

## ۱- تعاریف مفاهیم اولیه

### - کیفیت آب:

عبارتی است که برای توصیف خصوصیات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی آب استفاده شده و با در نظر گرفتن تناسب آب با مصارف سودمند آن بیان می شود.

**Table 1.2.** Major freshwater quality issues at the global scale<sup>1</sup>

Issue	Water body			
	Rivers	Lakes	Reservoirs	Groundwaters
Pathogens	xxx	x <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	x
Suspended solids	xx	na	x	na
Decomposable organic matter <sup>3</sup>	xxx	x	xx	x
Eutrophication <sup>4</sup>	x	xx	xxx	na
Nitrate as a pollutant	x	0	0	xxx
Salinisation	x	0	x	xxx
Trace elements	xx	xx	xx	xx <sup>5</sup>
Organic micropollutants	xxx	xx	xx	xxx <sup>5</sup>
Acidification	x	xx	xx	0
Modification of hydrological regimes <sup>6</sup>	xx	x		x

A full discussion of the sources and effects of each of these pollution issues is available in the relevant chapters of Meybeck *et al.*, 1989

xxx Severe or global deterioration found

xx Important deterioration

x Occasional or regional deterioration

جدول ۱-۲- طبقه بندی پارامترهای کیفیت آب

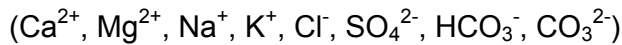
پارامترهای بیولوژیکی	پارامترهای فیزیکی شیمیایی
- کلی فرمها	- دما
- کلی فرم های مدفوعی	- بو
- باکتری ها	- ذرات معلق
- اشرشیا کلی	- رادیو اکتیویته
- اتروکوکسی ها	- pH
- کلروفیل a	- مواد محلول (کاتیون ها و آنیون ها)
- پریفیتون ها	- یون کلر و کلر باقیمانده
- زئو پلانکتونها	- فلزات سنگین: آرسنیک، کادمیوم، کرم، مس، نیکل، ....
- فیتو پلانکتونها	- مواد آلی ساده و حلقوی (TOC)
	- ترکیبات نیتروژن
	- ترکیبات فسفر
	- DO
	- BOD
	- COD

### - ارزیابی کیفیت آب:

عبارتست از فرآیند کلی ارزیابی طبیعت بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی آب در ارتباط با کیفیت طبیعی، اثر بر انسان و مصارف هدف و مصارف خاصی که ممکن است بر سلامت انسان یا سلامت خود اکوسیستم آبی تاثیر بگذارد.

### ۳-۳ پارامترهای شیمیایی

۱- یونهای اصلی: عبارتند از



- سدیم: یک عنصر ضروری حیات. منبع آن: نمک طبیعی زمین، فاضلابهای انسانی و صنعتی، نمک مورد استفاده برای ذوب برف و یخ.

- حد مجاز استاندارد WHO برای آب آشامیدنی: ۲۰۰ میلی گرم در لیتر.

- مهم در کشاورزی و آبیاری: عامل کند کننده رشد گیاه. Sodium adsorption ratio

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (\text{milliequivalents per litre})$$

- هرچه مقدار SAR بیشتر باشد احتمال جایگزینی سدیم با کلسیم و منیزم در خاک بیشتر است و سبب تخریب ساختار خاک می گردد.

- پتاسیم: در غلظت های کم در آبها مشاهده می شود چون سنگهای حاوی پتاسیم نسبت به هوازدگی مقاوم ترند.

- نمک های پتاسیم در کودها و صنایع مصرف زیادی دارد.

- یک عنصر ضروری حیات گیاهان است.

- کلسیم: در ترکیب با سولفات و کربنات بوده (سنگ آهک و گچ) و در آبها به مقدار زیاد دیده می شود.

- به همراه منیزیم عامل اصلی سختی آب اند.

- منبع آن فرایندهای تصفیه فاضلاب انسانی و صنایع و تصفیه آب.

- محیط اسیدی سبب افزایش قدرت نفوذ آن در خاک می گردد.

- تشکیل رسوب کربنات کلسیم در اثر حرارت، فتوسنتز و کم شدن دی اکسید کربن در اثر افزایش فشار از عوامل کاهش کلسیم در آبها هستند.

- یک عنصر ضروری تمام گونه های حیات است.

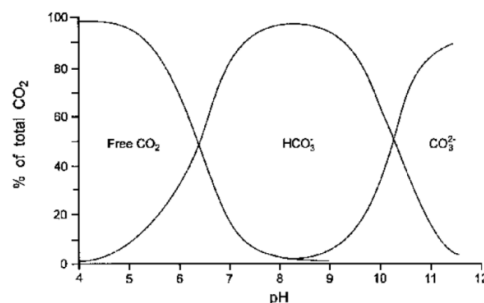
- منیزیم: در مواد معدنی فرومنیزیک و سنگهای کربناته یافت می شود.

- به همراه کلسیم عامل اصلی سختی آب اند.

- یک عنصر ضروری حیات است.

- کربنات و بیکربنات: در سختی و قلیائیت آب موثر اند. غلظت انواع کربن معدنی در آب بستگی به pH دارد. اما در pH طبیعی آب (۶ تا ۸/۲) مقدار بیکربنات غلبه دارد و مقدار کربنات ناچیز است (چون در pH بالاتر از ۹ حضور دارد)

Figure 3.1. The relative proportions of different forms of inorganic carbon in relation to the pH of water under normal conditions



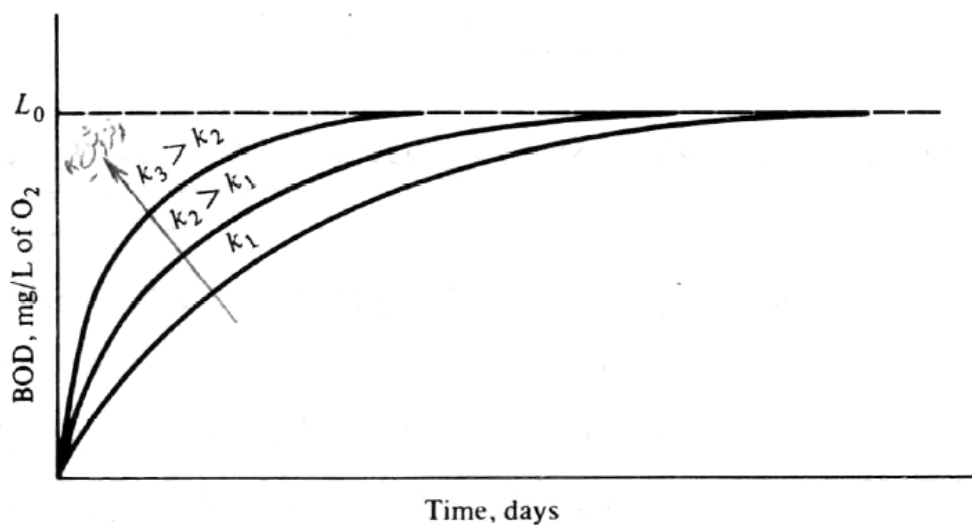
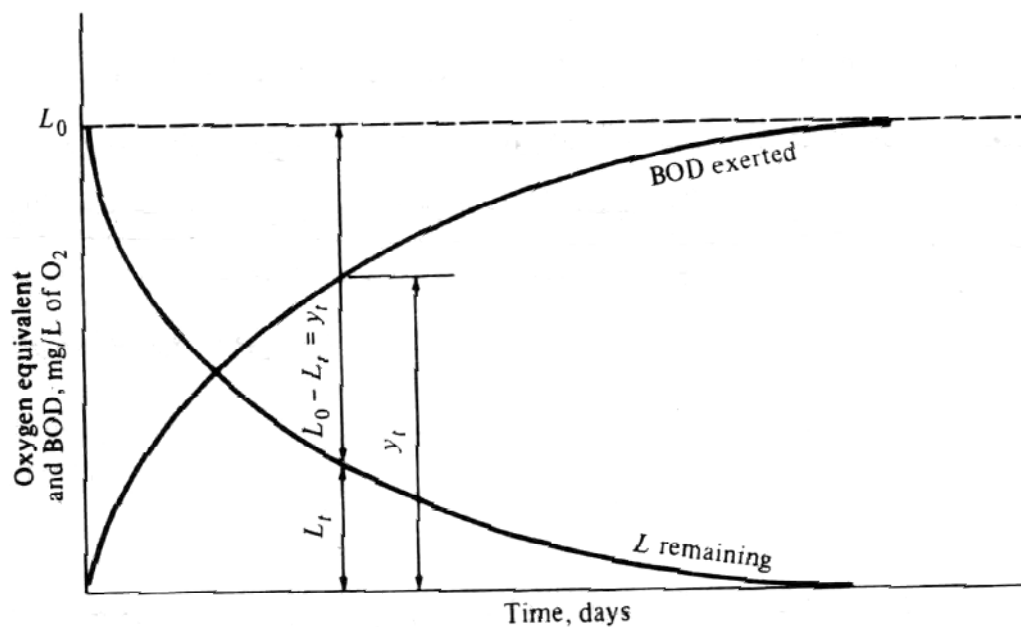
- میزان مصرف مواد آلی بوسیله میکروارگانیسم‌ها (واکنش از درجه اول):

$$dL_t / dt = -k \cdot L_t \rightarrow L_t = L_0 e^{-kt}$$

که در آن  $L_0$  کل اکسیژن معادل مواد آلی در زمان صفر (یا BOD نهایی) و  $L_t$  مقدار اکسیژن باقیمانده در زمان  $t$  است.

$$BOD_t = L_0 - L_t \rightarrow BOD_t = L_0(1 - e^{-kt}), k = 0.1 - 0.5 \text{ d}^{-1}$$

این مقدار در واقع BOD کربنی است. مواد آلی کوچکتر که سریعتر تجزیه می‌شوند،  $k$  بالاتر دارند.



- رابطه  $k$  با دما (معادله ون هوف-آرنیوس):

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)}, \theta = 1.047, T \uparrow: K \uparrow$$

### ۳-۵-۴- فولویک اسیدها و هیومیک اسیدها

در کلرزی آب در حضور این اسیدها سبب تولید تری‌هالومتان‌ها (مثل کلروفرم) می‌شوند. همچنین مواد هیومیکی بر تحرک و سمیت فلزات سنگین تاثیرگذارند. به عنوان یک تخمین می‌توان مقدار آنها را معادل ۸۰ درصد DOC برآورد کرد.

### ۳-۵-۵- مواد آلی آلاینده

مواد غیرقابل تجزیه بیولوژیکی: سلولز، فنل‌ها، اسیدهای تانیک و لیگنیک، پلی‌ساکاریدها، ترکیبات حلقوی (بنزن)-الکیل بنزن سولفونات (ABS) در مواد شوینده که بر خلاف الکیل سولفونات خطی (ANS)، تجزیه‌پذیر نیستند- آفت‌کش‌ها (حشره‌کش‌های هیدروکربنه کلردار و علف‌کش‌های کلروفتوکسی).

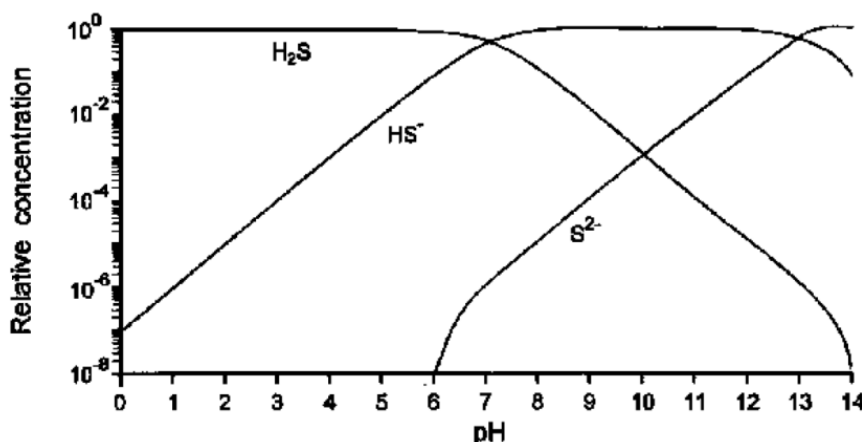
مواد نفتی و مشتقات نفت

### ۳-۶- سایر مواد معدنی

سولفید: در آبهای زیرزمینی ناشی از تجزیه سنگ‌های گوگردی و گازهای آتشفشانی است و در آبهای سطحی در شرایط بیهوازی (بویژه در کف دریاچه‌ها و مخازن) ایجاد می‌گردد. غلظت بالای آن در آب می‌تواند گواهی بر آلودگی با فاضلاب انسانی یا صنعتی باشد.

سولفید محلول در آب بصورت سولفید هیدروژن (غیریونیزه) و هیدروسولفید ( $H_2S$ ) و به ندرت بصورت یون سولفید ( $S^{2-}$ ) ظاهر می‌شود (تابعی از pH). سولفید عملاً در pH کمتر از ۱۰ وجود ندارد.

Figure 3.4. Relative concentrations of the different forms of sulphide in relation to the pH of pure freshwaters



سیلیس ( $SiO_2$ ): به سه شکل محلول، معلق و کلوئیدی در آب یافت می‌شود. یک عنصر ضروری حیات دیاتومه‌ها به شمار می‌رود. شکل فعال آن اسید سیلیسیک است ولی گاهی بصورت سیلیس یا سیلیکات ( $H_4SiO_4$ ) گزارش می‌شود.

فلوراید: در کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر در جلوگیری از پوسیدگی دندان اطفال خوب است اما بیش از ۲ میلی‌گرم در لیتر سبب خالدار شدن دندان می‌شود (در بزرگسالان بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر).

# ۴-۱-۲- گزیده استاندارد آب آشامیدنی ایران: موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی (۱۳۸۸)

جدول ۱ - ویژگی‌های فیزیکی آب آشامیدنی

ردیف	ویژگی	حد مطلوب	مقدار مجاز	واحد اندازه‌گیری
۱	کدورت	کم‌تر یا مساوی ۱	حداکثر ۵	NTU <sup>a</sup>
۲	رنگ	-	حداکثر ۱۵	پلاتین، کبالت برای رنگ حقیقی آب T.C.U <sup>b</sup>
۳	بو	حداکثر ۲ واحد در ۱۲ درجه سلسیوس و حداکثر ۳ واحد در ۲۵ درجه سلسیوس	-	رقم آستانه بو (TON <sup>c</sup> )
۴	pH	۶/۵ - ۸/۵	۶/۵ - ۹/۰	-

**یادآوری ۱-** نظر به این‌که کدورت، رنگ و pH علاوه بر قابل پذیرش بودن آب، در کیفیت بهداشتی آب به طور غیرمستقیم نقش دارند، برای آن‌ها حداکثر مجاز تعریف شده است.

**یادآوری ۲-** تامین کدورت کم‌تر یا مساوی یک ان - تی - یو در خروجی تصفیه‌خانه‌های متعارف آب<sup>۱</sup>، الزامی است.

a- Nephelometric Turbidity Unit  
b- True Color Unit  
c- Threshold Odor Number

جدول ۲ - حداکثر مقادیر مجاز مواد شیمیایی معدنی سستی

(ابعاد بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

ردیف	نوع ترکیب	بر حسب	حداکثر مجاز
۱	آرسنیک	As	۰/۰۱
۲	آزبست <sup>b</sup>	-	۷ MFL <sup>a</sup>
۳	سرب	Pb	۰/۰۱
۴	کروم*	Cr	۰/۰۵
۵	سلنیوم	Se	۰/۰۱
۶	کادمیوم	Cd	۰/۰۰۳
۷	آنتیموان	Sb	۰/۰۲
۸	جیوه (معدنی)	Hg	۰/۰۰۶
۹	مولیبدن	Mo	۰/۰۷
۱۰	سیانور	CN	۰/۰۷
۱۱	بر	B	۰/۵
۱۲	نیکل	Ni	۰/۰۷
۱۳	باریم	Ba	۰/۷
۱۴	وانادیوم <sup>c</sup>	V	۰/۱

\* یادآوری - مقدار ذکر شده برای مقدار کل کروم است.

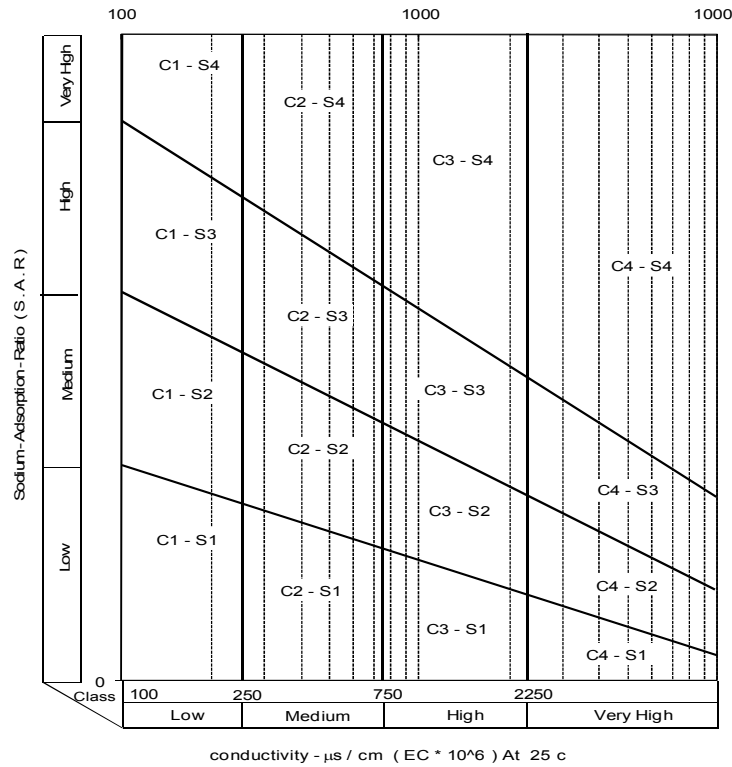
a- MFL = million fibers per liter (با طول بیش از ۱۰ میکرون)

b - به مراجع الزامی بند ۳-۲ مراجعه شود.

c - به مراجع الزامی بند ۳-۱ مراجعه شود.

## ۲-۴- مصارف کشاورزی و آبیاری

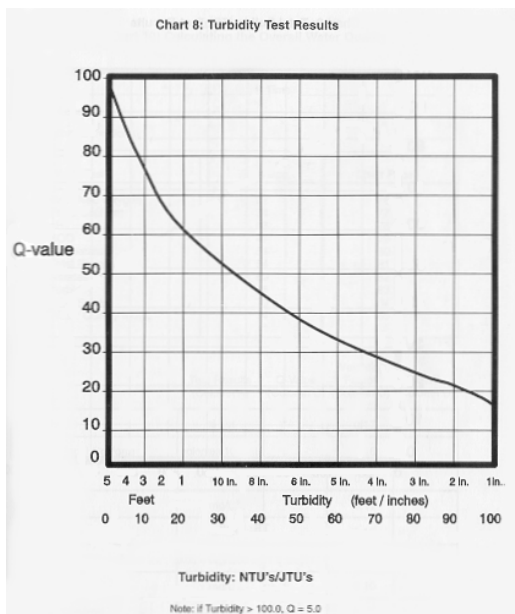
### ۱-۲-۴- دیاگرام ویلکوکس



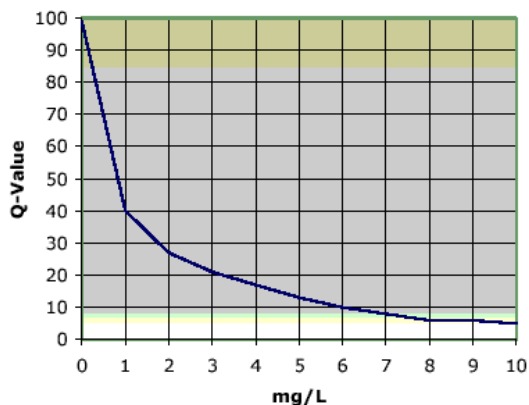
FAO - ۲-۲-۴

**Table 2** LABORATORY DETERMINATIONS NEEDED TO EVALUATE COMMON IRRIGATION WATER QUALITY PROBLEMS

Water parameter	Symbol	Unit <sup>1</sup>	Usual range in irrigation water	
<b>SALINITY</b>				
<u>Salt Content</u>				
Electrical Conductivity	EC <sub>w</sub>	dS/m	0 – 3	dS/m
(or)				
Total Dissolved Solids	TDS	mg/l	0 – 2000	mg/l
<u>Cations and Anions</u>				
Calcium	Ca <sup>++</sup>	me/l	0 – 20	me/l
Magnesium	Mg <sup>++</sup>	me/l	0 – 5	me/l
Sodium	Na <sup>+</sup>	me/l	0 – 40	me/l
Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>–</sup>	me/l	0 – .1	me/l
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>–</sup>	me/l	0 – 10	me/l
Chloride	Cl <sup>–</sup>	me/l	0 – 30	me/l
Sulphate	SO <sub>4</sub> <sup>–</sup>	me/l	0 – 20	me/l
<b>NUTRIENTS<sup>2</sup></b>				
Nitrate-Nitrogen	NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0 – 10	mg/l
Ammonium-Nitrogen	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0 – 5	mg/l
Phosphate-Phosphorus	PO <sub>4</sub> -P	mg/l	0 – 2	mg/l
Potassium	K <sup>+</sup>	mg/l	0 – 2	mg/l
<b>MISCELLANEOUS</b>				
Boron	B	mg/l	0 – 2	mg/l
Acid/Basicity	pH	1–14	6.0 – 8.5	
Sodium Adsorption Ratio <sup>3</sup>	SAR	(me/l) <sup>1, 2</sup>	0 – 15	

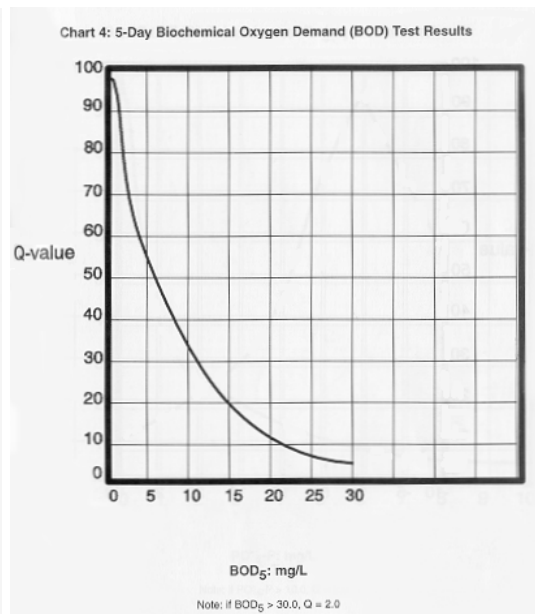


#### Phosphate Results

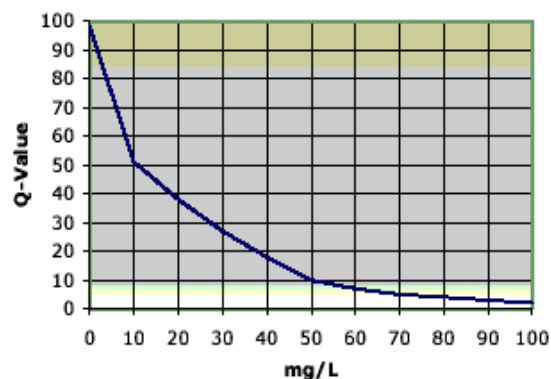


(Note: If phosphate > 10.0, Q=2.0)

Water Quality Index Legend	
Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very bad

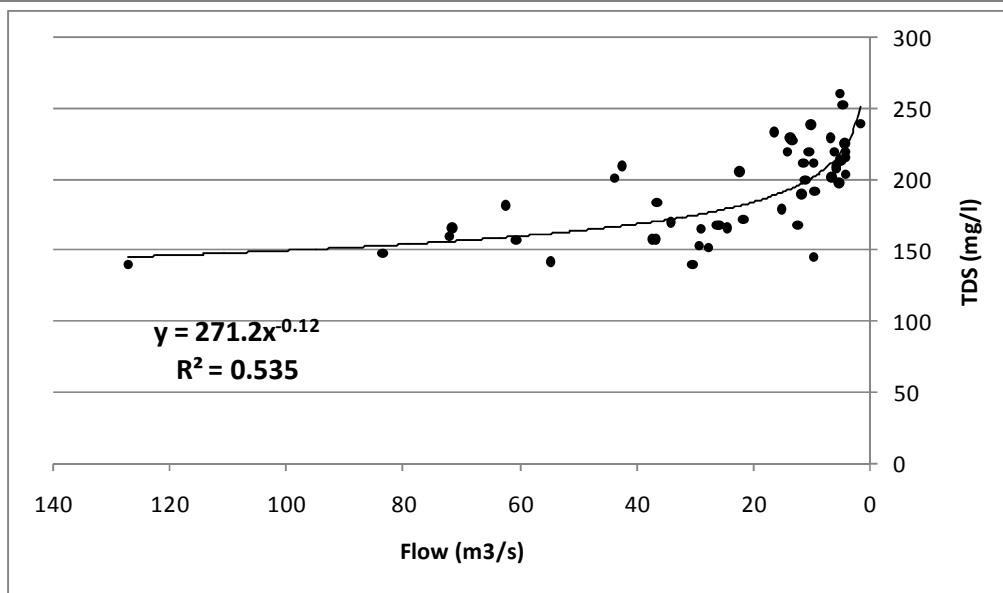


#### Nitrate Results

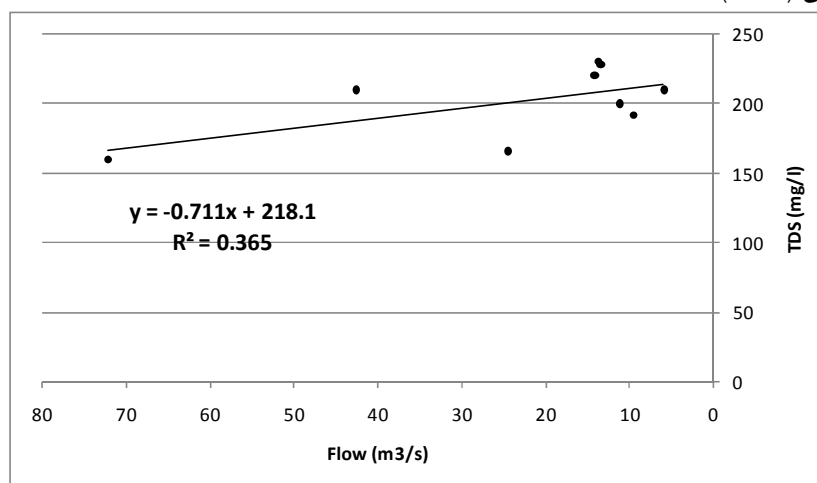


(If Nitrates > 100.0, Q=1.0)

Water Quality Factors and Weights	
Factor	Weight
Dissolved oxygen	0.17
Fecal coliform	0.16
pH	0.11
Biochemical oxygen demand	0.11
Temperature change	0.10
Total phosphate	0.10
Nitrates	0.10
Turbidity	0.08
Total solids	0.07



برای ماه فروردین (۹ داده):



## ۵-۲- بار آلودگی منابع آلاینده نقطه‌ای (PS)

۵-۲-۱- فاضلاب انسانی (شهری و روستایی)

- آمار جمعیت و پیش‌بینی آن

$$P_n = P_0 (1+r)^n$$

- سرانه مصرف آب (برای ایران از حدود ۲۵۰ تا بیش از ۳۰۰ لیتر در روز برای هر نفر متغیر است)

- سرانه تولید فاضلاب و یا ضریب تبدیل آب به فاضلاب

- در مورد غلظت آلاینده‌های فاضلاب خانگی از اعداد زیر استفاده شود:

○ همچنین می‌توان مقدار سرانه  $BOD_5$  و TSS به ترتیب ۵۰ (یا ۴۰) و ۶۰ گرم در هر نفر روز در

نظر گرفت.



۶- کینتیک واکنش‌ها، انواع راکتورها و رژیم جریان

۶-۱- کینتیک واکنش‌ها

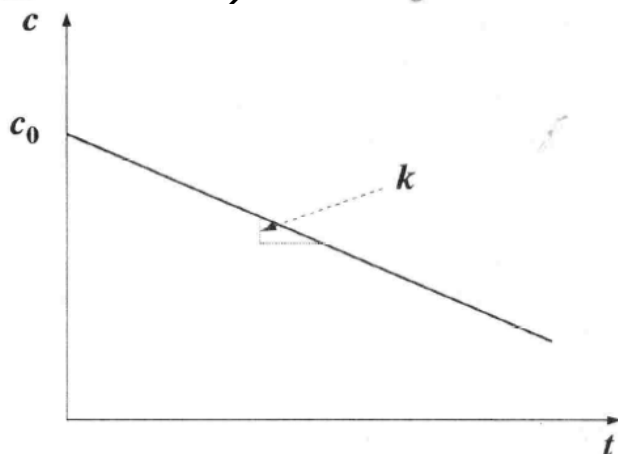
$$\frac{dc_A}{dt} = -kf(c_A, c_B, \dots)$$

$$\frac{dc_A}{dt} = -kc_A^\alpha c_B^\beta, n = \alpha + \beta \rightarrow \frac{dc}{dt} = -kc^n$$

۶-۱-۱- درجات واکنش

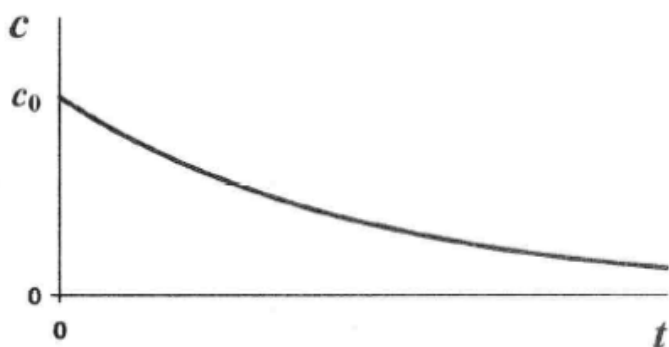
- درجه صفر

$$\frac{dc}{dt} = -k \rightarrow c = c_0 - kt$$



- درجه یک

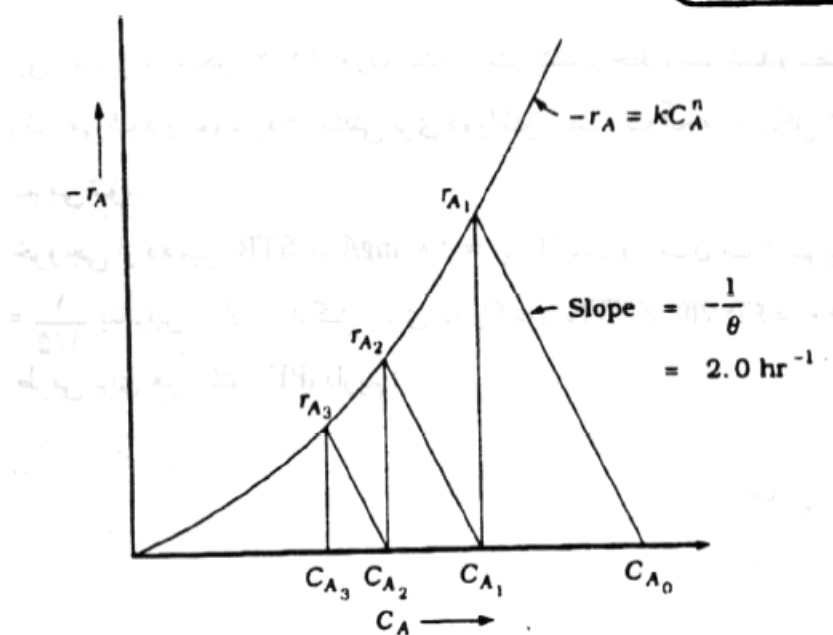
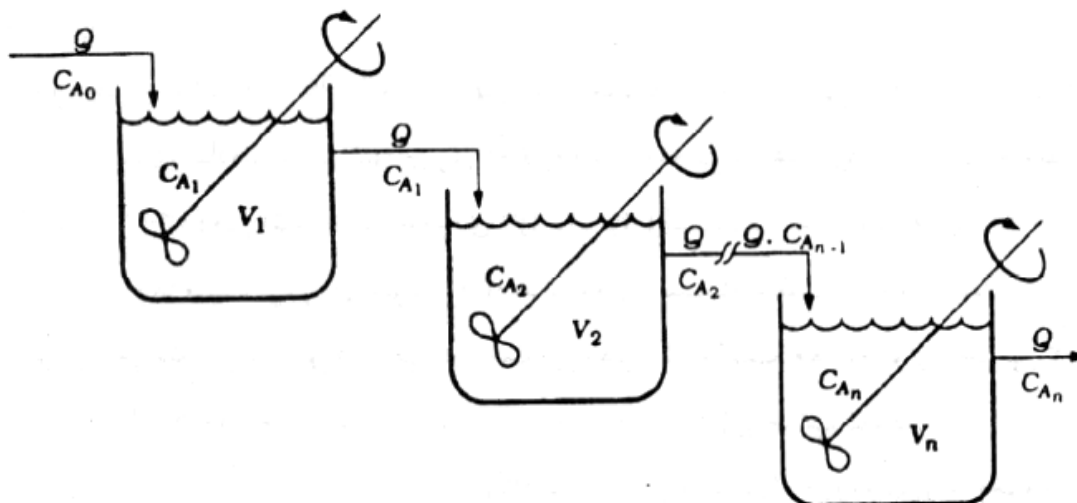
$$\frac{dc}{dt} = -kc \rightarrow \ln c - \ln c_0 = -kt \rightarrow c = c_0 e^{-kt}$$



$$c = c_0 10^{-k't}, k' = \frac{k}{2.3025}$$

$$\frac{C_{A1}}{C_{A0}} = \frac{1}{1 + k\theta} \Rightarrow \theta = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{kC_{A1}}$$

۴-۳-۶- راکتور اختلاط کامل سری



شکل ۳-۱۳- حل گرافیکی یک سری سه تایی از راکتورهای CSTR

Figure 6.1 A. The relationship between stream orders and hydrological characteristics using a hypothetical example for a stream of order 8: (1) Watershed area (A); (2) Length of river stretch (L); (3) Number of tributaries (n); (4) Slope ( $m\ m^{-1}$ ); B. Stream order distribution within a watershed

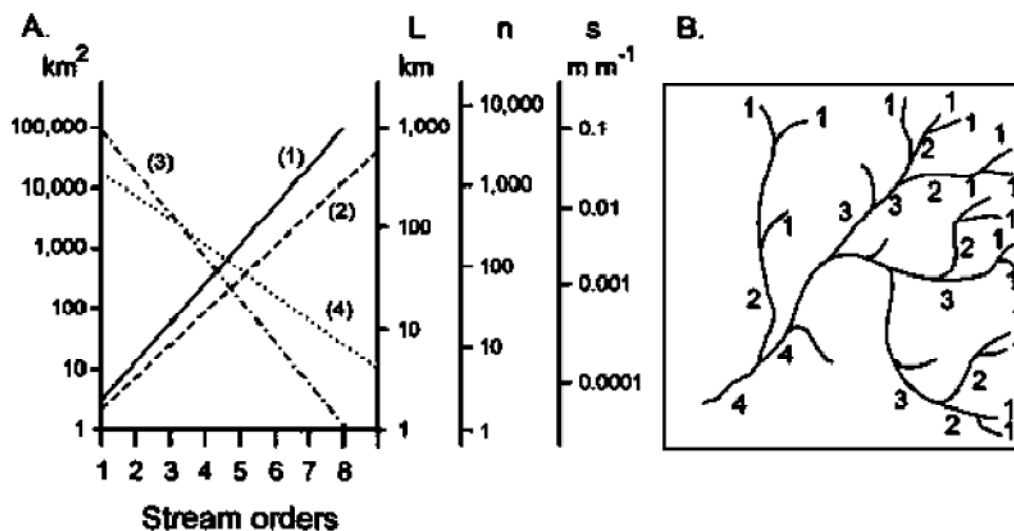
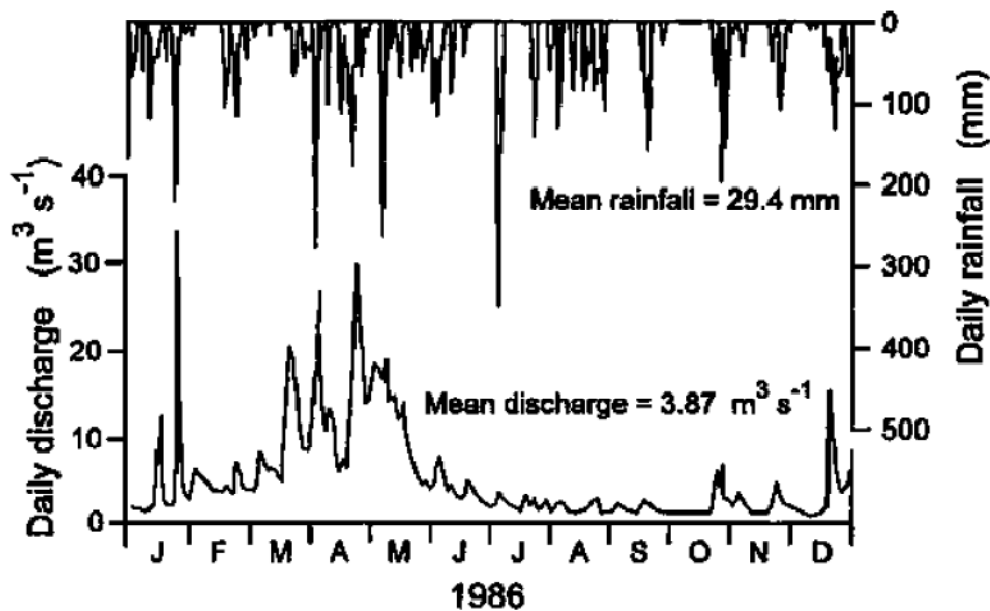
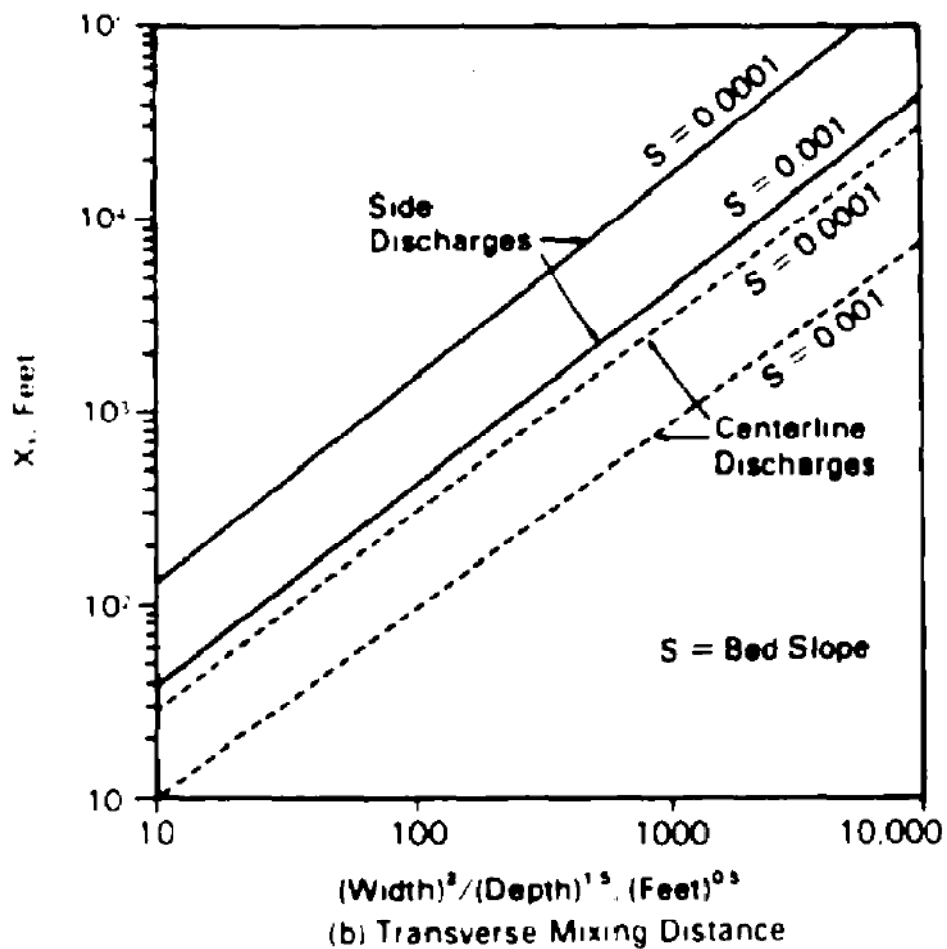
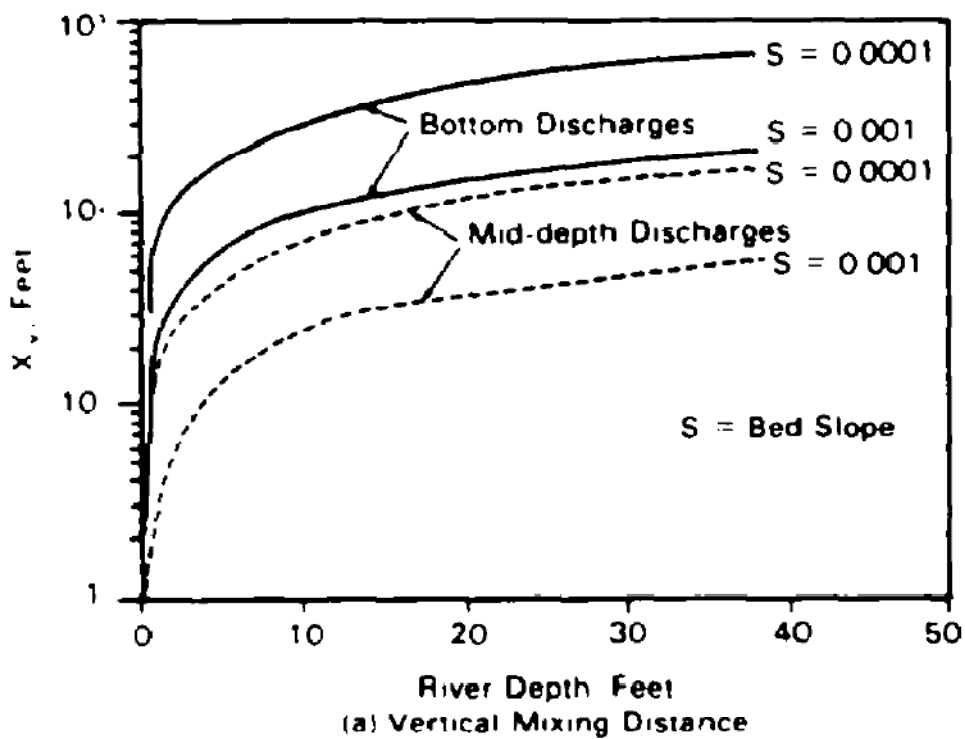


Figure 6.3 Comparison of daily discharge and daily rainfall for the Venoge river in 1986, measured at Ecublens-les Bois, Switzerland (see also Figures 6.28 and 6.29) (After Zhang Li, 1988)



دبی پایه: حداقل مقدار آبی که در رودخانه می‌تواند جریان داشته باشد و در اغلب موارد مربوط به جریان حاصل از زهکشی آبهای زیرزمینی است.



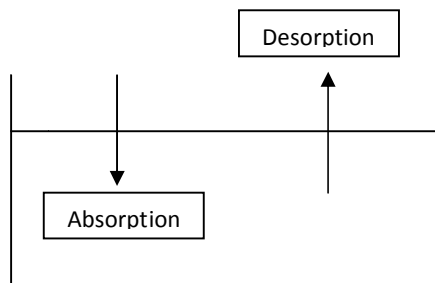
### ۸-۱-۳- ته نشینی و تعلیق مجدد

مهمترین اثرات مواد جامد معلق: افزایش کدورت، کاهش نفوذ نور و کاهش فتوسنتز، آسیب به آبشش ماهیان، ایجاد حالت بیهوازی در رسوبات، تخریب محل تخم‌ریزی و تکثیر آبزیان، کاهش ظرفیت سدها.

### ۸-۱-۴- فیلتراسیون

### ۸-۱-۵- انتقال گاز

غلظت اشباع: تعداد مولکول‌های گاز ورودی و خروجی برابر است (تعادل دینامیک).



- حلالیت: قانون هنری

$X = P / H$  ضریب هنری/فشار گاز بالای مایع

$X = n_g / (n_g + n_l)$  (مول گاز + مول مایع) / مول گاز

$P = \sum P_i$  (قانون دالتون)

$C_s \text{ (mg/l)} = n_g \text{ (mole)} \cdot \text{MW (g/mole)} \cdot 1000$

X جزء مولی تعادل گاز محلول. عوامل موثر بر آن: دما، غلظت گازها و مواد جامد محلول. بدین ترتیب

حلالیت گازها در مایعات چنین تحت تاثیر قرار می‌گیرد:

$X \uparrow : P \uparrow : T \downarrow$  : مواد محلول  $\downarrow$

**Table C-2 Henry's law coefficients for several gases that are slightly soluble in water**

$T, ^\circ\text{C}$	$H \times 10^{-4}, \text{ atm/mol fraction}$							
	Air	$\text{CO}_2$	CO	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{CH}_4$	$\text{N}_2$	$\text{O}_2$
0	4.32	0.0728	3.52	5.79	0.0268	2.24	5.29	2.55
10	5.49	0.104	4.42	5.36	0.0367	2.97	6.68	3.27
20	6.64	0.142	5.36	6.83	0.0483	3.76	8.04	4.01
30	7.71	0.186	6.20	7.29	0.0609	4.49	9.24	4.75
40	8.70	0.233	6.96	7.51	0.0745	5.20	10.4	5.35
50	9.46	0.283	7.61	7.65	0.0884	5.77	11.3	5.88
60	10.1	0.341	8.21	7.65	0.103	6.26	12.0	6.29

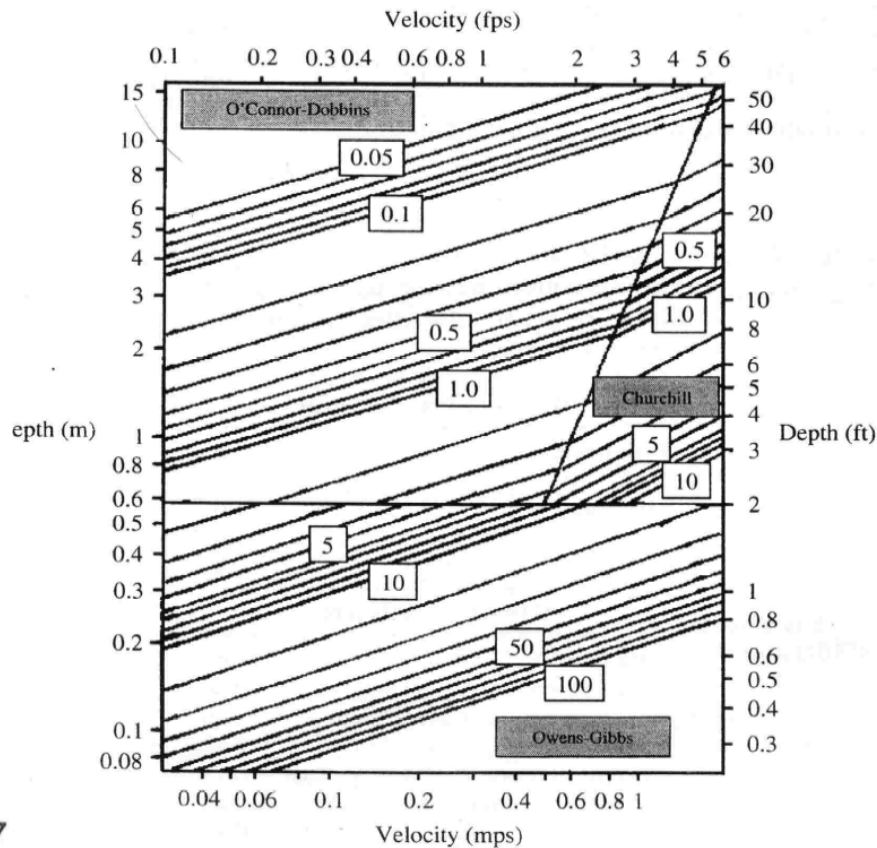


FIGURE 20.7

#### ۸-۳-۲- ثابت زوال BOD

##### الف- انواع BOD

۱- CBOD: اکسیژن مورد نیاز برای تبدیل بیولوژیکی مواد آلی در دوره کشت

۲- اکسیژن مورد نیاز برای اکسید کردن مواد معدنی نظیر سولفید و آهن (II). که همراه با آیتیم بعدی است

۳- NBOD: و تبدیل اشکال احیا شده نیتروژن با حضور یک ماده بازدارنده (تری کلرومتیل پیریدین)

اما اگر هیچ ماده بازدارنده‌ای استفاده نشود، اکسیژن مورد نیاز اندازه‌گیری شده، برابر مجموع CBOD و NBOD است که BOD نهایی یا کل نام دارد (۶۰ تا ۹۰ روز).

نکته: باکتری‌های نیترات‌ساز (nitrifying bacteria) در فاضلاب خام یا پساب اولیه حضور ندارند ولی در پساب ثانویه به مقدار زیادی یافت می‌شوند. پس برای اندازه‌گیری CBOD در پساب ثانویه بازدارنده‌های نیتروژنی باید استفاده شوند.

(کشت در ۲۵ درجه سانتی‌گراد) بدون بازدارنده‌های نیتروژنی =  $BOD_5$  , با بازدارنده‌های نیتروژنی =  $CBOD_5$

mass balances for BOD and dissolved oxygen :

$$V \frac{dL}{dt} = -k_d VL$$

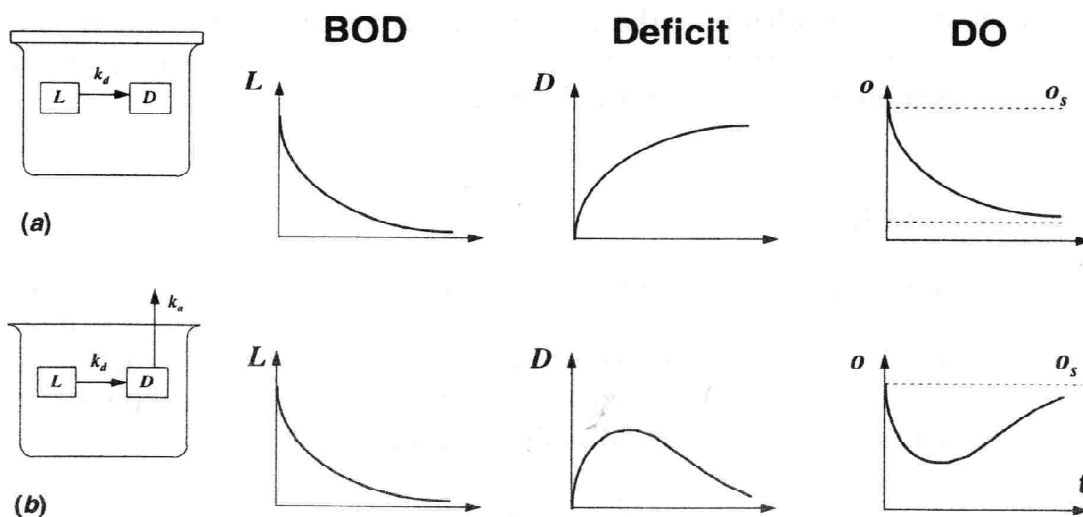
$$V \frac{do}{dt} = -k_d VL + k_a V(o_s - o), D = o_s - o \Rightarrow \frac{dD}{dt} = -\frac{do}{dt}$$

$$\Rightarrow V \frac{dD}{dt} = k_d VL - k_a VD$$

If  $L = L_0$  and  $D = 0$  at  $t = 0$ , then Eqs. 21.1 and 21.5 can be solved for

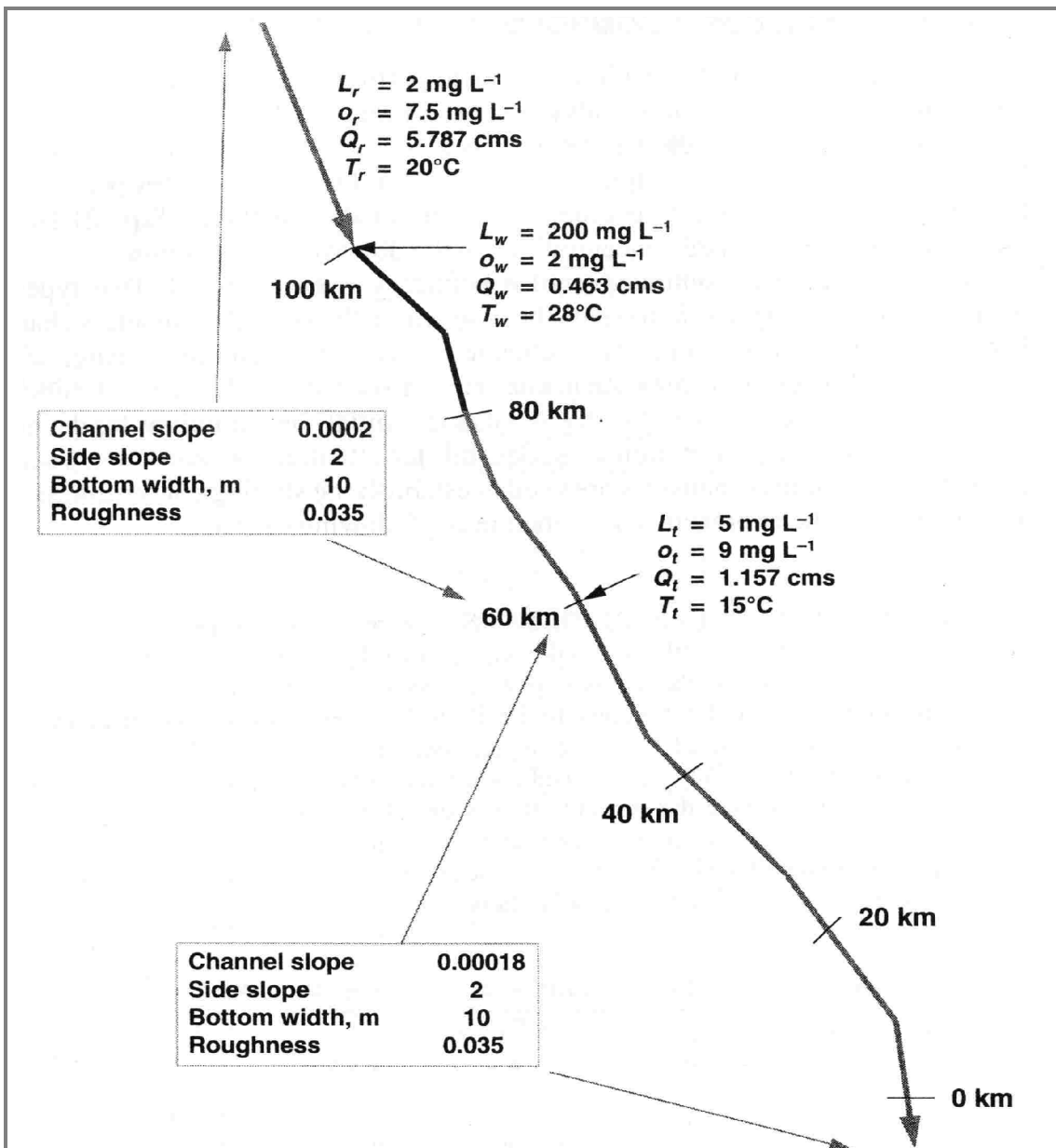
$$L = L_0 e^{-k_d t}$$

$$D = \frac{k_d L_0}{k_a - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_a t})$$



**FIGURE 21.1**

How (a) closed and (b) open systems are affected by BOD decomposition.



**FIGURE 21.3**

A stretch of stream with two point sources and changing hydrogeomorphic characteristics.

**Solution:** First, the concentration of carbonaceous BOD can be calculated for each stretch. A CBOD mass balance is developed at KP 100,

$$L_0 = \frac{40,000(200) + 500,000(2)}{540,000} = 16.667 \text{ mg L}^{-1}$$

which then decays downstream according to

$$L = 16.667e^{-\frac{0.514+0.25}{34,819}x}$$

At KP 80 (that is, 20 km downstream from the point source) the value of BOD will have dropped to



این سه دلیل سبب می‌شود که عملاً شرایطی مشابه NBOD پساب در نظر گرفته شود. برای مقابله با آن دو راه وجود دارد: (۱) در نظر گرفتن نرخ‌های زوال کمتر برای NBOD، (۲) افزودن زمان مرده بصورت مصنوعی به مدل. که هر دو نادقیق است. بنابراین روش مدل‌سازی به صورت زیر باید اصلاح شود.

#### ۸-۳-۳-۴- مدل‌سازی نیتریفیکاسیون با در نظر گرفتن نرخ واکنش درجه اول

$$\frac{dN_o}{dt} = -k_{oa}N_o$$

$$\frac{dN_a}{dt} = k_{oa}N_o - k_{ai}N_a$$

$$\frac{dN_i}{dt} = k_{ai}N_a - k_{in}N_i$$

$$\frac{dN_n}{dt} = k_{in}N_i$$

$o, a, i,$  and  $n$  denote organic, ammonium, nitrite, and nitrate

در اینصورت بیان اکسیژن بصورت زیر خواهد بود:

$$\frac{dD}{dt} = r_{oa}k_{ai}N_a + r_{oi}k_{in}N_i - k_aD$$

For the case where  $N_o = N_{o0}$  and  $N_a = N_{a0}$  at  $t = 0$ .

$$N_o = N_{o0}e^{-k_{oa}t}$$

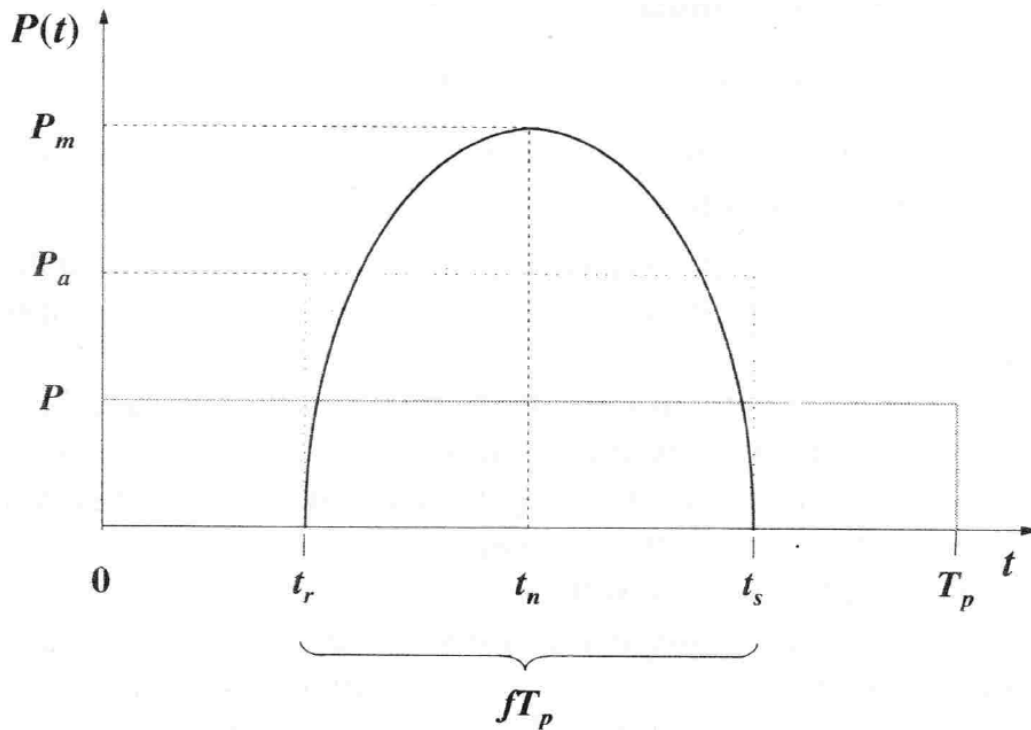
$$N_a = N_{a0}e^{-k_{ai}t} + \frac{k_{oa}N_{o0}}{k_{ai} - k_{oa}}(e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{ai}t})$$

$$N_i = \frac{k_{ai}N_{a0}}{k_{in} - k_{ai}}(e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{in}t}) + \frac{k_{ai}k_{oa}N_{o0}}{k_{ai} - k_{oa}} \left( \frac{e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{in}t}}{k_{in} - k_{oa}} - \frac{e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{in}t}}{k_{in} - k_{ai}} \right)$$

$$N_n = N_{o0} + N_{a0} - N_{o0}e^{-k_{oa}t} - N_{a0}e^{-k_{ai}t} - \frac{k_{oa}N_{o0}}{k_{ai} - k_{oa}}(e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{ai}t}) - \frac{k_{ai}N_{a0}}{k_{in} - k_{ai}}(e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{in}t}) - \frac{k_{ai}k_{oa}N_{o0}}{k_{ai} - k_{oa}} \left( \frac{e^{-k_{oa}t} - e^{-k_{in}t}}{k_{in} - k_{oa}} - \frac{e^{-k_{ai}t} - e^{-k_{in}t}}{k_{in} - k_{ai}} \right)$$

سرانجام معادله دیفرانسیل کمبود اکسیژن باید به طریق عددی حل شود.

- $P_m$  = maximum rate ( $\text{g m}^{-3} \text{d}^{-1}$ )  
 $\omega$  = angular frequency [ $= \pi/(fT_p)$ ]  
 $t_r$  = time of sunrise (d)  
 $t_s$  = time of sunset (d)  
 $f$  = fraction of day subject to sunlight (the **photoperiod**)  
 $T_p$  = daily period (= 1 d, 24 hr, etc., depending on the units of time)



$$f = \frac{t_s - t_r}{T_p}, \text{ usually } \frac{1}{2} \text{ day}$$

$$t_n = \frac{t_r + t_s}{2}$$

انواع میانگین نرخ فتوسنتز

$$P = \frac{\int_0^{T_p} P(t) dt}{T_p} = P_m \frac{2f}{\pi}, \text{ average daily rate}$$

$$P_a = \frac{\int_0^{T_p} P(t) dt}{fT_p} = P_m \frac{2}{\pi}, \text{ average daylight rate}$$

بنابراین نرخ نوری روزانه میانگین، مستقل از پریود نوری ( $f$ ) بوده و برابر  $63/7\%$  نرخ حداکثر می‌باشد. و نرخ میانگین روزانه برای پریود ۱۲ ساعته  $32\%$  و برای پریود ۸ تا ۱۶ ساعته ۲۰ تا  $40\%$  نرخ حداکثر خواهد بود.

where  $k_{d2}$  = decomposition rate in the sediments ( $d^{-1}$ ). At steady-state this balance can be solved for

$$L_2 = \frac{k_s H_w}{k_{d2} H_2} L_w \quad (25.5)$$

where  $H$  = layer thickness (m).

A similar balance for NBOD can be written as

$$V_2 \frac{dL_{2n}}{dt} = a_{no} r_{on} k_s V_w L_w - k_{n2} V_2 L_2 \quad (25.6)$$

where  $a_{no}$  = stoichiometric yield of nitrogen from the decomposition of settling BOD

$r_{on}$  = oxygen demand to nitrogen ratio due to nitrification = 4.57 gBOD  $gN^{-1}$

$k_{n2}$  = nitrification rate in the sediments ( $d^{-1}$ )

Note that, according to the stoichiometric relationships from Eq. 23.21, the nitrogen yield can be calculated as

$$a_{no} = \frac{16(14)}{107(32)} = 0.0654 \text{ gN gBOD}^{-1} \quad (25.7)$$

At steady-state, Eq. 25.6 can be solved for

$$L_{2n} = 0.3 \frac{k_s H_w}{k_{n2} H_2} L_w \quad (25.8)$$

where we have substituted and combined the values for  $a_{no}$  and  $r_{on}$ . Thus we see that according to our simple model, the settling particulate CBOD carries an additional 30% of oxygen demand due to nitrification.

Finally the oxygen deficit balance can be written as

$$V_2 \frac{dD_2}{dt} = k_{d2} V_2 L_2 + k_{n2} V_2 L_{2n} - S'_B A_s \quad (25.9)$$

where  $A_s$  = area of the sediment water interface ( $m^2$ ). At steady-state this balance can be solved for

$$S'_B = 1.3 k_s H_w L_w \quad (25.10)$$

It can further be simplified by realizing that

$$J_{C^*} = k_s H_w L_w = v_s L_{pw} \quad (25.11)$$

where  $J_{C^*}$  = downward flux of organic carbon expressed as oxygen equivalents ( $gO \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )

$v_s$  = settling velocity of particulate organics ( $m \text{ d}^{-1}$ )

$L_{pw}$  = particulate BOD concentration in the water ( $mg \text{ L}^{-1}$ )

Substituting this relationship into Eq. 25.10 gives

$$S'_B = 1.3 J_{C^*} \quad (25.12)$$

Consequently the model yields the rather simple result that the steady-state SOD should be equal to about 130% of the downward flux of ultimate BOD. Table 25.2

- رسوب:

$$\text{Settling} = vA_s c,$$

$v$  = apparent settling velocity ( $L T^{-1}$ ) and  $A_s$  = surface area of the sediments

$$\text{Settling} = k_s V c, \quad k_s = \text{a first-order settling rate constant} = v/H$$

- معادله کل:

$$V \frac{dc}{dt} = W(t) - Qc - kVc - vA_s c$$

## ۹-۲-۲- برخی تعاریف مهم

- فاکتور همگونی (assimilation factor)

اگر شرایط پایدار باشد (steady state) داریم:

$$c = \frac{W}{Q + kV + vA_s}, \quad \text{if } a = Q + kV + vA_s \rightarrow c = \frac{1}{a} W$$

- تابع تبدیل (Transfer function)

در شرایط پایدار داریم:

$$W = Qc_{in} \quad \text{if } \frac{c}{c_{in}} = \beta \rightarrow \beta = \frac{Q}{Q + kV + vA_s}$$

اگر  $\beta \ll 1$  خیلی از یک کمتر باشد، عملکرد مخزن در حذف آلاینده بسیار بالاست. همچنین اگر  $\beta \rightarrow 1$  مکانسیم حذف (مخرج کسر) بسیار ضعیف‌تر از تولید یا ورودی آن (صورت کسر) می‌باشد. در حالت اخیر گفته می‌شود که دریاچه ظرفیت همگونی حداقل را دارا است.

در دبی ثابت ورودی و خروجی  $\beta \downarrow$  :  $A_s \uparrow$  ,  $v \uparrow$  ,  $V \uparrow$  ,  $k \uparrow$  If

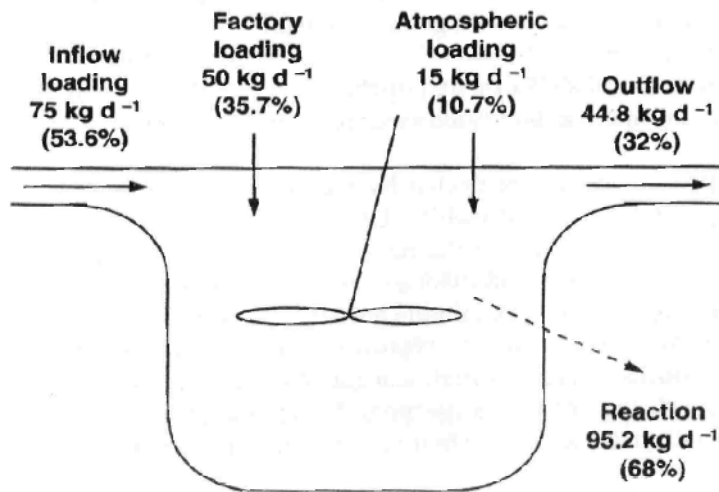
- زمان ماند (Residence Time): رابطه ساده (تخمین اولیه) بر مبنای مقدار خروجی‌ها (فرض: تبخیر = بارش)

$$\tau_w = \frac{V}{Q}$$

- زمان ماند آلاینده (Pollutant Residence Time): رابطه ساده (تخمین اولیه) بر مبنای مقدار خروجی‌ها

$$\left| \frac{dM}{dt} \right|_{\pm} = Qc + kVc + vA_s c \rightarrow \tau_c = \frac{V}{Q + kV + vA_s}$$

اصطلاح	تعریف
متغیر مستقل	t
متغیر تابع (غیرمستقل)	C
تابع محرک (Forcing Function)	W(t)
پارامترها	V, Q, k, v, and A <sub>s</sub>



**FIGURE 3.3**

A mass balance for the well-mixed lake from Example 3.1. The arrows represent the major sources and sinks of the pollutant. The mass-transfer rates have also been included along with the percent of total mass inflow accounted for by each term.

**EXAMPLE 3.2. TRANSFER FUNCTION AND RESIDENCE TIMES.** For the lake in Example 3.1, determine the (a) inflow concentration, (b) transfer function, (c) water residence time, and (d) pollutant residence time.

**Solution:** (a) The inflow concentration is computed as

$$c_{\text{in}} = \frac{W}{Q} = \frac{140,000}{7500} = 18.67 \text{ mg L}^{-1}$$

(b) The transfer coefficient can now be determined as

$$\beta = \frac{c}{c_{\text{in}}} = \frac{Q}{Q + kV} = 0.32$$

Thus the removal processes act to create a lake concentration that is 32% of the inflow concentration.

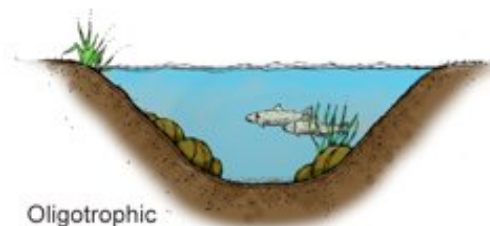
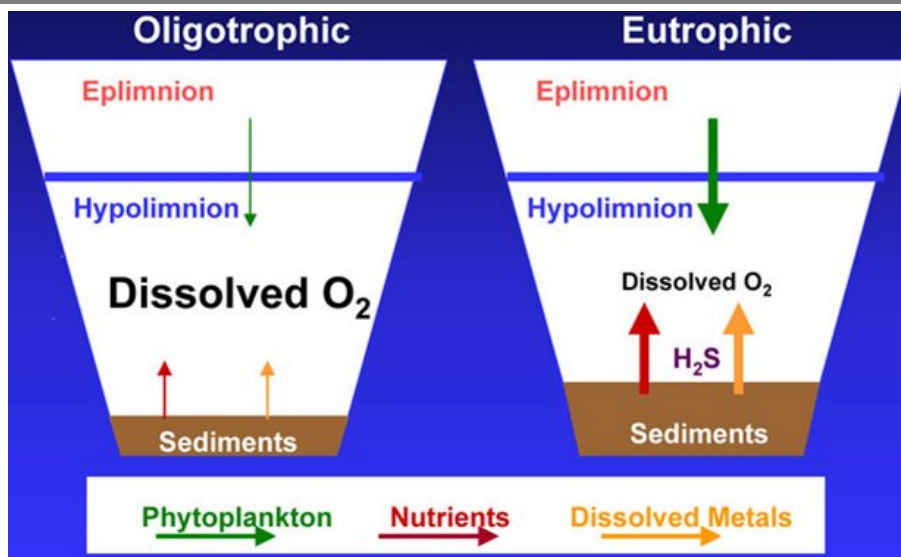
(c) The residence time can be calculated as

$$\tau_w = \frac{V}{Q} = \frac{50,000}{7500} = 6.67 \text{ d}$$

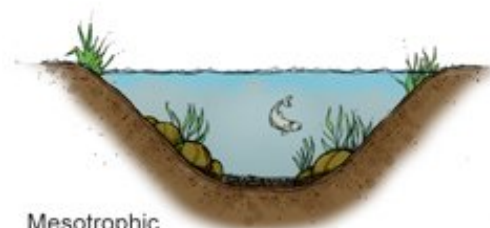
(d) The pollutant residence time is

$$\tau_c = \frac{V}{Q + kV} = \frac{50,000}{7500 + 0.319(50,000)} = 2.13 \text{ d}$$

Because of the addition of the decay term, the residence time of a pollutant is about one-third the water residence time.



Oligotrophic



Mesotrophic



Eutrophic

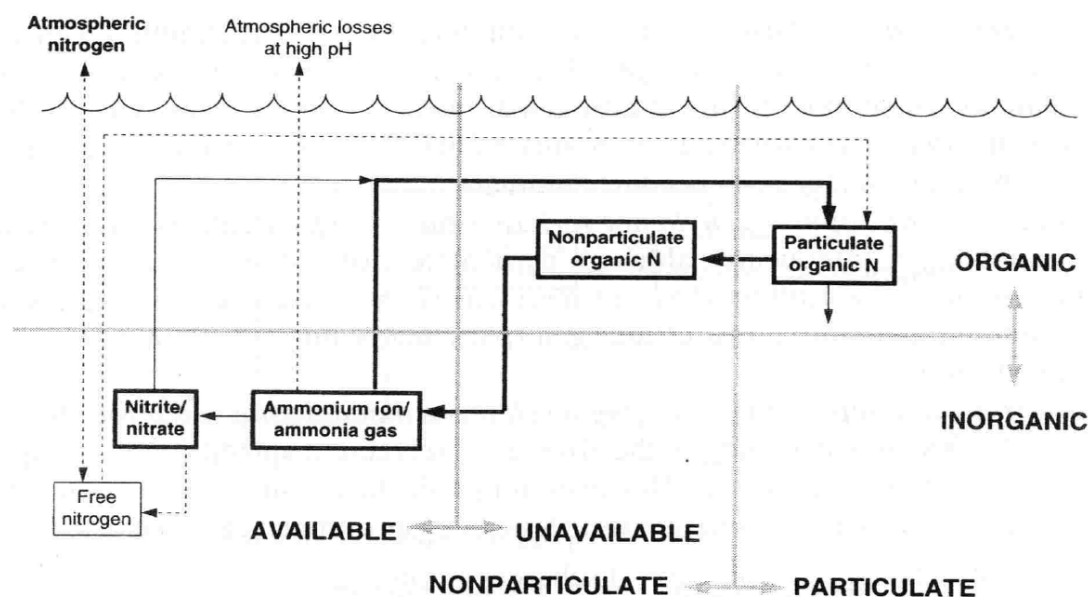


FIGURE 28.2

کربن - ۳-۳-۴-۹

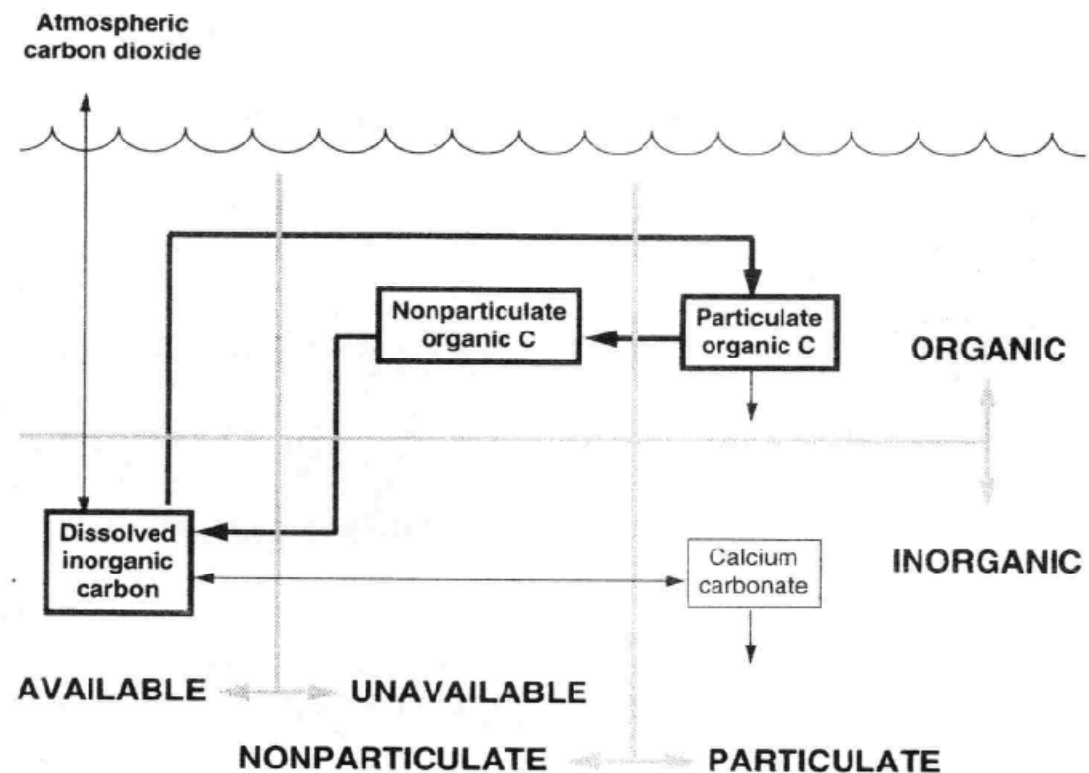


FIGURE 28.3

سیلیس - ۴-۳-۴-۹

فرم محلول و واکنشگر آن  $(Si(OH)_4)$  توسط گروهی از فیتوپلانکتون‌ها (دیاتومه‌ها) مصرف می‌شود و نوعی صدف یا دیواره شیشه‌ای (Frustule) تولید می‌شود.

ب- رابطه چایرا: بر مبنای سرعت ته‌نشینی

$$V \frac{dp}{dt} = W - Qp - vA_s p$$

$v$  is the apparent settling velocity ( $\text{m yr}^{-1}$ )

برای حالت پایدار

$$p = \frac{W}{Q + vA_s}$$

سرعت ته‌نشینی بسیاری از دریاچه‌ها بین ۵ تا ۲۰ متر در سال است اما می‌تواند از ۱ تا ۲۰۰ متر در سال نیز باشد. رابطه ولن‌وایدر در واقع با سرعت ۱۰ نوشته شده است.

با تقسیم صورت و مخرج کسر در رابطه قبلی به مساحت سطح داریم:

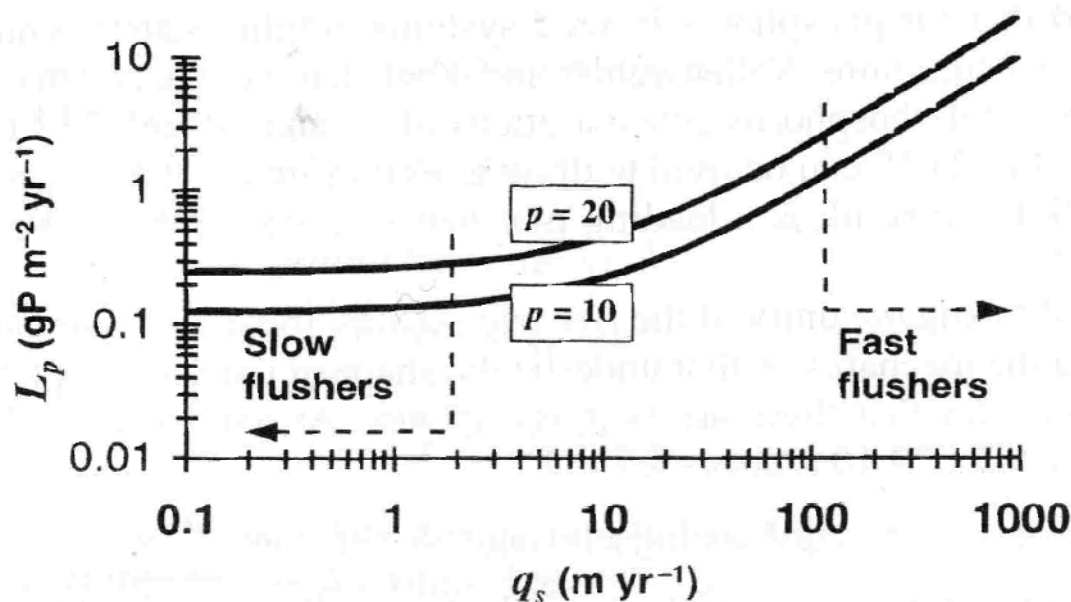
$$p = \frac{L}{q_s + v}, L = W/A_s \rightarrow L = p(q_s + v) \rightarrow \log L = \log p + \log(q_s + v)$$

در رابطه بالا اگر مقدار  $q_s$  ناچیز باشد (دریاچه‌هایی با فلاشینگ (تخلیه) کم) داریم:

$$\log L = \log p + \log v = \text{constant}$$

و برعکس اگر مقدار  $q_s$  زیاد باشد:

$$\log L = \log p + \log q_s$$



**FIGURE 29.3**

Loading plot derived from a phosphorus budget model (Eq. 29.10 with  $v = 12.4 \text{ m yr}^{-1}$ ).

#### ۹-۴-۸- شاخص تغذیه‌گرایی (Trophic State Index, TSI)

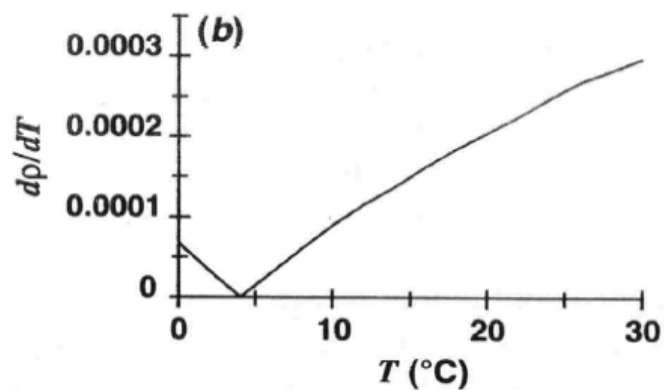
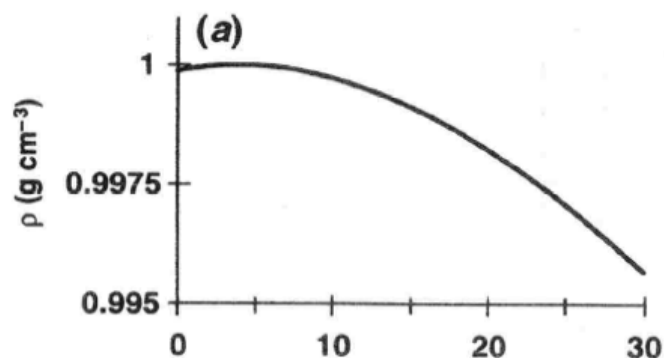
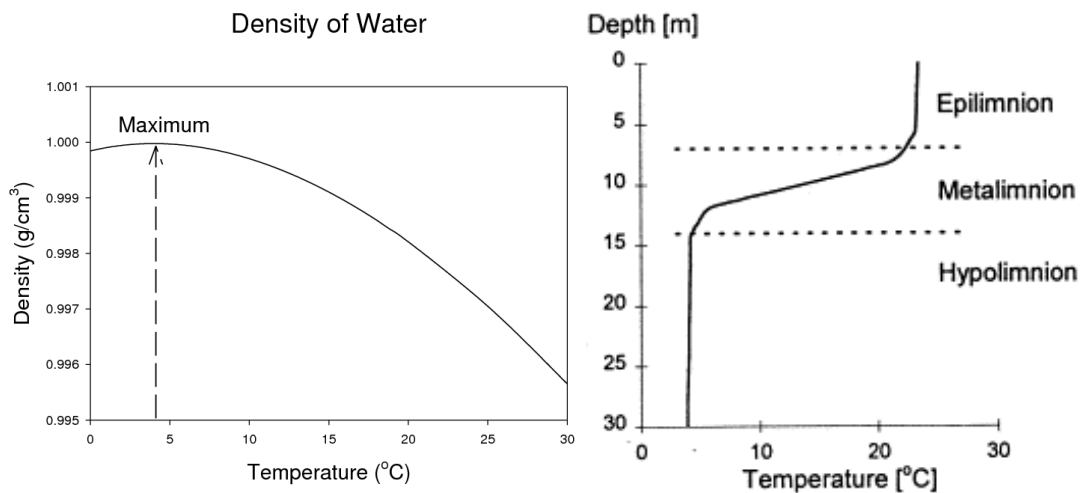
روش دیگر بررسی میزان تغذیه‌گرایی در این سطح شاخص تعیین تغذیه‌گرایی (TSI) می‌باشد که روابط تجربی براساس میزان عمق سکی، کلروفیل، فسفر و نیتروژن به طور جداگانه داده شده است. که براساس اطلاعات موجود



## ۱۰- اثرات حرارتی در مخازن

### ۱۰-۱- لایه‌بندی حرارتی مخازن (Thermal Stratification)

لایه‌بندی آب در عمق مخزن، یعنی لایه‌هایی از جرم‌های سیال که به وسیله اختلاف در دانسیته، درجه حرارت، مواد محلول و یا مواد معلق ایجاد می‌گردند. در اغلب دریاچه‌ها لایه‌بندی نتیجه تعادل حرارتی بین آب نگهداری شده در مخزن و دیگر ورودیها به مخزن می‌باشد.



**EXAMPLE 30.3. RELATIVE HUMIDITY, DEW POINT, AND AIR TEMPERATURE.** The atmosphere above a lake has an air temperature of 25°C, a relative humidity of 60%, and the surface water temperature is 35°C. Use this information to determine (a) the air vapor pressure and the dew-point temperature and (b) whether evaporation or condensation will occur.

**Solution:** (a) Equation 30.16 can be used to compute the saturation vapor pressure,

$$e_{\text{sat}} = 4.596e^{\frac{17.27(25)}{237.3+25}} = 23.84 \text{ mmHg}$$

Therefore Eq. 30.15 can be used to determine the air vapor pressure,

$$e_{\text{air}} = \frac{R_h e_s}{100} = \frac{60(23.84)}{100} = 14.3 \text{ mmHg}$$

Then this value can be substituted into Eq. 30.17,

$$14.3 = 4.596e^{\frac{17.27T_d}{237.3+T_d}}$$

which can be solved for

$$T_d = \frac{237.3}{\frac{17.27}{\ln(14.3/4.596)} - 1} = 16.7^\circ\text{C}$$

(b) The saturation vapor pressure corresponding to the surface temperature of the water can be computed as

$$e_s = 4.596e^{\frac{17.27(35)}{237.3+35}} = 31.93 \text{ mmHg}$$

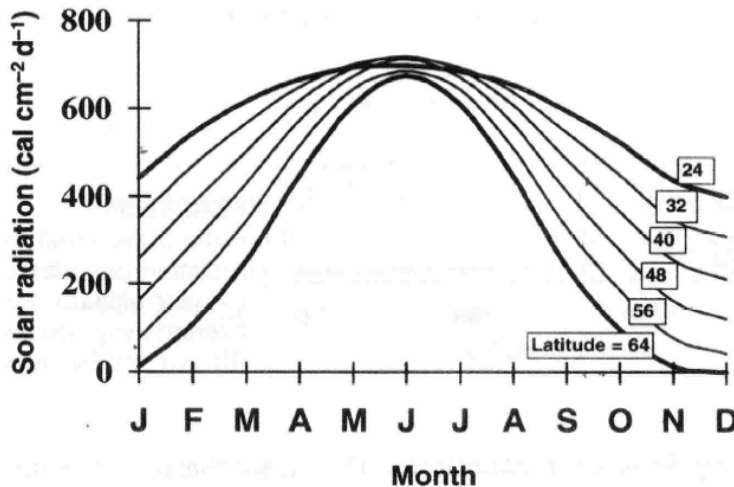
Because  $e_s > e_{\text{air}}$ , Dalton's law indicates that heat (and water) will be lost from the lake by evaporation.

۱۰-۲-۱- پارامترهای مستقل از آب / تشعشع جذب شده خالص /

الف- تشعشع خورشیدی موج کوتاه

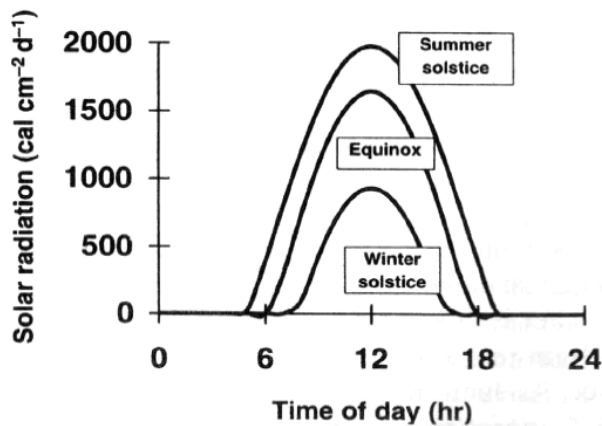
مقدار تشعشع خورشیدی وابسته به عوامل زیر است:

- ارتفاع خورشید: وابسته به روز، ساعت و موقعیت محل مورد نظر روی زمین دارد.



**FIGURE 30.5**

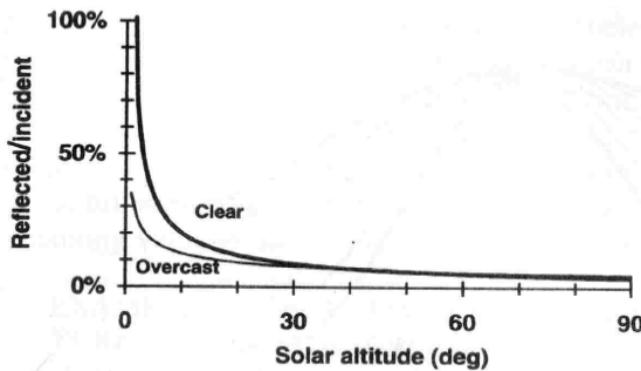
Daily totals of solar radiation for different latitudes as a function of time of year (from Kreider 1982).



**FIGURE 30.6**

Diurnal trends of clear-sky solar radiation on a horizontal surface at latitude 40°N on the summer solstice (June 21), the winter solstice (Dec. 21), the vernal equinox (Mar. 21), and the autumnal equinox (Sep. 21) (from Kreider 1982).

- پراکنش و جذب اتمسفری: پراکندگی با غبار، جذب با گازهای جوی و انعکاس با ابر انجام می‌شود.
- انعکاس (زمینی): انعکاس و پراکندگی توسط سطح آب. درصد میزان تشعشعی که از روی یک سطح بازگشت داده می‌شود نسبت به کل تشعشع رسیده به آن "بازتاب یا Albedo" نامیده می‌شود. آب تخت و مسطح در زمانی که ارتفاع خورشید پائین باشد، انعکاس زیادی خواهد داشت.



**FIGURE 30.7**

Ratio of reflected to incident solar radiation (albedo) as a function of solar altitude. Both clear and overcast sky conditions are shown (Brown and Barnwell 1987).

- اثر سایه: اگر بدنه آبی در سایه قرار گرفته باشد، باعث کاهش تشعشع دریافتی می‌گردد.
- اندازه‌گیری تشعشع خورشیدی با فرمول‌ها نیز میسر است؛ با در نظر عواملی نظیر زمان، موقعیت و میزان ابری بودن.

#### ب- تشعشع جوی موج بلند

با اصلاح قانون استفان-بولتزمن داریم:

$$J_{an} = \sigma(T_{\text{air}} + 273)^4 \left( A + 0.031\sqrt{e_{\text{air}}} \right) (1 - R_L)$$

Stefan-Boltzmann  
law

Atmospheric  
attenuation

Reflection

where  $\sigma$  = the Stefan-Boltzmann constant =  $4.9 \times 10^{-3} \text{ J (m}^2 \text{ d K}^4)^{-1}$  or  $11.7 \times 10^{-8} \text{ cal (cm}^2 \text{ d K}^4)^{-1}$

$T_{\text{air}}$  = air temperature (°C)

$A$  = a coefficient (0.5 to 0.7)

$e_{\text{air}}$  = air vapor pressure (mmHg)

$R_L$  = reflection coefficient ( $\cong 0.03$ )

The recurrence interval is then defined as

$$T = \frac{1}{p} \quad (14.14)$$

Probability paper can be used to pick off the 7Q10 as depicted in Fig. 14.4 and described in the following example.

**EXAMPLE 14.3. CALCULATION OF 7Q10.** The following 7-d low flows were compiled for a river:

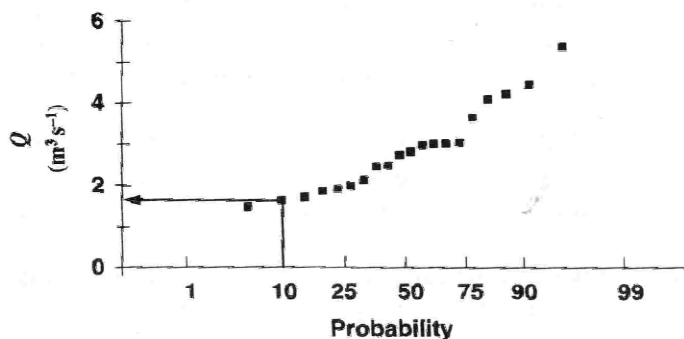
1971	1.72	1976	4.23	1981	4.48	1986	5.39
1972	3.03	1977	4.11	1982	3.03	1987	3.00
1973	2.76	1978	1.92	1983	2.84	1988	2.50
1974	1.65	1979	2.14	1984	3.66	1989	2.47
1975	2.00	1980	1.48	1985	1.87	1990	3.07

Use this data to determine the 7Q10.

**Solution:** The data can be ordered and tabulated along with the cumulative probability of occurrence and the recurrence interval:

Rank	Flow	Probability	Recurrence interval	Rank	Flow	Probability	Recurrence interval
1	1.48	4.76	21.00	11	2.84	52.38	1.91
2	1.65	9.52	10.50	12	3.00	57.14	1.75
3	1.72	14.29	7.00	13	3.03	61.90	1.62
4	1.87	19.05	5.25	14	3.03	66.67	1.50
5	1.92	23.81	4.20	15	3.07	71.43	1.40
6	2.00	28.57	3.50	16	3.66	76.19	1.31
7	2.14	33.33	3.00	17	4.11	80.95	1.24
8	2.47	38.10	2.63	18	4.23	85.71	1.17
9	2.50	42.86	2.33	19	4.48	90.48	1.11
10	2.76	47.62	2.10	20	5.39	95.24	1.05

This data can be plotted on normal probability paper. As in Fig. 14.4 a value of about 1.66 cms corresponds to the 7Q10.



**FIGURE 14.4**  
Frequency curve corresponding to the 7-d minimum flow for the river from Example 14.3.