



## مدل‌سازی منابع و مصارف آب حوضه‌های آبریز از طریق پیاده‌سازی حکمرانی

داده در رصدخانه آب و انرژی (مطالعه موردی: پیاده‌سازی پیشخوان مدیریت منابع و مصارف در

حوضه آبریز کرخه)

مصطفی معصومی<sup>۱</sup>، عارف وائلی<sup>۲</sup>، غلامحسین کریمی<sup>۳</sup>، کیوان بوالحسنی<sup>۴</sup>، اردشیر کلانی<sup>۵</sup>، حسین انصاری<sup>۶</sup>

۱-۵ و ۳، ۲، ۱- به ترتیب مدیریت، رئیس گروه اطلاع‌رسانی و پایش اطلاعات منابع آب و انرژی، رئیس گروه مدل‌های آب و انرژی و رئیس گروه برنامه‌ریزی و تلفیق بانک‌های اطلاعاتی، رصدخانه آب و انرژی، سازمان آب و برق خوزستان، ایران. ۴- مدیر پروژه مطالعات رصدخانه آب و انرژی، شرکت مهندسی مشاور هیدروتک توس، مشهد، ایران. ۶- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران و مشاور عالی شرکت مهندسی مشاور هیدروتک توس، مشهد، ایران.

Karimi.g@kvpa.ir \*



### چکیده

فقدان ابزارهای لازم (پیشخوان‌های مدیریتی و ...) صرفاً با استفاده از تجارب و قضاوت‌های مدیران و کارشناسان مربوطه و با تأخیر صورت می‌گرفت و چنانچه یک نقطه از رودخانه با کمبود آب مواجه می‌شد، این کمبود عمدتاً از طریق افزایش رهاسازی جریان از سد (تأمین از منبع) جبران می‌شد؛ اما از سال ۱۳۹۵ و به‌ویژه در خشک‌سالی‌های اخیر، رویکرد سازمان در توزیع آب به مدیریت مصرف تغییر یافت و به تدریج طی دو سال گذشته، زیرساخت و شرایط لازم برای این نوع مدیریت ایجاد شد، به طوری که در خشک‌سالی تابستان ۱۴۰۰، رویکرد جدید از طریق: (۱) توسعه و پیاده‌سازی پیشخوان مدیریت منابع و مصارف آب در رودخانه‌ها، (۲) پایش روزانه منابع و مصارف به منظور تعیین میزان انحراف از برنامه‌ریزی انجام‌شده و (۳) تدوین برنامه اقدام برای پاسخ به وضعیت‌های خارج از برنامه، به‌طور کامل پیاده‌سازی و اجرا گردید. در خشک‌سالی تابستان ۱۴۰۰، مدیریت توزیع آب با رویکرد جدید در رودخانه کرخه در محدوده پایین‌دست سد مخزنی اعمال شد که طی آن از طریق کنترل مصارف، کاهش قابل‌توجهی در تلفات آب در طول رودخانه صورت گرفت و بین منابع و مصارف، تعادل مناسبی برقرار شد. مقایسه حجم آب توزیع‌شده با رویکرد قدیمی (مدیریت عرضه) در شرایط خشک‌سالی تابستان ۱۳۹۲ و حجم آب توزیع‌شده با رویکرد جدید (مدیریت مصرف) در شرایط خشک‌سالی تابستان ۱۴۰۰ نشان می‌دهد که اعمال رویکرد جدید در سطح ۳۴۲۷۲ هکتار از اراضی کشاورزی تحت کشت تابستانه در محدوده ذکرشده، ضمن افزایش بهره‌وری باعث صرفه‌جویی آب به میزان ۶۹۲ میلیون مترمکعب شد. این کار، نوآوری و تجربه منحصر به فردی بود که لازمه آن اهتمام مدیریت و رهبری جهت اجرای حکمرانی داده (ایجاد یکپارچگی و تمرکز در داده‌ها، اطلاعات، هماهنگی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها، تعریف فرآیندها، آستانه‌ها، برنامه‌ها و بهره‌گیری از ابزارها و فن‌ها) بود که به ابتکار مدیران ارشد سازمان آب و برق خوزستان و همکاری مؤثر معاونت‌های تخصصی در مجموعه رصدخانه آب و انرژی خوزستان به‌عنوان پایلوت رصدخانه ملی آب ایران فراهم گردید و روش و الگوی جدیدی برای افزایش بهره‌وری منابع و مصارف آب در سال‌های آتی و در سطح کشور تهیه شد. **واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری مصرف آب، حوضه آبریز کرخه، رصدخانه آب و انرژی، منابع آب.

در سال‌های اخیر محدودیت منابع آب و انرژی و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آنها، عامل اصلی و محدودکننده توسعه کشور بوده است. از یک طرف جمعیت و بخش‌های مرتبط با آن، رشد چشم‌گیری داشته است. از طرف دیگر، حرکت رو به رشد بخش‌های مختلف مصرف‌کننده، لزوماً با توسعه منابع آب همسو نبوده است. به عبارت دیگر، افزایش تقاضا برای آب و انرژی در کشور با تخریب شدید کمی و کیفی منابع آب همراه بوده است. همچنین اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاکم بر کشور و کمبود بارش‌ها و در نتیجه کمبود منابع آب موجب ایجاد چالش برای توسعه پایا شده است. یک ابزار مدیریتی جهت کنترل کمی و کیفی منابع آب، استفاده از ابزارهای مدیریتی برخط و به‌روز و استفاده از آنها در قالب رصدخانه آب و انرژی جهت مدیریت بهینه منابع و مصارف است؛ و همواره بر این نکته تأکید شده که پایش و ارزیابی برخط<sup>۱</sup> منابع و مصارف آب، کلید موفقیت مدیریت آب خواهد بود. در راستای مدیریت بهینه و ارزیابی برخط منابع و مصارف آب در بخش‌های مختلف توسعه رصدخانه آب و انرژی می‌تواند ضمن بهبود «وضعیت داده و اطلاعات»، شرایط مناسبی از جهت «برنامه‌ریزی»، «مدیریت پویا» و «نحوه تعامل با سازمان‌های مرتبط» ایجاد نماید. چنین زیرساختی موجب کاهش و یا حذف وضعیت ناکارآمد اطلاعات از لحاظ پراکندگی، تعدد، تناقص، عدم انسجام و ... و نهایتاً سرگردانی تصمیم‌گیران خواهد شد. همچنین می‌توان با اعمال سناریوهای برخط در شرایط زمانی و مکانی خاص، امکان کاهش یا افزایش تخصیص آب به واحدهای مختلف را فراهم نمود. علاوه بر آن، ضمن بهینه‌سازی منابع و مصارف، موجب توجه به آستانه مخاطرات گردید. سازمان آب و برق خوزستان طی خشک‌سالی‌های دهه گذشته، رویکرد خود را در توزیع آب به تدریج از مدیریت عرضه (تأمین) که با بهره‌وری پایین همراه بود، به مدیریت تقاضا (مصرف) معطوف نمود. به‌عنوان مثال در شرایط خشک‌سالی مشابه سال ۱۳۹۲ در حوضه کرخه، توزیع آب در رودخانه با اولویت مدیریت عرضه صورت می‌گرفت. بدین صورت که هنگام رهاسازی جریان از سد مخزنی در بالادست، کنترل برداشت‌ها (مصارف) در رودخانه پایین‌دست سد به علت

خوشبختانه، با پیشرفت‌های علوم رایانه (ICT)<sup>۱</sup> در عصر حاضر، امکانات بی‌نظیری برای استقرار نظام «پایش-تصمیم» در قالب رصدخانه و به عنوان یک ابزار «پشتیبانی از تصمیم (DSS)<sup>۲</sup>» در دسترس قرار دارد. در این راستا، طی سالیان گذشته به تدریج امکانات و شیوه‌هایی به شرح زیر فراهم شده و تجمیع آن‌ها در قالب رصدخانه‌های آب و انرژی، موجب ارتقای مدیریت آب خواهد شد.

- داده‌گردانی الکترونیک از سنجش داده تا پالایش و ثبت داده‌های موثق (بانک و مدیریت داده)؛
- تولید و توزیع اطلاعات مدیریتی (MIS)<sup>۳</sup> شامل گزارش وضعیت منابع و مصارف آب و صدور هشدار و اخطار، حسب نیاز؛
- تصویرسازی از فضای تصمیم‌گیری برای هر فرد یا یک گروه برای درک بهتر و سرعت عمل؛ و
- تحلیل شرایط با انواع مدل‌سازی، حسب مورد.
- لازم به یادآوری است، در مسیر تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری، به‌ویژه برای اخذ تصمیمات سریع و صحیح در هنگام وقوع بحران‌ها، سه نکته خودنمایی می‌کند که امکانات فوق‌پاسخگوی آن نیست.
- حساسیت تصمیمات (گاهی تا حد احتمال تلفات جانی)، که بر مسئولیت‌سهمگینی را بر دوش تصمیم‌گیران می‌گذارد؛
- ضرورت اخذ تصمیمات سریع، که خود می‌تواند به اشتباه در تصمیم‌گیری منجر گردد؛ و

• نبود فرصت برای پالایش داده‌های زمان‌واقعی، که درک صحیح از شرایط واقعی را گاهی غیر ممکن می‌سازد؛ مگر با بهره‌گیری از دانایی و تجارب خبرگان تخصصی.

در این حالت، فرآیند تصمیم‌گیری با فشار شدید روانی برای تصمیم‌گیرنده (فرد حقوقی یا حقیقی) همراه خواهد بود؛ که در صورت تداوم بحران، هر نیروی کارآمدی را از پای در می‌آورد. برای رفع این مشکل، گام جدیدی در تصمیم‌گیری مبتنی بر اخذ تصمیمات تخصصی ۳۶۰ درجه با عنوان «رصدخانه»<sup>۱</sup> و نیز با بهره‌گیری از خبرگان تخصصی، بر امکانات فوق‌افزوده شده است. این شیوه که ابتدا برای شهرها توسعه یافته؛ امروزه در مدیریت آب نیز جای گرفته است. در ادبیات مدیریت آب، از آن با عنوان سیستم «مراقبت و پاسخ (یا کنترل)<sup>۱۱</sup>» نیز نام برده می‌شود.

### تجربیات جهانی در زمینه رصدخانه آب و انرژی

طی تحقیقی در ادبیات رصدخانه‌ها، داشبوردها و پایشگرهای آب و انرژی، که عمدتاً از تاریخ آنها به دست آمده‌اند، در جدول (۱) ارائه شده است. موارد یافت شده در مرور تجربیات جهانی، عمدتاً کاربردهایی از فناوری اطلاعات و ارتباطات در مدیریت یکپارچه منابع آب محسوب می‌شوند.

استان خوزستان در جنوب غربی ایران واقع شده و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک با بارندگی متوسط ۳۳۶ میلی‌متر در سال است. منابع آب این استان از طریق ۹ سد مخزنی تأمین می‌شود که در فصل بارندگی (از ابتدای آذر تا اواخر اردیبهشت‌ماه) آب موردنیاز برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی در فصل خشک (از اواخر اردیبهشت تا اواخر آبان‌ماه) را ذخیره می‌کنند. به دلیل تغییرات اقلیمی، این استان طی پنج سال اخیر به‌طور متناوب با پدیده‌های حدی کم‌سابقه از جمله سیلاب و خشک‌سالی مواجه بوده است. در شرایط سیلاب، وجود تلفات در رهاسازی آب از سدها، باعث تقویت ذخیره آب در تالاب‌ها و بهبود (کاهش) وضعیت شوری در انتهای رودخانه‌ها می‌شود؛ اما در شرایط خشک‌سالی به دلیل کمبود آب، تأمین و توزیع مناسب آب میان ذی‌نفعان و جلوگیری از تلفات آب در رودخانه‌ها، اهمیت حیاتی دارد. به همین منظور طی خشک‌سالی‌های اخیر با تغییر رویکرد در توزیع آب به مدیریت مصرف و ایجاد زیرساخت و شرایط لازم برای این نوع مدیریت، از طریق توسعه و پیاده‌سازی پیشخوان مدیریت منابع و مصارف آب در حوضه‌ها فراهم شد. در ادامه به شرح رویکرد موردنظر اشاره شده است.

### ضرورت رصدخانه

دو ضرب‌المثل بسیار مهم دنیای مدیریت و کسب و کار عبارتند از: (۱) «آنچه را نتوان اندازه گرفت؛ نمی‌توان بهبود داد»؛<sup>۲</sup> و (۲) «مدیریت برای انجام صحیح کارها است؛ و رهبری، هدایت‌گر امور، به مسیر کارهای صحیح می‌باشد».<sup>۳</sup> بعد از شنیدن/خواندن این دو مثل، اولین چیزی که به ذهن‌خطور می‌کند، اهمیت داده و اطلاعات در مدیریت است. در راستای اجرای صحیح برنامه‌ها و ارزیابی مستمر از پیشرفت کارها، در دست داشتن اطلاعات موثق و کافی از جریان کارها الزامی است. بنابراین ضرورت وجود یک نظام «سنجش و پایش، کنترل و ثبت داده‌ها، تحلیل‌گری و تلفیق» (شکل ۱) برای ارزیابی مستمر بازده<sup>۴</sup> و کارایی<sup>۵</sup> فعالیت‌های یک سازمان در سطح عملیاتی و ارزیابی اثربخشی<sup>۶</sup> آن در سطح راهبردی، ضروری است.



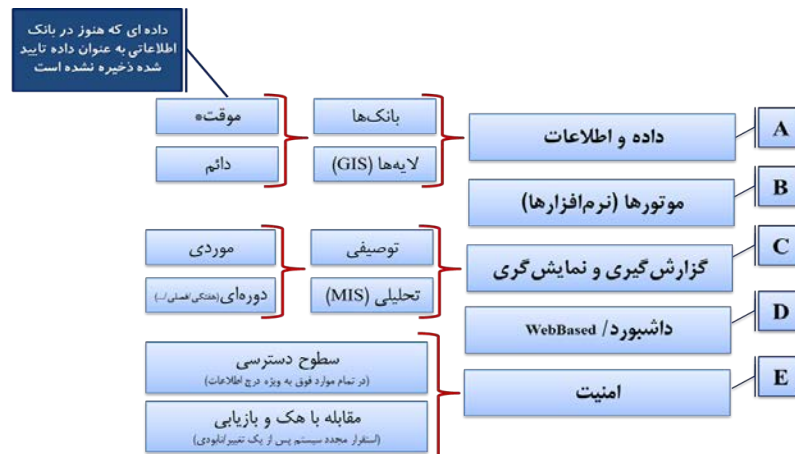
شکل ۱- نمای عمومی نظام «پایش-تصمیم»

جدول ۱- فهرست برخی از رصدخانه‌ها، داشبوردها و مراکز پایش آب و انرژی در سطح جهان

ردیف	نام مرکز	تارنما	موضوع	محل توسعه دهنده	محل تحت پوشش
۱	National Water Center	<a href="https://water.noaa.gov/about/nwc">https://water.noaa.gov/about/nwc</a>	مدیریت و مهندسی آب	NOAA در دانشگاه آلاباما	ایالات متحده آمریکا
۲	California Department of Water Resources	<a href="http://www.water.ca.gov/">http://www.water.ca.gov/</a>	مهندسی و مدیریت آب	اداره منابع آب کالیفرنیا ساکرامنتو-کالیفرنیا	ایالت کالیفرنیا
۳	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	<a href="https://www.csiro.au/">https://www.csiro.au/</a>	آب/ زمین/ انرژی/ غذا	دولت فدرال استرالیا واقع در شهر سیدنی	استرالیا
۴	Center for Hydrometeorology & Remote Sensing	<a href="https://chrs.web.uci.edu/">https://chrs.web.uci.edu/</a>	مهندسی آب/ سنجش از دور	وابسته به دانشگاه کالیفرنیا-ایروان	حوضه‌های آبریز محلی تا قاره‌ای
۵	K-Water	<a href="https://publications.iadb.org/publications/english/document">https://publications.iadb.org/publications/english/document</a>	مهندسی و مدیریت آب/ مدیریت ریسک و بحران	اداره تأمین آب شرب شهری	کره جنوبی
۶	Korea Rural Community Corporation (KRC)	<a href="https://www.ekr.or.kr/english/cms/index.krc?ME-&lt;br/&gt;NUMST_ID=21410">https://www.ekr.or.kr/english/cms/index.krc?ME- NUMST_ID=21410</a>	آب، اقلیم، غذا	مجمع همکاری‌های شهری کره جنوبی	جنوب شرق آسیا، غرب آفریقا و آمریکای شمالی
۷	Glo Fast	<a href="https://www.globalfloods.eu/glofas-forecasting/">https://www.globalfloods.eu/glofas-forecasting/</a>	مهندسی و مدیریت آب/ مدیریت ریسک و بحران	شرکت های وابسته به اتحادیه اروپا	بین‌المللی
۸	DIAS (Data Integration and Analysis System)	<a href="http://waterportal.ceos.org/">http://waterportal.ceos.org/</a>	آب، تغییر اقلیم، آب و هوا	شرکت مهندسی ژاپنی	مجموعه CEOS
۹	Institute For Water Resources	<a href="http://www.iwr.usace.army.mil/">http://www.iwr.usace.army.mil/</a>	محیط زیست	ارتش ایالات متحده، رسته مهندسان (USACE)	ایالات متحده آمریکا
۱۰	Office of Water Prediction	<a href="https://water.noaa.gov/">https://water.noaa.gov/</a>	مهندسی منابع آب	NOAA	ایالات متحده آمریکا
۱۱	Inter-American Development Bank (IDB)	<a href="https://publications.iadb.org">https://publications.iadb.org</a>	مدیریت منابع آب در جمهوری کره جنوبی	وزارت محیط زیست دولت کره جنوبی	کره جنوبی
۱۲	International Center for Integrated Water Resources Management (ICIWaRM)	<a href="https://iciwarm.info">https://iciwarm.info</a>	مدیریت منابع آب	ارتش ایالات متحده، سازمان ملل	ایجاد مدل‌های تحلیلی و فنی کاربردی برای ملل
۱۳	National Oceanic and Atmospheric Administration	<a href="https://www.noaa.gov/">https://www.noaa.gov/</a>	مدیریت و مهندسی آب/ محیط زیست	سازمان پژوهشی فدرال آمریکا	ایالات متحده آمریکا
۱۴	U.S Climate Resilience Toolkit	<a href="https://toolkit.climate.gov/topics/water/water-resources-dashboard">https://toolkit.climate.gov/topics/water/water-resources-dashboard</a>	مدیریت و مهندسی آب/ تاب‌آوری	همکاری چندبخشی از نهادهای دولت ایالات متحده	ایالات متحده آمریکا
۱۵	FEMA Geospatial Resource Center	<a href="https://gis-fema.hub.arcgis.com/">https://gis-fema.hub.arcgis.com/</a>	مهندسی آب/ پدافند غیرعامل	ایالات متحده	ایالات متحده آمریکا
۱۶	WATERS Geo Viewer	<a href="https://www.epa.gov">https://www.epa.gov</a>	مهندسی آب	دولت ایالات متحده آمریکا	ایالات متحده آمریکا
۱۷	Central Water Commission	<a href="http://cwc.gov.in/dashboard">http://cwc.gov.in/dashboard</a>	مهندسی آب	وزارت انرژی دولت هند	هند
۱۸	Dam Rehabilitation and Improvement Project	<a href="https://damsafety.in">https://damsafety.in</a>	مهندسی آب	وزارت انرژی دولت هند	سدهای هند
۱۹	Orange County WaterAtlas	<a href="https://orange.wateratlas.usf.edu">https://orange.wateratlas.usf.edu</a>	مدیریت و مهندسی آب	نهاد آب ایالت فلوریدا جنوبی	ایالت فلوریدا و شهر اورلاندو
۲۰	Groundwater Watch-USGS	<a href="https://groundwaterwatch.usgs.gov/default.asp">https://groundwaterwatch.usgs.gov/default.asp</a>	مدیریت و مهندسی آب	USGS	سفره‌های آب زیرزمینی ایالات متحده آمریکا
۲۱	Water Watch	<a href="https://waterwatch.usgs.gov">https://waterwatch.usgs.gov</a>	مهندسی آب	USGS	ایستگاه‌های ایالات متحده آمریکا

دارای زیربخش‌هایی متعددی مانند: بانک داده، موتورهای محاسباتی، امکانات امنیتی، ابزار نمایشگری، ابزار گزارش‌گیری، و رابط گرافیکی کاربر (GUI) یا داشبورد باشد. سامانه‌ها نیز بر همین اساس طراحی شده و اجزای آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

در رصدخانه آب و انرژی، هر سامانه باید قادر به تحویل خدمت خویش، به درستی و به‌طور کامل و مستمر به کاربران باشد. برای ایفای این مهم، نرم‌افزار باید حداقل



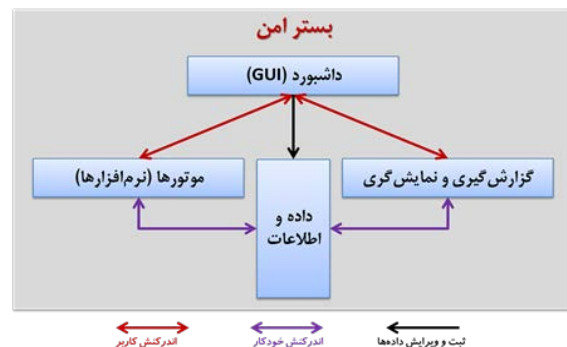
شکل ۲- زیربخش‌های سامانه

ابزارهای مختلف پشتیبانی‌کننده (ابزارهای نمایشگری، تحلیل، MIS، داده‌های برخط و یا زمان واقعی) و میزهای تخصصی با حضور خبرگان است که در شرایط معمول و بحران به مراکز حساس فقط اطلاع‌رسانی می‌کند و آنها بر اساس برنامه‌های عملیاتی که از قبل در واحدهای خود طراحی کرده‌اند، باید برحسب نوع و سطح هشدار وارد عمل شوند. اگر رصدخانه وارد قضاوت شود، نه تنها کار کارشناسی نکرده، بلکه ممکن است ریسک خطر را هم افزایش دهد و بایستی فقط با فعال‌کردن میزهای تخصصی و ابزارهای ویژه هر میز (از قبیل سامانه‌ها و مدل‌های پیچیده نرم‌افزاری و ...) امکان جمع‌آوری نخبگان و اخذ تصمیمات صحیح را فراهم نماید. بدیهی است امکاناتی که در رصدخانه فراهم می‌شود، می‌تواند در شرایط عادی هم به سایر بخش‌های سازمان خدمات‌رسانی کند.

ارکان رصدخانه به شرح زیر می‌باشد:

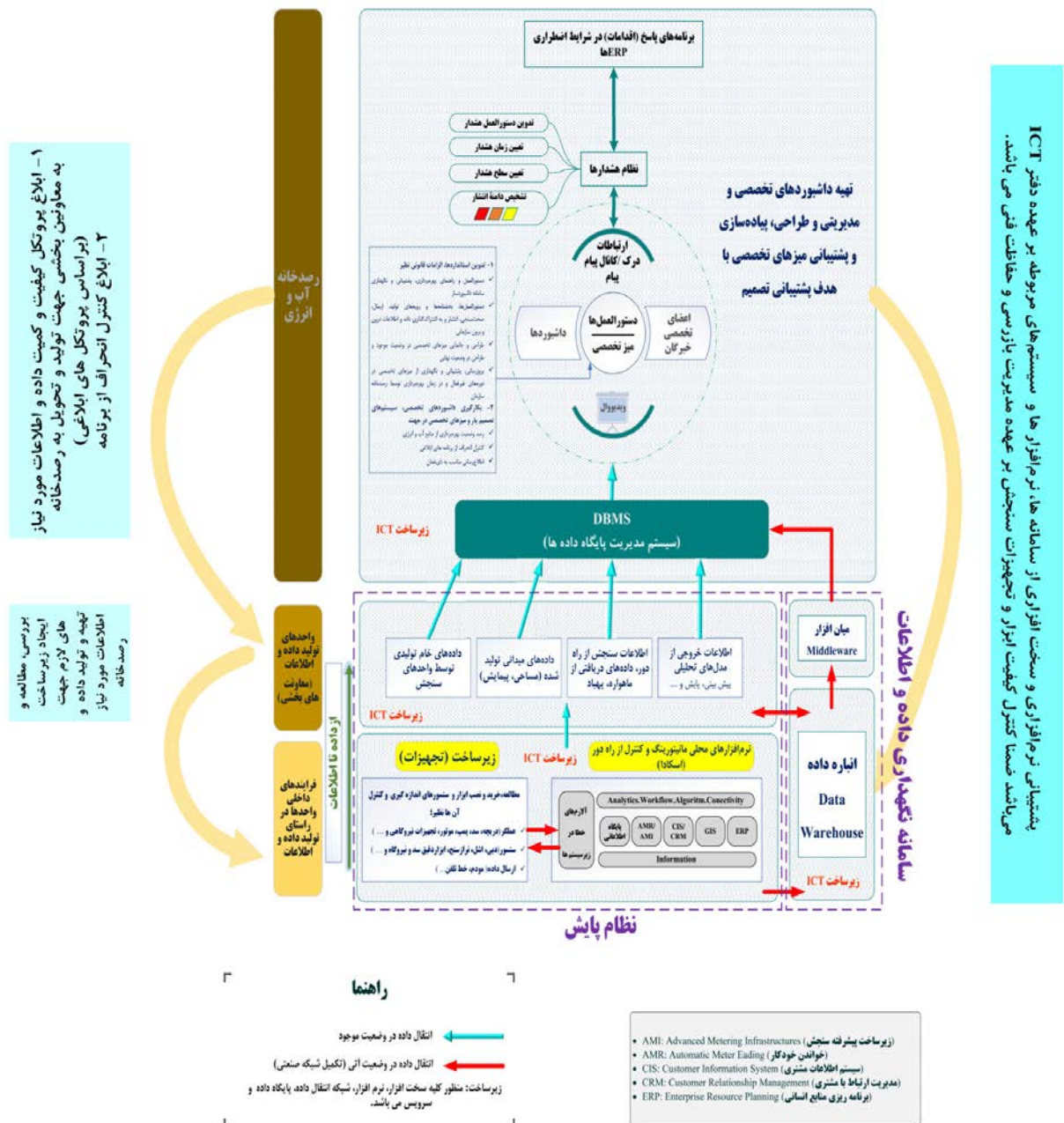
- ۱- داشبوردها و اندیکاتورها؛
- ۲- پروتکل‌های تبادل داده و اطلاعات؛
- ۳- ارتباطات؛
- ۴- نظام هشدار؛
- ۵- نمایشگرهای دیواری؛
- ۶- میزهای تخصصی؛
- ۷- اعضای تخصصی خبرگان؛
- ۸- دستورالعمل پاسخ به شرایط اضطراری (شکل ۴).

اگر امکانات امنیتی به عنوان بستر امن رایانش<sup>۱۳</sup> در نظر گرفته شود؛ نمای کلی تبادل اطلاعات در درون سامانه به شرح شکل (۳) خواهد بود. در این تصویر منظور از «داده‌ها و اطلاعات»، هرگونه داده و اطلاعات دائم یا موقتی است که در سامانه به کار گرفته می‌شود؛ اعم از داده‌های جدولی یا لایه‌ها، مقادیر ثابت و یا سری‌های زمانی، و هر آنچه که مورد نیاز باشد.



شکل ۳- نمای ساده از تبادل اطلاعات در سامانه

هنر طراح رصدخانه آن است که ارتباط شبکه‌ای مجموعه‌ای از سامانه‌ها را به گونه‌ای طراحی نماید که داده آن با دقت و کیفیت مورد نیاز، برای تولید اطلاعات (سفارش داده شده) مفید باشد؛ و در عین حال گردآوری آن کمترین هزینه را به سازمان تحمیل نماید. رصدخانه مجموعه‌ای از سامانه‌های مورد اشاره در شکل (۳) یا



شکل ۴- ارکان رصدخانه و نحوه ارتباط آنها با همدیگر

آغاز کرد که منجر به تهیه یک مدل مدیریت منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز گردید. منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز رودخانه کرخه در حدفاصل سد مخزنی کرخه تا تالاب بین‌المللی هورالعظیم است که در این محدوده، طول شاخه اصلی رودخانه و شاخه‌های فرعی آن به نام‌های کرخه نور، هوفل، نیسان و سابله، جمعاً حدود ۵۰۰ کیلومتر است. در شکل (۵)، موقعیت رودخانه و نقاط برداشت در حوضه ارائه شده است.

**اقدامات انجام شده**

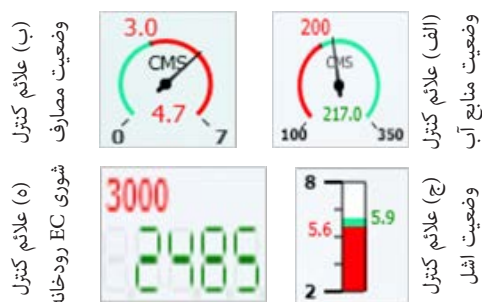
سازمان آب و برق خوزستان از نیمه اول سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با دریافت اولین نشانه‌ها و هشدارهای وقوع خشک‌سالی و مواجه شدن با پیامدهای تنش آبی در اکثر حوضه‌های آبریز رودخانه‌های استان، در ادامه رویکرد جدید خود (مدیریت مصارف)، اقداماتی را با هدف مدیریت خشک‌سالی در فصل خشک پیش‌رو

تجاوز می‌نمود، مراتب سریعاً اطلاع‌رسانی شده و اقدام مقتضی به عمل می‌آمد. در خصوص مصارف نیز مقادیر برنامه یا سهم هر برداشت‌کننده بر اساس نیاز آبی برآورد شده در دوره‌های ۱۰ روزه، تعیین شد. به‌گونه‌ای که اگر یک مجموعه برداشت‌کننده بیش از سهم خود برداشت می‌نمود، مراتب اطلاع‌رسانی شده و اقدام لازم به عمل می‌آمد.

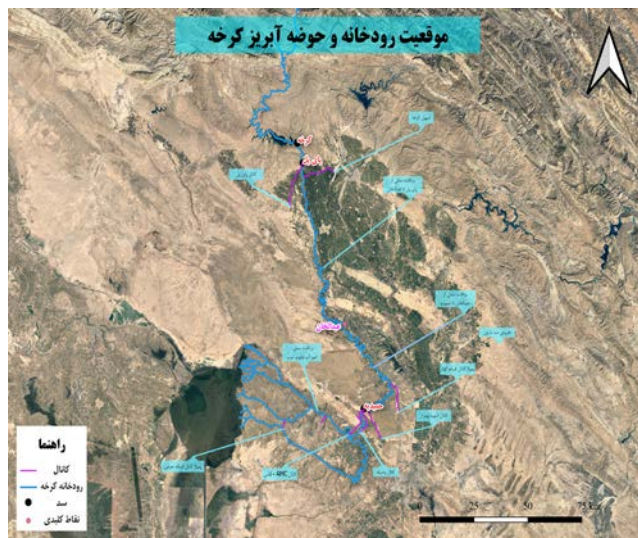
۴. تعیین برنامه رهاسازی آب از سد مخزنی کرخه بر اساس محاسبه مجموع مصارف و سایر محدودیت‌ها: همان‌گونه که ذکر شد، برنامه مصارف بر اساس برآورد نیاز آبی ۱۰ روز آینده برای هر مصرف‌کننده تعیین می‌شد. درنهایت با محاسبه مجموع مصارف و در نظر گرفتن سایر محدودیت‌ها نظیر نیازهای زیست‌محیطی پایین‌دست (تالاب هورالعظیم)، دبی لازم برای حفظ کیفیت آب در انتهای رودخانه و ...، دستورالعمل رهاسازی از سد مخزنی تعیین می‌شد.

۵. توسعه پیشخوان ریسک خشک‌سالی (مدیریت منابع و مصارف): در این خصوص ابتدا بر اساس شناسایی و تعیین نقاط کلیدی منابع و مصارف در پایین‌دست و مجاورت رودخانه کرخه، نقشه شماتیک رودخانه و موقعیت‌های کلیدی تهیه شد، سپس پیشخوان منابع و مصارف، با ایجاد زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری لازم از مرحله دریافت داده‌های به‌روز نقاط کلیدی تا مرحله انتشار اطلاعات، در مقیاس روزانه تهیه گردید. به‌منظور پایش و رصد وضعیت منابع و مصارف حوزه، پارامترهای کمی و کیفی شامل پارامترهای دبی، اشل و هدایت الکتریکی (EC) به همراه نمایش مقادیر آستانه‌های کنترلی منابع و مصارف (سهم یا برنامه مصارف) و مقادیر واقعی پارامترها در هر نقطه کلیدی با نمایش علائم کنترلی نشان‌دهنده هشدار و وضعیت پارامترها در نظر گرفته شد که در شکل (۶) نشان داده شده‌اند:

در شکل (۷، الف تا ج) نیز به ترتیب مدل‌های شماتیک پیشخوان منابع در نقاط کلیدی، شماتیک پیشخوان مصارف و زیرمجموعه‌های مصارف نقاط کلیدی (مثال: شرکت بهره‌برداری کرخه و شاور) نشان داده شده است.



شکل ۶- علائم کنترل وضعیت پارامترهای منابع و مصارف (کمی و کیفی) رودخانه در نقاط کلیدی



شکل ۵- موقعیت حوزه آبریز رودخانه کرخه

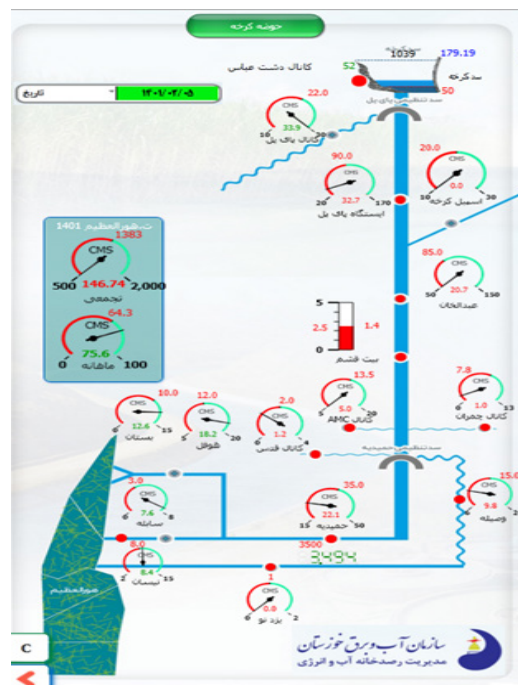
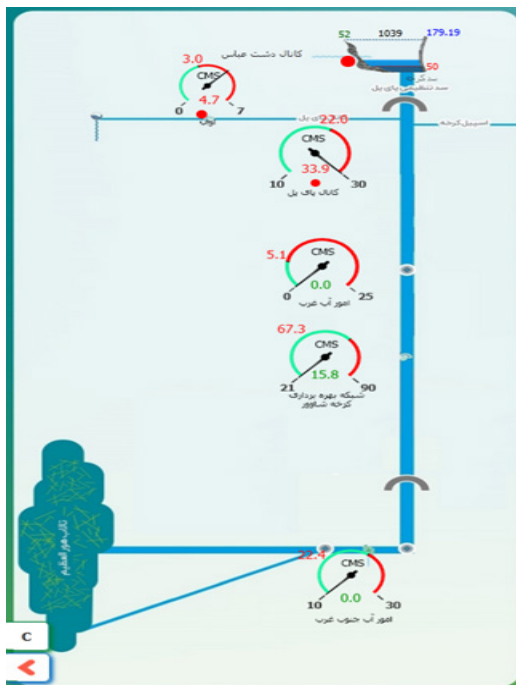
با توجه به پیش‌بینی محدودیت در منابع آب قابل‌برنامه‌ریزی، در محدوده پایین‌دست رودخانه و سد مخزنی کرخه، باهدف کنترل و مدیریت مصارف و کاهش تلفات در توزیع آب کشاورزی در فصل خشک، اقدام به مدل‌سازی منابع و مصارف از طریق پیشخوان مدیریتی منابع و مصارف حوزه آبریز کرخه، صورت گرفت. در این راستا اقدامات به شرح زیر انجام شد:

۱. تعیین نقاط (ایستگاه‌های) کلیدی به‌منظور پایش منابع و مصارف در رودخانه: در این رابطه، طی نشست‌های تخصصی با حضور مدیران ارشد و کارشناسان مطلع، تعداد ۱۸ نقطه کلیدی از منابع که بر اساس تجربیات سال‌های مشابه می‌بایست در رودخانه کرخه مورد پایش روزانه قرار گیرند، تعیین شد. برای مصارف نیز ۵ مجموعه مصارف کلیدی که جمعاً شامل ۱۰ نقطه برداشت بوده‌اند، تعیین شد.

۲. تعیین پارامترهای مهم (دبی، اشل و EC) در ایستگاه‌های کلیدی تعیین‌شده در مرحله قبل: از ۱۸ ایستگاه تعیین‌شده برای منابع، ۱۶ مورد آن به‌منظور رصد و پایش مقادیر دبی، یک مورد برای پایش اشل (تراز سطح آب) و یک مورد نیز برای پایش شوری (EC) در نظر گرفته شد. در مورد مصارف، ایستگاه‌های تعیین‌شده، تماماً به‌منظور پایش دبی برداشت آب در نظر گرفته شدند.

۳. تعیین آستانه‌های هشدار منابع و برنامه (سهم) مصارف در رودخانه: هم‌زمان با تعیین نقاط کلیدی، بر اساس تجربیات کارشناسی سال‌های قبل، برای هر منبع و متناسب با پارامتر انتخاب‌شده، مقداری به‌عنوان آستانه‌های کنترلی هشدار تعیین شد. مقادیر واقعی هر پارامتر به‌صورت روزانه پایش می‌شدند و اگر در یک ایستگاه کلیدی مقدار واقعی پارامتر از مقدار آستانه

(ب) مدل شماتیک پیشخوان مصارف کلیدی حوضه آبریز کرخه



(الف) نقاط کلیدی حوضه آبریز کرخه در مدل شماتیک پیشخوان منابع در



(ج) مدل شماتیک پیشخوان مصارف در یکی از مجموعه‌های کلیدی (شرکت بهره‌برداری کرخه و شاوور)

شکل ۷- مدل‌های شماتیک پیشخوان منابع و مصارف در نقاط کلیدی حوضه آبریز مورد مطالعه

در جدول (۲) مقایسه حجم آب توزیع شده با رویکرد قدیمی در شرایط خشک‌سالی سال ۱۳۹۲ و حجم آب توزیع شده با رویکرد جدید (پیشخوان مدیریتی) در شرایط خشک‌سالی ۱۴۰۰ برای کشت تابستانه در پایین‌دست سد مخزنی کرخه ارائه شده است. میزان صرفه‌جویی صورت گرفته در سطح ۳۴۲۷۲ هکتار از اراضی کشاورزی تحت کشت تابستانه که با پیاده‌سازی مدل منابع و مصارف حوضه از طریق ایجاد پیشخوان‌های مدیریتی جهت افزایش بهره‌وری در توزیع آب حاصل شد، معادل ۶۹۲ میلیون مترمکعب بوده است. به عبارت دیگر از طریق افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی به عمل آمده و با حجم آب توزیع شده یکسان، تأمین آب جهت افزایش سطح زیر کشت تا حد ۷۷ درصد مقدار اولیه مقدور شد که نقش مهمی در تأمین معیشت کشاورزان منطقه داشته است.

### برنامه اقدام به منظور اطمینان از تطابق میزان برداشت‌ها با برنامه مصارف (رعایت سهم برداشت از منابع آب)

با رصد و پایش روزانه مقادیر واقعی منابع و مصارف و مقایسه آن‌ها به ترتیب با مقادیر آستانه منابع و مقادیر برنامه یا سهم مصرف در هر نقطه، اقدام لازم جهت رفع انحراف از آستانه یا برنامه، صورت می‌گرفت که در نهایت باعث صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه و کاهش تلفات در شبکه توزیع آب رودخانه گردید. به عنوان مثال، اگر مصرف‌کننده‌ای بیش از سهم اختصاص یافته برداشت آب انجام می‌داد، اقدامات لازم جهت کاهش برداشت آب مصرف‌کننده صورت می‌گرفت. این اقدامات شامل هشدار به خود مصرف‌کننده، هشدار و اقدام از طریق مراجع بالادستی و در بدترین حالت قطع برق ایستگاه پمپاژ در نقطه برداشت آب بوده است.

جدول ۲- مقایسه حجم آب توزیع شده در سطح حوضه در شرایط خشک سالی

رویکرد مدیریتی	خشک سالی	سطح کشت تابستانه (هکتار)	حجم آب توزیع شده (میلیون مترمکعب)	حجم آب توزیع شده در هکتار (میلیون مترمکعب)	حجم صرفه جویی آب (میلیون مترمکعب)
مدیریت عرضه (تأمین)	۱۳۹۲	۱۹۳۳۲	۸۸۳	۰,۰۴۵۶	۶۹۲
مدیریت تقاضا (مصرف)	۱۴۰۰	۳۴۲۷۲	۸۷۳	۰,۰۲۵۴	

### پیامدهای محتمل

بررسی سوابق رصدخانه‌ها نشان می‌دهد، سامانه‌های موجود هر کدام در بخشی از مسائل آبی فعالیت می‌کنند. می‌توان با تجمیع این سامانه‌ها در یک سامانه جامع و ایجاد یک پایگاه داده جامع، باعث افزایش بهره‌وری در عملکرد شد. در یک نگاه تخصصی و اجمالی می‌توان گفت:

- رصدخانه‌های چند بخشی مستلزم داشتن نیروهایی با طیفی از تخصص‌های گوناگون هستند.
- مشارکت فعال سیاست‌گذاران ارشد به عنوان استفاده‌کنندگان از اطلاعات، لازم و ضروری است.
- کارشناسان آمار و انفورماتیک/مدیریت اطلاعات، برای جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری و مکانی می‌بایست به صورت پیوسته در خدمت این مرکز باشند.
- از آنچه به عنوان مرور ادبیات جهانی می‌توان یاد کرد، برداشت می‌گردد که رصدخانه‌های جهانی مرتبط با آب، در ابتدا نسبت به توسعه قسمت‌های مهندسی آب شامل؛ پایش منابع آبی در اختیار در سد و شبکه‌های آبیاری، سیستم پایش شبکه‌های آبرسانی و سیستم‌های پایش آبخوان زیرزمینی مختص مناطق بهره‌بردار از آب زیرزمینی اقدام گردیده‌اند. توسعه این سیستم‌های پایش نه تنها به عنوان ظهور اولین پیشگرها بلکه به عنوان نقطه قوت دولت‌های ملی و محلی در تصمیم‌گیری بر منابع آبی خود، لحاظ شده است.
- اما از آنجا که بشر همواره به دنبال رشد ابزار در جهت بهبود فهم و درک خود برای اتخاذ تصمیم بوده است، هم اکنون عمده موضوعات مورد استفاده در رصدخانه و میزهای تخصصی پس از گذر از مرحله اولیه مذکور را می‌توان در چند بند زیر خلاصه نمود:
- توسعه سامانه‌های پیش‌بینی قدرتمند جوی با قابلیت پیش‌بینی ۷ روزه در رابطه با پدیده‌های طبیعی از جمله باران، برف، طوفان و ...
- مکانی نمودن<sup>۱۴</sup> داده‌های مربوط به آب و هوا
- توسعه سامانه‌های پیشرفته شبیه‌ساز سیلاب با امکان اعلام از طریق سیستم هشدار برای حاضرین محلی
- توسعه سیستم‌های پیش‌گر و پیش‌بینی‌کننده خشک‌سالی
- توسعه سیستم‌های پایش اجتماعی (همچون برابری حق دسترسی به منابع آب با کیفیت و ...)
- توسعه سیستم هدایت‌کننده کاربر به ابزار محاسبه تاب‌آوری<sup>۱۵</sup>
- توسعه سیستم‌های اقتصادی<sup>۱۶</sup>.

### سیاسگزاری

بدین‌وسیله از مدیریت محترم نوآوری، توسعه فن‌آوری و پژوهش‌های کاربردی، معاونت محترم مطالعات پایه منابع آب و معاونت حفاظت و بهره‌برداری منابع آب سازمان آب و برق خوزستان بابت حمایت‌ها و همکاری‌های بی‌دریغ در راستای این طرح اجرایی که نقش مهمی در مدیریت منابع و مصارف آب استان خوزستان به‌ویژه در عبور از خشک‌سالی سال ۱۴۰۰ داشته است، تقدیر و سپاسگزاری به عمل می‌آید.

### پی‌نوشت

- 1-Online
- 2-If you can't measure it, you can't improve it
- 3-Management is doing things right; leadership is doing the right things
- 4-Efficiency
- 5-Performance
- 6-Effectiveness
- 7-Information and communications technology
- 8-Decision support system
- 9-Management information system
- 10-Observatory
- 11-Surveillance and Response / Control
- 12-Graphical user interface
- 13-Computing
- 14-Spatialize
- ۱۵- مقصود از این بند آن است که خود سیستم قابلیت محاسبه تاب‌آوری منابع طبیعی و اقتصادی و اجتماعی را نداشته، اما در ضمن ارائه راهکارها، داده‌ها را به منظور محاسبه این فرآیند طولانی و پر هزینه، راهنمایی می‌کند.
- ۱۶- نمونه قابل توجهی در این زمینه همچنان یافت نگردیده و به کارشناسان مربوط به آن بند شرح خدمات توصیه می‌گردد در ابتدای شروع کار، نسبت به مرور تخصصی آب و اقتصاد اقدام فرمایند.