

سیستم تصمیم‌یار تحت وب مدیریت تقاضای منابع آب بر مبنای پویایی سیستم‌ها به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی

محمدعلی آراسته^۱

^۱ دانشجوی دکتری فناوری اطلاعات، دانشگاه قم،

کارشناس فناوری اطلاعات، شرکت آب و فاضلاب روستایی استان یزد

Ma.arasteh@gmail.com

چکیده

این مقاله نمونه‌ای از به کارگیری توأمان GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) و سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر وب برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب منطقه می‌باشد و ترکیب فناوری‌های GIS، وب، پویایی سیستم‌ها و DSS (سیستم تصمیم‌یار) است. بر همین اساس اجزاء درگیر GIDSS (GIS+DSS) مورد تحلیل قرار گرفته و رویکرد تحلیل سناریو و توابع GIS توضیح داده شده است. از طریق استفاده از GIDSS در منطقه مورد مطالعه، مدیران و تصمیم‌گیران را قادر می‌سازد تا مدیریت استراتژیک منطقه‌ای و برنامه‌ریزی منابع آب را بهبود بخشیده و بهینه‌سازی مصرف آب را برای برآوردن نیازهای کاربران و حفاظت از منابع آبی به ارمغان آورند.

کلمات کلیدی

GIS؛ مبتنی بر وب؛ سیستم‌های پشتیبانی تصمیم؛ مدیریت تقاضای منابع آب، پویایی سیستم‌ها

۱- مقدمه

با توجه به پیچیدگی سیستم‌های منابع آب، فرآیندهای تصمیم‌گیری مربوط به استفاده از منابع آب هزینه‌های زیاد و نیاز به بررسی و تحلیل جامعی دارند. بسیاری از محققان در توسعه DSS برای حل مسئله پیچیدگی مدیریت منابع آب کار می‌کنند [۱-۴]. روند توسعه فعلی و پیشرفت فن‌آوری اطلاعات مرتبط با GIS و فناوری‌های اینترنت، افق‌های جدیدی برای دانشمندان، توسعه‌دهندگان و کاربران باز می‌کند. سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر GIS، اغلب به عنوان SDSS (سیستم تصمیم‌یار مکانی) شناخته می‌شوند، نوعی از سیستم‌های کامپیوتری هستند که در آن فناوری‌های GIS و DSS برای کمک به تصمیم‌گیرندگان با مسائل دارای ابعاد مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵]. DSS مبتنی بر وب یک سیستم کامپیوتری است که اطلاعات پشتیبانی تصمیم یا ابزارهای پشتیبانی تصمیم را به یک مدیر یا تحلیلگر کسب‌وکار با استفاده از یک مرورگر وب ارائه می‌دهد [۶].

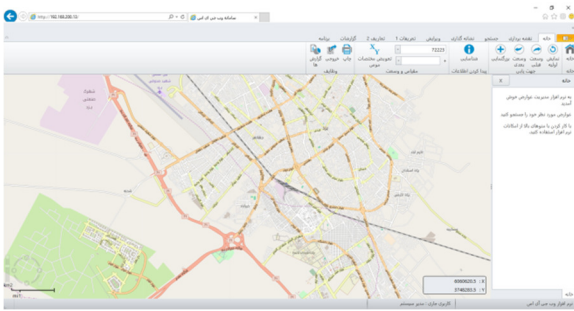
۲- بخش‌بندی مقاله

هدف اصلی طراحی سیستم، ادغام داده‌ها و مدل‌های هیدرولوژیکی، مدیریت تقاضای آب، فرایندهای تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری و توابع اساسی GIS در یک بستر نرم‌افزاری است. همانند اغلب تعاریف سیستم پشتیبانی تصمیم، [۷] GIDSS شامل سه جزء است: الف) یک سیستم مدل، که عملکرد توابع مدل‌سازی را فراهم می‌کند؛ ب) یک سیستم داده‌ای که دسترسی به داده‌ها، اطلاعات و دانش داخلی و خارجی را مدیریت می‌کند. و ج) یک رابط کاربری که پرس و جوهای تعاملی، گزارش دهی و توابع گرافیکی را فراهم می‌کند. اگر چه این ماژول‌ها می‌توانند به طور مستقل اجرا شوند، آن‌ها به طور کامل در بسته GIDSS یکپارچه می‌شوند و می‌توانند در صورت لزوم از طریق پایگاه داده مشترک اطلاعات را تبادل کنند.

سیستم مدل

سیستم مدل قلب GIDSS توسعه‌یافته است و شامل سه ماژول می‌باشد: مودم دسترسی به آب، ماژول تقاضای آب و ماژول تخصیص آب. فواصل زمان‌بندی می‌تواند به عنوان سه سطح یک ماهی، یک‌ساله، پنج یا

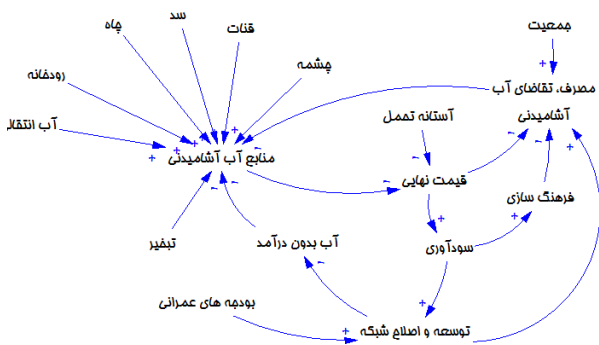
چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق



شکل ۱: رابط کاربری نرم افزار تصمیم یار تحت وب

۲-۱- مدل سازی

هدف مدل در واقع تعادل برقرار کردن میان توزیع و تقاضا به کمک قیمت گذاری می باشد. بر این اساس کاهش منابع آب آشامیدنی باعث افزایش قیمت نهایی می شود و افزایش قیمت باعث کاهش مصرف در آن بازه زمانی می شود. کاهش مصرف یا در واقع کاهش تقاضا موجب کاهش برداشت و در نتیجه حفظ منابع آبی می شود. این افزایش قیمت تا حدی امکان پذیر است و نمی توان بیش از آستانه تحمل کاربران آب را گران نمود. همچنین این قیمت گذاری باعث می شود که در شرایط کم آبی و خشک سالی کاربران بیشتر شرایط را درک کنند و سعی نمایند از مصارف بیهوده یا مصارف غیر آشامیدنی بکاهند. این خود بهترین روند در فرهنگ سازی می باشد.



شکل ۲: مدل علت و معلولی تقاضای منابع آب

۲-۲- حلقه های اصلی مدل

- ۱- حلقه درآمد-هزینه: هدف این حلقه کسب درآمد از افزایش قیمت ها و سرمایه گذاری در جهت بهبود شبکه و فرهنگ سازی برای بهینه سازی مصرف است. افزایش قیمت نهایی باعث افزایش سودآوری شرکت می شود و برخی از هزینه های شرکت جبران می شود. شرکت بخشی از درآمدها را صرف فرهنگ سازی کاربران می کند که خود در بلندمدت باعث بهیگی در مصرف منابع آبی و تعادل عرضه و تقاضا می شود.
- ۲- حلقه فرهنگ سازی: افزایش فرهنگ سازی باعث بهیگی مصرف و در نتیجه حفظ منابع آبی می شود. در نتیجه کاهش قیمت آب و در ادامه نیاز به سرمایه گذاری برای فرهنگ سازی کم می شود.
- ۳- حلقه توسعه و اصلاح شبکه: اصلاح شبکه آب رسانی از طرفی باعث کاهش آب های به هدررفته (آب به حساب نیامده) یا همان آب بدون

ده ساله تنظیم شود. مازول دسترس پذیری آب با هدف برآورد مقدار آب موجود در یک سیستم منابع آب است. منابع آب مورد توجه در این مازول شامل سه بخش است: (الف) آب های سطحی، مانند دریاچه های مصنوعی یا طبیعی و سیستم شبکه رودخانه، (ب) آب انتقالی شامل آب هایی که از استان چهارمحال و بختیاری منتقل شده یا اینکه در یک مجتمع آب رسانی نزدیک به یک روستا به روستاهای اطراف منتقل شده است. (ج) آب های زیرزمینی شامل چاه و قنات و چشمه. مازول تقاضای آب، تقاضای آب منطقه (منظور از منطقه تمام روستا یا بخش هایی هستند که از یک مجتمع آب رسانی سیراب می شوند) را مشخص می کند. سطح اول مربوط به سایت های تقاضا است. سپس، سطح فعالیت مشخص تعریف می شود. سطوح فعالیت در GIDSS از جمله: الف) جمعیت دائمی و گردشگری برای شهرک سازی؛ (ب) تقاضای کشاورزی، مانند استفاده از آبیاری و پرورش حیوانات؛ (ج) صنایع انواع مختلف؛ و (د) استفاده های غیر مصرفی مانند تولید برق آبی و حفاظت از آب های ساحلی در رودخانه ها (تقاضای زیست محیطی). تقاضای آب با ضرب کردن سطح فعالیت کلی توسط میزان مصرف آب محاسبه می شود. سطوح فعالیت و یا میزان مصرف آب می تواند با استفاده از توابع توصیف ویژگی های خاص هر سایت تقاضا یا سطح فعالیت پیش بینی شود. در شرایط کمبود آب، تعادل میان آب موجود در گره های عرضه در بین تقاضاهای مختلفی که به آن ها متصل است، می پردازد [۸]. مازول تخصیص آب می تواند این مشکل را با استفاده از روش بهینه سازی حل کند، که هدف آن، کمینه کردن کمبود نسبی کمبود آب در تمام گره های تقاضا است.

سیستم داده ها

سیستم داده ها به طور مؤثر کسب اطلاعات، مدیریت و تجسم را انجام می دهد. داده ها در یک پایگاه داده مشترک ذخیره می شوند که خروجی از یک مدل می تواند به پایگاه داده برای استفاده به عنوان ورودی به یک مدل دیگر نوشته شود. علاوه بر پایگاه داده ای که در بالا ذکر شد، پایگاه داده GIS قلب سیستم اطلاعات مکانی است. پایگاه داده GIS از طریق مجموعه ای از نقشه ها و جداول با داده های صفتی و سری زمانی، از طریق پروتکل های اتصال به داده پشتیبانی شده توسط فناوری GIS پیاده سازی می شود. نقشه ها اطلاعات اضافی مرتبط با جغرافیایی، مانند جاده، شبکه رودخانه، مرزهای منطقه، استفاده از زمین، محل کارخانه های آب و مخازن و غیره

رابط کاربری

رابط کاربری یک جلسه پویا تعاملی را در یک زمان واقعی اطلاعات بین کاربر و سیستم فراهم می کند. تعدادی از مسائل خاص برای طراحی رابط کاربری، از جمله قابلیت دسترسی، انعطاف پذیری، تعاملی، طرح ارگونومی، پردازش مبتنی بر محتوا، مورد توجه قرار گرفته است [۱۰]. در برنامه GIDSS، رابط کاربر عملکرد اطلاعات ورودی و مشاهده نتایج را از طریق نقشه ها، نمودارها و جداول مناسب فراهم می کند. این نوع اولیه از صفحه نمایش های رابط عبارت اند از: (الف) صفحه نمایش سناریو که به کاربر اجازه می دهد یک سناریو را انتخاب کند؛ (ب) صفحه نمایش ورودی که داده های خام را ارائه می دهد که می تواند توسط کاربران تجدید نظر شود. و (ج) صفحه نمایش خروجی که تفسیر نتایج را ارائه می دهد، که می تواند به تجزیه و تحلیل و درک نتایج کمک کند.

چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق

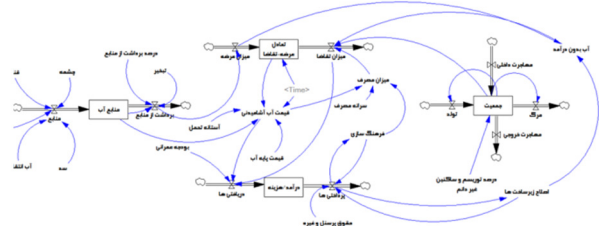
- درآمد می‌شود و در نتیجه حفظ منابع آبی می‌شود. آب بدون درآمد بخش مهمی از منابع آب آشامیدنی و گاهی در برخی نقاط به حدود ۴۰ درصد می‌رسد. حلقه توسعه شبکه از طرف دیگر باعث افزایش خطوط توزیع و در نتیجه افزایش مشترکین می‌شود. این گرچه بسیار خوب است و باعث خدمت‌رسانی بهتر می‌شود ولی از طرف دیگر با افزایش مشترکین میزان مصرف آب افزایش می‌یابد. در نتیجه توسعه شبکه باید با احتیاط و با در نظر گرفتن ظرفیت منابع صورت گیرد.
- در مسئله فرض شده است که شبکه در تمام روستا و به ازای تمامی روستاییان وجود دارد.
- وظیفه آب‌رسانی به روستاها به عهده شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی می‌باشند. این شرکت‌ها صد درصد دولتی بوده و مأموریت آن‌ها رساندن آب آشامیدنی سالم و پایدار به درب خانه‌های روستاییان می‌باشد و لذا درآمدزایی و اصل جبران هزینه‌ها در این شرکت‌ها صدق نمی‌کند. هدف اصلی این شرکت‌ها پایداری منابع آب در جهت تأمین پایدار آب آشامیدنی روستاها می‌باشد.

۳- پیاده سازی

GIDSS یکپارچه در نهایت اجرا می‌تواند به عنوان یک سیستم ۳ بعدی توصیف شود: لایه رابط، وب سرور و سرور داده که سرور نقشه‌های GIS را نیز شامل می‌شود. لایه رابط از مرورگر اینترنت توزیع شده است که دستورات را ارائه می‌دهد و نتایج را از سرور وب نشان می‌دهد. محدوده مرکزی، یک وب سرور با برخی از ماژول‌های برنامه‌نویسی، ارتباطات بین کاربر (از طریق مرورگر وب) و سرور داده را سازمان‌دهی می‌کند و پرس‌وجو و نمایش داده‌های جدولی و گرافیکی خروجی مدل را به کاربر (از طریق مرورگر) فراهم می‌کند. لایه داده برای ذخیره نتایج محاسبات و سایر اطلاعات استفاده می‌شود. سرور نقشه با برخی از دستورات مربوط به نقشه در ارتباط است و نتایج را به سرور وب پاسخ می‌دهد. توابع GIS تعبیه شده از جمله انتخاب لایه نقشه، زوم، تحلیلگر مکانی، داده‌های صفی و نمایش مکانی نتایج. لایه‌های نقشه‌ای که در GIDSS استفاده می‌شود، زمینه‌ای برای مرجع و جهت‌گیری مکانی فراهم می‌کند. GIS همچنین یک روش خودکار برای تعریف ارزش برای پارامترهای مدل توزیع فراهم می‌کند، ابزارهای پویانمایی را برای تجسم و تجزیه و تحلیل توزیع مکانی و زمانی متغیرهای حالت شبیه‌سازی شده، فراهم می‌کند و به مقایسه این متغیرها با اندازه‌گیری‌های مستقل تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها می‌پردازد.

۳-۱- مطالعه موردی

استان یزد با قرار گرفتن در بخش مرکزی فلات ایران و نیز به علت وجود کویرهای بزرگ لوت، دشت کویر تا دریاچه نمک قم، کویر نمک هرات، مروست تا کویر نمک ابرکوه و باتلاق گاوخونی دارای نامناسب‌ترین عوامل طبیعی حاکم بر فلات مرکزی ایران است. این استان به لحاظ واقع شدن در مرکز ایران و دوری از دریا شرایط آب و هوایی ویژه‌ای دارد. از یک طرف بلندی‌های شمالی البرز و غرب زاگرس، مانع نفوذ رطوبت‌های خزری و مدیترانه‌ای است و از سوی دیگر مجاورت استان یزد با کویر خشک و پهناور ایران مرکزی موجب آب‌وهوای خشک صحرائی می‌گردد و به همین دلیل بارش سالانه اندک، رطوبت نسبی ناحیه و نوسانات شدید درجه حرارت سبب گردیده تا استان یزد یکی از خشک‌ترین استان‌های کشور باشد. دور بودن منطقه از سفره‌های آب وسیع، کمی مقدار بارندگی و بالا بودن میزان تبخیر، عامل اصلی این خشکی به شمار می‌آید. فقط گستره‌های نیمه مرتفع و مرتفع کوهستانی استان که به علت پدیده‌های جوی، باران بیشتری



شکل ۳: مدل ذخیره و جریان منابع آب شرب

۳-۲- زیرسیستم‌های اصلی

زیرسیستم قیمت‌گذاری: وظیفه این زیرسیستم قیمت‌گذاری جهت برقراری تعادل میان تولید و تقاضا است.

زیرسیستم اصلاح شبکه و زیرساخت‌ها: وظیفه این زیرسیستم اصلاح زیرساخت‌ها در جهت کاهش آب بدون درآمد درون شبکه می‌باشد (آب بدون درآمد شامل موارد مختلفی از جمله دزدی در شبکه، خراب بودن کنتور، شکستگی پنهان و هدر رفت آب در شبکه، دادن آب مجانی به بخش‌های مختلف و ... می‌باشد)

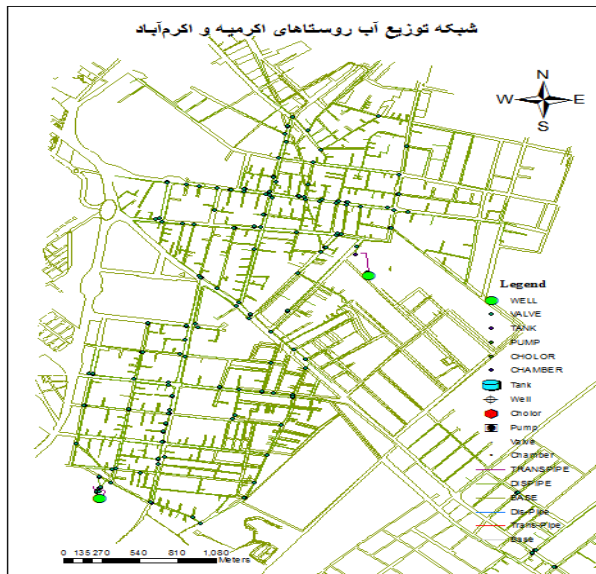
زیرسیستم فرهنگ‌سازی: وظیفه این زیرسیستم ایجاد فرهنگ مصرف آب هست به نحوی که مشترکین بدانند می‌توانند مصرف خود را به روزها و ماه‌هایی منتقل کنند که آب کمتر در خطر است و از وسایلی استفاده کنند که در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود.

۳-۲- مفروضات مسئله

از آنجاکه در نظر گرفتن همه پارامترها به صورتی که در جهان واقعی وجود دارند، در هیچ مدلی امکان‌پذیر نیست، در مدل حاضر نیز برای سادگی کار از یک سری مفروضات استفاده شد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

- از آنجاکه چاه‌های حفر شده برای منابع آب آشامیدنی تنها به همین منظور استفاده می‌شود و همچنین عمق این چاه‌ها بسیار بیشتر از چاه‌های دیگر است، مصرف آب در چاه‌های کم‌عمق تأثیر زیادی بر روی میزان آب چاه آشامیدنی نمی‌گذارد.
- د و لذا از در نظر گرفتن این معیار صرف‌نظر شده است.
- بودجه‌های عمرانی هرساله از طرف دولت تأمین می‌گردد و بهینگی مصرف و بودجه سالانه دولت بر روی میزان این بودجه تأثیرگذار است و لذا نمی‌توان آن را فرموله کرد و تنها به وارد کردن این معیار (به صورت سالیانه) بسنده نموده‌ایم.

چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق



شکل ۵: شبکه آبرسانی روستای اکرمیه

۴- جمع بندی

GIDSS عمدتاً برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب منطقه‌ای، برای تصمیم‌گیری در زمینه تخصیص منابع آب، کمک می‌کند. سیستم توسعه داده‌ها، مدل‌های هیدرولوژیکی و مدیریت آب، پروسه‌های تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری و توابع اساسی GIS را به یک بسته نرم‌افزاری واحد ادغام می‌کند. توسعه موفقیت آمیز این نسخه اولیه GIS و DSS مبتنی بر وب نشان داده است که می‌تواند مدیران و تصمیم‌گیران را قادر به بهبود مدیریت استراتژیک منطقه‌ای و برنامه‌ریزی منابع آب با توجه به بهینه‌سازی استفاده از آب برای رفع تقاضای دینفعان رقابت کند.

مراجع

- [1] Andreu, J., Capilla, J. & Sanchis, E. (1996) AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management, J. Hydrol. 177, 269-291.
- [2] Jamieson, D. G. & Fedra, K. (1996a) The 'WaterWare' decision-support system for river-basin planning. 1. Conceptual design. J. Hydrol. 177, 163-175.
- [3] Zagona, E. A., Terrance, J. F., Richard, S., Timothy, M. & H. M. Goranflo (2001), RiverWare: A Generalized Tool for Complex Reservoir Systems Modeling, J. A Water Resource Assoc 37(4): 913-929.
- [4] Salewicz, K.A. & Nakayama, M. (2004): Development of a Web-based Decision Support System (DSS) for Managing Large International Rivers. Global Environmental Change. 14 (1), 37-25.
- [5] Walsh, M. (1993) Toward spatial decision support systems in water resources. J. Water Resource Planning and Mgmt., ASCE, 119(2), 158-169.
- [6] Power, D. J. Free Decision Support Systems Glossary, DSSResources.COM, World Wide Web, <http://DSSResources.COM/glossary/>, 2004.

دریافت می‌کنند، در گروه اقلیم‌های نیمه‌خشک و نیمه مرطوب قرار می‌گیرند. بارش اندک همراه با تبخیر شدید، دور بودن از دریا، نزدیکی با کویر خشک و پهناور نمک، رطوبت نسبی کم همراه با گرمای بسیار، از عواملی هستند که استان یزد را به گونه خشک‌ترین استان ایران در آورده است. گذشته از آن، در این منطقه نوسان شدید درجه حرارت نیز وجود دارد. به این ترتیب، آب‌وهوای استان یزد به علت قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، دارای زمستان کوتاه، سرد و مرطوب است که از آبان ماه شروع شده و تا اواخر بهمن ادامه دارد و در مقابل از تابستان گرم، طولانی و خشک برخوردار است که از اسفندماه تا مهر به طول می‌انجامد. به‌طوری‌که در مناطق کویری استان، نظیر کویر سیاه کوه، ریگ زرین و دره انجیر، میزان بارندگی سالانه با نوسانی در سالهای خشک و تر، نزدیک ۵۰ میلی‌متر است. ولی در ارتفاعات استان نظیر شیرکوه، باجگان، بن لخت و ندوشن، میزان بارندگی از حدود ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر متغیر است. میزان بارندگی و تبخیر سطحی در یک سال شهرستان‌های این استان در جدول یک آمده است. حفظ منابع آبی در این استان بسیار حائض اهمیت است. به همین دلیل جهت پیاده‌سازی قیمت‌گذاری آب روستایی یکی از روستاهای این استان بنام انتخاب گردید. جهت انجام شبیه‌سازی گام زمانی ماهانه انتخاب گردید و طول دوره آماری برابر ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. متناظر با این دوره آماری آب انتقالی از استان اصفهان نیز به عنوان یکی از داده‌های اصلی ورودی در محل مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۴: مصرف، قیمت و تقاضای آب روستای اکرم آباد

۳-۲- شبکه آبرسانی روستای اکرم‌آباد

بیشتر آب آشامیدنی روستاهای این استان از طریق آب‌های زیرزمینی (قنات، چشمه، چاه) و آب انتقالی از استان اصفهان تأمین می‌گردد. وظیفه ایجاد شبکه انتقال (آبرسانی به روستاها) و شبکه توزیع (آبرسانی به درب خانه‌ها از طریق لوله‌کشی) بر عهده شرکت آب و فاضلاب روستایی استان یزد می‌باشد. در شکل ۵ شبکه آبرسانی به روستای اکرم‌آباد شهرستان یزد به عنوان نمونه در نظر گرفته شده است. خطوط قرمز شبکه انتقال به روستا، خطوط آبی شبکه توزیع داخل روستا و مخازن با رنگ سبز و منابع آب با رنگ مشکی نمایش داده شده است. در این روستا دو منبع آب یکی از طریق چاه و دیگری از طریق آب انتقالی فراهم شده است.

چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق

- [7] Sprague, R.H. & Carlson, E. D. (1982). Building Effective Decision Support Systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- [8] Manoli, E., Arampatzis, G., Pissias, E., Xenos, D. & Assimacopoulos, D. (2001) Water demand and supply analysis using a spatial decision support system. Global NEST: The Int. J., 3 (3), ۲۰۹-۱۹۹.
- [9] Zhong P. A., Wang H. R., Liu J. N., Chen X. Y., Chen K. (2003) Optimal dispatching model for Shenzhen water resources system. Journal of Hohai University (Natural Sciences). 31(6): ۶۲۰-۶۱۶(in Chinese).
- [10] Malczewski, J. (1999) GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley and Sons, New York, USA, 392.
- [11] Sahin, O., R. S. Siems, R. A. Stewart and M. G. Porter (۲۰۱۶). "Paradigm shift to enhanced water supply planning through augmented grids, scarcity pricing and adaptive factory water: a system dynamics approach." Environmental Modelling & Software ۷۵: ۳۶۱-۳۴۸
- [12] Sahin, O., R. A. Stewart and M. G. Porter (۲۰۱۵). "Water security through scarcity pricing and reverse osmosis: a system dynamics approach." Journal of cleaner production ۸۸: ۱۷۱-۱۶۰.
- [13] Samii, M. and P. Teekasap (۲۰۱۰). Energy policy and oil prices: system dynamics approach to modeling oil market, Global Commerce Forum.
- [14] Tehrani, R., A. A. Abbas Zadeh Asl and f. amir (۲۰۱۴). "Dynamic model for futures pricing for assets with fixed dividend." Financial knowledge of securities ۷(۲۴): -۹۷ .۱۱۶
- [15] Tlkabady, H. S., A. humble and M. Sadqymqdm "Petrochemical feedstock pricing policy analysis with dynamic systems approach." Vision Industrial Management .(۲۰)۵
- [16] Vašak, M., G. Banjac, M. Baotié and J. Matuško (۲۰۱۴). "Dynamic day-ahead water pricing based on smart metering and demand prediction." Procedia Engineering ۸۹: ۱۰۳۶-۱۰۳۱.