



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴
Vol.7, No. 4, Winter 2016

۱-۱۲

طراحی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS)

جهت مدیریت بهینه شبکه توزیع آب شهری (مطالعه موردی: شهرستان فریدون شهر)

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 پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۳/۱۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۷/۴

چکیده

محققان همواره به دنبال توسعه روش‌های بهتر در طراحی، اجرا و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بوده‌اند. اما GIS را، به دلیل نداشتن توابع تحلیلی هیدرولیکی، نمی‌شود به‌تنهایی به‌منزله سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS) در بحث مدیریت این‌گونه شبکه‌ها در نظر گرفت. این پژوهش درصدد است از طریق تلفیق توابع تحلیلی هیدرولیکی پیشرفته با قابلیت‌های تحلیل مکانی نرم‌افزار GIS، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی را در قالب نرم‌افزاری مستقل توسعه دهد تا شبکه توزیع آب شهرستان فریدون شهر را مدیریت کند. در این راستا پس از مرحله شناخت و نیازسنجی، جهت توسعه مؤلفه‌های SDSS از طریق توسعه مؤلفه‌های مدیریت پایگاه داده، مدیریت مدل‌ها و واسط‌های کاربری به‌منزله عناصر اصلی SDSS، اقدام شد. در مؤلفه مدیریت پایگاه داده با پیاده‌سازی مدل‌های مفهومی، منطقی و فیزیکی، پایگاه داده مکانی منطقه مورد نظر توسعه داده شد. در مؤلفه واسط‌های گرافیکی، برای ارتباط مؤثر کاربران با سیستم، از واسط‌های گرافیکی کاربرپسند و با درک آسان استفاده شد. سپس در مؤلفه مدیریت مدل‌ها، مدل‌های هیدرولیکی کاربردی در شبکه‌های توزیع آب همچون مدل‌های تحلیل سرعت در لوله‌ها و فشار بر گره‌ها توسعه داده شد. در نهایت، مدل‌های ارزیابی سناریوها برای حل مسائل نیمه‌ساختاریافته شبکه‌های 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: شبکه توزیع آب شهری، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی (SDSS).

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

۱- مقدمه

داد. این مطالعه در ایالت فلوریدای امریکا صورت گرفت و هدف آن توسعه یک پایگاه داده و کاربردهای آن برای انتقال اطلاعات میان پایگاه داده و مدل هیدرولیکی آب و فاضلاب بود (Feinberg, 2006).

همچنین لودین^۳ 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 از طریق ارزیابی سناریوهای گوناگون در جهت مدیریت بهینه منابع آب، با تکیه بر منابع محدود در این منطقه یاری می‌کند (Laudien et al, 2009).

ژیائو^۴ در سال ۲۰۰۷ تصمیمات مکانی را به سه نوع ساختاریافته^۵، نیمه ساختاریافته^۶ و ساختاریافته^۷ 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^۸ و دگروت^۹ 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 داده مکانی و غیرمکانی و به‌کارگیری قابلیت‌های مدلسازی از طریق تحلیل سناریوهای گوناگون، یاری می‌کنند. آنها همچنین، مؤلفه‌های مدیریت پایگاه داده (DBMS)^{۱۰}، مدیریت مدل‌ها (MMS)^{۱۱}، واسطه‌های کاربری^{۱۲} (DMS) و کاربران سیستم (SM)^{۱۳} را مؤلفه‌های اصلی و مدیریت دانش^{۱۴} را مؤلفه اختیاری یک SDSS معرفی می‌کنند (Sugumaran and Degroote, 2011).

با گسترش روزافزون جمعیت، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و در پی آن گسترش شهرها و توسعه شبکه‌های توزیع آب، مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب به مسئله مهم و پیچیده‌ای تبدیل شده است. این موضوع به‌ویژه برای کشور ایران اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند زیرا از نظر تأمین آب در تنگناست. به دلیل ماهیت مکان مرجع داده‌ها و عوارض در شبکه‌های توزیع آب، مدیران و کارشناسان آبفا برای تحلیل‌های مکانی گوناگون مانند نصب شیر در فاصله 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 شبکه‌های 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 بله‌روپ^۱ دانمارک، با کمک GIS، به مدلسازی شبکه 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^۲ در سال ۲۰۰۶ تحقیقی را در زمینه تلفیق GIS و مدل‌های هیدرولیکی آب و فاضلاب انجام

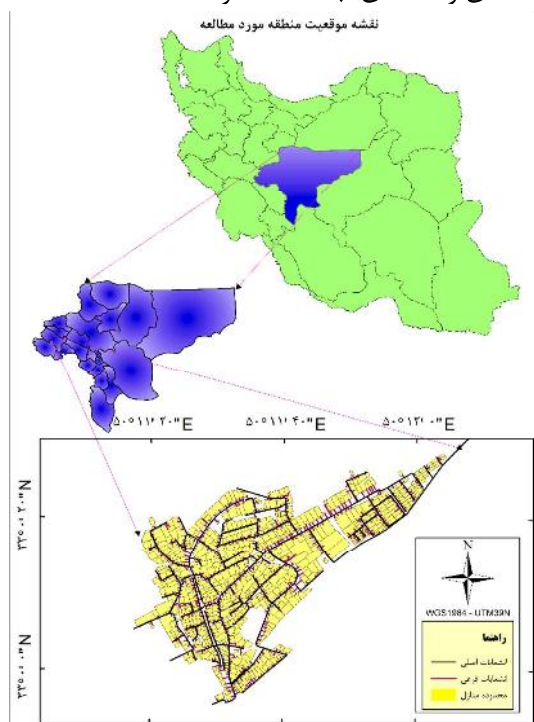
1. Ballerup
2. Feinberg
3. Laudien
4. Xiao
5. structured
6. semi-structured
7. unStructured
8. Sugumaran
9. Degroote
10. Database Management Component
11. Model Management Component
12. Dialog Management Component
13. Stakeholder Management Component
14. Knowledge Management Component

تحلیل‌های پیشرفته هیدرولیکی و مکانی شبکه توزیع آب و همچنین، تحلیل‌های ویژه کاربران در کشور نیز فراهم باشد. همچنین، امکان ارزیابی و مقایسه سناریوهای متفاوت طراحی شبکه، از طریق پیاده‌سازی تکنیک‌های ارزیابی سناریوها جهت تصمیم‌گیری به‌صورت نیمه‌ساختاریافته، در این شبکه‌ها فراهم باشد. استفاده از نرم‌افزارهای قوی نظیر WaterGEMS و EPANET در داخل کشور نیز به‌علت نداشتن انطباق کامل با نیازهای کاربران داخلی چندان فراگیر نشده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان فریدون‌شهر، واقع در غربی‌ترین نقطه استان اصفهان، است. روش انتقال آب در شبکه 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. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

همچنین، نرم‌افزار WaterGEMS یکی از مهم‌ترین نرم‌افزارها برای تحلیل‌های هیدرولیکی محسوب می‌شود. این نرم‌افزار محصول شرکت Bentley از کشور آمریکا 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 زمینه تحلیل شبکه‌های توزیع آب شهری و محصول مؤسسه Environmental Protection Agency از کشور آمریکا است (EPANET, 2000).

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

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

همچنین در سال ۱۳۸۷، عاشوری نیز به پیاده‌سازی GIS سازمانی برای شبکه توزیع آب شهر و اوان اقدام کرد. او در این تحقیق سیستم مدیریت پایگاه داده 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 واسطه‌های گرافیکی کاربرپسند، امکان انجام دادن

۲-۲ روش تحقیق

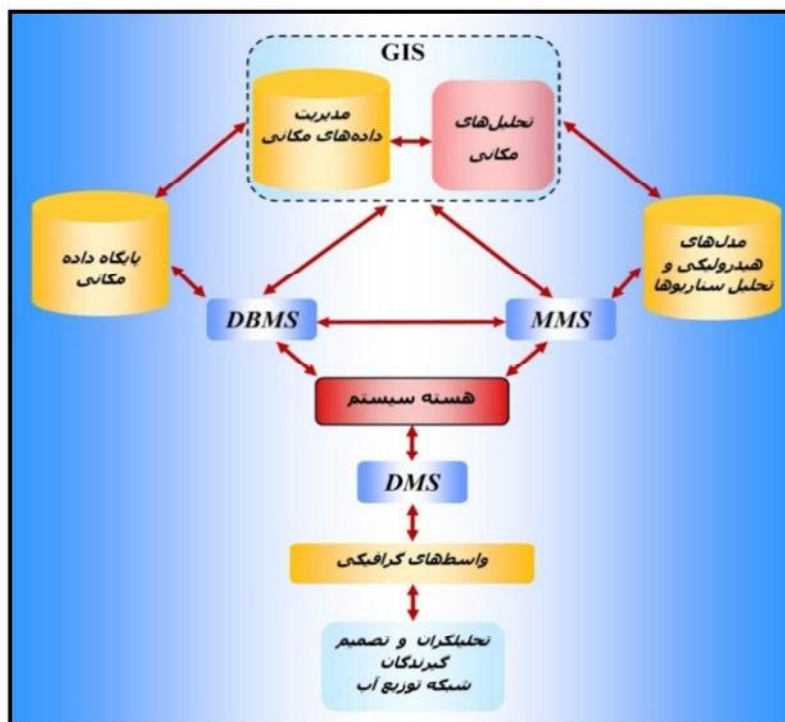
توسعه نرم‌افزاری در این تحقیق در محیط Microsoft Visual Studio.Net ۲۰۰۸ و با استفاده از مؤلفه‌های مکانی ArcEngine 9.2 و کلاس‌ها و اشیای ArcObjects صورت گرفت. پس از نصب کامپوننت SDK .NET، همه کلاس‌ها و توابع ArcObject در محیط NET. در دسترس قرار گرفت و امکان توسعه نرم‌افزارهای مستقل^۱ برای توسعه‌دهنده فراهم شد. سپس برای طراحی و توسعه مؤلفه‌های مدیریت پایگاه داده^۲، مدیریت مدل‌ها^۳ و واسط‌های کاربری^۴ به‌منزله عناصر اصلی SDSS اقدام شد. SDSS توسعه‌دهنده شده در قالب نرم‌افزاری مستقل طراحی شده است. نمودار زیر مراحل طراحی این SDSS را براساس مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده آن نشان می‌دهد:

۲-۲-۱ مؤلفه مدیریت واسط‌های گرافیکی

در جزء مدیریت واسط‌های گرافیکی، برای ارتباط مؤثر کاربران با سیستم، از واسط‌های گرافیکی^۵ 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 مؤلفه مدیریت پایگاه داده مکانی

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

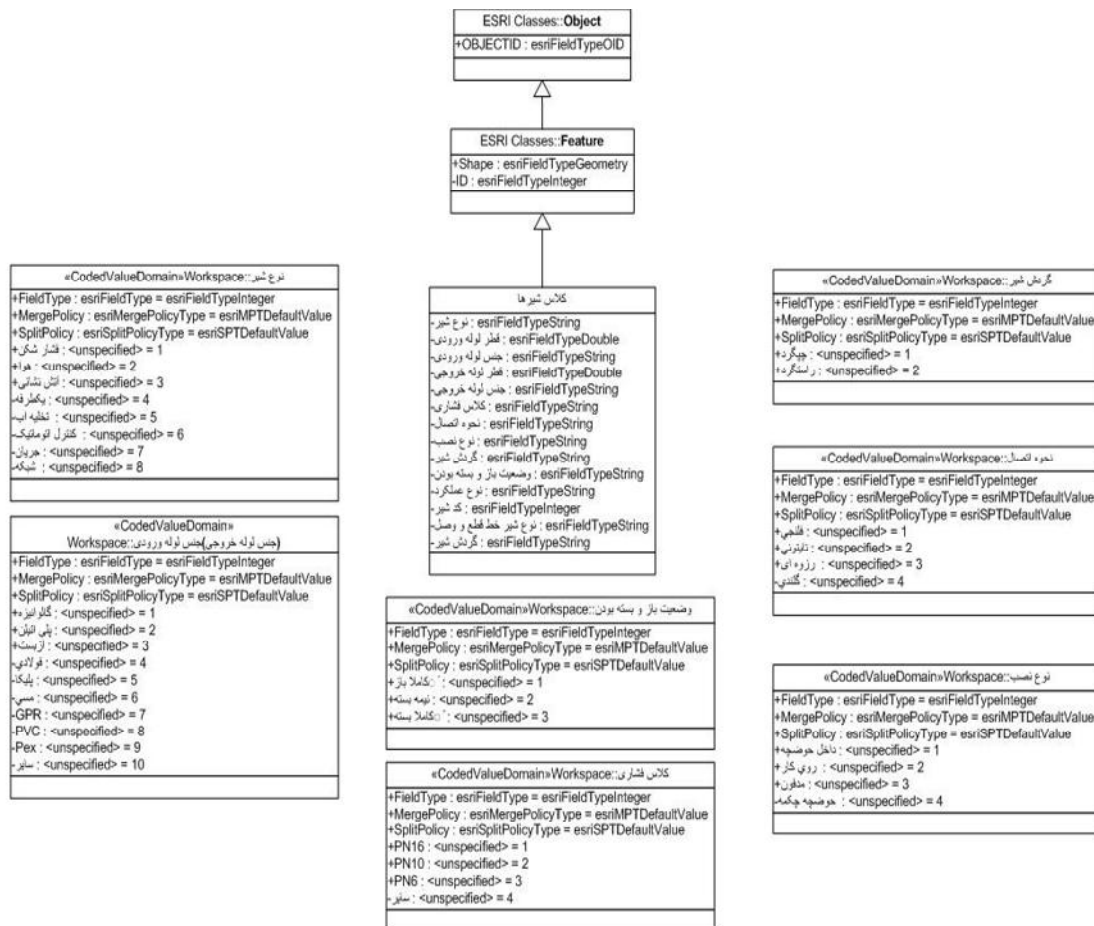


شکل ۲. معماری سیستم

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

داده مکانی براساس ساختار ESRI Geodatabase در نرم افزار Visio طراحی شد. در مؤلفه مدیریت پایگاه داده، به منظور 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، به دلیل زیاد بودن جدول‌های توسعه داده در این مؤلفه از سیستم، فقط جدول‌های شیرها در نرم افزار Visio برای نمونه نمایش داده شده است:

کلی پایگاه داده طراحی شد. در مدل منطقی اقلام توصیفی موجودیت‌ها به همراه تعیین نوع آنها، فیلدهای داده مکانی مورد نیاز در توسعه سیستم فراهم شد. این جزء از سیستم با توسعه مدل داده‌های مفهومی، منطقی و فیزیکی، در مؤلفه مدیریت پایگاه داده از سیستم طراحی و آماده شد. در واقع، مدل مفهومی پایه و مبنای پایگاه داده مکانی است. در این مرحله شمای کلیدی و جدول‌های واسط مشخص شدند و سپس مدل فیزیکی براساس مدل منطقی ایجاد شده در مرحله پیشین، اما با جزئیات کافی، برای پیاده‌سازی پایگاه



شکل ۳. شمای جدول‌های شیرها

۲-۲-۳ مؤلفه مدیریت مدل‌ها

چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، به دلیل ضعف نرم‌افزارهای GIS مانند ArcGIS در زمینه مدل‌های تحلیل هیدرولیکی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب، همچون تحلیل سرعت و افت فشار آب در لوله‌ها و فشار در تقاطع‌ها و نیز نبود تکنیک‌های ارزیابی سناریوها، برای توسعه این مدل‌ها در قالب مؤلفه مدیریت مدل‌ها، به منظور برآوردن نیازهای تحلیلگران شبکه اقدام شد. در ادامه، به الگوریتم‌های طراحی شده 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 محاسبه سرعت آب در شبکه توزیع موجود از رابطه همبستگی جریان استفاده می‌شود. طبق این رابطه، برای محاسبه سرعت به محاسبه دبی هر لوله بر مبنای الگوی مصرفی تعیین شده به وسیله تحلیلگر شبکه نیاز است.

$$Q = v.A = v.\pi.d^2 / 4 \quad (1)$$

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 شبکه لوله‌کشی، با توجه به مقدار ماکزیمم این ضرایب محاسبه و طراحی می‌شود. به دلیل تفاوت در اندازه شهرها و نیز سبک زندگی مردم، این الگوها از شهری به شهر دیگر متفاوت است (منزوی، ۱۳۸۸). برای محاسبه دبی در قسمت‌های شاخه‌ای شبکه، مقدار دبی در هر لوله از مجموع مصرف در تمامی گره‌های پایین دست آن لوله محاسبه می‌شود اما محاسبه دبی در حلقه‌ها پیچیدگی بیشتری دارد. در حلقه‌ها، برخلاف قسمت‌های شاخه‌ای، به دلیل ثابت نبودن مقدار و جهت جریان آب در لوله‌ها برای تعیین دبی باید از روش‌های دیگری استفاده شود.

چند روش برای محاسبه دبی در حلقه‌ها وجود دارد که از آنها می‌شود به مدل‌های هاردی کراس^۱، خطی و نیوتن-رافسون^۲ اشاره کرد.

از میان مدل‌های بالا، مدل هاردی کراس به دلیل سهولت و سرعت همگرایی بسیار بالای این روش در رسیدن به پاسخ نهایی (کهرم، ۱۳۸۹)، در این تحقیق برای محاسبه 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 هر یک از لوله‌های حلقه را با به کار بردن رابطه پیوستگی در هر گره پخش می‌کنیم.
۲. افت در هر لوله را با استفاده از رابطه توانی، به صورت 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 به صورت زیر حساب می‌کنیم. سپس برای تصحیح دبی در هر لوله، هرگاه ΔQ ، تفاوت بین مقدار واقعی دبی Q و مقدار فرض شده 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 همه 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 آن قدر ادامه می‌دهیم تا مقدار ΔQ نهایی به طور قابل قبولی کوچک باشد. اگر مسئله دارای دو حلقه یا بیشتر باشد، پس از تصحیح

1. Hardy Cross
2. Newton-Raphson

حل حلقه یکسان باشد، جهت جریان تغییر نمی کند اما در صورت یکسان نبودن، باید علامت جهت جریان در لوله مورد نظر برعکس شود.

پس از محاسبه دبی در کل شبکه، برای محاسبه افت فشار آب در لوله‌ها از رابطه هیزن- ویلیامز^۱، به علت سهولت و دقت بالای این رابطه، به صورت زیر استفاده شده است:

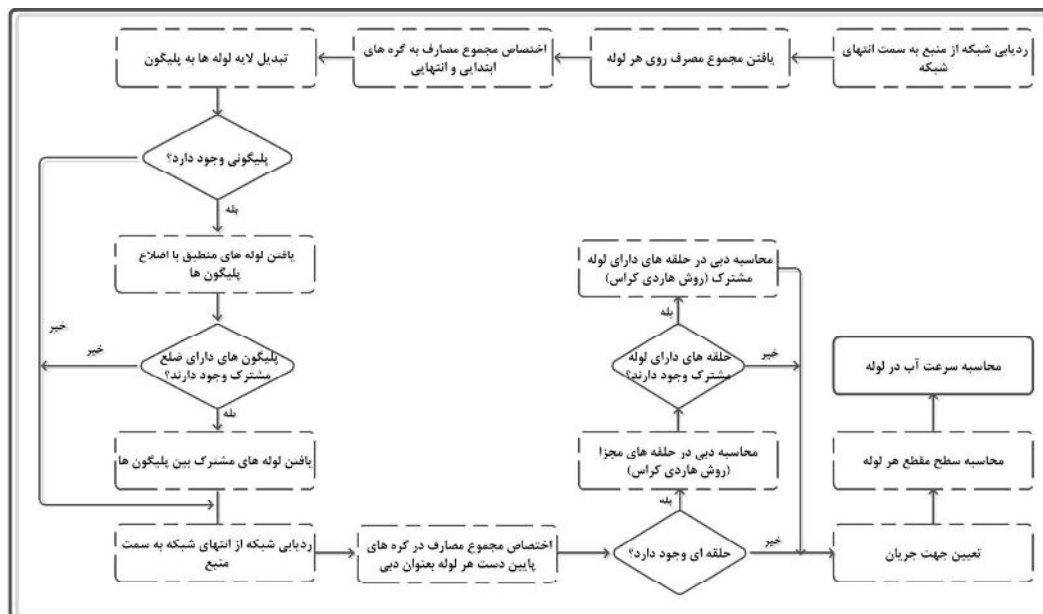
$$J = \frac{6.78}{d^{1.165}} \left(\frac{v}{c} \right)^{1.85} \quad \text{رابطه (۲)}$$

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

برای محاسبه سرعت آب در شبکه توزیع در این سیستم، از یک الگوریتم GIS مبنا در تلفیق با مدل هاردی کراس استفاده شد. در این مدل، برای شناسایی لوله‌های تشکیل دهنده هر یک از حلقه‌ها و نیز لوله‌های مشترک میان حلقه‌ها، لایه لوله‌های اصلی تبدیل به لایه 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 شبکه توزیع را براساس این مدل نشان می‌دهد:

دور اول دبی، به حلقه مجاور می‌رویم و مراحل از ۱ تا ۴ را برای آن نیز به کار می‌بریم و همین عمل را برای همه حلقه‌ها تکرار می‌کنیم. با تصحیح دبی در هر حلقه، تعادل دبی‌ها و بنابراین، افت‌ها در حلقه‌های مجاور آن برهم می‌خورد. چون دبی در لوله مشترک بین دو حلقه دوبار تصحیح شده است -یکبار در حلقه پیش و بار دیگر در حلقه بعد- این تصحیح آخر شرط ۱ را در حلقه پیش برهم می‌زند. این عمل را آن قدر تکرار می‌کنیم تا مقدار ΔQ در همه حلقه‌ها به‌طور اختیاری کوچک شود. پس از برقراری این حالت، باید قوانین کیرشهف در مورد همه 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.

در نهایت، 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 به دست آمده با علامت مقدار دبی فرضی پیش از



شکل ۴. الگوریتم طراحی شده برای تحلیل سرعت در شبکه توزیع

1. Hazen-Williams

۳- نتایج

در نهایت، با تلفیق چهار مؤلفه اصلی SDSS، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی مورد نظر در قالب نرم‌افزاری مستقل توسعه داده شد. این سیستم تحلیل‌های پیشرفته هیدرولیکی شبکه 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 شبکه توزیع مناسب خواهند بود. با استفاده از این سیستم، تحلیلگر شبکه به‌علاوه 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.

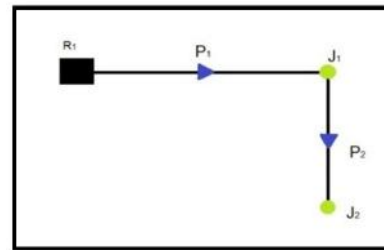
در این سیستم برای حفظ جامعیت داده‌ها، ضمن بررسی وضعیت توپولوژیکی شبکه در پایگاه داده مکانی شبکه توزیع، برای موجودیت‌های شبکه توزیع رفتارهایی همچون بررسی اتصال صحیح عوارض به یکدیگر و بررسی صحت مقادیر پیش از اختصاص آنها به خصوصیات توصیفی عوارض نیز تعریف شد. با توجه به اهمیت مبحث محاسبات هیدرولیکی و تحلیل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

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، سیستم بالا قادر به انجام دادن محاسبات هیدرولیکی همچون محاسبه سرعت و افت فشار است که برای رسیدن به این منظور، نخست لازم است الگوی مصرفی آب در منطقه مورد نظر تعیین شود. در واسط توسعه 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.

۲-۲-۲-۲ مدل هیدرولیکی تحلیل فشار در

گره‌ها

برای محاسبه فشار در گره‌ها از معادله برنولی^۱ استفاده می‌شود. این معادله که ساده‌ترین شکل بقای انرژی است، به معادله انرژی نیز موسوم است. طبق این رابطه، با توجه به شکل زیر، برای محاسبه فشار در گره J_2 داریم:



شکل ۵. شبکه نمونه برای محاسبه فشار در گره‌ها

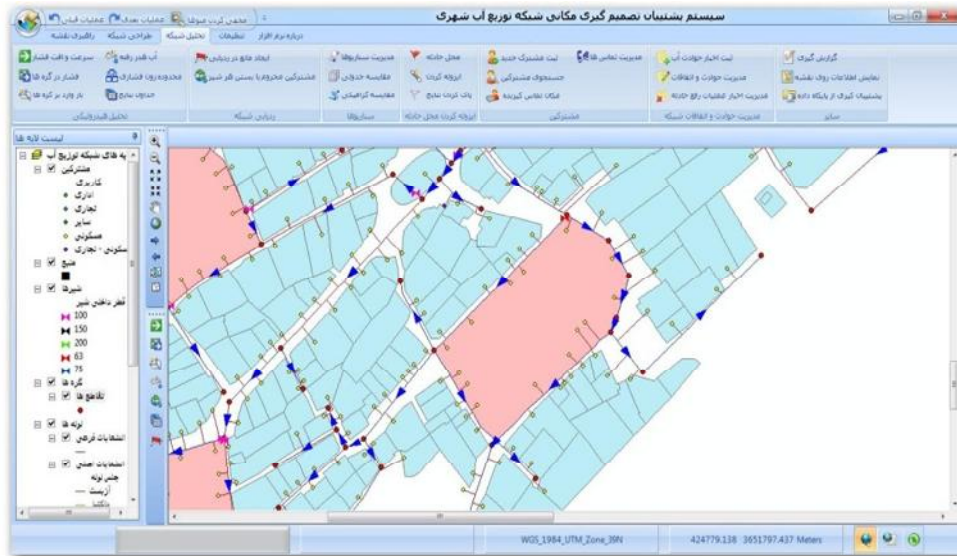
$$\frac{P_2}{\gamma} = \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) + (z_1 - z_2) + \frac{P_1}{\gamma} + C * h_{p2} * L \quad (3)$$

در این رابطه V_1 سرعت در لوله P_1 ، V_2 سرعت در لوله P_2 ، P_1 بار گره وارد بر گره J_1 ، Z_1 ارتفاع گره J_1 ، P_2 ارتفاع گره J_2 ، h_{p2} میزان افت فشار در طول لوله P_2 ، L طول لوله P_2 ، P_2 بار وارد بر گره J_2 و ضریب C در صورتی که جریان در لوله ۲ از سمت گره ۱ به گره ۲ باشد، برابر با ۱- و در صورتی که جریان از سمت گره ۲ به ۱ باشد برابر با ۱ خواهد بود (پازوش، ۱۳۸۵).

۲-۲-۴ کاربرن سیستم

این جزء از سیستم شامل چهار بخش توسعه‌دهنده، متخصص، تحلیلگر و کاربرن نهایی است (Sugumaran and Degroote, 2011). بخش کاربرن نهایی آخرین قسمت از حلقه کاربرن سیستم، شامل کارشناسان و مدیران شرکت‌های آفا است که باید با اطلاعات مهمی در مورد 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.

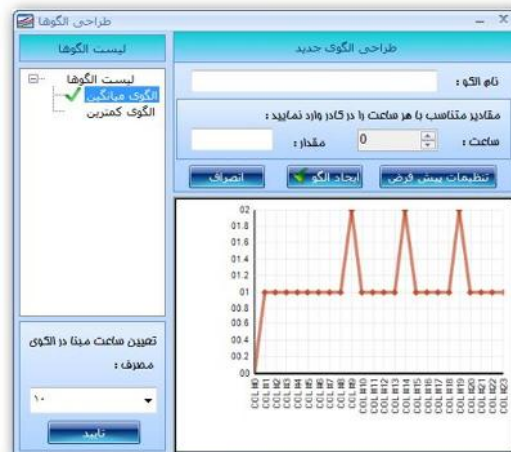
1. Bernoulli equation



شکل ۶. نمای کلی SDSS طراحی شده در این تحقیق

نشان داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تحلیلگر می‌تواند با تغییر مکان لغزنده، مقدار محاسبات را متناسب با ضریب در نظر 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 مقایسه آسان‌تر و بهتر نتایج، این امکان هم به صورت جدولی و هم به صورت 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 گرہ‌های خارج از محدوده مجاز سرعت و فشار) می‌تواند به مطلوب‌ترین طراحی از شبکه دست پیدا کند و در نهایت، 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 مقایسه



شکل ۷. طراحی الگوهای مصرفی

پس از مشخص کردن الگوی مصرفی آب و میزان مصرف مشترکان در سیستم، تحلیلگر می‌تواند میزان سرعت و افت فشار در لوله‌ها و فشار در گرہ‌ها را محاسبه کند. شکل ۸ نتایج حاصل پس از محاسبات سرعت و افت فشار در شبکه را نشان می‌دهد. در این شکل لوله‌ها و گرہ‌هایی که میزان سرعت و فشار در آنها خارج از محدوده مجاز است (سرعت بین ۰.۲ تا ۱.۵ متر بر ثانیه و فشار بین ۲۰ تا ۵۰ متر) با رنگ متمایز

طراحی سیستم پشتیبان تصمیم گیری مکانی (SDSS) ...

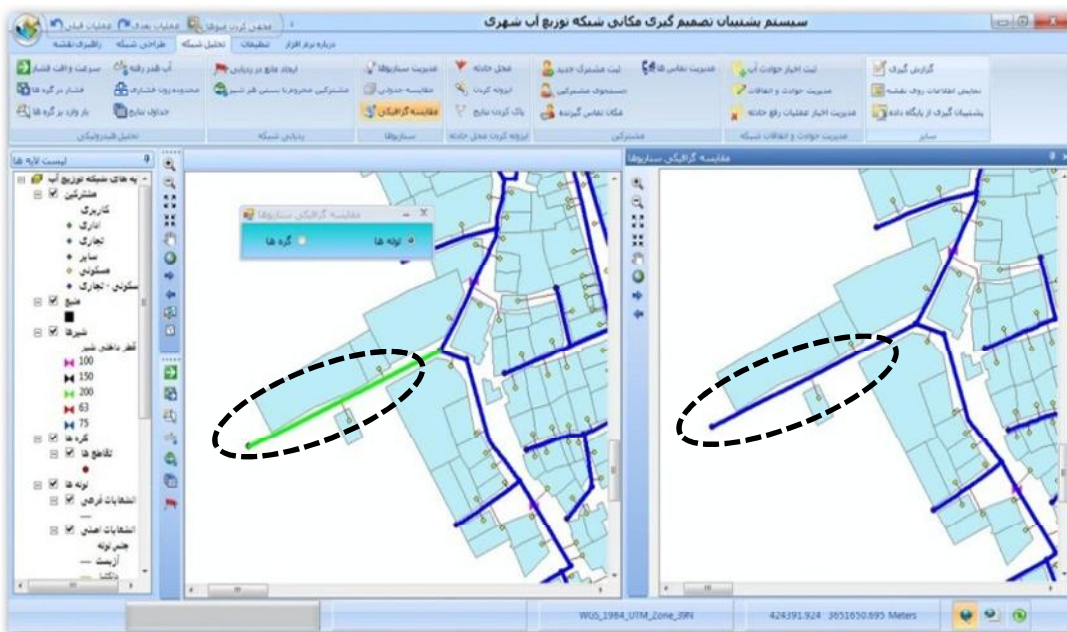
شماره لوله	طول لوله	قطر لوله	نوع لوله	تایم هیرتزو...	دبی لوله (l/s)	سرعت (m/s)	افت فشار (و)	افت فشار کل
P_1	۸۲۲,۷۱	۲۰۰	آزبست	۱۴۰	۱۵,۳۷۷	۰,۴۹۹	۰,۰۰۱۳	۱,۰۰۷۱
P_2	۴۲,۹۳	۲۰۰	آزبست	۱۴۰	۱۵,۳۸۱	۰,۴۹۶	۰,۰۰۱۳	۰,۰۰۸۳
P_3	۴۲,۲۸	۵۰	پلی اتیلن	۱۴۰	۰,۰۰۲۶	۰,۰۰۱۸	-	-
P_4	۱۷۸,۱۵	۲۰۰	آزبست	۱۴۰	۱۵,۳۰۹	۰,۴۹۴	۰,۰۰۱۳	۰,۰۳۳۲
P_5	۱۰۳,۷۳	۲۰۰	آزبست	۱۴۰	۱۵,۳۰۹	۰,۴۹۴	۰,۰۰۱۳	۰,۰۱۲۵
P_6	۱۰۹,۴۱	۲۰۰	آزبست	۱۴۰	۱۵,۳۰۹	۰,۴۹۴	۰,۰۰۱۳	۰,۰۱۲۲

شکل ۸. جدول نتایج محاسبه سرعت و فشار شبکه

۴- بحث و نتیجه گیری

با توجه به مسائل و مشکلات شرکت های آبفا در کشور، نیاز به استفاده از یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری مکانی جامع بیش از پیش احساس می شود. سیستمی که افزون بر داشتن قابلیت انجام دادن تحلیل ها و محاسبات مورد نیاز کارشناسان در داخل کشور، توانایی مدیریت داده ها در فرمت های گوناگون را در پایگاه داده

سناریوها به صورت گرافیکی را روی شبکه توزیع نمایش می دهد. در این شکل، لوله مشخص شده دارای سرعت کمتر از محدوده مجاز (رنگ آبی) در سناریوی نخست و در محدوده مجاز (رنگ سبز) در سناریوی دوم است. بنابراین، می شود نتیجه گرفت با اعمال خصوصیات فیزیکی در نظر گرفته شده در سناریوی دوم، شبکه اصلی از نظر وضعیت هیدرولیکی در شرایط مطلوب تری قرار دارد.



شکل ۹. مقایسه سناریوها

اتفاقات و رویدادها و مشاهده منطقه در GoogleMap، اقدام به بومی سازی این سیستم به منظور برآوردن نیازهای کاربران ملی شد.

همان طور که اشاره شد، این سیستم به دلیل توسعه یافتن برای رفع نیازهای داخلی، واسط های گرافیکی به زبان فارسی و کاربرپسند برای کاربران ملی دارد اما در مقابل نرم افزارهای خارجی مشابه مانند WaterGEMS و EPANET، به علت پیچیدگی ساختار و نیز اورجینال نبودن ورژن های موجود در کشور، امکان استفاده از همه قابلیت های آنها وجود ندارد. همچنین، در اجزای مدیریت پایگاه داده و مدیریت مدل ها سعی در برطرف کردن برخی نیازهای کارشناسان شرکت آبفای شهرستان فریدون شهر، مانند قابلیت اتصال به سیستم پایگاه داده مشتریان این شرکت و نیز مشاهده منطقه در GoogleMap شده است که این قابلیت ها در نرم افزارهای خارجی مشابه یافت نمی شوند. بنابراین، می شود گفت که سیستم حاضر می تواند جایگزین مناسبی برای این گونه نرم افزارها در کشور باشد.

نکته مهم دیگر در این مقایسه تلفیق نیازهای اساسی کاربران شرکت های آبفا، شامل تحلیل های مکانی و تخصصی شبکه در کنار یکدیگر و در سیستمی واحد است، به گونه ای که با استفاده از این SDSS نیاز به استفاده از هرگونه نرم افزار جانبی در تحلیل شبکه برطرف می شود. کاهش هزینه ها در کل فعالیت های مربوط به شبکه، صرفه جویی در زمان، افزایش دقت و اعتمادپذیری از دیگر مزایای سیستم طراحی شده است. توسعه این سیستم منجر به ایجاد سیستمی کمک کننده برای تصمیم گیری های مناسب، با امکان استفاده از قابلیت های GIS همراه با تحلیل های تخصصی این شبکه ها و بررسی آلترناتیوهای گوناگون از شبکه با تعریف سناریوهای گوناگون شده است.

در این سیستم، با پیاده سازی تحلیل های پیشرفته شبکه های توزیع آب شهری و همچنین، تحلیل های مورد نیاز کارشناسان و تصمیم گیرندگان این شبکه ها در کشور، با در نظر گرفتن ماهیت مکان مرجع این

مکانی یکپارچه فراهم کند و همچنین، امکان تعامل راحت و مؤثر این کاربران را با سیستم امکان پذیر 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 واسط های گرافیکی: در این

سیستم در جزء مدیریت واسط های گرافیکی، با توسعه فرم ها و واسط های گرافیکی کاربرپسند، امکان تعامل راحت تر و مناسب تر کاربر با سیستم فراهم شده است. این واسط ها به گونه ای توسعه داده شده اند که کاربران این شبکه ها در کشورمان به راحتی بتوانند آنها را به کار برند و به آسانی با سیستم ارتباط برقرار کنند. سیستم با نمایش پیغام های راهگشا و قابل درک کاربر را در تحلیل درست از شبکه یاری می کند.

ب) جزء مدیریت پایگاه داده: در این جزء از

سیستم برای حفظ جامعیت داده ها هنگام ویرایش آنها، در بعد توصیفی، مواردی همچون بررسی صحت مقاردهی 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 لوله های متناسب با قطر داخلی آنها، افزودن خودکار مشتریان به انتهای لوله های انشعاب فرعی پس از ایجاد لوله، ایجاد خودکار تقاطع ها به انتهای لوله های اصلی پس از ایجاد لوله و حذف خودکار آنها پس از حذف لوله اصلی، و بررسی وضعیت توپولوژیکی شبکه مدنظر قرار گرفته اند.

ج) جزء مدیریت مدل ها: در این جزء افزون بر

طراحی مدل های اصلی و مهم در تحلیل شبکه های توزیع آب که با مشاوره کارشناسان و متخصصان این گونه شبکه ها در کشور صورت گرفته است، با توسعه برخی مدل های کاربردی مانند محاسبه بار وارد بر گره ها، مشخص کردن فهرست مشتریان محروم از آب پس از بستن هر شیر، نشان دادن مناسب ترین شیر برای داشتن کمترین مشترکان محروم از آب هنگام شکستگی لوله، جستجوی مشترک تماس گیرنده، ثبت

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.

داده‌ها، امکان استفاده از سیستم برای همه 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**, Paper presented 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., Köhn, 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: sijn@balk.dk, ESRI.com. Arc News, <http://www.ballerup.dk>.

Pazvash, H., 2006, **Fluid Mechanic and Hydrolic Engineering**, University of Tehran