

آنالیز کیفی آب رودخانه با رویکرد ماتریس‌های پاسخ

عباس افشار**

محمد رضا سمایی*

(دریافت ۸۲/۱۱/۲۶ پذیرش ۸۳/۵/۷)

چکیده

مهندسان بهسازی و محیط زیست سال‌هاست که از مدل ساده استریتر-فلپس برای ارزیابی قابلیت هضم مواد آلی توسط رودخانه‌های پذیرنده استفاده می‌کنند. امروزه با پیشرفت سریع فناوری، رودخانه‌ها را به صورت مدل‌های ریاضی مورد بررسی قرار می‌دهند. ماتریس پاسخ سیستم مانا ابزاری است که اندرکنش بارگذاری و پاسخ را برای سیستم‌های خطی کیفیت آب به طور خلاصه نشان می‌دهد. موازنه‌ی جرمی پایدار برای این سیستم‌ها باید به صورت مجموعه‌ای از روابط جبر خطی بیان شود. تغییرات BOD-DO در یک سیستم رودخانه‌ای را می‌توان با روش‌های عددی حل کرد. در این مقاله از روش پارامتری کردن فیزیکی سیستم استفاده شده است. در این مقاله ابتدا یک مطالعه موردی با استفاده از مدل و سپس ماتریس ضرایب پاسخ رودخانه آورده شده است. با استفاده از این ضرایب می‌توان به راحتی با داشتن میزان بار آلاینده ورودی، میزان افت اکسیژن (و در نهایت میزان اکسیژن) در هر نقطه از رودخانه را تنها با یک عملیات ریاضی ساده به دست آورد.

واژه‌های کلیدی: اکسیژن محلول، BOD، ماتریس پاسخ، تابع گرین.

Response Matrix Approach to River Water Quality Analysis

Samaei, M.R. M.Sc. Student of Civil Engineering College, IUST
Afshar, A. (Prof.) Civil Engineering College, IUST

Abstract

Every natural river has an capacity to assimilate wastes; this is referred to as the river's self purification capacity. DO content is usually an important water quality index. The water quality of a polluted river can be improved either by increasing the river's self purification capacity or by reducing the amount of waste loading the river receivers. Traditional physically based water quality models do not evaluate separately a receiving river's purification ability and the effect of waste loading; thus, these models are not ideal analytical tools for water quality management. This paper introduces and discusses an alternative river water quality modeling approach based on the linear systems theory. Steady-state-system response matrix is a means to summarize the interactions of loadings and responses for linear water quality models. BOD-DO variation in a receiving river has been investigated by following traditional physically based water quality models. A simple physically based river BOD-DO model was derived by Streeter and Phelps (1925) based on their Ohio River water pollution study. The Streeter-Phelps model has been used by sanitary/environmental engineers for many years to evaluate the waste assimilative capacity of a receiving river; it provides a basis on which the treatment requirement for wastewater discharged into the river can be determined. The BOD-DO variation in a time-variable river system with a dispersive effect is traditionally solved by numerical methods. In this study, physical parameterization method is used. Using this method, the system impulse response function of a receiving river can be determined by solving the governing equation of the corresponding physically based model with a Dirac delta function input. This modeling approach is an extension of Green's function techniques that solve a linear differential equation. In a linear systems model, a receiving river's patura-purification capacity is

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست دانشگاه علم و صنعت ایران

** استاد دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

represented completely by the model's impulse response function, whereas the amount of waste loading the river receives is represented by the model's input function. The Enhanced Stream Water Quality Model (QUAL2E) is a comprehensive and versatile stream water quality model. In this paper a river was simulated with QUAL2E. Then a response matrix was built for determination of DO deficiency in any point of river.

مقدمه

با توجه به این که ایجاد یک تغییر بسیار کم در محدوده خروجی پساب منجر به هزینه‌های بسیار زیاد می‌شود، تعیین دقیق ظرفیت خودپالایی رودخانه از اهمیت بالایی برخوردار است. برای تخمین میزان غلظت آلاینده‌ها و اکسیژن محلول در نقاط مختلف رودخانه و همچنین در زمان‌های مختلف، روش‌های گوناگونی ابداع شده که بسیاری از آن‌ها دارای پایه ریاضی بوده و از تجربیات بشر نیز بهره می‌گیرند. یکی از این روش‌ها استفاده از ضرایب پاسخ برای حل معادلات خطی است که براساس اصل برهم نهی^۱ انجام می‌گیرد. این روش، کار اطلاعات را ساده کرده و نیاز به اجرای مکرر مدل توسط مدیران را به شدت کاهش می‌دهد [۱].

فن ماتریس پاسخ، یک روش بهینه‌سازی است که برای حل مدل هم‌بستگی و مدیریت بسیاری از مسائل مدیریت آب‌های زیرزمینی به طور گسترده‌ای به کار رفته است و استفاده از آن در مسائل کیفی نیز آغاز شده است.

جزئیات فن ماتریس پاسخ توسط گورلیک و همکاران (۱۹۹۳) و اهلفلد و مولیگان (۲۰۰۰) به دست آمده است. کاربردهای این فن برای مسائل مدیریت جریان-آبخوان نیز توسط دانشمندانی از قبیل مداک (۱۹۷۴)، مورل-سیتوکس و دالی (۱۹۷۵)، ایلانگاسکار^۲ (۱۹۸۲) و پراتتا و همکاران (۱۹۸۸)، میل و مولر (۱۹۹۲) و بارلو (۱۹۹۷) به دست آمده است [۲].

در مورد یک رودخانه و مسائل کیفی آن، در صورتی که بار آلودگی وارده را تحریک بنامیم، کاهش اکسیژن در پایین دست رودخانه می‌تواند پاسخ آن باشد [۱].

در این مقاله، یک رودخانه فرضی با استفاده از مدل QUAL2E شبیه‌سازی شده است. سپس با خطی کردن مقادیر به دست آمده افت اکسیژن محلول در نقاط مختلف، ماتریس پاسخ رودخانه تشکیل شده است.

واکنش رودخانه به مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی

واکنش‌های بیوشیمیایی، مواد آلی را به زیست توده^۳ و سایر محصولات نهایی تبدیل می‌نماید. با داشتن خواص مواد آلی و متغیرهای سیستم توده آب می‌توان فرایندهای خودپالایی را مدل‌سازی کرد [۳]. خودپالایی^۴ سیستم‌های طبیعی آب، پدیده پیچیده‌ای است که غالباً در برگیرنده فرایندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی به طور هم‌زمان است.

BOD به دو بخش تقسیم می‌شود؛ بخشی که به وسیله مواد کربن دار مصرف می‌شود، CBOD یا اکسیژن خواهی مواد کربنه نامیده می‌شود و بخشی که به وسیله مواد نیتروژن دار مصرف می‌شود، NBOD یا اکسیژن خواهی مواد نیتروژنه خوانده می‌شود. BOD کاربرد گسترده‌ای در اندازه‌گیری آلودگی آب دارد. رابطه (۱) زوال CBOD را نشان می‌دهد [۴].

$$\frac{dL}{dt} = -k_d L \quad (1)$$

که در این رابطه:

$$L = \text{CBOD نهایی (mg/l)}$$

$$k_d = \text{ضریب نرخ کاستگی مرتبه یک، (day}^{-1}\text{)}$$

$$t = \text{زمان (روز)}$$

مصرف BOD موجب کاهش اکسیژن محلول در رودخانه می‌شود.

مدل‌سازی

یک مدل ریاضی عبارت است از مجموعه‌ای از معادلات ریاضی حاکم بر یک سیستم که به کمک آن‌ها سیستم واقعی شبیه‌سازی می‌شود. به مدل‌هایی که از تابع هدف و قیودات خطی استفاده کنند، مدل‌های خطی می‌گویند.

مدل‌های ریاضی، مدل‌هایی هستند که در آن‌ها رفتار سیستم به وسیله‌ی یکسری معادلات منطقی ارائه شده و بر اساس محاسبه واقعی و یا منطق ریاضی ارتباط بین متغیرها و

³ Biomass

⁴ Self Purification

¹ Superposition

² Illangasekare

پارامترها بیان می‌شود. یک مدل ریاضی، قابلیت پیش‌بینی سطح غلظت آلاینده‌ها را در یک رودخانه فراهم می‌کند.

مدل‌های کامپیوتری که امروزه گسترش زیادی پیدا کرده‌اند، با استفاده از روابط ریاضی قادر به شبیه‌سازی پیکره‌های آبی مانند رودخانه‌ها هستند. از بین مدل‌های موجود برخی از آن‌ها مانند CE-QUAL-RIV1, WASP6, QUAL2E, SALMON-Q و MIKE11, HEC5Q, CE-QUAL-W2 شبیه‌سازی اکسیژن محلول و BOD هستند [۵]. مدل QUAL2E، هم‌اکنون گسترده‌ترین مدل رایانه‌ای مورد استفاده برای شبیه‌سازی کیفیت جریان آب رودخانه است. این مدل علاوه بر سادگی، کاربرد بسیار زیادی یافته است و امروزه سازمان‌های زیادی از آن استفاده می‌کنند [۶]. در تحقیق حاضر از این مدل برای مدل‌سازی DO و BOD رودخانه استفاده شده است.

روش آرایه‌های پاسخ^۱

استفاده از ضرایب پاسخ برای حل معادلات خطی شده، براساس اصل برهم نهی^۲ انجام می‌گیرد. این روش نخستین بار در مورد آب‌های زیرزمینی توسط آقای مداک معرفی شد و سهم زیادی در پیشرفت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آب‌های زیرزمینی و مدل‌سازی اندرکنش‌های آن‌ها داشته است.

در مورد استفاده از ماتریس پاسخ در مدیریت کیفی منابع آب، اهداف زیر را می‌توان مورد نظر قرار داد [۱]:

- مشخص کردن تأثیر بارهای آلودگی نقطه‌ای بر روی کیفیت آب به ویژه کاهش اکسیژن محلول در پایین دست رودخانه.

- مدیریت کیفیت آب رودخانه‌ها

ماتریس پاسخ سیستم مانا^۳، ابزاری است که اندرکنش بارگذاری و پاسخ را برای سیستم‌های خطی کیفیت آب به طور خلاصه نشان می‌دهد. موازنه جرمی پایدار برای این سیستم‌ها باید به صورت مجموعه‌ای از روابط جبر خطی بیان شود. این روابط سپس باید به صورت زیر حل شود [۷]:

$$\{C\} = [A]^{-1} \{W\} \quad (2)$$

در این رابطه:

$\{W\}$: بردار بارگذاری، $\{C\}$: بردار غلظت‌های مجهول و $[A]^{-1}$: ماتریس معکوس یا ماتریس پاسخ سیستم مانا.

هر المان $[A]^{-1}$ تغییر در المان a_{ij} ناشی از تغییر واحد بار در قطعه i است و با نشان داده می‌شود. برای استفاده از این روش در مدل‌سازی BOD-DO رودخانه، نخست سیستم را یک بعدی فرض کرده و از تغییرات عمقی و عرضی BOD و DO در رودخانه صرف‌نظر می‌شود. هم‌چنین BOD را تنها به صورت کربنه فرض کرده و از NBOD صرف‌نظر می‌شود. این رویکرد را می‌توان در نهایت برای سیستم‌های چندبعدی و سیستم‌های با NBOD نیز بسط داد. موازنه جرم در حالت مانا برای CBOD در بخش i را می‌توان به صورت رابطه (۴) نوشت [۷].

$$0 = W_{Li} + Q_{i-1,i} (\alpha_{i-1,i} L_{i-1} + \beta_{i-1,i} L_i) - \quad (3)$$

$$Q(\alpha_{i,i+1} L_i + \beta_{i,i+1} L_{i+1}) + E'_{i-1,i} (L_{i-1} - L_i) + E'_{i,i+1} (L_{i+1} - L_i) - k_{ri} V_i L_i$$

این رابطه برای یک سیستم n بخشی با اختصاص شرایط مرزی بالادست و پایین دست به صورت زیر نوشته می‌شود [۷]:

$$\{L\} = [A]^{-1} \{W_L\} \quad (4)$$

حال ضرایب $[A]$ به دقت آورده می‌شود:

$$\alpha_{i,i-1} = -\alpha_{i-1,i} Q_{i-1,i} - E'_{i-1,i} \quad (5)$$

انتقال

$$\alpha_{i,i} = \alpha_{i,i+1} Q_{i,i+1} - \beta_{i-1,i} Q_{i-1,i} + E'_{i-1,i} + E'_{i,i+1} \quad (6)$$

$$+ k_{ri} V_i$$

سنتیک‌ها

لازمه کاربرد رویکرد ماتریسی، داشتن یک سیستم خطی است. ماتریس $[A]$ را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

$$[A] = [T] + [k_r V] \quad (7)$$

که در این رابطه:

$[T]$ یک ماتریس انتقال شبیه به ماتریس $[A]$ است اما تنها حاوی عبارت انتقال می‌باشد و $[k_r V]$ یک ماتریس قطری مجذور حاوی عبارت $k_{ri} V_i$ در قطر و صفر در جاهای دیگر است. به طور مشابه، می‌توان موازنه جرم را برای افت اکسیژن نیز نوشت. موازنه جرم برای اکسیژن به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$0 = W_{oi} + Q_{i-1,i} (\alpha_{i-1,i} 0_{i-1} + \beta_{i-1,i} 0_i) - \quad (8)$$

$$Q(\alpha_{i,i+1} 0_i + \beta_{i,i+1} 0_{i+1}) + E'_{i-1,i} (0_{i-1} - 0_i) +$$

¹ Response Matrix Method

² Super Position

³ Steady State Responses Matrix

در این مقاله، روش پارامتری کردن فیزیکی مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از این روش می‌توان تابع پاسخ ضربه‌ای سیستم یک رودخانه پذیرنده را با حل رابطه حاکم با کمک تابع دلتای دیراک حل کرد. این رویکرد مدل‌سازی بسط فن تابع‌گرا است. که برای حل معادلات دیفرانسیل خطی به کار می‌رود [۹].

کاربرد ترکیبی روش‌های پارامتری کردن سیستم و پارامتری کردن فیزیکی سیستم با موفقیت در مطالعه انتقال یک محلول در خاک‌ها و در آلودگی آب‌های زیرزمینی انجام شده است. البته برای روشن‌تر شدن پتانسیل کاربرد ترکیبی این روش‌ها در مورد آنالیز کیفی آب رودخانه کارهای بیشتری لازم است. با استفاده توأم از روش‌های پارامتری کردن فیزیکی و پارامتری کردن سیستم می‌توان تابع پاسخ ضربه‌ای یک سیستم خطی رودخانه را به طور مستقل تعیین کرد [۸].

مدل QUAL2E، که برای تولید ضرایب پاسخ به خدمت گرفته شده و توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) گسترش یافته است، قادر به شبیه‌سازی حداکثر ۱۵ متغیر کیفی رودخانه می‌باشد. در این مدل از روش تفاضل محدود برای حل معادلات پخشیدگی و پهن‌رفت استفاده می‌شود [۶]. موضوعی که در این پژوهش به آن پرداخته شده است، امکان استفاده از ماتریس‌های پاسخ در مدیریت کیفی آب‌های سطحی است و در این میان توجه روی افت اکسیژن (به عنوان پاسخ) در برابر بار آلودگی BOD وارده به رودخانه (به عنوان تحریک) شده است.

QUAL2E یک مدل یک بعدی برای شبیه‌سازی کیفی جریان‌های آبی است. در این مدل، هر دو فرایند پخشیدگی^۴ و پهن‌رفت^۵ در موازنه مواد در نظر گرفته می‌شوند. برای حل معادله یک بعدی انتقال جرم پهن‌رفت - پخشیدگی در راستای طولی و معادلات واکنش، از روش تفاضل محدود استفاده می‌شود [۶].

در این مقاله یک رودخانه فرضی با مشخصاتی که در جدول ۲ آمده است، توسط مدل و در نهایت با رسم منحنی تغییرات افت اکسیژن در برابر طول رودخانه و خطی کردن آن، ماتریس پاسخ برای کل رودخانه به دست آمده است. رودخانه

$$E'_{i,i+1}(O_{i+1} - O_i) - k_{di} V_i L_i + k_{ai} V_i (O_{si} - O_i) + P_i V_i - R_i V_i - S'_B A_{si}$$

این رابطه را می‌توان برای یک سیستم n بخشی با اختصاص شرایط مرزی بالادست و پایین دست به صورت زیر نوشت [۷]:

$$[B]\{O\} = \{W_0\} + \{PV\} - \{RV\} - \{S'_B A_S\} \quad (9)$$

$$+ \{k_a V O_s\} - \{k_d V L\}$$

که در این رابطه:

$$[B] = [T] + [k_a V] \quad (10)$$

با جمع این دو عبارت نتیجه زیر به دست می‌آید:

$$[B]\{O\} = \{W'_0\} - [k_d V]\{L\} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) عبارت $\{W'_0\}$ ماتریسی است که حاوی تمام منابع و چاهک‌های خارجی اکسیژن است.

$$(12)$$

$[W'_0] = \{W_0\} + \{PV\} - \{RV\} - \{S'_B A\} + \{k_a V O_s\}$ در این رابطه، W_0 منابع خارجی، W'_0 بارگذاری مستقیم، $\{PV\}$ تولید فتوسنتزی، $\{RV\}$ کاهش ناشی از تنفس، $\{S'_B A\}$ افت ناشی از SOD و $\{k_a V O_s\}$ افزایش ناشی از بازدمش است. با ضرب هر دو طرف این رابطه در ماتریس معکوس $[B]$ نتیجه زیر حاصل می‌شود:

$$\{O\} = [B]^{-1} \{W'_0\} - [C]^{-1} \{W_L\} \quad (13)$$

در این روابط $[C]^{-1}$ یک سیستم ماتریس معکوس است که غلظت اکسیژن را با بار BOD مرتبط می‌کند. با داشتن مقادیر سمت راست معادله ۱۳ می‌توان غلظت اکسیژن محلول را در هر نقطه از رودخانه به دست آورد.

روش کار

تابع پاسخ ضربه‌ای سیستم یک سیستم خطی را می‌توان با استفاده از سه روش زیر ارزیابی کرد [۲]:

- ۱- شناسایی سیستم^۱
- ۲- پارامتری کردن سیستم^۲
- ۳- پارامتری کردن فیزیکی سیستم^۳

¹ System Identification

² System Parameterization

³ System Physical Parameterization

⁴ Dispersion

⁵ Advection

برای تشکیل ماتریس ضرایب پاسخ باید برای هر نقطه یک ضریب به دست آید. با تغییر بار به طور منظم در نقطه A و سنجش اثر آن در نقطه Z و در نهایت رسم نمودار و خطی کردن آن ضریب پاسخ برای هر نقطه به دست می آید.

نتایج

در جدول ۱، ماتریس پاسخ رودخانه به دست آمده است. همان گونه که ملاحظه می شود این ضرایب بین صفر و یک قرار دارند.

نرم افزار QUAL2E برای محاسبه افت اکسیژن از رابطه استریتر فلپس استفاده می کند. از نتایج به دست آمده از مدل، مشخص می شود که روابط استریتر فلپس خطی بوده و نمودار افت اکسیژن تقریباً به صورت یک خط در می آید. برای بهتر شدن نتایج، این نمودارها را خطی کرده و معادله خط برای هر یک به دست می آید. از معادلات خطهای به دست آمده دو ضریب به دست می آید که ضرایب پاسخ برای هر نقطه هستند. در نتیجه ماتریس ضرایب پاسخ سیستم به صورت یک ماتریس ۵ در ۵ در می آید که هر نقطه دو ضریب خواهد داشت.

برای محاسبه افت اکسیژن در هر نقطه باید مقدار BOD فاضلاب ورودی و ضرایب مربوط به نقطه مورد نظر را در رابطه زیر قرار داد:

$$D_{i,j} = a_{i,j} * BOD + b_{i,j} \quad (16)$$

$D_{i,j}$: میزان افت اکسیژن محلول

a, b : ضرایب پاسخ مطابق جدول ۱

BOD: میزان جریان فاضلاب (میلی گرم بر لیتر)

برای به دست آوردن اثر برهم نهی - یعنی در صورتی که چند بار آلودگی در چند قطعه رودخانه وارد می شود - می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$D_{i,j} = \sum (a_{i,j} * BOD + b_{i,j}) \quad (17)$$

همان گونه که ملاحظه می شود با یک عملیات ساده ریاضی میزان افت اکسیژن در نقاط دلخواه به دست می آید.

دارای طول ۱۰۰ کیلومتر است که به ۵ قطعه^۱ تقسیم شده است. طول قطعه ها با هم مساوی است. برخی از فرضیات در این مقاله عبارتند از:

- شرایط پایدار است.
- یکاها بر اساس سیستم متریک است.
- بار به دومین المان هر قطعه وارد می شود.
- بار غیر نقطه ای به قطعه سوم وارد می شود و BOD آن ۶ میلی گرم در لیتر است.

در جدول ۱ مقدار ضرایب پاسخ این رودخانه آمده است. بیان ساده اصل برهم نهی در مورد دو بار آلودگی که مقدار افت اکسیژن حاصل از تأثیر آن ها در نقطه A مشاهده می شود، با توجه به شکل ۱، عبارت خواهد بود از:

$$D_{(w1,w2)A} = D_{(w1)A} + D_{(w2)A} \quad (14)$$

در این رابطه:

$D_{(w1)A}$ = میزان افت اکسیژن محلول (mg/l) در نقطه A

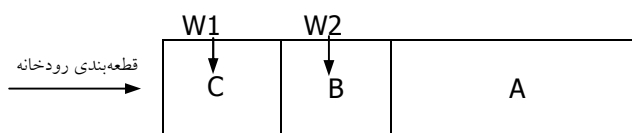
ناشی از بار w_1

$D_{(w2)A}$ = میزان افت اکسیژن محلول (mg/l) در نقطه A

ناشی از بار w_2

$D_{(w1,w2)A}$ = میزان افت اکسیژن محلول (mg/l) در نقطه A

ناشی از بارهای w_1 و w_2



شکل ۱- نمای شماتیک بارهای وارده به رودخانه

به عبارت دیگر میزان افت اکسیژن حاصل از بارهای w_1 و w_2 که به طور هم زمان در نقاط B و C وارد می شود، باید با مجموع افت اکسیژن حاصل از بارهای w_1 و w_2 که به طور جداگانه وارد می شوند، برابر باشد و در حالت کلی می توان نوشت:

$$D_A = \sum_{i=1}^w D_{wi} \quad (15)$$

¹ Reach

جدول ۱- ماتریس ضرایب پاسخ برای تمام رودخانه

قطعات	۱		۲		۳		۴		۵	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
۱	۰/۷۴	۰/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰/۹۱	۰/۴۱	۰/۷۱	۰/۴۵	۰	۰/۳۶	۰	۰/۳۶	۰	۰/۳۶
۳	۰/۸۵	۰/۵۸	۰/۹	۰/۶	۰/۷۱	۰/۶۳	۰	۰/۵۴	۰	۰/۵۴
۴	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۸۵	۰/۶۸	۰/۸۹	۰/۶۹	۰/۷	۰/۷۲	۰	۰/۶۴
۵	۰/۵۷	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۷۷

جدول ۲- ویژگی‌های رودخانه

مشخصات رودخانه	مقادیر	یکاها (واحدها)
طول رودخانه	۱۰۰	کیلومتر
دبی رودخانه	۷۰۰۰	لیتر بر ثانیه
سرعت آب	۰/۵۱-۰/۵۳	متر بر ثانیه
عرض رودخانه	۶/۱۶۳-۶/۳۵	متر
عمق رودخانه	۱/۵۸۱-۱/۶۶۷	متر
تعداد شاخه	۱	
تعداد قطعه‌ها	۵	
تعداد المان‌ها در هر قطعه	۲۰	
طول هر المان	۱	کیلومتر
جریان‌های افزایشی	۷۰	لیتر در ثانیه در هر قطعه
اکسیژن محلول اولیه در رودخانه	۷	میلی‌گرم در لیتر
BOD اولیه رودخانه	۰	میلی‌گرم در لیتر
دمای آب	۱۵	درجه سلیسیوس
اکسیژن محلول اشباع	۸/۲۸	میلی‌گرم بر لیتر
دبی فاضلاب	۳۰۰	لیتر بر ثانیه
نرخ کاستگی BOD	۰/۴	بر روز
نرخ ته‌نشینی BOD	۰/۲	بر روز
دمای خشک	۳۰	درجه سلیسیوس
دمای مربوط	۲۷	درجه سلیسیوس

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نوسانات BOD-DO در یک سیستم رودخانه‌ای که در آن پخشیدگی به خوبی انجام می‌گیرد، با روش‌های عددی قابل حل است. اما این روش‌ها معایبی دارند. مثلاً روش‌های عددی معمول نظیر تفاضل‌های محدود و المان‌های محدود ایجاد پخشیدگی عددی کرده و منجر به عدم قطعیت‌های عمده در نتایج مدل‌سازی می‌شود. البته روش‌هایی برای کنترل مشکل پخشیدگی عددی وجود دارد اما حذف کامل مشکل امکان‌پذیر نیست [۹].

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان این گونه نتیجه گرفت که ماتریس پاسخ و در پی آن اصل برهم‌نهی در مورد

آب‌های سطحی و به ویژه رابطه بار آلودگی مواد آلی و افت اکسیژن حاصل از آن در رودخانه‌ها با تقریب بسیار خوبی قابل استفاده است و می‌تواند فصل جدیدی از پژوهش‌ها را در این زمینه باز کند. با توجه به این که در پژوهش حاضر تنها روی دو پارامتر (BOD و DO) و بر روی رودخانه‌ها انجام گرفته به نظر می‌رسد که زمینه کار برای آزمودن دیگر پارامترهای کیفی در مورد رودخانه‌ها و حتی مخازن مهیا می‌باشد.

هم‌چنین خاطر نشان می‌شود که پژوهش حاضر با استفاده از مدل QUAL2E انجام شده بنابراین کار با مدل‌های دیگر و مقایسه نتایج می‌تواند در مطالعات بعدی مورد استفاده قرار بگیرد.

منابع

- ۱- سمایی، م.ر.، (۱۳۸۳). "توسعه ماتریس‌های پاسخ برای تخمین بار آلودگی در امتداد رودخانه‌ها"، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران.
- ۲- سامانی مجد، ا.م.، (۱۳۷۹). "تشبیه‌سازی بهره‌برداری هماهنگ از آب‌های سطحی و زیرزمینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- ۳- تراپیان، ع.، هاشمی، س.ح.، (۱۳۸۱). "مدل‌سازی کیفی آب‌های سطحی"، انتشارات دانشگاه تهران.
- 4- Howard, S., Peavy, Donald, R. Row, and Tchobanoglous, G., (1985). "Environmental Engineering". Mc. Graw-Hill, New York.
- 5- Deborah Chapman (1996). "Water Quality Assessments", Second Edition, UNESCO/WHO/UNEP.
- 6- Linfield, C., Brown, and Barnwell, T.O., (May 1987). "The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS", USEPA, USA.
- 7- Steven, C. Chapra, (1997). "Surface Water-Quality Modeling", McGraw-Hill.
- 8- Gorelick, S.M., (1984). "A Reiview of Distributed Parametter Groundwater Management Modeling Method", Journal of Water Resources Research, Vol. 19, No. 2, pp:
- 9- Clark, C.K., Liu and Neill, J.J., (2001). "Linear Systems Approach to River Water Quality Analysis", University of Hawaii at Manoa.