مترجم: مهندس شیرانی

با وجود اینکه روزبه روز نقش کامپیوترها در رابطه با محاسبات مهندسی بیشتر میشود، ولی انتخاب اندازه مناسب برای لوله‌ها دریک شبکه توزیع آب هنوز مانند قبل براساس قوانین تجربی و پدیده سعی و خطا تعیین میگردد. البته چندین برنامهٔ کامپیوتری دیگر نیز جهت تعیین اندازه لوله‌های یک شبکه دردست میباشد ولی بخاطر اینکه این برنامه‌ها تنها دریک شرایط خاصی قابل اجراء میباشند وکار کردن با آنها برای مهندسین مشکل است استفاده ازآنها بسیار محدود میباشد. این مقاله درمورد یک برنامه کامپیوتری دراین زمینه که توسط چندین محقق تکمیل و تصحیح شده است بحث میکند.

برای یک سیستم توزیع آب، ترکیبات بسیار متفاوتی ازلوله‌ها را میتوان درنظر گرفت که همه این ترکیبات قادربه توزیع آب مصرفی باشند. ولی ازمیان آنها طرح سیستمی با بهترین واقتصادی‌ترین ترکیب کاری مشکل است. درهر شبکه حلقوی، قطر هریک ازلوله‌ها برروی دبی آب اندازه لوله‌های حلقه تاثیر میگذاردو بهمین دلیل یک مهندس هیچگاه نمیتواند مطمئن باشد، که با انتخاب یک ترکیب خاص ازلوله‌ها، باصرفه ترین طرح و یا طرحی نزدیک به آن را انتخاب کرده است.

تاکنون درطرح شبکه‌های آبرسانی

برای سیستم توزیع آب ترکیبات بسیار متفاوتی از لوله‌ها را میتوان درنظر گرفت که این همه ترکیبات قادر به توزیع آب مصرفی باشند ولی از میان آنها طرح سیستمی با بهترین واقتصادی‌ترین ترکیب کاری مشکل است

★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★ ★

مهندسان برای پیداکردن ترکیبی ازلوله‌ها باکمترین قیمت تلاشی بخرج نمیداده‌اند و درموقع طراحی شبکه‌ای راکه قادر به انجام کارمورد نظر باشد موردتائید قرار میدادند وفاکتوراقتصادی بودن وهزینهٔ تاسیس شبکه محدودیتی ایجاد نمیکرده است ٥

تااین زمان فاکتورهای مهمی که درطرح شبکه درنظر گرفته میشدند عبارتنداز :

۱ ـ سرعت آب درلوله بهنگام مصرف متوسط باید درحدود $2^{fps}(.6^{m/s})$ باشد ٥

۲ ـ سرعت آب بهنگام حداکثر مصرف باید کمتر از $8^{fps}(2.4^{m/s})$ باشد ٥

۳ ـ برای سیستمهائی که آب مؤرد نیاز، آتش‌نشانی هم ازشبکه تامین میشود، حداقل قطر بایستی "۶(150^{mm}) باشد ٥

۴ ـ انتهای شاه لوله‌ها نباید مسدود باشد ٥

۵ ـ یک پمپ باظرفیت کافی برای تامین آب مورد نیاز درمواقع حداکثر مصرف همراه با یک پمپ ذخیره موردنیازمیباشد٥

۶ ـ فشار شبکه درحالت بهره برداری‌عادی ازآن بایستی بین $60-80^{psi}(414-552^{kpa})$ باشد ٥

۷ ـ فشار شبکه درمواقع ضروری بایستی حداقل به $20^{psi}(138^{kpa})$ برسد ٥

امروزه رعایت هریک ازموارد فوق دریک شبکه با بکارگیری یک برنامه کامپیوتری کاری ساده است ٥

درسال 1936 روشی برای محاسبه فشار و دبی آب درشبکه‌های حلقوی توسط هاردی کراس پیشنهاد گردیده ولی درآن زمان بعلت عدم وجود ماشینهای محاسبه و کامپیوتر، محاسبات بادست انجام میگرفت ٥ اگر چه درسال 1950 ماشینهای محاسبه‌ای که قادر به‌حل چنین شبکه‌هائی بودند، اختراع شده بود ولی حل شبکه‌ها بوسیله کامپیوتر ابتدا درسال 1960 وبا استفاده از کامپیوترهای دیجیتالی انجام شد ٥

امروزه کامپیوتر بصورت جزء لاینفکی در طراحی شبکه‌های آبرسانی درآمده‌است ولی هیچکدام ازبرنامه‌هائی که تابه امروز دراین زمینه نوشته شده‌اند، مستقیما" قادر به حل شبکه نمیباشند ودرهمه آنها بایستی برای پیدا کردن شبکه‌ای که بتواند ، کارمورد نظررا انجام دهدازروش سعی وخطا استفاده شود٥ (البته یک استثنا دراین زمینه وجود داردوآن مربوط به برنامه‌ای است‌که بوسیلهٔ Shamiv & Howard - تدوین شده بود٥ این برنامه قادربود قطر لوله‌ها را، مستقیما" محاسبه کند ولی این برنامه ترکیبی از لوله‌ها را با حداقل قیمت بما معرفی نمیکرد وتنها سودحاصل از بکار ـ گیری این برنامه این بود که به‌طراح، اندازه لوله‌هائی که میتوانستند درشبکه کارکنند وازلحاظ دبی وفشاراشکالی ایجاد نمیکنند را معرفی میکرد٥)

راه حل های دستی برای پیدا کردن اندازه مطلوب لوله‌ها به سال 1930 باز میگردد، که بعضی بصورت کامپیوتری درآمده ویا طرح نمونهٔ آنها رسم‌گردیده است ٥ دراین روشها ، لازم است‌که دبی جریان درهر لوله‌ازقبل مشخص‌شده باشد و سیستم تنها دارای یک‌شاه لوله انتقال آب باشد ٥

اوپتیمایزکردن شبکه‌های پیچیده :

محققین برروی برنامه‌ای که بتواند برای یک شبکه پیچیده، اپتیمم سایزها را، انتخاب‌کند ، سالها کارکرده‌اند٥ در اواخر سال 1960 Liaوschaakc, اولین برنامه‌ای راکه قادر به حل چنین مشکلی بود تدوین نمودند همچنین دراین سالها حدود ۱۰۰ مقاله دیگر تحت‌این عنوان منتشر گردیده٥ ولی باوجود همه این تلاشها برابرگزارش‌تحقیقی که درسال1981 توسط Cesario منتشر شد ، هیچکدام از ـ روشهای ارائه شده ، دراین سالها عملا" کاربردی نداشته‌اندواساسیترین‌دلیل این عدم کاربرد هم آن است‌که اکثر این برنامه برتکنیکهائی تکیه دارند که این تکنیکها تنها دریک دامنه خاص ومحدودی قابل استفاده‌میباشند وبمنظور حل شبکه‌های آب با استفاده ازاین برنامه‌ها لازم است‌که مسئله طوری خلاصه وساده شود که با تکنیکهای حل مسئله مطابقت پیداکند٥

دراین رابطه بتازگی تکنیکهای جدیدی طرح ومنتشر گردیده‌است‌که موثرترین آنها تکنیک Gradient searنام دارده (این روش قیمت یک شبکه را براساس‌چند متغیر محاسبه میکند وسپس مشتقات‌جزئی این رابطه رانسبت‌به هرکدام ازاین متغیرها محاسبه میکند وحل جدیدی برای مسئله بر حسب این مشتقات‌جزئی ارائه میدهد)٥ درهرصورت‌این تکنیکها میتوانندمهندسین را درانتخاب یک ترکیبی اپتیمم ازلوله‌ها راهنمائی کننده در کنفرانس‌اخیری که درارتباط با کاربردکامپیوتر درمسائل توزیع آب برگزار گردیده یک مسئله‌نمونه درمورد طراحی شبکه لوله‌ها به چند تن از محققین واگذار گردید وهرکدام‌ازآنها شبکه رابا استفاده ازبرنامه‌های خود طرح کردند وهرکدام به یک‌طرح که قیمت آن تاحدقابل قبولی پائین بود دست یافتند که تجربیات‌آنها دریک مقاله خلاصه گردیده٥ (18 - 13)

اگر چه هیچکدام ازاین جوابها کاملا" اپتیمایز نشده بود ولی آنها توانسته بودند روشی پیشرفته تراز روش سعی و خطا ارائه دهند واین خود برای، مهندسینی که برای اولین بار با این روشها آشنا میشوند، جالب میباشد.

امروزه مسئله اساسی دررابطه با پذیرش مدلهای اپتیمم کردن شبکه این واقعیت است که بکارگیری آنها برای مهندسین

● با برنامه WADISO مهندس میتواند طرح خود را در مقابل ۵ حالت مختلف بادگذاری سیستم چک کند.

آسان نمیباشد. ادامه این مقاله به توضیح درباره یکی ازاین برنامه‌ها که توسط جمعی ازمهندسین نوشته شده و پیشرفته ترین برنامه درزمینه انتخاب بهترین اندازه لوله‌ها میباشد، اختصاص داده شده است.

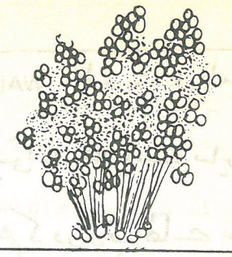
برنامه کامپیوتری WADiso:

مهندسین میتوانند با بکارگیری برنامه کامپیوتری WADiso ترکیبی از لوله‌ها را با مناسبترین قیمت انتخاب نمایند. این برنامه برخلاف سایر برنامه‌هائی که دراین زمینه نوشته شده است، با استفاده ازیک مدل ریاضی شبکه اپتیمم را انتخاب وطرح میکند.

WADiso علاوه براین برای رسیدن به جواب نهائی تا حد زیادی ازروش سعی وخطا، پیروی میکند. به هنگام استفاده ازبرنامه WADiso لازم است که تک تک ترکیبات ممکن از لوله‌ها مورد بررسی ومقایسه قرار گیرند. تعداد ترکیبات ممکن برای یک شبکه بسیار زیاد میباشد ولی ازطرفی سرعت عمل برنامه WADiso نیز بسیار بالاست واین برنامه برای رسیدن هرچه سریعتر به جواب ازتکنیکهائی استفاده میکند که سرعت عمل آن حتی درمورد سیستمهای پیچیده هم خیره کننده بوده وزمان محاسبه درحد معقولی میباشد

اولین تکنیک برپایه این واقعیت است که قطر لوله‌ها درطول یک شاه لوله تنها درتقاطع ها و انشعابهای اصلی تغییر میکند. WADiso بجای آنکه سایز هرتکه از لوله را بطور جداگانه تعیین کند سایزیک قسمت بزرگ ازشاه لوله راکه شامل گروهی از لوله‌هاست بطوریکجا مشخص میکند.

علاوه براین به هنگام کاربا WADiso بایستی ازمحاسبه ترکیباتی از لوله‌ها که ازلحاظ تجارتی و اقتصادی مقرون به صرفه نمیباشند، پرهیز جست تا به این ترتیب از تعداد ترکیباتی از لوله‌ها که باید محاسبه شوند، کاسته شود. تشخیص اینکه یک شبکه مقرون به صرفه است یا نه توسط مهندس مربوط داده میشود.



ازطرف دیگر کمتر پیش میآید که بخواهیم سایز تمام لوله‌های شبکه توزیع آب رایک ـ جا پیدا کنیم. اغلب اوقات استفاده کنندگان به برنامه‌ای تمایل دارند که اندازه لوله‌های قسمتهائی ازشبکه رامورد تجدید نظر قرار داده وآنها را اصلاح، نماینده. درچنین مواردی عموما" تعداد لوله‌ها زیاد نیستند.

برای تعیین اندازه یک قسمت ازشبکه، لازم است که تنها جزئیات مربوط به همان قسمت ذکر گردد وبقیه سیستم را میتوان با یک مدل ساده ارائه نمود.

درطرح یک شبکه آبرسانی، محاسبه فشار و دبی درهر لوله، بیشترین وقت کامپیوتر رامیگیرد. مراحل دیگر عبارتند از، مقایسه قیمتهای هر آلترناتیو با بهترین آلترناتیوی که قبلا" بدست آمده است.

به منظور نزدیک شدن به جواب مورد نظر برنامه WADiso بسیار کارآمد میباشد. کارآئی خوب این برنامه به این دلیل است که تنها برای تعداد کمی ازشبکه‌های ممکن بطور کامل اجرا میشود وفشار را ـ تنها برای این تعداد قلیل ازشبکه‌ها محاسبه میکند. نمودار نشان داده شده، در شکل (۱) قدمهائی را که برای طرح شبکه لازم است برداشته شود نشان میدهد. باید توجه داشت که تا رسیدن به مرحله " فشار را محاسبه کن " اکثر آلترناتیوها حذف شده‌اند. اولین قدم درنمودار جمله " محدوده قابل قبول اندازه لوله‌ها را مشخص کن " میباشد. به این ترتیب برای برخی ازلوله‌ها که درمحدوده قابل قبول نباشند، سایر مراحل انجام نمیشود و در وقت کامپیوتر صرفه‌جوئی میشود.

برنامه WADiso علاوه براطلاعات معمولی که جهت تعیین شبکه توزیع آب نیازدارد، به چندین داده دیگر هم محتاج است. یکی ازاین داده‌ها عبارتند ازعواملی که برقیمت هرفوت از لوله تاثیر میگذارد. مثلا" یکی ازاین عاملها قطر لوله‌ها میباشند. تجربه مهندسین نشان داده است

که تنها عامل موثر برقیمت لوله‌ها ، قطر آنها نمیباشد ، قیمت لوله‌ها به نحوهٔ پوشش روی لوله‌ها ومقدار حفاری که لازم، است بعضا " درزمینهای سنگلاخی انجام شود بستگی دارده بنابراین استفاده ـ کنندگان ازاین برنامه بایستی برای جهتها وقسمتهای مختلف شبکه لوله کشی فاکتورهای قیمت مختلفی رادرنظر بگیرند ٥

ازآنجا که میزان مصرف دائما " تغییر میکند ، درهرحال بایستی از اینکه یک لوله با یک سایز معین بتواند آب مورد نیاز آتش نشانی راتامین کند و یا در ساعات حداکثر مصرف مشکلی ایجاد نکند مطمئن گردید ٥ با برنامه WADiso مهندس میتواند ، طرح خود را درمقابل ۵ حالت مختلف بارگذاری سیستم چک کند٥ مثلا" یکی ازاین بارگذاریها مربوط به موقعی است که دریک محل مشخص آتش سوزی رخ داده باشد ویا اینکه میتواند مربوط به زمان حداکثر مصرف (پیک) آب باشد که بطور همزمان یک بار اضافی نظیر ترکیدگی لوله دریک محل هم برسیستم تحمیل شده است ٥ درشبکه های آبرسانی کوچک ، میزان انرژی که پمپ مصرف میکند ارتباط زیادی با سایز لوله‌های اصلی ندارد ، در حالی ـ که درشبکه‌های آبرسانی با وسعت بیشتر اندازه قطر لوله‌های اصلی برمصرف انرژی پمپ تاثیر زیادی میگذارند ٥ در برنامهٔ WADiso طوری برنامه ریزی شده که میتواند فهرست سایر برنامه‌هائی را هم که در رتبه‌های بعدی قرار دارند، چاپ کند بعنوان مثال ممکن است قیمت بهترین شبکه دریک مسئله 465,000 دلار باشد که حداقل فشارش 20.2^{psi} (139.3^{kpa}) است ، ولی درحل دیگری فشار 19.8^{psi} (136.5^{kpa}) باشد که قیمت آن 396,000 دلار است وحل سوم

WADiso - قیمت انرژی مصرف شده توسط پمپ هم باتوجه به منحنی واقعی پمپ درنظر گرفته شده است ٥ تاثیر زیاد قطر لوله اصلی برانرژی مصرفی توسط پمپ بخصوص درمورد لوله‌های اصلی طولانی به چشم میخورد ٥ دراین لوله‌های اصلی بایستی هزینه انرژی که بصورت افت فشار درلوله تلف میشود با هزینهٔ ساخت اولیه شبکه مقایسه گردد ودرنهایت یک حالت بهینه انتخاب شود ٥

مهندسین اغلب علاقمندند که علاوه بر حل اپتیمم شبکه ، سایر حلهایی را هم که لزوما " اپتیمم نیستند ولی نکات جالبی رادربردارند بررسی کنند٥ WADiso طوری برنامه ریزی شده که میتواند فهرست سایر برنامه‌هائی را هم که در رتبه‌های بعدی قرار دارند، چاپ کند بعنوان مثال ممکن است قیمت بهترین شبکه دریک مسئله 465,000 دلار باشد که حداقل فشارش 20.2^{psi} (139.3^{kpa}) است ، ولی درحل دیگری فشار 19.8^{psi} (136.5^{kpa}) باشد که قیمت آن 396,000 دلار است وحل سوم

قیمتی برابر 470,000 دلار دارد که در فشار 22.1^{psi} (152.4^{kpa}) کارمیکند٥

مراحلی که برنامه WADiso برای حل شبکه انجام میدهد، شبیه حل یک مسئله است که با دست حل میشود ، این مراحل عبارتند از :

ـ وارد کردن اطلاعاتی برای توصیف سیستم موجود ٥

ـ جمع آوری اطلاعات مورد نیاز برنامه و مدل کردن سیستم موجود ٥

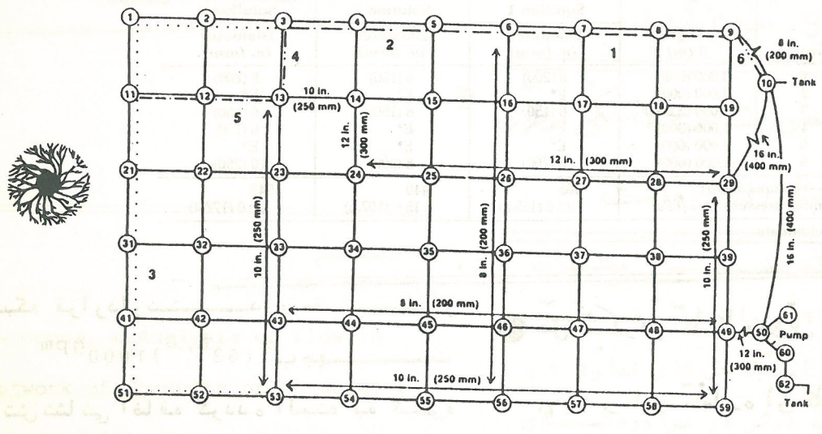
ـ آماده کردن اطلاعاتی درمورد قیمتها و لوله‌های نو ٥

ـ انتخاب الگویی جهت استفاده ازشبکه٥

ـ انتخاب فشار مورد نظر درشبکه وتعیین رنجی که مایلیم ازمشخصات سایر شبکه‌های غیر اپتیمم درآن رنج اطلاع پیدا کنیم ٥

نمونه شبکه‌ای که با برنامه کامپیوتری WADiso- حل شده است (شکل شماره ۲)

مثال : دراین مثال یک نمونه ازمسائلی راکه با استفاده ازبرنامه WADiso حل شده است بررسی میکنیم این مسئله شامل



شکل شماره (۲)

یک شبکه قدیمی توزیع آب میباشد که درشاخه‌های 1000^{ft} (300^{m}) مطابق شکل شماره (۲) نشان داده شده است ٥ ضرائب C مربوط به این شبکه درجدول شماره (۱) آمده است ٥ مسئولان پس از ارزیابی این شبکه به این نتیجه رسیده‌اند که این شبکه ازنظر ساختمانی بدون عیب است ولی لازم است که با یک لوله اصلی جدید تقویت گردد تا به هریک ازگره‌هائی که روی محیط

گروه (۱) ــــــ گروه (۴) ــ ــ ــ ــ

گروه (۲) ــ . ــ . ــ گروه (۵) ــ ــ ــ ــ

گروه (۳) ــــــ گروه (۶) ــ . ــ . ــ . ــ

TABLE 1
Data for example problem

Diameter in. (mm)	Cost $/ft	Existing C-factor
6 (150)	30.2	60
8 (200)	38.6	60
10 (250)	57.8	120
12 (300)	NA*	80
16 (400)	NA	80

*NA—not applicable

TABLE 2
Summary of noninferior solutions

Group	Length ft (m)	Solution 1 Diameter in. (mm)	Solution 2 Diameter in. (mm)	Solution 3 Diameter in. (mm)
1	3,000 (900)	8 (200)	6 (150)	8 (200)
2	3,000 (900)	E*	E*	E*
3	9,000 (3,000)	6 (150)	6 (150)	6 (150)
4	1,000 (300)	E*	E*	6 (150)
5	2,000 (600)	E*	E*	E*
6	2,000 (600)	8 (200)	8 (200)	10 (250)
Cost—*thousand dollars*		465	440	542
Minimum pressure—*psi (kPa)*		22.6 (155.8)	15.6 (107.6)	25.0 (172.4)

*E—eliminate

● حل شبکه توسط کامپیوتر ابتداء در سال ۱۹۶۰ و با استفاده از کامپیوترهای دیجتالی انجام شد .

هر کدام از این گروهها درشکل شماره (۲) ، نشان داده شده اند . گروههای ۱ و ۲ و۳ و ۶ برای تقویت قسمتهائی ازشبکه که روی مرز قراردارند ، در نظر گرفته شده اند ، درحالیکه ، لوله های گروه پنجم و چهارم ، لوله‌هائی که روی مرزهای سیستم قراردارند رابه حلقه‌های داخل سیستم متصل میسازند .

نتایج حاصل ازحل شدن شبکه توسط برنامه WADiso درجدول شماره (۲) نشان داده شده، است . حل شماره یک که همان شبکه اپتیمم

شبکه قراردارند ، مقدار آب جهت $(63^{L/S})1000^{gpm}$ - آتش نشانی اضافه گردد . البته به گره شماره (۶) لازم است که $(95^{L/S})1500^{gpm}$ اختصاص داده شود . هنگامیکه سطح آب درتانک روی 230^{ft} (70^{m}) تنظیم شده باشد بایستی فشار در هر گره ، $(138^{kpa})20^{psi}$ باشد برای لوله‌های جدید فاکتورC برابر 130 درنظر گرفته شده است . درمواقع معمولی، آب مصرفی هرگره $(1^{L/S})$ 20^{gpm} میباشدو تنها در گره شماره ۱۴ مصرف برابر $(32^{L/S})500^{gpm}$ و در گره 43 هم مصرف برابر $(13^{L/S})200^{gpm}$ درنظر گرفته شده است . دراین مسئله مهندس مربوطه شبکه رابه ۶ قسمت تقسیم کرده است که درهرقسمت سایز لوله‌ها میتوانند شامل 6 , 8 یا 10 اینچ $(250/200/250^{mm})$ باشند

● اولین برنامه در مورد اپتیم کردن سایز لوله‌ها دراواخر سال ۱۹۶۰ توسط Lia و Schaakc تدوین گردید .

● امروز کامپیوتر بصورت جزء لاینفکی درطراحی شبکه‌های آبرسانی درآمده است

میباشد شبکه رادرفشار مطلوب 20^{psi} (138^{kpa}) و باکمترین قیمت ممکن طرح کرده است . حل های شماره ۲ و ۳ نیز دو نمونه دیگر از برآوردهای سیستم است که هرکدام درفشاری بالاتر و پائین تر ازحل شماره یک وباقیمتی، بالاتر وپائین تر ازآن قراردارنده دراین مسئله قیمت انرژی بعنوان یک متغیر درقیمت شبکه درنظر گرفته نشده است .

قابلیت کاربرد برنامه :

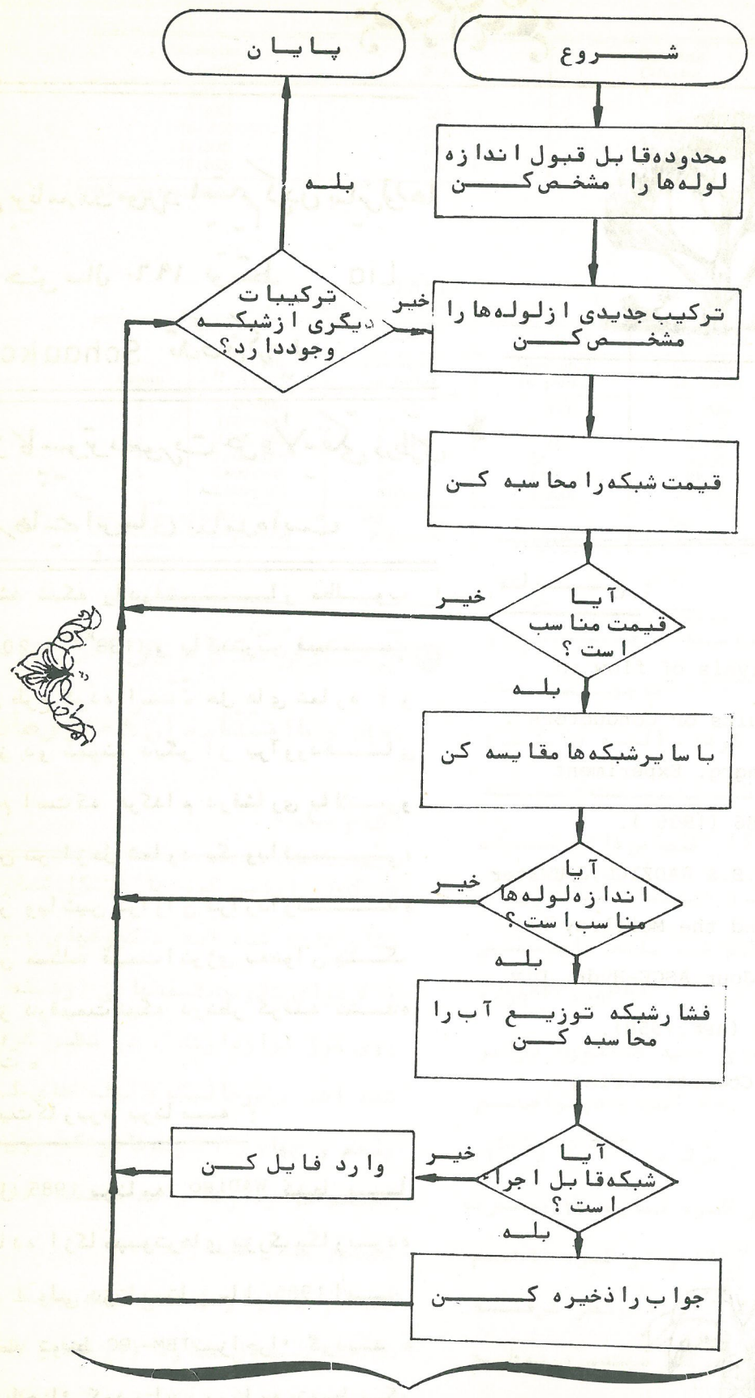
تا سال 1985 برنامه WADiso تنها با استفاده ازکامپیوترهای بزرگ بکاربرده میشد ، ولی درتابستان سال 1986 این برنامه توسط IBM- PC نیزاجراء گردید . برای اجراء کردن این برنامه توسط یک کامپیوتر شخصی (PC) احتیاج به 512^{kpyte} حافظه میباشد .

منابع :

1- Cross, H.Analysis of flow in Network of Conduits or Conductors . Univ. of Ill. Engrg. Experiment Station, Bull.286 (1936).

2- MC PHERSON,M.B.& RADZIUL,J.V.Water system Design and the Mcillroy Net work Analyzer. Jour.ASCE-Hydr. Div., 82 : Hy2 : 1588 (APR.1958).

3- HUDSON,W.D. Computterizing



Denver,Colo. (1981).

11- ALPEROVITS,E.& SHAMIR,U.Design of Optimal Distribution systems . Water Resources Res.,13:6:885 (June 1977).

12- QUINDRY.G.E ,BRILL,E.D.& LIEBMAN J.C.Optimization of looped water Distribution systems.Jour.ASCE-Enuir Engrg Div. 107:EE4.665(Aug 1981).

13- BRILL,E.D.LIEBMAN, J.C.,& LEE , H.L.Optimization of looped water Distribution Nerworks. Computer Applications in water Resources,ASCE Buffalo, N.Y.(1985).

14- GESSLER,J.pipe Network Optimization by Enumeration. Computer Applications in water Resources,ASCE,Buffalo,N.Y.(1985)

15- MORGAN, D.R.& GOULTER,I.C.Water Distribution Design with Multiple Demands. Computer Applications in water Resources, ASCE,Buffalo,N.Y. (1985)

16- IEPPSPN,R.W.Rractical Optimization of looped water systems Computer Applications in water Resources ASCE,Buffalo,N.Y.)(1987).

17- WALSKI, T.M.ET AL. THE Battle of the Network Models: pipeline Design Jour . ASCE - Tran sportation Engrg . 99:TEL:73 (Feb.1973).

4- SHAMIR,U.& HOWARD,C.D.D Engineering Analysis of water Distribution systems. Jour . AWWA , 69:9:510 (Sept 1977).

5- CAMP,T.R.Economic pipe sizes for water Distribution systems. Trans.ASCE.104:190 (1939).

6- AINSWORTH, S.C. Water pipeline Size Optimization program.Proc .AWWA Ann.Conf., Washington,D.C.,June 23 - 27 (1985).

7- WALSKI,T.M. Analysis of water Distribution systems van Nostranl Reinhold Inc.,New york (1984).

8- SCHAAKE,J.C.& LAI,D. Linear Programming and Dynamic Programming Application To water Distribution Network Design. MIT Hydrodynamics Lab., Rept.116 (1969).

9- WALSKI, T.M.State of the Art pipe Network Optimization. Computer Applications in water Resources.ASCE,Buffalo,N.Y.(1985).

10- CESARIO,A.L.Network Analysis in Survey. Denver water Dept.

USArmy Crops of Engrs .

Waterways EXP.Sta. Vicksburg. Miss .

(Oct 1985).

ترجمه :کمیته تحقیقات آب وفاضلاب اصفهان

بهـــــار ۱۳۶۸

ازمجلـــــه :

American water works Association

(AWWA)Desamber 1988 VOL.78.

Epilogue.Jour.ASCE-Water Resources planning and Management,113:2:191 (March 1987).

18- GESSLER, J.& WALSKI, T.M.Water Distribution Sys.

Optimization. Tech. Rept.EL-85-11 .