چگونه فاضلاب تصفیه می‌شود؟

فرایند ته‌نشینی (۲)

از سلسله آموزشهای راهبرهای تصفیه‌خانه فاضلاب

قسمت ششم

ایوب ترکیان*

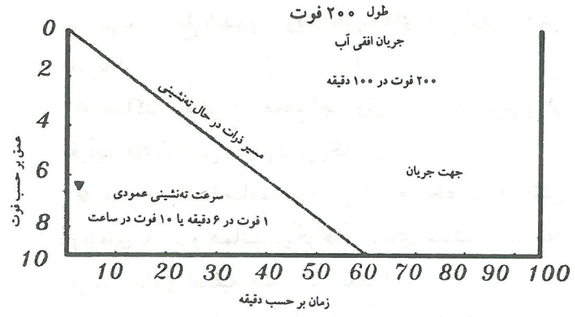
قواعد راهبری:

حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه

مهمترین وظیفه حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه حذف مواد قابل ته‌نشینی است. حذف مواد آلی قابل ته‌نشینی به علت اکسیژن مورد نیاز آنها (BOD) در آبهای پذیرنده یا در واحدهای تصفیه بیولوژیکی مهم می‌باشد.

عوامل زیادی بر طراحی حوضچه‌ها تأثیر می‌گذارند. ویژگیهای ته‌نشینی جامدات معلق از مهمترین این عوامل می‌باشد. اطلاع از سرعت ته‌نشینی ذرات برای تعیین ابعاد حوضچه ضروری می‌باشد. سرعت افقی آب اکثر ذرات را در حالت معلق نگاه می‌دارد. با کاهش سرعت حرکت آب امکان جداسازی ذرات فراهم می‌گردد. سرعت حرکت عمودی ذره به طرف کف حوضچه (ته‌نشینی) تابع وزن ذره در مقایسه با حجم معادل آب (چگالی)[1]، اندازه و شکل ذره و دمای مایع است. جامدات آلی قابل ته‌نشینی فاضلاب به ندرت بیش از ۱ تا ۵ درصد سنگینتر از آب بوده و بنابراین سرعت ته‌نشینی آنها کم است.

اگر سرعت افقی آب به حد ۰/۶ ـ ۰/۳ متر در دقیقه کاهش داده شود (توجه داشته باشید که سرعت در کانال دانه‌گیری حدود ۰/۳ متر در ثانیه بود) اکثر ذرات با چگالی ۱/۰۵ (۵٪ بیشتر از آب) در ته حوضچه ته‌نشین می‌شوند. چگالی آب در ۴°C برابر ۱/۰ می‌باشد؛ هر لیتر آب ۸۳۳ گرم وزن دارد. وزن هر لیتر جامدات فاضلاب با چگالی ۱/۰۵ برابر ۸۷۳ گرم می‌باشد. رابطه سرعت ته‌نشینی و سرعت مایع را می‌توان با استفاده از نمودار به‌صورت زیر نشان داد.



شکل ۱ : مسیر ذره در حال ته‌نشینی

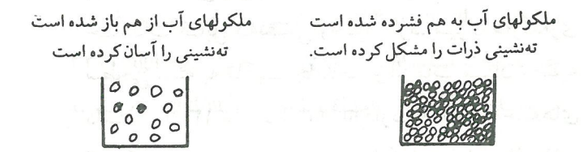
فرض کنید که سرعت افقی مایع ۰/۶ متر در دقیقه و طول حوضچه ۶۰ متر باشد. مدت زمان لازم برای طی طول حوضچه ۱۰۰ دقیقه است. اگر ذره در حین حرکت بطرف انتهای حوضچه با سرعت ۰/۳ متر در هر ۶ دقیقه به طرف

*- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

پایین نیز حرکت کند، در صورتی که عمق حوضچه ۳ متر باشد پس از ۶۰ دقیقه به کف حوضچه می‌رسد. اگر سرعت ته‌نشینی ذره ۳ متر در ۶۰ دقیقه باشد در ۶۰ درصد اول حوضچه به ته حوضچه می‌رسد، چون زمان حرکت مایع اطراف آن از آغاز تا انتهای حوضچه ۱۰۰ دقیقه است.

عوامل متعددی بر ویژگیهای ته‌نشینی در یک حوضچه خاص تأثیر دارد. تعدادی از این عوامل که متداولتر می‌باشند در زیر مورد بحث قرار گرفته است.

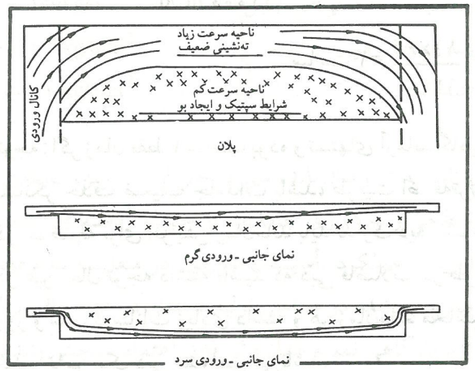
۱ـ دما: آب با افزایش دما (بالای ۴°C) انبساط پیدا کرده و با کاهش دما (تا حد ۴°C) منقبض می‌شود. در دمای پایین‌تر از ۴°C عکس مطلب فوق صادق است. بطور کلی با افزایش دما میزان ته‌نشینی ذرات افزایش و با کاهش دما افت می‌کند. مولکولهای[2] آب در مقابل تغییرات دما از خود عکس‌العمل نشان می‌دهند. وقتی که دما پایین است این مولکولها به‌هم نزدیکتر هستند. به این طریق، دانسیته[3] آب افزایش یافته و به علت اینکه تعداد زیادتری مولکول آب در یک فضای خاص وجود دارد، وزن آب در واحد حجم زیادتر است. با متراکم‌تر شدن آب، تفاوت بین دانسیته آب و ذرات جامد کمتر شده و بنابراین ذرات با سرعت کمتری ته‌نشین می‌شوند. این حالت در شکل زیر شرح داده شده است.



آب سرد ۴°C (چگالی بیشتر) — آب گرم ۱۰۰°C (چگالی پایین)

شکل ۲ : تأثیر حرارت بر ته‌نیشنی

۲ـ اتصال هیدرولیکی: پس از ورود فاضلاب به حوضچه ته‌نشینی باید آن را در کل حجم حوضچه به‌صورت همگن و با سرعت یکسان توزیع کرد. وقتی که سرعت در بعضی از قسمتها بیشتر از قسمتهای دیگر باشد ممکن است اتصال هیدرولیکی رخ دهد. ناحیه با سرعت بالا باعث کاهش زمان ماند ذرات در آن قسمت شده و ذرات به حالت معلق نگاهداشته می‌شوند و به علت عدم وجود زمان کافی برای ته‌نشینی از انتهای حوضچه همراه با آب خارج می‌شوند. از طرف دیگر، اگر سرعت خیلی کم باشد شرایط سپتیک بوجود می‌آید. اتصال هیدرولیکی به سادگی می‌تواند در ابتدای ورود به حوضچه شروع شود (شکل ۳). پیشگیری از این حالت توسط صفحات سرریز، پره‌ها، منافذ در دیواره‌ها و طراحی مناسب کانال ورودی صورت می‌گیرد.



شکل ۳ : اتصال هیدرولیکی

۳ـ زمان‌ماند: فاضلاب باید به اندازه کافی در حوضچه بماند تا زمان لازم برای ته‌نشینی ذرات فراهم گردد. اگر ابعاد حوضچه برای دبی فاضلاب و میزان ته‌نشینی ذرات کوچک باشد، درصد زیادی از ذرات به طرف خروجی حوضچه ته‌نشینی می‌روند. رابطه زمان‌ماند و میزان ته‌نشینی مهم است. اکثر مهندسین، حوضچه‌های ته‌نشینی را برای ۳-۲ ساعت زمان‌ماند طراحی می‌کنند. این قاعده قابل انعطاف بوده و تابع شرایط است. زمان‌ماند را می‌توان با استفاده از اطلاعات مربوط به دبی و ابعاد یا حجم حوضچه محاسبه نمود.

مثال: دبی فاضلاب ۱۲۰۰۰ مترمکعب در روز می‌باشد. حوضچه ته‌نشینی دارای ۱۸ متر طول و ۹ متر عرض بوده و عمق آن ۳ متر می‌باشد. زمان ماند فاضلاب را تعیین نمایید.

فرمولها:

زمان ماند (ساعت) = $\frac{\text{حجم حوضچه } (m^3) \times 24h/d}{\text{دبی }، m^3/d}$

حجم حوضچه m^3 = طول × عرض × عمق

محاسبات:

حجم حوضچه = ۱۸ × ۹ × ۳

= ۴۸۶ m^3

زمان ماند (ساعت) = $\frac{۴۸۶m^3 \times 24h/d}{۱۲۰۰۰\ m^3/d}$

ساعت ۱ = $\frac{۱۱۶۶۴}{۱۲۰۰۰}$ =

توجه: اگر زمان فقط ۱ ساعت بوده و تستهای آزمایشگاهی نشانگر حذف ضعیف جامدات باشد، ظرفیت اضافه‌تری در حوضچه برای افزایش زمان‌ماند باید تدارک دیده شود. در عین حال توجه داشته باشید که دبی فاضلاب در طول روز و شب نوسانات زیادی داشته و هر زمان‌ماند محاسبه شده خاص یک دبی مشخص می‌باشد.

توسط فرمولهای این بخش زمان‌ماند تئوریک محاسبه می‌شود. زمان‌ماند واقعی غالباً کمتر از زمان‌ماند محاسبه شده توسط فرمول بوده و می‌توان آن را از طریق به کارگیری مایع رنگی، ماده ردیاب یا گوی‌شناور به‌دست آورد.

۴ـ **میزان جریان سرریز:** فاضلاب از طریق سرریز به ناودانهای خروجی[۴] ریخته و از حوضچه ته‌نشینی خارج می‌شود. طول خطی[۵] سرریز در رابطه با دبی از اهمیت خاصی برخوردار است چون در ایجاد پدیده اتصال هیدرولیکی یا وقوع سرعتهای زیاد نزدیک سرریز یا ناودان که باعث خارج شدن جامدات ته‌نشین شده می‌شود تأثیر دارد. میزان جریان سرریز، مقدار حجم فاضلاب جریان یافته از روی یک متر خطی سرریز در هر روز می‌باشد. اکثر مهندسین طراح مقدار ۸۰–۴۰ مترمکعب در روز در متر خطی سرریز را توصیه می‌کنند.

میزان جریان بالاتری برای مواد با سرعت ته‌نشینی زیادتر یا برای میزان متوسط‌تری از تصفیه مجاز دانسته شده است. برای حوضچه‌های ته‌نشینی ثانویه و الزامات کیفیت پساب مطلوبتر، میزان سرریزی کمتری در مقایسه با حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه قابل قبول است. محاسبه میزان جریان سرریز از اطلاعات مربوط به دبی و طول سرریز صورت می‌گیرد.

مثال: دبی حوضچه دایره‌ای با قطر سرریز ۲۷ متر برابر ۲۰۰۰۰ m^3/day می‌باشد. میزان بار سرریز را تعیین کنید.

فرمولها:

بار سرریز، $m^3/d.m$ = $\frac{\text{دبی } (m^3/d)}{\text{طول سرریز } m}$

قطر سرریز (m) × ۳/۱۴ = طول سرریز دایره‌ای

محاسبات:

طول سرریز دایره‌ای = ۳/۱۴ × ۲۷ = ۸۵m

بار سرریز = $\frac{۲۰۰۰۰m^3/d}{۸۵m}$ = ۲۳۵$m^3/d.m$

۵ـ **بارگذاری سطحی:** این پارامتر برحسب مترمکعب در روز در مترمربع ($m^3/d.m^2$) سطح حوضچه بیان می‌شود. بعضی از مهندسین طراح و راهبرها به تجربه دریافته‌اند که رابطه مستقیمی بین بارگذاری سطحی و راندمان حذف جامدات قابل ته‌نشینی وجود دارد. میزان بارگذاری سطحی بسته به ماهیت جامدات و الزامات میزان تصفیه دامنه‌ای از ۱۳ تا ۵۳ $m^3/m^2.d$ دارد. در تصفیه‌خانه‌های کوچک در فصل سرما میزان بارگذاری پایین استفاده می‌شود. در نواحی گرم، میزان بارگذاری کم ممکن است زمان‌ماند را به حدی طولانی کند که باعث ایجاد شرایط سپتیک گردد. محاسبه بارگذاری سطحی با استفاده از اطلاعات مربوط به دبی و سطح مقطع حوضچه صورت می‌گیرد.

مثال: دبی ورودی به حوضچه ته‌نشینی (کلاریفایر) با طول ۲۷m و عرض ۱۰/۵m برابر ۱۶۰۰۰m^3/d می‌باشد. میزان بارگذاری سطحی را محاسبه نمایید.

فرمول: بارگذاری سطحی، $m^3/d.m^2$ = $\frac{\text{دبی } m^3/d}{\text{مساحت } m^2}$

محاسبات:

مساحت سطح = ۲۷×۱۰/۵ = ۲۸۳/۵m^2

میزان بارگذاری سطحی = $\frac{۱۶۰۰۰m^3/d}{۲۸۳/۵m^2}$ = ۵۶$m^3/d.m^2$

۶ـ **بارگذاری جامدات:** از این پارامتر برای نشان دادن مقدار جامداتی که روزانه در هر متر مربع سطح مایع داخل حوضچه ته‌نشینی حذف می‌شود استفاده می‌گردد.

اگر بارگذاری جامدات بیش از مقدار درنظر گرفته شده در طراحی باشد افزایش غلظت جامدات در پساب خروجی مشاهده می‌شود. این قاعده برای حوضچه‌های ته‌نشینی ثانویه و واحدهای تغلیظ لجن (ثقلی یا شناورسازی) نیز کاربرد دارد. بارگذاری سطحی برحسب کیلوگرم در روز در متر مربع ($kg/d/m^2$) بیان شده و تابع ماهیت جامدات و الزامات کیفیت تصفیه می‌باشد. در محاسبه این پارامتر اطلاعات مربوط به دبی، غلظت جامدات معلق و سطح مقطع حوضچه مورد نیاز است.

مثال: به حوضچه ته‌نشینی ثانویه دایره‌ای با قطر ۳۰m مقدار ۱۸۰۰۰m^3/d فاضلاب (۱۴۰۰۰m^3/d از استخر هوادهی و ۴۰۰۰m^3/d لجن برگشتی) وارد می‌شود. غلظت جامدات فاضلاب ورودی به حوضچه ۴۲۰۰mg/l می‌باشد. بارگذاری جامدات برحسب $kg/d/m^2$ را محاسبه نمایید.

فرمولها:

بارگذاری جامدات، $kg/d/m^2$ = $\frac{\text{جامدات ورودی، } kg/d}{\text{سطح حوضچه، } m^2}$

جامدات ورودی kg/d =

غلظت جامدات mg/l × دبی m^3/d × 10^{-3}

سطح حوضچه دایره‌ای، m^2 = (قطر، m)^2 (۰/۷۸۵)

محاسبات:

جامدات ورودی، kg/d =

۱۸۰۰۰m^3/d × ۴۲۰۰mg/l × 10^{-3} = ۷۵۶۰۰kg/d

سطح حوضچه = (۳۰m)^2 (۰/۷۸۵) = ۷۰۶/۵ m^2

بارگذاری جامدات = $\frac{۷۵۶۰۰kg/d}{۷۰۶/۵m^2}$ = ۱۰۷ kg/m^2

بارگذاری تیپیک جامدات:

حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه پارامترطراحی درنظرگرفته نمی‌شود	
حوضچه‌های ته‌نشینی ثانویه (لجن فعال)	۶۷–۱۶۷ $kg/d/m^2$
شناورسازی با هوا	۲۸–۲۲۲ $kg/d/m^2$
تغلیظ لجن	۲۸–۱۱۱ $kg/d/m^2$

پارامترهای زمان‌ماند، میزان جریان سرریز، بارگذاری سطحی و بارگذاری جامدات از جمله روشهای ریاضی ارزیابی عملکرد تأسیسات موجود در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده در طراحی اولیه هستند. در عین حال، آنالیز آزمایشگاهی نمونه تنها روش قابل اعتماد سنجش راندمان کلاریفایر است. اگر نتایج آزمایشگاهی نشانگر عملکرد ضعیف کلاریفایر است، روشهای ریاضی در شناسایی علت کارآیی دارند.

لغت نامه

۱ـ **چگالی:** وزن ذره یا هر ماده در مقایسه با وزن آب. چگالی آب در دمای ۴°C (۳۹°F) برابر ۱/۰ می‌باشد. چگالی ذرات فاضلاب دامنه‌ای از ۰/۵ تا ۲/۵ دارد. درصورتی که چگالی کمتر از ۱/۰ باشد ذره میل به شناور شدن دارد؛ ذرات با چگالی بیشتر از ۱/۰ ته‌نشین می‌شوند. چگالی اکثر لجنهای آلی بین ۱/۰۱ و ۱/۰۵ می‌باشد.

۲ـ **مولکول:** کوچکترین جزء عنصر یا ترکیب که ویژگیهای آن ماده خاص را از خود بروز می‌دهد.

۳ـ **دانسیته:** معیاری از میزان سنگینی یک ماده (جامد، مایع، گاز). دانسیته بر حسب وزن در واحد حجم (گرم برمتر مکعب یا

CLEANWATER, U.S.A.
WATER POLLUTION CONTROL PLANT

MONTHLY RECORD - _____ 19____ OPERATOR: _____

DATE	DAY	WEATHER	FLOW MGD	RAW WASTEWATER TEMP.	pH	SETT. SOLIDS	BOD	SUSP. SOLIDS	GRIT – YD^3	EFFLUENT pH	BOD	SUSP. SOLIDS	DO	Cl_2 RES	DIGESTION RAW SLUDGE GAL / DAY	SCUM GAL / DAY	% CO_2	GAS PROD. FT^3 / DAY	MIXING – HRS.	REMARKS
1	M	Rain	1.240	70	7.3	8	160	208	1.0	7.8	118	110	1.0	2.1	4750	100	32	10400	4	
2	T	-	1.284	69	7.2	10	205	218	1.0	7.1	128	106	1.1	2.4	4700	110	32	10500	-	
3	W	-	1.120	67	7.3	11	220	222	1.5	7.1	154	111	0.9	3.0	4300	to	33	10000	6	
4	T	-	0.987	70	7.1	9	184	201	1.0	7.0	150	97	1.3	1.8	3810	120	33	11200	8	SLUDGE TO TH BEDS – 12,000 GAL.
5	F	CL	1.006	68	7.0	7	220	248	1.0	7.0	140	112	0.7	1.9	4200	115	34	10200	8	
6	S	-	1.102	66	7.2	9	211	210	0.75	7.1	136	100	0.8	2.1	4190	120	32	11000	6	
7	S	FAIR	0.779	67	7.1	8	199	218	0.75	7.1	140	101	0.9	2.0	3915	110	32	10800	4	
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				
31																				
MAX.																				
MIN.																				
AVG.			1.095	69	7.1	9	195	210	1.0	7.1	135	105	0.9	2.0	4154	100	35	10810	5	

FLOW METER: LAST 445937 1ST 433745 TOTAL 31,488 MG

ELECTRIC METER: LAST 4085 1ST 4081 MULT. 200 × 200 = 15,640 KWH

RAW SLUDGE: LAST 5548300 1ST 5498616 STROKES - SCUM 3100 TOTAL 389,928 × 1.0 = 389,928 GAL.

GAS METER: LAST 335100 1ST 301490 TOTAL 33,610 FT^3

SUMMARY DATA		
% REMOVAL	BOD	53
INF. – EFF.	30	49
SLUDGE DATA		
% SOLIDS – AVG.		4.8
LBS. DRY SOLIDS / DAY		1663
% VOL. SOLIDS – AVG.		76
LBS. VOL. SOLIDS / DAY		1264
LBS VOL. SOL. / 1000 FT^3 / DAY		253
GAL. SLUDGE TO BEDS		48000
CU. YDS. CAKE REMOVED		22
FT^3 GAS / LB. VOL. SOLIDS		8.5
FT^3 GAS / MG FLOW		10,640
CU. YDS. GRIT / MG. FLOW		1.0
COST DATA		
MAN DAYS 44 PAYROLL		$ 1250 —
POWER PURCHASED		250 —
OTHER UTILITIES (GAS ETC.)		60 —
GASOLINE, OIL, GREASE		30 —
CHEMICALS & SUPPLIES		60 —
MAINTENANCE		150 —
VEHICLE COSTS		70 —
OTHER		20 —
TOTAL		$ 1870 —
OPERATING COST / MG.		$ 59.37
OPERATING COST / CAPITA / MG		$ 0.19

پوند بر فوت مکعب) بیان می‌شود. دانسیته آب (در ۴°C یا ۳۹°F) برابر ۱/۰ گرم بر سانتیمتر مکعب یا حدود ۶۲/۴ پوند بر فوت مکعب است. اگر یک سانتیمتر مکعب ماده‌ای (مثلاً آهن) بیشتر از یک گرم وزن داشته باشد (دانسیته بیشتر)، درصورت قرار گرفتن در آب ته‌نشین می‌شود؛ در صورتی که وزن آن کمتر باشد (دانسیته کمتر مثل روغن)، به سطح صعود کرده و شناور می‌شود. دانسیته لجن معمولاً برحسب گرم بر سانتیمتر مکعب بیان می‌شود.

۴ـ **ناودان خروجی:** وقتی که جریان فاضلاب از واحد ته‌نشینی خارج می‌شود معمولاً پس از ترک حوضچه به داخل ناودانی می‌ریزد. لبه بالایی ناودان که از روی آن فاضلاب به داخل ناودان می‌ریزد، سرریز در نظر گرفته می‌شود.

۵ـ **طول خطی:** طول در یک جهت خط. برای مثال تخته ۳/۶ متری دارای ۳/۶ متر طول خطی است.

۶ـ **قطر سرریز:** در بسیاری از حوضچه‌های ته‌نشینی دایره‌ای در کناره بیرونی سرریز دایره‌ای وجود دارد. کل آب خروجی برروی این سرریزها جریان پیدا می‌کند. برای پیدا کردن طول این سرریز، قطر سرریز بایستی معلوم باشد. قطر سرریز طول خط امتداد یافته از یک طرف سرریز به طرف مخالف و عبورکننده از مرکز دایره تشکیل شده به‌وسیله سرریز می‌باشد.

۷ـ **فرایند لجن فعال:** فرایند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب که در آن تجزیه مواد زائد آلی موجود در فاضلاب تسریع می‌شود. پس از گذشت مدت زمان خاصی در استخر هوادهی، لجن در حوضچه دیگری ته‌نشین می‌شود. مقداری از این لجن دفع شده و مقداری مجدداً استفاده می‌شود (به حوضچه هوادهی برگشت داده می‌شود).

۸ـ **صافی چکنده:** فرایند تصفیه‌ای که در آن فاضلاب برروی بستری از مواد (سنگ، پلاستیک، چوب) عبور کرده و با میکروارگانیسمهای رشد کرده برروی بستر تماس حاصل می‌نماید و تصفیه می‌شود.

۹ـ **سیستم هیدرواستاتیک:** در سیستم برداشت لجن هیدرواستاتیک، سطح آب در کلاریفایر بالاتر از سطح آب در چاهک یا قیف لجن است. این تفاوت فشار باعث جریان یافتن لجن از داخل لوله‌ها به طرف چاهک می‌شود.

۱۰ـ **SVI یا شاخص حجم لجن:** این پارامتر نشانگر توان ته‌نشینی لجن فعال (جامدات هواده شده) در کلاریفایرهای ثانویه است. محاسبه انجام شده معیاری از حجم لجن در مقایسه با وزن آن به‌دست می‌دهد. در آزمایش مربوطه، نمونه لجن از استخر هوادهی به مدت ۳۰ دقیقه ته‌نشین می‌شود. سپس SVI با تقسیم حجم (میلی لیتر) لجن تر ته‌نشین شده بر وزن (میلی‌گرم) آن لجن پس از خشک کردن محاسبه می‌شود. لجن با SVI برابر صد یابیشتر به حد مطلوب ته‌نشین نمی‌شود چون تقریباً سبکتر از آب است.

$$SVI = \frac{\text{حجم لجن ته‌نشین شده، ml}}{\text{وزن جامدات لجن خشک شده، mg}}$$

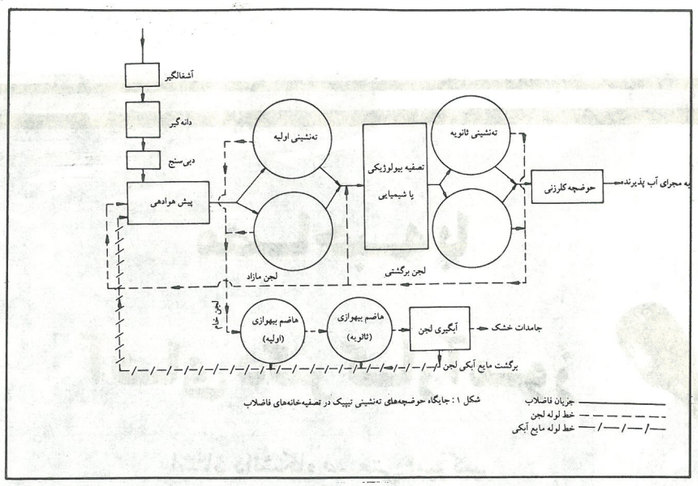
پاسخ سؤالات را در صفحه ۵۶ بخوانید.

سؤالات

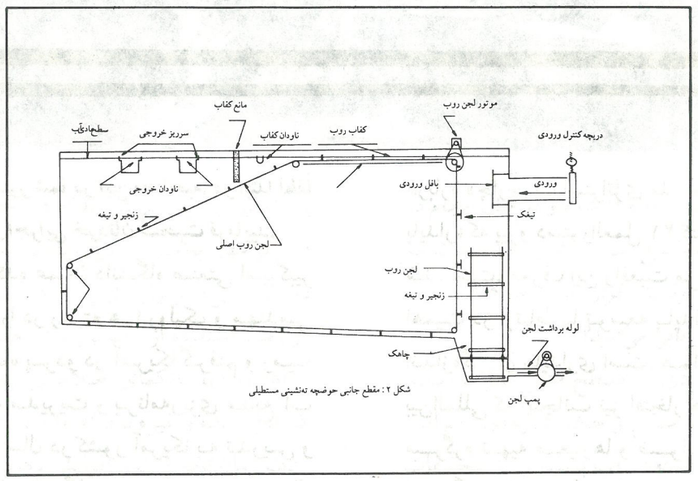
۱ـ اتصال هیدرولیکی در کلاریفایر را تعریف کنید.

۲ـ علت نامطلوب بودن وقوع پدیده اتصال هیدرولیکی چیست؟

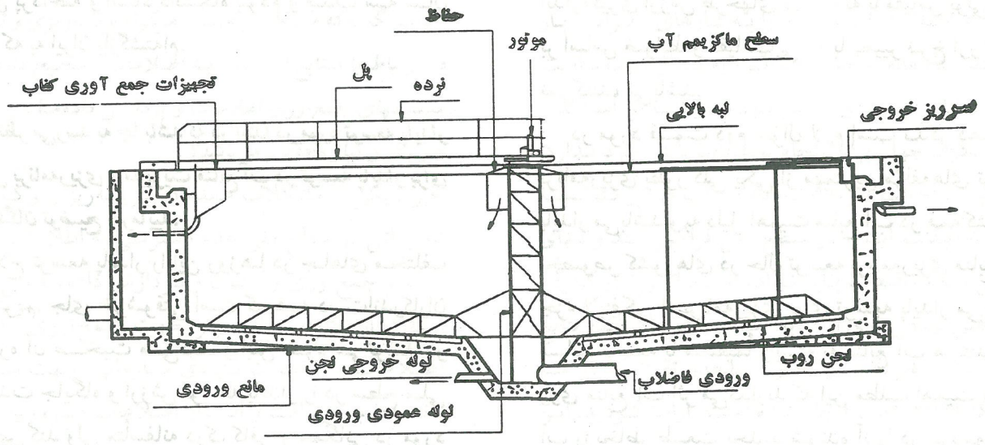
۳ـ نحوه از بین بردن اتصال هیدرولیکی را شرح دهید.



شکل ۱: جایگاه حوضچه‌های ته‌نشینی نیپیک در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب



شکل ۲: مقطع جانبی حوضچه ته‌نشینی مستطیلی



شکل ۳: مقطع جانبی کلاریفایر دایره‌ای مجهز به لجن روب

شکلهای این صفحه مربوط به مقاله مندرج در نشریه شماره ۱۴ می‌باشد که به دلیل تراکم مطالب، چاپ نشده بود