

الحمد لله رب العالمين  
والصلاة والسلام على  
سيدنا محمد وآله الطيبين  
الطاهرين



# کاربرد مدل QUAL2KW در پایش کیفی منابع آب سطحی

مؤلف:

ساناز شکری

«کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی»

سرشناسه	:	شکری، ساناز، ۱۳۶۶ -
عنوان و نام پدیدآور	:	کاربرد مدل QUAL2KW در پایش کیفی منابع آب سطحی / مولف ساناز شکری
مشخصات نشر	:	تهران: صبورا، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	:	۱۶۹ ص.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۶۳۴۲-۹۱-۷
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا
موضوع	:	آب -- کیفیت -- نرم افزار
موضوع	:	آب -- کیفیت -- شبیه سازی
موضوع	:	آب -- کیفیت -- ارزشیابی
موضوع	:	آب -- کیفیت -- اندازه گیری
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۴ ک۸ش/ TD۳۷۰
رده بندی دیویی	:	۶۲۸/۱۶۱
شماره کتابشناسی ملی	:	۴۱۷۸۷۲۵



انتشارات صبورا

## کاربرد مدل QUAL2KW در پایش کیفی منابع آب سطحی

ناشر: انتشارات صبورا

مؤلف: ساناز شکری

حروف چینی و صفحه آرایی: طلوع گرافیک

مدیر اجرایی: علیرضا مقدم

لیتوگرافی: به آوران

چاپ و صحافی: به آوران

شمارگان: ۳۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۳۹۴

قیمت: ۱۰/۲۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۴۲-۹۱-۷

**حق نشر و چاپ این اثر محفوظ است.**

آدرس دفتر مرکزی: تهران، خیابان ظفر، خیابان کازرون، پلاک ۱۳، ط ۲، تلفن: ۲۲۹۰۷۷۳۸-۹

مرکز پخش: میدان انقلاب، جنب سینما مرکزی، خانه کتاب سپاهان، پلاک ۶

تلفن پخش: ۶۶۵۷۴۶۴۲-۶۶۴۸۱۹۵۲ همراه: ۰۹۱۲۱۷۵۷۳۴۹ و ۰۹۱۹۱۷۵۷۳۴۹

آدرس سایت: [www.ketabsepahan.ir](http://www.ketabsepahan.ir) - [www.medicalbook.ir](http://www.medicalbook.ir)

## پیشگفتار

رودخانه‌ها به عنوان مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب شرب و مصرفی شهرها و روستاهای کشور نقش مهمی در تأمین سلامت انسان و محیط زیست دارند، اما متأسفانه طی سال‌های اخیر به‌همراه رشد فزاینده ساخت و سازهای غیراصولی و توسعه شهرنشینی، شاهد تخلیه فاضلاب‌ها و پسماندهای خانگی، صنعتی، کشاورزی و بیمارستانی در رودخانه‌ها هستیم که این امر موجب تیرگی رودخانه‌ها و غلظت بالای آلاینده‌ها در حیاتی‌ترین مایع زندگی شده است. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می‌باشد. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آن‌ها می‌باشد. بدیهی است که برای آگاهی از کیفیت منابع آب و تولید اطلاعات مورد نیاز باید پایش انجام شود. چرا که داشتن اطلاعات جامع، صحیح و قابل اطمینان با دوره‌های زمانی مناسب می‌تواند عامل مهمی در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها باشد. در عصر کنونی گسترش شهرها و احداث واحدهای صنعتی و کشاورزی وابسته به وجود منابع آب کافی به‌ویژه رودخانه‌ها بوده است. در این مناطق رودخانه‌ها نه تنها تأمین‌کننده مصارف مختلف آب هستند، بلکه به‌عنوان مجاری طبیعی در انتقال پساب‌ها و فاضلاب‌های تولید شده عمل می‌نمایند. تخلیه انواع مختلف آلاینده‌های کشاورزی و صنعتی و پساب‌های شهری به رودخانه‌ها باعث شده است که در حال حاضر رودخانه‌ها به عنوان یکی از کانون‌های بحرانی از نقطه نظر آلودگی‌ها مطرح باشند. می‌توان بیان کرد که کاربری‌های شهری و کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه تأثیر بسزایی دارد، به‌طوری که در حوضه‌هایی با کاربری کشاورزی و شهری بالا، نسبت به حوضه‌هایی که این کاربری‌ها در آن‌ها کمتر است، میزان آلودگی بیشتر است.

کتابی که پیش روی شماست به تفصیل اطلاعات اولیه به‌منظور یادگیری و کار با نرم‌افزار QUAL2Kw را در اختیار شما خوانندگان گرامی گذاشته و نیازهای شما در هنگام کار با این نرم‌افزار را برطرف می‌سازد. این کتاب حاصل تجارب شخصی نگارنده و هم‌چنین ترجمه اسناد، راهنماها و مقالات موجود و مرتبط با این مدل می‌باشد. در پایان ضمن آرزوی موفقیت برای شما خواننده گرامی، لازم می‌دانم از راهنمایی‌ها و کمک‌های بی‌دریغ جناب آقای دکتر عبد الرحیم هوشمند تشکر نمایم که بدون زحمات بی‌وقفه ایشان انتشار این کتاب میسر نبود.

با احترام

ساناز شکری

## تقدیم به

مقدسترین واژه‌ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که  
زندگیم را مدیون مهر و عطوفت او می‌دانم.  
پدر عزیزم، که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی  
همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن  
برایم هست.  
برادران و خواهرانم همراهان همیشگی و پشتوانه‌های  
زندگیم و همه آنهایی که عاشق ایران و آبادانی آن هستند.

## فهرست مطالب

### فصل اول: کیفیت آب

۱-۱- مقدمه.....	۱۵
۲-۱- خواص آب.....	۱۶
۱-۲-۱- خواص فیزیکی.....	۱۶
۱-۱-۲-۱- وزن مخصوص.....	۱۶
۲-۱-۲-۱- رنگ.....	۱۶
۳-۱-۲-۱- کدورت.....	۱۷
۴-۱-۲-۱- بو و طعم.....	۱۷
۲-۲-۱- خواص شیمیایی.....	۱۸
۱-۲-۲-۱- pH.....	۱۸
۲-۲-۲-۱- سختی.....	۱۹
۳-۲-۱- خواص بیولوژیکی.....	۲۱
۴-۲-۱- خواص رادیولوژیکی.....	۲۱
۳-۱- کیفیت آب.....	۲۲
۱-۳-۱- درجه حرارت.....	۲۲
۲-۳-۱- اسیدیت.....	۲۲
۳-۳-۱- مواد معلق.....	۲۴
۴-۳-۱- شوری.....	۲۴
۵-۳-۱- مقدار باقی مانده خشک (TDS).....	۲۴
۶-۳-۱- ترکیب و تجمع نمک‌های محلول.....	۲۵

- ۲۶ ..... ۱-۳-۷-قلیائیت
- ۲۶ ..... ۱-۳-۷-۱-تعیین قلیائیت آب
- ۳۰ ..... ۱-۳-۷-آنیون ها
- ۳۰ ..... ۱-۳-۷-۱-کلر
- ۳۰ ..... ۱-۳-۷-۲-سولفات
- ۳۰ ..... ۱-۳-۷-۳-بی کربنات
- ۳۱ ..... ۱-۳-۷-۴-کربنات
- ۳۱ ..... ۱-۳-۷-۵-نیتрат
- ۳۱ ..... ۱-۳-۸-کاتیون ها
- ۳۱ ..... ۱-۳-۸-۱-سدیم
- ۳۲ ..... ۱-۳-۸-۲-پتاسیم
- ۳۳ ..... ۱-۳-۸-۳-کلسیم
- ۳۳ ..... ۱-۳-۸-۴-منیزیم
- ۳۳ ..... ۱-۳-۹-هدایت الکتریکی
- ۳۴ ..... ۱-۳-۹-۱-ثابت سلول, K
- ۳۴ ..... ۱-۳-۹-۲-ضریب دمایی هدایت الکتریکی
- ۳۵ ..... ۱-۳-۹-۳-فاکتورهای تصحیح دمایی
- ۳۵ ..... ۱-۳-۹-۴-ارتباط TDS و EC
- ۳۶ ..... ۱-۳-۱۰-آهن
- ۳۶ ..... ۱-۳-۱۱-منگنز
- ۳۷ ..... ۱-۳-۱۲-عوامل زیستی



- ۴-۱- منابع آلاینده آب..... ۴۱
- ۱-۴-۱- منبع آلاینده نقطه‌ای..... ۴۲
- ۲-۴-۱- منبع آلاینده غیرنقطه‌ای..... ۴۲
- ۳-۴-۱- آلودگی ناشی از فاضلاب‌های شهری..... ۴۴
- ۴-۴-۱- آلودگی ناشی از فاضلاب‌های صنایع..... ۴۴
- ۵-۴-۱- آلودگی ناشی از فاضلاب‌های کشاورزی..... ۴۵

## فصل دوم: مفاهیم شبیه‌سازی

- ۱-۲- تعاریف..... ۴۸
- ۱-۱-۲- سیستم‌ها..... ۴۸
- ۲-۱-۲- مدل‌ها..... ۴۹
- ۳-۱-۲- شبیه‌سازی..... ۵۱
- ۲-۲- چه موقع از شبیه‌سازی استفاده کنیم؟..... ۵۱
- ۳-۲- انواع شبیه‌سازی..... ۵۳
- ۱-۳-۲- شبیه‌سازی همانی..... ۵۳
- ۲-۳-۲- شبیه‌سازی نیمه‌همانی..... ۵۳
- ۳-۳-۲- شبیه‌سازی آزمایشگاهی..... ۵۴
- ۴-۳-۲- شبیه‌سازی کامپیوتری..... ۵۴
- ۴-۲- فرایند شبیه‌سازی..... ۵۴
- ۵-۲- مزایا شبیه‌سازی کامپیوتری..... ۶۰
- ۶-۲- معایب شبیه‌سازی..... ۶۱

## فصل سوم: مدل‌های عددی پایش کیفی منابع آب

۶۳	۱-۳- مقدمه.....
۶۴	۲-۳- مقایسه خواص مدل‌های عددی هیدرودینامیک و کیفیت آب.....
۶۶	۳-۳- تقسیم‌بندی مدل‌ها بر اساس هندسه.....
۶۶	۱-۳-۳- مدل‌های دو بعدی افقی.....
۶۶	۲-۳-۳- مدل‌های دو بعدی عمقی.....
۶۷	۳-۳-۳- مدل‌های یک بعدی.....
۶۷	۴-۳-۳- اصول تدوین مدل.....
۶۸	۴-۳- معرفی مدل‌های شبیه‌سازی کیفی رودخانه.....
۶۸	۱-۴-۳- مدل Qual2Kw و Qual2E.....
۷۵	۲-۴-۳- مدل WASP6.....
۷۸	۱-۲-۴-۳- نگرشی بر سیستم مدل WASP.....
۷۹	۲-۲-۴-۳- اصول پایه مدل کیفی WASP.....
۸۰	۳-۲-۴-۳- فرآیند انتقال مدل.....
۸۱	۴-۲-۴-۳- شبکه مدل.....
۸۱	۳-۴-۳- مدل CE-QUAL-W2.....
۸۳	۴-۴-۳- مدل MIKE11.....
۸۴	۵-۴-۳- مدل HEC-RAS.....
۸۵	۶-۴-۳- مدل WEAP.....

## فصل چهارم: آشنایی با مدل QUAL2KW

۸۷	۱-۴- هندسه و هیدرولیک مدل.....
۸۹	۱-۱-۴- موازنه جریان.....
۹۱	۲-۱-۴- خصوصیات هیدرولیکی.....
۹۱	۱-۲-۱-۴- روش سرریز.....
۹۳	۲-۲-۱-۴- روش منحنی‌های سنج.....
۹۴	۳-۲-۱-۳- معادله مانینگ.....
۹۶	۳-۱-۴- زمان پیمایش.....
۹۶	۴-۱-۴- پراکندگی طولی.....
۹۷	۲-۴- مدل درجه حرارت.....
۹۹	۱-۲-۴- سطح شار حرارتی.....
۹۹	۳-۴- اجزای اصلی مدل.....
۹۹	۱-۳-۴- پارامترهای کیفی و موازنه جرم کلی.....
۱۰۳	۲-۳-۴- واکنش‌ها.....
۱۰۳	۱-۲-۳-۴- واکنش‌های بیوشیمیایی.....
۱۰۳	۲-۲-۳-۴- استوکیومتری مواد آلی.....
۱۰۵	۳-۲-۳-۴- اثر دما روی واکنش‌ها.....
۱۰۵	۴-۲-۳-۴- واکنش‌های پارامترهای کیفی.....

## فصل پنجم: نحوه کار با مدل QUAL2Kw

۱۱۷	۱-۵- نحوه کار با نرم‌افزار.....
-----	---------------------------------

۱۱۷.....	۲-۵ معرفى منوهای نرم افزار.....
۱۱۸.....	۱-۲-۵- QUAL2KW برگه کار.....
۱۲۳.....	۲-۲-۵- Headwater برگه کار.....
۱۲۵.....	۳-۲-۵- Reach برگه کار.....
۱۳۲.....	۴-۲-۵- Reach Rates برگه کار.....
۱۳۵.....	۵-۲-۵- Initial Conditions برگه کار.....
۱۳۵.....	۶-۲-۵- Meteorology and Shading برگه کار.....
۱۴۱.....	۷-۲-۵- Light and Heat برگه کار.....
۱۴۶.....	۸-۲-۵- Point Sources برگه کار.....
۱۴۷.....	۹-۲-۵- Diffuse Sources برگه کار.....
۱۴۸.....	۱۰-۲-۵- Rates برگه کار.....
۱۵۵.....	۱۰-۲-۵- WARNINGS برگه کار.....
۱۵۶.....	۱۱-۲-۵- Hydraulics Data برگه کار.....
۱۵۶.....	۱۲-۲-۵- Temperature Data برگه کار.....
۱۵۷.....	۱۳-۲-۵- WQ Data برگه کار.....
۱۵۷.....	۱۴-۲-۵- WQ Data Min برگه کار.....
۱۵۷.....	۱۵-۲-۵- WQ Data Max برگه کار.....
۱۵۷.....	۱۶-۲-۵- Diel Data برگه کار.....
۱۵۸.....	۳-۵ خروجی های مدل.....
۱۵۸.....	۱-۳-۵- Source Summary برگه کار.....
۱۵۹.....	۲-۳-۵- Hydraulics Summary برگه کار.....

۱۵۹.....	Temperature Output	برگه ۵-۳-۳
۱۶۰.....	Water Quality Output	برگه ۵-۳-۴
۱۶۰.....	Water Quality Minimum WQ Output	برگه ۵-۳-۵
۱۶۱.....	Water Quality Maximum WQ Output	برگه ۵-۳-۶
۱۶۱.....	Sediment Flux Output	برگه ۵-۳-۷
۱۶۲.....	Diel Water Column, Hyporheic Fluxes,	کاربرگ‌های ۵-۳-۸
۱۶۲.....	نمودارهای خروجی	۵-۴-۴
۱۶۲.....	Spatial Charts	۵-۴-۱
۱۶۳.....	Diel Charts	۵-۴-۲
۱۶۵.....	منابع	



# فصل اول: کیفیت آب

## ۱-۱- مقدمه

پیش نیاز توسعه پایدار منابع آب، در اختیار داشتن اطلاعات مطمئن در مورد کمیت و کیفیت و نیازهای کاربران مختلف است (دانش، ۱۳۸۰). بمنظور بررسی وضعیت منابع آب، همچنین تهیه طرح‌های توسعه بهره برداری و تخصیص آب به مصارف مختلف، لازم است غلظت و نوع املاح موجود در آب رودخانه‌ها بررسی شود (جداری عیوضی و همکاران، ۱۳۸۹). آب یکی از فراوانترین و پایدارترین ترکیباتی است که در طبیعت یافت شده و از آن به‌عنوان بزرگترین حلال شیمیایی یاد می‌شود (کارآموز و کراچیان، ۱۳۸۲). آب‌های سطحی شامل رودخانه‌های بزرگ و کوچک و دریاچه‌ها که ممکن است بوسیله سد جمع‌آوری شوند کیفیت متفاوتی دارد و ممکن است رنگ، مزه و بوی نامطلوبی داشته باشند. آب‌های سطحی در معرض آلودگی با فاضلاب شهرها، صنایع، سیلاب‌های کشاورزی و پس مانده‌های حیوانات و گیاهان قرار دارد. آب‌های زیرزمینی نیز در معرض آلودگی قرار دارد ولی اغلب صاف و بی‌رنگ بوده و مقدار مواد آلی میکروارگانیسم آن‌ها، کمتر از آب‌های سطحی است زیرا که آب ضمن عبور از لایه‌های مختلف خاک تا حدی تصفیه می‌شود. برعکس سختی آن شامل یون‌های کلسیم و منیزیم بیشتر خواهد بود (بیات ورشکی و همکاران، ۱۳۸۸).

## ۱-۲- خواص آب

### ۱-۲-۱- خواص فیزیکی

اغلب توجه چندانی به خواص فیزیکی آب نمی‌شود در حالی که نقش مهمی در مصرف آب دارد (سنگل<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸). درجه حرارت، ویسکوزیته، وزن مخصوص، رنگ و کدورت از خواص فیزیکی مهم آب می‌باشند (حاتمی و رضوی، ۱۳۸۸) که ذیلاً به اختصار توضیح داده می‌شوند.

### ۱-۲-۱-۱- وزن مخصوص

وزن مخصوص آب در حرارت‌های مختلف خیلی کم تغییر می‌کند مثلاً در صفر، چهار و بیست و دو درجه سانتیگراد به ترتیب ۰/۹۹۹، ۱ و ۰/۹۹۷ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. ولی همین تغییرات کم باعث مطبق شدن آب در مناطق عمیق زمین شده و مانع اختلاط آب لایه‌های مختلف می‌شود. این وضعیت در دریاچه‌ها و آب‌های عمیق باعث می‌گردد آب توسط باد به گردش در نیامده و در قسمت‌های عمیق‌تر اکسیژن محلول کم شده و کیفیت آب نزول پیدا کند (حلم سرشت و دل پیشه، ۱۳۷۶).

### ۱-۲-۱-۲-۱- رنگ

رنگ آب ممکن است به علت مواد معدنی و آلی محلول یا کلوئیدی باشد و بر مصارف آب اثر زیان‌آور داشته و از نظر زیبایی قابل قبول نیست. رنگ آب در بسیاری از فرآیندهای صنعتی ایجاد مزاحمت می‌کند. فساد گیاهان و نشت مواد آلی آن‌ها به محیط اغلب عامل رنگ آب می‌باشد. اشکال معدنی رنگ آب معمولاً به علت آهن و منگنز می‌باشد و آب عاری از اکسیژن که اغلب در آب‌های زیرزمینی دیده می‌شود باعث ایجاد یک محیط احیاء کننده می‌شود که حلالیت آهن و منگنز را خیلی افزایش می‌دهد.



لذا بعد از انتقال آب به سطح زمین بوسیله آب، اکسیژن در آن حل شده و در نتیجه رسوب آهن و منگنز ایجاد شده که به ترتیب باعث بوجود آمدن آب قرمز و آب آبی می‌شود. در تصفیه آب لازم است مقدار آهن و منگنز به مقدار قابل قبولی کاهش یابد (حاتمی و رضوی، ۱۳۸۸).

### ۱-۲-۱-۳- کدورت

معمولاً کدورت بوسیله اندازه ذرات معلق مشخص می‌شود که در حد کلوئید هستند و سرعت ته‌نشینی آن‌ها در حد فوت در ساعت یا روز می‌باشد. بار الکتریکی سطح ذرات معلق رفتار آن‌ها را کنترل می‌کند بطوری که فرایند چسبیدن آن‌ها به همدیگر که باعث ته نشین سریعتر آن‌ها می‌شود را به تعویق می‌اندازد. کدورت آب برای بسیاری از مصارف صنعتی نامناسب و از نظر زیبایی و سلامتی برای مصارف شهری غیر مطلوب است. کدورت آب مانع اثر گندزداها بر باکتری‌های بیماری‌زا می‌شوند (حلم سرشت و دل پیشه، ۱۳۷۶).

### ۱-۲-۱-۴- بو و طعم

قاعدتاً باید بین بو طعم آب رابطه نزدیکی وجود داشته باشد در حالی که عوامل غیر فراری مثل کلرید سدیم با اینکه اثری روی بوی آب ندارد باعث تغییر زیاد در طعم آب می‌شود. عوامل مختلفی نظیر جلبک‌ها، تجزیه گیاهان آبرزی آب انتهایی سیستم توزیع آب، ترکیبات ناشی از کلرزنی آب و ... در ایجاد طعم و بوی آب مؤثرند (حاتمی و رضوی، ۱۳۸۸).

## ۱-۲-۲- خواص شیمیایی

## ۱-۲-۲-۱ pH

پی‌اچ یا پی‌هاش (به انگلیسی: pH، مخفف potential of hydrogen) یک کمیت لگاریتمی که میزان اسیدی یا بازی بودن مواد را مشخص می‌کند. بیشتر آبزیان فقط در پی‌اچ بین ۵ تا ۹ زنده می‌مانند. یون هیدروژن همیشه در آب وجود دارد و چنانچه مقدار آن از حد معینی بالاتر برود بر کیفیت آب مؤثر خواهد بود. pH از صفر تا ۱۴ قابل تغییر است. pH پائین باعث خوردگی می‌شود و pH قلیایی باعث رسوب مقداری از مواد معدنی می‌شود. در تصفیه‌خانه‌ها pH را در حد خنثی ۷-۸ در نظر می‌گیرند.

بررسی غلظت یون هیدروژن در اواخر سده نوزدهم برای برخی از صاحبان صنایع شیمیایی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرد. به عنوان مثال غلظت یون هیدروژن در طول فرایند تخمیر و فعالیت مخمرها اثر می‌گذارد و لازم که غلظت یون هیدروژن دائماً مورد بررسی قرار گیرد. از طرفی چون غلظت یون هیدروژن معمولاً عددی بسیار کوچک است و کار کردن با آن دشوار است، نخستین بار سورن سن دانشمند دانمارکی در سال ۱۹۰۹ میلادی مقیاسی به نام pH را بنا کرد که بنا به تعریف، pH برابر منفی لگاریتم مبنای ۱۰ غلظت مولی یون هیدروژن فعال در محلول است.

در دمای اتاق pH آب خالص را ۷ در نظر می‌گیریم زیرا در این دما غلظت یون هیدرونیوم در آب خالص برابر  $10^{-7}$  است. در دمای اتاق گستره بازه pH از (۰-۱۴) است که عدد صفر اسیدی‌ترین و عدد ۱۴ بازی‌ترین محیط را مشخص می‌کند و محلولی با  $pH=7$  را خنثی در نظر می‌گیریم.

با بالا بردن دما گستره بازه pH کمتر می‌شود برای مثال در دمای  $K358$  این بازه به (۰-۱۳) تغییر می‌کند و محلولی با  $pH=6/5$  را خنثی فرض خواهیم کرد.

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (1-1)$$

$$pH = -\log_{10}[H^+] = -\log_{10}[10^{-7}] = 7 \quad (2-1)$$

شناساگرها در محیط‌های اسیدی یا بازی به رنگ‌های متفاوتی درمی آیند. از شناساگرها برای تعیین pH محلول‌ها استفاده می‌شود.

از جمله شناساگرهای معروف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(۱) گلبرگ گل سرخ

(۲) کاغذ تورنسل (لیموس) که از درخت لیموس به دست می‌آید.

(۳) محلول فنول فتالین (که اگر در یک محلول بازی ریخته شود به سرعت رنگ محلول را ارغوانی می‌کند)

(۴) محلول متیل اورانژ (متیل نارنجی)

(۵) محلول متیلن بلو

استفاده از شناساگرهای شیمیایی وقت گیر و همراه با اشتباه در تعیین دقیق pH است از این رو امروزه از pH سنج دیجیتالی استفاده می‌شود.

## ۱-۲-۲- سختی

آبی است که حاوی نمک‌های معدنی از قبیل ترکیبات کربنات‌های هیدروژنی، کلسیم، منیزیم و غیره است. سختی آب بر دو نوع است: دائمی و موقت.

سختی به طور عمده بر اساس دو فلز کلسیم و منیزیم سنجیده می‌شود. بطور کلی عوامل سختی کاتیون‌ها می‌باشند مانند آلومینیوم، آهن، منگنز و روی در سختی آب شرکت می‌کنند ولی کلسیم و منیزیم به مقدار زیاد وجود دارد و کاتیون‌های دیگر یا وجود ندارند یا به مقدار خیلی کم هستند. سختی کل (TH) مجموع مقدار کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg) می‌باشد. سختی دائم یا سختی غیرکربناتی (Noncarbonated Hardness) شامل سختی بدون نمک‌های بی‌کربناتی (مانند کلرور، سولفات و غیره) می‌باشد. سختی موقت یا سختی کربناتی (carbonated Hardness) شامل بی‌کربنات کلسیم و منیزیم است و از تفاوت سختی کل (TH) و سختی دائم به دست می‌آید.

سختی آب نتیجه وجود املاحی مانند کاتیون‌های منیزیم، کلسیم، آهن و ... می‌باشد که با آنیون‌هایی مثل بی‌کربنات، کربنات، سولفات، نیتрат و ... ترکیب شده‌اند و به‌صورت محلول در آب وجود دارند. سختی کل شامل سختی موقت یا سختی کربناته و سختی دائم یا سختی غیرکربناته می‌باشد. سختی موقت در اثر جوشاندن آب ته نشین می‌شود و جرم داخل ظرف را تشکیل می‌دهد. سختی دائم به علت وجود کلر و سولفات منیزیم و کلسیم می‌باشد که با جوشاندن ته نشین نمی‌شوند (دانش، ۱۳۸۰).

میزان شدت سختی آب، به بستر جریان آب در سطح و زیر زمین بستگی دارد. آب‌های نواحی آهکی سختی زیادتری تا آب‌های نواحی گرانیتی و یا شنی دارند. سختی آب در طول زمان نیز تغییرپذیر است. معمولاً سختی آب‌ها در فصل باران کم و در فصل خشکی زیاد می‌شود و بعضی مواقع هم در فصول پرباران و مرطوب مثل غارها ایجاد شود.

درجه سختی آب از روی مقدار کلسیم و منیزیم موجود در آن تعیین می‌شود. درجه‌بندی شدت میزان سختی آب، استاندارد مشخص ندارد و در نقاط مختلف دنیا متفاوت است. در آلمان اگر آبی ده میلی گرم  $\text{CaO}$  در یک لیتر داشته باشد می‌گویند درجه سختی آب یک است. در فرانسه اگر آبی در یک لیتر ده میلی گرم کربنات کلسیم یا همسنگ آن کربنات منیزیم داشته باشد می‌گویند که یک درجه سختی دارد. در انگلستان اگر آبی ده میلی گرم کربنات کلسیم و یا همسنگ آن کربنات منیزیم در ۰۰۷ لیتر داشته باشد یک درجه سختی دارد. برای تعیین سریع سختی آب در آلمان، از قرص‌های آماده شده برای این کار استفاده می‌شود. در یک لوله آزمایش مخصوص و مدرج آب مورد آزمایش را تا خط نشان لوله پر می‌نمایند و به‌وسیله معرفی که همراه بسته قرص‌هاست رنگ این آب را قرمز می‌کنند و آگاه آن‌قدر از این قرص‌ها در آن می‌اندازند تا رنگ آب سبز گردد. شماره قرص‌های ریخته شده در لوله آزمایش برابر درجه سختی آب می‌باشد. دقت این روش تا نیم درجه است.

سختی آب با اندازه گیری های صنعتی و آزمایشگاهی تعیین می شود. سختی آب، که هر دو یون های  $\text{Ca}^{+2}$  و  $\text{Mg}^{+2}$  را شامل می شود، بر حسب میلی گرم بر لیتر mg/L یا در یک میلیون ppm بیان می شود. بسیاری از شهرهای کویری ایران که خاک قلیایی (خاکی مملو از فلزات قلیایی خاکی) دارند، از جمله شهرهای قم، زاهدان، گرمسار و سمنان هستند که میزان سختی آب در آن ها بالاست، به طوری که در استان های سیستان و سمنان، سالانه چندین بار باید پوشال های کولر را به علت اینکه مقدار فراوانی املاح روی آن رسوب کرده است تعویض کرد.

### ۱-۲-۳- خواص بیولوژیکی

موجودات آبی بر کیفیت آب اثر قابل ملاحظه ای دارند و باعث بو و طعم آب شده و حتی باعث گرفتگی صافی های شنی و یا ایجاد توده های لزج روی دستگاه ها، تانک ها و دیواره مخازن می شوند. همین امر گاهی باعث بیماری می گردد. از گروهی از میکروب ها به نام گروه کلی فرم به عنوان نشانه آلودگی بیولوژیکی استفاده می شود و چنانچه در آب وجود داشته باشد. نشانه وجود میکروب های بیماری زا در آب می باشد (حلم سرشت و دل پیشه، ۱۳۷۶).

### ۱-۲-۴- خواص رادیولوژیکی

بعضی مواد رادیواکتیو با توجه به محلی که آب از آن عبور می کند به طور طبیعی در آب وارد می شوند، ولی کلاً در آب های سطحی وجود ندارد. ولی نزولات جوی رادیواکتیو ناشی از انفجارات اتمی شاید مهم ترین منبع آلودگی مصنوعی رادیواکتیو باشد (حاتمی و رضوی، ۱۳۸۸).

### ۱-۳- کیفیت آب

عبارتی است که برای توصیف ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی آب با توجه به تناسب آب با کاربری‌های سودمند آن استفاده می‌شود. مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب که در خصوص کیفیت آب مؤثر می‌باشد در جدول (۱-۱) اشاره شده است (دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی، ۱۳۸۸).

مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب در زیر به اختصار توضیح داده شده است.

#### ۱-۳-۱- درجه حرارت

درجه حرارت آب یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب محسوب می‌شود. افزایش و یا کاهش شدید حرارت آب اثرات نامطلوبی در اهداف استفاده از آن ایجاد می‌کند. دمای آب در مصارف کشاورزی می‌تواند عامل تأثیرگذاری باشد. افزایش دمای آب باعث کاهش لزجت آب و به نوبه خود جذب بهتر توسط گیاه و یا افزایش حلالیت بعضی از عناصر در آب می‌شود (تغییر در شوری آب آبیاری) که در نتیجه جذب آب توسط گیاه سخت‌تر می‌شود، یا سبب رشد انفجاری جلبک‌ها و گیاهان آبی به‌خصوص در فصل تابستان می‌گردد که به نوبه خود تأثیر بسزایی در مصارف کشاورزی دارند. جلبک‌ها ضمن مصرف مواد مغذی موجود در آب آبیاری یکی از عوامل مهم در گرفتگی سیستم‌های آبیاری تحت فشار می‌باشند (دی اونگی، ۱۳۸۱).

#### ۱-۳-۲- اسیدیته

اسیدیته (pH) آب‌هایی که در آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد معمولاً بین ۶/۵ تا ۸/۵ بوده و به ندرت از این بابت مشکلی را ایجاد می‌کند. اما از آنجایی که pH در بسیاری از فرآیندهای شیمیایی آب

یا خاک نقش فعالی دارد، یکی از مشخصه‌های مهمی است که باید در آزمایشگاه آن را تعیین کرد. pH عاملی است که مشخص می‌کند آیا املاح آهن و کربنات کلسیم رسوب می‌کند یا خیر.

جدول (۱-۱) طبقه‌بندی پارامترهای کیفیت آب.

عوامل زیستی	عوامل فیزیکی – شیمیایی
- کل کلی‌فرم‌ها	- درجه حرارت، رنگ، بو، کدورت و ذرات معلق
- کلی‌فرم‌های مدفوعی	- قابلیت هدایت الکتریکی
- اشرشیاکلی	- رادیو اکتیویته
- انتروکوکسی	- pH
- کلروفیل	- مواد محلول (کاتیون‌ها و آنیون‌ها)
- پریفیتون‌ها	- سختی
- زئو پلانکتون‌ها	- کلر باقیمانده
- فیتو پلانکتون‌ها	- فلزات سنگین: آرسنیک، کادمیوم، کرم، مس، نیکل، ...
- تخم انگل	- مواد آلی خطی و حلقوی
	- ترکیبات نیتروژن
	- ترکیبات فسفر
	- اکسیژن محلول
	- (BOD) خواست اکسیژن بیوشیمیایی و (COD) خواست اکسیژن شیمیایی

### ۱-۳-۳-مواد معلق

کدر بودن یا مقدار ذراتی که به صورت معلق در آب وجود دارد ممکن است مانع از مصرف آب برای کشاورزی گردد. ذرات جامد موجود در آب می تواند در سیستم توزیع آب به خصوص اگر سیستم بارانی یا قطره ای باشد، تولید اشکال نماید. همچنین رسوب این ذرات در سطح خاک مانع از نفوذ آب و هوا به داخل خاک می شود. با این وجود مشکل مواد معلق تنها رسوب در کانال های آبیاری و انهار است و از نظر پخش آب در روی زمین مانع زیادی ایجاد نمی کند.

### ۱-۳-۴-شوری

شوری مشکلی است که کشاورزان در مناطق خشک تحت آبیاری با آن مواجه هستند. این بدان علت است که همه آب های آبیاری شامل نمک های محلول می باشند، که این آب ها از چشمه ها انتقال یافته، یا از انهار و جوی ها منحرف شده و یا این که از چاه ها پمپاژ می گردند. در نواحی با کشاورزی فشرده کوددهی یک عامل اصلی شور شدن لایه آبدار (اکیفر) می باشد (اوکانر<sup>۱</sup> و تمان<sup>۲</sup>، ۱۹۷۲).

### ۱-۳-۵-مقدار باقی مانده خشک (TDS)<sup>۳</sup>

اگر یک نمونه از کاغذ صافی عبور کرده و سپس آب زلال به دست آمده با حرارت تبخیر گردد، آنچه در ته ظرف باقی می ماند نمک هایی است که در آب محلول بوده اند که به نام باقی مانده خشک نامیده می شود و با علامت TDS نشان داده می شود. باقی مانده خشک بر حسب میلی گرم بر لیتر که به آن قسمت در میلیون (ppm) نیز گفته می شود، توصیف می گردد. TDS به عنوان یکی از معیارهای کیفی

1 Oconer

2 Thomann

3 Total Dissolved Solids



آب در طبقه‌بندی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمرکز نمک در بیشتر آب‌های آبیاری بر اساس کل جامدات محلول (TDS) از ۲۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد (آیزر<sup>۱</sup> و وسکات<sup>۲</sup>، ۱۹۷۶).

### ۱-۳-۶- ترکیب و تجمع نمک‌های محلول

ترکیب نمک‌ها در آب بر اساس منبع و خصوصیات ترکیبات شیمیایی متشکله متفاوت می‌باشد. نمک‌ها شامل موادی مانند گچ (سولفات کلسیم  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )، نمک طعام (کلرید سدیم  $\text{NaCl}$ ) و بی‌کربنات سدیم ( $\text{NaHCO}_3$ ) بوده و در مواقعی که در آب حل شدند، به یون‌ها تجزیه می‌شوند. به‌عنوان نمونه: کلرید سدیم به دو یون سدیم و کلر تبدیل می‌شود. بنابراین معمولاً بیش از نمک‌ها به یون‌ها مربوط است. یون‌های مهم در آب آبیاری و خصوصیاتشان در جدول (۱-۲) آمده است (آشتون<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۵).

جدول (۱-۲) یون‌های مهم موجود در آب آبیاری.

یون‌ها	وزن اکی والان	علامت شیمیایی
آنیون‌ها (یون‌های اسیدی)		
کلراید	۳۵/۵	$\text{Cl}^-$
سولفات	۴۸	$\text{SO}_4^{2-}$
کربنات	۳۰	$\text{CO}_3^{2-}$
بی‌کربنات	۶۱	$\text{HCO}_3^-$
نیتрат	۶۲	$\text{NO}_3^-$
کاتیون‌ها (یون‌های اساسی)		
سدیم	۲۳	$\text{Na}^+$
پتاسیم	۳۹/۱	$\text{K}^+$
کلسیم	۲۰	$\text{Ca}^{2+}$
منیزیم	۱۲/۲	$\text{Mg}^{2+}$

1 Ayres

2 Westcot

3 Ashton

همه یون‌ها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان شده‌اند. واحد اخیر ترجیح داده می‌شود، زیرا معیار کیفیت آب بر اساس میلی‌اکی‌والان بر لیتر محاسبه می‌شود. فرمول تبدیل این دو واحد به یکدیگر به شکل زیر است:

$$meq / lit = \frac{(mg / lit)}{v} \quad (3-1)$$

v: وزن اکی‌والانی.

### ۱-۳-۷-قلیائیت<sup>۱</sup>

قلیائیت ظرفیت کمی واکنش آب با یک اسید قوی و یا به عبارتی توان آب برای پذیرفتن پروتون‌ها می‌باشد. عموماً یون‌های هیدروکسید (OH)، کربنات (CO<sub>3</sub>)، بی‌کربنات (HCO<sub>3</sub>) و نمک اسیدهای ضعیف از عوامل مهم ایجاد کننده قلیائیت آب می‌باشند. آزمایش قلیائیت نتایجی را که در محاسبه مقدار مواد شیمیایی جهت عمل انعقاد و سبک نمودن آب لازم می‌باشد ارائه می‌دهد.

قلیائیت را با روش تیتراسیون و با استفاده از یک اسید قوی مانند اسید آلریدریک، یا اسید سولفوریک اندازه‌گیری می‌نماییم. این روش برای تیتراسیون آب‌هایی که حاوی هیدروکسید، کربنات، یا بی‌کربنات‌های قلیایی هستند مناسب می‌باشد. آب مورد آزمایش بایستی عاری از رنگ و کدورت باشد.

### ۱-۳-۷-۱- تعیین قلیائیت آب

ظرفیت کمی آب، برای خنثی نمودن یک اسید قوی تا PH معینی را قلیائیت آب می‌گویند. قلیائیت آب به عنوان یکی از ویژگی‌های عمومی آب در نظر گرفته می‌شود. قلیائیت آب‌های سطحی معمولاً تابعی از مقادیر هیدروکسید کربنات و بی‌کربنات موجود در آب می‌باشد. در تعیین قلیائیت معمولاً حضور بورات‌ها، فسفات‌ها و سیلیکات‌ها را باید در نظر گرفت.

### الف) چگونگی ایجاد قلیائیت در آب

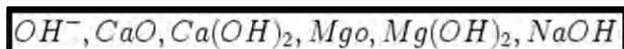
اسیدیته و قلیائیت آب، هر دو به مقدار  $CO_2$  محلول در آب بستگی دارند.  $CO_2$  در آب حل شده و اسید کربنیک تولید می‌کند. اسید حاصله در داخل آب، یونیزه شده و پروتون و یون بی‌کربنات ایجاد می‌کند. پروتون با کربنات کلسیم ترکیب شده و با تولید بی‌کربنات باعث تبدیل کربنات‌ها به بی‌کربنات می‌شود و در نتیجه حلالیت کربنات کلسیم در آب افزایش می‌یابد (چالکش امیری، ۱۳۷۶).

### ب) شکل‌های گوناگون $CO_2$ محلول در آب در PH های مختلف

$CO_2$  محلول در آب در pH کمتر از ۴ به‌صورت اسید کربنیک می‌باشد. با افزایش pH، اسید کربنیک به بی‌کربنات تجزیه می‌شود. در  $pH=6.3$  مقدار اسید کربنیک و بی‌کربنات در آب با هم برابر می‌باشد. در  $pH=8.3$ ، فقط بی‌کربنات وجود دارد و با افزایش مجدد pH مقدار کربنات در محلول بیشتر می‌شود، بطوری که در  $pH=10.3$  مقدار کربنات و بی‌کربنات باهم برابرند. در  $pH<11.3$  فقط کربنات در محیط وجود دارد.

### ج) قلیائیت کل آب

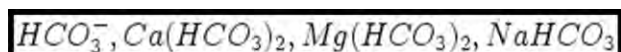
قلیائیت کل آب شامل رادیکال‌های هیدروکسید، کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها و در برخی مواقع شامل فسفات‌ها، بورات‌ها و سیلیکات‌ها می‌باشد. قلیائیت هیدروکسید شامل:



می‌باشد و مهم‌ترین کربنات‌های آب عبارتند از:



بی‌کربنات‌های مهمی که معمولاً در آب وجود دارند عبارتند از:



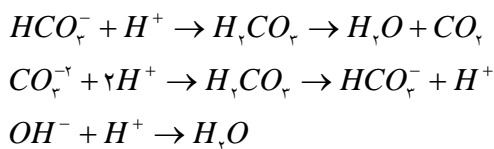
شناساگرهای مورد استفاده در تعیین قلیائیت آب عبارتند از فنل فتالین و متیل اورانژ. تیتراسیون معمولاً با یک اسید قوی استاندارد نظیر اسید سولفوریک و اسید کلریدریک انجام می‌شود. در تیتراسیون با فنل فتالین، اگر رنگ شناساگر که در داخل محلول نمونه به علت محیط قلیائی ارغوانی باشد و در  $\text{pH} = 8,3$  بی‌رنگ شود، مقدار اسید مصرفی خنثی‌سازی قلیائیت ناشی از هیدروکسید و کربنات را نشان می‌دهد.

### (د) قلیائیت ساده یا قلیائیت نسبت به فنل فتالین

این قلیائیت شامل آنیون‌هایی است که در  $\text{pH}$  بالاتر از  $8,3$  به‌وسیله یک اسید استاندارد و در حضور معرف فتالین تیتراژ می‌شود.

### (ر) قلیائیت کل یا قلیائیت نسبت به متیل اورانژ

این قلیائیت کل آنیون‌هایی را که در  $\text{pH}$  بالاتر از  $4,3$  توسط یک اسید استاندارد و در حضور معرف متیل اورانژ تیتراژ می‌شوند، شامل می‌شود در محدوده قلیائیت کل که شامل قلیائیت ساده نیز است واکنش‌های زیر رخ می‌دهد:



اگر به نمونه چند قطره متیل اورانژ اضافه شود، رنگ محیط نارنجی زرد خواهد شد که با تیتراسیون توسط اسید در  $\text{pH} = 4,5$  رنگ محلول سرخ خواهد شد. این مقدار اسید در واقع برای خنثی‌سازی بی‌کربنات‌ها به‌کار رفته است. مجموع قلیائیت‌های فنل فتالین و متیل اورانژ را قلیائیت کل می‌نامند و با علامت اختصاری T نشان می‌دهند.

$$T = P + M$$

$$(4-1)$$

در رابطه با  $M$ ، بیانگر اسید مصرفی برای خنثی کردن بی کربنات ها،  $P$ ، اسید مصرفی برای خنثی کردن هیدروکسید و کربنات و  $T$ ، قلیائیت کل است.

### (م) حالت های مختلف قلیائیت آب

(۱) اگر  $P=T$  پس  $M=0$  یعنی در محیط کربنات و بی کربنات وجود ندارد و قلیائیت مربوط به هیدروکسیدهاست.

(۲) اگر  $P > \frac{T}{4}$  قلیائیت مربوط به هیدروکسیدها و کربنات ها می باشد.

(۳) اگر  $P = M$  پس  $P = \frac{T}{2}$  قلیائیت مربوط به کربنات ها می باشد.

(۴) اگر  $P < \frac{T}{2}$  قلیائیت مربوط به کربنات ها و بی کربنات ها می باشد.

(۵) اگر  $P = 0$  قلیائیت مربوط به بی کربنات ها می شود. در این صورت  $PH > ۸,۳$  بوده و  $T = M$  خواهد بود.

در محیط بازی که یون های  $OH$  وجود دارند، بی کربنات ها وجود ندارند و عموماً به کربنات تبدیل شده اند. از آن رو در صورت موجود بودن قلیائیت هیدروکسید، مقدار قلیائیت بی کربنات عملاً صفر خواهد بود. البته عکس این مطلب هم صادق است.

قلیائیت آب های طبیعی به سبب وجود هیدروکسیدها، کربنات ها و بی کربنات ها است. البته یون های دیگری مانند فسفات ها، سیلیکات ها بورات ها نیز می تواند موجب قلیائیت شوند ولی به دلیل غلظت بسیار کم آن ها در مقایسه با یون های سری اول می تواند از قلیائیت ناشی از آن ها صرف نظر کرد. قلیائیت آب با دو روش اندازه گیری می شود.

## ۱-۳-۷-آنیون‌ها

## ۱-۳-۷-۱-کلر

در صورتی که غلظت کلر (Cl) در آب زیاد باشد به لحاظ رشد گیاه سمی خواهد بود. تقریباً تمام ترکیبات کلر در آب محلولند، لذا در شوری کل خاک دخالت می‌کنند.

## ۱-۳-۷-۲-سولفات

در تمام آب‌های طبیعی به مقدار فراوان وجود دارد. سولفات‌های سدیم، منیزیم و پتاسیم به آسانی در آب محلولند، اما سولفات کلسیم یا گچ قابلیت انحلال محدودی دارد. سولفات هیچ‌گونه نقش خاصی در خاک نداشته و تنها در بالا بردن شوری کل آن مؤثر است.

## ۱-۳-۷-۳-بی‌کربنات

بی‌کربنات ( $\text{HCO}_3$ ) مهم‌ترین آنیون موجود در آب‌های طبیعی است. قلیایت آب‌های بی‌کربناته غالباً کمتر از آب‌های کربناته است. بی‌کربنات سدیم و پتاسیم به‌صورت جامد موجودند (مانند: جوش شیرین)، اما بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم تنها به‌صورت محلول وجود دارند. با کاهش رطوبت خاک در اثر تبخیر و تعرق، بی‌کربنات موجود در محلول خاک تجزیه شده و با خارج شدن دی‌اکسیدکربن از آن مطابق فرمول زیر:



آبیاری با آبی که حاوی بی‌کربنات است موجب می‌گردد خاک‌هایی که به لحاظ کلسیمی غنی هستند به تدریج به خاک سدیمی تبدیل شوند. تجزیه بی‌کربنات و تبدیل آن به کربنات‌های غیرمحلول در اثر تغییرات دما و فشار صورت می‌گیرد، به طوری که در هنگام خروج آب از خروجی‌ها سیستم این عمل را

انجام و رسوب بی کربنات ممکن است موجب بسته شدن خروجی‌ها گردد. عامل کنترل کننده در این مورد اسیدیته آب آبیاری است. در طی فرآیند خشک شدن خاک، یون‌های بی کربنات باعث می‌شوند کلسیم و منیزیم از خاک جدا شود (افیونی و همکاران، ۱۳۷۶).

### ۱-۳-۷-۴- کربنات

آب‌های کربناته ( $\text{CO}_3$ ) غالباً بسیار قلیایی می‌باشند، زیرا کلسیم و منیزیم نسبتاً غیرمحلول هستند. منظور از آب‌های کربناته آب‌هایی هستند که محتوی کربنات سدیم و تا اندازه‌ای کربنات پتاسیم می‌باشند.

### ۱-۳-۷-۵- نیتрат

کمتر در آب‌های طبیعی به مقدار فراوان یافت می‌شود حتی مقدار کمی از آن در تغذیه گیاه مؤثر خواهد بود. وجود نیترات ( $\text{NO}_3$ ) در آب می‌تواند نشان دهنده آلودگی آب با فاضلاب خانگی و یا شستشوی کودهای ازته باشد. این آنیون نقش چندانی در خصوصیات فیزیکی خاک نداشته و تنها باعث افزایش شوری آب آبیاری و در نتیجه کل خاک می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۸).

### ۱-۳-۸- کاتیون‌ها

#### ۱-۳-۸-۱- سدیم

مقدار سدیم در خاک و آب آبیاری باعث شوری آب و خاک شده که افزایش آن به صورت شوری محدودیت‌هایی را به دنبال دارد. از آنجایی که یون سدیم قابلیت تعویض با یون کلسیم و منیزیم خاک را دارد، خاکی که دارای سدیم زیاد باشد معمولاً دارای ثبات و استحکام بافت خاک نیست. این خاک‌ها حالت

دیسپرسیون شدید داشته و نفوذپذیری آب در خاک و یا به عبارتی هدایت هیدرولیکی آب در این خاک‌ها کاهش می‌یابد. افزایش یون سدیم باعث افزایش قلیائیت خاک و آب می‌شود. در طبقه‌بندی آب از نظر نوع سدیم قابل جذب (SAR) شوری یا هدایت هیدرولیکی آب اهمیت زیادی دارد. به عبارتی با افزایش شوری حد مجاز و مطلوب SAR در آب کاهش می‌یابد. نمک‌های سدیم (Na) بسیار محلول بوده و لذا در تمام آب‌های طبیعی به مقدار کم یا زیاد وجود دارد. خاک‌های دارای سدیم، به خصوص اگر حاوی مقدار زیادی رس باشند، دارای خصوصیات فیزیکی نامطلوب بوده و گیاه در آن به خوبی رشد نمی‌کند. این خاک‌ها در هنگام مرطوب شدن حالت چسبی پیدا کرده و آب قادر به نفوذ در آن‌ها نیست و در حالت خشک شدن بسیار سفت و محکم می‌شوند و به سختی می‌شود آن را شخم زد. استفاده از آبی که محتوی مقدار زیادی سدیم است، سبب تخریب خواص فیزیکی و ساختمان خاک شده و آن را تبدیل به خاک سدیمی غیر حاصلخیز می‌نماید (افیونی و همکاران، ۱۳۷۶).

### ۱-۳-۸-۲- پتاسیم

پتاسیم با نماد شیمیایی K (از واژه kalium در لاتین نو) یک فلز قلیایی است و عدد اتمی آن ۱۹ می‌باشد. عنصر پتاسیم نرم و به رنگ نقره‌ای-سفید است در هوا به آسانی اکسید می‌شود و با آب به شدت واکنش می‌دهد و تولید گرما می‌کند و در نتیجه باعث شعله ور شدن هیدروژن و واکنش آن می‌گردد. پتاسیم (K) در آب‌های طبیعی بسیار کم بوده و اکثر آزمایشگاه‌ها آن را به صورت جداگانه اندازه‌گیری نمی‌کنند. این عنصر حدوداً ۰.۲٪ از وزن پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و از نظر فراوانی هفتمین عنصر در آن می‌باشد. به دست آوردن پتاسیم از کانی‌ها به دلیل خاصیت نامحلولی و ماندگاری آن بسیار دشوار است. با این وجود، مواد معدنی دیگر مانند Carnallite، Langbeinite، Polyhalite و Sylvite در بستر دریاها یا دریاچه‌های قدیمی یافت می‌شوند. مواد معدنی بسیار زیاد ته‌نشین شده در این برکه‌ها عمل استخراج پتاسیم و نمک آن را اقتصادی تر می‌کند. منابع مهم پتاسیم و پتاس منابعی در



کالیفرنیا، آلمان، نیومکزیکو، یوتا و دیگر نقاط زمین می‌باشد. در عمق ۳۰۰۰ فوتی زیر بستر Saskatchewan، مقادیر عظیمی از پتاس وجود دارد که می‌تواند به عنوان یک منبع مهم برای این عنصر در آینده در نظر گرفته شود. اقیانوس‌ها نیز منابع دیگری برای پتاسیم می‌باشند، اما در مقایسه با سدیم مقدار پتاسیم موجود در یک حجم معین از آب دریا بسیار کم است. پتاسیم در صورت عمل الکترولیز می‌تواند به اجزای هیدروکسیدش تجزیه شود. از روش‌های حرارتی نیز برای تولید پتاسیم استفاده می‌شود. پتاسیم هرگز به صورت رها شده در طبیعت یافت نمی‌شود. با این وجود، یون‌های  $K^+$  در ارگانسیم‌های زنده برای فیزیولوژی سلول‌های تحریکی بسیار مهم هستند.

### ۱-۳-۸-۳- کلسیم

کلسیم ( $Ca$ ) تقریباً در تمام آب‌های طبیعی وجود داشته و کلسیم در آب باعث افزایش نفوذ آب در خاک می‌شود. به طور کلی هر چه مقدار کلسیم محلول آب بیشتر باشد آن آب مطلوب‌تر خواهد بود. به همین دلیل کلسیم به صورت گچ<sup>۱</sup> به خاک داده می‌شود تا خصوصیات فیزیکی آن را بهبود ببخشد (غلامی، ۱۳۷۹).

### ۱-۳-۸-۴- منیزیم

منیزیم ( $Mg$ ) به مقدار قابل اندازه‌گیری در تمام آب‌ها وجود داشته و رفتار آن در آب یا خاک مشابه کلسیم است.

### ۱-۳-۹- هدایت الکتریکی

هدایت الکتریکی ( $EC$ ) آب نشان دهنده میزان املاح هادی موجود در آب می‌باشد. واحد هدایت الکتریکی که آن را با  $EC$  نیز نمایش می‌دهند  $1/ohm$  یا  $mho$  می‌باشد و واحد هدایت الکتریکی ویژه

آب  $\mu\text{mho/cm}$  (میکرو موس بر سانتیمتر) که در سیستم SI با  $\mu\text{Siemens/cm}$  (میکرو زیمنس بر سانتیمتر) نمایش داده می‌شود (حمادی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد، لذا اندازه‌گیری آن به‌منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است (آتکوانا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). قابلیت انتقال جریان الکتریسیته نشان‌گر میزان هدایت الکتریکی است. هدایت یک محلول را به‌صورت عکس مقاومت تعریف می‌کنند و واحد آن  $\text{mho}$  است. هدایت ویژه  $k$  عبارت است از هدایت الکتریکی EC اندازه‌گیری شده در یک سانتی‌متر مکعب از محلولی که بین دو الکترود با سطح یک سانتی‌متر مربع و فاصله یک سانتی‌متر از یکدیگر قرار دارد و در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. مقاومت الکتریکی یک محلول یکنواخت به‌صورت فرمول زیر بیان می‌شود.

$$\rho = \rho \frac{L}{S} \quad (۵-۱)$$

که در آن  $L$  فاصله دو الکترود برحسب سانتی‌متر و  $S$  سطح الکترود برحسب سانتی‌متر مربع و  $\rho$  مقاومت مخصوص محلول برحسب اهم سانتی‌متر است.

### ۱-۹-۳-۱- ثابت سلول، K

ثابت سلول کمیتی عکس متر است که با رابطه  $K=1/A$  تعریف می‌شود. که در آن  $l$  طول بر حسب متر و  $A$  سطح مقطع عرضی یک رسانای الکتریکی بر حسب متر مربع است. ثابت سلول ناشی از شکل هندسی آن بوده و به‌صورت تجربی تعیین می‌گردد.

### ۱-۲-۹-۳-۱- ضریب دمایی هدایت الکتریکی

$\alpha$  ضریب دمایی هدایت الکتریکی،  $\alpha_{(T, 25)}$  با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha_{(\theta, 25)} = \gamma_{25} [(\gamma_{\theta} - \gamma_{25}) / (\theta - 25)] \times 100 \quad (۶-۱)$$

در معادله بالا ۲۵ و  $\theta$  بر حسب درجه سلسیوس بوده و به ترتیب دماهایی هستند که در آن دماها هدایت الکتریکی  $\gamma_{25}$  و  $\gamma_{\theta}$  اندازه گیری می شوند.

### ۱-۳-۹-۳- فاکتورهای تصحیح دمایی

فاکتورهایی هستند که برای تصحیح وابستگی دمایی هدایت الکتریکی بکار می روند برای انجام مقایسه، ضروری است اندازه گیری ها با دمای مرجع انتخاب شده، معمولاً ۲۵ درجه سلسیوس، تصحیح شوند. حتی در صورتی که دمای نمونه فقط به مقدار جزئی با ۲۵ درجه سلسیوس اختلاف داشته باشد. تبدیل هدایت الکتریکی به ۲۵ درجه سلسیوس،  $\gamma_{25}$ ، با استفاده از معادله زیر صورت می گیرد:

$$\gamma = \gamma_{\theta} / 1 + [(\alpha / 100) (\theta - 25)] \quad (۷-۱)$$

### ۱-۳-۹-۴- ارتباط EC و TDS

با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با TDS و نمک های محلول در آب دارد، لذا اندازه گیری آن به منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است.

$$TDS (mg / lit) = EC (ds / m) \times 640 \quad (۸-۱)$$

یکی از راه های ساده تعیین غلظت املاح محلول در آب، اندازه گیری هدایت الکتریکی است. آب مقطر یا آب خالص تقریباً هادی جریان الکتریسیته نیست ولی اگر در آب نمک های محلول وجود داشت باشد آب را هادی جریان الکتریسیته می کند، هر چه مقدار املاح حل شده در آب بیشتر باشد قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش می یابد، به عبارت دیگر مقاومت الکتریکی آن کاهش می یابد. با توجه به نقش درجه حرارت در میزان هدایت الکتریکی آب، اندازه گیری ها نسبت به درجه حرارت استاندارد که همان ۲۵ درجه سانتیگراد است بایستی اصلاح گردد (افیونی، ۱۳۷۶).

واحدهای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در سیستم متریک عبارتند از:

- موس بر سانتی‌متر که بصورت  $EC$  نشان داده می‌شود.
- میلی موس بر سانتی‌متر که بصورت  $EC \times 10^{-3}$  نشان داده می‌شود.
- میکرو موس بر سانتی‌متر که بصورت  $EC \times 10^{-6}$  نشان داده می‌شود.

### ۱-۳-۱۰- آهن

آهن (Fe) ممکن است به صورت محلول به شکل فرو<sup>۱</sup> در آب وجود داشته باشد که حتی به غلظت کم (حدود ۰/۱ میلی گرم در لیتر) باعث گرفتگی قطره چکان‌ها می‌گردد. آب‌هایی که میزان آهن آن‌ها ۰/۱ میلی گرم در لیتر یا کمتر می‌باشد آب‌های خوب به شمار می‌آیند. مقادیر ۰/۱ تا ۱/۵ میلی گرم در لیتر متوسط و مقادیر بیشتر از ۱/۵ میلی گرم در لیتر آب آن‌ها از نظر گرفتگی خوب نخواهد بود.

### ۱-۳-۱۱- منگنز

در آب‌های زیر زمینی مقدار منگنز (Mn) به مراتب کمتر از آهن می‌باشد، اما آهن ممکن است در اثر واکنش‌های شیمیایی و یا فعالیت برخی از باکتری‌ها رسوب نماید و عامل گرفتگی گردد. رنگ رسوبات منگنز قهوه‌ای تیره (در صورت همراه بودن با ترکیبات آهن) تا سیاه (اکسید منگنز) متغیر است. در هنگام کلرزنی به آب‌های محتوی منگنز باید به این نکته توجه داشت که بین کلرزنی و ایجاد رسوب از نظر زمانی، مدتی وقت لازم خواهد بود و نباید انتظار داشت که بلافاصله پس از کلرزنی رسوبات منگنز در آب تشکیل شود (بنهام<sup>۲</sup> و روس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲).

1. Ferrous

2 Benham

3 . Ross

### ۱-۳-۱۲- عوامل زیستی

ویژگی آب‌های جاری در مقایسه با دریاچه‌ها، وسعت بیشتر ناحیه ساحلی و توقف بسیار کوتاه آب در بستر آن‌ها می‌باشد. این ویژگی‌ها از یک سو باعث بیشتر شدن موازنه موادی آن‌ها شده و از سوی دیگر به‌طور مستقیم بر ساکنان آب‌های جاری مؤثر می‌باشد.

آب‌های سطحی، محل مناسبی برای انواع ارگانیسم‌های شناور و بسیار کوچکی است که پلانکتون نامیده می‌شوند. نمایندگان انواع گروه‌های جانوری و گیاهی در آب سطحی دیده می‌شوند. گروه‌های جانوری عبارتند از: آنلیدها (کرمهای حلقوی)، سخت پوستان، نرم‌تنان، لاروهای مختلف، تخم‌ها و غیره (پلانکتون‌های جانوری). گروه‌های گیاهی، عبارتند از: جلبک‌ها، دیاتومه‌ها و غیره (پلانکتون‌های گیاهی). اگر بعضی شرایط محیطی (به‌ویژه دما) در یک‌جا جمع شود، پلانکتون‌های زیاد تولید می‌شوند که یک یا چند گونه آن‌ها غالبند و با تکثیر ناگهانی، مشکلات جدی و زیادی در تأسیسات تصفیه به‌وجود می‌آورند. دیاتومه‌ها، به‌ویژه به‌سرعت یک غشای ژلاتینی روی شن صافی ایجاد و عملاً عبور آب را متوقف می‌کنند. با وسایل مکانیکی می‌توان تا حدی قسمت عمده‌ای از پلانکتون‌های گیاهی را حذف کرد. برای این کار، می‌توان از توده صاف کننده که ذرات تشکیل دهنده آن، درشت‌تر از ماسه است که در صافی‌ها به کار می‌رود (اولین صافی در تأسیسات تصفیه آهسته) و یا از آلکهای بسیاری ریزی کمک گرفت. این وسایل، برای پلانکتون‌های جانوری کمتر مؤثرند.

وسایل شیمیایی که با توجه به ترکیب شیمیایی آب انتخاب می‌شوند، نتیجه بهتری ارائه می‌دهند. به این ترتیب است که پیش کلرزنی مربوط به تصفیه ذرات ریز، موجب از بین بردن کامل پلانکتون می‌شود و نابودی جلبک‌هایی که در حوضچه‌های روباز ظاهر می‌شوند، با استفاده از مس سولفات که به منعقدکننده افزوده می‌شود امکان‌پذیر است. در هر حال، دخالت آزمایشگاه برای بررسی این مساله ضروری است.

ناحیه پلاژیک رودخانه‌های بزرگ یا بخش آزاد آب‌های جاری همواره مجموعه زیادی از پلانکتون‌ها را با خود حمل می‌کند، لیکن این پلانکتون‌ها عمدتاً شامل گونه‌هایی است که خواستگاه اصلی یا محل تولید آن‌ها نواحی دارای آب راکد رودخانه و یا آبگیرهای مجاور رودخانه می‌باشد، که پس از تولید در آنجا به رودخانه راه پیدا می‌کنند، در رودخانه‌ها به‌طور کلی یک ناحیه مشخص تولیدکننده پلانکتون وجود ندارد. در واقع یک پلانکتون رودخانه‌ای (Potamo plankton) به‌خصوص وجود ندارد. این پلانکتون‌های راه یافته به رودخانه تنها در صورتی می‌توانند بدون خسارت دیدن و متلاشی شدن حمل شوند که عمق آب در مقایسه با سرعت جریان آن بسیار زیاد باشد، این حالت هنگامی ایجاد می‌شود که جریان آب آرام و بدون تلاطم یا بسیار ضعیف باشد، اگر آب حالت سقوطی داشته و یا متلاطم و دارای جریان سریع باشد پلانکتون‌ها متلاشی خواهند شد. برای مثال در رودخانه‌های کم عمق کوهستانی که از دریاچه‌ها سرچشمه می‌گیرند، پلانکتون‌ها تولید شده و در دریاچه بلافاصله پس از وارد شدن در اثر جریان شدید و متلاطم آب رودخانه‌ها متلاشی شده و در بین گیاهان آبی و جلبک‌های جایگاه دار باقی مانده و یا به‌وسیله موجودات فیلتر کننده ساکن در بستر آب‌های جاری دریافت می‌شوند. تولید پلانکتون در رودخانه‌ها تنها هنگامی صورت می‌گیرد که زمان حمل شدن آن‌ها بزرگتر از زمان تولیدمثل آن‌ها باشد. این حالت برای رودخانه‌های بزرگ با جریان آرام امکان پذیر است. به‌طور کلی رودخانه‌ها در جهت پائین دست با دور شدن از سرچشمه آنها، براساس وجود یا عدم وجود پلانکتون‌ها به بخش‌های مختلف زیر قابل تقسیم هستند.

### (۱) ناحیه بدون پلانکتون (Aplanktic)

شامل بخش‌هایی از رودخانه‌ها است که در ارتفاعات زیاد قرار داشتند دارای شیب تند و جریان سریع و بستر سنگلاخی می‌باشند، این بخش‌ها دارای آب‌های سرد بوده و گاهی از برف و یخ نیز پوشیده می‌باشند. در این نواحی اگر پلانکتون‌های تولید شده در آب‌های راکد نیز وارد بشوند به سرعت متلاشی شده و از بین می‌روند.

**(۲) ناحیه حمل پلانکتون ها (Tycho planktic)**

این ناحیه تنها قادر به حمل پلانکتون ها می باشد، در این ناحیه چنان چه پلانکتون های تولید شده در آبگیرهای مجاور رودخانه ها و یا دریاچه ها و غیره راه یابند بدون خسارت دیدن حمل می شوند ( در این ناحیه تولید پلانکتونی نخواهیم داشت).

**(۳) ناحیه تولید پلانکتونی (Euplanktic)**

در این ناحیه، رودخانه به دلیل رسیدن به نواحی پست و جلگه ای دارای حرکت آرام می باشد و لذا میزان پلانکتون های آن افزایش پیدا می کند، این ناحیه که ناحیه استخری نیز نامیده می شود مطمئناً به راطور خاص قابلیت توسعه پلانکتون ها را دارد. لذا از دید ظاهری مربوط به منابع آب دارای آب های بدتر و غیرقابل استفاده می باشد، لیکن پلانکتون های موجود به واسطه تولید اکسیژن نقش بسیار سودمندی در خود پالایی رودخانه ها دارند.

برخلاف دریاچه ها موجودات آب های جاری اغلب در کف بستر یا حتی چسبیده به رسوبات کف زندگی می کنند زیرا چنان چه در مقابل جریان شدید آب قرار گیرند، به سرعت شسته شده و از محیط خارج می شوند. به همین دلیل اغلب جانوران آب های جاری رودخانه های کوهستانی، در خارج از بخش اصلی رودخانه در محیط های آب مرده ی بین ریگ های کف رودخانه، بین توده های گیاهی یا در شیارهای بسیار باریک دور از جریان شدید و در نواحی غار مانند صخره های خلل و فرج دار کف رودخانه ظاهر می شوند. جوامع آلگی معمولاً سطح بالایی سنگ ها و ریگ های بزرگ نواحی حفاظت شده از جریان به خصوص قسمت های جلویی و نقاط در پناه از جریان را ترجیح می دهند. ریگ های کوچکتر در نواحی که دارای آب های ساکن می باشد به سرعت به وسیله آگ ها پوشیده می شوند.

تمام آلگ های روئیده بر سطح سنگ ها (Epilithic algae) برای حفظ خود می بایست تا حد امکان با تشکیل رویش های سطح یا با ایجاد رشته های دراز در مقابل جریان آب مقاومت کمتری را از خود نشان

دهند و در محدوده‌ی ناحیه آب مرده قرار گیرند و یا خود را محکم به محل استقرارشان بچسبانند و بدین شکل در مقابل شسته شدن مقاومت نمایند.

جلبک قرمز *Hildenbrandia rivularis*

جلبک‌های آبی *Ch. Poloicus* و *Chamaesiphon fuscus*

جلبک سبز *Gongrosira* و *Rhodo ploch schintii*

جلبک طلایی *Phaeodermatium* (*Chryso phaceae*)

با ایجاد رویش‌های مسطح و متراکم در سطح سنگ‌ها در مقابل شسته شدن مقاومت می‌کنند. الگ‌های آبی، *Nostoc*, *Rivularia* و *Schizothrix* در جریان‌های آرام ایجاد توده‌های لغزنده ژلاتینی به صورت نیمکره‌هایی را می‌نمایند. *Oocardium stratum* که از (*Desmidiaceae*) می‌باشد، روی سنگ‌های آهکی ایجاد توده‌های مخروطی شکل قهوه‌ای رنگی را می‌نماید. الگ‌های رشته‌ای مانند *Cladophora* و *Stigeoclonium* تشکیل توده‌های کپه ای بوته‌ای و رشته‌ای را می‌نمایند. در هر صورت شکل رویش‌های تمامی الگ‌هایی که روی سطح سنگ‌ها ایجاد می‌گردند (*Epilitic algae*) به شدت وابسته به حرکات و جابجایی‌های آب محل رویش می‌باشد. نحوه چسبیدن به تکیه‌گاه و چگونگی استقرار در کف بستر در انواع مختلف متفاوت است، بعضی با ایجاد دیواره‌های سلولی چسبناک و لزج استقرار پیدا می‌کنند مانند (*Phormidium*, *Lyngbya* و *Chamaesiphon*) برخی به وسیله رشد بیشتر سلول‌های قاعده‌ای و گسترده و پهن شدن پایه‌های مانند رویش‌های آلگی (*Aphanochaeta vepens*) ایجاد صفحات چسبنده یا پایه‌های ژلاتینی مانند (*Characiopsis acuta*) یا با ایجاد جوانه در سلول‌های پایه‌ای و تشکیل سلول‌های ریشه‌ای (*rhizoid*) قادر هستند خود را به طور محکم روی سطوح کوچک و ناهموار سنگ‌ها بچسبانند. اشکال شلاق مانند یا رشته‌های بلند در آلگ قرمز *Lemanea* برای کاهش مقاومت در مقابل جریان ایجاد شده و انعطاف پذیری زیادی دارد. همچنین بعضی از خزها مانند *Fontinalis antipyretica* (خزه چشمه) هم در دریاچه‌ها و هم در آب‌های جاری خیلی سریع زیست



می‌کند، دلیل گستردگی آن در محیط‌های مختلف انعطاف‌پذیری قابل ملاحظه‌ای است که این خزه از خود نشان داده‌است. مقاومت این خزه در مقابل پاره‌شدن در نوع دریاچه‌ای آن حدود  $350,9 \text{ g/mm}^2$  و در نوع جویباری (نهری) آن حدود  $535,1 \text{ g/mm}^2$  می‌باشد. مطالعه مقطع عرضی ساقه این خزه نشان داده است که مقاومت زیاد در مقابل پاره شدن در نوع جویباری ناشی از لایه اپیدرمی است که از پنج ردیف سلول می‌باشد. رویش‌های گیاهی عالی در آب‌های جاری شامل مجموعه‌ای از خزه‌های آبی و گیاهان گلدار زیر آبی (Submerge) است که اغلب توده‌های متراکمی را در کف رودخانه‌ها ایجاد می‌نمایند. خزه‌ها معمولاً روی بسترهای سنگی رشد می‌کنند در صورتی که گیاهان گل‌دار عموماً بسترهای گلی-لجنی را ترجیح می‌دهند. گیاهان پیشقدم آبزی مانند *Callitricha hamulata* می‌توانند برای خود بستر مناسبی را ایجاد نمایند به این ترتیب باعث ته نشست رسوبات نرم در ناحیه پناه از جریان می‌شوند و در این صورت ماکروفیت‌های ایستاده می‌توانند در جهت پائین رودخانه گسترش پیدا کنند. معرف یا شاخص نهرهای کوهستانی مناطق حاره (Tropical) دو خانواده گیاهی *Podostemonaceae* (در آمریکا، آفریقا و آسیا) و *Hydrostachyaceae* (در جنوب آفریقا و ماداگاسکار) بوده که دارای تشابه زیادی در توسعه در یک رنج مشخص در محیط زندگی خود می‌باشند، این گیاهان به خصوص با وضعیت شدید حرکتی آب سازگار گردیده‌اند. بذره‌های تیره *Podostemonaceae* در آب ریخته شده و به شدت باد کرده و خود را با چنان سختی به بستر می‌چسبانند که حتی با جریان‌های خیلی سریع نیز شسته نمی‌شوند. گیاهان دو تیره فوق فاقد فضاهای بین سلولی هستند.

#### ۱-۴- منابع آلاینده آب

هر نوع مواد یا عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی که باعث آلودگی آب گردیده یا به آلودگی آن بیافزاید و کیفیت آب را دچار مشکل کند به آلاینده معروف است. آلاینده‌های آب می‌توانند منابع مختلفی داشته باشند. به‌طور کلی منابع آلاینده به دو گروه طبیعی و انسان‌ساز تقسیم می‌شوند. طبیعی شامل

شرایط هواشناسی، هیدرولوژی و زمین‌شناسی و حوادث طبیعی و منابع آلاینده انسان‌ساز شامل فاضلاب انسانی (شهری و روستایی) و رواناب‌های سطحی، پساب‌های صنعتی، معدنی، عمرانی و نیروگاهی، زهاب‌های کشاورزی و دامپروری، نشتاب ناشی از مواد زاید جامد (محل دفن زباله و...)، ترابری آبی و باران‌های اسیدی می‌باشد (مهندسین مشاور صدرآب فارس، ۱۳۸۵).

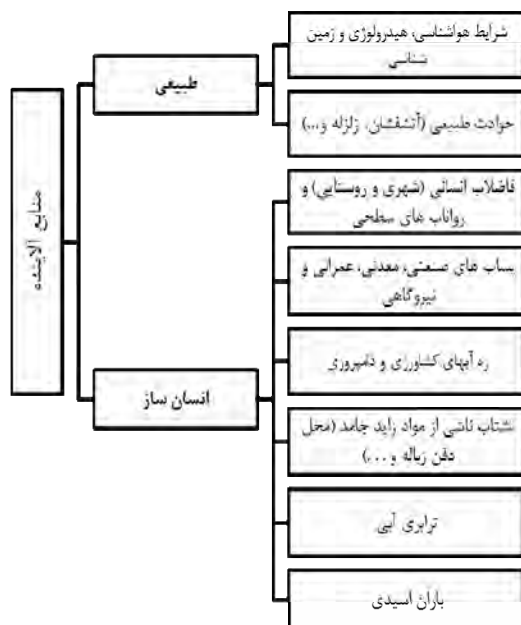
آلاینده‌های آب می‌توانند منابع مختلفی داشته باشند. به‌طور کلی منابع آلاینده به دو گروه طبیعی و انسان‌ساز تقسیم می‌شوند.

#### ۱-۴-۱- منبع آلاینده نقطه‌ای

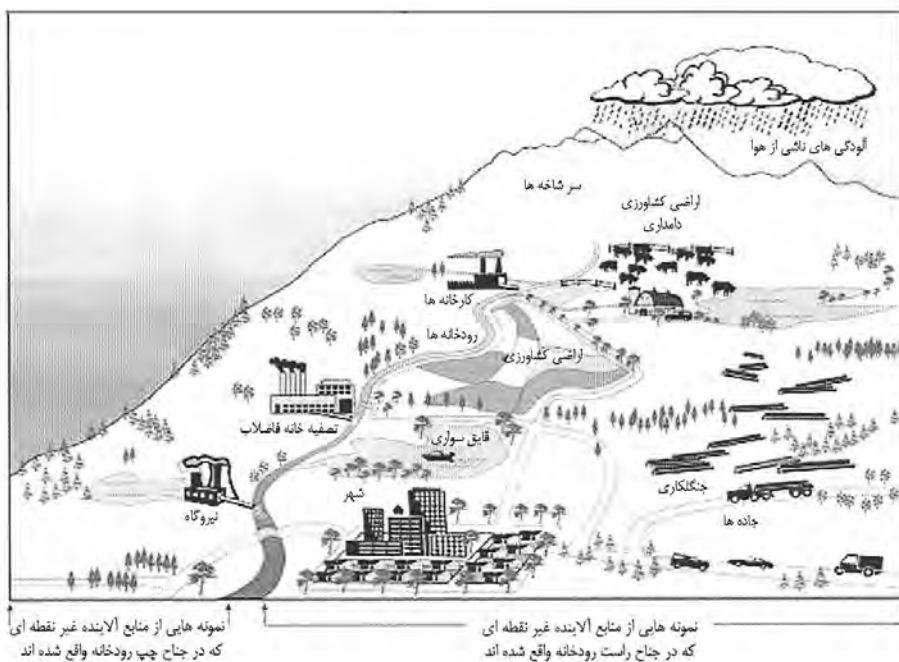
منبع آلاینده‌ای که از یک محل مشخص و قابل شناسایی وارد محیط پذیرنده می‌شود، مانند فاضلاب خروجی صنایع، نیروگاه‌ها یا تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری.

#### ۱-۴-۲- منبع آلاینده غیرنقطه‌ای

منبع آلاینده‌ای که محل ورود مشخص و قابل شناسایی به محیط پذیرنده ندارد. به‌طور معمول این منابع شامل زه آب‌ها و رواناب‌ها می‌باشند که از زمین‌های کشاورزی یا اراضی پاکتراشی شده، معادن، کارگاه‌های ساختمانی، جاده‌ها و مناطق شهری ناشی می‌شوند. آلودگی هوا که بر روی منابع آب فرو می‌نشیند نیز یک منبع آلاینده غیرنقطه‌ای است. اغلب به دلیل دشواری شناسایی یا تعیین محل ورود این منابع کنترل آن‌ها آسان نمی‌باشد (دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های سطحی، ۱۳۸۸).



شکل (۱-۱) طبقه‌بندی منابع آلاینده.



شکل (۲-۱) منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای رودخانه‌ها.

### ۱-۴-۳- آلودگی ناشی از فاضلاب‌های شهری

زندگی روزمره اجتماعات همراه با تولید فاضلاب‌هایی است که از منازل، بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها، اماکن عمومی و ... سرچشمه گرفته و به روش‌های گوناگونی دفع می‌شوند. در بسیاری از اجتماعات دفع فاضلاب‌ها از طریق چاه‌های جذبی به داخل زمین وارد شده و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. در مناطقی که سطح آب‌های زیرزمینی بالاست این مشکل شدیدتر خواهد بود. در مناطقی هم به علت نفوذناپذیری طبقات زمین، فاضلاب‌های شهری به منابع آب سطحی مثل رودخانه‌ها و دریاها هدایت می‌شود که در نهایت سطح آلودگی آن‌ها را بالا می‌برد. این فاضلاب‌ها از مصرف خانگی آب حاصل می‌شود. در این پساب‌ها انواع موجودات ریز، میکروب‌ها و ویروس‌ها و چند نوع مواد شیمیایی معین وجود دارد که عمده‌ترین آن آمونیاک و نیز مقداری اوره می‌باشد. این فاضلاب‌ها باید از مسیرهای سر بسته به محل تصفیه هدایت گردند. جهت خنثی‌سازی محیط قلیایی این فاضلاب‌ها که محیط مناسب برای رشد و نمو میکروب‌ها است، از کلر استفاده می‌شود. کلیه پاک‌کننده‌ها که وارد آب‌های سطحی می‌شوند ترکیباتی را در آب‌ها وارد می‌کنند که اگر خنثی نشوند و یا توسط میکرو اورگانیزم‌ها تجزیه و تخریب نشوند به‌صورت سمی مهلک زیان بسیاری برای آبزیان به بار می‌آورند (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۵).

### ۱-۴-۴- آلودگی ناشی از فاضلاب‌های صنایع

صنایع از کارگاه‌های کوچک تا صنایع سنگین دارای فاضلاب‌های صنعتی هستند که کیفیت آب را از نظر شرب و آبیاری و ... دچار مشکل می‌کنند. فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب‌هایی هستند که ترکیب شیمیایی آن‌ها به نوع فعالیت صنعتی ایجاد کننده این نوع فاضلاب‌ها بستگی دارد. ورود فاضلاب‌های صنعتی به دریاها سبب آلودگی آب و در نتیجه مرگ آبزیان خواهد شد. این ضایعات برای خنثی شدن مقدار زیادی از اکسیژن محلول در آب را به مصرف رسانیده و موجب کاهش اکسیژن مورد نیاز برای آبزیان می‌شود و تهدید به مرگ می‌کنند. از طرف دیگر بسیاری از خود این ضایعات سمی بوده و موجب

مسمومیت آبریان می‌شوند مانند فلزات سنگین، جیوه، سرب، مس و غیره. وارد شدن ترکیبات فسفردار و نیتروژن‌دار در آب موجب رشد جلبک‌هائی می‌شود که ضمن ایجاد بو و مزه غیر طبیعی آب، اکسیژن آب را مصرف کرده و باعث کاهش میزان آن و بروز صدمات و تلفات آبریان می‌شود. در طی تحقیقی که محوی و همکارانش بر روی ۲۰ واحد صنعتی غذایی و دارویی در تهران بزرگ انجام دادند و فاضلاب‌های آن‌ها را از نظر کمی و کیفی مورد بررسی قرار دادند، به این نتیجه رسیدند که از نظر فاضلاب تولیدی، صنایع نوشابه سازی، روغن نباتی، لبنیاتی و داروسازی به ترتیب با تولید ۳۴، ۳۱، ۳۰ و ۱۴/۴۴ درصد فاضلاب در رده‌های اول تا چهارم قرار دارند و آلوده‌ترین فاضلاب مربوط به کارخانجات الکل سازی است (محوی و همکاران، ۱۳۸۳).

#### ۱-۴-۵- آلودگی ناشی از فاضلاب‌های کشاورزی

کاربرد انواع حشره‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی در مزارع که در جریان آبیاری ممکن است به اطراف پخش و انتشار یابد باعث آلودگی محیط می‌شود. بخش کشاورزی حدود ۹۴ درصد مصرف آب کشور را به خود اختصاص داده است. با توجه به سطح گسترده اراضی کشور، استفاده نادرست از منابع آب و نهاده‌های کشاورزی (کود و سم) می‌تواند از نظر کمی و کیفی منابع آبی کشور را در معرض تهدید جدی قرار دهد. یکی از منابع عمده آلودگی آب‌های کشاورزی استفاده روزافزون از نهاده‌های کشاورزی از جمله کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات است. سموم کشاورزی و کودهای شیمیایی که در چند سال اخیر برای مبارزه با آفات و تقویت خاک کاربردهای زیادی پیدا نموده‌اند، با نفوذ در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، زمینه آلودگی منابع آبی کشور را فراهم نموده‌اند. در طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی، شوری و مقدار سدیم موجود در آب حائز اهمیت می‌باشد زیرا این دو، نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه در جهت مناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند (فرید گیگلو و همکاران، ۱۳۹۱). صباچی و همکارانش کیفیت فصلی

آب رودخانه سیکان را مورد بررسی قرار دادند. رودخانه سیکان یکی از شاخه‌های انتهائی حوزه آبریز رودخانه سیمره می‌باشد. ۵۷ درصد اراضی کشاورزی شهرستان دره‌شهر در استان ایلام در اطراف این رودخانه قرار دارند و بیان کردند که زه‌آب حاصل از زمین‌های کشاورزی که به رودخانه سیکان می‌ریزد، کیفیت آب رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (صباحی و همکاران، ۱۳۸۹).

## فصل دوم: مفاهیم شبیه‌سازی

انسان برای رفع نیازهای خویش سیستم‌های متنوعی اعم از تولیدی و خدماتی را به‌وجود آورده است. این سیستم‌ها در طول زمان رشد و توسعه یافته‌اند و به نوبه خود مسائل و مشکلات مختلفی را هم ایجاد نموده‌اند. از طرف دیگر پیچیدگی‌های این سیستم‌ها فرایند تصمیم‌گیری، هدایت و کنترل را برای افراد مسئول بسیار حساس و مشکل ساخته است. لذا برای حل مسائل و مشکلات و در نهایت کمک به مسؤلان به‌منظور شناخت و بهبود عملکرد و تصمیم‌گیری در مورد سیستم‌ها، روش‌ها و تکنیک‌های متفاوتی به‌وجود آمده‌اند که به‌کارگیری آن‌ها بستگی به نوع سیستم و مشکل مربوطه دارد. تجزیه و تحلیل‌های ریاضی مشاهده عینی و تجربی و فنون مختلف پژوهش عملیاتی را می‌توان نمونه‌ای از این روش‌ها دانست. طبیعی است که هریک از روش‌های مذکور دارای نقاط قوت و محدودیت‌هایی می‌باشند و به‌کارگیری همه آن‌ها در مورد یک سیستم خاص نه به‌سادگی امکان‌پذیر است و نه نتیجه مشابه خواهد داشت. یکی دیگر از روش‌هایی که برای شناخت وضع موجود و بهبود عملکرد سیستم‌ها به‌وجود آمده، شبیه‌سازی است که در این فصل به معرفی آن می‌پردازیم. شبیه‌سازی یکی از پرقدرترین و مفیدترین ابزارهای تحلیل عملکرد فرایندهای پیچیده سیستم‌ها است. هر مهندس یا مدیری که بخواهد اطلاعاتش را کامل کند باید با این روش آشنا باشد. مدل‌سازی از طریق شبیه‌سازی تا حد زیادی به علوم کامپیوتر، ریاضیات، احتمالات و آمار متکی است.

## ۲-۱- تعاریف

چون شبیه‌سازی نوعی مدل‌سازی سیستم است لذا در بخش نخست سیستم‌ها و سپس مدل‌ها و در نهایت شبیه‌سازی را مورد بحث قرار خواهیم داد.

### ۲-۱-۱- سیستم‌ها

مسلماً هدف از ایجاد یک سیستم یا اداره یک سیستم موجود، کسب بهترین نتایج حاصل از آن است. لذا در مورد سیستم‌های موجود باید تأثیر اجزاء آن بر یکدیگر، قوانین و رابطه‌های حاکم بر آن و دیگر خصوصیات آن را شناخت. و اگر هدف ایجاد یک سیستم است باید بهترین تعداد و ترکیب اشیاء و مؤثرترین قوانین را برای آن انتخاب نمود. اما انتخاب بهترین‌ها خود مستلزم شناخت رفتار سیستم با ترکیبات و قوانین متفاوت می‌باشد. در هر حال لازمه ایجاد یا اداره مطلوب یک سیستم، بررسی و تجزیه و تحلیل آن است. به‌طور کلی سیستم را می‌توان چنین تعریف کرد: "مجموعه‌ای از اشیاء با مشخصه‌های معلوم، که روابط بین آن‌ها و قوانین حاکم بر آن‌ها مشخص است. اشیاء یک سیستم ممکن است دائمی یا موقت باشند."

هر یک از اشیاء دائمی یا موقت دارای یک یا چندین مشخصه هستند. اما در یک بررسی تنها آن دسته مشخصه‌ای که در ارتباط با هدف بررسی بوده و نتایج از آن‌ها تأثیرپذیر است مد نظر قرار گرفته و به‌عنوان مشخصه در مدل سیستم گنجانیده می‌شوند. به چگونگی اشیاء، مشخصات و روابط یک سیستم در یک لحظه زمانی وضعیت سیستم در آن لحظه می‌گویند. اغلب، تغییرات خارجی سیستم مؤثر واقع شده و بعضی تغییرات در سیستم دارای اثراتی بر عوامل خارجی هستند. مجموعه این گونه عوامل خارجی را که بر سیستم مؤثر و یا از آن تأثیرپذیرند محیط سیستم خوانند. همراه با گذر زمان مقدار بعضی از مشخصه‌های اشیاء سیستم تغییر می‌یابند. این تغییرات نسبت به زمان ممکن است به‌صورت پیوسته یا ناپیوسته باشد.



## ۲-۱-۲- مدل‌ها

همان‌طور که گفته شد برای مطالعه و تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، روش‌های متفاوتی وجود دارد. در مطالعه تجربی یکی سیستم، متغیرها تغییر داده شده و تأثیر آن‌ها بر روی سیستم مشاهده می‌شود. اما تعداد سیستم‌هایی که بتوان این روش را برای بررسی آن‌ها به کار برد بسیار محدودند. زیرا اولاً تغییر یک متغیر در یک سیستم ممکن است باعث دگرگونی سیستم و لذا بی‌اعتباری بررسی و نتایج حاصل از آن گردد. ثانیاً ایجاد تغییر برای مشاهده عکس‌العمل رفتاری در همه سیستم‌ها عملی نیست. علاوه بر این، این روش زمانی که طراحی و ایجاد یک سیستم جدید در کار بوده و برای رسیدن به نتیجه مطلوب باید رفتار آن مورد بررسی قرارگیرد، بی‌معنی خواهد بود. در این‌گونه موارد از یک الگو یا مدلی از سیستم که شامل اطلاعات لازم برای بررسی و تجزیه و تحلیل آن باشد استفاده می‌کنند.

به‌طور کلی مدل را می‌توان چنین تعریف کرد: مدل، ترکیب مناسبی از خصوصیات یک سیستم و اطلاعات مربوط به آن است که به‌منظور بررسی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معمولاً نوع بررسی، مدل و میزان اطلاعات قرار داده شده در آن را تعیین می‌کند. لذا ممکن است بررسی‌های متفاوت، مدل‌های متفاوتی از یک سیستم را لازم داشته باشد. به‌عبارت دیگر سیستم‌ها در بررسی‌های گوناگون دارای یک مدل منحصر بفرد نیستند. مسئله‌ای که در این‌جا پیش می‌آید، فراگیری جزئیات سیستم به‌وسیله مدل و یا میزان نزدیک بودن مدل به واقعیت است. به بیان دیگر در موقع مدل‌سازی دو سؤال مطرح می‌گردد:

در مدل کدام یک و به چه اندازه خصوصیات و جزئیات سیستم باید وجود داشته باشد؟

میزان شباهت مدل به سیستم واقعی چقدر است؟

مسلماً هرچه جزئیات بیش‌تر از سیستم در مدل گنجانده شود، شباهت زیادتری به سیستم واقعی پیدا نموده و رفتار آن را بهتر نمایش می‌دهد. در این صورت اگر نتیجه‌ای از مطالعه و بررسی مدل حاصل گردد، به واقعیت نزدیک‌تر و لذا به‌کارگرفتن آن در سیستم واقعی عملی‌تر است. از طرف دیگر، وجود

جزئیات بیش‌تر در مدل سبب مشکل‌تر نمودن مطالعه و رسیدن به نتیجه می‌گردد. اغلب افزودن جزئیات بیش از حد به یک مدل باعث تغییر روش بررسی شده و کلیت بحث از دست می‌رود. بالعکس از قلم انداختن بعضی جزئیات، تجزیه و تحلیل مدل را ساده‌تر و راه رسیدن به نتیجه را آسان‌تر و کوتاه‌تر می‌نماید و از طرف دیگر نتایج حاصل را از واقعیت‌ها دورتر و به‌کارگیری آن‌ها را در سیستم واقعی بی‌ثمر خواهد ساخت. به‌هرحال، در مدل‌سازی معیاری برای قابل قبول بودن شمول جزئیات یک مدل قبل از به‌کارگیری نتایج در واقعیت وجود ندارد. از مسئولیت‌های تحلیل‌گر است که در ساخت مدل و گنجاندن جزئیات سیستم در آن، با توجه به دقت مورد نیاز در نتایج، جانب تعادل و اعتبار را رعایت کند. این تعادل باید به گونه‌ای باشد که اولاً به‌وسیله تکنیک‌ها و وسایل موجود، بررسی مدل امکان‌پذیر بوده و ثانیاً نتایج بررسی منطبق یا نزدیک به واقعیت باشد.

مدل‌هایی که برای مطالعه سیستم‌ها ساخته و به‌کار برده می‌شوند، با توجه به خصوصیات عمومی‌شان به‌طور مختلف دسته‌بندی می‌شوند. با این دسته‌بندی‌ها نه‌تنها انواع مدل‌ها را از یکدیگر متمایز می‌سازند، بلکه روش‌هایی برای بررسی هر گروه تعیین می‌کنند. در مرحله اول مدل‌ها را می‌توان به دو دسته فیزیکی و ریاضی تقسیم نمود.

(۱) مدل‌های فیزیکی، شامل خصوصیات عمده و فیزیکی سیستم واقعی بوده و تنها از مقیاس کوچک‌تری برخوردارند.

(۲) مدل‌های ریاضی که خود به دو دسته متمایز به نام‌های سمبولیک و گرافیک تقسیم می‌شوند، با به‌کار بردن سمبول‌ها یا گراف‌ها و چارت‌ها سیستم را نمایش می‌دهند. در مدل‌های ریاضی، مشخصه‌های سیستم به‌وسیله متغیرها، و روابط موجود بین آن‌ها نمایش داده می‌شوند.

در یک تقسیم‌بندی دیگر مدل‌ها، اعم از فیزیکی یا ریاضی، به دو دسته ایستا و پویا تقسیم می‌گردند. (۱) در یک مدل ایستا، یا بعد زمان به‌طور کلی نادیده گرفته می‌شود یا وضعیت یک سیستم در یک لحظه زمانی به‌طور ایستا نشان داده می‌شود.

۲) یک مدل پویا به‌طور صریح گذر زمان را شامل بوده و رابطه وضعیت سیستم و زمان را به نمایش می‌گذارد.

مدل‌های ریاضی با یک دیدگاه دیگر شامل مدل‌های تحلیلی و عددی می‌شوند. این تقسیم‌بندی بیش‌تر با توجه به روش بررسی مدل و کسب نتایج انجام شده است. بالاخره نوع دیگر تقسیم‌بندی مدل‌ها، به‌صورت قطعی و احتمالی است. کلیه تغییرات در یک مدل قطعی، معین و براساس روابط غیراحتمالی صورت می‌گیرد، اما در یک مدل احتمالی، حداقل قسمتی از تغییرات یا روابط، تصادفی و احتمالی است.

## ۲-۱-۳- شبیه‌سازی

از شبیه‌سازی تعاریف زیادی ارائه شده است اما جامع‌ترین و کامل‌ترین تعریف را شانون ارائه داده است. شانون شبیه‌سازی را چنین تعریف می‌کند: شبیه‌سازی عبارت است از فرآیند طراحی مدلی از سیستم واقعی و انجام آزمایش‌هایی با این مدل است که با هدف پی‌بردن به رفتار سیستم، یا ارزیابی استراتژی‌های گوناگون درمحدوده‌ای که به‌وسیله معیار و یا مجموعه‌ای از معیارها اعمال شده است، برای عملیات سیستم، صورت می‌گیرد. بنابراین در می‌یابیم که فرآیند شبیه‌سازی، هم شامل ساختن مدل و هم شامل استفاده تحلیلی از آن برای مطالعه یک مسئله است. در تعریف فوق، سیستم واقعی به معنای سیستمی که وجود دارد یا قابلیت ایجاد شدن را دارد، به‌کار رفته است.

## ۲-۲- چه موقع از شبیه‌سازی استفاده کنیم؟

مسئله یا مسائل مورد نظر در بررسی یک سیستم اغلب روش بررسی و حل آن‌را تعیین می‌کنند. روش‌های تحلیل ریاضی هر جا که ممکن باشد، مطلوب‌ترین و دقیق‌ترین روش‌ها برای مطالعه سیستم‌ها می‌باشند، زیرا این روش‌ها معمولاً با کم‌ترین کوشش، جواب‌ها یا نتایجی را تولید می‌کنند که

برای مقادیر مختلف پارامترهای مدل قابل محاسبه بوده و میزان دقت آن‌ها صد درصد می‌باشد. اما جایی که روش‌های تحلیلی، به علت پیچیدگی مدل‌ها یا نیاز به تولید واقعی‌تر رفتار سیستم غیرعملی است، روش‌های مطالعه سیستم از طریق شبیه‌سازی مطرح می‌گردد. شبیه‌سازی به عنوان آزمایش کردن با مدل یک سیستم واقعی تعریف می‌شود. یک مسئله آزمایشی، موقعی پدید می‌آید که به اطلاعات بخصوصی درباره یک سیستم نیاز بوده و آن‌ها را از منابع موجود نتوان تهیه کرد. آزمایش کردن روی سیستم واقعی، مشکلات زیادی که در تطبیق دادن مناسب مدل با شرایط واقعی وجود دارد را از بین می‌برد. معایب آزمایش مستقیم را می‌توان چنین بیان کرد:

۱- ممکن است یکسان نگهداشتن شرایط عمل برای هر بار تکرار یا اجرای آزمایش بسیار مشکل باشد.

۲- به دست آوردن حجم نمونه‌ای یکسان (و در نتیجه معنی‌دار بودن آماری) ممکن است به زمان و هزینه زیادی نیاز داشته باشد.

۳- ممکن است که آزمایش کردن در جهان واقعی امکان کاوش بسیاری از گزینه‌ها را به دست ندهد. در صورت وجود یک یا چند شرط/شرایط زیر، تحلیل‌گر می‌تواند از شبیه‌سازی/استفاده کند:

۱- تدوین ریاضی کاملی از مسئله وجود نداشته، یا برای حل مدل ریاضی هنوز روش‌های تحلیل به وجود نیامده باشد.

۲- روش‌های تحلیلی وجود داشته اما شیوه‌های ریاضی آنقدر پیچیده و سخت باشند که شبیه‌سازی، روشی ساده‌تر برای حل مسئله به حساب آید.

۳- راه‌حل‌های ریاضی وجود داشته، یا به دست آوردن آن‌ها امکان‌پذیر بوده، اما انجام آن خارج از توان ریاضی افراد دست‌اندرکار باشد. در این صورت باید هزینه طراحی، آزمایش و اجرای شبیه‌سازی، در مقابل هزینه به دست آوردن کمک از خارج سازمان ارزیابی شود.

۴- علاوه بر برآورد بعضی از پارامترهای خاص، مشاهده گذشته در طول دوره‌ای از زمان مطلوب باشد.

۵- ممکن است به علت مشکلات موجود در انجام آزمایش‌ها و مشاهده پدیده‌ها در محیط واقعی آن‌ها، شبیه‌سازی تنها راه ممکن باشد.

۶- تراکم زمان برای سیستم‌ها یا فرآیندهایی که دارای چارچوب زمانی بلندمدت هستند مورد نیاز باشد.

در شبیه‌سازی، کنترل کاملی روی زمان وجود دارد، زیرا سرعت یک پدیده را می‌توان به دلخواه کم و زیاد کرد.

## ۲-۳- انواع شبیه‌سازی

فرم‌های مختلفی از شبیه‌سازی وجود دارد که در این جا برخی از آن‌ها را یادآور می‌شویم:

### ۲-۳-۱- شبیه‌سازی همانی

مدل‌ها از نظر شباهت به سیستم واقعی، در یک حوزه وسیع قرار دارند. در انتها الیه این حوزه می‌توان خود سیستم را به عنوان مدل آن در نظر گرفت و رفتار آن را بررسی نمود. این روش را شبیه‌سازی همانی نامند. به عبارت دیگر این روش همان آزمایش مستقیم روی سیستم است که گرچه ساده به نظر می‌رسد و در صورت یافتن پاسخی برای مسئله مورد نظر، صد درصد قابل استفاده و مفید می‌باشد ولی دارای معایب زیادی هم می‌باشد.

### ۲-۳-۲- شبیه‌سازی نیمه‌همانی

همان‌طور که از نام این روش برمی‌آید، در مطالعه سیستم سعی می‌گردد تا آن‌جا که امکان دارد از اشیاء و قوانین واقعی سیستم استفاده گردد. تنها اشیاء یا مراحل از سیستم واقعی که باعث غیرممکن

شدن شبیه‌سازی همانی است، مدل‌سازی می‌گردد. به عبارت دیگر بخشی از مدل سیستم، واقعی و بخش دیگر غیرواقعی یا شبیه‌سازی شده است. هرچند این روش عملی‌تر از شبیه‌سازی همانی است ولی معایب آن را کم و بیش دارد.

## ۲-۳-۳- شبیه‌سازی آزمایشگاهی

در این روش بعضی از نماها و اشیاء سیستم واقعی به وسیله امکانات آزمایشگاهی ساخته شده و بعضی نماها و روابط دیگر به وسیله سمبل‌ها جایگزین می‌گردند.

## ۲-۳-۴- شبیه‌سازی کامپیوتری

در شبیه‌سازی کامپیوتری، مدلی که از سیستم تحت بررسی ساخته می‌شود یک برنامه کامپیوتری است یعنی کلیه اشیاءها و نماهای سیستم به ساختارهای برنامه‌ای و کلیه مشخصات و رفتار آنها به متغیرها و توابع ریاضی تبدیل می‌گردد. قوانین و روابط حاکم بر سیستم و ارتباطشان با یکدیگر در برنامه در نظر گرفته می‌شود. شبیه‌سازی کامپیوتری به علت عملی بودن و دارا بودن امتیازهای خاص خود برای بررسی و مطالعه اغلب سیستم‌ها از قبیل کشاورزی، حمل و نقل، بیمارستان، سیستم‌های صنعتی، تولیدی، ترافیک، انبار و غیره به کار می‌رود. منظور ما نیز از شبیه‌سازی، شبیه‌سازی کامپیوتری است.

## ۲-۴- فرایند شبیه‌سازی

اصولاً پروژه‌های مبتنی بر شبیه‌سازی زمانی آغاز می‌شود که در سیستم، مسئله‌ای به وجود آید. در این زمان، برای شبیه‌سازی مدل مناسب، باید گام‌های زیر را طی کرد:

### ۱- تدوین مسئله: برای یافتن جواب مسئله باید فهمید که اصل آن چیست؟ بنابراین اولین قدم در

آزمایش شبیه‌سازی، همانند هر آزمایش دیگری، تعیین هدف آزمایش است، چون این هدف است که نحوه آزمایش، جزئیات لازم و نتایج نهایی را تعیین می‌کند.

## ۲- تعریف سیستم: قسمت مهمی از فرایند تحلیل سیستم، تعریف سیستمی است که باید مورد

مطالعه قرارگیرد. وقتی که هدف مطالعه و بررسی مشخص گردید، آنگاه باید به شناخت سیستم و تعریف قسمت‌هایی از آن که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به هدف بستگی دارند پرداخت. البته این به آن معنی نیست که شناخت قسمت‌های دیگر یا کسب اطلاعات بیش‌تر در مورد سیستم مخرب بوده و مسیر آزمایش را تغییر می‌دهد. بلکه تنها اشکالی که ممکن است ایجاد گردد این است که وجود جزئیات زیاد و اطلاعات اضافی باعث سردرگمی مدل‌ساز و یا پیچیدگی مدل گردد. تعریف سیستم شامل تعیین جزء سیستم، اشیاء و عوامل داخلی و خارجی، محیط سیستم، اشیاء آن و بالاخره پارامترها و متغیرهای سیستم می‌باشد. بعد از تعیین دقیق بخش‌ها و اطلاعات مذکور، مشخصاتی از اشیاء سیستم که در ارتباط با هدف مطالعه و بررسی هستند تعریف و روابط و قوانین حاکم بین آن‌ها و بین اشیاء سیستم مشخص یا فرموله می‌گردند. آنگاه چگونگی رفتار سیستم مورد بررسی قرار گرفته و جزئیات تغییر وضعیت‌ها و اثر پیش آمدها در سیستم معلوم می‌گردند. در این مرحله می‌بایست تعیین کرد که از چه روش‌ها و تکنیک‌هایی می‌توان برای بررسی و مطالعه سیستم استفاده کرد. تعریف سیستم در حقیقت، تعیین اجزای سیستم، عناصر و عوامل داخلی و خارجی محیط سیستم و پارامترها و متغیرهای سیستم را شامل می‌شود. پس از آن، روابط و قوانین حاکم میان ویژگی‌های سیستم و متغیرهای آن مشخص و یا فرموله شده، سپس چگونگی رفتار سیستم مورد بررسی قرار گرفته و جزئیات حاصل از تغییر متغیرها در سیستم معلوم می‌شود.

## ۳- پاسخ به یک سؤال: پاسخ به این سوال که آیا در تمامی تصمیم‌گیری‌ها می‌توان از مدل

شبیه‌سازی استفاده کرد؟ تاکنون سیستم، بررسی و مشکل سیستم مشخص شد. حال باید با انتخاب روشی صحیح و منطقی سیستم را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و مشکل را حل کرد. در این مرحله باید مشخص کرد که از چه روش‌ها و تکنیک‌هایی می‌توان برای این منظور استفاده کرد. اگر فقط از شبیه‌سازی می‌توان استفاده کرد و دیگر روش‌ها کاربرد ندارند و یا کاربرد آن‌ها چندان

مطلوب نیست، قطعاً از شبیه‌سازی استفاده می‌کنیم. اما اگر هم از شبیه‌سازی و هم از روش‌های دیگر بتوان استفاده کرد باید به تجزیه و تحلیل روش‌ها از دیدگاه‌های مختلف مانند: هزینه، میزان دقت نتایج و غیره و همچنین امکانات در دسترس و دیگر عواملی که برای مسئولان مهم است پرداخت و سپس به انتخاب روش صحیح و منطقی برای بررسی سیستم پرداخت. اگر شرایط واقعی چندان پیچیده نباشد و بتوان با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل به حل مسئله پرداخت، طبیعتاً نیازی به استفاده از مدل شبیه‌سازی نیست. ولی اگر با توجه به شرایط پیچیده و ریسک بالا، فقط از شبیه‌سازی می‌توان استفاده کرد، پس کاربرد روش شبیه‌سازی الزامی است.

**۴- تدوین مدل:** هنر مدل‌سازی عبارت است از توانایی تحلیل مسئله، چکیده‌سازی خصایص آن، انتخاب مفروضات و سپس تکمیل و توسعه مدل تا زمانی که تقریب مفیدی از واقعیت به‌دست آید. هرچه مدل کامل‌تر باشد، وضعیت پیچیده را روشن‌تر منعکس می‌کند.

**۵- تدارک داده‌ها:** هر مطالعه‌ای، مستلزم جمع‌آوری داده‌ها است. در یک مدل شبیه‌سازی، داده‌های ورودی، باید با اطلاعات مربوط به اجزای سیستم و ارتباط میان آن‌ها رابطه نزدیک داشته باشد. در این زمان تحلیل‌گر باید تصمیم بگیرد چه داده‌هایی مورد نیازند و چگونه باید این اطلاعات را جمع‌آوری کرد.

**۶- برگرداندن مدل:** گام ششم با برگرداندن مدل برداشته می‌شود. در این مرحله باید مدلی که از سیستم تهیه شده را برای کامپیوتر توصیف کنیم. مدل‌های شبیه‌سازی، از لحاظ منطقی بسیار پیچیده بوده و دارای فعل و انفعالات متقابل بسیاری در بین عناصر سیستم هستند.

**۷- تعیین اعتبار مدل:** این مرحله، مهم‌ترین و مشکل‌ترین مرحله از مراحل شبیه‌سازی است. تعیین اعتبار، یعنی آن‌که آیا مدل ساخته‌شده رفتار سیستم واقعی را به‌درستی شبیه‌سازی و توصیف می‌کند؟ بنابراین آن‌چه که اهمیت دارد قابل اعتماد بودن مدل است نه حقیقت ساختار آن. تعیین اعتبار مدل بیش از حد مهم است، زیرا شبیه‌سازی‌ها معمولاً واقعی جلوه کرده و مدل‌سازها و



استفاده کنندگان به راحتی آن‌ها را باور می‌کنند. مفروضاتی که در شبیه‌سازی‌ها به کار می‌رود اغلب از دید یک شخص عادی و حتی گاهی از دید مدل‌ساز نیز پنهان می‌ماند. در نتیجه اگر مراحل تعیین اعتبار و ارزیابی، به دقت و به‌طور کامل انجام نگیرد، ممکن است نتایج غلط با اثرات خطرناک پذیرفته شود. در تعیین اعتبار مدل یک سؤال مطرح می‌شود و آن این است که ضابطه اندازه‌گیری تطابق رفتار مدل با رفتار سیستم چیست و چگونه از آن استفاده می‌شود. معمولاً دو روش برای آزمایش رفتار مدل‌های شبیه‌سازی به کار می‌رود: الف) در مواقعی که ارقام و نتایج رفتار سیستم واقعی در دست می‌باشد، مقادیر و نتایج مشابه به‌دست آمده از بررسی مدل را با آن‌ها مقایسه می‌کنند. ب) دقت مدل را در پیش‌بینی و تعیین مقادیر پارامترها و متغیرهای سیستم در آینده مورد بررسی قرار می‌دهند. برای تعیین اعتبار مطمئن و دقیق مدل بحث‌ها و بررسی‌های زیادی صورت گرفته و نظریه‌های متعددی بیان گردیده است. پرداختن به این نظریه‌ها خارج از محدوده این مجموعه است و لذا در این‌جا فقط به‌ذکر مراحل یک روش تعیین اعتبار می‌پردازیم. این مراحل عبارتند از: الف) در مرحله اول، اساسی که مدل بر پایه آن‌ها بنا شده است باید مشخص گردد. این اساس شامل یک‌سری واقعیات غیرقابل انکار و یک‌سری فرضیات است که در هنگام شناخت و تعریف سیستم تعیین شده‌اند. برای این تشخیص، مدل‌ساز از اطلاعات خود راجع به سیستم واقعی یا سیستم‌های مشابه که شبیه‌سازی شده‌اند استفاده خواهد کرد. مدل‌ساز فرضیات را از بدیهیات غیرقابل انکار بازشناخته و از بین آن‌ها فرضیاتی را که قابل آزمایش هستند انتخاب می‌کند. دلیل این انتخاب این است که در شبیه‌سازی مواردی وجود دارد که آزمون یک فرض، گاه غیرممکن و یا بسیار مشکل است. در این گونه موارد، با این استدلال که فرضیه غیرقابل آزمایش بی‌معنی است، کنار گذاشته می‌شود و یا آن‌را به‌صورت موقتی قبول کرده و در عین حال به جستجوی فرضیه قابل آزمایشی پرداخته می‌شود. ب) در مرحله دوم فرضیات منتخب مرحله اول مورد آزمون قرار می‌گیرند. این فرضیات که اغلب مربوط به متغیرهای تصادفی سیستم به‌عنوان پارامترهای ورودی می‌باشند

باید با روش‌های آماری آزمون فرض، موردآزمایش قرار گیرند. (ج) مرحله سوم تست رفتار مدل یا تطابق نتایج است.

#### ۸- برنامه‌ریزی استراتژیک و تاکتیکی: به‌طور کلی برنامه استراتژیک یعنی طرح آزمایشی که

اطلاعات مطلوب از آن حاصل شود و برنامه‌ریزی تاکتیکی یعنی تعیین این موضوع که هر یک از آزمون‌های مشخص شده در طرح آزمایش، چگونه انجام گیرد. استفاده از طرح‌های آزمایش به دو دلیل است: (۱) کاهش تعداد دفعات آزمایش و (۲) ساختاری برای فرایند یادگیری محققین.

در طرح آزمایش روشی برای جمع‌آوری اطلاعات اساسی انتخاب می‌شود که دربارهٔ پدیده یا سیستم، آن‌قدر آگاهی به دست آید که بتوان استنباط‌های معتبری راجع به رفتار آن کسب کرد. در آزمایش شبیه‌سازی عوامل متعددی وجود دارند که باید دارای طرح معینی باشند. بعضی از این عوامل عبارتند از: شرایط اولیه (یا شرایط شروع) شبیه‌سازی، شرایط پایانی و زمان‌هایی که مدل باید اطلاعاتی را تولید کند. هر یک از این عامل‌ها اثرات بسیار مهمی روی نتایج حاصل از شبیه‌سازی دارند که با تغییر آن‌ها، میزان تأثیرشان تغییر می‌یابد. آزمایش کننده می‌بایست قبل از به اجرا گذاشتن مدل، تصمیم خود را در مورد چگونگی این عوامل، البته براساس روش‌های علمی و فنی، بگیرد. نتیجه این تصمیم بخشی از طراحی آزمایش را تشکیل می‌دهد. دو نوع از اهداف آزمایش به سهولت قابل تشخیص‌اند: (۱) یافتن ترکیبی از مقادیر پارامترها که جواب آزمایش را بهینه کند و یا (۲) یافتن روابط بین جواب آزمایش و عوامل قابل کنترل سیستم. برای هر دو این اهداف طرح‌های آزمایشی زیادی به وجود آمده و در دسترس‌اند. عموماً در برنامه‌ریزی تاکتیکی مسئله بازده مطرح است و با تعیین چگونگی اجرای مدل که در طرح آزمایشی مشخص می‌شوند، سروکار دارد. برنامه‌ریزی تاکتیکی، حل دو گروه از مسائل را در نظر دارد: (۱) شرایط شروع، چون در رسیدن به تعادل مؤثرند و (۲) نیاز به کاهش پراکندگی (واریانس) جواب تاحد ممکن، در حالی که حجم نمونه‌های لازم مینیمم شوند.

اولین مشکل از ماهیت تصنعی عملکرد مدل ناشی می‌شود. برخلاف جهان واقعی، مدل شبیه‌سازی فقط در فواصل معین عمل می‌کند. یعنی آزمایش کننده، مدل را به کار انداخته، اطلاعاتش را به دست آورده و سپس تا اجرای بعدی آن را از کار باز می‌دارد. هر بار که اجرای مدل آغاز می‌شود ممکن است مدت زمانی طول بکشد تا مدل به شرایط تعادل که نمایشگر عملکرد سیستم جهان واقعی است برسد. در نتیجه، دوره ابتدایی عملکرد مدل به علت دارا بودن شرایط ابتدایی شروع، نمایشی غیرواقعی است. راه حل این مشکل عبارت است از: ۱) صرف نظر کردن از بعضی از داده‌های دوره ابتدایی و ۲) انتخاب شرایطی برای شروع که زمان لازم برای رسیدن به تعادل را کاهش دهند. هر چه مدل شبیه‌سازی پیچیده‌تر شود اهمیت برنامه‌ریزی تاکتیکی خوب قبل از اجرای آزمایش‌ها بیش‌تر می‌شود.

#### ۹- آزمایش و تفسیر (تحلیل حساسیت): در این مرحله، اشتباهات و نواقص برنامه‌ریزی آشکار

می‌شود و مراحل اجرا شده مورد بازبینی قرار می‌گیرد. تحلیل حساسیت یکی از مهم‌ترین مفاهیم مدل‌سازی از طریق شبیه‌سازی است. منظور از آن، تعیین حساسیت جواب‌های نهایی نسبت به مقادیر پارامترهای به کار رفته است. معمولاً در تحلیل حساسیت مقادیر پارامترها را روی محدوده مورد نظر به‌طور منظم تغییر می‌دهند و اثر آن را روی پاسخ مدل مشاهده می‌کنند. تقریباً در هر مدل شبیه‌سازی، بسیاری از متغیرها براساس داده‌هایی قرار دارند که بسیار قابل بحث‌اند. در اکثر موارد، ممکن است تنها براساس حدس افراد با تجربه و یا تحلیلی بسیار شتابزده از حداقل داده‌ها، مقادیر آن‌ها تعیین شود. بنابراین تعیین درجه حساسیت نتایج نسبت به مقادیر به کار رفته، بی‌نهایت مهم است. اگر با تغییری مختصر در مقادیر بعضی از پارامترها، جواب به میزان زیادی تغییر کند، این مطلب ممکن است انگیزه و توجیه لازم برای صرف کردن زمان و پول بیش‌تر جهت کسب برآوردهای دقیق‌تر را فراهم کند. از طرف دیگر، اگر با وجود نوسانات زیاد در مقادیر پارامترها، نتایج به دست آمده تغییر نکنند، تلاش بیش‌تری لازم نبوده و قابل توجیه هم نیست. به علت میزان کنترلی

که آزمایش کننده از آن برخوردار است، به‌طور ایده‌آل، شبیه‌سازی برای تحلیل حساسیت مناسب است.

#### ۱۰- پیاده‌سازی و مستند سازی: موفقیت یک پروژه شبیه‌سازی را تنها می‌توان زمانی محقق

دانست که مدل پذیرفته‌شده، تفهیم شود و مورد استفاده قرار گیرد. مستندسازی دقیق و کامل از چگونگی ایجاد، توسعه و نحوه عمل مدل، می‌تواند عمر مفید و شانس پیاده‌سازی موفق آن را افزایش دهد.

### ۲-۵- مزایا شبیه‌سازی کامپیوتری

داشتن قدرت فشردن زمان، بدین ترتیب که به‌وسیله شبیه‌سازی ممکن است چندین سال از فعالیت یک سیستم را در چند ثانیه ملاحظه و بررسی نمود. در نتیجه، بررسی کننده قادر است چندین طرح از یک سیستم را در یک فرصت کوتاه مطالعه نموده و نتایج عملکرد آن‌ها را مقایسه نماید.

داشتن قدرت گسترش زمان، به وسیله جمع‌آوری آمار و اطلاعات لازم در برنامه شبیه‌سازی، بررسی کننده قادر است جزئیات تغییراتی که در زمان واقعی قابل مشاهده نیستند مطالعه کند. به عبارتی دیگر تغییراتی که به‌علت بالا بودن سرعت ایجاد آن‌ها در سیستم واقعی قابل مشاهده یا مطالعه نمی‌باشند، در این روش قابل کنترل و بررسی هستند. این عمل با کمک کند نمودن زمان در مدل صورت می‌گیرد.

در یک بررسی گاه لازم است که حرکت زمان را متوقف کرده و نتایج به‌دست آمده تا این لحظه را مطالعه نمود و پس از تصمیم‌های لازم بررسی را از همان نقطه توقف از سر گرفت. لازمه این نیاز، این است که تمام پدیده‌های وابسته به سیستم وضعیت خود را تا شروع مجدد بررسی و آزمایش دقیقاً حفظ کنند. این امکان فقط در شبیه‌سازی ممکن است.

شبیه‌سازی این امکان را به تحلیل‌گر می‌دهد که یک آزمایش یا بررسی را با حفظ کلیه شرایط اولیه و رفتار سیستم به‌وسیله یک برنامه تکرار کند. در هر یک از دفعات تکرار، تنها مقادیر بعضی از پارامترها را به‌منظور دریافت اثر آن‌ها بر رفتار سیستم و نتایج حاصل تغییر می‌دهد.

شبیه‌سازی قادر به بررسی تغییرات جدید در سیستم‌های موجود و مطالعه سیستم‌هایی که در مرحله طرح می‌باشند و هنوز هیچ گونه امکانات، سرمایه و زمان برای پیشرفت یا ایجاد فیزیکی آن‌ها صرف نشده است. همچنین بررسی و آزمایش سیستم‌های فرضی که احیاناً ایجاد و مطالعه آن‌ها به‌وسیله روش‌های دیگر غیرممکن یا خطرناک می‌باشد با این روش امکان‌پذیر است.

## ۲-۶- معایب شبیه‌سازی

ایجاد و توسعه یک مدل خوب شبیه‌سازی اغلب گران و محتاج زمان است و نیاز به اطلاعات زیادی دارد که ممکن است به آسانی در دسترس نباشد. شبیه‌سازی می‌تواند چنین وانمود کند که وضعیت جهان واقعی را به دقت نشان می‌دهد، در حالی که واقعاً این کار را نمی‌کند. چندین مسئله ذاتی در شبیه‌سازی وجود دارند که اگر به درستی حل نشوند می‌توانند نتایج غلطی را به‌وجود آورند. شبیه‌سازی دقیق نبوده و نمی‌توان درجه این بی‌دقتی را اندازه گرفت. تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییر مقدار پارامترها تنها قسمتی از این مشکل را حل می‌کند.

معمولاً نتایج شبیه‌سازی به‌صورت عددی بوده و با هر تعداد ارقام اعشاری که آزمایش‌گر انتخاب کند، معین می‌شوند در نتیجه، خطر بزرگ کردن اعداد، یعنی اعتبار دادن بیش از حد به اعداد پیش می‌آید.

درنهایت هر چند شبیه‌سازی روش بسیار با ارزش و مفید برای حل مسائل است، ولی به طور حتم راه حل تمام مسائل نیست. هنوز تا حد زیادی توسعه و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به جای این که علم باشد هنر است. بنابراین مانند سایر هنرها تا حد زیادی فن، موفقیت یا شکست را معین نمی‌کند بلکه عامل تعیین‌کننده، چگونگی کاربرد آن است.



## فصل سوم: مدل‌های عددی و پایش کیفی منابع آب

### ۳-۱- مقدمه

امروزه مدل‌سازی به‌عنوان ابزار مناسب و کارآمد در تعیین و ارزیابی اثرات آلاینده‌های مختلف در مدیریت کیفی پیکره‌های آبی تبدیل شده است. با شناخت کافی از پارامترهای کیفی می‌توان از یک مدل مناسب بهره‌گیری کرد و به شبیه‌سازی کیفی و اقدامات مدیریتی پرداخت. اگر چه مدل‌ها دارای محدودیت‌های خاصی می‌باشند ولی نقش مهمی در کنترل، پیش‌بینی و مدیریت منابع آب دارند. شناخت کامل پدیده‌های کیفی آب و آشنایی با نقاط ضعف و قوت مدل‌ها و مقایسه کارایی آن‌ها لازمه استفاده از این روش‌ها می‌باشد. جهت کارآمد بودن یک مدل مسائل مختلفی نظیر قابل اعتماد بودن، سادگی کار با آن، هزینه‌های مربوطه و منافع حاصل از آن باید مورد ارزیابی قرار بگیرند.

به‌طور کلی کیفیت آب در سه بعد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های هیدرودینامیک و کیفیت آب دو دسته عمده مدل‌های عددی رودخانه‌ها می‌باشند.

### ۳-۲- مقایسه خواص مدل‌های عددی هیدرودینامیک و کیفیت آب

مدل‌های عددی را می‌توان از جنبه‌های گوناگون طبقه‌بندی کرد که این طبقه‌بندی به‌صورت زیر می‌باشد (اشتون<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۳).

۱- اولین طبقه‌بندی بر اساس پیکره آبی<sup>۲</sup> می‌باشد. بعضی از مدل‌ها مانند *Qual2E* و *MIKE11* مخصوص رودخانه می‌باشند. بعضی دیگر از این مدل‌ها جامعیت بیشتری دارند و می‌توان آن‌ها را برای تمامی منابع آب موجود به کار برد.

۲- نوع دیگری از طبقه‌بندی مدل‌ها براساس در نظرگیری عامل زمان می‌باشد و بیانگر توانایی هر مدل برای نمایش دینامیک سیستم است.

۳- همچنین این مدل‌ها را می‌توان به لحاظ ابعادی نیز طبقه‌بندی کرد که انواع مختلفی از مدل‌ها از نوع یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی موجود می‌باشند و این نوع طبقه‌بندی تعیین کننده چگونگی توانایی یک مدل برای تخمین مشخصات منبع آب می‌باشد.

۴- نوع دیگری از طبقه‌بندی مدل‌های کیفی بر اساس بارگذاری آلودگی می‌باشد. تمامی مدل‌ها قابلیت وارد نمودن بارهای آلودگی ایستا را توسط کاربر دارا می‌باشند. بعضی از مدل‌ها قابلیت ورود اطلاعات متغیر منبع آلودگی را دارا هستند. همچنین بعضی از مدل‌ها نشت یا نفوذ منابع آلودگی غیرنقطه‌ای را در نظر می‌گیرند.

۵- آخرین طبقه‌بندی بر اساس اندازه انتقال از بستر می‌باشد. تمامی مدل‌ها اثر انتقال را در نظر می‌گیرند. انتقال به کف و یا از قسمت کف به پیکره آبی. یکی از قسمت‌های بسیار مهم برای مدل مواد سمی شیمیایی می‌باشد. همچنین در مدل‌های دقیق کیفی آب نیز انتقال از بستر در نظر گرفته می‌شود.

1 . Ashton

2 . Water Body



مدل‌های فوق‌الذکر با توجه به نوع پیکره آبی تحت مطالعه، ابعاد مدل، مکانیزم انتقال و نوع سیستم-عامل مناسب برای مدل در جدول (۱-۳)، طبقه‌بندی شده‌اند. در جدول (۲-۳) نیز پارامترهایی که توسط مدل‌های کیفی شبیه‌سازی می‌شوند، بیان شده‌اند.

جدول (۱-۳) مقایسه مدل‌های کیفیت آب از نظر مکانیزم انتقال و نوع سیستم‌عامل مدل.

مدل کیفیت آب	CE-QUAL-W2	Weap	MIKE 11	QUAL2E	WASP 6	HEC-RAS
نوع پیکره آبی	*	*	*	*	*	*
	*	*			*	
	*	*			*	*
ابعاد		*	*	*	*	*
	*				*	
					*	
مکانیزم انتقال	*	*	*	*	*	*
	*	*	*	*	*	*
سیستم عامل	Windows	*	*	*	*	*
	Ms-Dos					*

سه واحد عمده از یک مدل جامع کیفی آب عبارتند از :

- واحد مدیریت اطلاعات (دسته‌بندی و ذخیره‌سازی اطلاعات ورودی و ارائه خروجی‌ها).
- ابزار تحلیلی که موتورهای شبیه‌سازی مدل می‌باشند (پردازش ورودی‌ها و تولید اطلاعات موردنیاز).
- رابطه نرم‌افزار و کاربر (امکان تعیین پارامترها و ضرایب مدل توسط کاربر و نمایش گرافیکی نتایج).

جدول (۳-۲) متغیرهای قابل شبیه‌سازی توسط مدل‌های کیفی.

HEC-RAS	WASP 6	QUAL2E	MIKE 11	Weap	CE-QUAL-W2	مدل کیفیت آب	فرآیندها و پارامترهای کیفیت آب
*	*	*	*	*	*	دما	
*		*	*	*	*	شوری	
*	*	*	*	*	*	اکسیژن محلول	
*	*	*	*	*	*	نیتروژن آلی	
*	*	*	*	*	*	نیترات	
*		*	*	*	*	نیتريت	
*	*	*	*	*	*	نیتروژن محلول	
*	*	*	*	*	*	فسفر آلی	
*	*	*	*	*	*	فسفر محلول	
*	*			*	*	مواد پایدار	
	*	*	*		*	فیتو پلانکتون	
					*	زئوپلانکتون	
			*	*	*	فلزات	

### ۳-۳- تقسیم‌بندی مدل‌ها بر اساس هندسه

#### ۳-۳-۱- مدل‌های دو بعدی افقی

در این مدل‌ها با فرض آب کم عمق معادلات پیوستگی و مومنتوم ساده‌سازی شده و با روش‌های مختلف عددی حل می‌شوند. از این مدل‌ها نمی‌توان برای مناطقی که نقش مولفه قائم سرعت قابل صرف نظر کردن نیست، استفاده نمود. این مدل‌ها کاربرد وسیعی در مدل‌سازی جریان در رودخانه‌ها، خورها و سواحل دارند.

#### ۳-۳-۲- مدل‌های دو بعدی عمقی

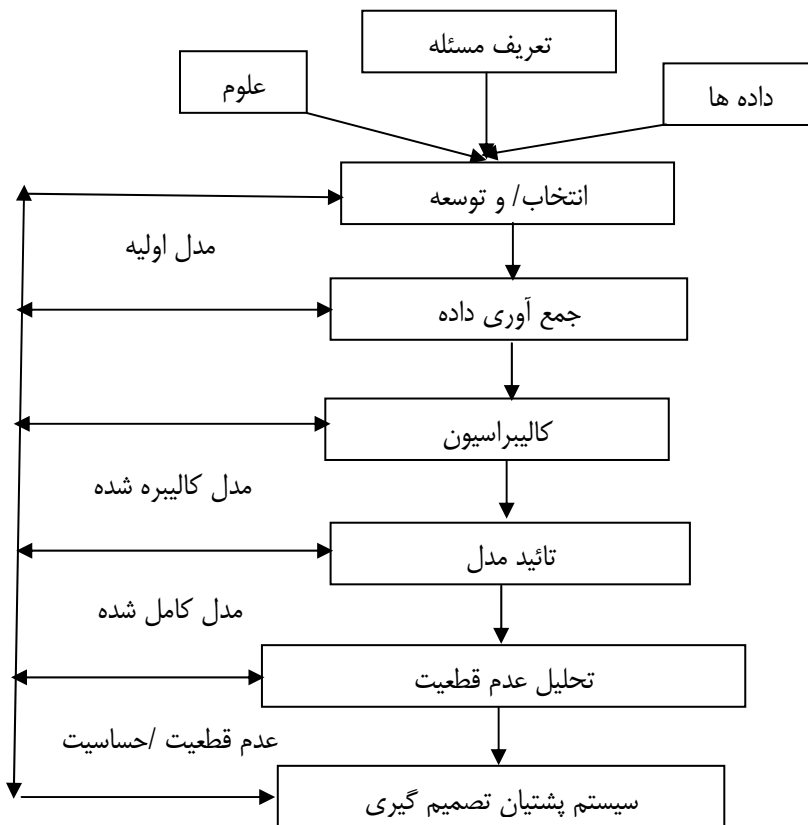
این مدل‌ها برای شرایطی قابل استفاده می‌باشد که فرض تغییرات ناچیز در عرض صادق باشد. در مخازن باریک و کانال‌های دسترسی که تغییرات سرعت در عرض قابل صرف‌نظر کردن باشد، می‌توان از این مدل‌ها استفاده نمود.

### ۳-۳-۳- مدل‌های یک بعدی:

این مدل‌ها شامل مدل‌های یک بعدی طولی و یک بعدی عمقی می‌باشند. در مدل‌های یک بعدی طولی فرض می‌شود که جریان غالب در جهت طول می‌باشد. مدل‌های یک بعدی طولی ابزار مناسبی برای مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها می‌باشند. مدل‌های یک بعدی عمقی نیز معمولاً برای محاسبه لایه‌بندی و نیز سرعت سقوط ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۳-۳-۴- اصول تدوین مدل

پرسش‌هایی که لازم است در آغاز تدوین یک مدل پاسخ داده شوند، در شکل (۳-۱) نشان داده شده‌اند.



شکل (۳-۱) فرآیند مدلسازی کیفی (چاپرا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳).

در آغاز تحلیل می‌بایست مسئله مورد بررسی به‌طور کامل تعریف شود. معمولاً می‌توان جنبه‌های مهم مسئله را مشخص کرد و پیش‌زمینه‌ها و سطح جزئیات مورد نیاز علمی در موضوعات مختلف را شناسایی نمود. در مرحله بعد لازم است با توجه به اهداف مسئله، چگونگی رفتار و عملکرد سیستم، فرایندها و اندرکنش‌های اصلی را از نظر مفهومی بررسی کرد. برگردان این مدل مفهومی به معادلات ریاضی تحت تأثیر محدودیت‌های مختلفی از جمله ابزار تخصص، اطلاعات، زمان و منابع دیگر مطالعاتی قرار می‌گیرد. معمولاً توصیه می‌شود که تعریف سیستم با شکستن آن به‌صورت منطقی، به واحدهای کوچکتری آغاز شود که شناسایی جنبه‌های مختلف و جزئیات مرتبط با آن‌ها برای کاربر آسان‌تر است. استفاده از واژه "منطقی" نشان می‌دهد که در واقعیت هیچ فرایندی را نمی‌توان به‌طور کامل از سایر اجزا سیستم مجزا کرد. برای مثال در مخازن و دریاچه‌ها به دلیل تأثیر الگوهای گردش آب بر کیفیت نمی‌توان مطالعات چرخه هیدرودینامیک آب را مجزا از کیفیت انجام داد. با این وجود، امکان تجزیه منطقی یک سیستم از نظر فلسفی همچنان وجود دارد. جدا از اندرکنش‌های بین فرایندها در پیکره‌های آبی، تکیه بر پیش زمینه‌های علمی موجود در مورد این فرایندها و بررسی دقیق اطلاعات، می‌تواند راهنمای مناسبی برای تعیین اهمیت هر یک از فرایندها باشد. در نهایت سیستم اصلی با اجتماع پارامترها و نتایج مربوط به این زیر سیستم‌ها شکل می‌گیرد.

### ۳-۴- معرفی مدل‌های شبیه‌سازی کیفی رودخانه

در زیر خصوصیات انواع مدل‌های کیفی ذکر شده است.

#### ۳-۴-۱- مدل $Qual2E$ و $Qual2Kw$

در دهه ۱۹۶۰، مدل  $QUAL-1$  توسط هیأت توسعه آب تکراس<sup>۱</sup> ارائه شد. پس از آن ویرایش‌های دیگری از مدل ارائه شد که پس از مطالعه و بررسی کامل، سری  $QUAL2$  که توسط آژانس حفاظت

زیست محیطی آمریکا<sup>۱</sup> نیز پشتیبانی می‌گردد، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. برنامه QUAL-2E قادر به شبیه‌سازی تا پانزده جزء کیفی آب در رودخانه‌های شاخه‌دار می‌باشد. این مدل از روش تفاضل محدود<sup>۲</sup> برای حل معادلات بقای جرم، جابه‌جایی-پخش<sup>۳</sup> و واکنش‌ها استفاده می‌کند. در این مدل یک بازه از رودخانه به تعدادی عناصر محاسباتی تقسیم و برای هر عنصر محاسباتی موازنه هیدرولوژیکی بر حسب دبی، موازنه حرارتی بر حسب دما و موازنه جرم بر حسب غلظت بیان می‌شود. هر دو فرآیند جابه‌جایی و پخش را در موازنه جرم در نظر می‌گیرند. دبی محاسبه شده رودخانه، سرعت، سطح مقطع و عمق آب اساس تعیین شارهای حرارتی و جرمی ورودی و خروجی ناشی از جریان به هر عنصر محاسباتی هستند. موازنه جرم، غلظت مواد معدنی پایدار، باکتری‌های کلی فرم و اجزای غیرپایدار در هر عنصر محاسباتی را به‌دست می‌دهد. علاوه بر شارهای جرمی فرآیندهای اصلی موازنه جرم عبارتند از: انتقال مواد مغذی، تولید مثل جلبکی، مصرف مواد کربنی و کفزی، بازدمش اتمسفری، اثر این فرآیندها روی موازنه اکسیژن محلول و شاخص توده جرمی جلبک‌های پلانکتونی. در مورد نیتروژن، چرخه نیتروژن به چهار بخش تقسیم می‌شود: نیتروژن آلی، نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن نیتریتی و نیتروژن نیتراتی. همچنین مدل‌سازی چرخه فسفر در دو بخش فسفر آلی و محلول انجام می‌گیرد. مصرف‌کننده اصلی داخلی اکسیژن محلول در مدل، نیاز اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی<sup>۴</sup> بوده و منابع اصلی تأمین آن فتوسنتز جلبکی و بازدمش هستند. همان‌گونه که در قسمت‌های قبل ذکر شد مدل در رودخانه-های شاخه‌دار با اختلاط کامل قابل استفاده بوده و فرض می‌شود که مکانیزم اصلی انتقال فقط جابه‌جایی و پخش در جهت اصلی جریان است (محور طولی کانال یا رودخانه). همچنین مدل وجود منابع نقطه‌ای، برداشت‌ها، جریان‌های فرعی و افزایشی ورودی و خروجی متعدد را مجاز می‌داند. علاوه بر این، مدل می‌تواند دبی جریان‌های رقیق‌کننده مورد نیاز برای افزایش دبی را تا حدی که غلظت اکسیژن

1. Environmental Protection Agency

2. Finite Element

3. Advection-Diffusion

4. BOD

محلول به یک سطح از پیش تعیین شده برسد، محاسبه کند. از نظر هیدرولیکی، *QUAL2E* محدود به شبیه‌سازی دوره‌های زمانی با دبی و بار آلودگی ثابت است. *QUAL2E* قادر به شبیه‌سازی حالت ماندگار یا شبه دینامیک بوده و ابزاری مناسب برای برنامه‌ریزی کیفی آب است. در حالت ماندگار می‌توان اثر بار آلودگی را بر کیفیت آب رودخانه و در حالت دینامیک می‌توان اثر تغییرات روزانه داده‌های جوی روی کیفیت آب (اساساً اکسیژن محلول و دما) و تغییرات روزانه اکسیژن محلول را بر اثر رشد جلبکی و تنفس مطالعه کرد. با این وجود، اثر محرک‌های دینامیکی نظیر دبی سرآب‌ها یا بارهای نقطه‌ای را نمی‌توان مدل‌سازی کرد (نجفی و محمدپور، ۱۳۹۱). برای تعیین عکس‌العمل قابل انتظار رودخانه بر اثر ورود آلاینده‌ها استفاده از مدل‌های ریاضی ضروری است. این مدل‌ها قادرند آثار بارگذاری‌های موجود و آتی را شبیه‌سازی نموده و مدیران و مسئولان را در تصمیم‌گیری‌های خود یاری نمایند. به عبارت دیگر از آن‌جا که حفاظت کیفی رودخانه‌ها نیاز به سرمایه‌گذاری‌های اضافی برای تصفیه پساب‌ها و یا ایجاد سیستم‌های جمع‌آوری و کنترل زه‌آب‌ها دارد و همچنین ممکن است منجر به محدود کردن توسعه فعالیت‌ها در حوضه 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. نرم‌افزار و یا به عبارتی دیگر مدل *QUAL2KW (Q2K)* هم‌اکنون به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه قادر است بیش از ۳۰ پارامتر کیفی را در رودخانه‌هایی که اختلاط کامل افقی و عمودی در آن‌ها صورت می‌گیرد را شبیه‌سازی کند.

جدول (۳-۳) پارامترهایی که توسط Q2K شبیه‌سازی می‌شوند.

پارامترهایی که توسط Q2K شبیه‌سازی می‌شوند		
زمان حرکت	- درجه حرارت	- جلبک
- دبی رودخانه	pH -	- پتانژون ها
- سرعت جریان آب	- قلیائیت	- فرم‌های ازت (آلی، آمونیومی،
- عمق آب	- هدایت الکتریکی	نیتراتی، آمونیاکی و ازت کل)
- هوادهی مجدد	- کل جامدات معدنی و معلق	- فرم‌های فسفر (آلی، معدنی و
BOD -	- جریان متان، آمونیوم، نیترات و	فسفر کل)
COD -	فسفر معدنی ناشی از رسوبات	
- فیتوپلانکتون ها	- پسماندها	

مدل Q2K از یک برنامه اصلی که به‌وسیله زیر برنامه‌های مختلف پشتیبانی می‌شود تشکیل شده است. این مدل شامل اندرکنش‌های اصلی چرخه غذایی، تولید جلبک، اکسیژن‌خواهی کفزی‌ها، مصرف اکسیژن کربنی، بازدمش اتمسفری و آثار آن‌ها روی رفتار اکسیژن محلول است. کلی‌فرم‌ها و اجزای ناپایدار اختیاری به‌صورت اجزای ناپایدار زوال‌پذیری که با سایر اجزا اندرکنش ندارند، مدل می‌شوند. هم‌چنین اجزای پایدار نه زوال‌پذیرند و نه با سایر اجزا واکنش می‌دهند. این برنامه قادر است پخش طولی مواد، اکسیژن مورد نیاز رسوبات، ته نشینی مواد کربنی، نیترات زایی و نیترات زدایی را در شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب به حساب آورد. از جمله توانایی‌های مدل این است که علاوه بر شبیه‌سازی یک بعدی جریان در حالت ماندگار و غیریکنواخت، می‌تواند ترکیبی از شاخه‌های اصلی و فرعی رودخانه و عواملی چون تخلیه فاضلاب‌ها و هم‌چنین جریان‌های افزایشی را در برگیرد. ویرایش‌های مختلفی از این مدل تاکنون تهیه شده است. تغییرات و توانایی‌های ویرایش‌های مختلف را می‌توان به‌طور خلاصه در جداول (۳-۴)، (۳-۵) و (۳-۶) مشاهده نمود.

جدول (۳-۴) مدل QUALII

پارامترهای اصلاح شده	مقدار جدید	مقدار قدیم
حداکثر تعداد عناصر محاسباتی	۵۰۰	۲۰۰۰
حداکثر تعداد بازه‌ها	۵۰	۲۰۰
حداکثر تعداد نقاط برداشت یا تخلیه	۵۰	۲۰۰

جدول (۳-۵) مدل QUAL2E

پارامترهای اصلاح شده	مقدار جدید	مقدار قدیم
حداکثر تعداد عناصر محاسباتی	۵۰۰	۲۰۰۰
حداکثر تعداد بازه‌ها	۵۰	۲۰۰
حداکثر تعداد نقاط برداشت یا تخلیه	۵۰	۲۰۰
حداکثر تعداد چارچوب داده‌ها	۵۱	۲۰۱

جدول (۳-۶) مدل QUAL2EU

پارامترهای اصلاح شده	مقدار جدید	مقدار قدیم
حداکثر تعداد عناصر محاسباتی	۵۰۰	۲۰۰۰
حداکثر تعداد بازه‌ها	۵۰	۲۰۰
حداکثر تعداد نقاط برداشت یا تخلیه	۵۰	۲۰۰
حداکثر تعداد چارچوب داده‌ها	۵۱	۲۰۱
حداکثر تعداد شبیه‌سازی مونت کارلو	۵۰۰	۵۰۰۰

اولین نسخه مدل با عنوان QUALI توسط ماچ و همکارانش در سال ۱۹۷۱ منتشر شد. مدل QUAL2E (Q2E) ابتدا در سال ۱۹۶۰ توسط واحد توسعه آب تگزاس تکمیل و سپس توسط EPA پشتیبانی گردید. این مدل یک بعدی قادر به شبیه‌سازی پانزده جزء کیفی آب، سه جزء پایدار اختیاری (مانند فلزات سنگین) و یک جزء ناپایدار اختیاری (مانند COD) در رودخانه‌های شاخه‌دار بوده و از روش تفاضلات محدود برای حل معادلات انتقال جرم، جابجایی و پخش واکنش‌ها استفاده می‌کند.



این مدل تغییر شرایط دبی در رودخانه را با محاسبه یک سری پروفیل‌های سطح آب در حالت پایدار شبیه‌سازی کرده و قادر به شبیه‌سازی حالت پایدار یا شبه‌دینامیکی بوده و ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی کیفی آب است. مدل QUAL2kw از لحاظ عملکرد شبیه‌سازی مانند مدل Q2E بوده اما دارای قابلیت آنالیز عدم قطعیت نیز می‌باشد. در این مدل سه روش تجزیه و تحلیل عدم قطعیت قابل انتخاب است. این سه روش عبارتند از: تجزیه و تحلیل حساسیت، تجزیه و تحلیل مرتبه اول خطا و شبیه‌سازی مونت کارلو. با این قابلیت استفاده کننده از مدل امکان می‌یابد که اثرهای حساسیت‌های مدل و نیز اثرهای عدم قطعیت در داده‌های مدل را روی پیش‌بینی مدل تعیین کند. برخی محدودیت‌های مدل Q2E توسط کاربران مختلف شناسایی و گزارش شده‌اند. برای مثال یکی از مشکلات اصلی این مدل نبود قسمتی برای تبدیل مرگ جلبک که یک منبع ذاتی از مواد آلی می‌باشد به BOD است، به علاوه حداکثر تعداد بازه‌ها، عناصر محاسباتی و اتصالات در نسخه جاری و موجود Q2E محدودیت دارند و این چنین مدلی نمی‌تواند سیستم یک رودخانه بزرگ را با دقت بالایی شبیه‌سازی کند. مدل Q2K آخرین سری از مدل‌های QUAL است که علاوه بر دارا بودن تمام قابلیت‌های مدل‌های قبلی، توانایی انجام تجزیه و تحلیل عدم قطعیت را نیز دارد. این مدل می‌تواند معادلات مربوط به رودخانه‌ها را هم در شرایط دائمی و هم شبه‌دینامیکی حل کند. یعنی مدل جهت شبیه‌سازی متغیرهای کیفی در طول رودخانه، در شرایط دینامیکی عمل می‌کند، اما دبی رودخانه، منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در طول شبیه‌سازی تغییر نکرده و ثابت در نظر گرفته می‌شوند. ترقی اصلی مدل Q2K شامل توسعه ساختار محاسباتی و اضافه کردن فعل و انفعالات داخلی اجزای اصلی و سازنده مانند BOD ناشی از مرگ جلبک، نیتрат‌زدایی و تغییر اکسیژن محلول آب، ناشی از وجود گیاهان مستقر در رودخانه است. تفاوت‌های موجود بین دو مدل Q2E و Q2K در جدول (۳-۷) خلاصه شده است.

جدول (۷-۳) تفاوت بین Q2E و Q2K

پارامترهای مدل	Q2E	Q2K
منبع ذاتی	-	+
نیتрат زدایی	-	+
تغییر اکسیژن محلول توسط گیاهان مستقر	-	+
حداکثر تعداد اتصالات	۶	۱۵
حداکثر تعداد بازه‌ها	۲۵	۱۰۰
حداکثر تعداد عناصر محاسباتی	۲۵۰	۱۰۰۰

اغلب معادلات موجود در Q2K همان معادلات Q2E می‌باشند، به جز معادلات مربوط به BOD، DO و نیترات. معادلات اصلاح شده در Q2K با این معادلات در Q2E در جدول (۸-۳) مقایسه شده‌اند.

جدول (۸-۳) معادلات اصلاح شده در Q2K در مقایسه با Q2E.

پارامتر	مدل	معادلات
DO	Q2E	$\frac{dO}{dt} = k_2(O_s - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\mu)A - k_1L - \frac{k_5}{D} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2$
	Q2K	$\frac{dO}{dt} = k_2(O_s - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\mu)A - k_1L - \frac{k_5}{D} - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2 + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{D}$
BOD	Q2E	$\frac{dL}{dt} = -k_1L - k_3L$
	Q2K	$\frac{dL}{dt} = -k_1L - k_3L + \frac{k}{D} + \alpha_4\rho_2A$
نیترات	Q2E	$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2N_2 - (1-F)\alpha_1\mu A$
	Q2K	$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2N_2 - (1-F)\alpha_1\mu A - \beta_3N_3$

آزلینو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶) ترکیبی از مدل شبیه‌سازی QUAL2E و تجزیه و تحلیل مشخصه را برای ارزیابی سهم بار آلودگی مواد مغذی ناشی از منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای ورودی به آب‌های سطحی استفاده کردند. راج کانل<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷) با به‌کارگیری مدل QUAL2K خودکار برای مدل‌سازی کیفی و مدیریت آب رودخانه باگماتی<sup>۳</sup> نپال به این نتیجه رسیدند که اکسیژن‌دهی محلی بر بهبود غلظت اکسیژن محلول در آب مؤثر بوده و اختلاط فاضلاب اصلاح شده، افزایش جریان و اکسیژن محلی برای دستیابی به سطوح قابل قبول کیفیت آب مناسب می‌باشد. نخعی<sup>۴</sup> و اعتماد شهیدی<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) به بررسی کیفی آب رودخانه زاینده رود با استفاده از مدل QUAL2K پرداختند بررسی نتایج در کالیبراسیون و به‌خصوص اعتبارسنجی نشان داد که کیفیت آب زاینده‌رود در پایین‌دست به دلیل تخلیه آب مناطق صنعتی کاهش یافته است.

### ۳-۴-۲- مدل WASP6

مدل WASP6<sup>۶</sup> برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط آمبرو<sup>۷</sup> تهیه شده است. این مدل امکان شبیه‌سازی کیفی دوبعدی و سه‌بعدی منابع آب را دارا بوده و به راحتی می‌تواند برای شبیه‌سازی هیدرولیکی و کیفی مخازن و رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این مدل قابلیت شبیه‌سازی مجموعه‌ای متنوع از متغیرهای کیفی شامل دما، اکسیژن محلول، چرخه نیتروژن، چرخه فسفر، فلزات سنگین و کلی-فرم را دارا می‌باشد. برنامه WASP6 از دو بخش اساسی تشکیل شده است: بخش نخست زیر جز سموم Toxic 15 که امکان شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی و ترکیب نتایج با مدل پخش و انتقال آلودگی WASP را فراهم می‌سازد. بخش دوم از برنامه که EUTRO5 نام دارد، فرآیند مدل‌کردن

1. Azzellino

2. Raj Kannel

3. Bagmati

4. Nakhaei

5. Etemad Shahidi

6. Water Quality Analysis Simulation Program

7. Ambroz

اکسیژن محلول و مواد مغذی<sup>۱</sup> را انجام داده و نحوه تغییرات اجزاء کیفی آب را در اثر تغییرات مواد آلی و مواد مغذی پیش‌بینی می‌نماید (رازق‌منش، ۱۳۷۳).

برنامه شبیه‌سازی تحلیل کیفیت آب (WASP) به کاربر کمک می‌کند که در تصمیم‌گیری‌های مختلف در زمینه مدیریت آلودگی، واکنش کیفی سیستم‌های آبی را نسبت به پدیده‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی، تفسیر و پیش‌بینی کند. این مدل دینامیکی، این قابلیت را دارد که شبیه‌سازی کیفی را در ستون آب و در لایه کف (بستر) انجام دهد. فرآیندهای وابسته به زمان، انتقال، انتشار، بارگذاری نقطه‌ای و گسترده و تبادل از مرزها در این مدل ارائه شده‌اند.

انعطاف‌پذیری و گستردگی امکانات این مدل قابل تأمل است. WASP امکان ایجاد شبیه‌سازی یک، دو و سه بعدی، امکان مشخص کردن ضرایب تبدیل در واکنش‌های وابسته به زمان، جریان‌های انتقالی، بارآلودگی و شرایط مرزی کیفیت آب و امکان ایجاد ساختاری مناسب برای فرآیندهای سینتیکی را به کاربر می‌دهد. گرچه قابلیت‌های WASP از نظر پذیرفتن مسائل چند بعدی و منظور کردن تغییرات زمانی نکته قوتی است، سادگی تدوین ساختارهای جدید سینتیک، واکنش و صلب نبودن مدل را شاید بتوان مهم‌ترین قدر WASP به حساب آورد.

مدل نمایش ساده یک سیستم پیچیده است که تعدادی از مشخصه‌های سیستم را شبیه‌سازی می‌کند و در برگیرنده‌ی تشابه بدون عینیت است. یک مدل ریاضی به‌وسیله مجموعه‌ای از معادلات یک سیستم را نشان می‌دهد. این معادلات رابطه‌ی بین متغیرهای سیستم و پارامترهای سیستم را بیان می‌کند.

معمولاً هدف مدل این است که ما را در توضیح دادن درک و اصلاح کردن سیستم یاری کند. مدل یک شی ممکن است المثنی دقیقی از آن بوده و یا چکیده‌ای از خواص برجسته‌ی آن باشد. چون شبیه‌سازی با تمام اهمیتی که دارد تنها نوعی مدل‌سازی است. مدل‌ها می‌توانند به ما در سازماندهی و دسته‌بندی شاخص‌ها و ناسازگاری‌ها کمک کنند. در مسائل تصمیم‌گیری به‌منظور رسیدن به اهداف مورد نظر

می‌توان مساله را به صورت یک مدل ریاضی تبدیل نمود و از روش‌های بهینه‌سازی موجود بهره جست. تبدیل یک مساله تصمیم‌گیری به یک مدل ریاضی، مدل‌سازی نامیده می‌شود. مدل WASP به کاربر کمک می‌کند که به تفسیر و تخمین اثرات وقایع طبیعی و آلودگی‌های دست‌ساز برای حصول به تصمیمات منطقی در زمینه مدیریت آلودگی‌های مختلف بپردازد. مدل WASP یک مدل با ساختار دینامیکی برای مدل‌های آبی می‌باشد که فرآیند متغیر زمانی همانند جابجایی، پخشیدگی، بار جرم‌های نقطه‌ای و پخشی، و شرایط مرزی در برنامه اصلی را در نظر می‌گیرد.

فرآیند کیفی آب به صورت سیستماتیک در زیربرنامه‌های خاصی دیده شده‌اند و می‌توان از برنامه‌های موجود در مدل استفاده کرد و یا بسته به نیاز، برنامه خاصی برای آن‌ها نوشت و به آن‌ها اضافه کرد. این برنامه شامل دو زیربرنامه اصلی است. زیربرنامه TOXI برای شبیه‌سازی آینده‌های پایدار و زیربرنامه EUTRO برای شبیه‌سازی آلاینده‌های ناپایدار به کار می‌روند. انعطاف‌پذیری این مدل منحصر به فرد می‌باشد به طوری که به کاربر این امکان را می‌دهد که به ساختن مدل یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی بپردازد. همچنین کاربر می‌تواند تغییرات متغیرهای زمانی، جریان‌های جابجایی، بارهای فاضلابی و شرایط مرزی کیفی لب را با این مدل شبیه‌سازی کند. اصل بقای جرم، اصل اولیه هر دو برنامه هیدرودینامیکی و کیفی است. تغییرات مکانی و زمانی جرم متناظر با حجم و غلظت اجزاء کیفی آب، با استفاده از معادلات بیلان جرم، مورد بررسی قرار می‌گیرند. برنامه هیدرودینامیکی، بقای انرژی را نیز در بعد زمان و مکان در نظر می‌گیرد. به منظور شبیه‌سازی کیفی آب در یک پیکره آبی در سیستم مدل‌سازی WASP کاربر باید در ابتدا مسئله را به صورت شبکه‌ای نسبتاً ساده که توسط مدل قابل فهم باشد، تعریف کند و سپس متغیرهای شبیه‌سازی و تراز پیچیدگی مورد نیاز را تعیین کند.

رزاق منش (۱۳۸۳) از مدل ریاضی WASP برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه کر استفاده کرد و روشنگر ملکی (۱۳۸۴) به منظور بررسی اثرات منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه پسیخان در سال آبی ۸۳-۸۴ از دو مدل ریاضی wasp6 و MIKE 11 برای شبیه‌سازی پارامترهای آمونیم، نیترات، نیتروژن و

فسفات استفاده نمود. نتایج حاصل از دو مدل به‌منظور بررسی عملکرد بهتر مدل‌ها با هم مقایسه شدند و مقایسه نتایج، بیانگر عملکرد مناسب‌تر مدل wasp بود. این مدل با توجه به محدودیت موجود در اطلاعات مورد نیاز، شبیه‌سازی پارامترهای کیفی را به‌خوبی توانست انجام دهد.

### ۳-۴-۱- نگرشی بر سیستم مدل WASP

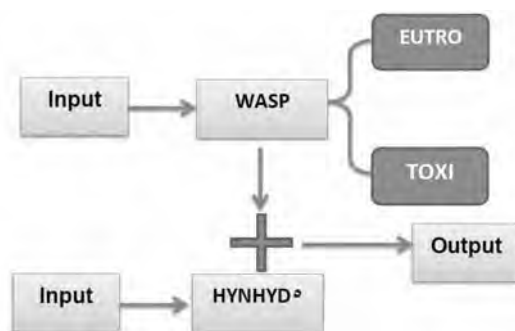
سیستم مدل WASP شامل دو برنامه کامپیوتری جدا می‌باشد، که عبارتند از DYNHYD5 و WASP که این دو برنامه می‌توانند هم‌زمان یا به‌صورت مجزا اجرا گردند. برنامه هیدرودینامیکی DYNHYD به شبیه‌سازی حرکات آب پرداخته. در برنامه WASP به شبیه‌سازی حرکت و واکنش بین مواد آلاینده در آب می‌پردازد. برنامه‌های دیگر هیدرودینامیکی غیر از DYNHYD نیز می‌توان در مدل WASP استفاده نمود. همانند مدل RIVMOD که جریان غیرماندگار را در روخانه به‌صورت یک بعدی شبیه‌سازی می‌نماید، و مدل SEDED که جریان غیرماندگار را به‌صورت سه بعدی در دریاچه‌ها با دو زیربرنامه سیستماتیک آلودگی‌های متعارف را شبیه‌سازی می‌نماید که این دو زیربرنامه برای آلاینده‌های زیر به کار می‌روند.

الف: آلاینده‌های متعارف مانند اکسیژن محلول، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز، مواد مغذی و نیتریفیکاسیون.

ب: آلاینده‌های سمی مانند مواد شیمیایی آلی، فلزات و رسوبات.

چگونگی اتصال برنامه‌های TOXI و EUTRO با برنامه WASP در شکل (۳-۲) نشان داده شده

است.



شکل (۲-۳) چگونگی اتصال برنامه‌های TOXI و EUTRO با برنامه WASP.

### ۳-۴-۲-۲- اصول پایه مدل کیفی WASP

همان‌طور که بیان گردید مدل WASP دارای ساختار دینامیکی می‌باشد که به‌منظور بررسی انواع آلاینده در محیط‌های تالاب، دریاچه مخازن، رودخانه‌ها، خورها و آب‌های ساحلی بکار می‌رود. در این قسمت به بیان اصول پایه مدل WASP پرداخته خواهد شد. معادله‌ای که به وسیله مدل WASP حل گردد، بر اساس اصل بقا جرم می‌باشد. در برنامه WASP از دیدگاه لاگرانژی، یعنی دنبال کردن یک ذره آب از نقطه ورود به‌صورت مکانی و زمانی تا نقطه انتها به‌صورتی که میزان جرم در مکان و زمان ثابت باقی بماند، استفاده شده است. به‌منظور حصول محاسبات تعادل جرم، کاربر بایستی داده‌های ورودی را با ویژگی‌های زیر مشخص سازد.

الف) شبیه‌سازی و کنترل خروجی

ب) قطعه‌بندی مدل

ج) انتقال به‌صورت جابجایی یا پخشیدگی

د) غلظت‌های مرزی

ه) سرچشمه بارهای نقطه‌ای و پخشی

و) پارامترهای سینماتیکی، ضرایب و توابع زمانی

ز) شرایط اولیه

این داده‌های ورودی به‌همراه معادله عمومی توازن جرمی مدل WASP و معادلات شیمیایی سینماتیکی مخصوص مجموعه‌ای از معادلات آلودگی را تشکیل می‌دهند. این معادلات در مدل WASP حل می‌گردند و فرآیند شبیه‌سازی را به‌صورت زمانی انجام می‌دهند.

### ۳-۴-۲-۳- فرآیند انتقال مدل

انتقال شامل فرایندهای جابجایی و پراکندگی مواد در آب می‌گردد. فرآیند جابجایی و پراکندگی در مدل WASP به شش نوع تقسیم می‌گردند. اولین نوع جابجایی همراه با جریان آب و اختلاط به‌صورت پراکندگی در ستون آب می‌باشند. جابجایی مواد را به‌سمت پایین دست همراه با آب برده و باعث رقیق‌شدگی مواد در آب می‌گردد. پراکندگی موجب اختلاط بیش‌تر بین مناطق با غلظت بالا و مناطق با غلظت کم شده و باعث رقیق شدن می‌گردد و دومین نوع انتقال، جابجایی مواد در داخل آب درون خلل و فرج رسوبات کف می‌باشد. مواد در طول بستر در داخل آب درون خلل و فرج حرکت کرده و بین آب و کف توسط پدیده انتشار جابجا می‌گردد. سومین و چهارمین و پنجمین نوع انتقال بیانگر انتقال ذرات جامد به شکل رسوب‌گذاری، تعلیق مجدد و ته‌نشینی می‌باشد. مواد محلول در آب جذب ذرات جامد می‌گردند و بین ستون آب و رسوبات کف در حال جابجایی می‌باشند. ششمین نوع انتقال شامل تبخیر از سطح آب‌های سطحی و بارندگی بر روی آب‌های سطحی می‌باشند. برای جریان آب، ممکن است کاربر مدل WASP را با برنامه هیدرودینامیکی متصل کند که بدین ترتیب مواردی از جمله دبی، حجم، عمق و سرعت، از این برنامه خوانده می‌گردد.



## ۳-۴-۲-۴- شبکه مدل

شبکه مدل شامل مجموعه‌ای از حجم کنترل‌های بسط یافته یا قطعات می‌باشد که همراه هم ساختار فیزیکی جسم آب را نشان می‌دهند. در شکل (۳-۲) می‌توان شبکه مدل را که به صورت طولی، جانبی و عمودی تقسیم شده است را مشاهده کرد. اگر مدل کیفی آب با مدل هیدرودینامیکی متصل گردد آنگاه قطعات ستون آب بایستی اتصالات هیدرودینامیکی را نشان دهند. غلظت اجزای کیفی آب در هر کدام از قطعات محاسبه شده و آهنگ انتقال اجزای کیفی آب در طول سطح مشترک قطعات متصل به هم محاسبه می‌گردد. قطعات در مدل WASP چهار نوع می‌باشد که به وسیله متغیر ورودی ITYPE مشخص شده و عبارتند از:

۱- عدد یک نشان دهنده اپیلیمنیون یا لایه سطحی می‌باشد.

۲- عدد دو نشان دهنده هایپولیمنیون یا لایه زیر سطحی می‌باشد.

۳- عدد سه نشان دهنده لایه زیرین بالایی می‌باشد.

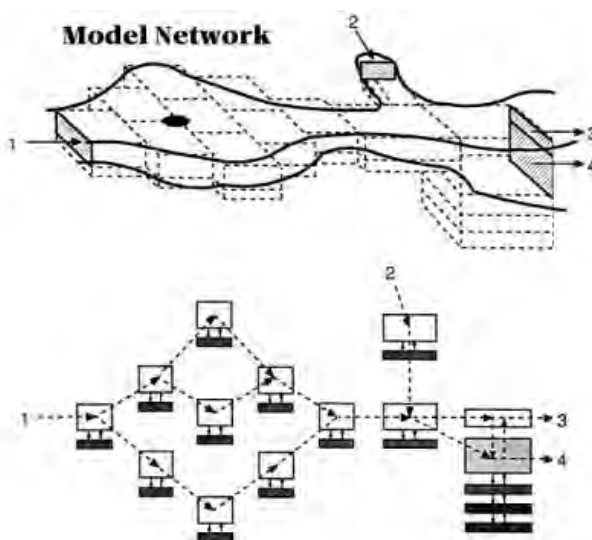
۴- عدد چهار نشان دهنده لایه کف بستر می‌باشد.

نوع قطعات نقش مهمی را در رسوب گذاری کف و فرآیند تبدیل کامل انجام می‌دهند. کاربر بایستی به دقت به مرتب سازی قطعات در کنار یکدیگر بپردازد. قطعات به طور اتوماتیک در زیر هر قطعه با متغیر IBOTSG مشخص می‌گردد. این تنظیمات زمانی اهمیت پیدا میکند که نور بخواهد از یک قطعه به قطعه دیگری در ستون آب وارد گردد یا این که مواد در کف باقی مانده و یا ساییده شوند. حجم قطعات و فاصله زمانی شبیه سازی به هم وابسته می‌باشند. به طوری که یکی از آن‌ها افزایش و یا کاهش یابد دیگری نیز افزایش یا کاهش می‌یابد تا دقت و پایداری حل برقرار بماند.

## ۳-۴-۳- مدل CE-QUAL-W2

این مدل یک شبیه ساز دو بعدی است که توسط مرکز تحقیقات مهندسی راه‌های آبی ارتش آمریکا<sup>۱</sup> برای مخازن و خلیج‌ها ایجاد شده است و قادر است هیدرودینامیک و کیفیت آب پیکره‌های آبی را در دو

راستای قائم و طولی شبیه‌سازی نماید. معادلات مربوط به هیدرودینامیک و کیفیت آب به صورت مستقیم کوپل شده و مدل قادر به پیش‌بینی جریان تحت تأثیر تغییرات چگالی آب در اثر دما، شوری و غلظت مواد جامد می‌باشد. به لحاظ هیدرودینامیکی مدل قادر به پیش‌بینی تغییرات تراز سطح آب و سرعت می‌باشد. به دلیل اثر دما بر چگالی آب، محاسبات مربوط به دما در زیر سیستم هیدرودینامیک گنجانده شده و نمی‌توان آن را از فرآیند محاسبات هیدرودینامیک حذف کرد. به لحاظ بررسی‌های کیفی عملاً هر ترکیب از پارامترهای کیفی را می‌توان در فرآیندهای شبیه‌سازی منظور نمود و یا آن‌ها را از فرآیندهای شبیه‌سازی مربوطه حذف نمود. اثرات شوری یا کل جامدات محلول، بر چگالی و هیدرودینامیک فقط موقعی منظور خواهد شد که آن‌ها نیز در در مدول کیفیت آب مورد شبیه‌سازی قرار گرفته باشند. الگوریتم مورد استفاده در بررسی کیفی آب کاملاً مؤلفه‌ای<sup>۱</sup> بوده و به سادگی امکان اضافه کردن پارامترهای کیفی دیگر وجود دارد. علاوه بر دما تعدادی از پارامترهای کیفی چون فسفر محلول، آمونیاک و سایر پارامترهای کیفی را می‌توان توسط این نرم‌افزار شبیه‌سازی نمود. همچنین مدل قابلیت شبیه‌سازی تغییرات  $DO$  و جلبک متأثر از تغییرات مواد مغذی و مواد آلی را دارد.



شکل (۳-۳) شبکه مدل

راژدار (۱۳۸۸) پارامترهای NO و PO در رودخانه پسیخان را با استفاده از نرم‌افزار CE-QUAL-W2 شبیه‌سازی کرد. نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌یابی مدل برای داده‌های شبیه‌سازی شده در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای و همچنین مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج شبیه‌سازی مدل MIKE11 دقت بالای مدل را برای شبیه‌سازی به‌صورت یک بعدی نشان داد.

### ۳-۴-۴-۳ مدل MIKE11

مدل MIKE11 یک مدل یک‌بعدی است که توسط مؤسسه هیدرولیک دانمارک<sup>۱</sup> برای شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ها، کانال‌ها و شبکه‌های آبیاری تهیه شده است. این مدل مدول‌های مختلفی را شامل می‌شود که نتایج به‌دست آمده از هر مدول در فایل‌های مخصوص به آن ذخیره می‌شوند. این مدول‌ها عبارتند از:

۱- مدول هیدرودینامیک ( $HD11$ ). (\*)

۲- مدول پخشیدگی و پراکنش<sup>۲</sup> ( $AD$ ). (\*)

۳- مدول انتقال رسوب ( $ST11$ ). (\*)

۴- مدول کیفیت آب ( $WQ11$ ). (\*)

۵- مدول بارندگی-رواناب ( $RR11$ ). (\*)

۶- مدول پیش‌بینی سیل ( $FF11$ ). (\*)

مدول هیدرودینامیک که قسمت اصلی سیستم مدل‌سازی MIKE11 است، به‌عنوان مدولی پایه برای دیگر مدول‌ها از جمله پیش‌بینی سیل، پخشیدگی و پراکنش، کیفیت آب و مدول‌های انتقال رسوب غیرچسبنده است. در این مدول معادلات سنت‌ونانت و معادلات پیوستگی به‌صورت غیرخطی در بین تمام

1. Institute Hydraulic Denmark

2. Advection-Dispersion

نقاط شبکه‌بندی در گام‌های زمانی مشخص حل می‌گردند. پارامترهای کیفی که توسط این نرم‌افزار شبیه‌سازی می‌شوند، شامل اکسیژن محلول، نیاز اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی و مواد مغذی است.

### ۳-۴-۵- مدل HEC-RAS

نرم افزار *HEC-RAS* نرم‌افزاری است که در مرکز مهندسی هیدرولوژی<sup>۱</sup> که بخشی از مؤسسه منابع آب<sup>۲</sup> انجمن مهندسی ارتش آمریکا، تهیه شده است. این نرم‌افزار توسط برونر<sup>۳</sup> سرپرست گروه تهیه *HEC-RAS* طراحی شده است. نرم‌افزار *HEC-RAS* برای اولین بار در جولای ۱۹۹۵ وارد بازار شد. این نرم‌افزار جایگزین نرم‌افزار *HEC-2* شد که تنها قادر به تعیین پروفیل‌های سطح آب در حالت جریان ماندگار بود. از جمله مهم‌ترین قابلیت‌های این نرم‌افزار این است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار را می‌دهد. علاوه بر این می‌توان فرآیند تحلیل پخش سیلاب، محاسبه آب‌شستگی در پل‌ها، انجام تحلیل‌های کیفیت آب و انتقال رسوب را نیز با استفاده از این نرم‌افزار انجام داد. این نرم‌افزار از روش عددی *QUICKEST-ULTIMATE* برای حل معادله پخش-انتقال یک بعدی استفاده می‌کند. این روش حاصل ادغام الگوی *QUICKEST* و عامل محدودکننده حل عددی تحت عنوان *ULTIMATE* می‌باشد. هم‌چنین نرم‌افزار *HEC-RAS* قادر به شبیه‌سازی پارامترهای کیفی هم‌چون دمای آب، جزء پایدار، جزء ناپایدار، چرخه نیتروژن (نیتروژن نیتریتی، نیتروژن نیتراتی، نیتروژن آمونیاکی و نیتروژن آلی)، چرخه فسفر (آلی و محلول)، جلبک، نیاز اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی کربناتی و اکسیژن محلول می‌باشد. قبل از انجام فرآیند شبیه‌سازی باید نرم‌افزار از لحاظ هیدرولیکی کاملاً کالیبره شده باشد.

## ۳-۴-۶- مدل WEAP

مؤسسه محیط‌زیست استکهلم حمایت اصلی را از توسعه WEAP انجام داده است. مرکز مهندسی هیدرولوژی جامعه مهندسين ارتش آمریکا (HEC) بودجه زیادی را برای پیشرفت کار تخصیص داده است. تعدادی از نهادها از جمله بانک جهانی و USAID صندوق زیربنای جهانی ژاپن از این طرح حمایت کرده‌اند. WEAP در ارزیابی آب در چندین کشور از جمله آمریکا، مکزیک، برزیل، آلمان، غنا، حمایت کرده‌اند. بوركینافاسو، کنیا، آفریقای جنوبی، موزامبیک، مصر، عمان، آسیای میانه، سری لانکا، هند، نپال، چین، کره جنوبی و تایلند بکار گرفته شده است. WEAP ابزاری کامپیوتری برای برنامه‌ریزی یک‌پارچه منابع آب است. این ابزار چهارچوبی جامع، قابل انعطاف و کاربر دوست را برای تحلیل سیاست‌ها فراهم می‌کند. تعداد متخصصانی که WEAP را به جمع مدل‌ها، پایگاه‌های داده، صفحات گسترده و سایر نرم‌افزارهای خود اضافه می‌کنند، رو به افزایش است. WEAP با هدف دخیل کردن این مقادیر در یک ابزار کاربردی برای برنامه‌ریزی منابع آب توسعه داده شده است. مزیت اصلی WEAP در رویکرد یک‌پارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها می‌باشد. WEAP در معادلات خود، مسائل مربوط به نیاز (الگوهای مصرف آب، راندمان تجهیزات، استفاده مجدد، هزینه‌ها و تخصیص) را هم‌گام با مسائل مربوط به منابع (جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) لحاظ کرده است. WEAP آزمایشگاهی برای امتحان کردن راهبردهای متنوع توسعه و مدیریت آب است.

WEAP جامع، صریح و آسان بوده و بیشتر از این‌که جایگزین یک برنامه‌ریز ماهر باشد، به او کمک می‌کند به‌عنوان یک پایگاه داده WEAP سیستمی را برای حفظ اطلاعات منابع و مصارف فراهم کرده است. به‌عنوان یک ابزار پیش‌بینی WEAP نیازهای آبی، منابع، جریان‌ها، حجم ذخیره، تولید و تصفیه و تخلیه آلودگی را شبیه‌سازی می‌کند. به‌عنوان یک ابزار تحلیل سیاست WEAP محدوده کاملی از

گزینه‌های توسعه و مدیریت آب را ارزیابی کرده و مصارف چندگانه و رقیب از سیستم‌های آبی را در محاسبات منظور می‌کند.

## فصل چهارم: آشنایی با مدل QUAL2KW

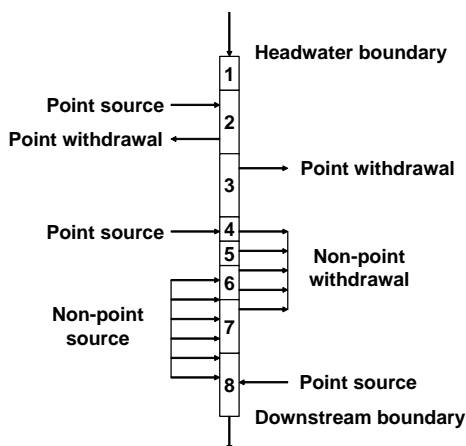
مدل QUAL2Kw از سری مدل‌هایی است که درآری محیط اکسلی می‌باشد و اجرای مدل در محیط اکسل صورت می‌گیرد. تمام توابع رابط در زبان ماکرو اکسل تحت برنامه ویژوال بیسیک برنامه نویسی شده و همچنین تمام محاسبات عددی در فرترن ۹۰، برای سرعت انجام به اجرا در آمده است. برای استفاده از مدل Q2Kw جهت شبیه‌سازی رودخانه‌ها باید یک سری اطلاعات ورودی به مدل جمع‌آوری یا تعیین شوند. این داده‌ها به‌طور کلی عبارتند از: داده‌های هندسی رودخانه، داده‌های هیدرولیکی، داده‌های هواشناسی، داده‌های کیفی آب رودخانه، ضرایب سینتیکی مورد استفاده در معادلات مدل و داده‌های کمی و کیفی منابع ورودی به رودخانه می‌باشند. مدل Q2Kw قادر است مقدار غلظت آلودگی‌ها را در مرز پایین دست محاسبه نماید.

### ۴-۱- هندسه و هیدرولیک مدل

اولین قدم برای مدل‌سازی یک رودخانه، ساده‌سازی سیستم ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌منظور فرموله کردن ریاضی آن است. برای نیل به این هدف مسیر رودخانه به تعدادی بازه تقسیم می‌شود. که این تقسیم‌بندی می‌تواند در مقاطعی که تغییر ناگهانی در میزان دبی رودخانه یا کیفیت آن صورت می‌گیرد

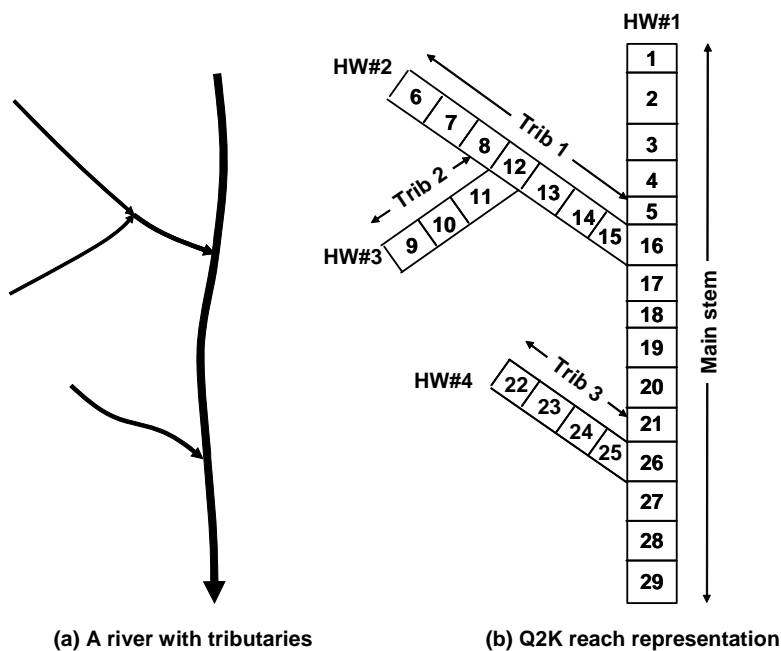
نظیر محل تخلیه فاضلاب‌های شهری یا صنعتی و یا محل ورود انشعابات فرعی رودخانه‌ها و یا در مقطعی که تغییری در شرایط هیدرولیکی رودخانه‌ها ایجاد می‌شود، انجام می‌گیرد. بر مبنای این تقسیم‌بندی پارامترهای مورد نظر در فرمول‌های کیفی در هر بازه محاسبه و در طول آن ثابت در نظر گرفته می‌شود.

مدل Q2Kw یک رودخانه را به صورت یک سری از بازه‌ها نمایش می‌دهد. بازه‌ها قطعاتی از رودخانه هستند که مشخصات هیدرولیکی ثابتی دارند (مانند: شیب کف، زبری مانینگ و ...). بازه‌ها به صورت صعودی و با شروع از بالادست جریان اصلی رودخانه شماره‌گذاری می‌شوند. ورودی‌ها و خروجی‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در هر جایی از طول مسیر رودخانه می‌توانند قرار بگیرند. همچنین مدل می‌تواند هر بازه‌ای را به تعداد دلخواهی عنصر با حجم کنترل (واحد محاسباتی بنیادی مدل) تقسیم‌بندی کند، که عناصر مربوط به هر بازه دارای طول یکسانی هستند و طول عناصر از بازه‌ای به بازه دیگر می‌تواند متفاوت باشد (برخلاف Q2E که تمام عناصر دارای طول یکسانی می‌باشند). چگونگی تقسیم‌بندی و نحوه شماره گذاری هر بازه از رودخانه در شکل‌های (۴-۱) و (۴-۲) نشان داده شده است. مدل Q2Kw برای هریک از شاخه‌های فرعی همانند شاخه اصلی رودخانه شبیه‌سازی انجام داده و نمودار جداگانه‌ای برای هر کدام از آن‌ها ترسیم می‌کند.

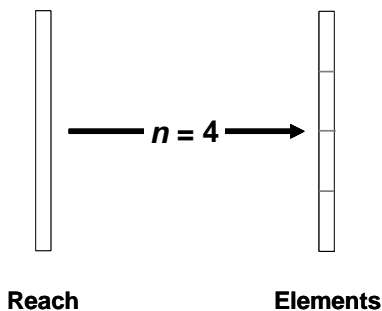


شکل (۴-۱) تقسیم‌بندی مدل Q2K برای رودخانه بدون شاخه.





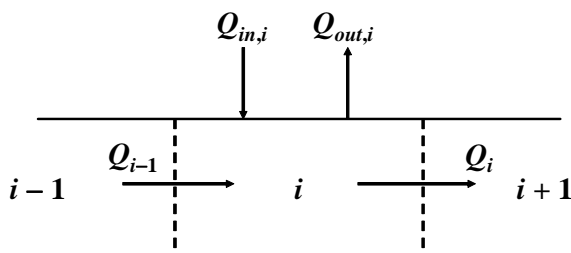
شکل (۴-۲) تقسیم‌بندی مدل Q2Kw برای رودخانه شاخه‌دار.



شکل (۴-۳) تقسیم یک بازه از رودخانه با مشخصات معین به چند المان.

#### ۴-۱-۱- موازنه جریان

برای هر عنصر محاسباتی موازنه جریان در حالت پایدار و ماندگار به صورت روابط زیر انجام می‌شود.



شکل (۴-۴) موازنه جریان برای هر عنصر.

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{out,i} \quad (۱-۴)$$

$$Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} \quad (۲-۴)$$

$$Q_{out,i} = \sum_{j=1}^{pai} Q_{pa,i,j} + \sum_{j=1}^{npai} Q_{npa,i,j} \quad (۳-۴)$$

$Q_{in,i}$ : کل جریان ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به عنصر  $i$  ( $m^3/d$ ).

$Q_{out,i}$ : کل جریان خروجی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به عنصر  $i$  ( $m^3/d$ ).

$Q_i$ : میزان جریان خروجی از عنصر  $i$  به عنصر  $i+1$  ( $m^3/d$ ).

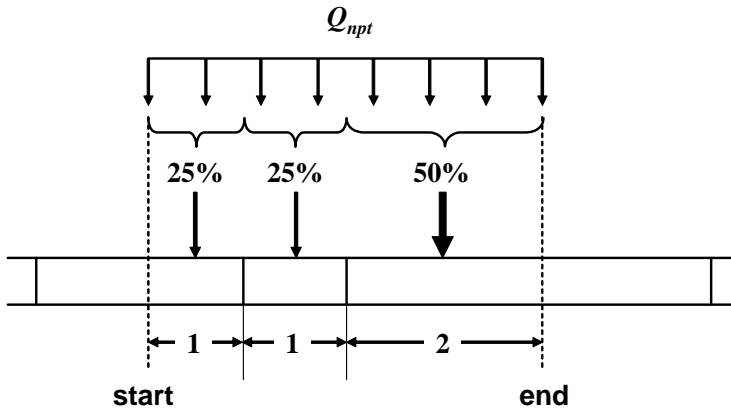
$Q_{i-1}$ : میزان جریان خروجی از عنصر  $i-1$  ( $m^3/d$ ).

در روابط بالا منظور از ps منابع نقطه‌ای و nps منابع غیرنقطه‌ای می‌باشد.

مدل Q2K ورودی‌ها و یا خروجی‌های غیرنقطه‌ای را به صورت خطی شبیه‌سازی می‌کند. شروع و

پایان این منابع را به صورت شکل (۴-۵) در نظر گرفته و با توجه به بار ورودی به هر عنصر، به آن وزن

می‌دهد. بنابراین باید طول منابع ورودی یا خروجی غیرنقطه‌ای معلوم باشد.



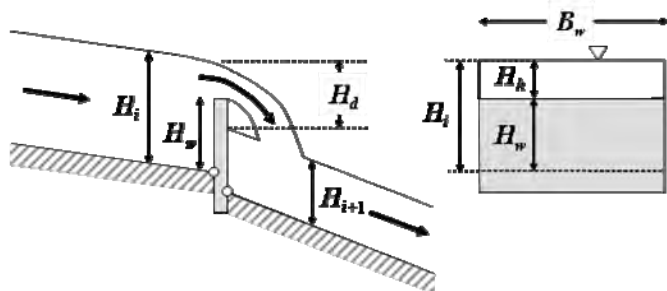
شکل (۴-۵) چگونگی در نظر گرفتن منابع غیرنقطه‌ای ورودی به یک عنصر در مدل Q2Kw.

#### ۴-۱-۲- خصوصیات هیدرولیکی

برای محاسبه دبی خروجی از هر عنصر سه روش در مدل وجود دارد، شامل: روش سرریزها (اگر ارتفاع و عرض سرریزها وارد مدل شوند)، روش منحنی‌های سنجه (اگر ضرایب و توان‌های  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$ ,  $b$  در معادلات  $H = \alpha Q^\beta$  و  $U = aQ^b$  وارد مدل شوند) و روش معادلات مانینگ (اگر ضرایب معادله مانینگ وارد مدل شوند).

#### ۴-۱-۲-۱- روش سرریز

شکل (۴-۶) سرریزهای استفاده شده در مدل Q2Kw را نشان می‌دهد. که در آن  $H_i$  = عمق عنصر بالادست سرریز بر حسب متر،  $H_{i+1}$  = عمق عنصر پایین دست سرریز بر حسب متر،  $H_w$  = ارتفاع از سطح آب تا نوک سرریز در بالا دست بر حسب متر،  $H_d$  = فاصله تاج تا بالاترین تراز آب پشت سرریز،  $H_h$  = بار هیدرولیکی و  $B_w$  = عرض سرریز بر حسب متر می‌باشد.



شکل (۴-۶) موقعیت قرارگیری ارتفاعات خواسته شده در مدل برای سرریز.

زمانی که  $H_i/H_w < 0.4$  باشد دبی جریان از رابطه زیر محاسبه می شود (فینمور<sup>۱</sup> و فرانزینی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲):

$$Q_i = 1.83 B_w H_h^{3/2} \quad (۴-۴)$$

که در آن دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $H_w$  و  $B_w$  بر حسب متر می باشند. با توجه به معادله می توان گفت:

$$H_h = \left( \frac{Q_i}{1.83 B_w} \right)^{2/3} \quad (۵-۴)$$

$$H_i = H_w + H_h \quad (۶-۴)$$

سطح مقطع ( $A_{c,i}$ )، سرعت ( $U_i$ )، سطح و حجم ( $V_i$ ) عنصر  $i$  را می توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$A_{c,i} = B_i H_i \quad (۷-۴)$$

$$U_i = \frac{Q_i}{A_{c,i}} \quad (۸-۴)$$

$$A_{s,i} = B_i \Delta x_i \quad (۹-۴)$$

1 . Finnemore

2 . Franzini

$$V_i = B_i H_i \Delta x_i \quad (۱۰-۴)$$

که  $B_i$  = عرض،  $\Delta x_i$  = طول عنصر lam می‌باشد.

#### ۴-۱-۲-۲- روش منحنی‌های سنجه

منحنی سنجه رودخانه یکی از مشخصه‌های مهم رودخانه در یک مقطع معین است و عبارت است از رابطه بین سطح تراز آب از یک مبنا به مقدار بده یا دبی رودخانه در همان مقطع.

$$U = aQ^b \quad (۱۱-۴)$$

$$H = \alpha Q^\beta \quad (۱۲-۴)$$

که در آن  $\alpha$ ،  $b$  و  $\beta$  ضرایب تجربی هستند. به منظور تعیین سطح مقطع و عرض از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$A_c = \frac{Q}{U} \quad (۱۳-۴)$$

$$B = \frac{A_c}{H} \quad (۱۴-۴)$$

مساحت سطح و حجم هر مقطع را می‌توان از روابط زیر محاسبه کرد:

$$A_s = B \Delta x \quad (۱۵-۴)$$

$$V = B H \Delta x \quad (۱۶-۴)$$

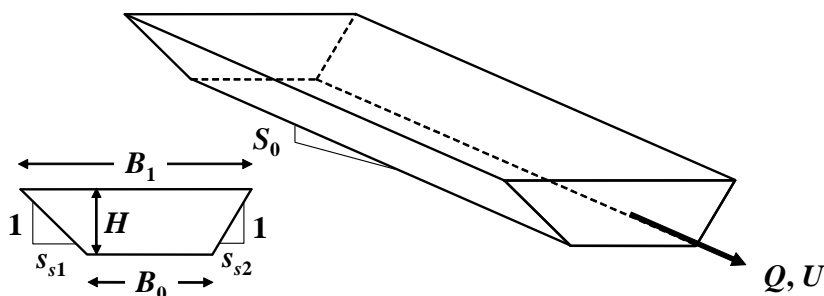
مقادیر  $b$  و  $\beta$  در جدول زیر ارائه شده است. مجموع مقادیر  $b$  و  $\beta$  باید کوچک‌تر یا برابر یک باشد، در غیر این صورت عرض با افزایش جریان کاهش خواهد یافت و هنگامی که مجموع آن‌ها برابر ۱ باشد، کانال مستطیل شکل است.

جدول (۱-۴) مقادیر نمونه ضرایب  $b$  و  $\beta$  برای تعیین سرعت و عمق جریان (بارنل<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۹).

محدوده	مقدار معمول	پارامتر	معادله
۰/۶-۰/۴	۰/۴۳	$b$	$U = aQ^b$
۰/۵-۰/۳	۰/۴۵	$\beta$	$H = \alpha Q^\beta$

### ۳-۱-۲-۳- معادله مانینگ

در هر مقطع از رودخانه می‌توان با تعیین مشخصات هندسی رودخانه از قبیل عرض کف، شیب طولی و شیب دیواره‌ها و استفاده از معادلات مانینگ، سرعت جریان و عمق آب را تعیین نمود. با توجه به این‌که رودخانه‌ها شکل هندسی منظمی ندارند بایستی مقطع رودخانه را به شکل دوزنقه در نظر گرفت که در هر بازه پارامترهای هندسی آن مشخص می‌باشد.



شکل (۷-۴) کانال دوزنقه‌ای و پارامترهای هندسی آن در مدل Q2Kw.

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{n} \frac{A_c^{5/3}}{P^{2/3}} \quad (۱۷-۴)$$

$$A_c = [B_0 + 0.5(ss_1 + ss_2)H]H \quad (۱۸-۴)$$

$$P = B_0 + H\sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H\sqrt{s_{s2}^2 + 1} \quad (۱۹-۴)$$

که در آن  $A_c$  = مساحت سطح ذوزنقه‌ای و  $P$ : محیط خیس شده است.

با جایگزینی دو معادله آخر در معادله مانینگ و حل آن بر حسب عمق خواهیم داشت (چاپرا<sup>۱</sup> و کنل<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶):

$$H_k = \frac{(Qn)^{3/5} \left( B_0 + H_{k-1} \sqrt{s_{s1}^2 + 1} + H_{k-1} \sqrt{s_{s2}^2 + 1} \right)^{2/5}}{S^{3/10} [B_0 + 0.5(s_{s1} + s_{s2})H_{k-1}]} \quad (2-4)$$

مقدار ضریب زبری مانینگ برای مقاطع مختلف متفاوت می‌باشد و مقادیر پیشنهادی برای هر مقطع در جدول (۲-۴) آورده شده است. مقادیر این ضریب با تغییر جریان و عمق تغییر خواهد کرد (رسگون<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶).

جدول (۲-۴) ضریب زبری مانینگ برای کانال‌های روباز (چاو<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۸۸).

$n$	مصالح
کانال دست ساز	
۰/۰۱۲	بتنی
کف شن با دیواره‌های	
۰/۰۲۰	بتنی
۰/۰۳۳	سنگ ریزه
کانال با آبراهه طبیعی	
۰/۰۲۵-۰/۰۴	تمیز و مستقیم
۰/۰۵-۰/۰۳	تمیز، ماریچ با برخی از علف‌های هرز
۰/۰۵	آبگیر با علف‌های هرز
۰/۱-۰/۰۴	رودخانه‌های کوهستانی همراه تخته سنگ
۰/۲-۰/۰۵	علف هرز زیاد

مقدار این ضریب از ۰/۱۵، برای مقاطع صاف تا ۰/۱۵، برای مقاطع طبیعی با زبری بسیار بالا در مواقعی که رودخانه پر آب می‌باشد متغیر خواهد بود. مقدار این ضریب برای شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه‌ها در شرایط بحرانی که عمق جریان بسیار کم می‌باشد، خیلی بیشتر از مقادیر ذکر شده خواهد بود.

#### ۴-۱-۳- زمان پیمایش

مدت زمان عبور توده آب از نقطه‌ای معین به نقطه‌ای دیگر از پایین‌دست از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau_k = \frac{V_k}{Q_k} \quad (۲۱-۴)$$

در آن  $T_k$  = زمان پیمایش بر حسب روز،  $V_k$  = حجم عنصر K بر حسب مترمکعب و  $Q$  = دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه.

#### ۴-۱-۴- پراکندگی طولی

در برنامه برای میزان پراکندگی طولی بین دو مقطع دو گزینه در نظر گرفته است. (۱) خود کاربر میزان آن را به صورت دستی وارد برنامه می‌کند، (۲) اگر کاربر مقدار را وارد نکند، برنامه از یک فرمول برای محاسبه پراکندگی داخلی بر اساس هیدرولیک کانال استفاده می‌کند (فیشر<sup>۱</sup>، ۱۹۷۹).

$$E_{p,i} = 0.011 \frac{U_i^2 B_i^2}{H_i U_i^*} \quad (۲۲-۴)$$

$E_{p,i}$  = پراکندگی طولی بین دو مقطع بر حسب متر مربع بر ثانیه،  $U_i$  = سرعت بر حسب متر بر ثانیه،  $B_i$  = عرض بر حسب متر،  $H_i$  = عمق متوسط بر حسب متر و  $U_i^*$  = سرعت برشی بر حسب متر بر ثانیه.



$$U_i^* = \sqrt{gH_i S_i} \quad (۲۳-۴)$$

که در آن  $g$  = شتاب ثقل بر حسب متر مربع بر ثانیه و  $S$  = شیب کانال می‌باشد.

پس از محاسبه پراکندگی طولی، پراکندگی عددی محاسبه می‌شود.

$$E_{n,i} = \frac{U_i \Delta x_i}{2} \quad (۲۴-۴)$$

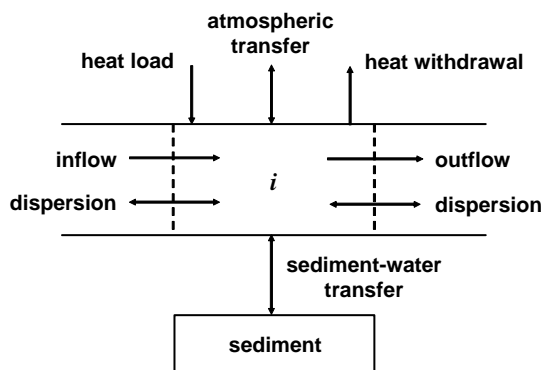
اگر  $E_{n,i} \leq E_{p,i}$  باشد میزان پراکندگی  $E_i$  برابر  $E_{p,i} - E_{n,i}$  خواهد بود.

اگر  $E_{n,i} > E_{p,i}$  باشد، پراکندگی مدل صفر می‌باشد.

#### ۴-۲- مدل درجه حرارت

یکی از پارامترهای مهم در شبیه‌سازی کیفیت آب رودخانه، میزان درجه حرارت در هر نقطه از رودخانه می‌باشد. تغییر درجه حرارت بر کیفیت آب رودخانه، میزان اکسیژن محلول، نرخ کاهش BOD و... تأثیر می‌گذارد (رسگون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶). بنابراین تعیین درجه حرارت در هر بازه حائز اهمیت است. عواملی که در تعیین میزان درجه حرارت مؤثرند عبارتند از: دمای اولیه آب رودخانه، دمای هوای سطح زمین و بستر رودخانه، دمای منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای ورودی به رودخانه، شدت جریان نور خورشید، وضعیت جوی هوا، طول روز و ... .

موازنه درجه حرارت برای عنصر  $i$  به صورت زیر خواهد بود شکل (۴-۸) نیز عوامل مؤثر بر درجه حرارت و چگونگی موازنه آن را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۸) موازنه درجه حرارت برای یک عنصر در مدل Q2K (سنگل، ۱۹۹۸).

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} T_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i-1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i} \left( \frac{m^3}{10^6 \text{ cm}^3} \right) \quad (۴-۲۵)$$

$$+ \frac{J_{a,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left( \frac{m}{100 \text{ cm}} \right) + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} \left( \frac{m}{100 \text{ cm}} \right)$$

$T_i$ : دمای عنصر  $i$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T$ : زمان (day).

$Q$ : دبی ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$V$ : حجم ( $\text{m}^3$ ).

$E'_i$ : ضریب پخش حجمی بین عناصر  $i$  و  $i+1$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

$W_{h,i}$ : میزان درجه حرارت خالص ورودی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای ( $\text{cal}/\text{d}$ ).

$\rho_w$ : چگالی آب ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$C_{pw}$ : گرمای ویژه آب ( $\text{cal}/(\text{g } ^{\circ}\text{C})$ ).

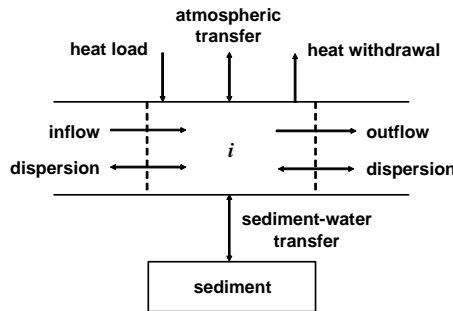
$J_{a,i}$ : شار حرارتی عبوری بین آب و هوا ( $\text{cal}/(\text{cm}^2 \text{ d})$ ).

$J_{s,i}$ : شار حرارتی عبوری بین آب و رسوب ( $\text{cal}/(\text{cm}^2 \text{ d})$ ).

بار حرارتی خالص منابع از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{h,i} = \rho C_p \left[ \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} T_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} T_{npsi,j} \right] \quad (۲۶-۴)$$

که در آن  $T_{ps,i,j}$  = درجه حرارت منبع نقطه‌ای زام برای عنصر  $i$ ام و  $T_{nps,i,j}$  = درجه حرارت منبع غیرنقطه‌ای زام برای عنصر  $i$ ام برحسب درجه سانتی‌گراد است. شکل عوامل مؤثر در درجه حرارت و چگونگی موازنه آن را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۹) میزان موازنه درجه حرارت برای یک المان (Cengel, 1998).

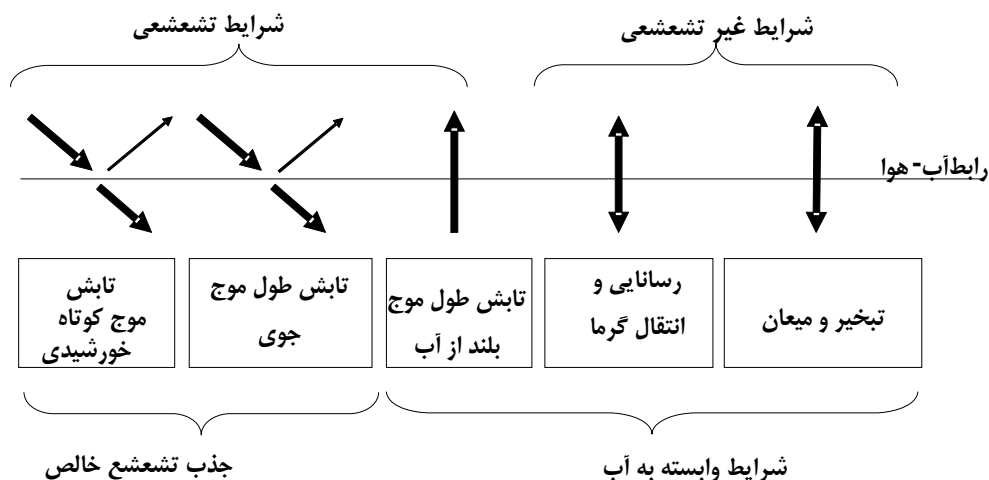
#### ۴-۲-۱- سطح شار حرارتی

تبادل حرارت سطح به صورت شکل (۴-۱۰) انجام می‌گیرد.

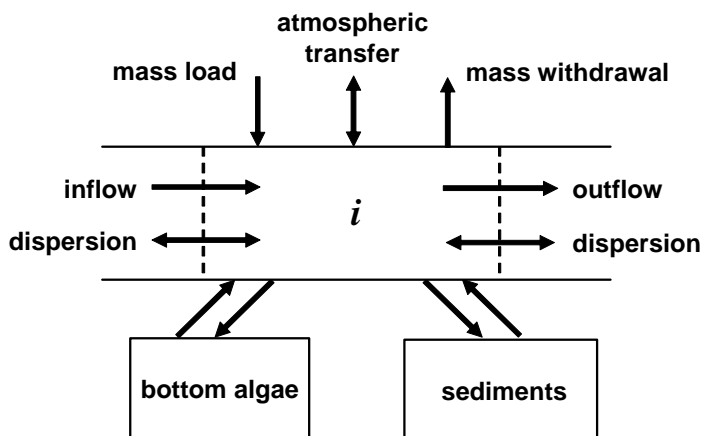
#### ۴-۳- اجزای اصلی مدل

##### ۴-۳-۱- پارامترهای کیفی و موازنه جرم کلی

موازنه جرم در شکل (۴-۱۱) و اجزای اصلی مدل در جدول (۴-۳) فهرست شده‌اند. در این جدول متغیرهایی که در خود مدل به کار رفته‌اند شرح داده شده. برای تمام متغیرهای گفته شده به جز متغیرهای مربوط به جلبک، یک معادله موازنه جرم کلی در یک عنصر به صورت زیر نوشته می‌شود.



شکل (۴-۱۰) تبادل حرارت سطح در مدل  $Q2Kw$  (چاپرا<sup>۱</sup> و پلتر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳).



شکل (۴-۱۱) موازنه جرم در یک عنصر محاسباتی در مدل  $Q2Kw$  (چاپرا و پلتر، ۲۰۰۳).

برای همه این پارامترها به جز جلبک‌های کف یک موازنه جرم کلی برای هر المان به‌صورت زیر

نوشته می‌شود:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \quad (27-4)$$

میزان دبی جرمی ورودی به سیستم از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$W_i$ : ورودی یک جزء از منابع خارجی (g/d or mg/d).

$S_i$ : چشمه یا چاه‌های یک جزء در نتیجه مکانیسم‌های واکنش و انتقال جرم (g/m<sup>3</sup>/d or )

(mg/m<sup>3</sup>/d).

جدول (۳-۴) متغیرهای مدل Q2Kw.

متغیر	علامت	واحد
هدایت الکتریکی	$s$	$\mu mhos$
جامدات معلق معدنی	$m_i$	$mgD/L$
اکسیژن محلول	$o$	$mgO_2/L$
BOD کربنی کند	$c_s$	$mgO_2/L$
BOD کربنی سریع	$c_f$	$mgO_2/L$
نیتروژن آلی	$n_o$	$\mu gN/L$
نیتروژن آمونیاکی	$n_a$	$\mu gN/L$
نیتروژن نیتراتی	$n_n$	$\mu gN/L$
فسفر آلی	$p_o$	$\mu gP/L$
فسفر معدنی	$p_i$	$\mu gP/L$
فیتوپلانکتون	$a_p$	$\mu gA/L$
پسماند	$m_o$	$mgD/L$
پاتوزن	$X$	$cfu/100\text{ MI}$
قلیائیت	$Alk$	$mgCaCO_3/L$
کل کربن معدنی	$c_T$	$mole/L$
جلبک	$a_b$	$mgA/m^2$
نیتروژن ناشی از جلبک	$IN_b$	$mgN/m^2$
فسفر ناشی از جلبک	$IP_b$	$mgP/m^2$

D: وزن خشک o: اکسیژن N: نیتروژن P: فسفر A: کلی فرم.

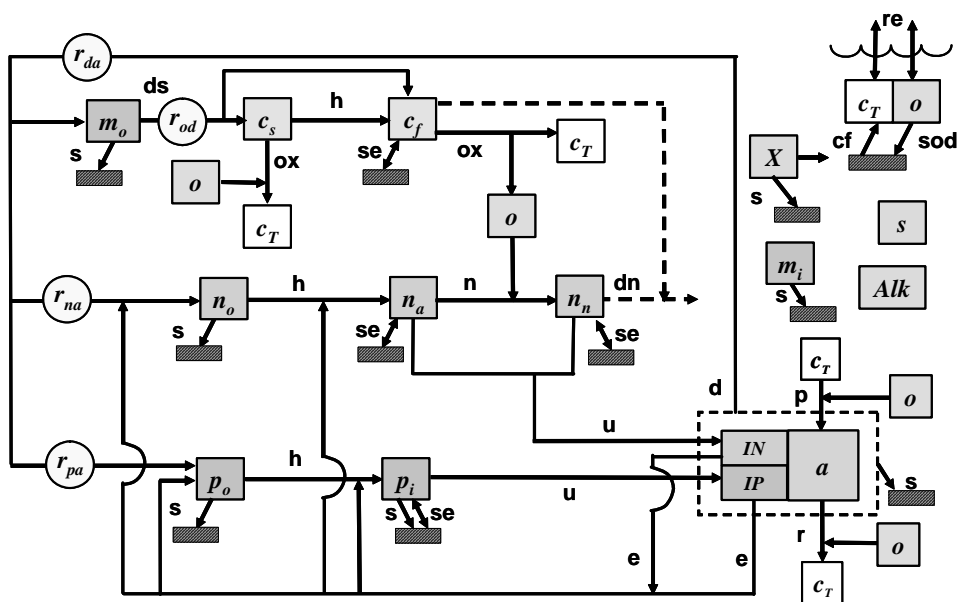
و میزان دبی جرمی ورودی به سیستم از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} C_{psi,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} C_{npsi,j} \quad (۴-۲۸)$$

برای جلبک‌های کف، ترم‌های مربوط به انتقال جرم و جرم ورودی به سیستم حذف می‌شوند.

منابع تولید و مصرف هر یک از متغیرهای پایدار در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است (نیتروژن و

فسفر موجود در جلبک‌های کف در این شکل نشان داده شده است).



شکل (۴-۱۲) سینتیک مدل و فرآیندهای انتقال جرم (چاپرا و پلیتر، ۲۰۰۸).

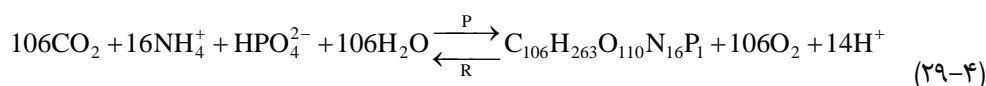
#### ۴-۳-۲- واکنش‌ها

#### ۴-۳-۱- واکنش‌های بیوشیمیایی

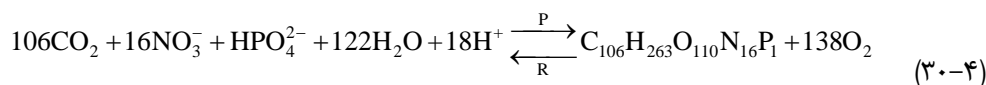
معادلات شیمیایی زیر برای نشان دادن واکنش‌های بیوشیمیایی استفاده می‌شود (استوم<sup>۱</sup> و مورگان<sup>۲</sup>، ۱۹۹۶).

#### فتوسنتز و تنفس گیاهان:

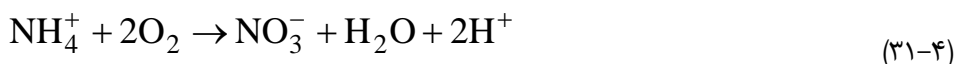
الف- آمونیوم به عنوان ماده غذایی:



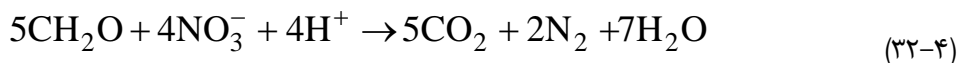
ب- نیترات به عنوان ماده غذایی:



ج- نیتریفیکاسیون:



د- دی نیتریفیکاسیون:



#### ۴-۳-۲- استوکیومتری مواد آلی

مقادیر استوکیومتری مواد آلی می‌بایستی به مدل داده شود. مقادیر زیر به منظور تخمین اولیه در مدل سازی پیشنهاد می‌شود (ردفیلد<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۵۳ و چاپرا<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷).

$$100\text{gD}:40\text{gC}:7200\text{mgN}:1000\text{mgP}:1000\text{mgA} \quad (33-4)$$

D، C، N و P به ترتیب عبارتند از وزن خشک، کربن، نیتروژن، فسفر و کلروفیل آ. مقدار مربوط به کلروفیل آ بسیار متغیر می باشد و می تواند بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰ maA تغییر کند (لاوز<sup>۲</sup> و چالپ<sup>۳</sup>، ۱۹۹۰).

### الف- تولید و مصرف اکسیژن:

میزان تولید و مصرف اکسیژن باید برای مدل تعیین شود. میزان اکسیژن تولیدی و مصرفی در حالت های زیر توسط مدل محاسبه می گردد.

#### الف-۱- آمونیاک به عنوان ماده غذایی:

$$r_{oca} = \frac{106 \text{ moleO}_2 (32 \text{ gO}_2/\text{moleO}_2)}{106 \text{ moleC} (12 \text{ gC}/\text{moleC})} = 2.67 \frac{\text{gO}_2}{\text{gC}} \quad (34-4)$$

#### الف-۲- نیترات به عنوان ماده غذایی:

$$r_{ocn} = \frac{138 \text{ moleO}_2 (32 \text{ gO}_2/\text{moleO}_2)}{106 \text{ moleC} (12 \text{ gC}/\text{moleC})} = 3.47 \frac{\text{gO}_2}{\text{gC}} \quad (35-4)$$

#### الف-۳- فرایند نیترات زایی:

$$r_{on} = \frac{2 \text{ moleO}_2 (32 \text{ gO}_2/\text{moleO}_2)}{1 \text{ moleN} (14 \text{ gN}/\text{moleN})} = 4.57 \frac{\text{gO}_2}{\text{gN}} \quad (36-4)$$



### الف-۴- مصرف CBOD<sup>۱</sup> در فرآیند دنیتریفیکاسیون:

میزان CBOD که در فرآیند دنیتریفیکاسیون مصرف می‌شود به شرح زیر خواهد بود:

$$r_{ondn} = 2.67 \frac{\text{gO}_2}{\text{gC}} \frac{5 \text{ moleC} \times 12 \text{ gC/moleC}}{4 \text{ moleN} \times 14 \text{ gN/moleN}} \times \frac{1 \text{ gN}}{1000 \text{ mgN}} = 0.00286 \frac{\text{gO}_2}{\text{mgN}} \quad (37-4)$$

### ۴-۳-۲- اثر دما روی واکنش‌ها

اثر دما روی واکنش‌های رده اول استفاده شده در مدل Q2K به صورت زیر می‌باشد. بنابراین اگر دما بیشتر و یا کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد روی نرخ یا سرعت واکنش‌های رده اول مورد استفاده در مدل تأثیر می‌گذارد.

$$k(T) = k(20)\theta^{T-20} \quad (38-4)$$

$k(T)$ : سرت یا نرخ واکنش در دمای  $T$  درجه سانتی‌گراد  $(1/d)$ .

$k(20)$ : سرعت یا نرخ واکنش در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد  $(1/d)$ .

$\theta$ : ضریب دما.  $T$ : دما.

### ۴-۳-۲- واکنش‌های پارامترهای کیفی

معادلات و روابط ریاضی حاکم بر واکنش‌ها به طور مجزا در زیر آورده شده است:

### الف- ماده پایدار

طبق تعریف ماده پایدار ماده‌ای است که در واکنش‌ها شرکت نمی‌کند، به عبارت دیگر:

$$S_s = 0$$

**ب- فیتوپلانکتون**

$$S_{ap} = \text{PhytoPhoto} - \text{PhytoResp} - \text{PhytoDeath} - \text{PhytoSettl} \quad (39-4)$$

**پ- جلبک‌های کف**

جلبک‌های کف در فرآیند نیتریفیکاسیون، افزایش و در فرآیند مرگ و میر و تنفس، کاهش می‌یابند:

$$S_{ap} = \text{BoyA lg Photo} - \text{BotA lg Resp} - \text{BotA lg Death} \quad (40-4)$$

**ت- مواد آلی به‌صورت ذره**

دتریتوس‌ها با مواد آلی ریز در اثر مرگ گیاهان افزایش و به‌علت حل شدن و ته‌نشین شدن کاهش می‌یابند.

$$S_{mo} = r_{da} \text{PhytoDeath} + r_{da} \frac{\text{BotAlgDeath}}{H} - \text{DetrDiss} - \text{DetrSettl} \quad (41-4)$$

**ث- CBOD کند**

میزان CBOD در اثر حل شدن ذرات آلی افزایش و در اثر هیدرولیز و اکسیداسیون کاهش می‌یابد.

$$S_{cs} = (1 - F_f) r_{od} \text{DetrDiss} - \text{SlowCHydr} - \text{SlowCOxid} \quad (42-4)$$

**ج- CBOD تند**

میزان CBOD تند در اثر مرگ ذرات آلی و هیدرولیز CBOD، افزایش و در اثر اکسیداسیون، دی‌نیتریفیکاسیون و فتوسنتز گیاهان کاهش پیدا می‌کند.

$$S_{cf} = F_f r_{od} \text{DetrDiss} + \text{SlowCHydr} - \text{FastCOxid} - r_{ondn} \text{Denitr} \quad (43-4)$$

### چ- نیتروژن آلی

نیتروژن آلی در اثر مرگ گیاهان افزایش و در اثر هیدرولیز و ته‌نشینی کاهش می‌یابد.

$$S_{no} = f_{onp} q_{Np} \text{PhytoDeath} + f_{onb} q_{Nb} \frac{\text{BotAlgDeath}}{H} - \text{ONHydr} - \text{ONSettl} \quad (4-44)$$

### ح- نیتروژن آمونیاکی

نیتروژن آمونیاکی در طول فرآیند هیدرولیز نیتروژن آلی و تنفس فیتو پلانکتون‌ها افزایش می‌یابد. مقدار این پارامتر در اثر فرآیندها نیتریفیکاسیون و فتوستنز گیاهان کاهش پیدا می‌کند.

$$S_{na} = \text{ONHydr} + (1-f_{onp}) q_{Np} \text{PhytoDeath} + (1-f_{onb}) q_{Nb} \frac{\text{BotAlgDeath}}{H} + \text{PhytoExN} + \frac{\text{BotAlgExN}}{H} - \text{Nitrif} - P_{ap} \text{PhytoUpN} - P_{ab} \frac{\text{BotAlgUpN}}{H} - \text{NH3GasLoss} \quad (4-45)$$

### خ- نیتروژن نیتراتی

مقدار نیتروژن نیتراتی در اثر نیتریفیکاسیون آمونیاک افزایش و در اثر فرآیند دنیتریفیکاسیون و فتوستنز گیاهان کاهش می‌یابد.

$$S_{ni} = \text{Nitrif} - \text{Denitr} - (1-P_{ab}) \frac{\text{BotAlgUptakeN}}{H} \quad (4-46)$$

### د- فسفر آلی

فسفر آلی در طول فرآیند مرگ گیاهان، افزایش و در اثر هیدرولیز و ته‌نشینی کاهش می‌یابند.

$$S_{po} = f_{opp} q_{Pp} \frac{\text{PhytoDeath}}{H} + f_{opb} q_{Pb} \frac{\text{BotAlgDeath}}{H} - \text{OPHydr} - \text{OPSettl} \quad (4-47)$$

### ذ- فسفر غیرآلی

میزان فسفر غیرآلی در فرآیندهای هیدرولیز فسفر آلی و تنفس فیتوپلانکتون‌ها افزایش و در اثر فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد.

$$S_{pi} = \text{OPHydr} + (1-f_{opp}) q_{pp} \text{PhytoDeath} + (1-f_{opb}) q_{pb} \frac{\text{BotAlgDeath}}{H} + \text{PhytoExp} + \frac{\text{BotAlgExp}}{H} - \text{PhytoUpP} - \frac{\text{BotAlgUpP}}{H} - \text{IPSettl} \quad (4-48)$$

### ر- مواد معلق غیر آلی

مواد معلق غیرآلی در اثر ته‌نشینی کاهش می‌یابند.

$$\text{InorgSettl} = \frac{v_i}{H} m_i \quad (4-49)$$

$$S_{mi} = - \text{InorgSet} \quad (4-50)$$

### ز- اکسیژن محلول

اکسیژن محلول در اثر فتوسنتز گیاهان افزایش می‌یابد. میزان اکسیژن محلول در اثر اکسیداسیون CBOD، نیتریفیکاسیون و تنفس گیاهان کاهش می‌یابد. بسته به این که آب در حال فوق اشباع باشد و یا در حالت زیر اشباع در طول فرآیند هوادهی مجدد اکسیژن می‌گیرد و یا از دست می‌دهد.

$$S_o = r_{oa} \text{PhytoPhoto} + r_{oa} \frac{\text{BotAlgPhoto}}{H} - r_{oc} \text{FastCOxid} - r_{on} \text{NH4Nitr} - r_{oa} \text{PhytoResp} - r_{oa} \frac{\text{BotAlgResp}}{H} + \text{OxReaer} \quad (4-51)$$

$$\text{Ox Reaer} = k_a (T)(o_s(T, elev) - o) \quad (4-52)$$

### س- اکسیژن اشباع

در مدل رابطه زیر برای تعیین میزان اکسیژن محلول اشباع به کار گرفته می‌شود [۶۵].

$$\ln o_s(T, 0) = -139.34411 + \frac{1.575701 \times 10^5}{T_a} - \frac{6.642308 \times 10^7}{T_a^2} \quad (۵۳-۴)$$

$$+ \frac{1.243800 \times 10^{10}}{T_a^3} - \frac{8.621949 \times 10^{11}}{T_a^4}$$

$$o_s(T, elev) = e^{\ln o_s(T, 0)} (1 - 0.0001148 elev) \quad (۵۴-۴)$$

### ش- روابط مربوط به هوادهی مجدد

میزان ضریب هوادهی مجدد  $k_a$  (در دمای ۲۰ درجه) با توجه به هیدرولیک رودخانه و سرعت جریان

باد تعیین می‌شود.

$$k_a(20) = k_{ah}(20) + \frac{K_{Lw}(20)}{H} \quad (۵۵-۴)$$

در رابطه فوق  $K_{Lw}$  ضریب انتقال جرم بازدمش براساس سرعت باد و  $k_{ah}$  نرخ هوادهی مجدد در دمای

۲۰ درجه می‌باشد که بر اساس مشخصات هیدرولیکی رودخانه محاسبه می‌گردد. برای تعیین این مقدار

روابط متعددی در مراجع مختلف ذکر شده که به ذکر آن‌ها می‌پردازیم. در این روابط  $U$  سرعت باد بر

حسب متر بر ثانیه و  $H$  عمق آب بر حسب متر می‌باشد.

#### ش-۱- رابطه اکانر-دوبینس<sup>۱</sup> (اکانر<sup>۲</sup>، ۱۹۸۵):

$$k_{ah}(20) = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}} \quad (۵۶-۴)$$

#### ش-۲- رابطه چارچیل<sup>۳</sup> (چارچیل و همکاران، ۱۹۶۴):

$$k_{ah}(20) = 5.026 \frac{U}{H^{1.67}} \quad (۵۷-۴)$$

1 . O'Connor-Dobbins

2 . O'connor

3 . Churchill

ش-۳- رابطه اونس- گیبس<sup>۱</sup> (اونس<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۷۶):

$$k_{ch}(20) = 5.32 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}} \quad (۵۸-۴)$$

ش-۴- رابطه سیوگلو- نیل<sup>۳</sup> (سیوگلو و نیل، ۱۹۷۶):

برای دبی‌های کم (بین ۰/۰۲۸۳ تا ۰/۴۲۲۷ متر مکعب بر ثانیه):

$$k_{ch}(20) = 31,183 US \quad (۵۹-۴)$$

برای دبی‌های بالا (بین ۰/۴۲۲۷ تا ۸۴/۹۳۸ متر مکعب بر ثانیه):

$$k_{ch}(20) = 15,308 US \quad (۶۰-۴)$$

در این روابط S شیب کانال می‌باشد.

1 . Owens-Gibbs  
2 . Owens  
3 . Tsivoglou-Neal

### ش-۵- رابطه تاکستون- داوسون<sup>۱</sup> (تاکستون و داوسون، ۲۰۰۱):

$$k_{ah}(20) = 2.16(1 + 9F^{0.25}) \frac{U_*}{H} \quad (۶۱-۴)$$

$$F = \frac{U}{\sqrt{gH_d}} \quad (۶۲-۴)$$

$$H_d = \frac{A_c}{B_t} \quad (۶۳-۴)$$

$$U_* = \sqrt{gR_h S} \quad (۶۴-۴)$$

در این روابط F عدد فرود و  $U_*$  سرعت برشی بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد.

### ش-۶- روش USGS (ملچینگ<sup>۳</sup> و فلورس<sup>۴</sup>، ۱۹۹۹):

برای دبی‌های کمتر از ۰/۵۵۶ متر مکعب بر ثانیه:

$$k_{ah}(20) = 517(US)^{0.524} Q^{-0.242} \quad (۶۵-۴)$$

برای دبی‌های بیشتر از ۰/۵۵۶ متر مکعب بر ثانیه:

$$k_{ah}(20) = 596(US)^{0.528} Q^{-0.136} \quad (۶۶-۴)$$

### ش-۷- روش Internal (کوار<sup>۵</sup>، ۱۹۷۶):

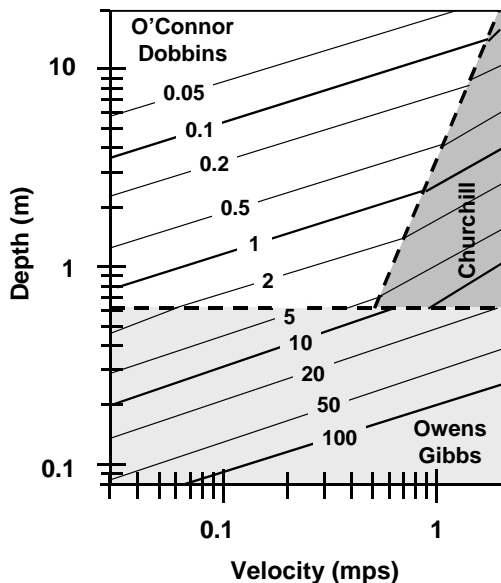
با توجه به الگوی تهیه شده توسط Covar نیز می‌توان میزان هوادهی مجدد را محاسبه نمود.

چگونگی این الگو در شکل (۴-۱۳) آمده است:

✓ اگر  $H < 0.61 \text{ m}$ : استفاده از رابطه اونس- گیس.

✓ اگر  $H > 0.61 \text{ m}$  و  $H > 3.45 U_*^{2.5}$ : استفاده از رابطه اکائر- دوبینس.

✓ در غیر این صورت استفاده از رابطه چارچیل.



شکل (۴-۱۳) نرخ هوادهی مجدد در مقابل عمق و سرعت (کوار، ۱۹۷۶).

همان‌طور که گفته شد میزان هوادهی مجدد به مشخصات هیدرولیکی و سرعت باد بستگی دارد. تأثیر

سرعت باد طبق دو رابطه زیر ترم  $K_{lw}$  می‌باشد:

ش-۷-۱- رابطه بنکس - هررا<sup>۱</sup> (بنکس و هررا، ۱۹۷۷):

$$K_{lw} = 0.728U_{w,10}^{0.5} - 0.317U_{w,10} + 0.0372U_{w,10}^2 \quad (۴-۶۷)$$



ش-۷-۲- رابطه واینخوف<sup>۱</sup> (واینخوف، ۱۹۹۱):

$$K_{lw} = 0.0986U_{w,10}^{1.64} \quad (۶۸-۴)$$

### ص- پاتوژن‌ها

تغییر میزان پاتوژن‌ها در اثر مرگ و میر و ته نشینی حاصل می‌شود که در رابطه زیر آمده است:

$$S_x = -\text{PathDeath} - \text{PathSettl} \quad (۶۹-۳)$$

مرگ پاتوژن‌ها به علت مرگ طبیعی و نور می‌باشد (چاپرا و سنگل<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶). مرگ پاتوژن‌ها در صورت

عدم حضور نور به وسیله معادلات درجه اول شبیه‌سازی می‌شود:

$$\text{PathDeath} = k_{dx}(T)X + \alpha_{path} \frac{I(0)/24}{k_e H} (1 - e^{-k_e H})X \quad (۷۰-۴)$$

و در حضور نور:

$$\text{PathSettl} = \frac{v_x}{H}x \quad (۷۱-۴)$$

### ط- اسیدیته pH

برای تعیین میزان pH معادلات تعادل، موازنه جرم و الکترون خنثایی زیر که در آن‌ها کربن غیرآلی

عامل تعیین کننده می‌باشد به کار می‌رود (استوم و مورگان<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶).

$$K_1 = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]} \quad (۷۲-۴)$$

$$K_2 = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad (۷۳-۴)$$

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (۷۴-۴)$$

$$\text{Alk} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (۷۵-۴)$$

فعالیت در معادلات فوق بر حسب اکسی والانت در لیتر می‌باشد. ولی در مدل مقادیر ورودی و خروجی بر حسب  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$  می‌باشد. چگونگی تبدیل به شکل زیر است:

$$Alk (\text{mgCaCO}_3 / \text{L}) = 50,000 \times Alk (\text{eq} / \text{L}) \quad (۷۶-۴)$$

میزان تعادل به کمک روابط زیر برای درجه حرارت‌های مختلف تصحیح می‌شود:

هاند و همبر<sup>۱</sup> (۱۹۹۳):

$$\text{p}K_w = \frac{4787.3}{T_a} + 7.1321 \log_{10}(T_a) + 0.010365T_a - 22.80 \quad (۷۷-۴)$$

پلامر و بوسنبرگ<sup>۲</sup> (۱۹۸۲):

$$\log K_1 = -356.3094 - 0.06091964T_a + 21834.37/T_a + 126.8339 \log T_a - 1,684,915/T_a^2 \quad (۷۸-۴)$$

$$\log K_2 = -107.8871 - 0.03252849T_a + 5151.79/T_a + 38.92561 \log T_a - 563,713.9/T_a^2 \quad (۷۹-۴)$$

برای حل معادلات فوق بایستی از روش‌های عددی بهره گرفت. با ترکیب روابط (۷۲-۳)، (۷۳-۳) و (۷۴-۳) خواهیم داشت:

$$\alpha_0 = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H}^+]^2 + K_1[\text{H}^+] + K_1K_2} \quad (۸۰-۴)$$

$$\alpha_1 = \frac{K_1[\text{H}^+]}{[\text{H}^+]^2 + K_1[\text{H}^+] + K_1K_2} \quad (۸۱-۴)$$

$$\alpha_2 = \frac{K_1K_2}{[\text{H}^+]^2 + K_1[\text{H}^+] + K_1K_2} \quad (۸۲-۴)$$

1 . Harned and Hamer

2 . Plummer and Busenberg

که مقادیر  $\alpha_0$ ،  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  به ترتیب کسری از کربن غیرآلی دی اکسید کربن، بی کربنات و کربنات می باشند.

$$\text{Alk} = (\alpha_1 + 2\alpha_2)c_T + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] \quad (۸۳-۴)$$

$$f([H^+]) = (\alpha_1 + 2\alpha_2)c_T + \frac{K_w}{[H^+]} - [H^+] - \text{Alk} \quad (۸۴-۴)$$

$$pH = -\log[H^+] \quad (۸۵-۴)$$

در مدل QUAL2KW روش های نیوتن رافسون و روش نصف کردن برای حل این معادلات در نظر گرفته شده است (چاپرا، ۲۰۰۷ و چسماند و تونسنده، ۲۰۰۹). روش نیوتن رافسون نسبت به روش نصف کردن سریع تر به جواب می رسد، در در زمان واگرایی می توان از روش نصف کردن استفاده نمود.

### ظ- کل کربن غیرآلی

کل کربن غیرآلی در طول فرآیند اکسیداسیون سریع کربن و تنفس گیاهان افزایش و در اثر فرآیند فتوسنتز گیاه کاهش می یابد. بسته به این که آب در حالت فوق اشباع یا زیر اشباع از دی اکسید کربن باشد میزان آن در طول فرآیند هوادهی مجدد افزایش یا کاهش می یابد.

$$S_{cT} = r_{cco} \text{FastCOxid} + r_{cca} \text{PhytoResp} + r_{cca} \frac{\text{BotAlgResp}}{H} - r_{cca} \text{PhytoPhoto} - r_{cca} \frac{\text{BotAlgPhoto}}{H} + \text{CO2Reaer} \quad (۸۶-۴)$$

$$\text{CO}_2 \text{ Reaer} = k_{ac}(T)([CO_2]_s - \alpha_0 c_T) \quad (۸۷-۴)$$

## و- قلیایت

میزان قلیایت توسط مدل با توجه به فرآیندهای تنفس و فتوسنتز گیاهان، هیدرولیز نیتروژن و فسفر، نیتریفیکاسیون و دی نیتریفیکاسیون تعیین می شود.

## فصل پنجم: نحوه کار با مدل QUAL2Kw

### ۵-۱- نحوه کار با نرم افزار

مدل qual2kw رودخانه را به صورت یک بعدی همراه با جریان دائمی غیریکنواخت شبیه سازی می کند و می تواند اثر بارگذاری را هم به صورت نقطه ای و هم غیرنقطه ای در نظر بگیرد. این مدل قادر است تا ۱۹ پارامتر کیفی آب را شبیه سازی کند و به منظور تعیین غلظت پارامترهای کیفی به حل عددی معادله جابجایی - پخش در رودخانه می پردازد.

### ۵-۲- معرفی منوهای نرم افزار

Q2KW به وسیله شیت هایی در منوی اکسل تشکیل شده است. رنگ هایی که برای فهماندن اطلاعاتی که به وسیله کاربر وارد می شوند یا خروجی های نرم افزار به صورت زیر هستند:

زرد: داده هایی که کاربر وارد کرده است را نشان می دهد، این داده ها در نمودارها نشان داده خواهند شد.

آبی: داده هایی که باید توسط کاربر وارد شوند.

سبز: خروجی Q2KW را نشان می دهد.

سیاه: برای نام گذاری استفاده می شود.

تمام برگه های کار دارای سه دکمه اند (شکل (۵-۱):

(۱) Open Old Files: اگر روی این دکمه کلیک شود مرورگر به صورت اتوماتیک باز می شود تا فایل های داده در دسترس قرار گیرد.

(۲) Run VBA: این کلید اجازه می دهد که مدل به وسیله VBA اجرا شود و فایل های داده ها که دارنده مقادیر وارداتی اند را در خود جای دهد. فایل های داده بعدا می توانند با استفاده از کلید Open Old Files در دسترس قرار گیرند.

(۳) Run Fortran: به وسیله این دکمه برنامه با Fortran اجرا می شود و فایل های داده که دارای مقادیر وارداتی اند را تولید می کند. فایل های داده ها بعدا می توانند با استفاده از کلید Open Old Files در دسترس قرار گیرند.

نسخه Fortran و VBA نتایج یکسانی می دهند و تنها تفاوت آن ها این است که Fortran به مراتب سریع تر مدل را اجرا می کند.



شکل (۵-۱) منو استفاده شده در تمام سربرگ ها.

## ۵-۲-۱- برگه کار QUAL2KW<sup>۱</sup>

برگه کار QUAL2KW (شکل (۵-۲)) برای این استفاده می شود تا اطلاعات عمومی مربوط به کاربرد خاص، به مدل وارد شود.

	A	B	C
2	<b>Stream Water Quality Model</b>	<b>Open</b>	<b>Run</b>
3	<i>Greg Pelletier, Steve Chapra, and Hua Tao</i>	<b>File</b>	<b>VBA</b>
4	<i>Department of Ecology and Tufts University</i>		<b>Fortran</b>
5			
6			
7	<b>System ID:</b>		
8	<b>River name</b>	Boulder Creek (Colorado, USA)	
9	<b>Saved file name</b>	BC_1987-08-21	
10	<b>Directory where the input/output files are saved</b>		
11	<b>Month</b>	8	
12	<b>Day</b>	21	
13	<b>Year</b>	1987	
14	<b>Local standard time zone relative to UTC</b>	.7 hours	
15	<b>Daylight savings time</b>	Yes	
16	<b>Simulation and output options:</b>		
17	<b>Calculation step</b>	11.25 minutes	
18	<b>Number of days</b>	5 days	
19	<b>Solution method (integration)</b>	Euler	
20	<b>Solution method (pH)</b>	Brent	
21	<b>Simulate hyporheic exchange and pore water quality</b>	No	
22	<b>Display dynamic diel output</b>	Yes	
23	<b>State variables for simulation</b>	All	
24	<b>Simulate sediment diagenesis</b>	Option 1	
25	<b>Simulate alkalinity change due to nutrient change</b>	Yes	
26	<b>Write dynamic output of water quality</b>	No	
27	<b>Program determined calc step</b>	11.25 minutes	
28	<b>Time elapsed during last model run</b>	0.29 minutes	
29	<b>Time of sunrise</b>	6:17 AM	
30	<b>Time of solar noon</b>	1:03 PM	
31	<b>Time of sunset</b>	7:49 PM	
32	<b>Photoperiod</b>	13.54 hours	
33			

QUAL2K Headwater / Reach / Reach Rates / Initial Conditions / Air Temperature / Dew Point Temperature / Win

شکل (۵-۲) برگه کار QUAL2KW

- (۱) River Name: اسم رود یا مسیلی که مدل سازی می شود. بعد از اجرای مدل این نام با تاریخ اجرای مدل بر روی تمامی برگه های کار و چارت ها نمایش داده می شود.
- (۲) Save File Name: نامی از فایل داده تولید شده به وسیله Q2KW.
- (۳) Directory where file saved: محلی که داده ها در آن ذخیره می شوند را نمایش می دهد.
- (۴) Month: ماه شبیه سازی است و با فرمت عددی وارد می شود.
- (۵) Day: روز شبیه سازی.
- (۶) Year: سال شبیه سازی.
- (۷) Daylight saving time: معمولاً در بهار و تابستان زمن را به اندازه یک ساعت به جلو می برند، که به وسیله این گزینه جابجایی زمان را مشخص می کنیم.

۸) Calculation step: این گام زمانی برای محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد و باید کوچک‌تر از ۴ ساعت باشد. اگر کاربر مقدار زمانی بزرگ‌تر از ۴ ساعت را وارد نماید، برنامه به‌طور اتوماتیک گام‌های محاسباتی را روی ۴ ساعت تنظیم می‌کند. این سطح تراز از تفکیک‌پذیری مورد نیاز است تا تعداد مناسبی نقطه برای نقشه‌های نرم و بدون شکستگی فراهم آید.

۹) Number of days: این سلول مدت زمان محاسبات را تعریف می‌کند و باید یک عدد صحیح، بزرگ‌تر مساوی ۲ روز باشد. این محدودیت به‌خاطر این که مدل در وجه زمانی متغیر تا زمانی که به حالت پایدار برسد اجرا می‌شود، اعمال می‌گردد. بنابراین اولین روز شبیه‌سازی به‌وسیله تعاریفات، اجباراً تحت تأثیر شرایط اولیه می‌باشد. اگر کاربر مقداری کم‌تر از ۲ روز را وارد کند برنامه به‌صورت اتوماتیک زمان نهایی را در ۲ روز تنظیم می‌نماید. زمان نهایی حداقل باید ۲ برابر زمان سفر رودخانه باشد. برای نهرها با مدت سفر کوتاه که جلبک‌ها کف شبیه‌سازی شده‌اند، معمولاً باید این مقدار بزرگ‌تر باشد.

۱۰) Solution method (integration): دارای یک زبانه پایین‌رونده می‌باشد و به شما اجازه می‌دهد که از میان سه روش عددی برای حل معادلات دیفرانسیلی برای حالت‌های متغیر یکی را انتخاب کنید.

a- Euler's method

b- Runge- Kutta

c- an adaptive time step metod

روش گام تطبیقی (روش c) تنها زمانی در دسترس است که از Fortran برای اجرای برنامه استفاده شود. روش اولر به‌عنوان پیش‌فرض توصیه می‌شود زیرا معمولاً نتایج به‌قدر مناسب دقیق و صحیح را به‌دست می‌دهد. برای مواردی که نتایج غیرپایدار با روش اولر اتفاق می‌افتد و یا به دقت بیشتری نیاز است، می‌توان از روش محاسباتی سنگین‌تر یعنی رانگ کوتا استفاده نمود. روش اولر سریع‌تر از رانگ کوتا بوده ولی دارای دقت کمتری می‌باشد و نیازمند گام‌های زمانی کوچک‌تر برای پایداری و دقت است.



۱۲) Solution method (pH): دارای یک زبانه پایین‌رونده می‌باشد که به شما اجازه می‌دهد از بین دو روش عددی برای حل pH با استفاده از محل ریشه یکی را انتخاب کنید.

a) Newton-Raphson

b) Bisection

روش نیوتن رافسون به‌عنوان پیش فرض پیشنهاد می‌شود زیرا سریع‌تر است، هر چند مواردی وجود دارد که می‌تواند در آن‌ها غیرپایدار باشد. در چنین مواردی از گزینه b استفاده می‌شود.

۱۳) Simulate hyporheic exchange and pore water quality: سه گزینه برای تبادل

هایپرهئیک<sup>۱</sup> و کیفیت آب در اختیار کاربر قرار می‌دهد

الف- No را انتخاب کنید تا از انتقال جرم بین ستون آب و آب منفذی هایپرهئیک و سینیتیک کیفیت آب در قسمت هایپرهئیک صرف نظر شود.

ب- level 1 را انتخاب کنید تا انتقال جرم بین ستون آب و آب منفذی هایپرهئیک با سینیتیک کیفیت آب در قسمت هایپرهئیک به‌عنوان افزایش درجه صفر (مرتبه صفر) یا درجه یک (مرتبه یک) میزان اکسیداسیون DOC<sup>۲</sup> با واکنش سریع و اکسیژن محلول را شبیه‌سازی می‌کند.

ج- level 2 را انتخاب کنید تا انتقال جرم بین ستون آب و آب منفذی هایپرهئیک با سینیتیک کیفیت آب با باکتری‌های هتروتروپیک<sup>۳</sup> چسبیده در حالت متغیر در رسوب‌گذاری هایپرهئیک با محدودیت رشد از DOC با واکنش سریع، نیترات، آمونیاک، فسفر واکنش‌زای قابل حل و اکسیژن محلول را شبیه‌سازی کند.

---

۱- منطقه یا زونی که در زیر و کنار بستر یک رودخانه است که در آن اختلاط آب‌های کم عمق و سطحی وجود دارد.  
 ۲ . Dissolved organic carbon  
 ۳- فرآیندی است که در آن اندامگان (میکرو اورگانیزم‌ها) برای تأمین انرژی و رفع نیازهای غذایی خود از مواد ساخته شده سایر موجودات زنده استفاده می‌کنند.

انتقال جرم بین ستون آب و آب منفذی هاپیرهئیک زمانی اتفاق می‌افتد که اگر مقدار مثبتی در ستون AL شیت Reach برای تبادل جریان هاپیرهئیک<sup>۱</sup> وارد شود. گزینه سینتیکی مدل و پارامترهای آن در شیت Rate مشخص شده‌اند.

(۱۴) Display dynamic diel output: دو گزینه برای نمایش خروجی‌های دینامیکی روزانه (شبیه‌سازی ۲۴ ساعته) موجود است.

الف) Yes را انتخاب کنید تا نتایج دینامیکی روزانه در شیت‌های خروجی و چارت‌ها نمایش داده شود.  
 ب) No را انتخاب کنید تا از نوشتن نتایج دینامیکی روزانه خودداری کنید. این گزینه باعث می‌شود تا فایل‌های خروجی و چارت‌ها سریع‌تر نوشته شوند و در زمان صرفه‌جویی شود، در صورتی که مدل اجراهای زیادی داشته باشد (نیاز به شبیه‌سازی پارامترهای زیادی باشد) و نیازی به بررسی خروجی‌های دینامیکی روزانه نباشد.

(۱۵) State variables for simulation: انتخاب می‌کنید که، آیا تمام حالات مختلف شبیه‌سازی شود یا فقط دما شبیه‌سازی شود.

(۱۶) Simulate sediment diagenesis: شبیه‌سازی دیاژنز<sup>۲</sup> رسوب شده.

الف) Yes را انتخاب کنید تا مدل دیاژنز رسوب شده را شبیه‌سازی کند. SOD و شار غذایی در شیت Reach برای محاسبه شار، زمانی که دیاژن‌های ته‌نشین شده شبیه‌سازی شده‌اند اضافه شده.  
 ب) No را انتخاب کنید تا از زیر روال دیاژنز رسوب شده عبور کنید. این گزینه تنها زمانی استفاده می‌شود که SOD و شار غذایی در شیت Reach برای تعیین شار ته‌نشینی تعیین شده باشند.

ج) Option 1 را انتخاب کنید تا دیاژنز رسوب، شار غذایی و اکسیژن مورد نیاز ته‌نشین شده بر پایه مدلی که به‌وسیله دیتورو<sup>۳</sup> توسعه داده شده است شبیه‌سازی شود. SOD و شار غذایی تعیین شده در

<sup>1</sup> Hyporhiec exchange flow.

<sup>۲</sup> به مجموعه‌ی فرایندهای فیزیکی و شیمیایی که پس از رسوب‌گذاری و طی روند سنگ‌شدن رخ می‌دهد، دیاژنز یا سنگ‌زایی می‌گویند.

3 . Ditoro

شیت Reach وارد می‌شوند تا شارها را شبیه‌سازی کنند و اگر الگوریتم شار ته‌نشینی با خطایی کمتر از ۰,۱ درصد همگرا نشود، مدل با پیغام خطا همراه خواهد شد.

د) Option 2: شبیه Option 1 شارته‌نشینی را محاسبه می‌کند با این تفاوت که در Option 2 اگر الگوریتم شار ته‌نشینی با خطایی کمتر از ۰,۱ درصد همگرا نشود، مدل با پیغام خطا همراه نیست و به جای آن از بهترین تخمین شار ته‌نشینی که بعد از ۵۰۰ تکرار از الگوریتم راه حل پیدا می‌شود، استفاده می‌کند.

۱۷) Program determined cale step (output): برنامه Calculation step ای را که به‌وسیله کاربر وارد شده است می‌گیرد و آن را به سمت کم‌ترین عدد بعدی کامل که بر پایه دو عدد است رند می‌کند. به‌منظور استفاده از گام زمانی کمتر شما باید Calculation step را به زیر این مقدار کاهش دهید.

۱۸) Time of last calculation: کامپیوتر به‌صورت اتوماتیک زمان مورد نیاز برای شبیه‌سازی را نمایش می‌دهد.

۱۹) Time of sunrise: زمان طلوع خورشید برای دورترین بازه پایین دست را نشان می‌دهد.

۲۰) Time of solar noon: زمان ظهر خورشیدی برای دورترین بازه پایین‌دست.

۲۱) Time of sunset: زمان غروب خورشید برای دورترین بازه پایین‌دست.

۲۲) Photoperiod: کسری از روز که خورشید برای دورترین بازه پایین‌دست بالا می‌آید و برابر است با زمان در واحد ساعت بین طلوع خورشید و غروب آن.

## ۵-۲-۲- برگه کار Headwater

این برگه کار (شکل ۵-۳)) برای وارد کردن جریان و غلظت‌ها برای مرزهای سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>QUAL2Kw</b>						
2	<b>Stream Water Quality Model</b>						
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>			Open File	Run VBA	Run Fortran	
4	<b>Headwater and Downstream Boundary Data:</b>						
8	Prescribed downstream boundary?	No					
9	<b>Headwater Water Quality</b>	<b>Units</b>	<b>12:00</b>	<b>01:00</b>	<b>02:00</b>	<b>03:00</b>	<b>04:00</b>
10	Temperature	C	14.88	14.04	13.29	12.69	1
11	Conductivity	umhos	276.42	277.23	279.22	282.26	28
12	Inorganic Solids	mgD/L	11.94	12.13	12.07	11.78	1
13	Dissolved Oxygen	mg/L	6.98	6.98	7.08	7.25	
14	CBODslow	mgO2/L	1.34	1.34	1.34	1.34	
15	CBODfast	mgO2/L	1.34	1.34	1.34	1.34	
16	Organic Nitrogen	ugN/L	1561.00	1560.27	1565.73	1577.01	159
17	NH4-Nitrogen	ugN/L	87.59	87.59	87.59	87.59	8
18	NO3-Nitrogen	ugN/L	165.56	165.56	165.56	165.56	16
19	Organic Phosphorus	ugP/L	18.15	25.31	33.43	41.96	5
20	Inorganic Phosphorus (SRP)	ugP/L	73.46	69.42	64.07	57.80	5
21	Phytoplankton	ugA/L	0.00	0.00	0.00	0.00	
22	Detritus (POM)	mgD/L	1.29	1.43	1.54	1.61	
23	Pathogen	cfu/100 mL	100.00	100.00	100.00	100.00	10
24	Generic constituent	user defined	100.00	100.00	100.00	100.00	10
25	Alkalinity	mgCaCO3/L	90.91	91.18	91.93	93.09	9
26	pH	s.u.	7.33	7.21	7.13	7.10	
27	<b>Downstream Boundary Water Quality (optional)</b>	<b>Units</b>	<b>12:00</b>	<b>01:00</b>	<b>02:00</b>	<b>03:00</b>	<b>04:00</b>
28	Temperature	C					
29	Conductivity	umhos					
30	Inorganic Solids	mgD/L					
31	Dissolved Oxygen	mg/L					
32	CBODslow	mgO2/L					
33	CBODfast	mgO2/L					
34	Organic Nitrogen	ugN/L					
QUAL2Kw Headwater Reach / Reach Rates Initial Conditions Air Temperature Dew Point Temperature Wind Speed							

شکل (۵-۳) برگه کار Headwater

(۱) Prescribed Downstream Boundary: اگر مرزهای پایین دست بر روی شبیه سازی تأثیرگذار باشند این گزینه باید به Yes تغییر کند و غلظت های مربوط به پایین دست باید در سلول های D27 تا Z24 وارد شوند.

(۲) Headwater Water Quality: این مجموعه سلول ها برای وارد کردن حرارت (دما)، کیفیت آب و شرایط مرزها در بالادست رود می باشد. برای مواردی که داده ها تغییر می کنند در دوره روزانه، Q2kw به شما اجازه می دهد تا ارقام را بر اساس ساعتی وارد کنید. اگر مقادیر اعداد در خلال چرخش روزانه ثابت باشند، فقط مقدار میانگین را در ستون C (که برای ساعت ۱۲ ظهر است) وارد کنید و بقیه سلول ها (ستون های E تا Z) را خالی بگذارید. Q2Kw به صورت اتوماتیک مقداری را که در ساعت ۱۲ ظهر وارد کرده اید برای بقیه ساعات روز به کار می برد.

۳) Downstream Boundary Water Quality: اگر مرز پایین دست بر روی شبیه سازی تأثیر داشته باشد، این مجموعه سلول برای وارد کردن دما و شرایط کیفیت آب در مرز پایین دست رود استفاده می شود. همانند موارد سرآب، اگر مقادیر اعداد در خلال چرخش روزانه ثابت باشند، فقط مقدار میانگین را در ستون C (که برای ساعت ۱۲ ظهر است) وارد کنید و بقیه سلول ها (ستون های E تا Z) را خالی بگذارید. Q2Kw به صورت اتوماتیک مقداری را که در ساعت ۱۲ ظهر وارد کرده اید برای بقیه ساعات روز به کار می برد.

### ۵-۲-۳- برگه کار Reach

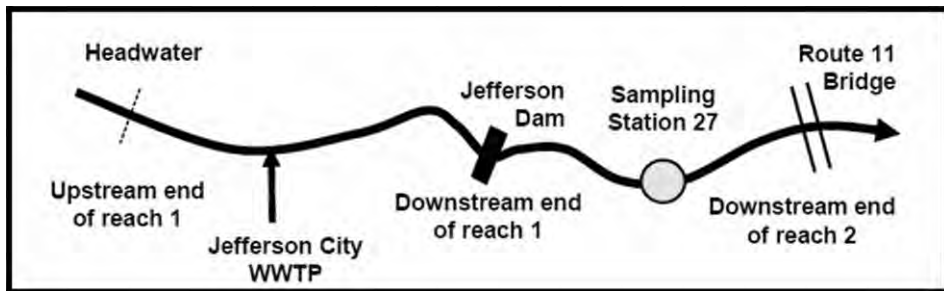
این برگه کار (شکل (۵-۴)) برای وارد کردن اطلاعات مربوطه به سراب رودخانه (بازه شماره صفر (0)) و بازه های آن استفاده می شود.

۱) Reach for diel plot: سلول B6 برای وارد کردن تعداد بازه ها برای آن نقشه روزانه ای که تولید می شود، استفاده می شود. اگر مقادیر منفی، صفر یا بزرگ تر از تعداد بازه ها وارد شود، برنامه به طور اتوماتیک مقادیر را به آخرین بازه تنظیم می کند. توجه کنید که یک دکمه در سمت راست سلول B6 قرار دارد که به کاربر اجازه می دهد، بازه متفاوت در پلان های شبانه روزی را نمایش دهد.

۲) Reach Label (optinal): مدل به شما اجازه می دهد تا نام شناسایی برای هر بازه وارد کنید. شکل (۵-۵) مثالی از نحوه نام گذاری مقاطع رودخانه بین دو بازه از آن را نشان می دهد.

۳) Downstream end of reach label (optinal): Q2kw به شما اجازه می دهد که نام شناسایی برای مرزهای بین بازه ها وارد کنید. این نام ها بعداً در برگه کارهای دیگر برای تشخیص بازه ها نمایش داده می شوند. همان طور که در شکل های (۵-۵) و (۶-۵) دیده می شود پایین دست اولین بازه Jefferson Dam نام گذاری شده است. به صورت مشابه پایین دست دومین بازه هم به صورت Route 11 Bridage نام گذاری شده.





شکل (۵-۵) نحوه نام‌گذاری مقاطع رودخانه بین دو بازه از آن.

Reach	Downstream	
Label	end of reach label	Number
	Headwater	0
Jefferson City WWTP	Jefferrson Dam	1
Sampling Station 27	Route 11 Bridge	2

شکل (۵-۶) مثالی از برچسب‌گذاری

۴) Reach numbers (output): مدل به‌طور اتوماتیک بازه‌ها را به‌صورت صعودی شماره‌گذاری می‌کند.

۵) Reach length (output): مدل به‌طور اتوماتیک طول بازه‌ها را محاسبه کرده و نمایش می‌دهد.

۶) Downstream Latitude and Longitude (output): مدل به‌صورت اتوماتیک طول و عرض جغرافیایی انتهای پایین‌دست هر بازه را در درجه اعشاری محاسبه کرده و نمایش می‌دهد.

۷) Downstream location: کاربر باید کیلومتراژ رودخانه را برای انتهای پایین‌دست هر بازه وارد کند. توجه کنید که فاصله بازه می‌تواند به‌صورت صعودی یا نزولی باشد.

۸) Upstream and Downstream elevation: کاربر باید ارتفاع از سطح دریا را بر حسب متر، هم برای بالادست و هم پایین‌دست انتهای هر بازه وارد کند. توجه کنید که این اطلاعات برای دو هدف ابتدایی به‌کار می‌روند. اول برای تعیین افت تراز به‌علت آبشار در انتهای هر بازه و دوم برای تصحیح

اکسیژن اشباع برای اثرات ارتفاع استفاده می‌شود و برای تعیین شیب کانال استفاده نمی‌گردد. شیب کانال به صورت مستقل در ستون W وارد می‌شود.

۹) Downstream Latitude and Longitude: کاربر باید طول و عرض جغرافیایی انتهای پایین دست هر بازه را به صورت درجه، دقیقه و ثانیه وارد کند. متناوباً آن‌ها می‌توانند به صورت اعداد ده دهی (اعشاری) در هر مورد وارد شوند و سلول‌های دقیقه و ثانیه باید خالی یا صفر باشند.

۱۰) Hydraulic Model: مدل با دو گزینه به شما اجازه می‌دهد که سرعت و عمق را بر پایه دبی جریان محاسبه کنید.

Rating curves (الف)

The Manning formula (ب)

اهمیت زیادی دارد که یکی از این دو گزینه را انتخاب کنید و بقیه را خالی یا صفر وارد کنید. اگر مدل در سلول‌های مربوط به فرمول مانینگ سلول‌ها را دارای ارزش صفر یا تهی تشخیص دهد به صورت اتوماتیک سرعت و عمق را از روش منحنی سنج محاسبه می‌کند، در غیر این صورت فرمول مانینگ را به کار می‌برد. توجه کنید که یک منوی انتخابی پایین رونده در سلول T8 استفاده می‌شود. برای انتخاب این که عمق یا عرض به وسیله نماها و ضریب‌ها در ستون U و T تعریف بشوند.

۱۱) Side slope: شیب کناره‌های کانال باید در این قسمت وارد شود. این عدد باید بزرگ‌تر از صفر باشد. برای مثال در کانال مستطیلی شیب دو طرف آن مساوی صفر است.

۱۲) Channel slope: شیب کانال می‌باشد و برابر است با افت ارتفاع تقسیم بر طول.

۱۳) Manning n: عدد بدون بعد که زبری کانال را پارامتره می‌کند. این مقدار (عدد مانینگ) برای کانال‌های دست ساز بدون علف‌های هرز رنجی بین ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۳ دارد و برای کانال‌های طبیعی از ۰/۰۲۵ تا ۰/۲ می‌باشد. مقدار ۰/۰۴ برای شروع برای بسیاری از کانال‌های طبیعی مناسب است.



شکل (۷-۵) بخشی از کاربرگ reach جهت تعیین هیدرولیک سیستم.

(۱۴) Prescribed Dispersion: تعیین پخش و پراکندگی. اگر پخش و پراکندگی در انتهای پایین دست یک بازه را داشته باشید می‌توانید در ستون Y برگه کار Reach وارد شود. اگر این سلول خالی رها شود، قابلیت پخش به صورت اتوماتیک به وسیله برنامه محاسبه می‌شود.

(۱۵) Weir Height: اگر بند در انتهای پایین دست بازه قرار گرفته باشد، این‌جا، جایی است که ارتفاع بند وارد می‌شود. اگر مرز دارای جریان آزاد باشد مقدار صفر یا خالی وارد شود.

(۱۶) Prescribed Reaeration: اگر میزان هوادهی برای بازه شناخته شده باشد، این مقدار می‌تواند در ستون AA وارد شود. اگر این ستون خالی رها شود برنامه به صورت اتوماتیک بر پایه داده‌هایی که در شیت Reach وارد شده است آن را محاسبه می‌کند.

(۱۷) Weir Height: اگر بند در انتها پایین دست بازه قرار گرفته باشد، این ستون محلی است که ارتفاع بند باید وارد شود. اگر مرز دارای جریان آزاد باشد مقدار صفر یا خالی باید وارد شود.

(۱۸) Prescribed Reaeration: اگر میزان هوادهی برای بازه شناخته شده باشد، این مقدار می‌تواند در ستون AA وارد شود. اگر این ستون خالی رها شود، برنامه به صورت اتوماتیک برپایه داده‌هایی که در شیت Rate وارد شده است، آن را محاسبه می‌کند.

(۱۹) Bottom Algae Coverage: در رودخانه تمام بستر بازه ممکن است برای رشد جلبک‌ها مناسب نباشد. بنابراین Q2kw به کاربر اجازه می‌دهد تا درصدی از بستر که در آن گیاهان رشد می‌کنند را وارد کند. برای مثال اگر تنها یک پنجم سطح بستر دارای مواد غذایی مناسب برای رشد گیاهان باشد، پوشش جلبک‌های کف باید به ۲۰ درصد تنظیم شود.

(۲۰) Bottom SOD Coverage: در یک رودخانه کل بستر آن برای تولید اکسیژن‌خواهی رسوب<sup>۱</sup> مناسب نیست، لذا مدل به کاربر اجازه می‌دهد تا درصدی از بستر که رسوب در آن تجمع می‌کند و همراه با جریان‌های مواد مغذی رسوب، اکسیژن‌خواهی رسوب در آن اتفاق می‌افتد را تعیین کند. برای مثال اگر

در سه چهارم از بستر رودخانه گل‌های رسوبی تجمع کنند، این میزان باید برای آن بازه به مقدار ۷۵٪ وارد شود.

(۲۱) Prescribed SOD, Q2Kw: SOD را برای بازه به عنوان تابعی از فرسایشات و توده زنده فیتوپلانگتن که از آب به نهشت‌ها در حالت پایدار ته‌نشین می‌شوند را شبیه‌سازی می‌کند. اما از آنجایی که ممکن است رسوبات به علت وجود رواناب‌های قبلی که جریان آن‌ها غیردائمی می‌باشند شامل مواد دیگری هم باشند، مدل اجازه تعیین آن‌ها را به کاربر می‌دهد. مدل اجازه می‌دهد SOD مازاد برای هر بازه در ستون AD برگه کار Reach توسط کاربر وارد شود.

(۲۲) Prescribed  $CH_4$  (Methane) Flux: در مدل مشابه SOD, Q2Kw اجازه می‌دهد شار اضافی متان (کربن کاهش یافته) به عنوان ورودی به هر بازه در ستون AE برگه کار Reach وارد شود.

(۲۳) Prescribed  $NH_4$  (Ammonium) Flux: در مدل مشابه SOD, Q2Kw اجازه می‌دهد شار اضافی نیتروژن آمونیایی به عنوان ورودی به هر بازه در ستون AF برگه کار Reach وارد شود.

(۲۴) Prescribed Inorganic Phosphorus Flux: در مدل مشابه SOD, Q2Kw اجازه می‌دهد شار اضافی فسفر غیرآلی به عنوان ورودی به هر بازه در ستون AG برگه کار Reach وارد شود.

(۲۵) Sediment thermal conductivity: در جدول (۳-۴) با توجه به انواع رسوبات مقادیری برای وارد کردن هدایت الکتریکی دمایی رسوبات ارائه شده و می‌توان مقدار  $\frac{W}{m^{\circ}C}$  را به عنوان پیش‌فرض در نظر گرفت.

(۲۶) Sediment thermal diffusivity: در جدول (۵-۱) با توجه به انواع رسوبات مقادیری برای وارد کردن ضریب پخش دمای رسوبات ارائه شده و می‌توان مقدار  $\frac{cm^2}{sec}$  را به عنوان پیش‌فرض در نظر گرفت.

۲۷) Sediment thickness: اگر تبادل هایپرئیک ماچیز باشد، ضخامت حدود ۱۰ سانتی متر برای رسوبات مناسب می باشد. اما در صورتی که تبادل هایپرئیک قابل توجه باشد، ضخامت رسوبات تقریباً ۲۰-۱۰۰ سانتی متر خواهد بود.

۲۸) Hyporheic exchange flow: این بخش زمانی استفاده می شود که تبادل هایپرئیک شبیه سازی شده باشد (زمانی که level1 یا level2 در سلول B1 در شیت Q2K انتخاب شده باشد). میزان جریان هایپرئیک به عنوان کسری از جریان سطحی کل برای بازه وارد می شود. برای مثال اگر ۱۰ درصد جریان سطح با قسمت هایپرئیک بازه تبادل داشته باشد، مقدار ۰/۱ باید برای بازه وارد شود.

۲۹) Hyporheic sediment porosity: این قسمت زمانی استفاده می شود که تبادل هایپرئیک شده باشد (زمانی که گزینه Yes در سلول B21 شیت Q2K انتخاب شده باشد). تخلخل نهشته های قلوه سنگ، شن، ماسه، گل و لای بین ۳۵ تا ۵۰ درصد می باشد و مقدار ۴۰ درصد به عنوان پیش فرض پیشنهاد شده است.

۳۰) Sky opening for longwave: تعدیل تابش با طول موج بلند است و مقدار ۱۰۰ درصد به عنوان پیش فرض پیشنهاد شده است.

## ۵-۲-۴- برآورد کار Reach Rates

این برآورد کار اختیاری می باشد، تا اطلاعات مربوط به نرخ های ثابت و پارامترهای مخصوص بازه در آن وارد شود (شکل (۵-۱۰)). پارامترهای نرخ در این شیت اختیاری هستند. زمانی که این کاربرگ توسط کاربر خالی گذاشته شود مدل به صورت پیش فرض باتوجه به نرخ های ثابت جهانی محاسبات را انجام می دهد. در صورت عدم استفاده از کالیبراسیون اتوماتیک می توان با تغییر در طیف استاندارد، ضرایب و نرخ های این قسمت را برای هر بازه تعیین کرد.

Table 4. Thermal properties of various materials								
Type of material	thermal conductivity		thermal diffusivity		$\rho$ g/cm3	$C_p$ cal/(g °C)	$\rho C_p$ cal/(cm³ °C)	reference
	w/m²°C	cal/s/cm²°C	m²/s	cm²/s				
<b>Sediment samples</b>								
Mud Flat	1.82	0.0044	4.80E-07	0.0048			0.906	(1)
Sand	2.50	0.0060	7.90E-07	0.0079			0.757	"
Mud Sand	1.80	0.0043	5.10E-07	0.0051			0.844	"
Mud	1.70	0.0041	4.50E-07	0.0045			0.903	"
Wet Sand	1.67	0.0040	7.00E-07	0.0070			0.570	(2)
Sand 23% saturation with water	1.82	0.0044	1.26E-06	0.0126			0.345	(3)
Wet Peat	0.36	0.0009	1.20E-07	0.0012			0.717	(2)
Rock	1.76	0.0042	1.18E-06	0.0118			0.357	(4)
Loam 75% saturation with water	1.78	0.0043	6.00E-07	0.0060			0.709	(3)
Lake, gelatinous sediments	0.46	0.0011	2.00E-07	0.0020			0.550	(5)
Concrete canal	1.55	0.0037	8.00E-07	0.0080	2.200	0.210	0.460	"
Average of sediment samples:	1.57	0.0037	6.45E-07	0.0064			0.647	
<b>Miscellaneous measurements:</b>								
Lake, shoreline	0.59	0.0014						(5)
Lake soft sediments			3.25E-07	0.0033				"
Lake, with sand			4.00E-07	0.0040				"
River, sand bed			7.70E-07	0.0077				"
<b>Component materials:</b>								
Water	0.59	0.0014	1.40E-07	0.0014	1.000	0.999	1.000	(6)
Clay	1.30	0.0031	9.80E-07	0.0098	1.490	0.210	0.310	"
Soil, dry	1.09	0.0026	3.70E-07	0.0037	1.500	0.465	0.700	"
Sand	0.59	0.0014	4.70E-07	0.0047	1.520	0.190	0.290	"
Soil, wet	1.80	0.0043	4.50E-07	0.0045	1.810	0.525	0.950	"
Granite	2.89	0.0069	1.27E-06	0.0127	2.700	0.202	0.540	"
Average of composite materials:	1.37	0.0033	6.13E-07	0.0061	1.670	0.432	0.632	
(1) Andrews and Rodvey (1980)								
(2) Geiger (1965)								
(3) Nakshabandi and Kohnke (1965)								
(4) Chow (1964) and Carslaw and Jaeger (1959)								
(5) Hutchinson 1957, Jobson 1977, and Likens and Johnson 1969								
(6) Cengel, Grigull, Mills, Bejan, Kreith and Bohn								

جدول (۵-۱) ویژگی‌های دمایی رسوبات طبیعی و مواد در برگزیده رسوبات طبیعی.

پارامترهایی که در برگه کار Reach Rate ممکن است وارد شوند شامل موارد زیر هستند:

(۱) Prescribed Reaeration: نرخ هوادهی.

(۲) ISS: سرعت رسوب مواد معلق معدنی.

(۳) Slow CBOD: CBOD کند شده.

(۴) Fast CBOD: CBOD تند شده.

(۵) Organic Nitrogen: نیتروژن آلی.

(۶) Ammonium: آمونیوم.

(۷) Nitrate: نیترات.

(۸) Organic P: فسفر آلی.

(۹) Inorganic P: فسفر غیر آلی.

(۱۰) Phytoplankton: فیتوپلانکتون.

(۱۱) Bottom Plants: گیاهان کف رودخانه.

(۱۲) Detritus: مواد محمول<sup>۱</sup>.

(۱۳) Pathogens: عوامل بیماری‌زا.

(۱۴) Heterotrophic metabolism in the hyporheic zone: متابولیسم هتروتروف در منطقه

هایپرهئیک.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>QUAL2Kw</b>						
2	<b>Stream Water Quality Model</b>			Open Old File	Run VBA	Run Fortran	
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>						
4	<b>Optional reach-specific rate parameters (leave blank if not used):</b>						
5							
6				ISS	Slow CBOD		Fast CBOD
7	Reach	Reach	Prescribed	Settling	Hydrolysis	Oxidation	Oxidation
8	number	label	Reaeration	Velocity	Rate	Rate	Rate
9			/d	m/d	/d	/d	/d
10	1	MP 0.4	11.831				
11	2		11.761				
12	3		11.625				
13	4		11.493				
14	5		11.365				
15	6		8.503				
16	7		8.434				
17	8	MP 3.5	8.368				
18	9		8.302				
19	10		21.091				
20	11		22.114				
21	12		21.341				
22	13	MP 5.6	20.638				
23	14		19.996				
24	15		19.407				
25	16		18.864				
26	17	Last Segment	18.361				
27							
28							
29							
30							
QUAL2K / Headwater / Reach / Reach Rates / Initial Conditions / Air Temperature / Dew Point Temperature / Wind Speed							

شکل (۵-۱) برگه کار Reach Rate.

۱- به کلیه موادی اطلاق می‌شود که با آب حمل می‌شود و شامل مواد رسوبی و غیر رسوبی است.

### ۵-۲-۵- برگه کار Initial Conditions

شرایط اولیه مشخص شده در این شیت اختیاری هستند. اگر این شرایط اولیه توسط کاربر مشخص نشده باشند آنگاه، شرایط اولیه در ستون آب برای هر بازه همانند سراب فرض خواهد شد و توده زنده گیاهی اولیه برای رشد مرتبه صفر، صفر فرض خواهد شد. وارد کردن ارقام واقع‌گرا برای شرایط اولیه در دوره شبیه‌سازی کوتاه‌تر اجازه می‌دهد تا شرایط تعادل برای جلبک‌های کف حاصل شود. شکل (۵-۹) برگه کار Initial Conditions را نشان می‌دهد.

A		B		C	D	E	F
1	<b>QUAL2Kw</b>						
2	<b>Stream Water Quality Model</b>						
3	Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)				Open Old File	Run VBA	R
4	Optional reach-specific initial conditions:						
5							
6			Water column constituents				
7	Reach	Reach		Spec	Inorg	Diss	
8	number	label	Temp	Cond	SS	Oxygen	
9			C	umhos	mgD/L	mg/L	
10	1	MP 0.4					
11	2						
12	3						
13	4						
14	5						
15	6						
16	7						
17	8	MP 3.5					
18	9						
19	10						
20	11						
21	12						
22	13	MP 5.6					
23	14						
24	15						
25	16						
26	17	Last Segment					
27							
28							
29							
30							

QUAL2Kw Headwater Reach Reach Rates Initial Conditions Air Temperature Dew Point Temperature

شکل (۵-۹) برگه کار Initial Conditions

### ۵-۲-۶- برگه کار Meteorology and Shading

شش کاربرگ برای وارد کردن اطلاعات هواشناسی و سایه برای بازه‌ها اختصاص داده شده است که شامل کاربرگ‌های زیر هستند:

الف) Air Temperature

ب) Dew-Point Temperature

ج) Wind speed

د) Cloud cover

و) Shade

ه) Solar radiation

## الف – Air Temperature

این ورک شیت برای وارد کردن دمای ساعتی هوا در واحد درجه سلیسیوس، برای هر بازه‌ی سیستم استفاده می‌شود (شکل (۵-۱۰)).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>QUAL2Kw</b>							
2	<b>Stream Water Quality Model</b>							
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>			Open	Run	Run		
4	<b>Air Temperature Data:</b>			File	VBA	Fortran		
5								
6								
7					Upstream	Downstream	12:00 AM	1:00 AM
8	Upstream	Reach	Downstream	Reach	Distance	Distance	Hourly air temperature for	
9	Label	Label	Label	Number	km	km	(The input values are appli	
10	Headwater	MP 0.4		1	13.60	13.18	18.50	18.50
11				2	13.18	12.75	18.50	18.50
12				3	12.75	11.90	18.50	18.50
13				4	11.90	11.05	18.50	18.50
14				5	11.05	10.20	18.50	18.50
15				6	10.20	9.35	18.50	18.50
16				7	9.35	8.50	18.50	18.50
17		MP 3.5		8	8.50	7.65	18.50	18.50
18				9	7.65	6.80	18.50	18.50
19				10	6.80	5.95	18.50	18.50
20				11	5.95	5.10	18.50	18.50
21				12	5.10	4.25	18.50	18.50
22		MP 5.6		13	4.25	3.40	18.50	18.50
23				14	3.40	2.55	18.50	18.50
24				15	2.55	1.70	18.50	18.50
25			Above Coal Ck	16	1.70	0.85	18.50	18.50
26	Above Coal Ck	Last Segment	Coal Creek	17	0.85	0.00	18.50	18.50
27								
28								
29								
30								
31								

شکل (۵-۱۰) برگه کار Air Temperature



(۱) Labels and distances (output): برنامه به صورت اتوماتیک نام بازه، ابتدای بازه، نام پایین دست بازه، شماره بازه، فاصله از ابتدای بازه و فاصله از انتهای رودخانه که قبلاً در برگه کار HeadWater و Reach وارد شده‌اند را در ستون A تا F نمایش می‌دهد.

(۲) Air Temperatures: دمای ساعتی برای هر بازه در این قسمت وارد می‌شود (ستون G تا AD). اگر دما در خلال روز ثابت باشد تنها میانگین را در ستون G وارد کنید و بقیه سلول‌ها را خالی بگذارید. Q2Kw به طور اتوماتیک عددی که در ساعت ۱۲ ظهر وارد شده است را برای بقیه ساعات شبانه روز به کار می‌برد.

### ب- Dew-Point Temperature

این ورک شیت برای وارد کردن دمای نقطه شبنم در واحد سیلیسیوس، برای هر بازه سیستم به کار می‌رود (شکل (۳-۲۶)).

(۱) Reach identifiers: اطلاعاتی که قبلاً در برگه Reach وارد کرده‌اید را در ستون A تا G نمایش می‌دهد.

(۲) Dew point Temperatures: دمای ساعتی نقطه شبنم برای هر بازه را باید در ستون‌های G تا AD وارد کنید. اگر ارقام در خلال سیکل روزانه ثابت باشند، فقط ستون G را پر کرده و بقیه سلول‌ها را خالی بگذارید. Q2Kw به صورت اتوماتیک رقم ساعت ۱۲ ظهر را برای بقیه ساعات روز در نظر می‌گیرد.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>QUAL2Kw</b>								
2	<b>Stream Water Quality Model</b>								
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>								
4	<b>Dew Point Temperature Data:</b>								
5									
6									
7									
8	Upstream	Reach	Downstream	Reach	Upstream	Downstream	12:00	01:00	02:00
9	Label	Label	Label	Number	Distance	Distance	Hourly dewpoint temperature for each res		
10	Headwater	MP 0.4			km	km	[The input values are applied as point est		
11				1	13.50	13.18	3.90	3.90	3.90
12				2	13.18	12.75	3.90	3.90	3.90
13				3	12.75	11.90	3.90	3.90	3.90
14				4	11.90	11.05	3.90	3.90	3.90
15				5	11.05	10.20	3.90	3.90	3.90
16				6	10.20	9.35	3.90	3.90	3.90
17				7	9.35	8.50	3.90	3.90	3.90
18		MP 3.5		8	8.50	7.65	3.90	3.90	3.90
19				9	7.65	6.80	3.90	3.90	3.90
20				10	6.80	5.95	3.90	3.90	3.90
21				11	5.95	5.10	3.90	3.90	3.90
22				12	5.10	4.25	3.90	3.90	3.90
23		MP 5.6		13	4.25	3.40	3.90	3.90	3.90
24				14	3.40	2.55	3.90	3.90	3.90
25				15	2.55	1.70	3.90	3.90	3.90
26	Above Coal Ck	Last Segment	Above Coal Ck	16	1.70	0.85	3.90	3.90	3.90
27			Coal Creek	17	0.85	0.00	3.90	3.90	3.90
28									
29									
30									
31									

شکل (۵-۱۱) برگه کار Dew-Point Temperature

## Wind speed (ج)

این ورک شیت برای وارد کردن سرعت باد ساعتی بر حسب متر بر ثانیه، برای هر بازه سیستم می‌باشد (شکل (۵-۱۲)).

(۱) Reach identifiers: اطلاعات بازه که قبلاً در ورک شیت Reach وارد شده‌اند، در ستون A تا F نمایش داده می‌شود.

(۲) Wind speed for each reach 7m above water surface: سرعت باد ساعتی هر بازه در ستون G تا AD وارد می‌شود. اگر ارقام در خلال چرخه روزانه ثابت باشند، فقط میانگین را در ستون G وارد کنید و بقیه سلول‌ها را خالی رها کنید. Q2Kw به صورت اتوماتیک رقم ساعت ۱۲ ظهر را برای بقیه ساعات روز در نظر می‌گیرد.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>QUAL2Kw</b>								
2	<b>Stream Water Quality Model</b>								
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>								
4	<b>Wind Speed Data:</b>								
5									
6									
7									
8	<b>Upstream</b>	<b>Reach</b>	<b>Downstream</b>	<b>Reach</b>	<b>Upstream</b>	<b>Downstream</b>	<b>12:00</b>	<b>01:00</b>	<b>02:00</b>
9	<b>Label</b>	<b>Label</b>	<b>Label</b>	<b>Number</b>	<b>Distance</b>	<b>Distance</b>	<b>Wind speed for each reach 7m above wa</b>		
10	Headwater	MP 0.4		1	13.60	13.18	2.00	2.00	2.00
11				2	13.18	12.75	2.00	2.00	2.00
12				3	12.75	11.90	2.00	2.00	2.00
13				4	11.90	11.05	2.00	2.00	2.00
14				5	11.05	10.20	2.00	2.00	2.00
15				6	10.20	9.35	2.00	2.00	2.00
16				7	9.35	8.50	2.00	2.00	2.00
17		MP 3.5		8	8.50	7.65	2.00	2.00	2.00
18				9	7.65	6.80	2.00	2.00	2.00
19				10	6.80	5.95	2.00	2.00	2.00
20				11	5.95	5.10	2.00	2.00	2.00
21				12	5.10	4.25	2.00	2.00	2.00
22		MP 5.6		13	4.25	3.40	2.00	2.00	2.00
23				14	3.40	2.55	2.00	2.00	2.00
24				15	2.55	1.70	2.00	2.00	2.00
25			Above Coal Ck	16	1.70	0.85	2.00	2.00	2.00
26	Above Coal Ck	Last Segment	Coal Creek	17	0.85	0.00	2.00	2.00	2.00
27									
28									
29									
30									
31									

شکل (۵-۱۲) برگه کار Wind speed.

## Cloud cover (د)

این ورک شیت برای وارد کردن پوشش ساعتی ابر (درصدی از آسمان که پوشیده از ابر است) برای هر بازه سیستم به کار می‌رود (شکل (۵-۱۳)).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>QUAL2Kw</b>									
2	<b>Stream Water Quality Model</b>									
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>									
4	<b>Cloud Cover Data:</b>									
5										
6										
7										
8	<b>Upstream</b>	<b>Reach</b>	<b>Downstream</b>	<b>Reach</b>	<b>Upstream</b>	<b>Downstream</b>	<b>12:00</b>	<b>13:00</b>	<b>14:00</b>	<b>15:00</b>
9	<b>Label</b>	<b>Label</b>	<b>Label</b>	<b>Number</b>	<b>Distance</b>	<b>Distance</b>	<b>Hourly cloud cover shade for each reach (Percent)</b>			
10	Headwater	MP 0.4		1	13.60	13.18	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
11				2	13.18	12.75	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
12				3	12.75	11.90	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
13				4	11.90	11.05	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
14				5	11.05	10.20	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
15				6	10.20	9.35	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
16				7	9.35	8.50	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
17		MP 3.5		8	8.50	7.65	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
18				9	7.65	6.80	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
19				10	6.80	5.95	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
20				11	5.95	5.10	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
21				12	5.10	4.25	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
22		MP 5.6		13	4.25	3.40	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
23				14	3.40	2.55	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
24				15	2.55	1.70	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
25			Above Coal Ck	16	1.70	0.85	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
26	Above Coal Ck	Last Segment	Coal Creek	17	0.85	0.00	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
27										
28										
29										
30										
31										

شکل (۵-۱۳) برگه کار Cloud cover.

(۱) Reach identifiers: اطلاعات بازه که قبلاً در ورک شیت Reach وارد شده‌اند، در ستون A تا F نمایش داده می‌شود.

(۲) Hourly cloud cover shade for each reach (Percent): پوشش ساعتی ابر برای هر بازه در ستون G تا AD وارد می‌شود. اگر ارقام در خلال چرخه روزانه ثابت باشند، فقط میانگین را در ستون G وارد کنید و بقیه سلول‌ها را خالی رها کنید (ستون H تا AD). Q2Kw به صورت اتوماتیک رقم ساعت ۱۲ ظهر را برای بقیه ساعات روز در نظر می‌گیرد.

## Shade (و)

این ورک شیت برای وارد کردن سایه‌اندازی روزانه برای هر سیستم وارد می‌شود (شکل (۵-۱۴)). سایه‌اندازی به‌عنوان درصدی از تابش خورشیدی که به‌وسیله توپوگرافی و نباتات، بلاک شده‌اند تعریف می‌شود. اگر ارقام در خلال چرخه روزانه ثابت باشند، فقط میانگین را در ستون G وارد کنید و بقیه سلول‌ها را خالی رها کنید (ستون H تا AD). Q2Kw به‌صورت اتوماتیک رقم ساعت ۱۲ ظهر را برای بقیه ساعات روز در نظر می‌گیرد.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	QUAL2Kw										
2	Stream Water Quality Model										
3	Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)				Open File	Run VBA	Run Fortran				
4	Shade Data:										
5											
6											
7					Upstream Distance	Downstream Distance	12:00 阴影	01:00 阴影	02:00 阴影	03:00 阴影	04:00 阴影
8	Upstream	Reach	Downstream	Reach	Distance	Distance	Integrated hourly effective shade for each reach (Percent)				
9	Label	Label	Label	Number	km	km	(Percent of solar radiation that is blocked because of shade)				
10	Headwater	MP 0.4		1	13.60	13.18	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
11				2	13.18	12.75	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
12				3	12.75	11.90	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
13				4	11.90	11.05	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
14				5	11.05	10.20	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
15				6	10.20	9.35	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
16				7	9.35	8.50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
17		MP 3.5		8	8.50	7.65	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
18				9	7.65	6.80	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
19				10	6.80	5.95	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
20				11	5.95	5.10	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
21				12	5.10	4.25	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
22		MP 5.6		13	4.25	3.40	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
23				14	3.40	2.55	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
24				15	2.55	1.70	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
25			Above Coal Ck	16	1.70	0.85	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
26	Above Coal Ck	Last Segment	Coal Creek	17	0.85	0.00	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0
27											
28											
29											
30											
31											
H	QUAL2K	Headwater	Reach	Reach Rates	Initial Conditions	Air Temperature	Dew Point Temperature	Wind Speed	Cloud Cover	Shade	Solar

شکل (۵-۱۴) برگه کار Shade

## Solar (ه)

این ورک شیت برای وارد کردن ساعات تابش خورشیدی برای هر سیستم استفاده می‌شود (شکل (۵-۱۵)). استفاده از این شیت اختیاری است و ارقام وارد شده فقط زمانی استفاده می‌شود که در سلول B16

از برگه Light and Heat گزینه Observed برای استفاده داده‌های مشاهداتی برای تابش خورشیدی به جای استفاده از مدل تابش خورشیدی انتخاب شود.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>QUAL2Kw</b>								
2	<b>Stream Water Quality Model</b>								
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>								
4	<b>Solar radiation data (optional):</b>								
5	NOTE: The input values of solar radiation on this sheet are only used if 'Observed' is selected in cell B16 on the 'Light and Heat' sheet. Input values on t								
6									
7									
8	Upstream	Reach	Downstream	Reach	Upstream	Downstream	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM
9	Label	Label	Label	Number	Distance	Distance	Hourly solar radiation for each reach (Wat		
10	Headwater	MP 0.4		1	13.60	13.18	(The input values are applied as point esti		
11				2	13.18	12.75	0.00	0.00	0.00
12				3	12.75	11.90	0.00	0.00	0.00
13				4	11.90	11.05	0.00	0.00	0.00
14				5	11.05	10.20	0.00	0.00	0.00
15				6	10.20	9.35	0.00	0.00	0.00
16				7	9.35	8.50	0.00	0.00	0.00
17		MP 3.5		8	8.50	7.65	0.00	0.00	0.00
18				9	7.65	6.80	0.00	0.00	0.00
19				10	6.80	5.95	0.00	0.00	0.00
20				11	5.95	5.10	0.00	0.00	0.00
21				12	5.10	4.25	0.00	0.00	0.00
22		MP 5.6		13	4.25	3.40	0.00	0.00	0.00
23				14	3.40	2.55	0.00	0.00	0.00
24				15	2.55	1.70	0.00	0.00	0.00
25			Above Coal Ck	16	1.70	0.85	0.00	0.00	0.00
26	Above Coal Ck	Last Segment	Coal Creek	17	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00
27									
28									
29	Air Temperature / Dew Point Temperature / Wind Speed / Cloud Cover / Shade / Solar / Light and Heat / Point Sources / Diffuse Sources								

شکل (۵-۱۵) برگه کار Solar

## ۵-۲-۷- برگه کار Light and Heat

این کاربرگ مخصوص وارد کردن اطلاعات مربوط به پارامترهای نور و گرماست. اکثر ارزش‌های این پارامترها توسط مدل پیشنهاد شده است و می‌توان از همان پیش‌فرض‌ها استفاده کرد (شکل (۵-۱۶)).

۱) Photosynthetically Available Radiation: تابش در دسترس فتوسنتزی، کسری از تابش خورشیدی می‌باشد که برای عمل فتوسنتز در دسترس می‌باشد. توصیه می‌شود این عدد در ۰,۴۷ تنظیم شود.

۲) Background light extinction: این پارامتر خاموش‌سازی نور را در خلال آب و نور نمایش می‌دهد.

۳) Linear chlorophyll light extinction: این پارامتر برای بررسی وابستگی خطی اذفاعة نور به علت وجود فیتوپلانکتون a محاسبه می‌شود. بر طبق نظر ریلی<sup>۱</sup> (۱۹۵۶) این پارامتر باید به میزان

$$\left(\frac{1}{m \mu g A} \right) ۰,۰۰۸۸ \text{ تنظیم شود.}$$

۴) Nonlinear chlorophyll light extinction: این پارامتر برای وابستگی غیر خطی اذفاعة نور به علت کلروفیل فیتوپلانکتون a محاسبه می‌شود. بر طبق نظر ریلی (۱۹۵۶) این پارامتر باید

$$۰,۰۵۴ \left(m \left(\frac{\mu g A}{L}\right)^{\frac{2}{3}}\right) \text{ باشد. چنانچه این وابستگی خطی باشد این پارامتر باید صفر در نظر گرفته شود}$$

و بر طبق آن ضریب خطی تصحیح شود.

Parameter	Value	Unit	
Photosynthetically Available Radiation	0.47		
Background light extinction	0.2	/m	$k_{cb}$
Linear chlorophyll light extinction	0.0088	1/m-( $\mu g A/L$ )	$\alpha_p$
Nonlinear chlorophyll light extinction	0.054	1/m-( $\mu g A/L$ ) <sup>2/3</sup>	$\alpha_{pn}$
ISS light extinction	0.052	1/m-( $mg D/L$ )	$\alpha_s$
Detritus light extinction	0.174	1/m-( $mg D/L$ )	$\alpha_d$
Macrophyte light extinction	0.015	1/m-( $g D/m^2$ )	$\alpha_{mac}$
Solar shortwave radiation			
Atmospheric attenuation model for solar	Bras		
Bras solar parameter (used if Bras solar model is selected)			
atmospheric turbidity coefficient (2=clear, 5=smoggy, default=2)	3		$n_{sw}$
Ryan-Stolzenbach solar parameter (used if Ryan-Stolzenbach solar model is selected)			
atmospheric transmission coefficient (0.70-0.91, default 0.8)	0.8		$a_{sc}$
Downwelling atmospheric longwave IR radiation			
atmospheric longwave emissivity model	Brunt		
Brutsaert longwave emissivity parameter (used if Brutsaert longwave model is selected)			
parameter for emissivity using the Brutsaert equation	1.24		$k_{brut}$
Evaporation and air convection/conduction			
wind speed function for evaporation and air convection/conduction	Brady-Graves-Geyer		
Parameter for attenuation of solar radiation by cloud cover			
parameter for attenuation of solar radiation by cloud cover	0.65		$KCL1$
Parameter for cloud cover adjustment of sky emissivity of longwave radiation			
parameter for cloud cover adjustment of sky emissivity	0.17		$KCL2$

شکل (۵-۱۶) برگه کار Light and Heat

۵) Inorganic suspended solids light extinction: این پارامتر برای وابستگی غیرخطی از

ادفاع نور، به وسیله جامدات معلق غیرآلی محاسبه می شود.

۶) Detritus light extinction: این پارامتر برای وابستگی غیرخطی از ادفاع نور به وسیله بار

رودخانه محاسبه می شود.

۷) Macrophyte light extinction: رنجی از مقادیر برای ادفاع نور به علت توده های زنده

ماکروفیت<sup>۱</sup> برای گونه های مختلف ارائه شده است.

$$1/m-(ugA/L)^{2/3}$$

Myriophyllum spicatum : 0.01 Ikusima, 1970

Myriophyllum spicatum : 0.006 Titus and Adams, 1979

Vallisneria americana : 0.013 to 0.019 Titus and Adams, 1979

Potamogeton pectinatus : 0.024 Van der Bijl et al., 1989

۸) Atmospheric attenuation model for solar (default: Bras) مدل میرائی اتمسفر برای

خورشید می باشد و با یک منو کشویی مطابق شکل (۵-۱۷) به شما اجازه می دهد یکی از دو گزینه Bras

و Ryan- Stolzenbach یکی را انتخاب کنید.

16	Atmospheric attenuation model for solar	Bras
17	Bras solar parameter (used if Bras solar model is selected)	Bras
18	atmospheric turbidity coefficient (2=clear, 5=smoggy, default=2)	Ryan-Stolzenbach
19	Ryan-Stolzenbach solar parameter (used if Ryan-Stolzenbach solar model is selected)	Observed
20	atmospheric transmission coefficient (0.70-0.91, default 0.8)	0.8
21	Downwelling atmospheric longwave IR radiation	
22	atmospheric longwave emissivity model	Brunt

شکل (۵-۱۷) منو Atmospheric attenuation model for solar

۱- گیاهانی که به اندازه ای بزرگ هستند که بدون میکروسکوپ هم دیده می شوند.

۹) Atmospheric turbidity coefficient (2=clear, 5=smoggy, default=2): زمانی که مدل Bras انتخاب شده باشد از این گزینه استفاده می‌کنیم. ضریب کدورت جوی (۲=روشن، ۵=پوشیده از مه غلیظ و به‌طور پیش فرض =۲).

۱۰) Atmospheric transmission coefficient (0.70-0.91, default 0.8): زمانی که مدل Ryan- Stolzenbach انتخاب شده باشد از این گزینه استفاده می‌کنیم (مقداری بین ۰/۷ - ۰/۹۱).  
 ۱۱) Downwelling<sup>1</sup> atmospheric longwave IR radiation: جابجایی در اثر تابش طول موج بلند فروسرخ می‌باشد.

۱۲) Atmospheric longwave emissivity model: این پارامتر قابلیت انتشار طول موج در اتمسفر می‌باشد و مطابق شکل (۵-۱۸) دارای مدل‌های متفاوتی می‌باشد.

22	atmospheric longwave emissivity model	Brunt
23	Brutsaert longwave emissivity parameter (used if Brutsaert longwave	Brutsaert
24	parameter for emissivity using the Brutsaert equation	Idso-Jackson
25	Evaporation and air convection/conduction	Koberg
26	wind speed function for evaporation and air convection/conduction	Satterlund
27	Parameter for attenuation of solar radiation by cloud cover	Swinbank
28	parameter for attenuation of solar radiation by cloud cover	Idso 1
29	Parameter for cloud cover adjustment of sky emissivity of longwave radiation	Idso 2
30	parameter for cloud cover adjustment of sky emissivity	0.17

شکل (۵-۱۸) منوی Atmospheric longwave emissivity model

۱۳) Parameter for emissivity using the Brutsaert equation: این پارامتر زمانی استفاده می‌شود که مدل Brutsaert برای طول موج بلند انتخاب شده باشد. بروتسرت (۱۹۸۲) مقدار پیش‌فرض ۱,۲۴ را پیشنهاد داده است.

۱- فرآیند انباشتگی یا ته‌نشینی ماده‌ای با چگالی و غلظت بیشتر در زیر همان ماده با غلظت کمتر (مانند آب سرد زیر آب گرم).



مقالات بسیاری با ارقام پیشنهادی مختلفی (با در نظر گرفتن عدم قطعیت و کالیبره کردن) برای قابلیت انتشار طول موج در اتمسفر به چاپ رسیده است. کرافورد و داجن<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) برای پارامترهای عمده Brutsaert رنجی از ۱/۲۸ در ماه ژانویه تا ۱/۱۶ در ماه جولای پیشنهاد می‌کنند. سریده‌ها و الیوت<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) و کالف و کش<sup>۳</sup> (۱۹۹۳) به‌جای ۱/۲۴ مقدار ۱/۳۱ را پیشنهاد کرده‌اند.

۱۴ wind speed function for evaporation and air convection/conduction: این پارامتر شامل توابع سرعت باد برای تبخیر و انتقال گرما طبیعی هوا می‌باشد و مطابق شکل (۵-۱۹) دارای مدل‌های متفاوتی می‌باشد.

6	wind speed function for evaporation and air convection/conduction	Brady-Graves-Geyer
7	Parameter for attenuation of solar radiation by cloud cover	Brady-Graves-Geyer
8	parameter for attenuation of solar radiation by cloud cover	Adams 1
		Adams 2
9	Parameter for cloud cover adjustment of sky emissivity of longwave radiation	
0	parameter for cloud cover adjustment of sky emissivity	0.17

شکل (۵-۱۹) منوی توابع سرعت باد.

۱۵ parameter for attenuation of solar radiation by cloud cover: این پارامتر برای کاهش تابش خورشیدی با توجه به کسری که پوشش می‌دهد، استفاده می‌شود و مقدار پیش‌فرض آن ۰/۶۵ است. اگر تابش خورشیدی مشاهده شده باشد، از این پارامتر استفاده نمی‌شود.

۱۶ parameter for cloud cover adjustment of sky emissivity: برای محاسبه میزان تشعشع از آسمان ابری از این گزینه استفاده می‌شود و مقدار پیش‌فرض آن ۰/۱۷ می‌باشد.

## ۵-۲-۸- برکه کار Point Sources

این برکه کار برای وارد کردن اطلاعات مربوط به منابع نقطه‌ای<sup>۱</sup> سیستم استفاده می‌شود (شکل ۵-۲۰).

(۱) Name: نام منابع نقطه‌ای ورودی یا خروجی رودخانه در این قسمت نوشته می‌شود.

(۲) Location: کیلومتری که منابع نقطه‌ای ورودی یا خروجی، وارد یا از رودخانه خارج می‌شود.

(۳) Source Inflows and Outflows: یک منبع می‌تواند ورودی باشد یا خروجی. اگر جریان خروجی وجود داشته باشد باید مقدار دبی خروجی در ستون C وارد شود و از ورود اطلاعات در ستون‌های D تا AZ چشم‌پوشی شود.

(۴) Point abstraction: اگر جریان خروجی وجود داشته باشد باید مقدار دبی خروجی در ستون C وارد شود و از ورود اطلاعات در ستون‌های D تا AZ چشم‌پوشی شود.

1	<b>QUAL2Kw</b>						
2	<b>Stream Water Quality Model</b>						
3	<i>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</i>						
4	<b>Point Source Data:</b>						
5							
6							
7			<b>Point</b>	<b>Point</b>	<b>Temperature</b>		<b>Spe</b>
8			<b>Abstraction</b>	<b>Inflow</b>	<b>mean</b>	<b>range/2</b>	<b>time of</b>
9	<b>Name</b>	<b>Location (km)</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>max</b>
10	Boulder WWTP	13.60	0.0000	0.7500	20.06	0.72	5:13 PM
11		10.20	0.0000	0.5900	15.00	0.00	3:00 PM
12		6.60	1.9000	0.0000	0.00	0.00	12:00 AM
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32	<input type="button" value="Open File"/> <input type="button" value="Run VBA"/> <input type="button" value="Run Fortran"/>						
33	<input type="button" value="Air Temperature"/> <input type="button" value="Dew Point Temperature"/> <input type="button" value="Wind Speed"/> <input type="button" value="Cloud Cover"/> <input type="button" value="Shade"/> <input type="button" value="Solar"/> <input type="button" value="Light and Heat"/> <input type="button" value="Point Sources"/> <input type="button" value="Diffuse Sources"/> <input type="button" value="Rat"/>						

شکل (۵-۲۰) برکه کار Point Sources

۱- منبع آلاینده‌ای که از یک محل مشخص و قابل شناسایی وارد محیط پذیرنده می‌شود، مانند فاضلاب خروجی صنایع، نیروگاه‌ها یا تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری.

۵) Point inflow: میزان جریان ورودی باید در ستون D وارد شود و ستون C باید صفر یا خالی رها شود.

۶) Constituents: دما و غلظت‌های کیفی آب از جریان ورودی باید در ستون‌های E تا AZ وارد شود. Q2Kw اجازه می‌دهد که دما و غلظت هر منبع نقطه‌ای به‌عنوان منحنی سینوسی که در خلال شبانه‌روز تغییر می‌کند، وارد شود.

**تذکر: هیچ نقطه‌ای نمی‌تواند هم‌زمان Point abstraction و Point inflow باشد.**

## ۵-۲-۹- برگه کار Diffuse Sources

این برگه کاربرای وارد کردن اطلاعاتی است که مربوط به منابع غیرنقطه‌ای<sup>۱</sup> آلودگی سیستم می‌باشد.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	<b>QUAL2Kw</b>											
2	<b>Stream Water Quality Model</b>											
3	Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/15)											
4	Diffuse Source Data:											
5												
6												
7				Diffuse	Diffuse		Spec	Inorg	Diss	CBOD	CBOD	Organic
8				Abstraction	Inflow	Temp	Cond	SS	Oxygen	slow	fast	nit
9	Name	Up (km)	Down (km)	m3/s	m3/s	C	umhos	mg/L	mg/L	mgO2/L	mgO2/L	ugN/L
10	Groundwater	13.60	6.60	0.0000	0.2574	15.00	600.00	0.00	4.00	1.00	1.00	500.0
11	Groundwater	6.60	0.00	0.0000	0.2426	15.00	600.00	0.00	4.00	1.00	1.00	500.0
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

شکل (۵-۲۱) برگه کار Diffuse Sources

۱- منبع آلاینده‌ای که محل ورود مشخص و قابل شناسایی به محیط پذیرنده ندارد. به‌طور معمول این منابع شامل زه آب‌ها و رواناب‌ها می‌باشند که از زمین‌های کشاورزی یا اراضی پراکنشی شده، معادن، کارگاه‌های ساختمانی، جاده‌ها و مناطق شهری ناشی می‌شوند. آلودگی هوا که بر روی منابع آب فرو می‌نشیند نیز یک منبع آلاینده غیرنقطه‌ای است. اغلب به دلیل دشواری شناسایی یا تعیین محل ورود این منابع کنترل آن‌ها آسان نمی‌باشد.

(۱) Name: نام آلودگی مورد نظری که وارد سیستم می شود را در این قسمت وارد کنید.

(۲) Location: ابتدا و انتهای ورود یا خروج بار آبی آلودگی را در این قسمت وارد کنید.

تذکر: اگر منبع خروجی<sup>۱</sup> باشد باید ستون های E تا V را خالی گذاشت. در صورتی که در قسمتی از رودخانه هم جریان ورودی<sup>۲</sup> وجود داشته باشد و هم جریان خروجی، باید آن ها را در قسمت Name و Location به صورت جداگانه وارد کنیم یعنی یکبار برای ورودی و یکبار هم برای خروجی.

(۳) Constituents: در سلول های F تا U باید مشخصات مربوط به منابع غیرنقطه ای وارد شود.

**نکته:** در ستون T(Generic Constituent)، در صورتی که در سلول B128 در شیت Rate گزینه

Yes انتخاب شده باشد، Generic Constituent به عنوان COD با واحد  $\frac{mgO_2}{L}$  عمل می کند.

## ۵-۲-۱۰- برگه کار Rates

این برگه کار برای ارزیابی پارامترهای مدل و انتخاب کالیبراسیون اتوماتیک به کار گرفته می شود. Q2Kw دارای این قابلیت است که نرخ های انتخاب شده را کالیبره کند. کاربر این اختیار را دارد که نرخ را برای کالیبراسیون به نرم افزار معرفی کند یا این که به Q2Kw این اختیار را بدهد پارامترهای انتخاب شده را کالیبره کند. ستون E برای این مقصود استفاده می شود، که تعیین کنیم نرخ انتخاب شده، توسط نرم افزار کالیبره شود یا خیر.

اگر در ستون E کلمه No وارد شود، میزانی که در ستون C وارد شده است برای شبیه سازی استفاده می شود. ستون E، F و G زمانی استفاده می شود که بخواهید از کالیبراسیون اتوماتیک<sup>۳</sup> برای کالیبراسیون اتوماتیک نرم افزار استفاده کنید. قبل از انجام کالیبراسیون اتوماتیک کاربر باید مقداری را در ستون G3

1 . abstraction.

2. Inflow.

3 . Run Auto-cal.

وارد کند تا Q2Kw تطبیق مناسبی بین نتایج مدل با داده‌های مشاهداتی ایجاد کند. روابط زیادی جهت ارائه برای کاربر وجود دارند. یکی از این روابط انحراف جذر میانگین مربعات<sup>۱</sup> است (معادله (۱-۵)).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1-5)$$

در این معادله  $P_i$  مقدار برآورد شده توسط مدل،  $O_i$  مقدار اندازه‌گیری شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

از نتیجه این برآزش در الگوریتم ژنتیک برای کالیبراسیون اتوماتیک مدل استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک یکی از تکنیک‌های مقایسه‌ای جستجو برای فرآیندهای انتخاب به صورت تکاملی و تدریج است (گولدرگ<sup>۲</sup>، ۱۹۸۹).

شکل (۵-۲۲) قسمتی از برگه Rate را نشان می‌دهد که به عنوان ورودی تنظیمات کنترل الگوریتم ژنتیک برای کالیبراسیون استفاده می‌شود.

(۱) Random number seed: تعداد کاوش‌های تصادفی را نشان می‌دهد.

(۲) Number of model runs in a population: تعداد دفعاتی که مدل در یک جامعه اجرا می‌شود و به صورت پیش فرض روی ۱۰۰ تنظیم شده است.

(۳) Number of generations in the evolution: تعداد تولید نسل‌ها در سیر تکاملی می‌باشد. این تعداد تولیدات در کالیبراسیون اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

(۴) Number of digits to encode genotype: تعداد ارقام برای کدگذاری صفات ارثی مشابه می‌باشد. تعداد اعدادی که کروموزم‌های کدگذاری شده را حفظ می‌کند.

۱ . RMSE.

۲ . Goldberg

<b>Auto-calibration genetic algorithm control:</b>		
Random number seed	123456	seed
Model runs in a population (<=512)	100	np
Generations in the evolution	200	ngen
Digits to encode genotype (<=6)	5	nd
Crossover mode (1, 2, 3, 4, 5, 6, or 7)	3	icross
Crossover probability (0-1):	0.85	pcross
Mutation mode (1, 2, 3, 4, 5, or 6)	2	imut
Initial mutation rate (0-1):	0.005	pmut
Minimum mutation rate (0-1):	0.0005	pmutmn
Maximum mutation rate (0-1):	0.25	pmutmx
Relative fitness differential (0-1):	1	fdif
Reproduction plan (1, 2, or 3):	1	irep
Elitism (0 or 1):	1	ielite
Restart from previous evolution (0 or 1):	0	irestart

شکل (۵-۲۲) ورودی تنظیمات کنترل الگوریتم ژنتیک برای کالیبراسیون.

۵) Crossover probability: این عدد باید کوچک تر یا مساوی یک باشد و پیش فرض مدل ۰.۸۵ می باشد.

۶) Mutation mode 1/2/3/4/5: این پارامتر شامل ۶ گزینه می باشد.

۱: جهش یک نقطه ای با نرخ ثابت

۲: جهش یک نقطه ای با نرخ تعدیل شونده بر پایه تناسب

۳: جهش یک نقطه ای با نرخ تعدیل شونده بر پایه فاصله

۴: جهش یک نقطه ای به همراه خزش با نرخ ثابت

۵: جهش یک نقطه ای به همراه خزش با نرخ تعدیل شونده بر پایه تناسب.

۶: جهش یک نقطه ای به همراه خزش با نرخ تعدیل شونده بر پایه فاصله.

پیش فرض مدل برای این پارامتر گزینه ۲ می باشد.

۷) Initial mutation rate: نرخ جهش اولیه با پیش فرض ۰/۰۰۵ می باشد. نرخ جهش یک احتمال

می باشد که برطبق آن ممکن هندسی هریک از ژن ها می تواند در هر تولید جهش پیدا کند.

۸) Minimum mutation rate: حداقل نرخ جهش باید عددی بین ۰ تا ۱ باشد و پیش فرض مدل

۰/۰۰۰۵ می باشد.

۹) Maximum mutation rate: حداکثر نرخ جهش باید عددی بین ۰ تا ۱ باشد و پیش فرض مدل

۰/۲۵ می باشد.

۱۰) Relative fitness differential: تناسب نسبی تفاضلی دارای رنجی بین ۰ تا ۱ می باشد و

پیش فرض مدل ۱ می باشد.

۱۱) Reproduction plan: پارامتر انتشار و تکثیر دارای ۳ گزینه برای انتخاب می باشد:

۱: جابجایی کامل تولیدات

۲: جابجایی تصادفی حالت پایدار

۳: جابجایی خیلی کم حالت پایدار

۱۱) Elitism flag: طرح نخبه سالاری، دارای دو گزینه می باشد. با انتخاب صفر این عملیات خاموش

و غیرفعال می گردد و با انتخاب یک این گزینه فعال می شود. تنها در طرح بازتولید یک و دو به کار گرفته

می شود.

۱۲) Restart from previous evolution: با انتخاب صفر اعداد اولیه به صورت رندومی می شوند و

با انتخاب گزینه یک از آخرین تولیدات اجرای قبلی برای جمعیت اولیه استفاده می شود.

۱۳) Stoichiometry: مدل استوکیومتری فیتوپلانکتون و اجسام فرسایشی را ثابت فرض می کند.

ارقام توصیه شده برای این پارامترها در شکل (۵-۲۳) نشان داده شده است.

5							
6							
7	Parameter		Value	Units	Symbol	Auto-calibration inputs	
8	Stoichiometry:					Auto-cal	Min value
9	Carbon		40	gC	gC	No	30
10	Nitrogen		7.2	gN	gN	No	3
11	Phosphorus		1	gP	gP	No	0.4
12	Dry weight		100	gD	gD	No	100
13	Chlorophyll		1	gA	gA	No	0.4

شکل (۲۳-۵) مقادیر پیش فرض برای پارامترهای *Stoichiometry*

۱۴ Inorganic suspended solids: این بخش پارامترهای مواد جامد معلق معدنی را شامل

می شود. شکل (۲۴-۵) مقادیر پیش فرض برای این پارامترها را نشان می دهد.

5							
6				Auto-calibration inputs			
7	Parameter	Value	Units	Symbol	Auto-cal	Min value	Max value
14	Inorganic suspended solids:						
15	Settling velocity	0.06128	m/d	$v_i$	Yes	0	

شکل (۲۴-۵) مقادیر پیش فرض برای پارامتر *Inorganic suspended solids*

۱۵ Oxygen: شکل (۲۵-۵) پارامترها و مقادیر پیش فرض مربوط به هوادهی را نشان می دهد.

5								
6								
7	Parameter	Value		Units	Symbol	Auto-calibration inputs		
16	Oxygen:					Auto-cal	Min value	Max value
17	Reaeration model	Internal				f(u h)		
18	Temp correction	1.024			$\theta_a$			
19	Reaeration wind effect	None						
20	O2 for carbon oxidation	2.69		gO <sub>2</sub> /gC	$r_{oc}$			
21	O2 for NH4 nitrification	4.57		gO <sub>2</sub> /gN	$r_{on}$			
22	Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential						
23	Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0.60		L/mgO2	$K_{sof}$	No	0.60	0.60
24	Oxygen inhib model nitrification	Exponential						
25	Oxygen inhib parameter nitrification	0.60		L/mgO2	$K_{sona}$	No	0.60	0.60
26	Oxygen enhance model denitrification	Exponential						
27	Oxygen enhance parameter denitrification	0.60		L/mgO2	$K_{sodn}$	No	0.60	0.60
28	Oxygen inhib model phyto resp	Exponential						
29	Oxygen inhib parameter phyto resp	0.60		L/mgO2	$K_{sop}$	No	0.60	0.60
30	Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential						
31	Oxygen enhance parameter bot alg resp	0.60		L/mgO2	$K_{sopb}$	No	0.60	0.60

شکل (۲۵-۵) مقادیر پیش فرض برای پارامترهای *Oxygen*



۱۶) Reaeration model: ورک شیت Reach می‌تواند برای تعیین نرخ‌هوادهی برای هر بازه استفاده شود. اگر هوادهی از این طریق وارد شود، بقیه گزینه‌ها باطل می‌شود. اگر هوادهی از طریق ورک شیت Reach وارد نشود، باید از منوی کشویی Reaeration model (شکل (۵-۲۶)) استفاده کرد تا از میان چندین گزینه روش مناسبی را برای هوادهی رودخانه استفاده شود. توجه کنید که گزینه Internal پیش‌فرض بوده و هوادهی را براساس عمق و سرعت رودخانه محاسبه می‌کند.

17	Reaeration model	Internal			$f(u, h)$
18	Temp correction	Internal		$\theta_a$	
19	Reaeration wind effect	O'Connor-Dobbins			
		Churchill			
20	O2 for carbon oxidation	Owens-Gibbs	$O_2/gC$	$r_{oc}$	
21	O2 for NH4 nitrification	Tsivoglou-Neal	$O_2/gN$	$r_{on}$	
22	Oxygen inhibit model CBOD oxidation	Thackston-Dawson			
		USGS (pool-riffle)			
23	Oxygen inhibit parameter CBOD oxidation	USGS (channel-control)	0.60 L/mgO2	$K_{uicf}$	No

شکل (۵-۲۶) منوی کشویی Reaeration model

۱۷) Reaeration wind effect: به بررسی اثر باد بر هوادهی می‌پردازد و مطابق شکل (۵-۲۷) دارای ۳ گزینه است.

19	Reaeration wind effect	None			
20	O2 for carbon oxidation	Banks-Herrera	$O_2/gC$	$r_{oc}$	
21	O2 for NH4 nitrification	Wanninkhof	$O_2/gN$	$r_{on}$	
22	Oxygen inhibit model CBOD oxidation	Exponential			

شکل (۵-۲۷) Reaeration wind effect

۱۸) Sediment denitrification transfer coefficient: این پارامتر زمانی استفاده می‌شود که پخش نیترات به رسوبات، (جایی که نیتروژن‌زدایی و تبدیل به گاز نیتروژن اتفاق می‌افتد) انجام می‌گیرد.

۱۹) Settling velocity: این پارامتر برای شبیه‌سازی ضایعات اضافه شده به رسوبات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲۰) Sed P oxygen attenuation half sat constant: این پارامتر برای کاهش بازخورد ته‌نشینی

رسوبات به‌عنوان تابعی از تراز اکسیژن غیرمحلول در آب استفاده می‌شود.

۲۱) Inorganic carbon half saturation constant: خلاصه مقادیری که در نشریات مختلف

برای مقدار نیمه اشباعی برای  $Co_2 / HCO_3$  به ثبت رسیده است. هین<sup>۱</sup> (۱۹۹۷) مقدار متوسط

$\frac{moles}{L} \times 10^{-6} \times 13$  را برای مقدار نیمه اشباع  $Co_2$  پیشنهاد داده است. مبرلی و اسپنس<sup>۲</sup> (۱۹۸۳)

رنجی حدود  $\frac{moles}{L} \times 10^{-6} \times 80$  تا  $\frac{moles}{L} \times 10^{-6} \times 706$  را برای مقدار نیمه اشباع  $Co_2$  پیشنهاد

داده‌اند.

۲۲) as substrate  $HCO_3$  Phytoplankton use: فیتوپلانکتون  $HCO_3$  را به‌عنوان مواد غذایی

مصرف می‌کند. دو گزینه برای این پارامتر موجود است. با انتخاب Yes فیتوپلانکتون  $HCO_3$  و  $Co_2$

را به‌عنوان ماده غذایی مصرف می‌کند و با انتخاب گزینه No فیتوپلانکتون تنها از  $Co_2$  استفاده می‌کند.

۲۳) Light model: یک منوی کشویی پایین رونده به شما اجازه می‌دهد که از میان ۳ مدل یکی را

انتخاب نمایید (شکل (۵-۲۸)).

70	Light model	Half saturation					
71	Light constant	Half saturation	ngleys/d	$K_{Lp}$	No	28.8	115.2
72	Ammonia preference	Smith Steele	gN/L	$k_{hnp}$	No	25	25
73	Settling velocity	0.15	m/d	$v_s$	No	0	5
74	Bottom Plants:						
75	Growth model	Zero-order					

شکل (۵-۲۸) منو Light model

۲۴) Hyporheic metabolism: شکل (۵-۲۹) پارامترهای مؤثر بر سوخت و ساز هایپرهیک را

نشان می‌دهد.

112	<b>Hyporheic metabolism</b>		
113	<b>Model for biofilm oxidation of fast CBOD</b>	<b>Zero-order</b>	<b>level 1</b>
114	<b>Max biofilm growth rate</b>	<b>5 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/d or /d</b>	<b>"</b>
115	<b>Temp correction</b>	<b>1.047</b>	<b>"</b>
116	<b>Fast CBOD half-saturation</b>	<b>0.5 mgO<sub>2</sub>/L</b>	<b>"</b>
117	<b>Oxygen inhib model</b>	<b>Exponential</b>	<b>"</b>
118	<b>Oxygen inhib parameter</b>	<b>0.60 L/mgO<sub>2</sub></b>	<b>"</b>
119	<b>Respiration rate</b>	<b>0.2 /d</b>	<b>level 2</b>
120	<b>Temp correction</b>	<b>1.07</b>	<b>"</b>
121	<b>Death rate</b>	<b>0.05 /d</b>	<b>"</b>
122	<b>Temp correction</b>	<b>1.07</b>	<b>"</b>
123	<b>External nitrogen half sat constant</b>	<b>15 ugN/L</b>	<b>"</b>
124	<b>External phosphorus half sat constant</b>	<b>2 ugP/L</b>	<b>"</b>
125	<b>Ammonia preference</b>	<b>25 ugN/L</b>	<b>"</b>
126	<b>First-order model carrying capacity</b>	<b>100 gD/m<sup>2</sup></b>	<b>"</b>

شکل (۵-۲۹) پارامترهای مؤثر بر سوخت و ساز هایپرهیک

## ۵-۲-۱۰- برگه کار WARNINGS

این برگه هر خطای که در خلال اجرای برنامه رخ می‌دهد را نمایش می‌دهد. بعد از اجرای مدل این برگه باید بررسی شود، اگر داده نامناسبی در بعضی از سلول‌ها یافت شود در این برگه اخطار اعلام می‌شود (شکل (۵-۳۰)).

8	<b>Warnings:</b>
12	Reach 4 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
13	Reach 5 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
14	Reach 6 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
15	Reach 7 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
16	Reach 8 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
17	Reach 9 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
18	Reach 10 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
19	Reach 11 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
20	Reach 12 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
21	Reach 13 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
22	Reach 14 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
23	Reach 15 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
24	Reach 16 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
25	Reach 17 hyporheic exchange flow is >0 on 'Reach' sheet. To simulate hyporheic exchange, select 'Level 1' or 'Level 2' in cell B21 on the 'QUAL2K' sheet.
26	

4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

شکل (۵-۳۰) نمونه‌ای از اخطار اعلام شده توسط مدل Q2Kw.

### ۵-۲-۱۱- برگه Hydraulics Data

این برگه کار برای وارد کردن خصوصیات هیدرولیکی سیستم به کار می‌رود (شکل (۵-۳۱)).

Distance x(km)	Q-data m <sup>3</sup> /s	H-data m	U-data m/s	Travel time data (d)
6.800				0.210
0.000				0.530

شکل (۵-۳۱) برگه Hydraulics Data

### ۵-۲-۱۲- برگه Temperature Data

این برگه کار برای وارد کردن داده‌های دما به کار می‌رود (شکل (۵-۳۲)).

Distance x(km)	Mean Temp-data	Minimum Temp-data	Maximum Temp-data
13.60	14.90	12.00	18.60
13.39	17.20	14.60	20.10
8.08	15.66	13.50	19.00
3.83	16.13	13.00	20.00

شکل (۵-۳۲) برگه Temperature Data

### ۵-۲-۱۳- برگه WQ Data

مقادیر داده‌های کیفی در ایستگاه‌های نمونه برداری در این برگه وارد می‌شود (شکل (۵-۳۳)). این مقادیر روی نمودارهای خروجی با علامت ■ نمایش داده می‌شوند.

1	QUAL2Kw												
2	Stream Water Quality Model												
3	Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/11)												
4	Water Quality Data:												
5													
6													
7	Distance	Cond (umhos)	ISS (mg/L)	DO (mg/L)	CBODs (mg/L)	CBODf (mg/L)	Norg (ug/L)	NH4 (ug/L)	NO3 (ug/L)	Porg (ug/L)	Inorg P (ug/L)	Phyto (ug/L)	Detr (mg/L)
8	km	data	data	data	data	data	data	data	data	data	data	data	data
12		3.83	504.14	1.14	5.96		3105.26	1760	2781.43	62.00	1534.29		1.51
13		0.42	541.86	14.09	7.04		3341.14	746	3368.57	127.67	1153.33		1.57
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
41													
42													
43													
44													
45													
46													
47													
48													
49													
50													
51													
52													
53													
54													
55													
56													
57													
58													
59													
60													
61													
62													
63													
64													
65													
66													
67													
68													
69													
70													
71													
72													
73													
74													
75													
76													
77													
78													
79													
80													
81													
82													
83													
84													
85													
86													
87													
88													
89													
90													
91													
92													
93													
94													
95													
96													
97													
98													
99													
100													

شکل (۵-۳۳) برگه WQ Data.

### ۵-۲-۱۴- برگه WQ Data Min

مقادیر کمینه داده‌های کیفی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این برگه وارد می‌شود.

### ۵-۲-۱۵- برگه WQ Data Max

مقادیر بیشینه داده‌های کیفی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در این برگه وارد می‌شود.

### ۵-۲-۱۶- برگه Diel Data

این برگه برای وارد کردن داده‌های شبانه‌روزی برای هر بازه استفاده می‌شود (شکل (۵-۳۴)). این داده‌ها به‌صورت نقطه روی گراف خروجی شبانه‌روزی مدل نمایش داده می‌شوند. برای نمایش این داده‌ها برای بازه‌های مختلف کافی است که در سلول C6 شماره بازه وارد شود و سپس بعد از زدن دکمه اینتر صفحه کلید، بر روی گزینه Change diel plots to this reach کلیک شود.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>QUAL2Kw</b>						
2	<b>Stream Water Quality Model</b>				<b>Open File</b>		<b>Run VBA</b>
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>						<b>R For</b>
4	<b>Diel Data:</b>						
5							
6	<b>Reach</b>		<b>17</b>				
7	Above Coal Ck		Last Segment	Coal Creek	<----- change diel plots to this reach		
8							
9			<b>Temp water</b>	<b>Temp sediments</b>	<b>cond (umhos)</b>	<b>ISS (mg/L)</b>	<b>DO(mg/L)</b>
10	<b>reach</b>	<b>t (h)</b>	<b>(C) data</b>	<b>(C) data</b>	<b>data</b>	<b>data</b>	<b>data</b>
11	17	6.00	12.60		557.00	8.60	5.80
12	17	10.00	12.40		557.00	13.80	11.30
13	17	14.00	20.80		536.00	36.20	12.00
14	17	18.00	21.00		525.00	20.00	6.30
15	17	22.00	16.90		536.00	9.40	4.40
Temperature Data    WO Data    WO Data Min    WO Data Max    Diel Data    Source Summary							

شکل (۵-۳۴) برگه Diel Data

## ۵-۳- خروجی‌های مدل

## ۵-۳-۱- برگه Source Summary

این کاربرد کل بارهای هر بازه را به صورت ساعتی خلاصه سازی می کند. سلول B1 نشان می دهد که این داده های خلاصه شده به وسیله VBA و یا توسط فورترن اجرا شده است.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>QUAL2Kw Fortran output</b>								
2	<b>Stream Water Quality Model</b>								
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/1987)</b>								
4	<b>Source Summary (Hourly)</b>								
5									
6									
7	Time	Reach	Downstream	Up Dist	Down Dist	Abstraction	Inflow	Temp	Cond
8		Label	Label	x(km)	x(km)	cms	cms	°C	umhos/m
9	8/21/87 12:00 AM	MP 0.4		13.60	13.18	0.00	0.77	19.81	613.92
10				13.18	12.75	0.00	0.02	15.00	600.00
11				12.75	11.90	0.00	0.03	15.00	600.00
12				11.90	11.05	0.00	0.03	15.00	600.00
13				11.05	10.20	0.00	0.03	15.00	600.00
14				10.20	9.35	0.00	0.62	15.00	505.03
15				9.35	8.50	0.00	0.03	15.00	600.00
16		MP 3.5		8.50	7.65	0.00	0.03	15.00	600.00
17				7.65	6.80	0.00	0.03	15.00	600.00
18				6.80	5.95	1.90	0.03	15.00	600.00
19				5.95	5.10	0.00	0.03	15.00	600.00
20				5.10	4.25	0.00	0.03	15.00	600.00
21		MP 5.6		4.25	3.40	0.00	0.03	15.00	600.00
22				3.40	2.55	0.00	0.03	15.00	600.00
23				2.55	1.70	0.00	0.03	15.00	600.00
24			Above Coal Ck	1.70	0.85	0.00	0.03	15.00	600.00
25		Last Segment	Coal Creek	0.85	0.00	0.00	0.03	15.00	600.00
26	8/21/87 1:00 AM	MP 0.4		13.60	13.18	0.00	0.77	19.64	616.23
27				13.18	12.75	0.00	0.02	15.00	600.00
28				12.75	11.90	0.00	0.03	15.00	600.00
29				11.90	11.05	0.00	0.03	15.00	600.00
30				11.05	10.20	0.00	0.03	15.00	600.00
31				10.20	9.35	0.00	0.62	15.00	505.03

شکل (۵-۳۵) برگه Source Summary

## ۵-۳-۲- برکه Hydraulics Summary

خلاصه‌ای از خروجی‌های شرایط هیدرولیکی هر بازه در این برکه نمایش داده می‌شود (شکل ۵-۳۶).

(۳۶)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>QUAL2Kw</b>									
2	<b>Stream Water Quality Model</b>									
3	<b>Boulder Creek (Colorado, USA) (8/21/19)</b>									
4	<b>Hydraulics Summary</b>									
5										
6										
7										
8										
9	Headwater	Headwater	13.60	0.71	0.36	0.21	12.50	2.62	0.27	0.0
10	MP 0.4		13.39	1.48	0.74	0.33	12.50	4.08	0.36	0.0
11			12.96	1.49	0.50	0.33	12.50	4.11	0.36	0.0
12			12.33	1.53	0.76	0.33	12.50	4.16	0.37	0.0
13			11.48	1.56	0.78	0.34	12.50	4.21	0.37	0.0
14			10.63	1.59	0.79	0.34	12.50	4.26	0.37	0.1
15			9.78	2.21	1.10	0.44	12.50	5.44	0.41	0.1
16			8.93	2.24	1.12	0.44	12.50	5.49	0.41	0.1
17	MP 3.5		8.08	2.27	1.14	0.44	12.50	5.54	0.41	0.1
18			7.23	2.30	1.15	0.45	12.50	5.58	0.41	0.2
19			6.38	0.43	0.22	0.16	12.50	2.02	0.22	0.2
20			5.53	0.47	0.23	0.16	12.50	2.03	0.23	0.2
21			4.68	0.50	0.25	0.17	12.50	2.11	0.24	0.3
22	MP 5.6		3.83	0.53	0.26	0.18	12.50	2.19	0.24	0.3
23			2.98	0.56	0.28	0.18	12.50	2.27	0.25	0.4
24			2.13	0.59	0.30	0.19	12.50	2.35	0.25	0.4
25		Above Coal Ck	1.28	0.62	0.31	0.19	12.50	2.42	0.26	0.4
26	Last Segment	Coal Creek	0.43	0.65	0.33	0.20	12.50	2.50	0.26	0.5
27										
28										
29										
30										
31										

شکل (۵-۳۶) برکه Hydraulics Summary

## ۵-۳-۳- برکه Temperature Output

این کاربرد خلاصه‌ای از خروجی‌های درجه حرارت را در هر بازه نمایش می‌دهد (شکل ۵-۳۷).

7	Reach	Distance	Temp(C)	Temp(C)	Temp(C)
8	Label	x(km)	Average	Minimum	Maximum
9	Headwater	13.60	15.37	12.05	18.69
10	MP 0.4	13.39	17.72	15.66	19.72
11		12.96	17.68	15.52	19.74
12		12.33	17.59	15.29	19.85
13		11.48	17.51	15.09	19.99
14		10.63	17.43	14.92	20.12
15		9.78	16.75	14.84	18.88
16		8.93	16.72	14.76	19.00
17	MP 3.5	8.08	16.70	14.69	19.10
18		7.23	16.67	14.64	19.18
19		6.38	16.65	14.57	19.27
20		5.53	16.55	14.13	19.89
21		4.68	16.46	13.75	20.41
22	MP 5.6	3.83	16.39	13.44	20.76
23		2.98	16.34	13.19	20.97
24		2.13	16.29	12.98	21.07

شکل (۵-۳۷) برکه Temperature Output

### ۵-۳-۴- برگه Water Quality Output

این برگه خلاصه‌ای از خروجی‌های غلظت میانگین پارامترهای کیفی آب را برای هر بازه نمایش می‌دهد (شکل (۵-۳۸)).

7					
8	Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO(mgO2/L)
9	Headwater	13.60	294.61	8.61	8.28
10	MP 0.4	13.39	472.18	9.20	5.57
11		12.96	473.52	9.08	5.35
12		12.33	476.11	8.85	5.14
13		11.48	478.59	8.63	5.07
14		10.63	480.98	8.42	5.09
15		9.78	487.74	6.83	4.76
16		8.93	489.31	6.71	4.78
17	MP 3.5	8.08	490.83	6.60	4.83
18		7.23	492.31	6.49	4.90
19		6.38	493.75	6.38	5.33
20		5.53	500.88	5.86	6.57
21		4.68	507.11	5.41	7.25
22	MP 5.6	3.83	512.60	5.02	7.66
23		2.98	517.48	4.67	7.93
24		2.13	521.84	4.37	8.17
Temperature Output		WQ Output	WQ Min	WQ Max	Sediment

شکل (۵-۳۸) برگه Water Quality Output.

### ۵-۳-۵- برگه Water Quality Minimum WQ Output

خلاصه‌ای از خروجی‌های حداقل غلظت پارامترهای کیفی آب را در هر بازه نشان می‌دهد (شکل (۵-۳۹)).

7	Reach	Distance	cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO(mgO2/L)	CBODs (mgO2/L)
8	Label	x(km)	Min	Min	Min	Min
9	Headwater	13.60	276.42	5.10	6.98	1.34
10	MP 0.4	13.39	450.95	7.52	4.16	7.34
11		12.96	452.54	7.42	3.35	7.18
12		12.33	455.75	7.25	2.46	6.82
13		11.48	458.84	7.08	2.03	6.46
14		10.63	461.80	6.93	1.85	6.10
15		9.78	474.07	5.77	2.10	4.59
16		8.93	475.92	5.68	1.92	4.38
17	MP 3.5	8.08	477.73	5.59	1.84	4.18
18		7.23	479.48	5.50	1.81	3.99
19		6.38	481.10	5.41	2.02	3.90
20		5.53	489.41	4.99	2.64	3.51
21		4.68	496.65	4.63	2.98	3.19
22	MP 5.6	3.83	503.01	4.31	3.21	2.92
23		2.98	508.65	4.03	3.39	2.69
24		2.13	513.67	3.79	3.53	2.50
Temperature Output		WQ Output	WQ Min	WQ Max	Sediment Fluxes	Diel Water Column

شکل (۵-۳۹) برگه WQ Min.



### ۵-۳-۶- برگه Water Quality Maximum WQ Output

این برگه خلاصه‌ای از خروجی‌های حداکثر غلظت کیفیت آب هر بازه را نشان می‌دهد (شکل (۵-۴۰)).

7 Reach	Distance	cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO(mgO2/L)	CBODs (mgO2/L)
8 Label	x(km)	Max	Max	Max	Max
9 Headwater	13.60	312.80	12.12	9.58	1.1
10 MP 0.4	13.39	493.41	10.88	6.89	7.1
11	12.96	494.50	10.74	7.14	7.2
12	12.33	496.47	10.45	7.59	6.9
13	11.48	498.35	10.18	7.97	6.5
14	10.63	500.16	9.92	8.28	6.2
15	9.78	501.42	7.90	7.41	4.7
16	8.93	502.69	7.75	7.67	4.5
17 MP 3.5	8.08	503.93	7.61	7.89	4.3
18	7.23	505.14	7.48	8.10	4.2
19	6.38	506.41	7.35	8.72	4.1
20	5.53	512.35	6.73	10.48	3.7
21	4.68	517.57	6.19	11.45	3.3
22 MP 5.6	3.83	522.19	5.72	12.03	3.0
23	2.98	526.31	5.32	12.38	2.8
24	2.13	530.01	4.96	12.60	2.7

شکل (۵-۴۰) برگه WQ Max.

### ۵-۳-۷- برگه Sediment Flux Output

این برگه جریان‌های میانگین زمانی و بازه‌ای اکسیژن و مواد مغذی را بین آب و رسوبات کف برای هر بازه نمایش می‌دهد (شکل (۵-۴۱)).

7 Reach	Distance	Diagenesis fluxes between water column and sediment (positive is source to water)				
8 Label	x(km)	DO	fast CBOD	NH4	Inorg P	NO3
9 MP 0.4	13.39	-5.29	3.40	734.47	40.88	
10	12.96	-5.09	3.07	730.08	40.98	
11	12.33	-4.83	2.53	722.15	40.31	
12	11.48	-4.66	2.08	714.96	38.82	
13	10.63	-4.56	1.71	708.28	36.72	
14	9.78	-3.93	1.34	658.79	26.59	
15	8.93	-3.89	1.25	653.96	25.80	
16 MP 3.5	8.08	-3.87	1.16	649.25	24.83	
17	7.23	-3.87	1.08	644.61	23.75	
18	6.38	-3.98	0.89	645.95	22.08	
19	5.53	-4.28	0.57	650.70	17.79	
20	4.68	-4.39	0.42	651.61	15.55	
21 MP 5.6	3.83	-4.43	0.34	649.87	14.06	
22	2.98	-4.45	0.29	646.55	12.97	
23	2.13	-4.44	0.27	642.34	12.13	
24	1.28	-4.47	0.25	637.44	11.46	

شکل (۵-۴۱) برگه Sediment Flux Output

### ۵-۳-۸- کاربرگ‌های Diel Water Column, Hyporheic Fluxes

این ورک شیت‌ها نمایشگر خروجی‌های روزانه دما و داده‌های مهم کیفیت آب برای ستون آب و نهشت‌های منطقه‌های هایپرهیک و شار ستون آب در بازه‌های انتخاب شده است. کاربر هم‌چنین می‌تواند پلات‌های شبانه‌روزی دینامیکی را از یک بازه به بازه دیگر توسط وارد کردن شماره بازه در سلول C4 تغییر دهد و سپس روی گزینه change diel plots to this reach کلیک نماید. تغییرات روزانه pH، کل مواد معلق، کل فسفر و اکسیژن اشباع نیز نمایش داده می‌شوند.

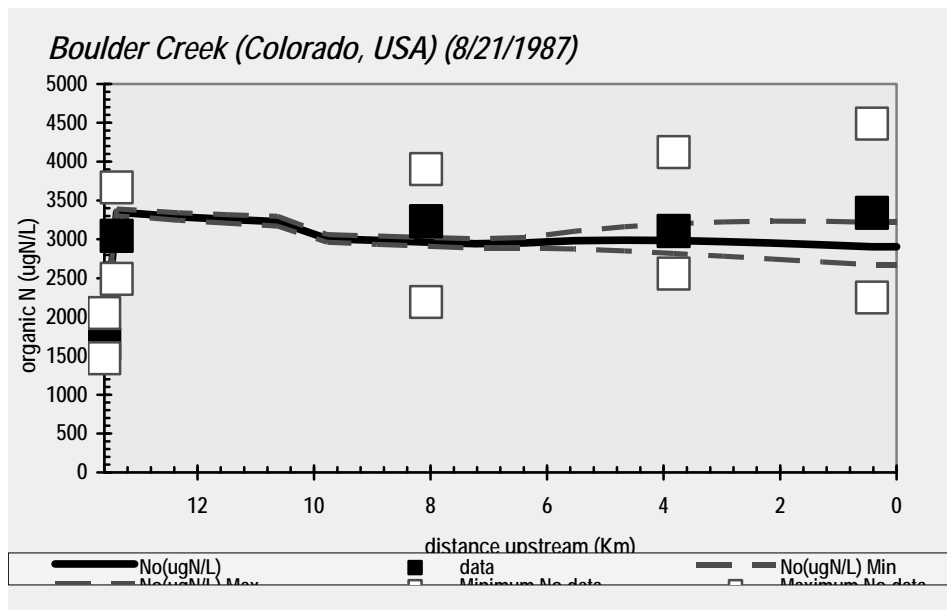
برگه Diel Water Column نیز فاکتورهای محدودیت رشد برای جلبک‌های کف به علت دما، نور، نیتروژن، فسفر، کربن و ترکیبی از محدودیت‌های تمامی فاکتورها را نمایش می‌دهد. برگه Diel Hyporheic هم شار ستون آب را برای گرما، اکسیژن محلول و کربن غیرآلی ارائه می‌دهد.

### ۵-۴- نمودارهای خروجی

چندین سری از چارت‌های اکسلی می‌باشند که خروجی مدل را در فرم گرافیکی نمایش می‌دهند. این تب‌ها با رنگ زرد (در مقیاس فاصله) و رنگ آبی (در مقیاس روزانه) مشخص می‌شوند.

### ۵-۴-۱- Spatial Charts

Q2Kw یک سری از چارت‌هایی که نمایشگر خروجی مدل می‌باشند را نمایش می‌دهد. شکل (۵-۴۲) مثالی از پلات را برای نیتروژن نشان می‌دهد. خط ممتد سیاه رنگ مقادیر متوسط نیتروژن شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و خط چین قرمز بالا و پایین به ترتیب نشان دهنده حداکثر و حداقل میزان نیتروژن شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهند. مربع‌های مشکی داده‌هایی هستند که کاربر در کاربرگ WQ Data وارد کرده است. مربع‌های سفید در بالا و پایین به ترتیب مربوط می‌شوند به مقادیر کیفی حداکثر و حداقل وارد شده در کاربرگ‌های WQ Data Max و WQ Data Min.

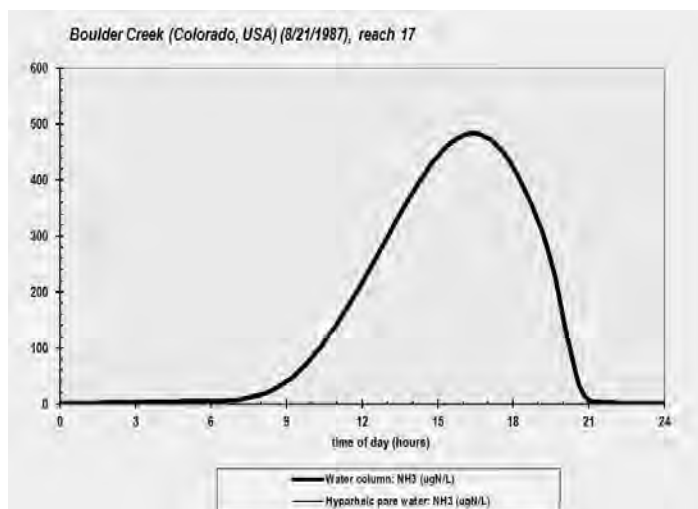


شکل (۴۲-۵) نمودار نیتروژن شبیه‌سای شده توسط Q2Kw.

#### Diel Charts - ۲-۴-۵

Q2Kw یک سری از چارت‌هایی که نمایشگر خروجی مدل می‌باشند را در مقیاس ساعتی نمایش

می‌دهد (شکل (۴۳-۵)).



شکل (۴۳-۵) نمودار آمونیاک شبیه‌سازی شده توسط Q2Kw بر حسب ساعت در روز.



## منابع

- رزاق منش، م، ۱۳۷۳. بررسی اثرات منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه کر به وسیله مدل WASP و Gis، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، گروه آبیاری و زهکشی.
- چالکش امیری، م، ۱۳۷۶، اصول تصفیه آب، ارکان، ۴۱۴ صفحه.
- بیات ورکشی، م، معروفی، ص، زارع ایبانه، ح. و قاسمی، ع، ۱۳۸۸. بررسی وضعیت کیفی آب حوزه آبخیز قره‌چای همدان، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. ۸ ص.
- دانش، م، ۱۳۸۰. منابع آب شیرین، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست.
- جداری عبوضی، ج، مقیمی، ا، یمانی، م، محمدی، ح. و عیسایی، ا، ر، ۱۳۸۹. تأثیر عوامل اکوژئومورفولوژیک بر کیفیت شیمیایی آب مطالعه موردی: رودخانه کر و دریاچه سد درودزن. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۱، شماره پیاپی ۳۷، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹. ص ۱۷-۳۲.
- کارآموز، م. و کراچیان، ر، ۱۳۸۲. برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب، چاپ اول. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- حاتمی، ح. و رضوی، م، ۱۳۸۳. کتاب جامع بهداشت عمومی.
- حلم سرشت، پ. و دل پیشه، ا، ۱۳۷۶. بهداشت کار، انتشارات چهر.

- دی اونگی، ا.، ۱۳۸۱. مهار آلودگی آب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی. ترجمه محمد رضا شریعتی. تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
- افیونی، م.، مجتبی پور، ر. و نور بخش، ف.، ۱۳۷۶. خاک‌های شور و سدیمی و اصلاح آن‌ها. اصفهان: ارکان.
- عزیزاده، ا.، ۱۳۸۸. رابطه آب و خاک و گیاه. دانشگاه امام رضا، مشهد، چاپ نهم، ص ۳۸۱-۳۶۳.
- غلامی، ش.، ۱۳۷۹. مدل شبیه‌سازی رسوب روزه‌ای با استفاده از مدل توزیعی swat. مطالعه موردی حوزه آبخیز امانه. دومین همایش ملی فرسایش و رسوب، خرم‌آباد.
- حمادی، ک.، نوذریان، ل. و تاجداری، خ.، ۱۳۸۷. اثر مقیاس زمانی در برآورد اصلاح کل محلول (TDS) رودخانه‌ها، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز، دانشکده مهندسی عمران.
- مهندسین مشاور صدرآب فارس.، ۱۳۸۵. پروژه پژوهشی بررسی علل شوری رودخانه فیروزآباد، شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران.
- مهندسین مشاور یکم.، ۱۳۸۵. پروژه تدوین برنامه بهره‌برداری از آب‌های شور، لب شور و غیرمتعارف در سطح حوضه‌های آبریز کشور- گزارش شماره دو شناخت پتانسیل منابع آب‌های شور، لب شور و غیرمتعارف در سطح حوضه‌های آبریز کش ور. جلد سوم، پتانسیل منابع آب‌های غیر متعارف.
- رضائی، ن.، ۱۳۹۱. شبیه‌سازی توأم جریان و پارامترهای کیفی با استفاده از مدل‌های ریاضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- محوی، ا. ح.، ناصری، س.، مسافری، م. و حسینی، م.، ۱۳۸۳. بررسی کمی و کیفی فاضلاب صنایع غذایی و دارویی تهران بزرگ. علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۲۳، ص ۹۶-۸۶.
- فرید گیگلو، ب.، نجفی نژاد، ع.، مغانی بیله سوار، و. و غیائی، ا.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه زرین گل استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره اول.

- صباحی، ح.، فیضی، م.، ویسی، ه. و اسیلان، ک. س.، ۱۳۸۹. بررسی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه سیکان. مجله علوم محیطی، سال هفتم، شماره چهارم، ص ۳۰-۲۳.
- نجفی، ح. و محمود پور، ط.، ۱۳۹۱. مدل‌سازی کیفی رودخانه قره سو با استفاده از مدل QUAL2K، همایش ملی جریان و آلودگی آب دانشگاه تهران.
- رازدار، ب.، ۱۳۸۸. بررسی کیفیت آب رودخانه پسیخان با استفاده از مدل W2-CE-QUAL در مورد پارامترهای نیتрат و فسفات و مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار MIKE11، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.
- Ashton, P.J., F.C. van Zyl., and R.G. Heath., 1995. Water quality management in the Crocodile River catchment. Eastern Transvaal. South Africa. Water Science and Technology, 32(5-6), 201-208.
- Atekwana, E.A., Rowe, R.S., Werkema Jr., D.D., and Legall, F.D., 2004. The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon, Journal of Applied Geophysics 56 (2004), 281– 294.
- Ayres ,R, S., and D, W, Westcot., 1976. Water Quality for agriculture. FAO Consultant, Irrigation and Drainage Paper, No. 29.
- Azzellino,A., et al., 2006. Combined use of the EPA QUAL2E simulation model and factor analysis to assess the source apportionment of point and non point loads of nutrients to surface waters. Science of the total environment. 371. pp.
- Benham, Brian., and Ross., 2002. BlackFiltration, Treatment and maintenance consideration for micro- Irrigation systems. Knowledge for the common wealth Causes and prevention of Emitter clogging in micro Irrigation systems. 1990. Bulletin 258, April, Reviewed January 1993.
- Brutsaert, w., 1982. Evaporation into the Atmosphere: Theor, History and Applications, 299 pp. D, Redial, Hingham, Mass.

- Cengel, Y.A., 1998 Heat Transfer: A Practical Approach. New York, McGraw-Hill.
- Chapra and Canale 2006. Numerical Methods for Engineers, 5th Ed. New York, McGraw-Hill
- Chapra, S. C., 2003. "Engineering Water Quality Modeled and TMDLs" ASCE (WRPM),129 (4),pp.247-255.
- Chapra, S.C., 2007. Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineering and Science, 2nd Ed., WCB/McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Chessman, B.and Townsend, S. 2009. Differing effects of catchment land use on water chemistry explain contrasting behaviour of a diatom index in tropical northern and temperate southern Australia
- Crawford, T.M., Duchon, C.E., 1999. An improved parameterization for estimating effective atmospheric emissivity for use in calculating daytime downwelling longwave radiation Journal of Applied Meteorology 38, 474–480.
- Culf, D., and Cash, John , C., 1993. Longwave Radiation from Clear Skies in Niger: A Comparison of Observations with Simple Formulas. J. Appl. Meteor., 32, 539–547.
- Goldberg, D, E., 1989. Genetic algorithms in search optimization and machine learning. Reading MA: Addison Wesley.
- Hein, M., and Jensen, K. S., 1997. CO<sub>2</sub> increases oceanic primary production. Scientific Correspondence. Nature 388, 526-527.
- Ikusima, I., 1970. Ecological studies on the productivity of aquatic plant communities. IV. Light condition and community photosynthetic production. Bot. Mag. Tokyo 83: 330-340.
- Maberly, S.C., Spence, D.H.N., 1983. Photosynthetic inorganic carbon use by freshwater plants. J. Ecol. 71, 705–724.
- Nakhaei, N., and Etemad Shahidi, A., 2010. Waste water discharge impact modeling with QUAL2K, case study: the Zayandeh-rood River. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs).



- Oconer, D. J., and Thomann, R. V., 1972. Water Quality Models Chemical, Physical and Biological constituents. In: Estuarine Modeling an Assessment. EPA water pollution control research series 16070 DZV Section 702/71. Pp. 102-169.
- Raj Kannel, P., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R., and Pelletier, G.J., 2007. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. ecological modelling 202 (2007) 503-517.
- Riley, G.A., 1956. Oceanography of Long Island Sound 1952-1954. II. Physical Oceanography, Bull. Bingham Oceanog. Collection 15, pp. 15-16.
- Rosgen, D., 1996. Applied river morphology. Wildland Hydrology publishers. Pagosa Springs, CO.
- Sridhar, V. and Elliott, R. H., 2002. On the development of a simple downwelling longwave radiation scheme. Agricultural and Forest Meteorology 112 (2002) 237-243.
- Stumm, W., and Morgan, J. J., 1996. Aquatic Chemistry, 3rd Ed., New York, Wiley-Interscience, 1022 pp
- Titus, J., and M. A. Adams., 1979. Coexistence and the comparative light relations of the submersed macrophytes *Myriophyllum spicatum* L. and *Vallisneria Americana* Michx. Oecologia 40: 273-286.
- Van der Bijl, L., Sand-Jensen, K., and Hjermand, A, L., 1989. Photosynthesis and canopy structure of a submerged plant *Potamogeton pectinatus*, in a Danish lowland stream. J. Ecol. 77: 947-962.