سال دوم، شماره ۲، اسفند ۱۳۹٤، صفحات ۳۵ تا ۴۲
نشریه آب و توسعه پایدار

2016, Vol.2, No.2, Pages 35 to 42
Journal of Water and Sustainable Development

معرفی معادلات اساسی مدل Qual2kw و راهنمای کاربردی مدل

هاجر طاهری سودجانی[۱*]، خدیجه براتی[۲]، محمد شایان‌نژاد[۳]

۱ و ۲- دانشجوی دکتری رشته‌ی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: hajar_taheri2001@yahoo.com)
تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۲
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۳۰

چکیده

فعالیت‌های انسانی در زمینه‌های کشاورزی، شهری و صنعت مقدار قابل توجهی از مواد مغذی و مواد آلی را تولید می‌کند که این مواد در صورت رسیدن به رودخانه‌ها، سبب آلودگی آن‌ها می‌شوند. مدل‌های کامپیوتری مانند مدل Qual2kw به طور گسترده برای مدیریت کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل که رودخانه را بصورت یک بعدی، همراه با جریان دائمی غیر یکنواخت شبیه‌سازی می‌کند، توسط اداره حفاظت محیط زیست ایالات متحده مورد بهره‌برداری قرار گرفت و توسعه یافته مدل Qual2e است. مدل‌های کیفیت آب یک چارچوب عملی توسط شبیه‌سازی فرآیندهای مهم فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را فراهم می‌کنند. مدل Qual2kw قادر به شبیه‌سازی تعدادی از پارامترها از جمله دما، pH، تقاضای بیوشیمیایی کربن، مقدار اکسیژن مورد نیاز رسوبات، اکسیژن محلول، نیتروژن آلی، نیتروژن، آمونیاک، نیتریت و نیترات، فسفر آلی، فسفر غیر آلی، ازت کل، فسفر کل، فیتوپلانکتون ها و جلبک کف می‌باشد. معادله اصلی که مدل مذکور، به حل آن می‌پردازد، معادله جابجایی/پخش یک بعدی است که برای شبیه‌سازی تمام پارامترها به غیر از جلبک کف مورد استفاده قرار می‌گیرد. کارایی این مدل در تحقیقات مختلف اثبات شده است. در این مقاله، با استناد به راهنمای مدل، معادلات بکار گرفته شده در مدل برای انجام محاسبات، شرح داده شده است. همچنین راهنمای کاربردی برای کاربرانی که قصد استفاده از این مدل را دارند، ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: مدل Qual2kw، کیفیت آب رودخانه، شبیه‌سازی، معادلات اساسی، راهنمای کاربردی.

The basic equations used in the Qual2kw model and the practical guide of model

H. Taheri-Sodejani[1*], Kh. Barati[2], M. Shayannejad[3]

1, 2- PhD student of Irrigation and Drainage, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.

*(Corresponding Author Email: hajar_taheri2001@yahoo.com)
Received: 23-5-2015
Accepted: 19-2-2016

Abstract

Human activities in the fields of agriculture, municipal and industry introduce significant amounts of nutrients and organic materials into the rivers and streams resulting in their contamination. Computer models such as Qual2kw are used extensively for water quality management of rivers and streams. The Qual2kw model is a one dimensional, non-uniform, steady water quality model, which has been used by the United State Environmental Protection Bureau and was developed based on the Qual2e model. A water quality model provides a feasible framework by simulating the important physical, chemical and biological processes. Qual2kw is able to simulate a number of components including temperature, pH, carbonaceous biochemical demand, sediment oxygen demand, dissolved oxygen, organic nitrogen, ammonia nitrogen, nitrite and nitrate nitrogen, organic phosphorus, inorganic phosphorus, total nitrogen, total phosphorus, phytoplankton and bottom algae. The main equation which the aforementioned model attempts to solve is the one-dimensional convection-diffusion equation which is applied for each constituent, except for variables related to river-bottom algae. Applications of Qual2kw are found in numerous cited literature. In this paper, based on the model manual, the equations used in the modelling process are described. Also a practical guide for users who want to use this model has been presented.

Keywords: Qual2kw model, river quality, Simulations, Basic equations, practical guide.

مقدمه

تخلیه پساب‌ها به منابع پذیرنده در گوشه و کنار دنیا فجایع زیست محیطی گوناگونی را به وجود آورده است. برای ارزیابی اثرات تخلیه پساب بر روی منبع پذیرنده، لازم است مطالعات خودپالایی انجام شود. برای تعیین خودپالایی، نیاز به یک سری ابزارها، مانند مدل‌های کیفی می‌باشد، تا بتوان در شرایط مختلف، کیفیت آب را پیش‌بینی کرد. در دو دهه گذشته، استفاده از مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی اکولوژیکی و واکنش‌های کیفی آب در آب‌های سطحی رواج بسیاری یافته است و روش‌های شبیه‌سازی، خط مش‌هایی جامع و مناسب برای ارزیابی روش‌های کاهش بار آلودگی ارائه داده‌اند (Pelletier و Chapra، ۲۰۰۶؛ Kannel و همکاران، ۲۰۰۷). از سال ۱۹۲۵، پس از ارائه معادله Streeter-Phelps برای پیش‌بینی غلظت اکسیژن محلول در رودخانه‌ها، تاکنون مدل‌های شبیه‌سازی متعددی برای شبیه‌سازی کیفی رودخانه‌ها، خلیج‌ها و آب‌های زیرزمینی به وجود آمده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان Qual2e، Qual2-kw، WASP و CE-QUAL-W2 را نام برد. مدل Qual2kw یک مدل یک بعدی برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه است که به وسیله‌ی USEPA توسعه یافته است (Kannel و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین این مدل می‌تواند برای یافتن مقادیر بهینه ضرایب و ثابت‌های مورد استفاده در پروژه‌های زیست محیطی مورد استفاده قرار گیرد. این نرم فزار برای مدل‌سازی کیفی آب‌های سطحی از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند (Chapra و همکاران، ۲۰۰۶؛ Pelletier و Chapra، ۲۰۰۶). این مدل که توسط Chapra، Pelletier و Tao در سال ۲۰۰۶ توسعه یافته است، ویرایش مدرنی از مدل معروف Qual2e است، که در سال ۱۹۸۷ توسط Brown و Barnwell ارائه گردیده بود. این مدل، رودخانه را بصورت یک بعدی، همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه‌سازی می‌کند و می‌تواند اثر بارگذاری را هم بصورت نقطه‌ای و هم غیرنقطه‌ای در نظر بگیرد. این مدل قادر است ۱۹ پارامتر کیفی آب را در رودخانه شبیه‌سازی کند (جدول ۱) و به منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی، به حل عددی معادله جابجایی-پخش[1] در رودخانه بپردازد (Chapra و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۱- پارامترهای قابل شبیه‌سازی توسط مدل Qual2kw

ردیف	نام فارسی	نام لاتین	واحد
1	هدایت الکتریکی	Conductivity	mmhos/cm
2	جامدات معلق غیرآلی	Inorganic suspended solids	mgD/L
3	اکسیژن محلول	Dissolved oxygen	mgO2/L
4	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی کربناتی با واکنش کند	Slow-reacting CBOD	mg O2/L
5	اکسیژن خواهی بیوشیمیایی کربناتی با واکنش تند	Fast-reacting CBOD	mg O2/L
6	نیتروژن آلی	Organic nitrogen	mgN/L
7	نیتروژن آمونیاکی	Ammonia nitrogen	mgN/L
8	نیتروژن نیتراتی	Nitrate nitrogen	mgN/L
9	فسفر آلی	Organic phosphorus	mgP/L
10	فسفر غیر آلی	Inorganic phosphorus	mgP/L
11	فیتوپلانکتون	Phytoplankton	mgA/L
12	ریزه‌های آلی	Detritus	mgD/L
13	پاتوژن	Pathogen	cfu/100 mL
14	ماده عمومی مانند اکسیژن خواهی کربنی	Generic constituent	user defined
15	قلیائیت	Alkalinity	mgCaCO3/L
16	کربن غیرآلی کل	Total inorganic carbon	mole/L
17	جلبک کف‌زی	Bottom algae	gD/m2
18	نیتروژن هم ارز جلبک کف زی	Bottom algae nitrogen	mgN/m2
19	فسفر هم ارز جلبک کف زی	Bottom algae phosphorus	mgP/m2

از این مدل در تحقیقات مختلف از جمله برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول، pH و کل فسفر و دما استفاده شده است (Carroll و همکاران، ۲۰۰۶؛ Pelletier و Bilhimer، ۲۰۰۴). Kannel و همکاران (۲۰۰۷) به منظور شبیه‌سازی اکسیژن محلول رودخانه بگمتی[۲] با استفاده از سناریوهای مختلف، از این مدل استفاده کردند. قبل از شبیه‌سازی این مدل با استفاده از داده‌های برداشت شده از رودخانه، کالیبره و اعتبارسنجی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل QUAL2Kw برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول رودخانه قابل قبول است. Nakhaei و Shahidi (۲۰۱۰) برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول و BOD رودخانه زاینده‌رود اصفهان، با وجود این که اندازه‌گیری کاملی در دسترس نبود،کارایی مدل Qual2kw را خوب بیان کردند. Vasudevan و همکاران (۲۰۱۱) برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول، نیترات، فسفر و BOD رودخانه یامانا[۳] دهلی از این مدل استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که با ورود بار آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به رودخانه و در نظر گرفتن جریان پایدار، مدل به خوبی توانسته است که حرکت آلاینده‌ها را شبیه‌سازی کند. Syafi و Masduqi (۲۰۱۱) از این مدل برای محاسبه بار آلودگی ورودی مجاز به رودخانه‌ها استفاده کردند و بیان کردند که این مدل قبل از استفاده باید اعتبارسنجی شده و سپس می‌تواند برای محاسبه سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار بگیرد. Gupta و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که مدل Qual2kw بعد از کالیبراسیون و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی DO و BOD در رودخانه کشیپرا[۴] در هند خوب عمل کرده و به عنوان ابزار مدیریتی قابل اعتماد، مورد استفاده است. Bagherian Marzouni و همکاران (۲۰۱۴) از این مدل برای شبیه‌سازی DO و BOD رودخانه کارون در ایران استفاده کردند. ابتدا این مدل با داده‌های برداشت شده از این رودخانه کالیبره و اعتبارسنجی شد، سپس این از مدل برای گرفتن تصمیم‌های مدیریتی با استفاده از سناریوهای مختلف استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با تغییر مکان ورود آلاینده‌ها به رودخانه، می‌توان از اثرات مخرب زیست‌محیطی آن‌ها کاست. Mehrasbi و Farahmand Kia (۲۰۱۵) به مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه کینه ورس در مجاورت شهرستان زنجان در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که داده‌های بدست آمده از این مدل معتبر بوده و این مدل ابزاری ساده برای مدیریت و تصمیم‌گیری در زمینه کیفیت آب این رودخانه است.

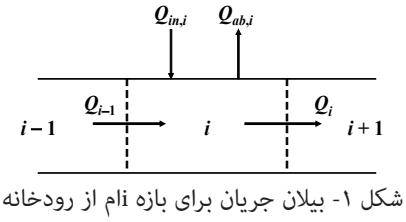
با توجه به تحقیقات انجام شده که به برخی از آن‌ها در قسمت مقدمه اشاره شد، تاکنون تحقیقات زیادی با استفاده از این مدل صورت گرفته است؛ اما با جستجو در مقالات علمی، هیچ منبع کاملی که معادلات اساسی بکار گرفته شده در مدل و همچنین راهنمای کاربردی آن را ارائه داده باشد، وجود ندارد. بنابراین با توجه به اهمیت کیفیت آب رودخانه‌ها و اهمیت شبیه‌سازی کیفیت آن‌ها، این مقاله با هدف ارائه راهنمای کاربردی برای کاربرانی که قصد استفاده از این مدل را دارند، ارائه شده است.

شرح معادلات اساسی بکار گرفته شده در مدل Qual2kw

۱- رابطه بیلان جریان در مدل Qual2kw

روابط بیلان بکار برده شده در مدل Qual2kw شامل بیلان جریان، بیلان دما و بیلان جرم است. رابطه بیلان جریان برای بازه iام از رودخانه در مدل Qual2kw با توجه به شکل (۱) به صورت زیر تعریف می‌شود (Chapra و همکاران، ۲۰۰۶):

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \qquad (۱)$$



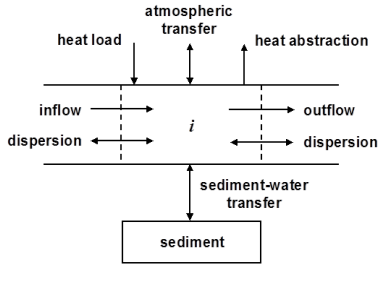
شکل ۱- بیلان جریان برای بازه iام از رودخانه

که در آن Q_i: دبی خروجی از بازه iام، Q_{i-1}: دبی ورودی به بازه iام، $Q_{in,i}$: دبی آلاینده ورودی به بازه iام، $Q_{ab,i}$: دبی آلاینده خروجی از بازه iام که مجموع آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای را شامل می‌شود.

۲- رابطه بیلان دما در مدل Qual2kw

با توجه به شکل (۲)، رابطه بیلان دما برای بازه i ام از رودخانه، در مدل Qual2kw به صورت زیر تعریف می‌شود (Chapra و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i}T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i}T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i}T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i}(T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i}(T_{i+1} - T_i) \qquad (۲)$$
$$+ \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i}\left(\frac{\mathrm{m}^3}{10^6\ \mathrm{cm}^3}\right) + \frac{J_{h,i}}{\rho_w C_{pw} H_i}\left(\frac{\mathrm{m}}{100\ \mathrm{cm}}\right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i}\left(\frac{\mathrm{m}}{100\ \mathrm{cm}}\right)$$



شکل ۲- بیلان دما برای بازه iام از رودخانه

هریک از ترم‌های این رابطه، تغییرات دما برای یکی از اجزاء نشان داده شده در شکل (۲) را بیان می‌کند. در این رابطه: Q: دبی (m^3/day)، T: درجه حرارت آب (^oc)، t: زمان

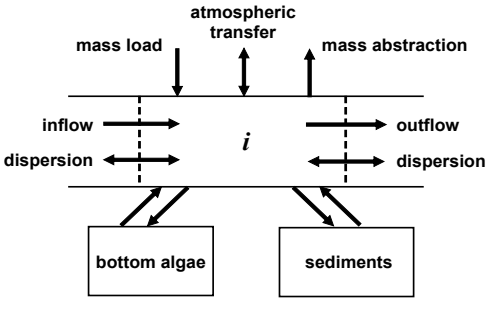
(day)، V: حجم آب (m^3)، E': ضریب پخشیدگی حجمی بین بازه i و i+1 (m^3/day)، $W_{h,i}$: مقدار خالص حرارت دریافت شده از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به بازه iام (cal/day)، : چگالی آب (gr/cm^3)، C_{pw}: گرمای ویژه آب (cal/gr^0c)، $J_{h,i}$: شار حرارت بین بازه iام و هوا ($cal/cm^2.day$)، $J_{s,i}$: شار حرارت بین آب و رسوب ($cal/cm^2.day$)، H_i: عمق متوسط آب در بازه iام در رودخانه (m) می‌باشد.

۲-۳- رابطه بیلان جرم در مدل Qual2kw

معادله اصلی که مدل مذکور، به حل آن می‌پردازد، معادله جابجایی/پخش یک بعدی است. با توجه به شکل (۳) رابطه بیلان جرم برای بازه iام از رودخانه، در مدل Qual2kw به صورت زیر تعریف می‌شود (Chapra و همکاران، ۲۰۰۶ و Kannel و همکاران، ۲۰۰۷):

$$\frac{dc_i}{dt}=\frac{Q_{i-1}}{V_i}c_{i-1}-\frac{Q_i}{V_i}c_i-\frac{Q_{ab,i}}{V_i}c_i+\frac{E'_{i-1}}{V_i}(c_{i-1}-c_i)+\frac{E'_i}{V_i}(c_{i+1}-c_i)+\frac{W_i}{V_i}+S_i+\frac{E'_{hyp,i}}{V_i}(c_{2,i}-c_i) \quad (۳)$$

هر یک از ترم‌های این رابطه، تغییرات غلظت ماده موردنظر (جزء کیفی آب) نسبت به زمان را برای یکی از اجزاء نشان داده شده در شکل (۳)، بیان می‌کند. در این رابطه: S_i: نشان دهنده Sink و Source جزء کیفی در اثر واکنش‌ها و مکانیزم‌های انتقال جرم است. c_i: غلظت جزء کیفی در آب رودخانه، $C_{2,i}$: غلظت جزء کیفی در منطقه رسوب هایپرهئیک می‌باشد. سایر اجزاء در روابط قبل، تعریف شده‌اند؛ لذا از تکرار آن‌ها خودداری می‌شود. لازم به ذکر است رابطه بیلان جرم فوق، برای تمامی اجزاء بجز جلبک کف، مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳- بیلان جرم برای بازه iام از رودخانه

راهنمای کاربردی مدل Qual2k

این نرم‌افزار بوسیله‌ی برگه‌کارهایی در صفحه گسترده تشکیل شده است. مدل بوسیله‌ی برنامه ویژوال بیسیک و فورترن می‌تواند اجرا شود. نسخه فورترن و ویژوال بیسیک نتایج یکسان می‌دهد و تنها تفاوت آن‌ها این است که فورترن به مراتب مدل را سریعتر اجرا می‌کند. در ادامه برگه‌کارهای نرم‌افزار به طور مختصر توضیح داده شده است.

۱- برگه‌کار Qual2k

یک سری برگه‌کار با زبانه‌ی فیروزه‌ای در نرم افزار وجود دارد که برای وارد کردن اطلاعات ورودی توسط کاربر استفاده می‌شود. برگه‌کار اول «Qual2k» است که برای ورود اطلاعات عمومی استفاده می‌شود (شکل ۴).

System ID:		
River name	Boulder Creek	
Saved file name	BC092187v50b37	
Directory where file saved	C:\qual2kw5	
Month	8	
Day	21	
Year	1987	
Time zone	Mountain	
Daylight savings time	Yes	
Simulation and output options:		
Calculation step	11.25	minutes
Number of days	4	days
Solution method (integration)	Runge-Kutta	
Solution method (pH)	Bisection	
Simulate hyporheic exchange and pore water quality	No	
Display dynamic diel output	Yes	
Program determined calc step	11.25	minutes
Time elapsed during last model run	0.09	minutes
Time of sunrise	6:17 AM	
Time of solar noon	1:03 PM	
Time of sunset	7:49 PM	
Photoperiod	13.54	hours

شکل ۴- برگه‌کار Qual2k (مربوط به وارد کردن اطلاعات کلی در مدل)

اسم رود یا مسیلی که مدل‌سازی می‌شود، نام فایل ذخیره‌سازی، محل ذخیره‌سازی فایل مورد نظر، ماه، روز و سال شبیه‌سازی، منطقه زمانی مناسب در این برگه‌کار وارد می‌شود. معمولاً در بهار و تابستان زمان را به اندازه‌ی یک ساعت به جلو می‌برند

که به وسیله‌ی گزینه Daylight savings time، جابجایی زمان را مشخص می‌کنیم. گام‌های زمانی مورد نیاز برای محاسبات[5](کوچکتر از ۴ ساعت) ومدت زمان محاسبات[6](بزرگتر مساوی ۲روز) در این برگه‌کار وارد مدل می‌شود. سه‌روش عددی اولر، ران کوتا و روش تطبیقی برای حل معادلات دیفرانسیلی در این مدل وجود دارد. روش گام تطبیقی تنها زمانی در دسترس است که از برنامه فورترن برای اجرای برنامه استفاده شود. روش اولر به عنوان پیش فرض توصیه می‌شود؛ چون معمولاً نتایج به قدر مناسب دقیق و صحیح را بدست می‌دهد. برای مواردی که نتایج غیرپایدار با روش اولر اتفاق می‌افتد یا دقت بیشتری مورد نیاز است، می‌توان از روش محاسباتی سنگین ران کوتا استفاده کرد. دو روش عددی نیوتن رافسون و نصف کردن (دو بخشی)[7] برای حل pH وجود دارد. روش نیوتن رافسون به دلیل سریع بودن (همگرایی فوق خطی و از مرتبه دوم) به عنوان پیش فرض پیشنهاد می‌شود؛ هر چند مواردی وجود دارد که می‌تواند در آن‌ها غیر پایدارباشد (Chapra وCanale، ۱۹۹۸). مدل قادر است انتقال جرم بین ستون آب و آب منفذی هایپرهئیک[8] را در شبیه‌سازی در نظر گیرد که برای این منظور گزینه مربوطه در نرم‌افزار انتخاب می‌شود. ناحیه هایپُرهئیک، منطقه‌ای در زیر بستر رودخانه است که در آنجا تداخل آب زیرزمینی و آب سطحی صورت می‌گیرد.

برای نمایش خروجی‌های دینامیکی روزانه (شبیه‌سازی ۲۴ ساعته) دو گزینه موجود است. با انتخاب گزینه Yes نتایج دینامیکی روزانه در شیت‌های خروجی و نمودارها نمایش داده می‌شوند. در گزینه State variables for simulation کاربر مشخص می‌کند که آیا تمام حالات مختلف شبیه‌سازی شود یا فقط دما شبیه‌سازی شود. در صورت تمایل به شبیه‌سازی رسوبات[9]، گزینه مربوط در نرم افزار انتخاب می‌شود. کامپیوتر به صورت اتوماتیک زمان مورد نیاز برای شبیه‌سازی[10] را نمایش می‌دهد. کاربر در این برگه‌کار، زمان طلوع خورشید، زمان ظهر خورشید و زمان غروب خورشید برای دورترین بازه‌ی پایین دست را وارد می‌کند.

۲- برگه کار Headwater Worksheet (شرایط اولیه در بالادست)

این برگه‌کار برای وارد کردن جریان و غلظت‌ها در مرزهای سیستم استفاده می‌شود. مجموعه از سلول‌ها برای وارد کردن حرارت، کیفیت آب و شرایط مرزها در سرآب رود[11] استفاده می‌شود. برای مواردی که داده‌ها در طول روز تغییر می‌کنند، Qual2kw به کاربر این اجازه را می‌دهد تا ارقام را به صورت ساعتی وارد کند. اگر مقادیر اعداد در خلال چرخش روزانه ثابت باشند، فقط مقدار میانگین در سلول مربوطه (که برای ۱۲ ظهر است) وارد می‌شود و بقیه سلول‌های خالی رها می‌شود. مدل Qual2kw به صورت اتوماتیک، مقداری را که در ساعت ۱۲ ظهر خوانده شده، برای بقیه ساعات روز به کار می‌برد. اگر مرز پایین دست[12] بر روی شبیه‌سازی تأثیر داشته باشد، مجموعه اطلاعات مربوط به آن، همانند سراب وارد می‌شود.

۳- برگه‌کار Reach Worksheet

مدل Qual2kw به کاربر اجازه می‌دهد مسیر رودخانه مورد مطالعه را به بازه‌های متعددی که اصطلاحاً به هر یک از آن‌ها Reach گفته می‌شود، تقسیم‌بندی کند و اطلاعات مربوط به ورود آلودگی‌های نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای و یا برداشت نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای آب از رودخانه را در ایستگاه‌های مربوطه بطور جداگانه برای مدل تعریف کند. این برگه‌کار برای وارد کردن اطلاعات مربوط به سرآب رودخانه و بازه‌های آن استفاده می‌شود. همچنین امکان انتخاب بازه مورد نظر برای تهیه نقشه روزانه در این قسمت وجود دارد (Reach for diel plot). ابتدا نام بازه وارد می‌شود، سپس مدل بصورت اتوماتیک به بازه به صورت صعودی شماره‌دهی می‌کند و همچنین مدل طول بازه، طول و عرض جغرافیایی انتهای پایین دست هر بازه را محاسبه کرده و نمایش می‌دهد. کاربر باید فاصله رودخانه، ارتفاع در مقیاس متر از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی انتهای پایین‌دست هر بازه که می‌تواند به صورت صعودی یا نزولی باشد، در این قسمت وارد کند. مدل سرعت و عمق را بر پایه دبی جریان با دو روش شماره منحنی و یا مانینگ محاسبه می‌کند. اگر مدل در سلول‌های مربوط به فرمول مانینگ، سلول‌ها را دارای ارزش صفر تشخیص دهد، به صورت اتوماتیک سرعت و عمق را از روش شماره منحنی[13] محاسبه می‌کند.

اگر پخش و پراکندگی در انتهای پایین دست یک بازه را داشته باشیم می‌تواند در این برگه‌کار وارد شود. اگر این سلول رها شود، قابلیت پخش به صورت اتوماتیک به وسیله‌ی برنامه محاسبه می‌شود. اگر در انتهای پایین‌دست، بازه‌بند قرار گرفته باشد، ارتفاع بند وارد می‌شود. اگر میزان هوادهی[14] برای بازه شناخته شده باشد، این مقدار می‌تواند در ستون مربوطه وارد شود. در رودخانه تمام بستر بازه ممکن است مناسب برای رشد جلبک‌ها نباشد. بنابراین QUAL2KW به کاربر اجازه می‌دهد تا درصدی از بستر استفاده شده برای رشد جلبک‌ها وارد شود. همچنین درصدی از بستر که توسط رسوبات پوشانده شده است[15]، اکسیژن مورد نیاز برای رسوبات[16] برای هر بازه و مقدار هدایت گرمایی برای انواع رسوبات[17] در این برگه‌کار وارد می‌شود (اطلاعات مربوطه برای انواع رسوبات در راهنمای مدل آمده است). اگر مقدار تبادل هایپرهئیک ناچیز باشد ضخامت رسوبات[18] در حدود ۱۰ سانتی‌متر و اگر تبادل هایپرهئیک قابل توجه باشد، تقریباً ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. اگر تبادل هایپرهئیک شبیه‌سازی شده باشد، میزان جریان

هایپرهئیک[19] به عنوان کسری از جریان سطحی و تخلخل رسوبات[20] باید وارد مدل شود. گزینه Sky opening for long wave کسری از بازشو آسمان است که مقدار پیش فرض ۱۰۰ ٪ برای تعدیل مدت تابش با طول موج بلند پیشنهاد شده است.

۴- برگه‌کار Reach Rates Worksheet

این برگه‌کار اختیاری می‌باشد تا اطلاعات مربوط به نرخ‌های ثابت و پارامترهای مخصوص بازه را وارد کند. اگر نرخ‌های مخصوص در این برگه‌کار مشخص نشده باشند، بنابراین پارامترهای کلی در شیت Rate بکار گرفته می‌شوند.

۵- برگه‌کار Initial Conditions Worksheet (شرایط اولیه در بازه‌های مختلف رودخانه)

شرایط اولیه در این شیت اختیاری‌اند. در صورت عدم مشخص بودن آن‌ها، شرایط اولیه در ستون آب برای هر بازه مانند سراب فرض می‌شود. برای بدست آوردن شرایط اولیه در هر یک از بازه‌ها بهتر است با زمان سفر رودخانه به سمت پایین دست حرکت شود و سپس زمانی که جریان به هر بازه رسید از آن بازه نمونه‌گیری انجام شده و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته به عنوان شرایط اولیه برای هر کدام از بازه‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۶- برگه‌کار Meteorology and Shading Worksheets

شش برگه‌کار برای وارد کردن داده‌های هواشناسی و سایه‌اندازی استفاده می‌شود. روش وارد کردن داده در همه‌ی آن‌ها مشابه است. برگه‌کار دمای هوا برای وارد کردن دمای ساعتی هوا برای هر بازه‌ی سیستم استفاده می‌شود. در این برگه‌کار برنامه به صورت اتوماتیک، نام ابتدای هر بازه، نام بازه، نام پایین دست بازه، شماره بازه، فاصله از ابتدا و انتهای بازه را نمایش می‌دهد. اگر دما در خلال شبانه روز ثابت است، فقط میانگین وارد می‌شود و مدل QUAL2KW به صورت اتوماتیک عددی که در ساعت ۱۲ ظهر است برای بقیه ساعات شبانه روز به کار می‌برد. در سایر برگه‌کارهای هواشناسی دمای نقطه شبنم، سرعت باد، پوشش ساعتی ابر، سایه‌اندازی و داده‌های تابش خورشیدی برای هر بازه‌ی سیستم وارد می‌شود. روش وارد کردن داده در این برگه‌کارها مشابه دما است.

۷- برگه‌کار Rates Worksheet

این برگه‌کار برای ارزیابی پارامترهای مدل، وارد کردن میزان پارامترهای مدل و انتخاب کالیبراسیون اتوماتیک، به کار گرفته می‌شود. مدل QUAL2KW دارای این قابلیت است که نرخ‌های انتخاب شده را کالیبره کرده و برای کالیبراسیون اتوماتیک از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند. همچنین کاربر این اختیار را دارد که مقدار کالیبره شده توسط خود را در نرم افزار وارد کند.

مدل استوکیومتری[21] در این مدل فیتوپلانکتون‌ها و اجسام فرسایشی را ثابت فرض می‌کند. استوکیومتری مواد آلی به معنای آن است که در اثر زوال مقدار مشخصی کلروفیل فیتوپلانکتون، چه مقدار ماده خشک آلی، کربن، نیتروژن و فسفر تولید می‌شود. در مدل Qual2kw این پارامتر در تعیین میزان تولید یا مصرف جزء کیفی، نقش دارد. رابطه (۴) بطور پیش فرض در مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربر می‌تواند در صورت داشتن اطلاعات در این زمینه، مقادیر پیش فرض را تغییر دهد.

100 gD : 40 gC : 7200 mgN : 100 mgP :1000 mgA (۴)

اطلاعات مربوط به هوادهی از طریق برگه‌کار Reach و Rates وارد نرم‌افزار می‌شود. اگر اطلاعات مربوطه در برگه‌کار Reach وارد شود، بقیه گزینه‌ها باطل می‌شود. اگر هوادهی از طریق این برگه‌کار وارد نشود، از طریق منوی کشویی در برگه‌کار Rates می‌توان فرمول مناسب برای محاسبه هوادهی را انتخاب نمود. توجه شود که گزینه Internal پیش فرض است و هوادهی را بر اساس عمق و سرعت رودخانه محاسبه می‌کند. همچنین اثر سرعت باد بر روی هوادهی با انتخاب روابط مختلف که در نرم‌افزار وجود دارد، می‌تواند مشخص شود. برای توازن جرم برای هر کدام از ۱۹ پارامتر کیفی بایستی داده‌هایی مربوط به آن در این برگه‌کار وارد شود که در این‌جا جزئیات مربوط به آن‌ها ذکر نشده است.

۸- برگه‌کار Light and Heat Worksheet

این برگه‌کار برای وارد کردن پارامترهای مرتبط با نور استفاده می‌شود. گزینه تابش در دسترس فتوسنتزی[22] کسری از تابش خورشیدی دریافتی می‌باشد که برای عمل فتوسنتز در دسترس می‌باشد. توصیه می‌شود این عدد در ۰/۴۷ تنظیم شود. در این برگه‌کار، پارامتر خاموش‌سازی نور به دلیل وجود کلروفیل، جامدات معلق، ریزه‌های مواد آلی، وجود ماکروفیت‌ها وارد نرم‌افزار می‌شود.

۹- برگه‌کار Point and Diffuse Sources Worksheet

این دو برگه‌کار برای وارد کردن اطلاعات مربوط به منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای سیستم استفاده می‌شود. در این قسمت نام منبع آلاینده، فاصله برای منبع ورودی یا خروجی از رودخانه وارد می‌شود. یک منبع می‌تواند ورودی[23] یا خروجی[24] باشد. دما و غلظت‌های کیفی آب از جریان ورودی باید در این برگه‌کار وارد شود. مدل QUAL2KW به کاربر اجازه می‌دهد که دما و غلظت هر منبع نقطه‌ای به عنوان منحنی سیسنوسی که در خلال شبانه‌روز تغییر می‌کند، وارد کند. در مورد منابع غیرنقطه‌ای مانند رواناب کشاورزی، یا فاضلاب روستایی همانند منابع نقطه‌ای عمل می‌شود، با این تفاوت که بایستی ابتدا و انتهای ورود و خروج بار آلودگی را وارد کنیم.

۱۰- برگه‌کار Warnings Worksheet

این برگه‌کار هر اخطاری که در خلال اجرای برنامه رخ دهد را نمایش می‌دهد. اگر بعد از اجرای برنامه این برگه‌کار را بازرسی

کنیم در صورتی که برنامه در حین اجرا با اخطارهایی مواجه شود، در این قسمت قابل مشاهده خواهد بود.

۱۱- برگه‌کار (Optional) Data Worksheets

یک سری از برگه‌کارها برای وارد کردن داده‌های اندازه‌گیری شده برای نمایش بر روی طرح و نقشه استفاده می‌شوند. این برگه‌کارها اختیاری‌اند. به عبارت دیگر مدل صرف نظر از این که این داده‌ها باشند یا نه، قابل اجرا است. این برگه‌کارها با رنگ زرد کم رنگ مشخص می‌شوند و برای وارد کردن خصوصیات هیدرولیکی سیستم، دما، کیفیت آب در بازه‌های مختلف استفاده می‌شوند.

۱۲- برگه‌کار Output Worksheets

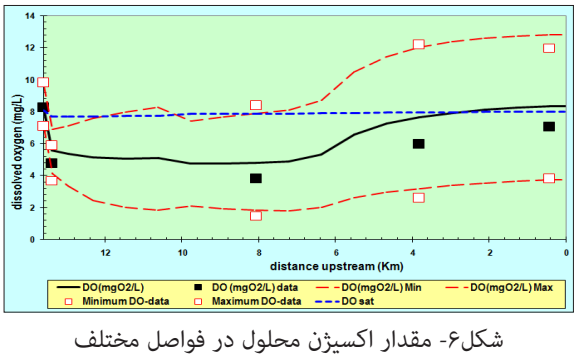
یک سری برگه‌هایی در نرم‌افزار وجود دارد که خروجی‌های عددی تولید شده توسط نرم‌افزار هستند. این اطلاعات همراه با داده‌های اندازه‌گیری شده بر روی پلات‌های خروجی نمایش داده می‌شوند و رنگ زبانه‌ی آن‌ها سبز روشن است که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد. برگه‌کار Source Summaryنتایج را به صورت ساعتی در بازه‌های مختلف نشان می‌دهد. همچنین برگه‌کارهایی برای اطلاعات خروجی مربوط به پارامترهای هیدرولیکی، خلاصه اطلاعات دما و میانگین غلظت ۱۹ پارامتر کیفی، شار میانگین روزانه بین آب و قسمت رسوبات در بازه‌های مختلف وجود دارد. نمونه ای از این برگه‌کارها که مربوط به میانگین غلظت ۱۹ پارامتر کیفی در بازه‌های مختلف است در شکل (۵) نشان داده شده است.

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO(mgO2/L)	CBODs (mgO2/L)	CBODf (mgO2/L)	No(ugN/L)	NH4(ugN/L)	NO3(ugN/L)
Headwater	13.60	294.61	8.61	8.28	1.34	1.34	1651.07	87.59	165.56
MP 0.4	13.39	472.18	9.20	5.57	7.35	7.69	3345.47	5592.34	1444.85
	12.96	473.52	9.08	5.35	7.20	7.86	3325.10	5400.79	1574.37
	12.33	476.11	8.85	5.14	6.86	8.14	3289.01	5047.89	1800.94
	11.48	478.59	8.63	5.07	6.52	8.35	3256.79	4724.88	1997.65
	10.63	480.98	8.42	5.09	6.18	8.51	3227.20	4427.71	2169.77
	9.78	487.74	6.83	4.76	4.66	6.67	3007.23	4351.28	1766.48
	8.93	489.31	6.71	4.78	4.46	6.76	2985.55	4134.49	1908.82
MP 3.5	8.08	490.83	6.60	4.83	4.27	6.83	2964.62	3930.64	2038.36
	7.23	492.31	6.49	4.90	4.09	6.89	2944.07	3738.45	2156.79
	6.38	493.75	6.38	5.33	4.00	6.89	2952.67	3604.39	2191.64
	5.53	500.88	5.86	6.57	3.61	6.76	2981.41	2970.60	2326.71
	4.68	507.11	5.41	7.25	3.28	6.60	2989.43	2435.61	2412.43
MP 5.6	3.83	512.60	5.02	7.66	3.02	6.42	2983.76	1983.41	2461.36
	2.98	517.48	4.67	7.93	2.80	6.25	2969.93	1601.11	2483.93
	2.13	521.84	4.37	8.12	2.62	6.08	2951.46	1277.75	2487.58
	1.28	525.77	4.10	8.26	2.47	5.92	2929.42	1003.32	2477.42
Last Segment	0.43	529.32	3.86	8.37	2.34	5.77	2904.32	769.69	2456.69
Terminus	0.00	529.32	3.86	8.37	2.34	5.77	2904.32	769.69	2456.69

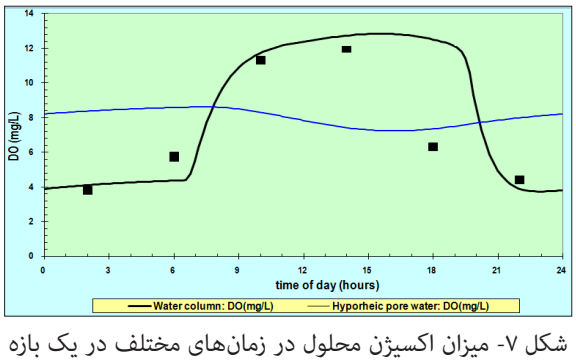
WQ Data Max | Diel Data | Source Summary | Hydraulics Summary | Temperature Output | **WQ Output** | WQ Min | Vl

شکل ۵- برگه‌کار خلاصه پارامترهای کیفیت آب خروجی

خروجی‌های نرم‌افزار می‌تواند توسط نمودار هم نمایش داده شود. شکل‌های (۶) و (۷) مثالی از این نمودارها برای اکسیژن محلول را نمایش می‌دهند. خط سیاه میانگین DO شبیه‌سازی شده است، در حالی که خطوط منفصل قرمز رنگ به ترتیب اعداد مینیمم و ماکزیمم اکسیژن اشباع، خط منفصل آبی اکسیژن اشباع هستند. مربع سیاه میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده که در برگه‌کار WQ Data وارد شده‌اند و مربع‌های سفید به ترتیب مینیمم و ماکزیمم پارامترها هستند. مدل Qual2k این قابلیت را دارد که در بازه انتخابی کاربر در ۲۴ ساعت شبانه‌روز شبیه‌سازی ۱۹ پارامتر کیفی را انجام دهد. شکل (۷) مثالی از اکسیژن محلول در طول شبانه‌روز را نمایش می‌دهد.



شکل۶- مقدار اکسیژن محلول در فواصل مختلف



شکل ۷- میزان اکسیژن محلول در زمان‌های مختلف در یک بازه

جمع‌بندی

تخلیه پساب‌ها به منابع پذیرنده در گوشه و کنار دنیا، فجایع زیست محیطی گوناگونی را به وجود آورده است. برای ارزیابی اثرات تخلیه پساب بر روی منبع پذیرنده، لازم است که مطالعات خودپالایی انجام شود. برای تعیین خودپالایی نیاز به یک سری ابزارها مانند مدل‌های کیفی می‌باشد تا بتوان در شرایط مختلف، کیفیت آب را پیش‌بینی کرد. مدل‌های کامپیوتری مانند مدل Qual2kw به طور گسترده برای مدیریت کیفیت آب رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. کارایی این مدل در تحقیقات مختلف در ایران از جمله در رودخانه‌های کارون، زاینده‌رود و کینه‌ورس استان زنجان اثبات شده است. مدل قادر به شبیه‌سازی پارامترهای مختلف در طول رودخانه و در ساعات مختلف شبانه‌روز می‌باشد و می‌تواند به عنوان ابزار مدیریتی قابل اعتماد، مورد استفاده گیرد.

پی‌نوشت

1- Advection-Diffusion
2- Bagmati
3- Yamuna
4- Kshipra
5- Calculation step
6- Number of days
7- Bisection Method
8- Hyporheic
9- Simulate sediment diagenesis
10- Time of last calculation
11- Headwater Water Quality
12- Downstream Boundary Water Quality
13- Rating curves
14- Reaeration
15- Bottom SOD Coverage
16- Prescribed SOD
17- Sediment thermal conductitivity
18- Sediment thickness
19- Hyporheic exchange flow
20- Hyporheic sediment porosity
21- Stoichiometry
22- Photosyn thetically Available Radiation
23- Inflow
24- Abstraction

منابع

Bagherian Marzouni M., Akhoundalib A.M., Moazed H., Jaafarzadeh N., Ahadian J. and Hasoonizadeh H. 2014. Evaluation of Karun river water quality scenarios using simulation model results. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(2): 339-358.

Chapra S., Pelletier G. and Tao H. 2006. A Modeling framework for simulating river and stream water quality, Version 2.04: Documentation and users manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

Chapra S.C. and Canale R.P. 1998. Numerical methods for engineers. McGraw-Hill, New York.

Carroll J. V., Oeal S. and Golding S. 2006. Wenatchee River basin dissolved oxygen, pH, and phosphorus total maximum daily load study, Washington State Department of Ecology.

Kannel P.R., Lee S., Kanel S.R., Lee Y.S. and Ahn K.H. 2007. Application of QUAL2Kw for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati. Environmental monitoring and assessment, 125(1-3): 201-217.

Gupta R.C., Gupta A.K. and Shrivastava R.K. 2013. Water quality modeling of a stretch of river Kshipra (India). Nature Environment and Pollution Technology, 12(3): 511-516.

Pelletier G. and Chapra S. 2006. A modeling framework for simulating river and stream water quality. Environ-mental Assessment Program, Olympia, Washington: p. 98504-7710.

Pelletier G. and Bilhimer D. 2004. Stillaguamish river watershed temperature total maximum daily load study, Washington State Department of Ecology.

Mehrasbi M.R., and Farahmand Kia Z. 2015. Water quality modeling and evaluation of nutrient control strategies using qual2k in the small sivers, J. Hum. Environ. Health Promot. 1(1): 1-11.

Nakhaei N., and Shahidi A.E. 2010. Water quality discharge impact modeling with QUAL2K, Case Study: the Zayandeh-rood River. Proc. Intl. Environ. Model. Soft. Soc. 2(2): 339-358.

Syafi M., and A. Masduqi. 2011. Aplikasi model simulasi komputer qual2kw pada studi pemodelan kualitas air kali surabaya. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Vasudevan M., Nambi I.M. and Suresh Kumar G. 2011. Application of QUAL2K for assessing waste loading scenario in river Yamuna. International journal of advanced technology and Engineering, 2(2): 336-344.