سنجش از دور و GIS ایران

سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴ سنجش از دور و GIS ایران
Vol.7, No. 4, Winter 2016 Iranian Remote Sensing & GIS

۱-۱۲

طراحی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی(SDSS)
جهت مدیریت بهینهٔ شبکهٔ توزیع آب شهری (مطالعهٔ موردی: شهرستان فریدون‌شهر)

علی اکبر متکان[۱]، بابک میرباقری[۲]، عباس بیگی[۳]، مصطفی قیاسوند[۳]

۱. استاد گروه سنجش از دور و GIS ، دانشگاه شهید بهشتی
۲. مربی گروه سنجش از دور و GIS ، دانشگاه شهید بهشتی
۳. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۷/۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۱

چکیده

محققان همواره به‌دنبال توسعهٔ روش‌های بهتر در طراحی، اجرا و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بوده‌اند. اما GIS را، به‌دلیل نداشتن توابع تحلیلی هیدرولیکی، نمی‌شود به‌تنهایی به‌منزلهٔ سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS) در بحث مدیریت این‌گونه شبکه‌ها درنظر گرفت. این پژوهش درصدد است ازطریق تلفیق توابع تحلیلی هیدرولیکی پیشرفته با قابلیت‌های تحلیل مکانی نرم‌افزار GIS، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی را در قالب نرم‌افزاری مستقل توسعه دهد تا شبکهٔ توزیع آب شهرستان فریدون‌شهر را مدیریت کند. در این راستا پس از مرحلهٔ شناخت و نیازسنجی، جهت توسعهٔ مؤلفه‌های SDSS ازطریق توسعهٔ مؤلفه های مدیریت پایگاه داده، مدیریت مدل‌ها و واسط‌های کاربری به‌منزلهٔ عناصر اصلی SDSS، اقدام شد. در مؤلفهٔ مدیریت پایگاه داده با پیاده‌سازی مدل‌های مفهومی، منطقی و فیزیکی، پایگاه دادهٔ مکانی منطقهٔ مورد نظر توسعه داده شد. در مؤلفهٔ واسط های گرافیکی، برای ارتباط مؤثر کاربران با سیستم، از واسط‌های گرافیکی کاربرپسند و با درک آسان استفاده شد. سپس در مؤلفهٔ مدیریت مدل‌ها، مدل‌های هیدرولیکی کاربردی در شبکه‌های توزیع آب همچون مدل‌های تحلیل سرعت در لوله‌ها و فشار بر گره‌ها توسعه داده شد.درنهایت، مدل‌های ارزیابی سناریوها برای حل مسائل نیمه‌ساختاریافتهٔ شبکه های توزیع آب شهری طراحی شد. با پیاده‌سازی سیستم یادشده بر مبنای رویکردی علمی، برای نخستین بار در کشور، مدیران و تحلیلگران این شبکه‌ها می‌توانند این نرم‌افزار را همچون سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی جامعی در تحلیل شبکه‌های توزیع آب شهری به‌کار گیرند.

کلید واژه‌ها: شبکهٔ توزیع آب شهری، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS).

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، میدان سپاه، سرباز، خیابان ۲۰، پلاک ۸، طبقهٔ دوم. تلفن: ۰۹۱۹۵۳۷۰۰۴۵

Email: mgh_gis@yahoo.com

۱- مقدمه

با گسترش روزافزون جمعیت، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و در پی آن گسترش شهرها و توسعهٔ شبکه‌های توزیع آب، مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب به مسئلهٔ مهم و پیچیده‌ای تبدیل شده است. این موضوع به‌ویژه برای کشور ایران اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند زیرا از نظر تأمین آب در تنگناست.

به‌دلیل ماهیت مکان‌مرجع داده‌ها و عوارض در شبکه‌های توزیع آب، مدیران و کارشناسان آبفا برای تحلیل های مکانی گوناگون مانند نصب شیر در فاصلهٔ معین از لوله، افزون بر انجام دادن تحلیل‌های تخصصی همچون سرعت و افت فشار، به استفاده از نرم‌افزارهای GIS نیاز دارند . در حال حاضر، کارشناسان آبفا برای برطرف کردن این محدودیت‌ها، با رویکرد امتزاج ضعیف داده‌ها را میان این نرم‌افزارهای تخصصی تحلیل شبکه و ArcGIS انتقال می‌دهند. بنابراین، می‌شود با تلفیق قابلیت‌های این نرم‌افزارها در قالب سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی، نیاز به انتقال داده‌ها میان این نرم‌افزارها را از میان برداشت و از سیستم یکپارچه‌ای برای مدیریت و تحلیل شبکه‌های توزیع آب و درنهایت، کمک به حل مسائل نیمه‌ساختاریافته در بحث طراحی شبکه های توزیع آب شهری استفاده کرد.

از تحقیقاتی که در ارتباط با مدیریت داده‌های مکانی و تحلیل شبکه‌های آب و فاضلاب در سطح جهان انجام شده است، می‌شود به این موارد اشاره کرد:

Nielsen و همکاران در سال ۲۰۰۵ در شهر بلەروپ[1] دانمارک، با کمک GIS، به مدلسازی شبکهٔ توزیع آب شهری اقدام کردند. در این تحقیق مشکلاتی همچون مناطق تجمع فاضلاب و همچنین، ظرفیت لوله‌ها هنگام ایجاد کاربری‌های جدید مورد نظر بوده است. آنها همچنین از نرم‌افزارهای هیدرولیکی نیز بهره جستند و جهت جریان و میزان فشار را با آنها مدلسازی کردند (Nielsen et al, 2005).

فاینبرگ[2] در سال ۲۰۰۶ تحقیقی را در زمینهٔ تلفیق GIS و مدل‌های هیدرولیکی آب و فاضلاب انجام داد. این مطالعه در ایالت فلوریدای امریکا صورت گرفت و هدف آن توسعهٔ یک پایگاه داده و کاربردهای آن برای انتقال اطلاعات میان پایگاه داده و مدل هیدرولیکی آب و فاضلاب بود (Feinberg, 2006).

همچنین لودین[3] و همکاران در سال ۲۰۰۹، برای مدیریت منابع آب در افریقا، یک SDSS را با استفاده از ArcEngine Runtime 9.2 و JavaBeans توسعه دادند. این سیستم تصمیم‌گیرندگان را ازطریق ارزیابی سناریوهای گوناگون در جهت مدیریت بهینهٔ منابع آب، با تکیه بر منابع محدود در این منطقه یاری می‌کند (Laudien et al, 2009).

ژیائو[4] در سال ۲۰۰۷ تصمیمات مکانی را به سه نوع ساختاریافته[5]، نیمه ساختاریافته[6] و ساختارنیافته[7] تقسیم‌بندی کرده است و اشاره می‌کند که SDSSها به‌طور کلی برای حل مسائل نیمه‌ساختاریافته و تکرارپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرند که در آنها برخلاف مسائل ساختاریافته، به حضور تصمیم‌گیرنده نیز نیاز است (Simon, 1960). سوگوماران[8] و دگروت[9] نیز در سال ۲۰۱۱، SDSS را سیستم کامپیوتری یکپارچه‌ای تعریف کردند که تصمیم‌گیرندگان را در حل مسائل مکانی نیمه‌ساختاریافته و تکرارشونده، با اجرای روش‌هایی جهت مدیریت پایگاه‌های دادهٔ مکانی و غیرمکانی و به‌کارگیری قابلیت‌های مدلسازی ازطریق تحلیل سناریوهای گوناگون، یاری می‌کنند. آنها همچنین، مؤلفه‌های مدیریت پایگاه داده(DBMS) [10]، مدیریت مدل‌ها (MMS)[11]، واسط‌های کاربری[12] (DMS) و کاربران سیستم (SM)[13] را مؤلفه های اصلی و مدیریت دانش[14] را مؤلفهٔ اختیاری یک SDSS معرفی می‌کنند (Sugumaran and Degroote, 2011).

1. Ballerup
2. Feinberg
3. Laudien
4. Xiao
5. structured
6.semi-structured
7.unStructured
8. Sugumaran
9. Degroote
10. Database Management Component
11. Model Management Component
12. Dialog Management Component
13. Stakeholder Management Component
14. Knowledge Management Component

همچنین، نرم‌افزار WaterGEMS یکی از مهم‌ترین نرم‌افزارها برای تحلیل‌های هیدرولیکی محسوب می‌شود. این نرم‌افزار محصول شرکت Bentley از کشور امریکا است که قابلیت‌های بالایی را در تجزیه و تحلیل شبکه‌های توزیع آب شهری دارد (Bentley,2006). نرم‌افزار EPANET نیز یکی دیگر از نرم‌افزارهای تخصصی در زمینهٔ تحلیل شبکه‌های توزیع آب شهری و محصول مؤسسهٔ Environmental Protection Agency از کشور امریکا است (EPANET, 2000).

در ایران نیز کاردار در سال ۱۳۸۰، برای محاسبهٔ آب به‌حساب‌نیامده در پروژه‌ای پایلوت واقع در شهر محمودآباد مازندران، به مدلسازی هیدرولیکی خطوط انتقال و شبکهٔ توزیع اقدام کرده است. او در گزارش‌هایی، آمار مشترکان غیرمجاز، متخلفان، نقاط با احتمال نشت بالا در سطح شبکه و مدیریت بهینهٔ این مناطق را ارائه کرده است (کاردار، ۱۳۸۰).

صارمی‌پور در سال ۱۳۸۳، در تحقیقی که بر بخشی از شبکهٔ توزیع آب شهر قم صورت گرفت، به مدلسازی فشار در شبکه‌های توزیع آب پرداخت. او با توسعه نرم‌افزاری الحاقی در نرم‌افزار ArcView، نقشهٔ تغییرات مشخصه‌های هیدرولیکی و نقشهٔ تغییرات فشار را تهیه کرده است (صارمی‌پور، ۱۳۸۳).

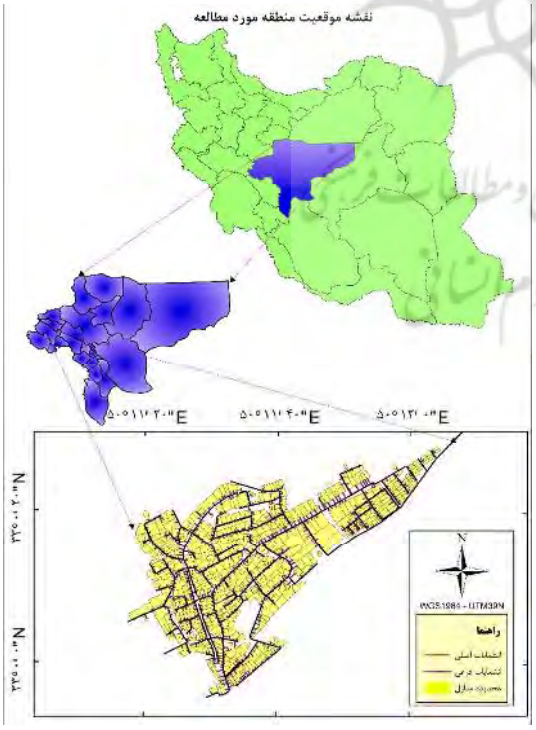
همچنین در سال ۱۳۸۷، عاشوری نیز به پیاده‌سازی GIS سازمانی برای شبکهٔ توزیع آب شهر واوان اقدام کرد. او در این تحقیق سیستم مدیریت پایگاه دادهٔ مکانی شبکه توزیع آب شهری را طراحی کرد (عاشوری، ۱۳۸۷).

تحقیق حاضر سعی دارد سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی را به‌صورت یکپارچه توسعه دهد تا برای نخستین بار در ایران، شبکه‌های توزیع آب شهری بر مبنای رویکردی علمی مدیریت و تحلیل شود و با پیاده‌سازی مؤلفه‌های اصلی یک SDSS، نیازهای اساسی تحلیلگران این شبکه‌ها در کشور در بستر نرم‌افزارهای مکانی برطرف شود. به‌گونه‌ای که در این سیستم، افزون بر دارا بودن واسطهای گرافیکی کاربرپسند، امکان انجام دادن تحلیل‌های پیشرفتهٔ هیدرولیکی و مکانی شبکهٔ توزیع آب و همچنین، تحلیل‌های ویژهٔ کاربران در کشور نیز فراهم باشد. همچنین، امکان ارزیابی و مقایسهٔ سناریوهای متفاوت طراحی شبکه، ازطریق پیاده‌سازی تکنیک‌های ارزیابی سناریوها جهت تصمیم‌گیری به‌صورت نیمه‌ساختاریافته، در این شبکه‌ها فراهم باشد. استفاده از نرم‌افزارهای قوی نظیر WaterGEMS و EPANETدر داخل کشور نیز به‌علت نداشتن انطباق کامل با نیازهای کاربران داخلی چندان فراگیر نشده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه شهرستان فریدون‌شهر، واقع در غربی‌ترین نقطهٔ استان اصفهان، است. روش انتقال آب در شبکهٔ توزیع آب شهری در این شهرستان، به‌دلیل کوهستانی بودن منطقه و شیب طبیعی زمین، به‌صورت ثقلی و بدون پمپاژ و هرگونه فشارشکن است. همچنین، این شبکه از نوع شبکه‌های درهم (ترکیب شبکه‌های حلقه‌ای و شاخه‌ای) با ۶۵۹ مشترک است.



شکل ۱. نقشهٔ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

۲-۲ روش تحقیق

توسعهٔ نرم‌افزاری در این تحقیق در محیط Microsoft Visual Studio.Net۲۰۰۸ و با استفاده از مؤلفه‌های مکانی ArcEngine 9.2 و کلاس‌ها و اشیای ArcObjects صورت گرفت. پس از نصب کامپوننت .NET SDK، همهٔ کلاس‌ها و توابع ArcObject در محیط .NET در دسترس قرار گرفت و امکان توسعهٔ نرم‌افزارهای مستقل[1] برای توسعه‌دهنده فراهم شد. سپس برای طراحی و توسعهٔ مؤلفه‌های مدیریت پایگاه داده[2]، مدیریت مدل‌ها[3] و واسطهای کاربری[4] به‌منزلهٔ عناصر اصلی SDSS اقدام شد. SDSS توسعه‌داده‌شده در قالب نرم‌افزاری مستقل طراحی شده است.

نمودار زیر مراحل طراحی این SDSS را براساس مؤلفه‌های تشکیل‌دهندهٔ آن نشان می‌دهد:

۲-۲-۱ مؤلفهٔ مدیریت واسطهای گرافیکی

در جزء مدیریت واسطهای گرافیکی، برای ارتباط مؤثر کاربران با سیستم، از واسطهای گرافیکی[5] کاربرپسند و با درک آسان برای کاربران شرکت‌های آبفا استفاده شد. در این جزء از سیستم سعی شده است تا حد امکان از واسطهای گرافیکی متفاوت، مانند فرم‌ها، جدول‌ها و گراف‌ها به‌صورت کاربرپسند استفاده شود.

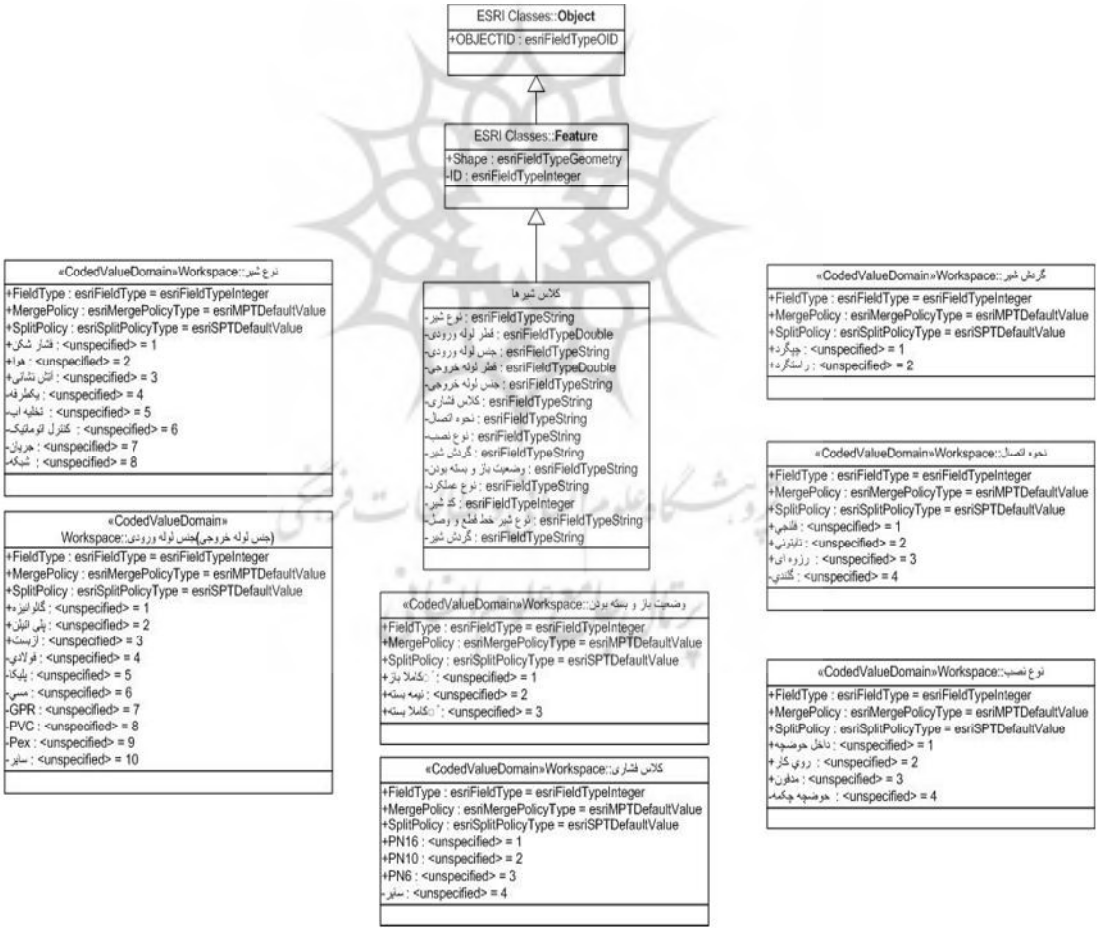
۲-۲-۲ مؤلفهٔ مدیریت پایگاه دادهٔ مکانی

پایگاه دادهٔ مکانی سیستم از نوع SQL Server و توسعهٔ آن در محیط نرم‌افزار Microsoft SQL Server 2008 صورت گرفت. با نصب نرم‌افزار ArcSDE 9.2 به‌منزلهٔ درگاه ارتباطی میان نرم‌افزارهای ArcMap 9.3 و Microsoft SQLServer 2008، امکان ایجاد پایگاه

شکل ۲. معماری سیستم

1. standalone
2. Database Management Component
3. Model Management Component
4. Dialog Management Component
5. user interfaces

کلی پایگاه داده طراحی شد. در مدل منطقی اقلام توصیفی موجودیت‌ها به‌همراه تعیین نوع آنها، فیلدهای دادهٔ مکانی مورد نیاز در توسعهٔ سیستم فراهم شد. این جزء از سیستم با توسعهٔ مدل داده‌های مفهومی، منطقی و فیزیکی، در مؤلفهٔ مدیریت پایگاه داده از سیستم طراحی و آماده شد. درواقع، مدل مفهومی پایه و مبنای پایگاه دادهٔ مکانی است. در این مرحله شمای کلیدی و جدول‌های واسط مشخص شدند و سپس مدل فیزیکی براساس مدل منطقی ایجادشده در مرحلهٔ پیشین، اما با جزئیات کافی، برای پیاده‌سازی پایگاه دادهٔ مکانی براساس ساختار ESRI Geodatabase در نرم‌افزار Visio طراحی شد. در مؤلفهٔ مدیریت پایگاه داده، به‌منظور حفظ جامعیت داده‌ها، مواردی همچون اتصال درست عوارض با یکدیگر، اعمال رفتار به عوارض شبکه در هنگام طراحی شبکه و بررسی وضعیت توپولوژیکی شبکه مدنظر قرار گرفت. در ادامه، به‌دلیل زیاد بودن جدول‌های توسعهٔ داده در این مؤلفه از سیستم، فقط جدول‌های شیرها در نرم‌افزار Visio برای نمونه نمایش داده شده است:



شکل ۳. شمای جدول‌های شیرها

۲-۲-۳ مؤلفهٔ مدیریت مدل‌ها

چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، به‌دلیل ضعف نرم‌افزارهای GISمانند ArcGIS در زمینهٔ مدل‌های تحلیل هیدرولیکی پیشرفتهٔ شبکه‌های توزیع آب، همچون تحلیل سرعت و افت فشار آب در لوله‌ها و فشار در تقاطع‌ها و نیز نبودِ تکنیک‌های ارزیابی سناریوها، برای توسعهٔ این مدل‌ها در قالب مؤلفهٔ مدیریت مدل‌ها، به‌منظور برآوردن نیازهای تحلیلگران شبکه اقدام شد. در ادامه، به الگوریتم‌های طراحی‌شده برای اجرای مدل‌های تحلیل هیدرولیکی پیشرفته در این مؤلفه از سیستم اشاره می‌شود.

۲-۲-۳-۱ مدل هیدرولیکی تحلیل سرعت آب در شبکه

برای پیاده‌سازی این مدل و محاسبهٔ سرعت آب در شبکهٔ توزیع موجود از رابطهٔ همبستگی جریان استفاده می‌شود. طبق این رابطه، برای محاسبهٔ سرعت به محاسبهٔ دبی هر لوله بر مبنای الگوی مصرفی تعیین‌شده به‌وسیلهٔ تحلیلگر شبکه نیاز است.

رابطه (۱) $$Q = v.A = v.\pi.d^2/4$$

که در این رابطه Q مقدار دبی و A مساحت سطح مقطع لوله و d قطر لوله است.

الگوهای مصرفی آب همان ضرایب مصرف آب طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز در شهر است که شبکهٔ لوله‌کشی، با توجه به مقدار ماکزیمم این ضرایب محاسبه و طراحی می‌شود. به‌دلیل تفاوت در اندازهٔ شهرها و نیز سبک زندگی مردم، این الگوها از شهری به شهر دیگر متفاوت است (منزوی، ۱۳۸۸). برای محاسبهٔ دبی در قسمت‌های شاخه‌ای شبکه، مقدار دبی در هر لوله از مجموع مصرف در تمامی گره‌های پایین‌دست آن لوله محاسبه می‌شود اما محاسبهٔ دبی در حلقه‌ها پیچیدگی بیشتری دارد. در حلقه‌ها، برخلاف قسمت‌های شاخه‌ای، به‌دلیل ثابت نبودن مقدار و جهت جریان آب در لوله‌ها برای تعیین دبی باید از روش‌های دیگری استفاده شود.

چند روش برای محاسبهٔ دبی در حلقه‌ها وجود دارد که از آنها می‌شود به مدل‌های هاردی کراس[1]، خطی و نیوتن- رافسون[2] اشاره کرد.

از میان مدل‌های بالا، مدل هاردی کراس به‌دلیل سهولت و سرعت همگرایی بسیار بالای این روش در رسیدن به پاسخ نهایی (کهرم، ۱۳۸۹)، در این تحقیق برای محاسبهٔ دبی در حلقه‌ها انتخاب شده است.

۲-۲-۳-۲ مراحل روش هاردی کراس

در روش کراس برای تعیین شدت جریان در لوله‌های یک حلقه، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱.دبی در هریک از لوله‌های حلقه را با به‌کار بردن رابطهٔ پیوستگی در هر گره پخش می‌کنیم.

۲.افت در هر لوله را با استفاده از رابطهٔ توانی، به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم.

$$h_f = kQ^n$$

که در آن مقدار n برابر با ۱.۸۵۲ ،k نیز برای هر لوله با هر جنس ثابت، Q مقدار دبی و h_f میزان افت فشار در لوله است.

۳.مجموع جبری افت‌های دور حلقه را به‌صورت زیر حساب می‌کنیم. سپس برای تصحیح دبی در هر لوله، هرگاه ΔQ، تفاوت بین مقدار واقعی دبی Q و مقدار فرض‌شدهٔ آن Q_0 باشد، داریم:

$$\Delta Q = \frac{-\sum kQ_0^{\,n}}{n\sum kQ_0^{\,n-1}} = -\frac{\sum h_f}{n\sum h_f/Q}$$

۴.مقدار ΔQ را برای همهٔ حلقه‌ها محاسبه می‌کنیم. هرگاه شبکه از یک حلقه تشکیل شده باشد، پس از تصحیح دبی، محاسبات مراحل ۲ و ۴ را تکرار می‌کنیم و این عمل را آن‌قدر ادامه می‌دهیم تا مقدار ΔQ نهایی به‌طور قابل قبولی کوچک باشد. اگر مسئله دارای دو حلقه یا بیشتر باشد، پس از تصحیح

1. Hardy Cross
2. Newton-Raphson

دور اول دبی، به حلقهٔ مجاور می‌رویم و مراحل از ۱ تا ۴ را برای آن نیز به‌کار می‌بریم و همین عمل را برای همهٔ حلقه‌ها تکرار می‌کنیم. با تصحیح دبی در هر حلقه، تعادل دبی‌ها و بنابراین، افت‌ها در حلقه‌های مجاور آن برهم می‌خورد. چون دبی در لولهٔ مشترک بین دو حلقه دوبار تصحیح شده است -یکبار در حلقهٔ پیش و بار دیگر در حلقهٔ بعد- این تصحیح آخر شرط ۱ را در حلقهٔ پیش برهم می‌زند. این عمل را آن‌قدر تکرار می‌کنیم تا مقدار ΔQ در همهٔ حلقه‌ها به‌طور اختیاری کوچک شود. پس از برقراری این حالت، باید قوانین کیرشهف درمورد همهٔ حلقه‌ها صادق باشد. یعنی در هر حلقه، نخست، مجموع دبی‌های ورودی و خروجی به هر گره در حلقه با یکدیگر برابر باشند، دوم، جمع جبری افت فشارهای پدیدآمده در لوله‌های آن حلقه با یکدیگر برابر با صفر شود.

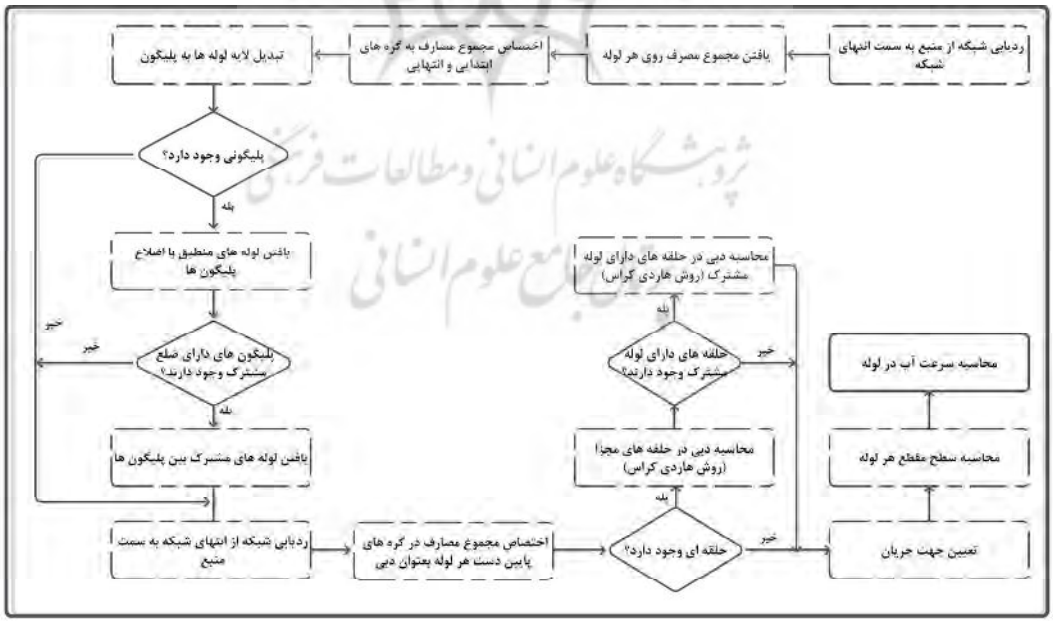
درنهایت، پس از تعیین دبی‌ها در لوله‌های حلقه نوبت به تعیین جهت جریان در این لوله‌ها می‌رسد. تعیین جهت بدین صورت است که اگر علامت مقدار دبی به‌دست‌آمده با علامت مقدار دبی فرضی پیش از حل حلقه یکسان باشد، جهت جریان تغییر نمی‌کند اما در صورت یکسان نبودن، باید علامت جهت جریان در لولهٔ مورد نظر برعکس شود.

پس از محاسبهٔ دبی در کل شبکه، برای محاسبهٔ افت فشار آب در لوله‌ها از رابطهٔ هیزن- ویلیامز[1]، به‌علت سهولت و دقت بالای این رابطه، به‌صورت زیر استفاده شده است:

$$J = \frac{6.78}{d^{1.165}}\left(\frac{v}{c}\right)^{1.85}$$ رابطه (۲)

که در آن v سرعت آب در لوله، c ثابت هیزن- ویلیامز و d قطر لوله است.

برای محاسبهٔ سرعت آب در شبکهٔ توزیع در این سیستم، از یک الگوریتم GIS مبنا در تلفیق با مدل هاردی کراس استفاده شد. در این مدل، برای شناسایی لوله‌های تشکیل‌دهندهٔ هریک از حلقه‌ها و نیز لوله‌های مشترک میان حلقه‌ها، لایهٔ لوله‌های اصلی تبدیل به لایهٔ پلیگونی شد و سپس، لوله‌های متناظر با اضلاع پلیگون‌ها با استفاده از روابط توپولوژیک تشخیص داده شدند. الگوریتم زیر روش تحلیل سرعت جریان آب در شبکهٔ توزیع را براساس این مدل نشان می‌دهد:

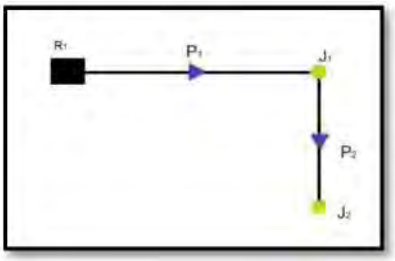


شکل ۴. الگوریتم طراحی‌شده برای تحلیل سرعت در شبکهٔ توزیع

1. Hazen-Williams

۲-۲-۳-۲ مدل هیدرولیکی تحلیل فشار در گره‌ها

برای محاسبهٔ فشار در گره‌ها از معادلهٔ برنولی[1] استفاده می‌شود. این معادله که ساده‌ترین شکل بقای انرژی است، به معادلهٔ انرژی نیز موسوم است. طبق این رابطه، با توجه به شکل زیر، برای محاسبهٔ فشار در گره J_2 داریم :



شکل۵. شبکهٔ نمونه برای محاسبهٔ فشار در گره ها

رابطه (۳)
$$\frac{p_2}{\gamma}=(\frac{V_1^2}{2g}-\frac{V_2^2}{2g})+(z_1-z_2)+\frac{p_1}{\gamma}+C*h_{p2}*L$$

در این رابطه V_1سرعت در لولهٔ P_1، V_2سرعت در لولهٔ P_2، $\frac{p_1}{\gamma}$ بار گره وارد بر گره J_1، Z_1ارتفاع گره J_1، Z_2 ارتفاع گرهJ_2، h_{p2} میزان افت فشار در طول لولهٔ P_2، L طول لولهٔ P_2، $\frac{p_2}{\gamma}$ بار وارد بر گره J_2 و ضریب C در صورتی‌که جریان در لولهٔ ۲ از سمت گره ۱ به گره ۲ باشد، برابر با ۱- و در صورتی‌که جریان از سمت گره ۲ به ۱ باشد برابر با ۱ خواهد بود (پازوش، ۱۳۸۵).

۲-۲-۴ کاربران سیستم

این جزء از سیستم شامل چهار بخش توسعه‌دهنده، متخصص، تحلیلگر و کاربران نهایی است (Sugumaran and Degroote,2011). بخش کاربران نهایی آخرین قسمت از حلقهٔ کاربران سیستم، شامل کارشناسان و مدیران شرکت‌های آبفا است که باید با اطلاعات مهمی درمورد سیستم و روش تعامل با آن در برخورد با مسائل گوناگون توجیه شوند. این اشخاص برای دستیابی به این اطلاعات به متخصصان و تحلیلگران تکیه می‌کنند.

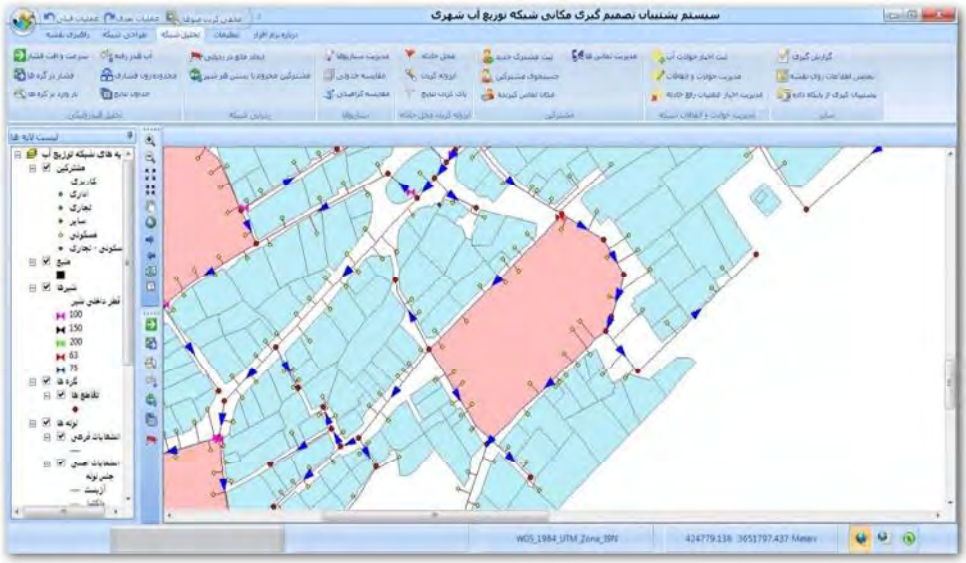
۳- نتایج

درنهایت، با تلفیق چهار مؤلفهٔ اصلی SDSS، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی مورد نظر در قالب نرم‌افزاری مستقل توسعه داده شد. این سیستم تحلیل‌های پیشرفتهٔ هیدرولیکی شبکهٔ توزیع و قابلیت‌های GIS را در سیستم یکپارچه‌ای درگیر و تلفیق کرده است. همچنین، کاربران با استفاده از این سیستم قادر به تعریف سناریوهای متفاوت طراحی شبکه و انتخاب شبکهٔ توزیع مناسب خواهند بود. با استفاده از این سیستم، تحلیلگر شبکه به‌علت نیاز نداشتن به انتقال داده‌ها میان نرم‌افزارهای تخصصی شبکه و GIS، با صرف کمترین زمان و با دقت بالا قادر به تحلیل‌های کاربردی است. در شکل ۶ نمای اصلی این سیستم نشان داده شده است.

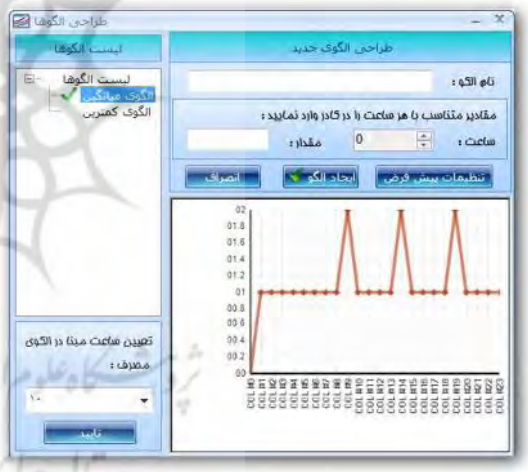
در این سیستم برای حفظ جامعیت داده‌ها، ضمن بررسی وضعیت توپولوژیکی شبکه در پایگاه دادهٔ مکانی شبکهٔ توزیع، برای موجودیت‌های شبکهٔ توزیع رفتارهایی همچون بررسی اتصال صحیح عوارض به یکدیگر و بررسی صحت مقادیر پیش از اختصاص آنها به خصوصیات توصیفی عوارض نیز تعریف شد. با توجه به اهمیت مبحث محاسبات هیدرولیکی و تحلیل سناریوها در SDSSهای شبکهٔ توزیع آب، در ادامه فقط به این مباحث اشاره خواهد شد.

همان‌طورکه پیش‌تر اشاره شد، سیستم بالا قادر به انجام دادن محاسبات هیدرولیکی همچون محاسبهٔ سرعت و افت فشار است که برای رسیدن به این منظور، نخست لازم است الگوی مصرفی آب در منطقهٔ مورد نظر تعیین شود. در واسط توسعهٔ داده‌شده برای این منظور، کاربر با وارد کردن ضرایب مصرف آب طی ۲۴ ساعت شبانه‌روز الگوی مورد نظر خود را طراحی می‌کند. شکل زیر واسط گرافیکی توسعه داده‌شده برای طراحی الگوهای مصرفی را نشان می‌دهد.

1. Bernoulli equation



شکل۶. نمای کلی SDSS طراحی‌شده در این تحقیق



شکل۷. طراحی الگوهای مصرفی

پس از مشخص کردن الگوی مصرفی آب و میزان مصرف مشترکان در سیستم، تحلیلگر می‌تواند میزان سرعت و افت‌فشار در لوله‌ها و فشار در گره‌ها را محاسبه کند. شکل ۸ نتایج حاصل پس از محاسبات سرعت و افت فشار در شبکه را نشان می‌دهد. در این شکل لوله‌ها و گره‌هایی که میزان سرعت و فشار در آنها خارج از محدودهٔ مجاز است (سرعت بین ۰.۲ تا ۱.۵ متر بر ثانیه و فشار بین ۲۰ تا ۵۰ متر) با رنگ متمایز نشان داده شده‌اند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، تحلیلگر می‌تواند با تغییر مکان لغزنده، مقدار محاسبات را متناسب با ضریب درنظر گرفته‌شده در الگوی مصرفی مشاهده کند.

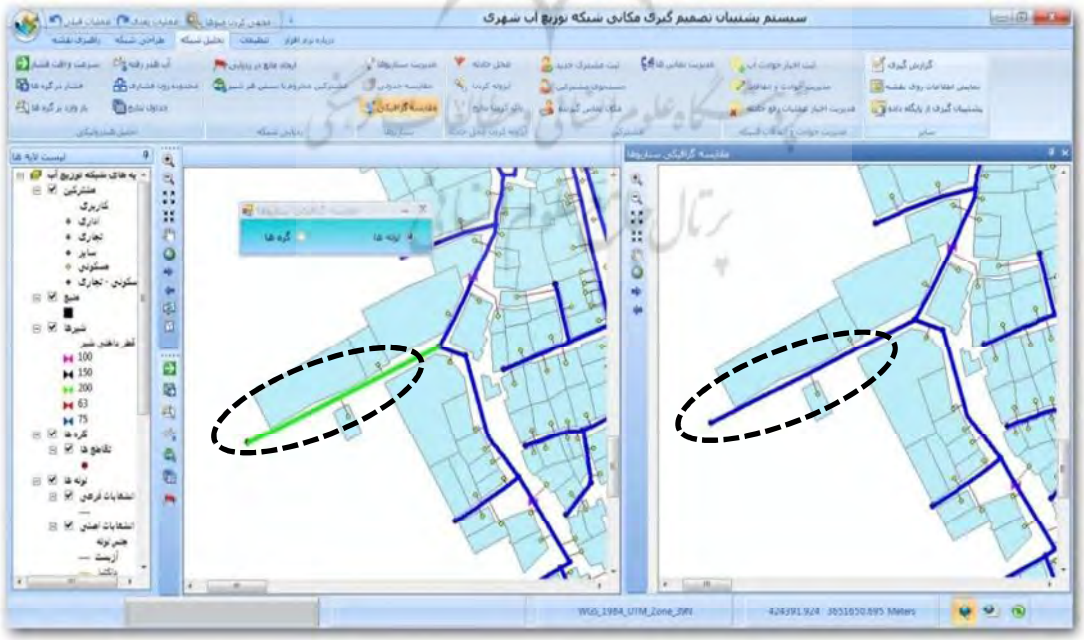
با استفاده از قابلیت تحلیل سناریوها در این سیستم، تحلیلگر شبکه امکان دستیابی به طراحی بهینه از شبکه توزیع موجود را دارد. پس از ایجاد سناریوهای گوناگون از وضعیت موجود، برای مقایسهٔ آسان‌تر و بهتر نتایج، این امکان هم به‌صورت جدولی و هم به‌صورت نموداری برای تصمیم‌گیرنده فراهم شده است. به این ترتیب، تصمیم‌گیرنده با ایجاد هر تعداد سناریوی متفاوت و ممکن از شرایط موجود و مقایسه و انتخاب بهترین سناریو (با داشتن کمترین میزان لوله‌ها و گره‌های خارج از محدودهٔ مجاز سرعت و فشار) می‌تواند به مطلوب‌ترین طراحی از شبکه دست پیدا کند و درنهایت، شبکه را با اعمال آلترناتیوهای مورد نظر در آن سناریو طراحی کند. برای نمونه، تحلیلگر شبکه می‌تواند با تغییر در مقادیر قطر لوله‌ها، دو سناریوی گوناگون را ایجاد و سپس، آنها را از نظر گرافیکی مقایسه کند. شکل زیر نتایج حاصل از مقایسهٔ

شکل۸. جدول نتایج محاسبهٔ سرعت و فشار شبکه

سناریوها به‌صورت گرافیکی را روی شبکهٔ توزیع نمایش می‌دهد. در این شکل، لولهٔ مشخص‌شده دارای سرعت کمتر از محدودهٔ مجاز (رنگ آبی) در سناریوی نخست و در محدودهٔ مجاز (رنگ سبز) در سناریوی دوم است. بنابراین، می‌شود نتیجه گرفت با اعمال خصوصیات فیزیکی درنظر گرفته‌شده در سناریوی دوم، شبکهٔ اصلی از نظر وضعیت هیدرولیکی در شرایط مطلوب‌تری قرار دارد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مسائل و مشکلات شرکت‌های آبفا در کشور، نیاز به استفاده از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی جامع بیش از پیش احساس می‌شود. سیستمی که افزون بر داشتن قابلیت انجام دادن تحلیل‌ها و محاسبات مورد نیاز کارشناسان در داخل کشور، توانایی مدیریت داده‌ها در فرمت‌های گوناگون را در پایگاه دادهٔ



شکل۹. مقایسهٔ سناریوها

مکانی یکپارچه فراهم کند و همچنین، امکان تعامل راحت و مؤثر این کاربران را با سیستم امکان‌پذیر کند. سیستم حاضر با هدف برطرف کردن این مشکلات در داخل کشور توسعه داده شد. در ادامه، به بررسی اجزای اصلی این سیستم پرداخته شده است:

الف) جزء مدیریت واسط‌های گرافیکی: در این سیستم در جزء مدیریت واسط‌های گرافیکی، با توسعهٔ فرم‌ها و واسط‌های گرافیکی کاربرپسند، امکان تعامل راحت‌تر و مناسب‌تر کاربر با سیستم فراهم شده است. این واسط‌ها به‌گونه‌ای توسعه داده شده‌اند که کاربران این شبکه‌ها در کشورمان به‌راحتی بتوانند آنها را به‌کار برند و به‌آسانی با سیستم ارتباط برقرار کنند. سیستم با نمایش پیغام‌های راه‌گشا و قابل درک کاربر را در تحلیل درست از شبکه یاری می‌کند.

ب) جزء مدیریت پایگاه داده: در این جزء از سیستم برای حفظ جامعیت داده‌ها هنگام ویرایش آنها، در بعد توصیفی، مواردی همچون بررسی صحت مقداردهی پیش از انتصاب مقادیر به خصوصیات توصیفی عوارض و در بعد مکانی، مواردی مانند اعمال رفتار به عوارض شبکه هنگام طراحی شبکه، اتصال شیرها به لوله‌های متناسب با قطر داخلی آنها، افزودن خودکار مشترکان به انتهای لوله‌های انشعاب فرعی پس از ایجاد لوله، ایجاد خودکار تقاطع‌ها به انتهای لوله‌های اصلی پس از ایجاد لوله و حذف خودکار آنها پس از حذف لولهٔ اصلی، و بررسی وضعیت توپولوژیکی شبکه مدنظر قرار گرفته‌اند.

ج) جزء مدیریت مدل‌ها: در این جزء افزون بر طراحی مدل‌های اصلی و مهم در تحلیل شبکه‌های توزیع آب که با مشاورهٔ کارشناسان و متخصصان این‌گونه شبکه‌ها در کشور صورت گرفته است، با توسعهٔ برخی مدل‌های کاربردی مانند محاسبهٔ بار وارد بر گره‌ها، مشخص کردن فهرست مشترکان محروم از آب پس از بستن هر شیر، نشان دادن مناسب‌ترین شیر برای داشتن کمترین مشترکان محروم از آب هنگام شکستگی لوله، جستجوی مشترک تماس‌گیرنده، ثبت اتفاقات و رویدادها و مشاهدهٔ منطقه در GoogleMap ، اقدام به بومی‌سازی این سیستم به‌منظور برآوردن نیازهای کاربران ملی شد.

همان‌طورکه اشاره شد، این سیستم به‌دلیل توسعه یافتن برای رفع نیازهای داخلی، واسط های گرافیکی به زبان فارسی و کاربرپسند برای کاربران ملی دارد اما در مقابل نرم‌افزارهای خارجی مشابه مانند WaterGEMS و EPANET، به‌علت پیچیدگی ساختار و نیز اورجینال نبودن ورژن‌های موجود در کشور، امکان استفاده از همهٔ قابلیت‌های آنها وجود ندارد. همچنین، در اجزای مدیریت پایگاه داده و مدیریت مدل‌ها سعی در برطرف کردن برخی نیازهای کارشناسان شرکت آبفای شهرستان فریدون‌شهر، مانند قابلیت اتصال به سیستم پایگاه دادهٔ مشترکان این شرکت و نیز مشاهدهٔ منطقه در GoogleMap شده است که این قابلیت‌ها در نرم‌افزارهای خارجی مشابه یافت نمی‌شوند. بنابراین، می‌شود گفت که سیستم حاضر می‌تواند جایگزین مناسبی برای این‌گونه نرم‌افزارها در کشور باشد.

نکتهٔ مهم دیگر در این مقایسه تلفیق نیازهای اساسی کاربران شرکت‌های آبفا، شامل تحلیل‌های مکانی و تخصصی شبکه در کنار یکدیگر و در سیستمی واحد است، به‌گونه‌ای که با استفاده از این SDSS نیاز به استفاده از هرگونه نرم‌افزار جانبی در تحلیل شبکه برطرف می‌شود. کاهش هزینه‌ها در کل فعالیت‌های مربوط به شبکه، صرفه‌جویی در زمان، افزایش دقت و اعتمادپذیری از دیگر مزایای سیستم طراحی‌شده است. توسعهٔ این سیستم منجر به ایجاد سیستمی کمک‌کننده برای تصمیم‌گیری‌های مناسب، با امکان استفاده از قابلیت‌های GIS همراه با تحلیل‌های تخصصی این شبکه‌ها و بررسی آلترناتیوهای گوناگون از شبکه با تعریف سناریوهای گوناگون شده است.

در این سیستم، با پیاده‌سازی تحلیل‌های پیشرفتهٔ شبکه‌های توزیع آب شهری و همچنین، تحلیل‌های مورد نیاز کارشناسان و تصمیم‌گیرندگان این شبکه‌ها در کشور، با درنظر گرفتن ماهیت مکان‌مرجع این

داده‌ها، امکان استفاده از سیستم برای همهٔ کارشناسان شرکت‌های آبفا در کشور فراهم شده است. بنابراین، می‌شود گفت تحقیق حاضر برای نخستین بار در ایران، با پیاده‌سازی جامع مؤلفه‌های اصلی یک SDSS در قالب سیستمی واحد می‌تواند به کاربران در تحلیل داده‌ها و مدیریت شبکه‌های توزیع آب شهری کمک شایانی کند.

۵- منابع

منزوی، م.، ۲۰۰۹، **آبرسانی شهری**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، چاپ شانزدهم.

Brimicombe, A., 2010, **GIS, Environmental Modeling and Engineering**, Taylor & Francis Inc.

Feinberg, D.H., 2006, **Integrating GIS with Utility Information Management Systems**, GIS.Specialist GIS development, GITA4, Montgomery Watson Americas, Inc., 560 Herndon Parkway, Suite300, Herndon, Virginia, 22070, U.S.A.

Hey, P., 1998, **SSToolbox - An Agricultural Spatial Decision Support System**, Paperpresented at Proceedings of the Eighteenth Annual ESRI User Conference, California.

Kahrom, M., 2009. **Water and Transmission Systems Processing**, Ferdowsi University of Mashhad Publication. No:344.

Laudien, R., Brocks, S., Weyler, S., Christmann, A., KÔhn, N. & Bareth, G., 2009, **Tools for Modeling Water Supplies**, ArcUser, Fall 2009.

Nielsen, S.J., 2005, **The City of Ballerup, Denmark, Integrates Urban Water Modeling and GIS**, BallerupKommune (tel.: 45-44-772-339, e-mail:sjn@balk.dk, ESRI.com. Arc News, http://www.ballerup.dk.

Pazvash, H., 2006, **Fluid Mechanic and Hydrolic Engineering**, University of Tehran Press. No: 2784.

Saremipoor, M., 2004, **Classification and Analysis of Pressure at the City Water Supply Network by GIS,** Department of Remote Sensing and GIS of ShahidBeheshti University. Master of Science.

Simon, H. A., 1960, **The New Science of Management Decision**, Englewood Cliffs, NJ:Prentice- Hall.

Sugumaran, R., & Degroote,2011, **Spatial Decision Support Systems Principles and Practices**, CRC Press , Taylor & Francis Group.

Sugumaran, R., & Bakker, B., 2007, **GIS-Based Site Suitability Decision Support Spatial System for Planning Confined Animal Feeding Operations in Iowa**, In Emerging information systems and applications, ed. B. N. Hilton, 219–239. Hershey, PA: Idea Group.

Xiao, N., 2007, **Considering Diversity in Spatial Decision Support Systems**, Paper presented at Geocomputation 2007, Ireland.