

جلسه ۱۹:

فیلترها (۱)

درس: مهندسی تصفیه آب و فاضلاب

دکتر علی رضا بازارگان

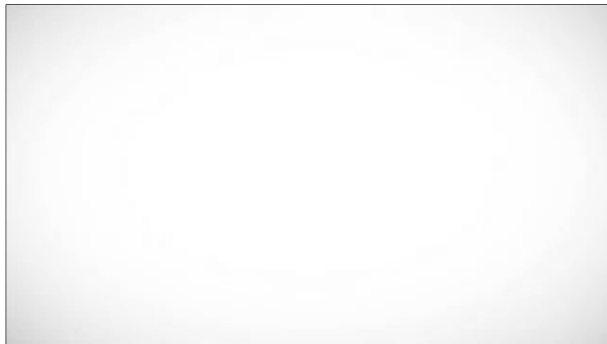
info@environ.ir

پس از ته نشینی

- اگر ته نشینی درست طراحی و اجرا شده باشد، کدورت آب خروجی از آن مابین 1-10 NTU خواهد بود
- این کدورت هم برای شرب خیلی مطلوب نیست و هم با ضدعفونی کردن تداخل خواهد داشت
- برای صاف تر کردن آب می توانیم آب را از یک بستر ذرات مانند شن، ذغال، کربن فعال، گرانیت یا... عبور دهیم
- به این فیلترها، فیلتر عمقی نیز گفته میشود (depth filter)

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

نمونه صنعتی



Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

اندازه ذرات بستر

- توزیع اندازه ذرات با 2 پارامتر توصیف می شود:
- اندازه موثر Effective Size d_{10} : آن قطری که ذرات کوچکتر از آن، 10% از وزن بستر را تشکیل می دهند
- ضریب یکپارچگی Uniformity Coefficient d_{60}/d_{10} : نسبت آن قطری که ذرات کوچکتر از آن 60% از وزن بستر را تشکیل می دهند به آن قطری که ذرات کوچکتر از آن 10% از وزن بستر را تشکیل می دهند

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

اندازه ذرات بستر

• برای شن، مقادیر پیشنهاد شده به شرح زیر است:
 $0.45 < E < 0.55 \text{ mm}$ and $U < 1.65$ •

• اگر آنتراسیت به صورت مستقل استفاده شود، مقادیری مانند شن توصیه میشود، ولی اگر به عنوان لایه ای بر روی شن است:
 $0.8 < E < 1.2 \text{ mm}$ and $U < 1.85$ •

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

مثال

• با توجه به آنالیز موجود، مقادیر "اندازه موثر" و "ضریب یکسانی" را برای شن زیر به دست آورید (اندازه مش در صفحه بعد)

U. S. Standard Sieve No.	Analysis of Stock Sand (Cumulative Mass % Passing)
140	0.2
100	0.9
70	4.0
50	9.9
40	21.8
30	39.4
20	59.8
16	74.4
12	91.5
8	96.8
6	99.0

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

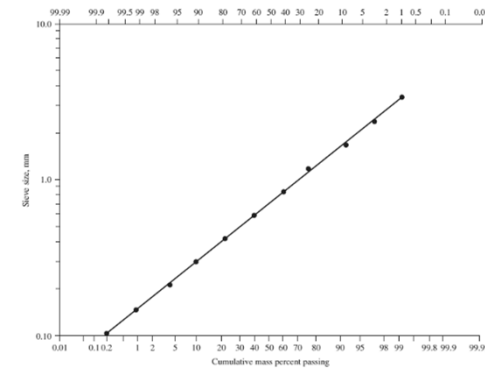
مثال

Sieve size (mm)	Opening (in)	Opening (μm)	Standard Mesh US	Standard Mesh Tyler	0.425	0.0165	425	40	35
5.60	0.22	5600	3.5	-	0.389	-	-	-	-
4.75	0.187	4750	4	-	0.355	0.0139	355	45	42
4.00	0.157	4000	5	-	0.310	-	-	-	-
3.35	0.132	3350	6	-	0.300	0.0117	300	50	48
2.80	0.110	2800	7	-	0.282	-	-	-	-
2.36	0.093	2360	8	-	0.270	-	-	-	-
2.00	0.079	2000	10	-	0.250	-	-	-	-
1.70	0.0661	1700	12	10	0.250	0.0098	250	60	60
1.40	0.0555	-	14	12	0.241	-	-	-	-
1.18	0.0469	-	16	14	0.231	-	-	-	-
1.00	0.0394	-	18	16	0.212	0.0083	212	70	65
0.85	0.0331	850	20	20	0.193	-	-	-	-
0.71	0.0278	710	25	24	0.180	0.0070	180	80	80
0.60	0.0232	600	30	28	0.165	-	-	-	-
0.50	0.0197	500	35	32	0.150	0.0059	150	100	100
0.47	-	-	-	-	0.125	0.0049	125	120	115
0.465	-	-	-	-	0.105	0.0041	105	140	150
0.437	-	-	-	-	0.090	0.0035	90	170	170
0.425	0.0165	425	40	35	0.075	0.0029	75	200	200

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

پاسخ

• میبایست نمودار "اندازه صافی" بر حسب "مجموع درصد وزنی عبور داده شده" را با دو محور لگاریتمی ترسیم نمود.



پاسخ (ادامه)

- با توجه به نمودار و همچنین با توجه به جدول ارائه شده در صورت سوال، P10 برابر با 0.30 mm است که همان E را اندازه موثر است
- برای یافتن P60، از محور افقی خطی به بالا کشیده تا نمودار را قطع کند. سپس مقدار را از روی محور عمودی می خوانیم

$$U = \frac{P_{60}}{P_{10}} = \frac{0.85 \text{ mm}}{0.30 \text{ mm}} = 2.8$$

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

انتخاب مدیا

- هر چه مقدار U کمتر باشد، از فضای بستر بهتر استفاده میشود
- هر چه E کمتر باشد، کیفیت آب خروجی بهتر خواهد بود، ولی افت هد نیز افزایش خواهد یافت

Suggested media depth as a function of effective size

Media depth (D) Effective size (E), or D/E	Applications
1,000	Ordinary monosand and dual-media beds
1,250	Typical tri-media beds (coal, sand, and garnet)
1,250–1,500	Coarse, deep, monomedium beds (E = 1.2 to 1.4 mm)
1,500–2,000	Very coarse, monomedium beds (E = 1.5 to 2.0 mm)

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

ویژگی ذرات

Typical properties of filter media

Property	Anthracite coal	GAC	Garnet	Ilmenite	Sand
Effective size, mm	0.45–0.55 ^a 0.8–1.2 ^b	0.8–1.0	0.2–0.4	0.2–0.4	0.3–0.6
Uniformity coefficient	≤ 1.65 ^a ≤ 1.85 ^b	1.3–2.4	1.3–1.7	1.3–1.7	1.3–1.8
Hardness, Moh	2–3	very low	6.5–7.5	5–6	7
Porosity	0.50–0.60	0.50	0.45–58	N/A	0.40–0.47
Specific gravity	1.5–1.75	1.3–1.7	3.6–4.2	4.2–5.0	2.55–2.65
Sphericity	0.46–0.60	0.75	0.60	N/A	0.7–0.8

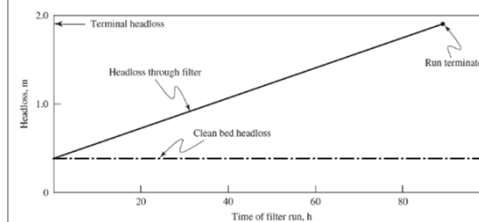
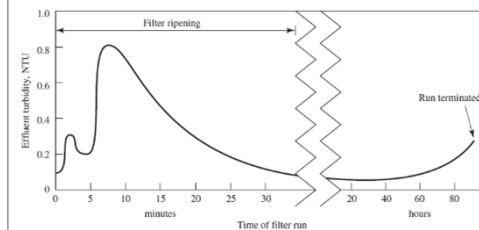
^aWhen used alone.

^bWhen used as a cap on a dual media filter.

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

افت هد

- اگر فیلتر تمیز میماند افت هد ثابت می بود، ولی به دلیل گرفتگی بیشتر با زمان، همواره افزایش می یابد، تا که تمیز شود



Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

Formulas used to compute the clean-water headloss through a granular porous medium

Equation	Definition of terms
Carmen-Kozeny (Carmen, 1937)	d = grain size diameter, m f = friction factor g = acceleration due to gravity, 9.81 m/s ²
$h_L = \frac{f(1-\epsilon)Lv_a^2}{\phi \epsilon^3 d g}$	h_L = headloss, m k = filtration constant, 5 based on sieve openings, 6 based on size of separation
$h_L = \frac{1-\epsilon}{\phi \epsilon^3} \frac{Lv_a^2}{g} \sum f \frac{p}{d_g}$	k_v = headloss coefficient due to viscous forces, dimensionless
$f = 150 \frac{1-\epsilon}{R} + 1.75$	k_i = headloss coefficient due to inertial forces, dimensionless
$R = \frac{\phi d v_a \rho}{\mu}$	L = depth of filter bed or layer, m R = Reynolds number p = fraction of particles (based on mass) within adjacent sieve sizes
Fair-Hatch (Fair and Hatch, 1933)	S = shape factor (varies between 6.0 for spherical particles and 8.5 for crushed materials)
$h_L = kvS^2 \frac{(1-\epsilon)^2 L v_a}{\epsilon^3 d^2 g}$	v_a = superficial (approach) filtration velocity, m/s
$h_L = kv \frac{(1-\epsilon)^2 Lv_a}{\epsilon^3 g} \left(\frac{6}{\phi}\right)^2 \sum \frac{p}{d_g^2}$	ϵ = porosity μ = viscosity, Pa · s ν = kinematic viscosity, m ² /s ρ = density of water, kg/m ³
Ergun (1952a)	ϕ = particle shape factor (1.0 for spheres, 0.82 for rounded sand, 0.75 for average sand, 0.73 for crushed coal and angular sand)
$h_L = k_v \frac{(1-\epsilon)^2 \mu Lv_a}{\epsilon^3 \rho g d^2} + k_i \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \frac{Lv_a^2}{gd}$	

افت هد تقریبی

Approximate clean bed headlosses for common filter beds

Type of filter bed	Filtration rate, m/h	Headloss, m
Standard rapid sand	5	0.3
Standard rapid sand	7.5	0.45
Standard dual media	10	0.3
Standard dual media	12.5	0.45
Standard dual media	20	0.6
Standard dual media	25	0.75

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

طراحی

- تصفیه خانه طوری باید طراحی شود که هنگام خارج شدن یک فیلتر از فرایند، فیلترهای دیگر بتوانند بار مضاعف را تحمل کنند
- سطح مقطع فیلترهای ذره ای برای تصفیه خانه های بزرگ ممکن است از 100m² تجاوز کند، ولی در حالت عادی مابین 25-100m² خواهد بود
- ارتفاع کل بستر (منجمله جمع آوری آب در پایین و فضای اضافه بالا) مابین 4-8m خواهد بود

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

شستشو

- وقتی بستر شستشو می شود، تخلخل و ارتفاع آن افزایش مییابد
- باید اطمینان حاصل شود که همه ذرات شناور میشوند ولی شناورسازی بیش از حد نیست که ذرات از بستر خارج شوند (دیواره بستر ارتفاع لازم را دارا باشد)
- برای محاسبه هد پمپ شستشو، وزن خشک بستر را در نظر میگیریم. تقسیم وزن خشک بستر بر سطح مقطع بستر، میزان هد تقریبی مورد نیاز را مشخص می کند

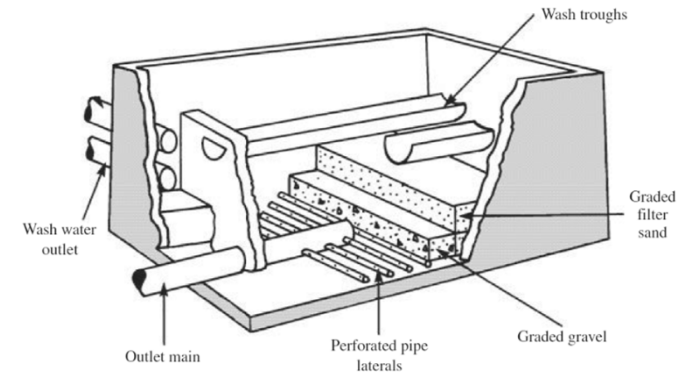
Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

ساپورت فیلتر

- هم باید ساپورت فیزیکی بدهد، هم آب فیلتر شده را جمع آوری کند، و هم قابلیت شستشو را فراهم کند
- طبیعتاً مخرج خروجی آب از ذرات بستر بزرگتر است پس بر روی مخرج لایه ای از سنگ ریزه ریخته می شود که از نفوذ ذرات به درون خروجی جلوگیری کند
- به جای سنگ ریزه می توان از مواد سینتتیک و خاص هم استفاده کرد

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

شماتیک



Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

جزئیات شستشو

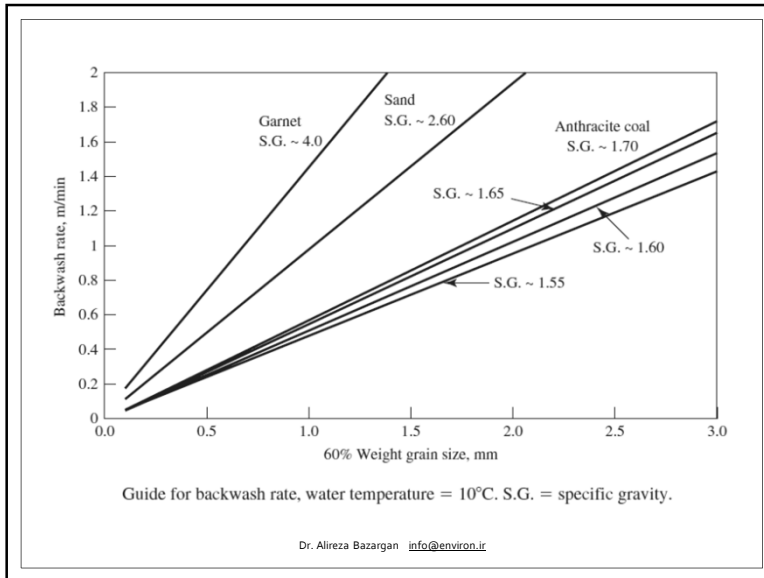
- کی شستشو کنیم؟
- افت هد به میزان از پیش تعیین شده برسد (معمولاً کمتر از 3 متر)
- کیفیت آب خروجی خوب نباشد (کدورت بیش از حد)
- زمان زیادی از شستشو قبلی گذشته باشد (مثلاً چهار روز)
- هر چه آب گرمتر باشد، سرعت آب بیشتری در شستشو نیاز است. 2 درصد افزایش سرعت به ازای هر درجه افزایش دما (طراحی باید برای گرم ترین آب صورت پذیرد)
- به اندازه دو بار شستشو بستر، آب تمیز باید ذخیره شده باشد

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

جزئیات شستشو

- طول شستشو حدود یک ربع یا بیشتر است. برای فیلترهای شنی، سرعت آب شستشو مابین 30 الی 60 متر بر ساعت است. به ازای هر متر مربع سطح بستر، معمولاً 4 الی 8 متر مکعب آب شستشو مصرف می شود
- باید سرعت طوری تعیین شود که حتی بزرگترین ذرات هم شناور شوند (d_{90})
- حجم آب شستشو حدود 1 الی 5 درصد از ظرفیت تصفیه خانه خواهد بود، پس می توان برای بازیافت آن برنامه ریزی نمود

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir



جزئیات شستشو

- روش های دیگر شستشو هم وجود دارد
- جت آب از بالا، به فشار حداقل 300kPa لایه ای به عمق کمتر از 5 سانتیمتر از روی فیلتر را تمیز می کنند
- استفاده از هوا با فشار بالا از پایین بستر (حدود 20 سانتیمتر از بالای بستر را تمیز می کند، و نیاز به تجهیزات و لوله کشی جانبی دارد. جریان هوا حدود $1.2 \text{ m}^3_{\text{air}}/\text{min} \cdot \text{m}^2_{\text{area}}$ خواهد بود
- دو گزینه فوق می توانند توسط backwash ملایم با سرعت بین 20 الی 40m/h ترکیب شوند که کارایی بالا برود

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

گزینه فیلتر

Pretreatment conditions for different operating modes

Operating mode	Pretreatment conditions
Conventional filtration	Coagulation with alum or ferric chloride and polymer followed by flocculation and sedimentation. Can treat turbidities up to 1,000 NTU.
Direct filtration	Coagulation with alum or ferric chloride and polymer followed by flocculation, but not sedimentation. Limited to raw water turbidities less than 15 NTU.
In-line filtration	Coagulation with alum or ferric chloride and polymer. Flocculation is incidental. Sedimentation is not provided. Limited to turbidities less than 10 NTU.

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir