکپارچه، بحران کم آبی، *IWRM*

۱- مقدمه

رشد روز افزون جمعیت، توسعه اراضی کشاورزی، گسترش صنایع و توسعه شهری، توزیع غیریکنواخت مکانی و زمانی آب شیرین به لحاظ کمی، مشکلات روزافزون کیفی منابع آبی و تاثیرات تغییر اقلیم، تأمین آب مطمئن برای مصارف مختلف را به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل نموده است، که منجر به افزایش رقابت بین مصرف کنندگان شده است. لذا در کشور ایران که با مشکل کم آبی و توزیع غیریکنواخت منابع آبی روبرو است، افزایش بهره‌وری و ارزش مصرف آب را به عنوان یکی از مهم‌ترین هدف‌های ملی مطرح کرده است. با توجه به معضلات رو به رشد موجود ضرورت دارد تا راهکار عملی و اساسی برای حفاظت از منابع آب کشور با هدف کاهش خسارت‌ها و کاهش هدر رفت

آن‌ها ارائه شود. برای برون رفت از این معضل، لزوم وجود مجموعه‌ای حاکمیتی در سطح وزارتخانه با وظیفه‌مندی مدیریت جامع در حوضه‌های آبریز کشور و برنامه‌ریزی برای بهترین شکل مدیریتی در این عرصه‌ها ضروری است.

مدیریت منابع آب به عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن برای رفع مشکلات ناشی از کاهش کمیت و افت کیفیت آب مطرح است. طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را در یک قالب به هم پیوسته گردآوری می‌نماید. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب¹ است که باید اصلی‌ترین روش برای دستیابی به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین‌المللی باشد. مدیریت جامع باید نیاز تمامی بهره‌برداران آب را لحاظ نماید [17].

نگرش مدیریت یکپارچه منابع آب با در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی، به‌طور پایدار و متعادل به مدیریت و توسعه منابع آب کمک می‌کند. این نگرش، گروه‌های ذینفع مختلف و رقیب یکدیگر را مشخص می‌کند. نگرش یکپارچه، مدیریت منابع آب را بین بخش‌ها و گروه‌های ذینفع در مقیاس‌های مختلف از محلی تا بین‌المللی هماهنگ می‌کند. این نگرش بر درگیر شدن سیاست ملی و قانون‌گذاری، استقرار حکمرانی صحیح و ایجاد مدیریت قانونی و سازمانی موثر به عنوان مسیرهایی در جهت ایجاد تصمیمات پایدار و منصفانه تاکید می‌کند. برخی ابزارها مانند ارزیابی‌های اجتماعی، زیست محیطی، ابزارهای اقتصادی و سیستم‌های پایش و اطلاعات این فرایند را پشتیبانی می‌کنند.

چالش‌های پیش‌روی مدیران منابع آب چالش‌های جدیدی نیستند، اما به علت ماهیت و اندازه، مشکلات از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت هستند و عکس‌العمل‌ها از حوضه‌ای به حوضه دیگر به‌طور وسیعی تفاوت دارند. یافتن این چالش‌ها نیاز به روشن شدن نتایج و پاسخ به دو مبحث زیر است [2]:

الف) پاسخ‌های شرح دهنده موضوعات ساختاری شامل جمع‌آوری داده‌ها، زیر ساخت‌ها و عملکردها و نگهداری.

ب) پاسخ‌های نهادی مانند سیاست‌ها و قیمت‌گذاری. هر دو نوع این پاسخ‌ها مهم و در ارتباط با یکدیگر می‌باشند.

۲- بررسی

در مقاله حاضر مدیریت منفصل و جامع منابع آب و ابزارها و مدل‌های به‌کار گرفته شده برای مناطق مختلف و مطالعات موردی به شرح ادامه بررسی و تحلیل شده است.

۲-۱- مدیریت منفصل منابع آب

مهندسی و مدیریت منابع آب طی یک دوره طولانی و هم‌زمان با تغییرات شهرنشینی رخ داده است. این تغییرات موجب ایجاد رشته‌ها و مشاغل جدیدی در بین مردم شده است. پس از انقلاب صنعتی، دنیا شاهد پیشرفت‌های چشمگیری در اندازه و پیچیدگی در پروژه‌های آبی بوده است. پروژه‌ها از مقیاس کوچک و بودجه محدود به پروژه‌های چند میلیارد دلاری ارتقاء یافته‌اند و مقیاس زمانی و مکانی آن‌ها از حوضه آبریز کوچک به پروژه‌هایی در سطح جهانی و از رویدادهای مقطعی در سیکل‌های فصلی به روندهای اقلیمی تغییر یافته‌اند. جزء لاینفک این تغییرات شدید افزایش چشمگیر در فعالیت-

¹ Integrated Water Resources Management (IWRM)

های مهندسی آب از توسعه (برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت) به مدیریت منابع آب است [10]. آب بسیار کم با آلودگی بسیار زیاد و کمبودهای بسیار فراوان در اکوسیستم از مهمترین انگیزه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب هستند [18].

در والنسیای اسپانیا دادگاه‌های آب و فاضلاب چند شرکت ذینفع حداقل از زمان قرن دهم فعالیت داشته‌اند [22]. با توجه به پیشرفت‌های اخیر، اسپانیا احتمالاً اولین کشوری است که مدیریت آب حوضه رودخانه را بطور سازمان یافته و رسمی انجام داده است [11].

در مقابل، کاهش تأثیرات خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها، آلودگی‌ها و تخریب محیط زیست از تجارب مهم برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بوده است؛ همچنین افزایش تأمین نیاز، انرژی برقایی، ارتقاء سطح سرگرمی‌ها، ناوبری و سیاست‌های جاری در جهت افزایش سود و مزایا از دیگر اهداف برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب می‌باشد. به‌طور کلی بزرگترین اهداف برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب را می‌توان در یافتن بهترین راه از نظر اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی برای مدیریت منابع آب تجدید پذیر اعم از محدود و نامحدود، هم برای حال و هم برای آینده خلاصه نمود؛ به عبارت دیگر هدف از برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب طراحی سیستم‌های منابع آب پایدار است [23].

۲-۲- مدیریت یکپارچه منابع آب:

در سال ۱۸۵۸، هنری هایند^۱ پیشنهاد ساخت یک سد بر روی رودخانه ساسکاچوان شمالی^۲ را جهت اصلاح این رودخانه به رودخانه کوپل^۳ به‌وسیله یک آبراهه در دامنه کوه‌های راکی^۴ در کانادا ارائه نمود. این پروژه در سال ۱۹۶۷ اجرا گردید. وقتی ساخت سد گاردینر^۵ به پایان رسید دریاچه دیفنبارکر^۶ ایجاد شد. منافع گوناگون این پروژه اعم از تولید انرژی برقآبی، تفریحی، تأمین نیاز آبی استان ساسکاچوان، ایجاد زیستگاه‌های طبیعی پرندگان از جمله گونه‌های مختلف در معرض انقراض، تنوع کشاورزی در منطقه و ارتقاء وضعیت اقتصادی، این استان را به استانی مستقل در زمینه تأمین پایدار آب در کانادا تبدیل کرد. تغذیه آب‌های زیرزمینی و حتی تغییر در آب و هوای منطقه به علت تبخیر از سطح وسیع دریاچه سد و ایجاد ابر و انتقال آن در جهت باد به مناطق خشک استان و کانادا و افزایش بارندگی‌ها در آن مناطق این طرح را به عنوان طرحی کم‌نظیر در جهان مبدل کرد و امروزه از این طرح به عنوان نمونه‌ای موفقیت آمیز از مدیریت جامع منابع آب (IWRM) در دنیا یاد می‌شود. هرچند در آن زمان بحث مدیریت جامع منابع آب به‌طور مشخص ذکر نمی‌شد ولی مدیریت مطالعات و اجرای این طرح همان بحثی است که امروزه به عنوان IWRM مطرح است [20].

در سال ۱۹۷۷، کنفرانس بین‌المللی آب در ماردل پلاتا آرژانتین برگزار شد. که طی آن IWRM را به عنوان رویکردی برای هماهنگ کردن رقابت رو به رشد بین کاربران متعدد منابع آب معرفی و توصیه کرد. تلاش برای تشکیل این نشست مهم توانست به دستیابی اهداف مشخصی ادمه دهد: ارزیابی منابع آب، تأمین مناسب نیازهای اجتماعی و اقتصادی، افزایش بهره‌وری استفاده از آب و بالا بردن سطح آمادگی در سطح ملی و بین‌المللی به‌منظور جلوگیری از

¹ Henre Haynd

² South Saskatchewan River

³ Qu'Appelle River

⁴ Rocky mountains

⁵ Gardiner Dam

⁶ Lake Diefenbarker

بحران آب در ابعاد جهانی قبل از پایان قرن بیستم. این اقدام در مارادل پلاتا اولین تلاش برای ترویج مدیریت یکپارچه منابع آب بود [7].

در گزارش آمده از کمیسیون جهانی محیط زیست در سال ۱۹۸۷ به طور خاص آب و برنامه مارادل پلاتا در مورد منابع آب را مورد توجه قرار نداده است، اما مفهوم توسعه پایدار منابع را مورد تأکید قرار داده که به عنوان فرایند تأمین نیاز فعلی جامعه بدون محدود کردن توانایی نسل‌های آینده برای رفع نیازهای خود تعریف شده است؛ که آب به عنوان زیر مجموعه توسعه پایدار منابع می‌باشد. در کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل متحد، اجلاس زمین، ریودوژانیرو، ۱۹۹۲ نیز تعاریفی در مورد IWRM به تصویب رسیدند از جمله: "مدیریت یکپارچه منابع آب بر مبنای آگاهی از آب به عنوان بخشی جدا ناپذیر از اکوسیستم، یکی از منابع طبیعی و یک کالای اجتماعی- اقتصادی که کمیت و کیفیت آن تعیین کننده نحوه بهره‌برداری از آن می‌باشد، است. بنابراین منابع آب باید محافظت شوند، و به منظور تأمین و تطبیق نیاز فعالیت‌های بشر به آب می‌بایست عملکرد اکوسیستم‌های آبی و موجودیت منابع در نظر گرفته شوند" [26].

در سال ۱۹۹۵، برنامه توسعه سازمان ملل^۱ و بانک جهانی^۲، دعوت به تأسیس سازمان مشارکت جهانی آب^۳ نمودند. کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل در ریو دوژانیرو و به کارگیری غیر رسمی اصول دوبلین، پایه‌هایی برای تأسیس GWP در سال ۱۹۹۶ در استکهلم سوئد، شدند. در آغاز، فعالیت‌های GWP، بر توسعه چارچوب مفهومی IWRM بر مبنای اصول دوبلین، و تشکیل کمیته‌های مشاوره تخصصی^۴ به عنوان موتورهای شروع جهت ارتقاء سطح آگاهی در زمینه IWRM در مناطق مختلف، استوار بود.

عموم مطالعاتی که در اواخر قرن بیستم در رابطه با IWRM انجام شده است بیشتر در رابطه با تبیین تعاریف، فاکتورهای مؤثر و اهداف مدیریت جامع منابع آب است. دومین فروم جهانی آب در سال ۲۰۰۰ در لاهه، کنفرانس بین‌المللی آب شیرین در سال ۲۰۰۱ در بن^۵، و اجلاس جهانی توسعه پایدار در سال ۲۰۰۲ در ژوهانسبورگ^۶ برگزار شدند. این سه کنفرانس، کنفرانس‌های با نفوذ و تأثیر بین‌المللی بودند که در آن‌ها IWRM ترویج داده شد. در این کنفرانس‌ها، فرایند تصمیم‌گیری مشارکتی در برگزیده کاربران، ذینفعان و عموم جامعه، به عنوان یک موضوع کلیدی شناخته شد [22]. در این راستا انگیزه‌ی جهانی را برای پذیرش IWRM به عنوان رویکردی منحصر به فرد و عملی در دستیابی به توسعه پایدار ایجاد کرد [16]، بنابراین رویکردهای عملی در مطالعات IWRM نیز آغاز شد. به عنوان نمونه، در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲، هنگامی که کیفیت آب نیویورک کاهش یافت، مسئولین با بررسی این مشکل، پیشنهاد ساخت تصفیه‌خانه‌های جدید و روش‌های حفاظتی را ارائه دادند که برآورد اجرای آن‌ها هزینه‌ای در حدود شش میلیارد دلار را در پی داشت. به کارگیری IWRM در این راستا باعث شد که این مشکل تنها با صرف ۱/۶ میلیارد دلار حل شود. مدیریت شهر نیویورک از روش جامعی شامل موارد زیر استفاده کرد:

۱- خرید و کنترل سهام کشاورزان به صورت داوطلبانه (حدود ۱۳۰ کیلومتر مربع از اراضی در سال ۲۰۰۲ خریداری شد).

¹ United Nations Development Programme (UNDP)

² World Bank

³ Global Water Partnership

⁴ Technical Advisory Committee

⁵ Bonn

⁶ Johannesburg

۲- یارانه‌هایی برای استفاده از روش‌های پیشرفته در کشاورزی، مدیریت جنگل‌ها و مراتع و سایر فعالیت‌های اقتصادی تخصیص یافت. همچنین کمک‌هایی بلاعوض جهت بهبود امکانات تصفیه آب در بالادست حوضه اختصاص یافت.

۳- پرداخت غرامت به مردم به منظور جبران هزینه‌های آن‌ها در صرفه‌جویی آب و تشویق آن‌ها.

نتیجه اعمال این نوع مدیریت کاهش باکتری اشرشیاکلی^۱، فسفر و دیگر آلاینده‌های اساسی تا بیش از ۵۰٪ بود که این کاهش آلاینده‌ها باعث ایجاد یک منبع سالم در شهر و احیای اکوسیستم حوضه شد [25].

آکو و همکاران در سال ۲۰۱۰، به دنبال بررسی تلاش‌های اخیر برای اجرای IWRM، بر اساس چارچوب نهادی IWRM در کامرون بودند. که نهایتاً پیشنهاداتی جهت اصلاح و بهبود این فرایند ارائه نمودند: مشارکت عمومی در سطح شورای محلی، شناخت آب به عنوان یک مزیت اقتصادی و اجتماعی، قرار دادن IWRM در مجموعه مدیریت منابع طبیعی و بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی در حوضه‌های هیدرولوژیکی می‌تواند منجر به بهبود مدیریت یکپارچه منابع آب در کامرون شود [6].

در حال حاضر، در تعداد بیشتری از کشورهای دنیا، IWRM در سیاست‌های توسعه و برنامه‌های ملی مدیریت هیدرولوژیکی گنجانده می‌شود [24]. بر اساس نتایج حاصل از یک ارزیابی صورت گرفته به منظور تعیین وضعیت تعیین فرایند برنامه‌ریزی IWRM در ۹۵ کشور، توسط سازمان مشارکت جهانی آب در سال ۲۰۰۶، ۲۱٪ از این کشورها طرح‌ها و استراتژی‌هایی را پایه‌گذاری نموده‌اند و یا در حال دستیابی به این فرایند می‌باشند، ۵۳٪ به‌تازگی فرایند فرمولاسیون طرح‌ها و استراتژی‌های IWRM را آغاز نموده‌اند و ۲۶٪ باقی‌مانده پیشرفت بسیار محدودی داشته‌اند. بسیاری از کشورها نیز تصمیم به پیشرفت در این زمینه گرفته‌اند ولی برای رسیدن به آن نیازمند کمک هستند. این ارزیابی در برگیرنده ۳۸ کشور در آفریقا، ۲۳ کشور در آسیا و اقیانوسیه، ۱۰ کشور در اروپا، ۱۶ کشور در امریکای لاتین و ۸ جزیره کوچک در اقیانوس آرام و دریای کارائیب بوده‌است [13].

میرصانع و کاویانپور (۱۳۸۷)، به بررسی مفهوم، ضرورت و منافع مدیریت به هم پیوسته منابع آب در سطح حوضه آبریز بنابر تجربه‌های جهانی پرداخته و اصول به کار گرفته شده در اجرای این چارچوب را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها همچنین پاره‌ای راهکارهای مدیریتی جهت اجرای بهتر اصول مدیریت یکپارچه و به هم پیوسته منابع آب ارائه نمودند [4].

نوری اسفندیاری و عراقی‌نژاد (۱۳۸۷)، طی پژوهشی با توجه به رویکرد مساله‌نگر "مدیریت به هم پیوسته منابع آب" حوضه‌های درجه دو کشور را ارزیابی نمودند و تصویری عمومی از مسائل و مشکلات حوضه‌ها را به عنوان نقاط شروع اساسی در تدوین برنامه‌های توسعه ارائه نمودند. برای این منظور سه معیار پایداری عرضه و تقاضا، کیفیت آب و وقوع خشکسالی را در این حوضه‌ها مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که شیوه مدیریت در بسیاری از حوضه‌ها با معیارهای پایداری فوق فاصله داشته و ادامه روند گذشته بهره‌برداری‌ها، وضعیت منابع آب را متزلزل خواهد نمود [5].

هان و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۲، به تحقیق در مورد تخصیص منابع آب با رویکرد یکپارچه و با در نظر گرفتن طیف وسیعی از شاخص‌ها در سطح حوضه آبریز رودخانه پرداختند. در این مطالعه بر اساس نظر سنجی‌هایی که از ۸۲ متخصص رشته‌های مختلف جهت تعیین شاخص کمبود، جمع‌آوری شده بود از نوزده شاخص برای حوضه‌های آبریز هوای^۳، های^۱

¹ Escherichia coli

² Han & et al.

³ Huai

و رودخانه زرد^۲ در استان شاندونگ^۳ چین بهره بردند؛ برای تعیین میزان کمبود آب برای هر حوضه رودخانه از مجموعه احتمال فازی^۴ استفاده شد. روش تخصیص آب نیز با بهره‌گیری از ۱۳ شاخص و به صورت مشاهده‌ای محاسبه گردید؛ نتایج نشان می‌دهد که در تمامی حوضه‌های رودخانه‌ای که در استان شاندونگ دارای کمبود شدید و قابل توجه آب هستند، عوامل اقتصادی به عنوان ایفا کننده‌های نقش اصلی در کمبود آب و به دنبال آن عوامل نظیر فاکتورهای تأمین آب و سپس نیاز آبی، می‌باشند. شاخص‌های تخصیص آب براساس منابع آب و متناسب با بهره‌برداری در بین بخش‌های حوضه آبریز رودخانه هوای اولویت بندی شدند [14].

فریچ^۵ در سال ۲۰۱۷، در مقاله‌ای مربوط به بریتانیا، جایی که مدیریت منابع آب با تمرکز بر مشارکت عمومی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، در تلاش برای بررسی عملکردهای، اجرای موازی و مشارکتی جامع و رویکرد تطبیقی با هدف مرور و تکمیل چارچوب کنونی از تعریف تأثیرات مدیریت یکپارچه منابع آب بر ظرفیت‌های تطبیقی بود. در مقاله به‌طور ویژه به تجزیه و تحلیل دخالت بازیگران غیردولتی در زمینه آب و مدیریت ریسک سیلاب، بعد از پانزده سال تلاش فراوان برای افزایش همکاری و مشارکت ذی‌نفعان تحت تأثیر دو دستورالعمل اتحادیه اروپا: دستورالعمل چارچوب آب و دستورالعمل سیلاب، پرداختند. با توجه به شواهد و مدارک تجربی از لینک‌های جعلی بین این دو، نویسنده سه تئوری، استدلال آگاهانه مرتبط با مفاهیم متنوع، وابستگی به مسیر و ماهیت متغیر وابسته به مشارکت جهت ساختن و غلبه بر محدودیت‌های کنونی، را عنوان کرد [12].

۲-۳- مدل سازی یکپارچه منابع آب

برنامه‌ریزی با رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب شامل هفت گام می‌باشد که به صورت یک چرخه در پی هم اجرا می‌شود. برنامه‌ریزی یک دنباله منطقی از مراحل مختلفی است که به وسیله فعالیت‌های پشتیبانی و مشورتی مدیریت پیوسته که در مرکز شکل ۲-۱ نشان داده شده است. حمایت و پیاده‌سازی می‌شود (GWP, A, 2005) و بیشترین تأثیرگذاری را زمانی خواهد داشت که به صورت یک چرخه پیوسته مانند شکل (۲-۱) دیده شود. گام‌های برنامه‌ریزی با رویکرد IWRM شامل شروع، برنامه‌ریزی کاری و مشارکت ذی‌نفعان، ساختن دید استراتژیک، ارزیابی وضعیت، استراتژی‌های مدیریت آب، برنامه مدیریت یکپارچه آب، اجرا و ارزیابی می‌باشد که مدل‌سازی در گام برنامه IWRM انجام می‌پذیرد.

¹ Hai

² Yellow River

³ Shandong Province

⁴ Fuzzy set probability

⁵ Fritsch

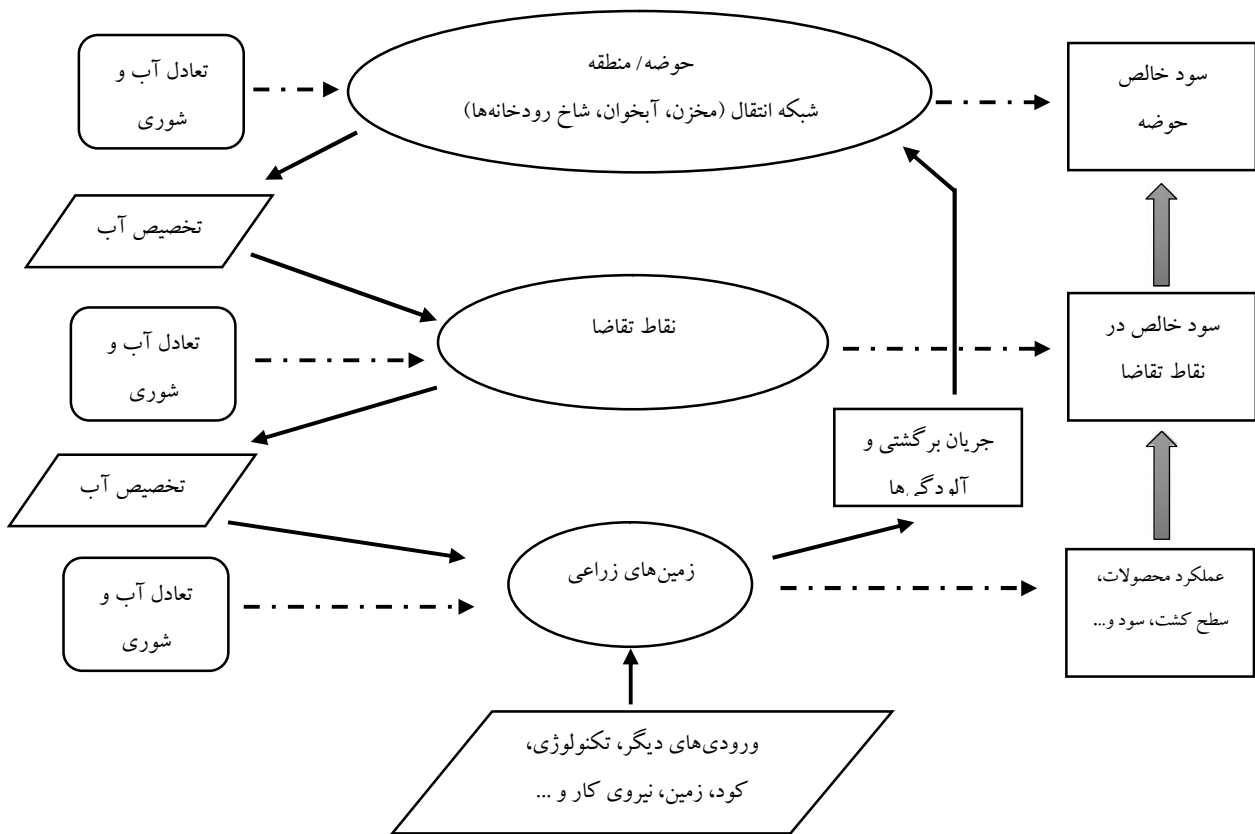
⁶ U.K.



شکل ۲-۱- گام‌های برنامه‌ریزی با رویکرد IWRM

مدیریت یکپارچه منابع آب باید در سطح سیستم یکپارچه حوضه رودخانه که دربرگیرنده نقاط تقاضا و تأمین آب و مؤلفه‌های بین آن‌ها است اعمال شود، از این رو ابزار تبیین سیاست باید به گونه‌ای تعیین شوند که پاسخگوی استفاده اقتصادی تر از آب در این سطح باشند [8]، لذا ایجاد مدلی شامل و فراگیر در مباحث هیدرولوژی، زراعی و اقتصادی از اقدامات کای و همکاران در سال ۲۰۰۳ بود که الگوریتم آن در شکل (۲-۲) قابل مشاهده است. ین و چن^۱ در سال ۲۰۰۱، استراتژی‌هایی را برای تخصیص منابع آب در جنوب تایوان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. سه استراتژی مختلف تحت شرایط مختلف هیدرولوژیکی و محدودیت‌های برداشت از منابع آب زیرزمینی مورد آزمون قرار گرفتند؛ در نهایت سناریوی بهینه از نظر آن‌ها ساخت مخازن و بندها بود که می‌توانست آب را در فصول مرطوب ذخیره نماید و کمبودهای فصول خشک را جبران کند [27].

¹ Yen and Chen



شکل ۲-۱- مدل یکپارچه ارائه شده توسط کای و همکاران [۲۱]

مینادین و همکاران^۱ (۲۰۰۷)، یک مدل هیدرولوژیکی-اقتصادی صفحه گسترده^۲ ابداع نمودند که امکان تحلیل تخصیص و استفاده از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و محیط زیست تحت سناریوهای مختلف، در آن وجود داشت. مدل آن‌ها یک مدل بهینه‌ساز توده‌ای^۳ ساده بود که بر موازنه آب در بازه، به بازه سیستم رودخانه‌ای، تقاضای آبیاری و تولید درآمد، متکی بود. این مدل به منظور بهینه‌سازی منافع، تخصیص و جریان استفاده شده و مقید به قیودات هیدرولوژیکی و اقتصادی تعیین شده توسط سناریوها بود [19].

دیویس و سیمونویچ^۴ در سال ۲۰۱۱، مدل‌سازی منابع آب را با یک مدل جامع اجتماعی-اقتصادی-زیست محیطی ارائه کردند. آن‌ها مدل دینامیکی ANEMI را ارائه کردند تا مجموعه بحث‌های اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی در بطن مدل به کار گرفته شود. این مدل دارای هشت بخش اصلی است که خصوصیات اصلی بخش‌های اقلیم، سیکل کربن، اقتصاد، کاربری اراضی، جمعیت، جریان آب سطحی، نیاز آبی و کیفیت آب را در یک مقیاس جهانی در نظر گرفته است. یکی از مشکلات مدل‌های جهانی عدم توانایی در وارد کردن جزئیات است، با توسعه مدل‌ها در سطح

¹ Mainuddin et al.

² Spreadsheet

³ Lumped

⁴ Davies and Simonovic

منطقه یا حوضه می‌توان خصوصیات خاص آن را وارد معادلات کرد. این مدل در رساله دیویس به‌طور کامل مورد بحث قرار گرفته است و به عنوان یک مدل جدید برای ارزیابی جامع تغییرات جهانی¹ نام‌گذاری شده است [9].

در سال ۲۰۱۲، کارآموز و همکاران^۲ چشم‌انداز برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب جهان را در سال ۲۰۵۰ تبیین نمودند. در این پژوهش به چالش‌ها اعم از اختلاف ناشی از آب، تغییرات اقلیم، اقتصاد آب و آلودگی آب و فرصت‌ها اعم از پیشرفت‌های تکنولوژیکی، بهره‌وری آب، وجود داده‌های مناسب و فراوان، امکان استفاده مجدد آب، وجود سیستم‌های پشتیبان از آموزش‌های پیشرفته مهندسی مورد بحث قرار گرفت [15].

صفوی در سال ۱۳۸۷، ضمن بررسی مبانی مدیریت جامع منابع آب با توجه به ساختارهای مدیریتی و حاکمیتی آب در ایران و در نظر گرفتن مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و نیز جایگاه ذینفعان، به معرفی مؤلفه‌های اصلی که بایستی در این نوع مدیریت توجه شود پرداخت. صفوی با عنایت به مبانی ارائه شده و ساختارهای مدیریتی موجود، مناسب‌ترین سطح جهت برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب را مقیاس حوضه‌های آبریز معرفی نمود. ایشان حوضه زاینده‌رود را به دلیل تنوع منابع و مصارف، تبادلات کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی و در آستانه کم‌آبی قرار گرفتن این حوضه، به‌عنوان نمونه انتخاب و ضمن بیان مؤلفه‌های مختلف عرضه و تقاضای آب از دیدگاه‌های مختلف در آن، بر لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب در آن تأکید نمود [3].

حلی‌ساز و همکاران در سال ۱۳۹۷، با بهره‌گیری از روش تحلیل محتوای کیفی، ضمن تعیین روند تحقیقات علمی در مدل‌سازی منابع آب، نگاه حاکم بر مدل‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان کردند که تحلیل محتوای مقالات انتشار یافته در مجله تحقیقات منابع آب از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵ نشان داد که در مدل‌سازی منابع آب سطحی بر ارزیابی مدل تمرکز بیشتری است، در حالی که در آب‌های زیرزمینی دغدغه دستیابی مدلی بهینه برای بهره‌برداری بیشتر، حاکم است. بررسی اهداف مدل‌سازی نشان دهنده عدم اجماع در انتخاب مدلی بهینه است که می‌توان آن را به دلیل ماهیت مدل و پدیده مورد بررسی دانست. آن‌ها پیشنهاد به ارائه یک ابر مدل به منظور یکپارچه سازی و ایجاد تسلسل در خروجی مدل‌های منابع آب را دادند که ضرورت نیل به چنین ابر مدلی را: (۱) نگاه یکپارچه برمدل‌های منابع آب، (۲) درهم پیچیدگی‌های شرایط اقلیمی و طبیعی کشور و (۳) منشأ و کاربردهای متکثر (۴) درهم پیچیدگی و تکثرهای سازمانی، عنوان کردند که تلاش می‌کند جهت حرکت از «تخمین به تخصیص» را به «هدف به تخمین» در منابع آب تغییر دهد [1].

۳- نتیجه‌گیری

مفهوم مدیریت جامع منابع آب در پاسخ به پافشاری‌های روز افزون ناشی از رشد بی‌رویه جمعیت و توسعه اقتصادی- اجتماعی بر سیستم‌های منابع آب مطرح شده است. مسئله کمبود آب و کاهش کیفیت آن، بسیاری از کشورهای جهان را وادار ساخته است که دیدگاه‌های خود در زمینه مدیریت منابع آب را مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار دهند. در نتیجه، دیر یا زود سیستم مدیریت منابع آب در معرض یک تغییر اساسی در سطح جهان قرار خواهد گرفت و از یک دیدگاه مبتنی بر اصول مهندسی که اساساً بر تأمین آب تکیه دارد، به یک دیدگاه فراهشی مبتنی بر مدیریت تقاضای آب تغییر موضع خواهد داد. در هر کشوری برای رسیدن به توسعه پایدار، مدیریت یکپارچه منابع آب ضروری و حیاتی

¹ ANew Model for Integrated (ANEMI) Assessment of Global Change

² Karamouz & et al.

است و بی تردید یکی از طرح‌ها و ابتکارات دولت‌ها می‌باشد. از آنجایی که IWRM می‌تواند امنیت پایدار آب را برای شهروند در قرن ۲۱ فراهم کند، لذا چالش اصلی اجرای بموثر آن است.

در بین طرح‌های اجرایی مدل‌سازی یکپارچه، مدل داینامیک و یکپارچه کای و همکاران و دیویس و سیمونویچ با در نظر گرفتن بازگردانی پساب مصارف مختلف و تعادل شوری و املاح آب با رویکرد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی با توجه به مشکلات آبی کشور بیشتر مورد توجه بوده و کارایی بهتری برای موقعیت کنونی منابع آب را دارند.

با توجه به وسعت، تنوع آب و هوایی حاکم و وضعیت توپوگرافیک ایران جهت اجرای موفق IWRM لازم است طرح‌ها و تجربیات موفق در سراسر جهان را بررسی نمود و و از بین آن‌ها با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، موقعیت جغرافیایی و تطابق مناسب آن‌ها با حوضه‌های آبریز ایران در راستای مقابله با بحران کم آبی و مدیریت تأمین و تقاضا الگو برداری کرد تا با این روش بتوان عدم قطعیت‌ها و ریسک طرح‌های اجرایی را به حداقل رساند.

۴- قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه تهران و سازمان حفاظت محیط زیست ایران که امکانات و اطلاعات لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه را تأمین کردند تشکر می‌شود.

مراجع

[1] حلی‌ساز، ا.، صفی‌خوانی، س. و ملک‌حسینی، ب. ضرورت ابر مدل منابع آب و یکپارچه‌سازی زنجیره‌ی خروجی مدل‌ها، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۱)، ۲۹۰-۲۸۵، ۱۳۹۷.

[2] حیدرپور، غ.ح.، قاسمی، م.، کاظمی، ع. مدیریت یکپارچه منابع آب در اصفهان: حوضه زاینده رود، دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد - انجمن هیدرولوژی ایران، شهرکرد، ۱۳۹۶.

[3] صفوی، ح. ر. مدیریت جامع منابع آب در مقیاس حوضه‌های آبریز، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی، تهران، ۱۳۸۷.

[4] میرصانع، ز. و کاویانپور، م. ر. بررسی شرایط و اصول به‌کارگیری مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب در سطح حوضه آبریز، راهکارها و نحوه اجرایی کردن آن، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز - انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، تبریز، ۱۳۸۷.

[5] انوری اسفندیاری، ا. و عراقی‌نژاد، ش. مدیریت به‌هم پیوسته و ارزیابی منابع آب کشور. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز - انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، تبریز، ۱۳۸۷.

[6] Ako, A. A., Eyong, G. E. T., & Nkeng, G. E. Water resources management and integrated water resources management (IWRM) in Cameroon. *Water resources management*, 24(5), 871-888, 2010.

[7] Bandaragoda, D. J. and Mukand, S. Babel, Institutional development for IWRM: an international perspective, *International Journal of River Basin Management*, 8:3-4, 215-224, 2010.

[8] Cai, X., McKinney, D. C., & Lasdon, L. S. Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management. *Journal of water resources planning and management*, 129(1), 4-17, 2003.

[9] Davies, E. G., & Simonovic, S. P. Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system. *Advances in water resources*, 34(6), 684-700, 2011.

[10] de Camp, L. S. Xerxes' Okapi and Greek Geography. *Isis*, 54(1), 123-125, 1963.

- [11] Embid, A. The transfer from the Ebro basin to the Mediterranean basins as a decision of the 2001 National Hydrological Plan: the main problems posed. *International Journal of Water Resources Development*, 19(3), 399-411, 2003.
- [12] Fritsch, O. Integrated and adaptive water resources management: exploring public participation in the UK. *Regional Environmental Change*, 17(7), 1933-194, 2017.
- [13] GWP. Setting the stage for change: second informal survey by the GWP network giving the status of the 2005 WSSD target on national integrated water resources management and water efficiency plans, 2006.
- [14] Han, M., Qingwang, R., Wang, Y., Du, J., Hao, Z., Sun, F. & Li, D. Integrated approach to water allocation in river basins. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(2), 159-165, 2012.
- [15] Karamouz, M., Ahmadi, A., & Falahi, M. International Perspective of Water Resources Planning and Management in 2050. *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries* (pp. 777-785), 2012.
- [16] Lin, C. E., Kao, C. M., Surampalli, R. Y., Lai, Y. C., Lee, M. S., & Wu, C. Y. Integrated water resource management for Kaoping River Basin. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 14(2), 151-156, 2009.
- [17] Loucks D. P., Beek E., Stedinger J. R., Dijkman J. P. M., and Villaers M.T. *Water resources system planning and management an introduction to method, models and applications*. Paris: Unesco, 2005.
- [18] Loucks, D. P., Stedinger, J. R., and Haith, D. A., *Water resources systems planning and analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [19] Mainuddin, M., Kirby, M., & Qureshi, M. E. Integrated hydrologic-economic modelling for analyzing water acquisition strategies in the Murray River Basin. *Agricultural Water Management*, 93(3), 123-135, 2007.
- [20] Mitchell, B. IWRM in practice: lessons from Canadian experiences. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 135(1), 51-55, 2006.
- [21] Rahaman, M. M. and Varis, O. Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: science, practice and policy*, 1(1), 15-21, 2005.
- [22] Rahaman, M. M., Varis, O., & Kajander, T. EU water framework directive vs. integrated water resources management: The seven mismatches. *International Journal of Water Resources Development*, 20(4), 565-575, 2004.
- [23] Sandoval-Solis, S. and McKinney, D. C. *Water planning and management for large scale river basins: Case of study of the Rio Grande/Rio Bravo transboundary basin*. Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin, 2011.
- [24] Silva-Hidalgo, H., Martín-Domínguez, I. R., Alarcón-Herrera, M. T., & Granados-Olivas, A. Mathematical modelling for the integrated management of water resources in hydrological basins. *Water Resources Management*, 23(4), 721-730, 2009.
- [25] Water, U. N. Status report on integrated water resources management and water efficiency plans. Prepared for the 16th session of the commission on sustainable development Google Scholar, 2008.
- [26] World Commission on Environment and Development. *Report of the world commission on environment and development: Our common future*. Published as Annex to General Assembly document A/42/427, 1987.
- [27] Yen, J. H., & Chen, C. Y. Allocation strategy analysis of water resources in South Taiwan. *Water resources management*, 15(5), 283-297, 2001.