PLANNING FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: WATER QUALITY MODELLING OF RIVERS

Karamouz,M., Professor, Amir Kabir University

Ostad rahimi,A. and Zahraee, Jamab Consulting Engineers

Safavi,H.R.,Isfahan University of Technology

ABSTRACT

Development and expansion of cities, industeries and agricultural activities have resulted in a drastic increase in pollution of water resources from wastewater / sewage, pesticides and return flows. There are limited efforts to control these massive environmental contaminations. In this article, after a review of water resources development policies within the framework of sustainable development, emphasis have been placed on rivers as the main arteris for water transfer and how the fundamental steps in development of self purification model of rivers sould be taken. Zayandeh-rud river with its vital role in supplying water for different demand purposes in the province of Isfahan, has one of the richest water quality in the nation at its sources. As it flows downstream, it turns to such a low quality mixture of water and wastewater, before it gets to Gav-Khooni lake, that its aquatic and biological life have been theatened. This study has shown the significant value of using analytical methods and models in water quality control of the rivers.

برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار: مدلهای خودپالایی رودخانه‌ها

محمد کارآموز*، آزاده استاد رحیمی ، بنفشه زهرایی**
و حمید رضا صفوی***

چکیده

در این مقاله ضمن برشمردن برخی آلودگیهای زیست محیطی ایجاد شده در دهه‌های اخیر، بر لزوم توجه به مسئله توسعه پایدار و بازنگری در سیاستهای بهره‌برداری از منابع آب تأکید شده و به رودخانه‌ها به عنوان مهمترین وسیله انتقال و توزیع آب در سطح حوزه‌های آبریز اهمیت بیشتری داده شده است. همچنین اصول اولیه تدوین مدلهای خودپالایی رودخانه‌ها به منظور اعمال سیاستهای کنترل بر پسابهای مختلف، ارائه شده است. رودخانه زاینده‌رود که شاهرگ حیاتی استان اصفهان و تأمین‌کننده بخش مهمی از نیازهای آبی این استان می‌باشد، متأسفانه به دلیل ورود پسابهای مختلف به آن، در فاصله سد زاینده‌رود تا باتلاق گاوخونی به حدی آلوده گردیده که حیات بیولوژیک آن در خطر نابودی قرارگرفته است. در این مقاله جزئیات مدل خودپالایی تدوین شده برای این رودخانه ارائه شده که نتایج آن نشانگر تأثیر شایان توجه اعمال سیاستهای کنترل هر چند محدود بر کیفیت رودخانه بوده است.

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت جهان، گسترش شهرها و اتمام بخش قابل توجهی از منابع غیرقابل احیاء مثل نفت، بیش از پیش مسئله مدیریت جامع و یکپارچه منابع آب و بهره‌برداری از آن به عنوان یک انرژی پایدار، در سطح بین‌المللی مطرح ساخته است. آب، این منبع حیات بخش به عنوان یکی از سه عامل اصلی تشکیل و بقای محیط زیست (خاک، هوا، آب) بیش از هر زمان دیگر مورد توجه می‌باشد. اهمیت آب به خاطر نیاز روزافزون و پایین آمدن کیفیت آن در سطح جهانی در نتیجه سهل‌انگاری و سودجویی افراد و سازمانها، روزبروز افزایش یافته به نحوی که می‌تواند در آینده نزدیک بوجود آورندهٔ مسائل حاد سیاسی و اجتماعی گردد.

رودخانه‌ها به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین و انتقال آب مصرفی بخشهای صنعت، کشاورزی و مصارف شهری از اهمیت خاصی برخوردارند. توسعه روزافزون فعالیتهای کشاورزی و صنعتی و افزایش قابل توجه حجم فاضلابهای شهری موجب آلودگی منابع آب، خصوصاً

* - استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر
** - مهندسین مشاور جاماب
*** - عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان

رودخانه‌ها گشته به نحوی که کیفیت آب این منبع حیاتی را در بسیاری از نقاط مورد مخاطرهٔ جدی قرار داده و حتی در برخی نقاط منجر به مرگ بیولوژیکی رودخانه‌ها گردیده است.

رودخانه زاینده رود به عنوان یکی از شاهرگهای حیاتی ایران که تأمین کننده بخش مهمی از نیازهای بخش مرکزی کشور می‌باشد، دارای سرچشمه‌های بسیار غنی است. آب این رودخانه که در سرچشمه، دارای یکی از بهترین استانداردهای کیفیت آب در سطح بین‌المللی می‌باشد در اطراف و پایین دست اصفهان به دلیل ورود پسابهای مختلف در طول مسیر از کیفیت پایینی برخوردار است و مطالعات سیستماتیک کاملی در مورد مسائل کیفی این رودخانه گزارش نشده است.

در این مقاله به اصول برنامه‌ریزی کیفیت آب رودخانه‌ها و کنترل پسابها در حد ظرفیت خودپالائی آنها پرداخته می‌شود و سپس به عنوان یک مطالعه موردی مختصات کیفی رودخانه زاینده‌رود با تأکید بر پارامترهای DO و BOD_5 بررسی گردیده و جزئیات یک مدل خودپالایی ساده شده برای رودخانه زاینده‌رود از سد زاینده‌رود تا باتلاق گاوخونی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

برنامه‌ریزی برای کنترل کیفیت رودخانه‌ها

بررسیهای آماری نشان می‌دهند که از سال ۱۹۰۰ ، جمعیت جهان بیش از سه برابر، مصرف سوختهای فسیلی ۳۰ برابر و تولیدات صنعتی ۵۰ برابر شده و چهار پنجم این رشد صنعتی تا دهه ۱۹۵۰ اتفاق افتاده است. اگر چه این پیشرفتها باعث ارتقاء کیفیت زندگی بشر شده ولی تخریب محیط زیست را در ابعادی به دنبال داشته که شاید پیش‌بینی آن میسر نبود.

آنچه که اینک در بسیاری از کشورهای جهان دیده می‌شود. مجموعه‌ای از شهرها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و به طور کلی محیط زیستی آلوده است که نمونه‌های آن خصوصاً در کشورهای اروپای شرقی به چشم می‌خورد. هفتاد درصد رودخانه‌ها در جمهوری چک بسیار آلوده هستند. یک سوم رودخانه‌ها و ۹۰۰۰ دریاچه در آلمان شرقی سابق از نظر بیولوژیکی مرده به شمار می‌روند و هر سال ۱/۳ بیلیون مترمکعب فاضلاب تصفیه نشده به آبهای سطحی کشور مجارستان تخلیه می‌شود [۵] . نمونه‌های این فجایع زیست محیطی در اکثر کشورهای جهان، خصوصاً کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به وفور یافت می‌شوند.

سؤالی که اکنون به کرات مطرح می‌شود، این است که آیا توسعه در دهه‌های آینده می‌تواند به گونه‌ای صورت گیرد که هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اکولوژیکی پایدار باشد. پاسخ این پرسش را نمی‌توان بدون نگرشی عمیق‌تر و برخوردی مسئولانه‌تر نسبت به محیط زیست یافت. بدون هوا، آب و زمین که منابع اصلی این محیط فیزیکی هستند حیات به گونه‌ای که می‌شناسیم، ممکن نخواهد بود و در این میان آب به عنوان یکی از عوامل اصلی تشکیل و بقای محیط زیست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

استفاده بی‌رویه از رودخانه‌ها و آبهای زیرزمینی و آلوده کردن این منابع حیاتی به وسیله فاضلابها، پسابهای صنعتی و انسانی می‌تواند تمام اقشار یک جامعه را تهدید کند. برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار منابع آب، به معنی صرفه‌جویی در آب، جلوگیری از استفاده بی‌رویه از آن و بهبود راندمان سیستمهای آبی است. همچنین بهبود کیفیت آب و استفاده از آبهای سطحی، تا حدی که تعادل اکوسیستم مربوطه را بر هم نزند و آلودگی در حد ظرفیت خودپالایی باشد و استفاده از آبهای زیرزمینی نیز تا حد تغذیه طبیعی و برداشت ایمن، محدود گردد. بحث و تمرکز این مقاله بر آبهای سطحی و به خصوص رودخانه و ایجاد یک برخورد سیستمی با مسئله خودپالایی رودخانه‌ها است.

رودخانه یک اکوسیستم پیچیده شامل مواد معدنی (نظیر نیتروژن، فسفر، آهن و ...) تولید کننده‌ها (جلبکها)، مصرف کننده‌ها(نظیر زئوپلانکتونها) و تجزیه کننده‌ها (مثل باکتریها و قارچها) می‌باشد. قدرت تصفیه طبیعی رودخانه که بر پایه عوامل و شرایط هیدرولیکی،

هیدرولوژیکی و بیولوژیکی آن استوار است، قابلیت حذف مواد آلاینده آلی را از محیط زیست رودخانه فراهم می‌سازد. مهمترین نوع تصفیه‌ای که در تصفیه طبیعی رودخانه‌ها رخ می‌دهد، تصفیه بیولوژیکی با کمک باکتریهای هوازی است که در دو مرحله صورت می‌پذیرد. در مرحله اول اکسیداسیون مواد آلی کربن‌دار و سپس اکسیداسیون مواد آلی ازت‌دار انجام می‌گیرد. در نتیجه این فرآیندها اکسیژن محلول در آب رودخانه‌ها (DO) کاهش می‌یابد.

میزان اکسیژن محلول در آب که در واقع نشان دهنده سلامت آب می‌باشد، چنانچه به کمتر از ۴ میلی‌گرم در لیتر برسد موجب از بین رفتن برخی گونه‌های حیاتی در رودخانه می‌گردد. اکسیژن محلول رودخانه که از طریق هوادهی در سطح رودخانه تأمین می‌شود معمولاً بیش از این میزان است ولی پس از تخلیه فاضلابها و در اثر واکنش فوق‌الذکر کاهش می‌یابد. چنانچه میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD_5) مورد نیاز برای تجزیه مواد آلی فاضلابها، از ظرفیت هوادهی مجدد رودخانه بیشتر باشد، منجر به تخریب بیولوژیکی آن خواهد شد.

رودخانه‌های بزرگ که در بسیاری نقاط، مراکز ایجاد شهرهای بزرگ، مراکز صنعتی و در واقع شاهرگ حیاتی فعالیتهای منطقه‌ای را تشکیل می‌دهند، از آلودگیهای ناشی از توسعه حاشیه خود نیز مصون نیستند. مسئله توسعه مجامع شهری در اطراف رودخانه‌ها و تأمین نیاز آبی فعالیتهای مختلف از این منابع آبی و آلودگی ناشی از پسابهای خانگی، صنعتی و زه‌آبهای کشاورزی مسئله پیچیده‌ای را بوجود آورده که لزوم برخورد سیستماتیک به مسائل کیفی رودخانه‌ها را اهمیت بیشتری بخشیده است.

مدلهای ریاضی جهت برنامه‌ریزی

از آنجا که حفاظت کیفی رودخانه‌ها نیاز به سرمایه‌گذاریهای اضافی برای تصفیه پسابها و یا ایجاد سیستمهای جمع‌آوری و کنترل زه آبها دارد و همچنین ممکن است منجر به محدود کردن توسعه فعالیتها در حوزهٔ رودخانه گردد، اثرات اقتصادی قابل توجهی می‌تواند داشته باشد. بنابراین وجود ابزاری نظیر یک مدل ریاضی به منظور نشان دادن شرایط موجود و محدودیتهای لازم برای دستیابی به استانداردهای کیفی مورد نظر، برای تصمیم‌گیران ضروری به نظر می‌رسد. مدلهای ریاضی به عنوان تصویر ساده‌ای از واقعیت، وسیله‌ای مناسب برای بررسی عملکرد یک سیستم تحت شرایط مختلف و در جهت اهمیت بخشیدن به برخی فرایندهای مورد نظر می‌باشد. مدلها به دو دسته کلی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تقسیم می‌شوند. مدلهای شبیه‌سازی تنها به منظور توصیف شرایط سیستم در نتیجه یک ورودی مفروض ایجاد می‌شوند. در حالی که مدلهای بهینه‌سازی بهترین راه حلها را برای دستیابی به کیفیت مورد نظر ارائه می‌کنند. امروزه با توجه به رشد روزافزون فعالیتهای مختلف و پیچیدگی روابط، استفاده از مدلهای بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی خطی به عنوان یکی از تکنیکهای بهینه‌سازی روز به روز افزایش یافته است.

نرم‌افزارهای مختلفی تهیه گردیده که حل مسائل برنامه‌ریزی خطی را به روش سیمپلکس ممکن می‌سازد. مسائل برنامه‌ریزی خطی، از یک تابع هدف (که باید حداکثر یا حداقل گردد) و تعدادی محدودیت تشکیل گردیده که همگی با استفاده از معادلات خطی تعریف شده‌اند. نتیجهٔ حل مسائل برنامه‌ریزی خطی یافتن مقادیری برای متغیرهای تصمیم (با توجه به محدودیتهای موجود) می‌باشد که تابع هدف را بهینه می‌سازند.

با عنایت به مطالب فوق، مدلهای خطی می‌توانند وسیله‌ای مناسب و در عین حال ساده برای مدیریت کیفی رودخانه‌ها باشند. اولین قدم برای مدلسازی یک رودخانه، ساده‌سازی سیستم ورودیها و خروجیها به منظور فرموله کردن ریاضی آن می‌باشد. برای نیل به این هدف، مسیر رودخانه به تعدادی بازه[1] تقسیم‌بندی می‌شود که این تقسیم‌بندی می‌تواند در مقاطعی که تغییر ناگهانی در میزان دبی رودخانه یا کیفیت آن صورت می‌گیرد، نظیر محل

1- Reach

تخلیه فاضلابهای شهری یا صنعتی و یا محل ورود انشعابات فرعی رودخانه‌ها و یا در مقاطعی که تغییری در شرایط هیدرولیکی رودخانه ایجاد می‌شود، انجام گیرد. بر مبنای این تقسیم‌بندی پارامترهای مورد نظر در فرمولهای کیفی در هر بازه محاسبه و در طول آن ثابت در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب می‌توان معادلات تغییر پارامترهای کیفی مورد نظر را در هر بازه تعریف نمود و با اضافه کردن ورودیهای مختلف به سیستم، چه از لحاظ کمّی و چه از لحاظ کیفی، میزان تصفیه بهینه (حداقل تصفیه لازم) را در طول مسیر رودخانه برای دستیابی به استاندارد کیفی مورد نظر با استفاده از روش سیمپلکس تعیین نمود. در اینجا به طور نمونه جزئیات مدلسازی یک رودخانه با ورودیهای مختلف با تأکید بر میزان اکسیژن محلول (DO) و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD_5) ارائه می‌گردد. معادلات تعادل کمیتهای مختلف و محدودیتها عبارتند از :

۱ـ معادلهٔ بقای جرم

$$Q_j = Q_{j-1} + q_j$$

۲ـ معادلهٔ تعادل BOD

$$L_j * Q_j = (Q_{j-1} * N_{j-1}) + (q_j * F_j)$$

۳ـ معادلهٔ تعادل DO

$$C_j * Q_j = (Q_{j-1} * M_{j-1}) + (q_j * G_j)$$

۴ـ معادلهٔ تغییرات اکسیژن

$$M_j = C_s * (1 - e^{-K_{r_j} * t_j}) + C_j * (e^{-K_{r_j} * t_j}) - \left[\left(\frac{K_{dj}}{K_{r_j} - K_{d_j}}\right)(e^{-K_{d_j} * t_j} - e^{-K_{r_j} * t_j}) * L_j\right]$$

۵ـ معادلهٔ حذف BOD

$$N_j = L_j * e^{-K_{d_j} * t_j}$$

۶ـ معادلهٔ راندمان تصفیه‌خانه

$$F_j = (1 - E_j) * R_j$$

۷ـ محدودیتهای حداقل اکسیژن محلول لازم

$$C_j >= C_{jMin}$$

$$M_j >= M_{jMin}$$

۸ـ محدودیتهای حداکثر BOD مجاز رودخانه

$$L_j <= L_{jMax}$$

$$N_j <= N_{jMax}$$

متغیرهای به کاربرده شده در این معادلات به شرح زیر هستند :

j = شماره بازه رودخانه

Q_j = دبی رودخانه در بازه j

q_j = دبی شاخه فرعی که در ابتدای بازه j وارد می‌شود

C_j = غلظت اکسیژن محلول (DO) در ابتدای بازه j

M_j = غلظت اکسیژن محلول (DO) د رانتهای بازه j

G_j = غلظت اکسیژن محلول (DO) در شاخه فرعی در ابتدای بازه j

L_j = غلظت BOD در ابتدای بازه j

N_j = غلظت BOD در انتهای بازه j

F_j = غلظت BOD شاخه فرعی در ابتدای بازه j

Kd_j = ثابت اکسیژن‌دهی

Kr_j = ثابت اکسیژن‌گیری

t_j = زمان عبور جریان از بازه jکه با توجه به سرعت جریان قابل محاسبه است.

E_j = راندمان تصفیه مورد نیاز در شاخه فرعی ابتدای بازه j

R_j = BOD فاضلاب خام در شاخه فرعی ابتدای بازه j

لازم به ذکر است که در محاسبه تغییرات اکسیژن محلول و حذف BOD_5 در معادلات فوق از معادله استریتر و فلپس[1] استفاده گردیده که می‌توان سایر معادلات اصلاحی را که بر اساس همین معادلات بدست آمده و در مراجع مختلف ارائه شده نیز به کاربرد. پارامتر K_d در این معادلات بر اساس روشهای آزمایشگاهی محاسبه و عملکرد آن در مدل کالیبره می‌گردد. فرمولهای مختلفی نیز برای محاسبه پارامتر K_r ارائه گردیده که از آن جمله می‌توان به فرمولهای اکانر ـ دوبین[2] ، لانگبیند ـ دورهام[3] و چرچیل ـ المور ـ باکینگهام[4] اشاره کرد[۶]. لازم به ذکر است که این پارامترها معمولاً در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد محاسبه و یا اندازه‌گیری می‌شوند و سپس با استفاده از فرمولهای اصلاحی برای درجه حرارتهای مختلف کالیبره می‌گردند.

معادله هدف در این مثال می‌تواند به شکل زیر تعریف گردد:

$$\text{Minimize } \Sigma\ (a_j E_j)$$

1- Streeter & Phelps 2- O'conner & Dobbin
3- Langbeind & Durhum
4- Churchill, Ellmure & Bichkingham

در ایـــن تـــابع ، a_j نشـانگر ضـریبی بـرای مـیزان سرمایه‌گذاری لازم به منظور تصفیه فاضلاب شاخه فرعی j می‌باشد. بدین ترتیب ایـن مـعادله مـعرف حـداقل کـل سرمایه‌گذاری لازم برای تصفیه فاضلاب شاخه‌های فرعی برای حفظ استانداردهای کیفی مـورد نـظر در کـل مسیر رودخانه می‌باشد.

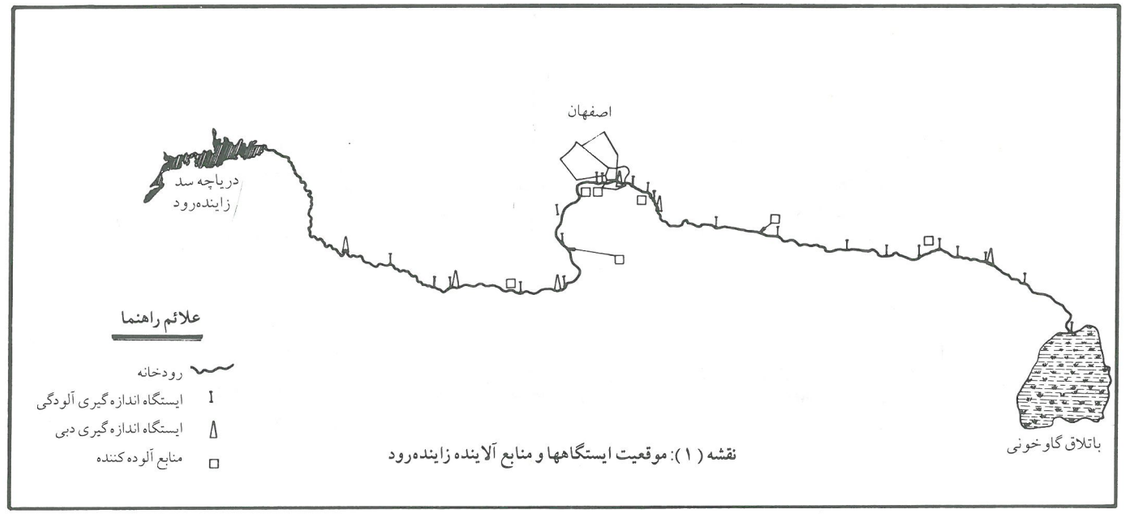
استفاده از این روش به دلیل سادگی مـعادلات و نـیز امکان کالیبره کردن پارامترهای مختلف نـظیر K_d و K_r بـا اســـتفاده از اطـــلاعات واقـــعی مـــوجود بـــر اســـاس اندازه‌گیریهای کیفی در نـقاط مـختلف مـی‌توانـد کـاربرد بسیاری داشته باشد.

مدل خودپالایی رودخانهٔ زاینده‌رود

رودخانهٔ زاینده‌رود با طول آبراهه‌ای نـزدیک بـه ۳۲۰ کیلومتر یکی از شاهرگهای حیاتی ایران و خصوصاً استان اصفهان محسوب می‌گردد. این رودخانه که از چشمه‌های منطقه چلگرد در استان چهارمحال و بختیاری سرچشـمه میگیرد پس از دریافت شاخه‌های فرعی مختلف در سـد مخزنی زاینده‌رود ذخیره می‌گردد. همچنین بخشی از آورد رودخانه آب کوهرنگ، از سرچشمه‌های کارون نیز توسط تونلهای کوهرنگ یک و دو بـه سـرشاخه‌های زایـنده‌رود مـنتقل مـی‌گردد. آب چشـمه دیـمه کـه از اصـلی‌ترین سـرچشـمه‌های ایـن رودخـانه مـی‌باشد، از بـالاترین استانداردهای کیفی در سطح بین‌المللی برخوردار بوده و سایر شاخه‌های فرعی نیز که از ذوب برف تغذیه شده و در بستری مـناسب بـه لحـاظ سـاختار زمـین‌شناسی جـریان می‌یابند، جریانی را ایجاد می‌کنند که علاوه بر حجم آورد قابل توجه در محل سد زاینده‌رود از کیفیت بسیار خـوبی نیز برخوردار است. در پایین دست سد زایندرود روستاها و شهرهای متعددی در حاشیه رودخانه وجود دارنـد کـه علاوه بر تأمین نیاز آبی خود از رودخانه، فاضلابهای خود را مستقیماً به آن تخلیه می‌کنند. همچنین اراضی کشاورزی تقریباً در تمام طول مسیر رودخـانه تـا بـاتلاق گـاوخونی حاشیه رودخانه را احاطه کرده‌اند و زه‌آبهای این اراضی نیز که آلوده به سموم و کودهای شیمیایی مختلف می‌باشند، رودخانه را آلوده می‌سازند. شـهر اصـفهان نـیز کـه در دو طرف رودخانهٔ زاینده‌رود واقع شده در آلودگـی رودخـانه تأثیر به سزایی دارد. شبکه جمع‌آوری، بخش قابل توجهی از فاضلاب شهر را به تصفیه‌خانه جنوب منتقل می‌نماید که ظرفیت آن بخصوص در مواقعی که بارندگی زیـاد بـاشد، کافی نیست و به همین دلیل در بسیاری از اوقات حـجم زیادی از فاضلاب شهری بدون انجام کامل عملیات تصفیه به رودخانه زاینده‌رود تخلیه می‌گردد. همچنین پساب اکثر صنایع مختلف که در حاشیه رودخانه و عمدتاً در محدوده شهر و حومه آن واقع گردیده‌اند نیز بدون تصفیه مستقیماً به رودخانه تخلیه می‌گردند. این عوامل مـنجر گـردیده تـا یکی از بهترین آبها به لحاظ کـیفی، پس از طـول مسـیری نزدیک به ۱۸۵ کیلومتر در پایین دست شـهر اصـفهان بـه یکی از آلوده‌ترین رودخـانه‌های ایـران تـبدیل و حـتی در چندین نقطه به پایین‌ترین حد کـیفی مـی‌رسد. نـقشه (۱) مـوقعیت مـحدوده مـورد مـطالعه و نـقاط ورود پسـاب و برداشت آب را نشان مـی‌دهد. بـا تـوجه بـه اهـمیت ایـن رودخانه در حیات اقتصادی استان اصفهان، مـطالعاتی بـا هـدف مـدلسازی کـیفی آن بـخش از رودخـانه کـه در حدفاصل سد زاینده‌رود تا باتلاق گاوخونی قرار دارد و با تأکید بر دو پارامتر میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پنج روزه (BOD_5) و اکسیژن محلول (DO) انجام گرفته است.

یکی از مهمترین بـخشهای ایـن مـطالعات جـمع‌آوری اطـلاعات مـربوط بـه نـقاط ورودی و خـروجی و کـیفیت جریانهای ورودی بوده است. اطلاعات مربوط بـه مـحل، نـــوع فـــعالیت، مـیزان و کـیفیت فـاضلاب صـنایع از پرسشنامه‌های تهیه شده توسط اداره کل حفاظت مـحیط زیست استان اصفهان جمع‌آوری گردیده [۲ و ۳] که چند نمونه از آنها در جدول (۱) نشان داده شده است.

در تدوین مدل خودپالایی، تنها صنایعی در نظر گرفته شده‌اند که تمام یا درصدی از فاضلاب صنعتی یا بهداشتی خود را مستقیماً به رودخانه تخلیه می‌کنند. همچنین آمـار مربوط به کمیت و کیفیت فاضلاب در شهرها و روستاهای



نقشه (۱): موقعیت ایستگاهها و منابع آلاینده زاینده‌رود

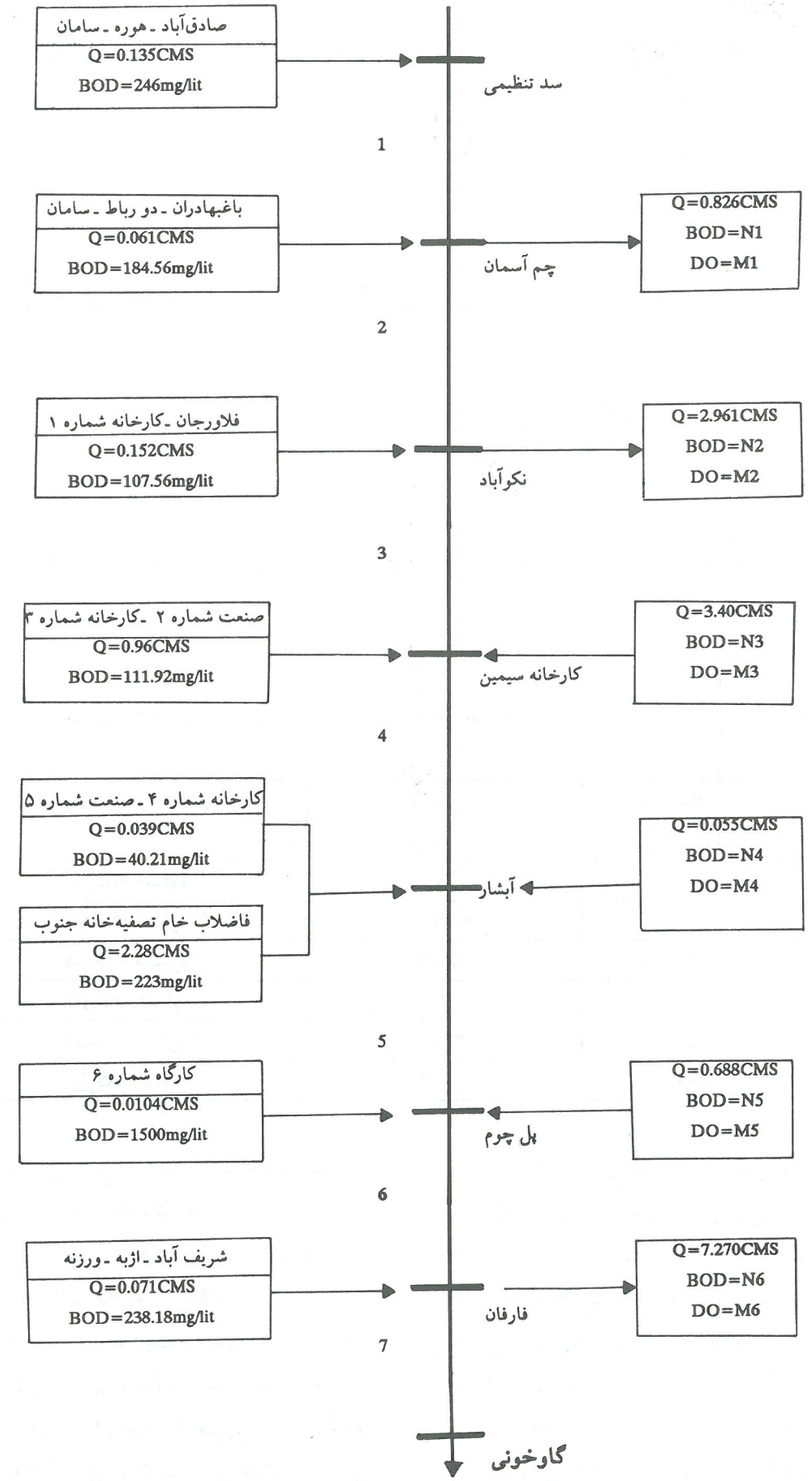
جدول ۱ : حجم و کیفیت فاضلاب ورودی به رودخانه زاینده‌رود از چند واحد صنعتی

شماره واحد صنعتی	دبی حداکثر لحظه‌ای (لیتر در ثانیه)	BOD_5 (میلی‌گرم در لیتر)
کارخانه شماره ۱	۱۳۷/۵	۹۲/۴
صنعت شماره ۲	۸۷۵/۱	۱۱
کارخانه شماره ۳	۸۵/۱	۱۱۵۰
کارخانه شماره ۴	۶	۱۷۸
صنعت شماره ۵	۳۲/۸	۱۵
کارگاه شماره ۶	۱۰/۴	۱۵۰۰

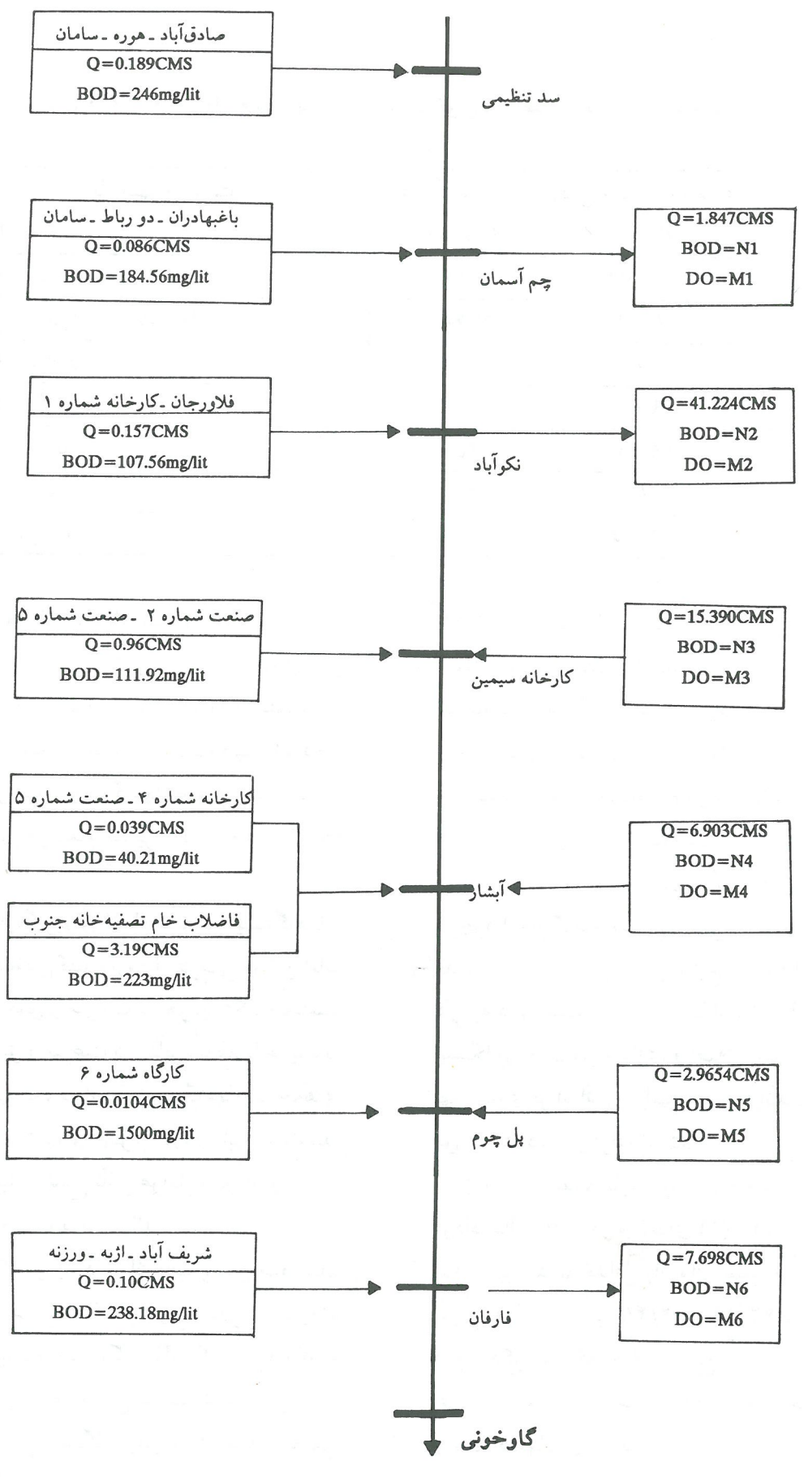
مشرف به رودخانه نیز جمع‌آوری گردیده که بـه صـورت خلاصه در جدول (۲) نشان داده شده‌اند [۳].

با تـوجه بـه مـوقعیت ایستگاههای انـدازه‌گـیری و بـا بررسی مقدماتی تغییرات DO و BOD_5 و دبی جـریان در طـول مسـیر و سـپس بـا عـنایت بـه مـوقعیت و مـیزان فـاضلابهای ورودی بـه رودخـانه در هـر بـخش، مسـیر رودخانه (از سد تنظیمی تا باتلاق گاوخونی) به هفت بازه تقسیم‌بندی گردیده و مقادیر و کیفیت جریانات ورودی و خروجی در ابتدای هر بازه مشخص گردیده است (شکل ۱). لازم به ذکر است که مقدار دبی و BOD_5 تصفیه خانه جـنوب اصـفهان بـر اسـاس فـاضلاب خـام ورودی بـه تصفیه‌خانه و با توجه به جمعیت و تولید سرانه فاضلاب و سایر فاضلابهای صنعتی و شهری که به تصفیه خانه وارد می‌شود محاسبه شده است.

در گام بعدی محاسبات مربوط به دبی هفت روزه کم آبی (با دوره بازگشت ۱۰ سال) با استفاده از نتایج تحلیل



شکل ۱ ـ شماتیک ورودیها و برداشتهای آب از زاینده رود در بهمن ماه



شکل ۲ ـ شماتیک ورودیها و برداشتهای آب از زاینده رود در مرداد ماه

جدول ۲ : مشخصات فاضلاب شهرها و مناطق مسکونی که فاضلاب آنها به رودخانه می‌ریزد

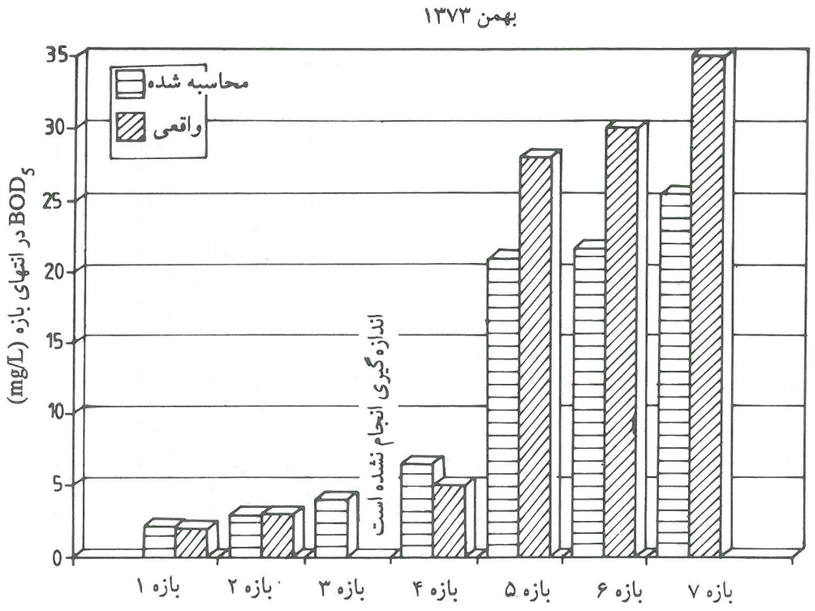
نام شهر یا روستا	غلظت BOD_5 (mg/lit)	دبی حداکثر لحظه‌ای (lit/s)
صادق‌آباد و هوره و روستاهای اطراف	۲۴۶	۱۷۸/۷۳
باغبهادران و دورباط	۱۷۶/۸	۷۵/۰۸
سامان	۲۳۹	۲۱/۴
فلاورجان	۲۱۳	۱۹/۷۳
شریف آباد	۲۵۰	۱۹/۷۳
اژیه	۲۲۰	۲۶/۵۱
ورزنه	۲۲۸	۵۳/۶۷

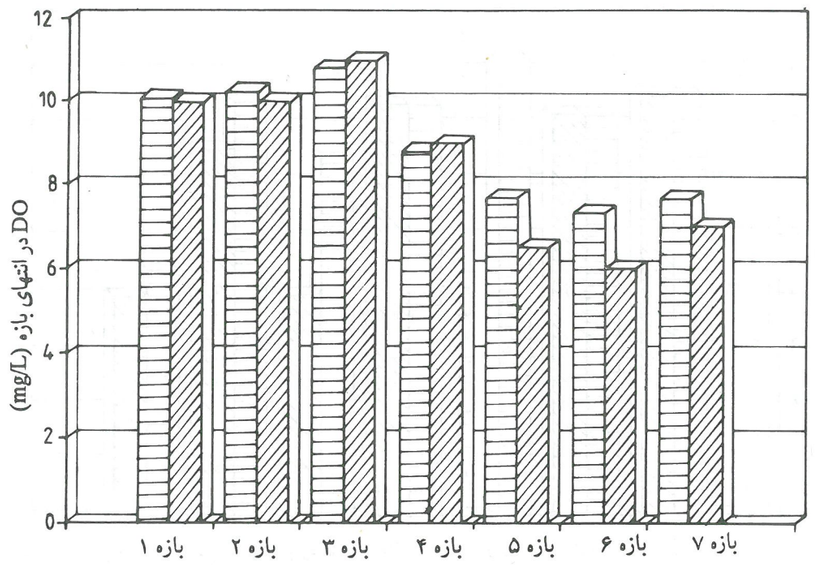
فراوانی اطلاعات هفتگی ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی صورت گرفته [۱] و پس از تطابق زمانی آن با اطلاعات این ایستگاه، دبی هفته دوم بهمن ماه سال ۱۳۷۳ به عنوان دبی هفت روزه کم آبی انتخاب شده است. به دلیل نواقص اطلاعاتی در آمار سایر ایستگاهها، همین زمان ملاک محاسبه دبی کم‌آبی در تمام مسیر رودخانه قرار گرفته است.

با توجه به اندازه‌گیریهای انجام شده در ایستگاههای هیدرومتری که مشخص کننده پروفیل عرضی در این نقاط می‌باشد، متوسط عمق و سرعت در هر ایستگاه محاسبه گردیده و دبی، عمق و سرعت در سایر مقاطع با عنایت به طرح ساده سیستم، فواصل ایستگاهها، شاخه‌های ورودی، برداشتها و شیبهای جزیی درون‌یابی شده‌اند. برای محاسبه اکسیژن اشباع تأثیر عوامل شوری و درجه حرارت در نظر گرفته شده است[۴].

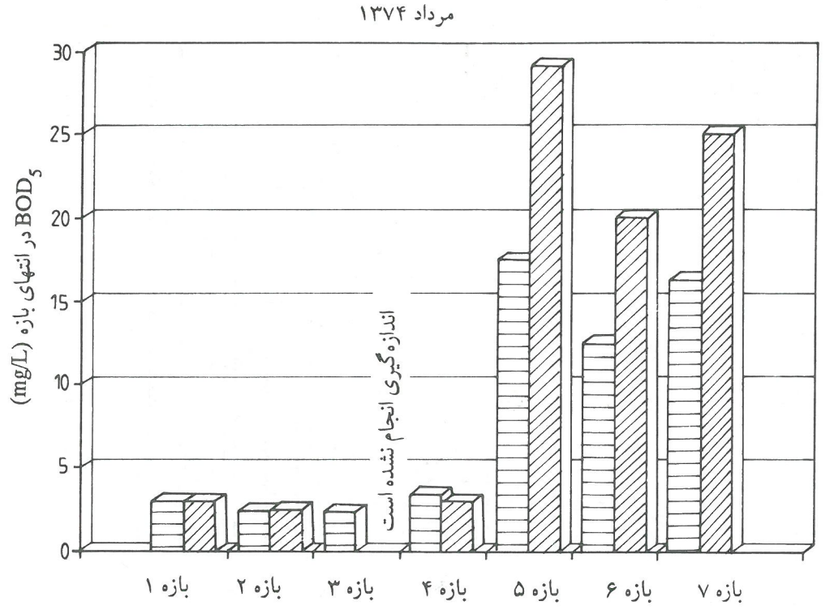
همانطور که ذکر گردید دلیل انتخاب بهمن ماه سال ۱۳۷۳ پایین بودن دبی سد تنظیمی در حد دبی هفت روزه کم آبی بوده، ولی با توجه به اینکه شرایط کیفی رودخانه به دلیل دمای کم در این ماه بحرانی نیست، تحلیل فراوانی برای اطلاعات هفتگی ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی در ۶ ماهه اول سال نیز انجام گرفته و دبی مرداد ماه سال ۱۳۷۴ به عنوان شاخص دبی کم آبی در ۶ ماهه اول سال انتخاب شده است. سایر مراحل محاسباتی برای این شرایط نیز انجام گرفته است. پارامترهای به کار رفته در ایجاد مدل خطی در جداول (۳) و (۴) و شمای کلی سیستم در بهمن و مرداد ماه در شکلهای (۱) و (۲) دیده می‌شود. پس از تدوین معادلات و اجرای مدل ریاضی، مقایسه‌ای بین نتایج این مدل و آمار اندازه‌گیریهای کیفی موجود انجام گرفته است و برخی از پارامترهایی که در مدل به کار رفته‌اند بر اساس نتایج موجود اصلاح شده‌اند. لازم به ذکر است که در ابتدا با استفاده از آمار موجود ایستگاهها مدل شبیه‌سازی و اصلاح شده و سپس مدل بهینه‌سازی بر اساس پارامتر متغیر راندمان تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار گرفته است.

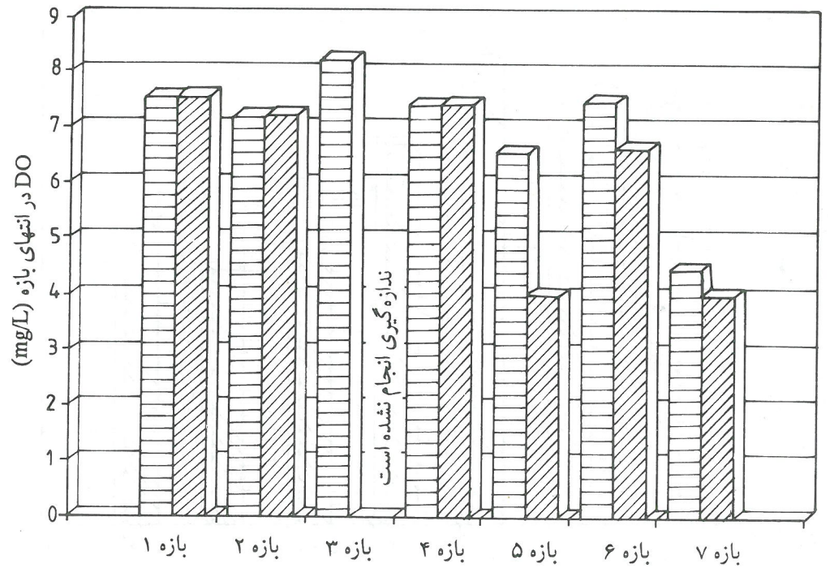
نتایج مدل بهینه‌سازی برای دو ماه بهمن سال ۱۳۷۳ و مرداد سال ۱۳۷۴ در شکلهای (۳) و (۴) ارائه شده‌اند. بر اساس این مدل، حداقل راندمان تصفیه‌خانه جنوب برای شرایط فوق به ترتیب ۶۲/۴۸ و ۶۲/۵۵ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که اختلاف نتایج در سه بازده آخر به دلیل اعمال راندمان محاسبه شده بر خروجی تصفیه‌خانه جنوب اصفهان می‌باشد.





شکل ۳ : مقایسه نتایج مدل کیفی در بهمن ماه ۱۳۷۳ با آمار اندازه‌گیری شده





شکل ۴ : مقایسه نتایج مدل کیفی در مرداد ماه ۱۳۷۴ با آمار اندازه‌گیری شده

جدول ۳ : محاسبه پارامترهای اکسیژن دهی و اکسیژن‌گیری برای بهمن‌ماه سال ۱۳۷۳

شماره بازه	طول (Km)	دبی در اول بازه (CMS)	سرعت متوسط (m/s)	عمق متوسط (m)	دما T (C°)	K_r در T درجه (1/day)	K_d در T درجه (1/day)	C_s (ppm)
۱	۹۵/۶۹	۹/۹	۰/۷۲	۰/۶۳	۱۰	۱/۵۰۲	۰/۵۴۱	۱۱/۲۵۸
۲	۳۶/۳۱	۹/۱۵۹	۰/۶۸	۰/۴۶	۱۰	۱/۰۰۴	۰/۱۹۱	۱۱/۲۱۲
۳	۴۳/۵۱	۶/۲۵۹	۰/۷	۰/۳۷	۱۰	۴/۷۷۰	۰/۴۳۰	۱۱/۲۰۲
۴	۱۱/۰۸	۹/۸۱۱	۰/۳۷	۰/۴	۱۲	۹/۸۵۶	۲/۴۳۷	۱۰/۷۴۳
۵	۸/۹۱	۱۰/۷۱۶	۰/۴۱	۰/۴۳	۱۲	۱۰/۸۵۳	۱/۴۱۶	۱۰/۷۰۸
۶	۷۷/۶۱	۱۱/۴۴۳	۰/۶۴	۰/۴۸	۱۵	۰/۰۹۱	۰/۰۲۰	۹/۸۲۷
۷	۵۰/۰۹	۴/۱۸۳	۰/۶۶	۰/۶۸	۱۵	۰/۸۳۱	۰/۰۱۱	۸/۳۳۶

جدول ۴ : محاسبه پارامترهای اکسیژن دهی و اکسیژن‌گیری برای مرداد ماه سال ۱۳۷۴

شماره بازه	طول (Km)	دبی در اول بازه (CMS)	سرعت متوسط (m/s)	دما T (C°)	K_r در T درجه (1/day)	K_d در T درجه (1/day)	C_s (ppm)
۱	۹۵/۶۹	۷۴/۰۵۷	۱/۹	۱۴	۰/۳۲۹	۰/۰۸۱	۱۰/۳
۲	۳۶/۳۱	۷۲/۲۹۶	۱/۵۱	۱۶	۰/۸۱۱	۰/۹۳۵	۹/۱۶۹
۳	۴۳/۵۱	۳۱/۲۲۹	۱/۰۲	۲۰	۳/۶۱۷	۰/۴۸۱	۸/۷۹۴
۴	۱۱/۰۸	۱۶/۷۹۹	۰/۴	۲۲	۹/۲۰	۲/۸۹۵	۸/۸۰۳
۵	۸/۹۱	۱۳/۱۲۵	۰/۲۶	۲۰	۱۰/۷۸	۱/۳۹۲	۹/۰۹۷
۶	۷۷/۶۱	۱۰/۱۷	۰/۸۲	۲۰	۳/۰۶۵	۰/۳۲۳	۸/۹۰۸
۷	۵۰/۰۹	۲/۵۷۲	۰/۸۷	۲۲	۲/۵۳۰	۰/۱۸۵	۵/۶۴۶

خلاصه و نتیجه گیری

رشد و توسعه شهرها، فعالیتهای صنعتی و کشاورزی اثرات نامطلوبی بر محیط زیست و به ویژه منابع آب بر جای گذاشته است. افزایش جمعیت و استفاده بی‌رویه و غیراصولی از منابع غیرقابل احیاء، توجه به مسئله توسعه پایدار و شناخت و کنترل سیاستهای بهره‌برداری از منابع آب را بیش از پیش مطرح ساخته است.

منابع آب و بخصوص رودخانه‌ها در ازای تأمین و انتقال آب مورد نیاز فعالیتهای مختلف بشر، حجم قابل توجه پسابها، مواد زائد و بازمانده‌های این فعالیتها را دریافت می‌کنند. نخستین گام در کنترل و بهبود وضعیت کنونی منابع آب، شناخت مراکز آلوده‌کننده و بررسی تأثیر آنها بر

این منابع است. در گام بعد با توجه به قدرت خودپالایی این منابع، راه حلهای کوتاه مدت برای کاستن از آلودگیها و کنترل منابع آلاینده تدوین می‌گردند و برنامه‌ریزیهای درازمدت برای دستیابی به ثبات و دوام هر چه بیشتر سیستمهای آبی در جهت حرکت به سوی توسعه پایدار مورد توجه قرار می‌گیرد.

در مطالعه‌ای که بر روی رودخانه زاینده‌رود انجام شده، ابتدا کلیه منابع آلوده کننده و وضعیت کیفیت آب رودخانه در بخشهای مختلف آن مورد بررسی قرار گرفته است و سپس با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی خطی، مدلی ساده بر پایه اطلاعات جمع‌آوری شده تدوین گردیده است. بررسی نتایج این مدل نشان می‌دهد که علیرغم ساده‌سازیهایی که در سیستم انجام شده، به دلیل دقت در کالیبره کردن پارامترهای مختلف نظیر K_d و K_r ، نتایج از نزدیکی قابل توجهی با مقادیر واقعی برخوردارند.

به منظور کنترل آلودگی در بازه‌های رودخانه، حداقل اکسیژن محلول ۴ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته شده و نتایج مدل نشان می‌دهد که با اعمال راندمان ۶۲/۵ درصد بر تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان، این شرایط تأمین خواهد گردید. شایان توجه است که مقادیر محاسبه شده راندمان ارقام قابل قبولی به لحاظ اجرایی می‌باشند و حتی در شرایط فعلی تصفیه‌خانه جنوب با اعمال تغییرات و کنترل لازم، قابل اجرا بوده و تأثیر قابل توجهی در کیفیت آب رودخانه در پایین دست اصفهان خواهد داشت.

لازم به ذکر است، این مطالعه یک بررسی مقدماتی بوده و مطالعات اجرایی آن نیاز به بررسیهای جامع‌تری خواهد داشت.

توضیح : این مقاله در سمینار انجمن متخصصان محیط زیست (۲۹ و ۳۰ آبان ماه ۱۳۷۵) ارائه گردیده است.

فهرست مراجع

۱ـ آمار ایستگاههای هیدرومتری زاینده‌رود، سازمان آب منطقه‌ای اصفهان ، ۴-۱۳۷۳ .

۲ـ آمار کیفی زاینده‌رود در ایستگاههای اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان ،۴-۱۳۷۳

۳ـ دانشگاه صنعتی اصفهان، گزارش مرحله اول طرح "بررسی اثرات توسعه بر محیط زیست استان اصفهان" ، اردیبهشت ماه ۱۳۷۵

۴ـ نیکخوی مجره . م. "مدل خودپالایی رودخانه با کاربرد روی رودخانه زاینده‌رود" پایان نامه کارشناسی ارشد زیر نظر دکتر محمد کارآموز، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، ۱۳۷۵ .

5- Buchholz, R. A., (1993). "Principles of Environmental Management", Prentice Hall Book Company.

6- Thomann, R.V. (1972). "System Analysis & Water Quality Management", McGraw-Hill.