اندازه گیری و الگوسازی تغییرات کیفی آب در شبکه های توزیع و کاربرد عملی نتایج بدست آمده

حمید موحدیان

مقاله حاضر تلفیقی است از دو مقاله ای که توسط رابرت کلارک [1] مدیر بخش تحقیقاتی آب آشامیدنی حفاظت محیط زیست آمریکا، والترگری من [2] مهندس مشاور و تیم پژوهشی همکار آنان تهیه شده و در ژورنال AWWA اوت ۱۹۹۰ و جولای ۱۹۹۱ درج گردیده است .

موضوع بحث مسئله کاملا" جدیدی است وتاکنون کمتر از این زاویه با تغییر کیفیت آب آشامیدنی برخورد شده است . در این دو مقاله سعی شده تغییرات کیفی آب آشامیدنی در طول شبکه های آبرسانی اندازه گیری شود و همچنین الگوهای متناسب کامپیوتری بدین منظور ارائه گردد.

در بخش دیگر کاربرد عملی الگوهای طراحی شده برای آلودگیها در طول شبکه توزیع به نگارش درآمده است. طولانی بودن این دو مبحث ما را ناچار ساخت دست به خلاصه سازی آنها بزنیم. تلاش ما بر این است که رئوس مطالب را جهت اطلاع خوانندگان درج نمائیم.

اندازه گیری تغییرات کیفی آب درشبکه های توزیع آب آشامیدنی

مقدمه

تاکنون غالبا" کیفیت آب آشامیدنی هنگام خروج از تصفیه خانه مورد بررسی قرار گرفته و کمتر به افت کیفیت آن در طول شبکه های توزیع پرداخته شده است . حال آنکه شبکه توزیع خود میتواند تأثیرات بسیار نامطلوبی بر روی کیفیت آب بگذارد و ما در اینجا تحقیقاتی را که پیرامون تأثیر اختلاط هیدرولیکی روی کیفیت آب در طول شبکه های آبرسانی انجام داده ایم بیان خواهیم کرد. نظارت این پروژهٔ تحقیقاتی بر عهده ادارهٔ آب پنسیلوانیای شمالی بود.

در واحد مورد مطالعه روزانه ۱۸۹۲۷ متر مکعب آب تصفیه میشود و طول شبکه توزیع ۳۶/۲ کیلومتر است. ظروف نمونه گیری مورد استفاده کاملا" اتوماتیک بوده و طراحی آنها بگونه ای صورت پذیرفت که

ترکیبات فرار در آنها کاهش پیدا نکند. در کنار برنامه های نمونه برداری برای پیش بینی تغییرات کیفی آب در طول شبکه از الگوهای کامپیوتری استفاده شد. عواملی که در ایجاد تغییرات کیفی در طول شبکه توزیع آب مؤثر هستند عبارتند از:

- کیفیت شیمیائی و بیولوژیکی منابعی که تصفیه خانه های آب را تغذیه میکنند.
- راندمان فرآیند تصفیه انجام شده در واحد بر روی آب خام دریافتی.
- عملکرد تأسیسات ذخیره سازی و سیستم توزیع آب.
- زمان ساخت تصفیه خانه و عمری که ازتجهیزات بکار رفته در واحد می گذرد.
- کیفیت آب خروجی از تصفیه خانه.

بند اول موارد فوق الذکر از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که معمولا" تصفیه خانه ها، آب خام مورد فرآیند خود را از منابع گوناگونی مثل آبهای زیر زمینی، آبهای سطحی و یا ترکیبی از آبهای سطحی و زیرزمینی تهیه میکنند.

برای هر کدام از حالات فوق بایستی تأثیرات مربوطه جداگانه مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد و بویژه تأثیراتی که ناشی از اختلاط آب خام حاصل از منابع مختلف است باید مد نظر باشد.

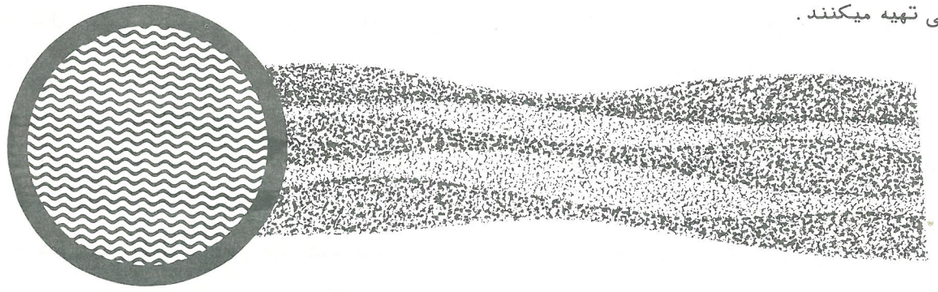
برای درک تغییرات کیفی آب در طول شبکه توزیع باید نحوهٔ رفتار هیدرولیکی مثل سینتیک تشکیل مواد آلاینده و تخریب ناشی از آنرا تشخیص داد.

این پارامترها را میتوان در مقیاس کوچك با تشکیل و ساخت حلقه های مخصوص مورد مطالعه قرار داد ولی بررسی آنها در شبکه های توزیع بدلیل پیچیدگی اغلب سیستمهای توزیع امکانپذیرنمیباشد.

به منظور آنالیز بهره برداری ازشبکهٔ آب و همچنین درك الگوهای جریان کاملا" متغیری که در اکثر شبکه های آبرسانی وجود دارد متناوبا" مدلهای هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق روشن شد که مدلهای ایجاد آلودگی میتواند با مدلهای هیدرولیکی پیوند یابد و برای الگوسازی تغییرات شیمیائی، بیولوژیکی، هیدرولیکی انجام شده بکار رود.

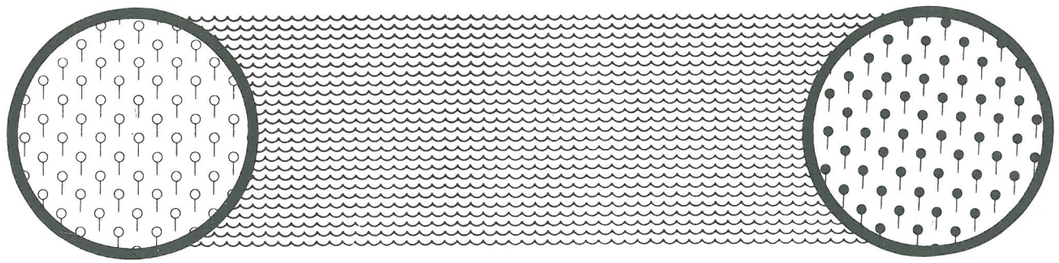
تحقیقات پیشین پیرامون کیفیت آب

مطالعه ای که در سال ۱۹۷۶ انجام شد نشان میدهد تغییرات باکتریائی میتواند در طعم و بوی آب اشکالاتی ایجاد نماید و موجب تشکیل لایه‌ای لزج بر روی جدارهٔ داخلی لوله گردد که این لایه باعث ایجاد خورندگی در سطح لوله و تجزیه بیولوژیکی شده



و تعویض این لوله ها مستلزم صرف هزینهٔ بسیار زیادی خواهد بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که هنگام توزیع آب جمعیت های‌باکتریائی تمایل به افزایش دارند. عواملی که در رشد جمعیت های باکتریائی تأثیر دارند به شرح زیر هستند.

- کیفیت باکتریائی آب تصفیه شده ای که وارد شبکه توزیع میگردد.



- دما و زمان ماند آب در شبکه توزیع.
- وجود و یا عدم وجود مواد ضدعفونی کننده که در تصفیه خانه مصرف میشود.
- جنس لوله های بکار رفته در شبکه توزیع.
- امکان دستیابی میکربها به مواد غذائی برای رشد.

مول[۳] و دیگر همکاران تحقیقاتی در تغییرات موقت و دائم باکتریهائی را که در یك سیستم‌توزیع از مواد آلی استفاده میکنند روی صفحات شمارش باکتری[۴] مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که کلر آزاد و کلر باقیمانده کل بسرعت و بلافاصله پس از خروج آب از تصفیه خانه کاهش می یابد و در قسمت هائی از شبکه که میزان‌باکتری شمارش شده در بالاترین حد خود بود نشانی ازوجود کلر دیده نمیشد.

مك کوی[۵] و اولسون[۶] ارتباط بین کیفیت باکتریائی و تیرگی و مقدار ذراتموجود درآب توزیع شده را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجهٔ بدست‌آمده نشان داد تیرگی، تابع خطی غلظت ذرات کل بوده و به تعداد سلولهای باکتریائی بستگی ندارد، تغییر کیفیت آب توسط باکتریها در نتیجه یك سری‌وقایع پیوسته و غیر قابل پیش بینی در داخل شبکه رخ میدهد که در این صورت بین تیرگی و باکتریهای شمارش شده ارتباط مستقیمی وجود دارد.

لی شوالیر[۷] بر روی مشکل لایه بیولوژیکی تشکیل شده در طول شبکه آبرسانی مطالعاتی انجام داد و دریافت که تراکم باکتریهای شمارش شده آب خروجی از تصفیه خانه تا هنگام رسیدن به قسمت مورد مطالعه افزایش پیدا میکند.

دونلون[۸] و پایپ[۹] تلاش کردند ارتباط سرعت آب در طول شبکه توزیع را با مقدار کل باکتریهای موجود در ظرف نمونه برداری مشخص نمایند.

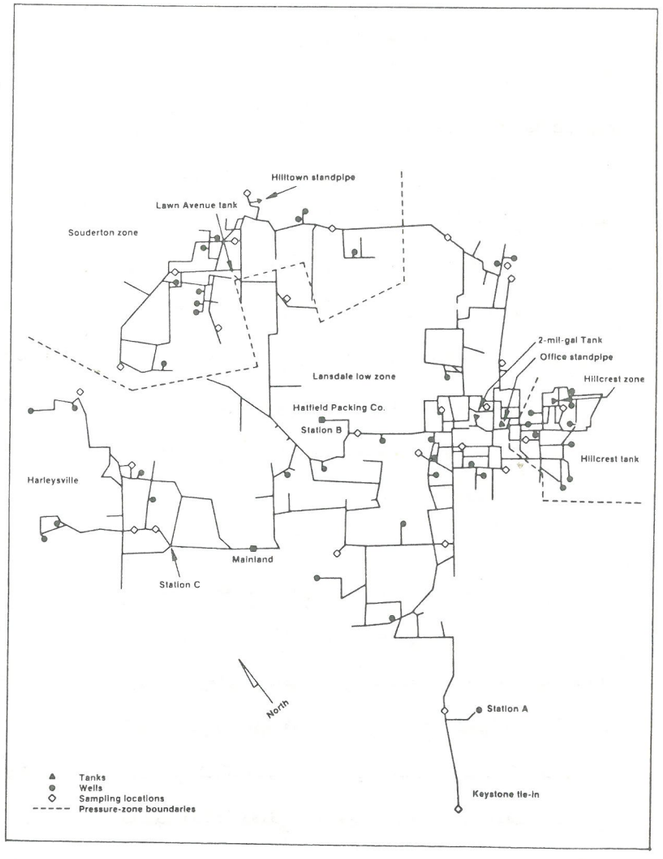
پیسیگان[۱۰] و سینگلی[۱۱] ارتباط بین سرعت سیال درون شبکه و کیفیت شیمیائی آب را با خوردگی آب در لوله مورد مطالعه قرار دادند.

ریبر[۱۲] و همکارانش پس از انجام اندازه گیریهای لازم در سیستم توزیع به رابطه موجود بین خورندگی لوله های آب با کیفیت شیمیائی سیال جاری درآن پی بردند متسون[۱۳] و کاراکلیس[۱۴] الگوهای تئوریك و تجربی در زمینهٔ رشد لایه های بیولوژیکی و اتصال آن به شبکه های آبرسانی بوجود آوردند.

با وجود تحقیقات و مطالعاتی که بآن اشاره شد هنوز کارهای زیادی باقی مانده است که باید انجام گیرد زیرا سطح فعلی دانش ما از نحوهٔ تغییرکیفیت آب در شبکه های آبرسانی بحدی نیست که قادر باشیم الگوی دقیقی را جهت تغییرات کیفی آب پیش بینی نمائیم.

منطقه مورد مطالعه

دامنهٔ مطالعات انجام شده در این مقاله مربوط به ادارهٔ آب پنسیلوانیای شمالی است. این اداره ۱۴۵۰۰ مشترک خود را در ۱۹ شهر پنسیلوانیا سرویس میدهد. چنانچه گفته شد میزان آب تولید شده روزانه ۱۸۹۲۷ مترمکعب است که از این مقدار ۳۷۸۵/۴ مترمکعب آبهای سطحی است و ۱۵۱۴۱/۶ متر مکعب باقیمانده از ۴۰ حلقه چاهی که توسط ادارهٔ آب پنسیلوانیای شمالی مورد بهره برداری قراردارد تأمین میگردد. شبکه های مرتبط با یکدیگر دارای ۵ تانک ذخیره، دو ایستگاه پمپاژ و ۳۶۰ کیلومتر لوله هستند.



شکل شمارهٔ (۱) پلان شبکهٔ آبرسانی اداره آب پنسیلوانیای شمالی

قطر لوله‌ها بین ۷/۵ تا ۶۰ سانتیمتر بود، وجنس لوله ها از بتن، فولاد و چدن میباشد. توجه اصلی در این مطالعه معطوف بود به الگوسازی حرکت و کیفیت آب درمنطقه لانس دیل[۱۵] که بزرگترین قسمت شبکه آبرسانی است.

در حال حاضر آب منطقه کی استون[۱۶] که نسبت به آب چاههای ادارهٔ آب پنسیلوانیای شمالی حاوی مقدار بیشتری تری هالومتان کل میباشد وارد شبکه آب میگردد.

در برخی از چاهها تری کلر و اتیلن و ۱ و ۲ دی‌کلر ـ واتیلن نیز یافت میشود.

همچنین، نسبت مواد غیر آلی موجود در چاهها متفاوت است.

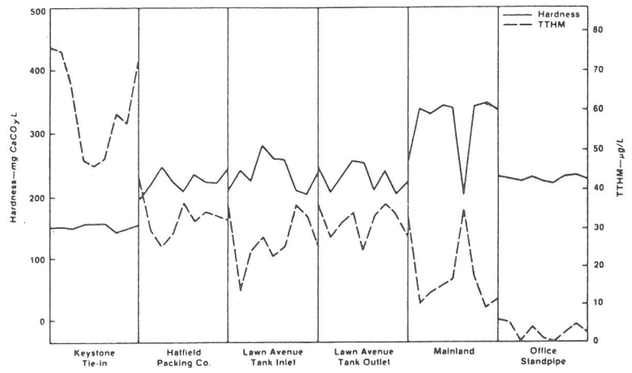
اندازه گیری تغییرات کیفی آب

اطلاعاتی که به ثبت میرسید عبارت بود از: تاریخ، کد، نوع آزمایش، تری هالومتان کل، کلروفرم، بروموفرم، تری کلرواتیلن، سختی سولفات و مواد جامد کل.

تعداد نمونه های اخذ شده از ۳۱ ایستگاه ۵۸۳ نمونه میباشد.

مکانهای نمونه برداری چنانچه در شکل ۲ مشخص است عبارتند از، کی استون، هات فیلد[۱۷]، ورودی مخزن لاون[۱۸]، خروجی مخزن لاون، مین لاند[۱۹] و مخزن آفیس.[۲۰]

نمونه ها در فاصله ۴ ساعت یکبار گرفته شده و نمونه برداری از ساعت ۹ صبح ۱۴ نوامبر سال ۱۹۸۵ شروع و در ساعت ۵ بعداز ظهر ۱۵ نوامبر خاتمه یافته است. روی محور قائم، سختی وتری‌هالومتان کل ثبت شده است.



شکل شمارهٔ (۲) نتایج حاصل از ۶ منطقه نمونه برداری در طول شبکه توزیع آب پنسیلوانیای شمالی

با بررسی شکل فوق نتایج زیر قابل پیش بینی است:

ـ افزایش سختی آب به علت جریان پیدا نمودن آب چاهها میباشد.

ـ تغییرات و نوسانات مقدار تری هالومتان کل کاملا" بستگی به میزان ترکیب آبهای حاصل‌ازمنابع مختلف است.

ـ در قسمت ورود به مخزن خیابان لاون میزان حداکثر تری هالومتان ۳۶ و مقدار حداقل آن ۱۳ میکروگرم در لیتر است.

ساخت تجهیزات نمونه گیری اتوماتیك

نمونه برداری طولانی از یك نقطه خاص شبکه آبرسانی نیاز به نیروی انسانی گسترده ای داردودر همین راستا استفاده از وسایل اندازه گیری‌اتوماتیك ضروری می نمود. با بررسی وسایل نمونه گیری موجود در بازار نشان می داد که این وسایل قادر نیستند ما را به اهداف پیش بینی شده در این تحقیق برسانند. اینگونه تجهیزات معمولا" به دو دسته تقسیم میشوند. یکی آنهایی که برای انجام‌آزمایشات مستمر در محل طراحی شده است و دوم مدلهای دوار که برای نمونه برداری از کانالهای روباز طراحی شده است.

نوع اول معمولا" گران است و انواع آزمایشهایی را که میتواند انجام دهد محدود است. ازطرف‌دیگر نمونه گیری دوار نوعا" برای نمونه برداری از سیستم های آبرسانی تحت فشار طراحی شده است. در کل بزرگترین عیب این نوع تجهیزات آنست که بر اساس حفظ ترکیبات فراری نظیر تری هالومتان کل طراحی شده است.

در این نمونه گیرها هیچ سرپوشی برای بطریهای نمونه برداری پیش بینی نشده تا بتواند از قرار گرفتن نمونه در معرض هوا جلوگیری نماید و به همین دلیل ترکیبات فرار کاهش می یابد. به‌همین دلیل دستگاهی طراحی شد که بتواند همراه نمونه ـ گیرهای دوار بکار رود و نمونه را نیز از معرض هوا دور نگه دارد. بدین ترتیب نمونه گیرها قادر بودند با گذشت ۲۴ ساعت تا ۹۵ درصد مواد آلی فرار را در خود حفظ کنند.

در جدول زیر مقایسه ای انجام شده بین حفظ مواد فرار موجود در نمونه ها در دو روش نمونه گیری دستی و اتوماتیك .

TABLE 1
Comparison of mean recovery ratios for volatiles in samples collected manually and by two customized automated samplers

	Vinyl Chloride	1,1-Dichloroethylene	1,1,1-Trichloroethane	TCE
Custom sampler with EMSL capper versus manual sampling	0.91 (0.09)*	0.90 (0.10)	0.94	0.96
Custom sampler with solenoid-actuated valves versus manual sampling	0.96 (0.16)	0.89 (0.15)	0.93 (0.13)	0.94 (0.13)
Custom samplers compared	0.95 (0.16)	0.99 (0.23)	0.97 (0.13)	0.95 (0.17)

*Standard deviations in parentheses

جدول شمارهٔ ۱

الگوسازی تغییرات کیفی آب

تاکنون تلاش زیادی برای الگوسازی تغییرات کیفی آب در شبکه های آبرسانی انجام شده است . جالبترین آنها مطالعات لیو[۲۱] و هارت [۲۲] است . الگوی پیشرفته لیو توانایی الگوسازی هیدرولیکی از یك سیستم و الگوسازی از آلودگیهای بوجود آمده را برای یك مدت طولانی دارد.

الگوهای کیفی نیز برای تعیین تغییرات حاصل در میزان غلظت مواد آلوده کننده در شبکه توزیع بکار رفت .

الگوهای هیدرولیکی بطور وسیع در شبکه های آبرسانی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج حاصل به ثبت رسیده است . در الگوهای هیدرولیکی پایدار پمپاژ چاه، میزان آب مورد نیاز، جریان آب خروجی از تانك و مقدار افت فشار همواره ثابت بوده و در نتیجه این حالت تعادل میزان جریان و سرعت سیال در طول شبکه تعیین میگردد.

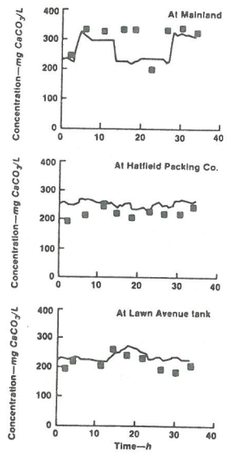
در این مطالعات از الگوسازی کامپیوتری نیز استفاده شد که اطلاعات حاصل بر روی دیسك ذخیره میشد.

الگوهای بوجود آمده در طول این تحقیقات عبارتند از:

- دیسك کامپیوتری الگوی اطلاعات پایه .
- الگوی ثابت رد یابی جریان که قادر است توزیع سیال را از هر منبع مشخصی در شبکه آبرسانی پیش بینی نماید.
- الگوی دینامیکی کیفیت آب که از اطلاعات هیدرولیکی شبکه آبرسانی استفاده میکند و پیش ـ بینیهای لازم زمانی و مکانی را در امر ارتباط با کیفیت آب انجام میدهد.

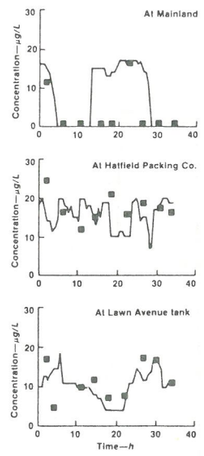
کاربرد الگوریتم الگوی دینامیکی

الگوریتم دینامیك کیفی آب بوسیله نرم افزار DWGN که به زبان فورترن نگاشته شده بکار رفت بررسی نتایج DWGN در سیستم شبکه آب پنسیلوانیای شمالی نشان داد که بین نتایج پیش بینی شده ونتایج بدست آمده نزدیکی وجود داشت . در شکلهای شماره ۳، ۴ و ۵ تغییرات میزان سختی، کلروفرم و تری هالومتان کل نسبت به زمان در مناطق مختلف مورد اندازه گیری نشان داده شده است .



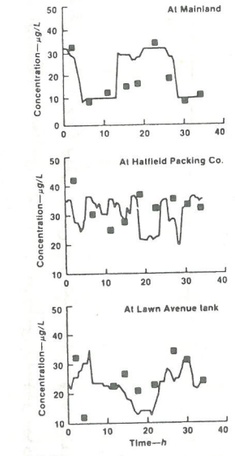
شکل شمارهٔ (۳)

مقایسه بین اندازه پیش بینی شده واندازهٔ بدست آمده سختی



شکل شمارهٔ (۴)

مقایسه بین اندازه پیش بینی شده واندازهٔ بدست آمده کلروفرم



شکل شمارهٔ (۵)

مقایسه بین اندازه پیش بینی شده واندازهٔ بدست آمده تری هالومتان کل

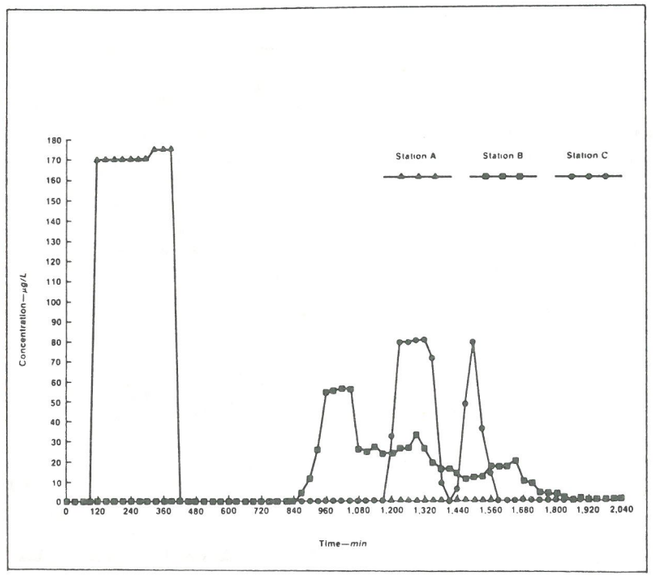
وجود اختلاف بین مقادیر پیش بینی شده و نتایج بدست آمده مربوط به عواملی بود که بطور خلاصه عبارتند از :

- در غلظت تری‌هالومتان کل، کلروفرم و سختی آب کی استون تغییرات موقتی دیده شده بود که در الگوی ساخته شده منظور نگردیده بود.
- اطلاعات محلی دقیق دربارهٔ غلظت تری هالومتان کل آب چاهها در دسترس نبود و لذا مقادیر فرض‌شده بر مبنای مقادیر مشاهده شده نبود.
- از آنجا که هنگام نمونه برداری اطلاعات محلی دربارهٔسختی آب چاهها در دسترس نبود مقادیر بدست آمده در زمانهای دیگر مبنای کار قرارگرفت.
- در کاربرد الگوها جنبهٔ فرار بودن کلروفرم و تری هالومتان در نظر گرفته نشده بود .

الگوی دینامیکی و ردیابی جریان سیال

برای پیش بینی حرکت مواد آلوده کننده، الگوی دینامیکی همراه الگوی ردیابی جریان سیال مورد استفاده واقع شد. طبق مطالعات مربوط به شکل (۲) مواد آلاینده قادرند تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت درطول شبکه حرکت کنند. تا حدی که امکانات اجازه میداد الگوهای هیدرولیکی و دینامیکی تولید آلودگی بایکدیگر تلفیق شدند.

برای توضیح دقیق تر یك ردیابی زمانی آلوده کننده در سه نقطه از سیستم (ایستگاههای A، B و C) طراحی گردید.



شکل شمارهٔ (۶) پیش بینی حرکت مواد آلوده کننده در سه ایستگاه انتخابی در شبکه آبرسانی پنسیلوانیای شمالی

ایستگاه A جائی است که مواد آلاینده به داخل سیستم وارد میشود.

ایستگاه B جائی است که حداکثر اختلاط درون سیستم انجام میشود.

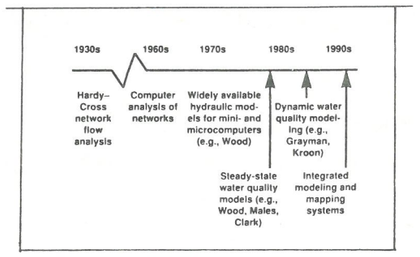
ایستگاه C نشان دهندهٔ میزان ماند مواد آلاینده در طول لوله در فاصله. زمانهایی است که اب‌روی یك نقطه مشخص درحال رفت و برگشت میباشد.

نتیجه گیری

•به تحقیقات بیشتری نسبت به آنچه معمولا" در شبکه های آبرسانی انجام میشود نیاز داریم میزان آلودگی میتواند در طول یك دورهٔ نسبتا" کوتاه و در یك نقطه مشخص تغییرات وسیعی نمایدوچرخه های هفتگی و سالانه میتواند با تغییرات هیدرولیکی و اختلاط حاصل بر روی میزان آلودگی در نقطه مشخصی از شبکه آبرسانی تأثیر گذارد.

الگوهای ثابت پیش بینی کیفیت آب میتواند شناخت لازم را دربارهٔ تغییرات کیفی والگوهای حاکم بر شبکه های آبرسانی در اختیار مابگذارد.

الگوسازی کیفی بر مبنای الگوهای هیدرولیکی‌انجام میشود، بنابر این پیش فرضهای مربوط به الگوسازی هیدرولیکی دقیقا" بر روی الگوسازی کیفی تأثیر بسزایی دارند. اطلاعات محلی نیز دربارهٔ کیفیت آب و تشخیص‌و درك الگوهای پیش بینی شده حائز اهمیت فراوان است . چنین اطلاعاتی باید درفواصل زمانی بدست آید که قادر باشد روزانه تغییرات دینامیکی آب را در سیستم بطور کامل نشان دهد. تحقیقات آینده باید شامل آزمایشهائی باشد که میزان حساسیت الگوهای ثابت را در برابرفرضیات هیدرولیکی تعیین کند. برای گسترش الگوهای دینامیکی باید الگوریتمهای بیشتری ایجاد نمود.



شکل شمارهٔ (۷) پیشرفت الگوسازی شبکه های آبرسانی.

کاربرد عملی الگوهای تغییرات کیفی آب درشبکه‌های توزیع

در این بخش از مقاله به کاربرد یکی ازمدلهایی که قبلا" ذکر شد برای توضیح انتقال آلودگی آب در شبکه آبرسانی ناحیه کوهستانی کابل اشاره میشود.

کاربرد این الگوها درکشف علت شیوع بیماری

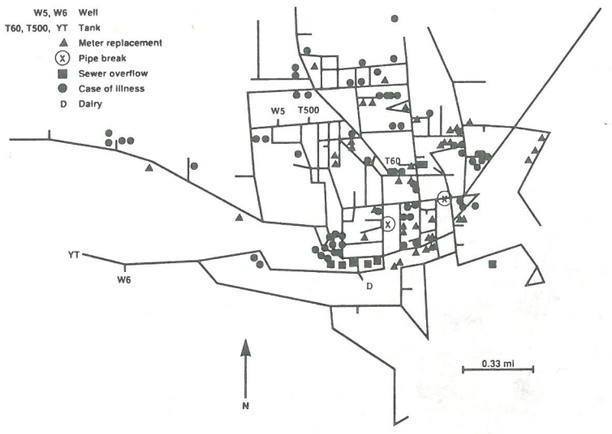
از ۱۵ دسامبر ۱۹۸۹ تا ۲۰ ژانویه ۱۹۹۰ در ناحیهٔ کوهستانی کابل[۲۳] (با جمعیت ۲۰۹۰) ۲۴۰ مورد اسهال دیده شد که از این عده ۴ نفر فوت شدند.

در تحقیقات مشخص شد باکتری کلیفرم اشرشیا نوع 0157:H7 که در مدفوع گاوهای شیری‌سالم‌وجود دارد عامل بوجود آورنده این بیماری بود.[۲۴]

بررسیهای مرکز کنترل بیماریهاومرکز تحقیقات آب سازمان حفاظت محیط زیست نشان داد که عامل بوجود آورنده بیماری از طریق سیستم توزیع آب منتقل شده است .

ما در اینجا نشان میدهیم چگونه یك الگو میتواندبرای مطالعه ایجاد آلودگی در طول شبکه توزیع بکار رود. هنگام شیوع بیماری شبکه آب آشامیدنی کابل از دو چاه استفاده میکرد. مخازن‌آب شامل منبع هوایی ۲۰۰۰ و ۲۴۰ مترمکعبی بود دو چاه دیگر و منبع ۴۰۰ مترمکعبی هنگام وقوع حادثه استفاده نمیشد. یك کارخانه فرآورده های لبنیاتی ازآب‌لوله ـ کشی که تا قبل از این واقعه ضدعفونی نمیشد و آب چاه بطور همزمان استفاده میکرد.

هوای سرد باعث شکستن دو لوله اصلی شبکه‌آبرسانی شد و از طرف دیگر نیز شبکه جمع آوری فاضلاب‌در چند نقطه از شهر پس زد و فاضلاب درسطح‌شهرروان شد. تداخل این امور با یکدیگر باعث بروزبیماری اسهال شد. شکل شماره ۲ این وضعیت‌راتوضیح میدهد.



شکل شمارهٔ (۸) شبکه آبرسانی ناحیه کوهستانی کابل

ورود آلاینده ها به شبکه توزیع میتواند بصورت زیر باشد:

۱ ـ آلودگی در چاه شماره ۵ و یا ۶ تولید شده باشد.

۲ ـ ارتباط نامعلومی بین کارخانهٔ لبنیات سازی و شبکه توزیع برقرار شده باشد.

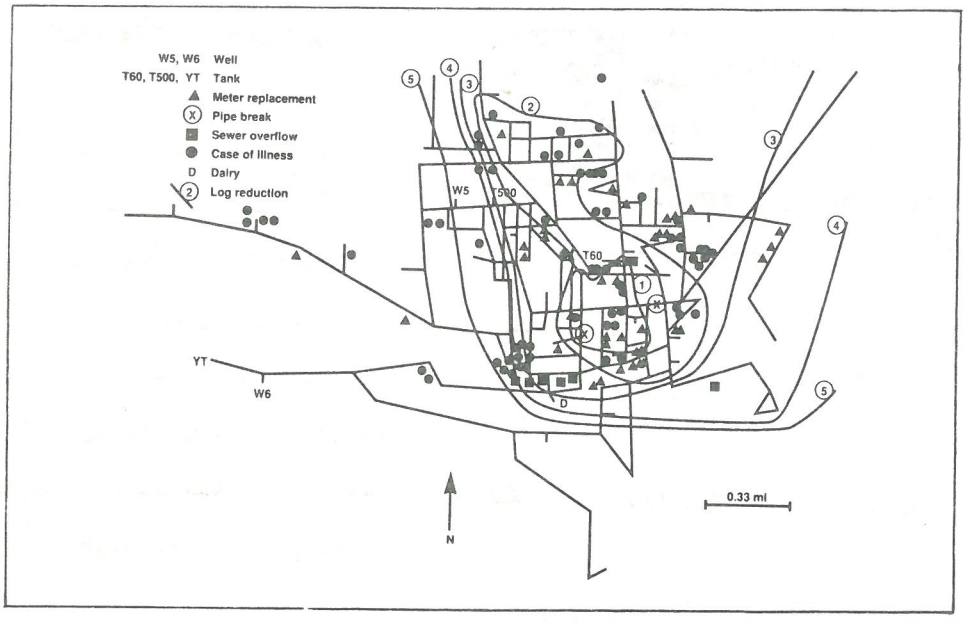
۳ ـ اختلال در شبکه باعث بروز آلودگی شده‌و سپس در طول شبکه توزیع پیشروی کرده باشد.

برای توضیح مسئله از الگوهایی که قبلا" بدست آمده بود و الگوی هیدرولیکی WADISO استفاده‌شد. چنانچه قبلا" نیز بحث شد این الگوها هیچگاه برای بررسی اینگونه آثار بکار نرفته بود. الگوی هیدرولیکی WADISO همراه با الگوی دینامیکی کیفیت آب در مطالعات مربوط به شکستگی لوله ها در تاریخ ۲۳ ـ ۲۲ و ۲۶ ـ ۲۵ دسامبر بطور وسیعی بکار رفته بود. در این مطالعات آلاینده ها در چند نقطه از شبکه دستخوش تغییر میشدند. بر اساس این تحقیقات مشخص گردید که بروز بیماری در اثر ورود آلاینده به شبکه توزیع بوده و احتمالا" از دو نقطه ای که لوله ها شکسته وفاضلاب ازآن دو نقطه توانسته بداخل شبکه آبرسانی راه یابد و آنرا آلوده سازد.

نتیجه گیری

مجموعه تحقیقات انجام شده نشان میدهد تا چه حد جنس و عمر لوله های شبکه توزیع میتواند بر روی شیوع بیماریها تأثیر گذارد ومهمتر از همه اینکه طراحی اصولی و صحیح شبکه های آبرسانی و تعیین مکان مناسب منابع آب تا چه حد وسیعی میتواند بر روی کیفیت آب حاوی درون شبکه تأثیر داشته باشد.

1- Robert M. Clark.
2- Walter M. Grayman.
3- Maul etal.
4- Heterotrophic plate count (H.P.C)
5- Mccoy.
6- Olson.
7- Lechevailier.
8- Donlon.
9- Pipes.
10- Pisigan.
11- Singley.
12- Reiber.
13- Matson.
14- Characklis.
15- Lansdale.
16- Keystone.
17- Hatfield.
18- Cawn.
19- Mainland.
20- Office.
21- Liou.
22- Hart.
23- Cabool,Mo.
24- Escherichia coli.



شکل شمارهٔ (۹) الگو سازی‌دینامیکی ورود آلاینده‌ها به دومین لوله شکسته