

# اصول راهبری تصفیه‌خانه‌های آب

## «سلسله مقالات آموزشی»

(مقاصد برنامه‌های مدیریت مخازن آب)

قسمت یازدهم

ترجمه: مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب

### مصرف مواد شیمیایی در تصفیه‌خانه‌های کوچک

در این بخش چند مسئله ریاضی ارائه خواهد شد که ممکن است لازم باشد متصدی تصفیه‌خانه آنها را حل کند. روش حل این مسائل همواره یکسان است و اندازه لخته‌ها در تصفیه‌خانه‌های مختلف در آن اثری ندارد.

### محاسبه مقدار مواد شیمیایی لازم

متصدیان باید بتوانند مقادیر مواد شیمیایی را به طور ماهانه محاسبه کنند. همیشه مقدار کافی از مواد شیمیایی را از پیش سفارش دهد تا تصفیه‌خانه خالی از مواد مورد نیاز تصفیه نشود.

#### مثال ۶:

در یک تصفیه‌خانه آب روزانه یک جریان متوسط برابر ۳۰۰۰۰۰ گالن در روز (GPD) تصفیه می‌شود. نتایج آزمایش جار نشانگر آن است که مقدار مطلوب پلیمر برای انعقاد ۲ میلی‌گرم در لیتر است. چند پوند پلیمر برای یک دوره ۳۰ روزه لازم است؟

پلیمر مصرف شده بر حسب پوند در روز:

$$\text{پلیمر مصرفی} = Q \cdot C = (8/34 \text{ lb/gal}) \cdot 2 = 0.168 \text{ lbs/day}$$

Q: میزان جریان بر حسب میلیون گالن در روز

C: غلظت پلیمر بر حسب میلی‌گرم در لیتر

پلیمر مصرف شده در ۳۰ روز:

$$\text{پلیمر مصرفی (پوند)} = 0.168 \times 30 = 5.04 \text{ lbs/day}$$

در ۳۰ روز

t: زمان بر حسب روز

تغذیه مواد شیمیایی سرعت تغذیه مواد شیمیایی را که توسط تأسیسات تغذیه به تصفیه‌خانه وارد می‌شود باید به طور منظم کنترل کنید. آزمون‌های جار بهترین مقادیر مواد شیمیایی را بر حسب میلی‌گرم در لیتر معین می‌کنند. برای کنترل سرعت واقعی تغذیه، حجم (بر حسب گالن به ازای هر دستگاه تغذیه ماده شیمیایی مایع) یا وزن (بر حسب پوند برای هر دستگاه تغذیه مواد خشک) که در ۲۴ ساعت وارد تصفیه‌خانه می‌شود را اندازه می‌گیریم. هم‌چنین لازم است جریان را در طی همین مدت اندازه گرفته و آن را بر حسب گالن در روز (GPD) یا میلیون گالن در روز (MGD) ثبت کنیم.

#### مثال ۷:

تصفیه‌خانه‌ای طی ۲۴ ساعت جریانی برابر ۱/۵ میلیون گالن را تصفیه کرده است. در فرایند انعقاد ده پوند پلیمر کاتیونی مصرف شد. مقدار مصرف پلیمر بر حسب میلی‌گرم در لیتر (mg/L) چقدر است؟

مقدار مصرف پلیمر را بر حسب میلی‌گرم در لیتر:

پلیمر مصرف شده بر حسب پوند در روز = (جریان، MGD) (مقدار مصرف، میلی‌گرم در لیتر) (۸/۳۴) پوند بر گالن

$$Q \times C \times 1 = 8/34 \text{ (گالن/پوند)} = \text{پلیمر مصرف شده}$$

بر حسب پوند در روز

Q: میزان جریان (میلیون گالن در روز)

C: غلظت پلیمر بر حسب میلی‌گرم در لیتر

$$\text{پلیمر مصرف شده بر حسب میلیگرم در روز} = \frac{\text{پلیمر مصرف شده, lbs/day}}{\text{جریان, (MGD) (Q) (پوند در گالن)}}$$

$$\frac{10 \text{ پوند در روز}}{(8/34)(\text{MGD})} = 0.18 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

این مقدار واقعی پلیمر مصرف شده که برابر ۰/۱۸ میلی‌گرم در لیتر است باید به بهترین مقدار مصرف تعیین شده از روی آزمون جار بسیار نزدیک باشد. در محوطه تصفیه‌خانه قدم بزنید و ببینید که آب مورد تصفیه در برابر این مقدار پلیمر چگونه عمل می‌کند. اگر لخته‌ها به خوبی ته‌نشین نمی‌شوند، میزان پلیمر مصرفی می‌بایست افزایش یا کاهش یابد.

مثال ۸: میزان آلوم مصرفی بر حسب میلی‌گرم در لیتر با جهت جریانی برابر با ۷۰۰ گالن در دقیقه و متوسط کدورت ۱۰ TU چه میزان می‌باشد. وزن کل آلوم مورد مصرف در ۲۴ ساعت ۱۵۰ پوند است.

۱- جریان ۷۰۰ گالن در دقیقه را به میلیون گالن در روز تبدیل کنید.

$$\text{جریان MGD} = \frac{(\text{دقیقه } 60)(\text{gal/min جریانی})}{1,000,000}$$

$$\text{میلیون گالن در روز} = \frac{(\text{ساعت در روز } 24)(\text{دقیقه در ساعت } 60)(700 \text{ gal/min})}{1,000,000}$$

$$= 1 \text{ MGD}$$

۲- مقدار مصرف آلوم را بر حسب میلی‌گرم در لیتر محاسبه کنید.

$$\text{مقدار آلوم بر حسب میلی‌گرم در لیتر} = \frac{\text{Lbs/day آلوم مصرف شده}}{(8/34 \text{ lbs/day})(\text{MGD جریانی})}$$

$$= \frac{150 \text{ lbs/day}}{(1 \text{ MGD})(8/34 \text{ lbs/day})}$$

$$= 18 \text{ mg/L}$$

### تهیه محلول‌های شیمیایی

اغلب از مواد پلیمری به عنوان کمک منعقد کننده استفاده می‌شود. معمولاً متصدی تصفیه‌خانه ماده پلیمری خشک در اختیار دارد که باید آن را به صورت محلولی با غلظتی خاص (بر حسب mg/L یا محلول درصدی) تبدیل کند. غلظت محلول به نوع پلیمر (کاتیونی، نانیونی، یا آنیونی) و همچنین وزن مولکولی پلیمر (که بین ۱۰۰ تا ده میلیون متغیر است) بستگی دارد. هر چه وزن مولکولی پلیمر بیشتر باشد، مخلوط کردن آن

با آب رقیق کننده و تزریق محلول حاصل به آب در حال تصفیه مشکل‌تر است (محلول بسیار غلیظ می‌شود). بنابراین، پلیمرهای خشک آنیونی و نانیونیک را عموماً بسیار رقیق (۰/۲۵ تا ۱ درصد) تهیه می‌کنند. پلیمرهای کاتیونی خشک را می‌توان به صورت محلول‌هایی با غلظت بالاتر (مثلاً ۵ تا ۱۰ درصد) تهیه نمود چون وزن مولکولی این پلیمرها عموماً کم است.

تهیه محلول پلیمرهایی که وزن مولکولی آنها زیاد است بسیار دشوار است. محلول‌های پلیمری باید یکنواخت (همگن) باشند تا بتوانند در فرایند تصفیه مؤثر واقع شوند. این محلول‌ها باید به اندازه‌ای رقیق باشند که بتوان آنها را به دقت اندازه‌گیری کرد و به محفظه اختلاط سریع پمپ نمود.

وقتی پلیمر خشک را با آب مخلوط می‌کنید باید آن را به طور یکنواخت روی سطح آب داخل محفظه اختلاط پخش کنید. پلیمر باید به طور یکنواخت در درون حفره آب متلاطم (مرکز تلاطم) مکیده شود. در این صورت می‌توان یقین داشت که همه ذرات پلیمر تک تک مرطوب شده‌اند و توزیع یکنواخت پیدا کرده و از تشکیل گلوله‌های بزرگ چسبیده پلیمری که در مرکز آنها ذرات خشک محبوس شده، جلوگیری می‌شود.

سرعت بیش از حد اختلاط، زمان اختلاط و افزایش دما ممکن است زنجیره‌های پلیمری را شکسته و اثربخشی آن را بکاهد.

غلظت‌های بالای پلیمر سبب تشکیل محلول بسیار غلیظ و ویسکوز (چسبناک) می‌شود. باید از غلظت‌هایی استفاده کنید که محلول آن به راحتی قابل اندازه‌گیری باشد و بتوان آن را به محفظه اختلاط سریع پمپ نمود.

پلیمر خشک را باید در یک سیستم بسته یا در زیر یک سرپوش جمع آورنده غبار به آب اضافه نمود. پودر پلیمر کف ساختمان و راهروها را بسیار لغزنده می‌کند و پاک کردن آن هم بسیار مشکل است. برای رعایت ایمنی، از ریختن پلیمر روی کف ساختمان جلوگیری کنید.

### فرمول‌ها

در هنگام اختلاط پلیمر خشک یا مایع، همیشه دستورالعمل‌های تولید کننده پلیمر را رعایت کنید. معمولاً تولید کنندگان پلیمر را به صورت بسته‌های وزنی (بج) یا مخلوط‌های آماده تهیه و تولید می‌کنند. پس از



مخلوط کردن، معمولاً محلول پلیمر را در "مخزن‌های یک روزه" یا "مخزن‌های پیر کننده" نگهداری می‌کنند تا محلول پلیمر پیر شود و همه آن حل شود و یا محلول به طور کامل مخلوط شود.

### پلیمرهای خشک

برای تهیه محلول پلیمر یک درصد (۱٪) از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$\text{درصد پلیمر} = \frac{(\text{پلیمر خشک، پوند})}{(\text{آب، پوند} + \text{پلیمر خشک، پوند})} \times 100$$

با بررسی فرمول بالا، سه مجهول احتمالی در آن خواهیم یافت. متصدی علاوه بر درصد محلول پلیمر باید وزن پلیمر خشک بر حسب پوند یا مقدار آب بر حسب پوند یا احتمالاً گالن را داشته باشد. در هر صورت، باید دو مجهول از سه مجهول بالا معلوم باشند تا مسئله حل شود. فرمول بالا را می‌توان به صورت زیر بازآرایی کرد تا آن را حل کرده و دو مجهول دیگر به دست آید:

$$\text{پلیمر خشک، پوند} = \frac{\text{آب بر حسب پوند}}{100 - (\text{پلیمر بر حسب درصد})} \times 100$$

$$\text{پلیمر خشک، پوند} = \frac{(\text{پلیمر خشک، پوند})}{\text{پلیمر، درصد}} \times 100 = \text{آب، بر حسب پوند}$$

$$\text{آب، گالن} = \frac{\text{آب بر حسب پوند}}{8.34 \text{ (پوند بر گالن)}}$$

### پلیمرهای محلول

در صورت استفاده از پلیمرهای محلول، معمولاً درصد پلیمر در مایع پلیمر تهیه شده معلوم می‌باشد. مسئله تعیین مقدار پلیمر محلول لازم جهت مخلوط کردن با آب است تا یک بشکه محلول رقیق شده با درصد پائین پلیمر به دست آوریم.

فرمول اصلی پلیمر مایع به صورت زیر است:

$$(\text{حجم، گالن}) (\text{پلیمر، درصد}) = (\text{حجم، گالن}) (\text{پلیمر، درصد})$$

حجم را می‌توان بر حسب لیتر نیز بیان کرد. این فرمول را می‌توان به صورت زیر هم بازآرایی کرد:

$$\text{حجم، گالن} = \frac{(\text{حجم، گالن}) (\text{پلیمر، درصد})}{\text{پلیمر، درصد}}$$

یا:

$$\text{حجم، گالن} = \frac{(\text{حجم، گالن}) (\text{پلیمر، درصد})}{\text{پلیمر، درصد}}$$

### مثال ۹:

در آغاز هر شیفت، یا هر روز، متصدی یک تصفیه‌خانه کوچک یک بسته محلول پلیمر نانیونی را با آب مخلوط می‌کند. درصد (وزنی) محلول پلیمر چقدر خواهد بود اگر او ۶۰ گرم (۰/۱۳۲ پوند) پلیمر خشک را با پنج گالن آب مخلوط کند؟

۱- مقدار حجمی آب را از گالن به پوند تبدیل کنید.

$$\begin{aligned} 8.34 \text{ (پوند بر گالن)} (\text{حجم آب، گالن}) &= \text{مقدار وزنی آب} \\ 8.34 \text{ (پوند بر گالن)} (5 \text{ گالن}) &= \\ &= 41.7 \text{ پوند} \end{aligned}$$

۲- محلول پلیمر را به صورت درصد محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} \text{درصد} &= \frac{(\text{پلیمر خشک، پوند})}{(\text{آب، پوند} + \text{پلیمر خشک، پوند})} \times 100 \\ &= \frac{60 \text{ (پوند)}}{(41.7 + 60)} \times 100 \\ &= 12.32 \text{ درصد} \end{aligned}$$

### مثال ۱۰:

چند پوند پلیمر خشک را باید به ۵۰ گالن (۴۱۷ پوند) آب افزود تا محلول ۰/۵ درصد پلیمر به دست آید؟ می‌بایست وزن پلیمر خشک را زمانی که به ۵۰ گالن آب اضافه می‌گردد محاسبه نمود.

$$\begin{aligned} \text{وزن آب، پوند} &= \frac{(\text{پلیمر خشک، پوند})}{100 - (\text{پلیمر، درصد})} \times 100 \\ 417 \text{ پوند} &= \frac{417}{100 - 0.5} \times 100 \\ &= 417 \text{ پوند} \end{aligned}$$

یا

$$\text{گرم} = 951 = (\text{گرم بر پوند } 454) (\text{پوند } 2.1) =$$

### مثال ۱۱:

چند گالن آب را باید با ۱/۵ پوند پلیمر خشک مخلوط کرد تا محلول نیم درصد پلیمر به دست آید؟

۱- وزن آب مورد نیاز را بر حسب پوند محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} \text{پلیمر خشک، پوند} &= \frac{(\text{پلیمر خشک، پوند})}{\text{پلیمر، درصد}} \times 100 \\ 1 \text{ پوند} &= \frac{1}{0.5} \times 100 \\ &= 200 \text{ پوند} \end{aligned}$$

۲- حجم آبی را که باید با پلیمر مخلوط شود محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} \text{حجم آب، گالن} &= \frac{\text{آب، پوند}}{8.34 \text{ (پوند بر گالن)}} \\ &= \frac{298.5 \text{ پوند}}{8.34 \text{ (پوند بر گالن)}} \\ &= 35.8 \text{ گالن} \end{aligned}$$

### مثال ۱۲:

پلیمر مایعی که به یک تصفیه‌خانه آب تحویل می‌شود محلول ده درصد است. چند گالن پلیمر مایع باید به هر بشکه آب افزود تا ۵۰ گالن محلول ۰/۵ درصد پلیمر تهیه شود؟

$$\begin{aligned} \text{حجم پلیمر مایع را بر حسب گالن محاسبه کنید.} \\ (\text{حجم محلول، گالن}) (\text{محلول پلیمر، درصد}) &= \text{پلیمر مایع، (گالن)} \\ \text{پلیمر مایع، درصد} &= \frac{(\text{حجم محلول، گالن}) (\text{محلول پلیمر، درصد})}{\text{پلیمر مایع، درصد}} \\ &= \frac{50 \text{ (گالن)} (0.5)}{10} \\ &= 2.5 \text{ گالن} \end{aligned}$$

توجه: حجم محلول پلیمر ۵۰ گالن است. این بدان معنی است که پلیمر مایع ۲/۵ گالن و ۴۷/۵ گالن آب داریم.

### ثبات رویدادها

یکی از مهمترین وظایف اداری متصدی تصفیه‌خانه آب تهیه و نگهداری سوابق دقیق عملیات تصفیه‌خانه است. در جریان عادی فرایند انعقاد-لخته‌سازی، معمولاً متصدی سوابق را به صورت یادداشت روزانه ثبت و ضبط می‌کند. این سوابق باید شرح روزانه و دقیق رخدادها و تجارب واقعی بهره‌برداری را نشان دهند.

شرح دقیق رویدادها سوابق تاریخچه‌ای عملیات را به متصدی و دیگران نشان می‌دهد و در حل مسائل جاری یا آتی مربوط به فرایند به متصدی کمک خواهد کرد. علاوه بر اینها، داشتن سوابق برای مسائل قانونی و برای سازمان‌های قانونگزاری و نظارتی ضروری است.

در فرایند انعقاد-لخته‌سازی، باید موارد زیر ثبت شوند:

- ۱- کیفیت آب منبع اولیه (pH، کدورت، دما، قلیائیت، نیاز به کلر، و رنگ)
- ۲- کیفیت آب تحت فرایند تصفیه (pH، کدورت و قلیائیت)

۳- موجودی مواد لازم برای فرایند (مواد شیمیایی مورد مصرف، سرعت تغذیه مواد شیمیایی، مقدار آب تحت تصفیه و مقدار مواد شیمیایی موجود در انبار)

۴- نحوه کار تجهیزات فرایند (نوع تجهیزات مورد استفاده، روش‌های نگهداری، واسنجی و تنظیم دستگاه‌ها).

هر مدخل در شرح سوابق باید منظم، خوانا و قابل دسترس باشد. به خاطر داشته باشید که بسیاری از سوابق برای مدت‌های طولانی نگهداری و استفاده خواهد شد. در هر محل باید تاریخ و ساعت هر رویداد مشخص باشد و حروف اول نام متصدی نیز باید جلوی آن درج شده باشد.

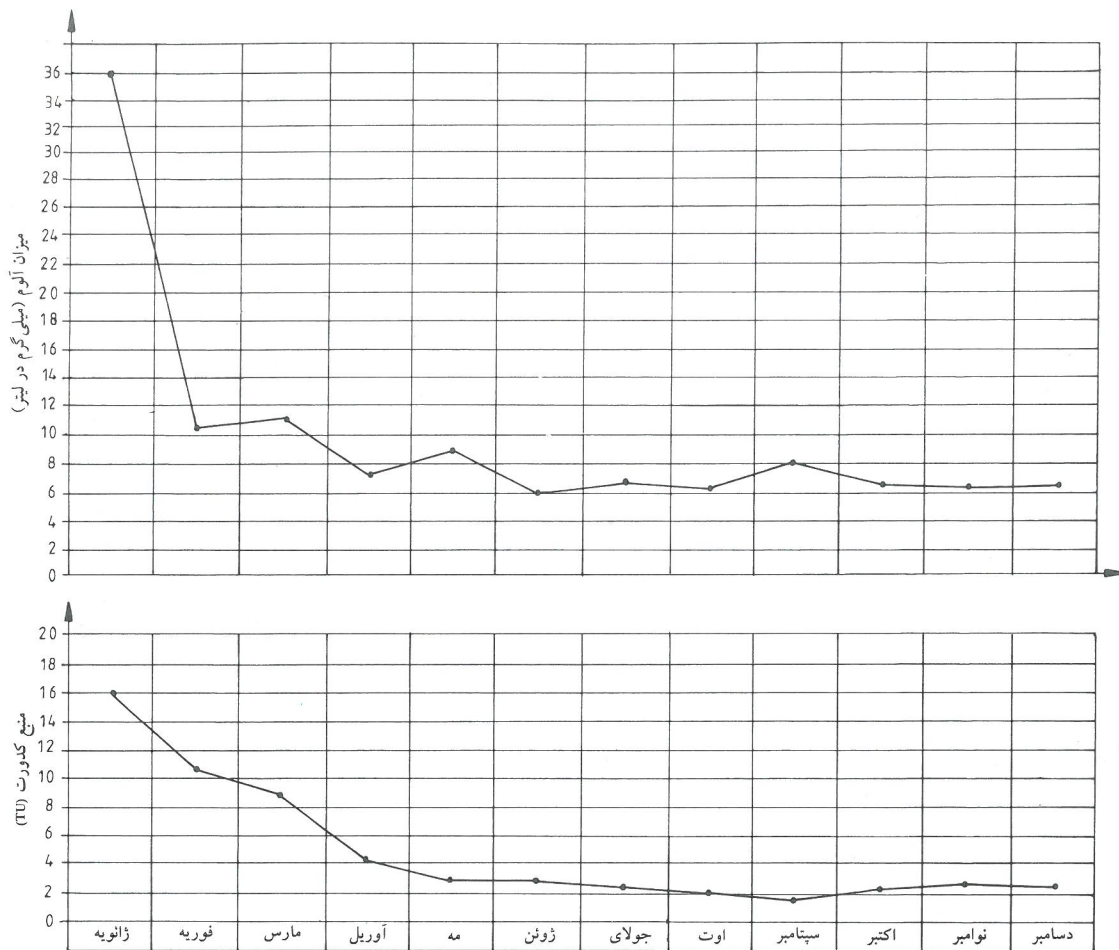
متصدیان باید نموداری از متغیرهای کلیدی فرایند تهیه کنند. نموداری از کدورت آب منبع اصلی بر حسب مقدار مصرف ماده منعقد کننده از ضروریات است. اگر دیگر متغیرهای فرایند مثل قلیائیت یا pH تفاوت‌های چشمگیری نشان می‌دهند، آنها را نیز باید به صورت نموداری رسم کرد.

باید این نمودارها و منحنی‌ها به گونه‌ای طراحی شوند که داده‌های یک سال را با یک نگاه بتوان یک جا دید. این نمودارها درک بهتری از تغییرات فصلی در این شاخص‌ها به متصدی خواهند داد. در شکل ۱ یک نمودار نمونه که منحنی کدورت آب منبع اصلی را در مقابل مقدار آلوم مصرف شده نشان می‌دهد می‌بینید.

### ملاحظات ایمنی

در کارکرد عادی فرایند انعقاد-لخته‌سازی، متصدی باید چند خطر بالقوه را همواره در نظر گیرد:

- ۱- تجهیزات برقی
- ۲- تجهیزات مکانیکی چرخشی
- ۳- مواد شیمیایی تصفیه آب
- ۴- معرف‌های آزمایشگاهی (مواد شیمیایی)
- ۵- سطوح لغزنده بر اثر پلیمرهای مرطوب
- ۶- سازه‌های روباز که از آب پر می‌شوند (فرو رفتن در آب)
- ۷- فضاهای سر بسته و محصور و سازه‌های زیرزمینی



شکل ۱- نمودار تغییرات ماهانه بر میزان کدورت و آلوم تزریقی.

### ارتباطات

داشتن ارتباطات خوب یک بخش اصلی از کار هر متصدی تصفیه‌خانه است. دستورات و توضیحات روشن و دقیق کتبی یا شفاهی برای دیگر متصدیان و کارکنان دیگر در تصفیه‌خانه در باره شرایط جاری فرایند و رویدادهای خاص و غیر عادی بسیار ضروری است، عنصر ارتباطات یکی از اجزای اصلی در فرآیند ثبت اطلاعات می‌باشد.

مثل شیرخانه و تلمبه‌خانه (گازهای سمی و آتش‌زا، کمبود اکسیژن) باید به این نکته توجه کنید که حوادث به خودی خود روی نمی‌دهند بلکه هر کدام عامل و مسببی دارد. بنابراین، توجه دقیق و مستمر به اصول ایمنی بسیار اهمیت دارد. متصدی باید با روش‌های عمومی کمک‌های اولیه مثل تنفس دهان به دهان، درمان جراحات‌های جسمانی معمولی، و کمک‌های اولیه مربوط به خطرات ناشی از مواد شیمیایی (گاز کلر) آشنا باشد.

### چند پرسش

- ۱- چرا متصدی باید شرح رویدادها را ثبت کند؟
- ۲- چه اطلاعاتی در برابر مدخل‌های کتاب سوابق باید ثبت شود؟
- ۳- خطرات ایمنی را که متصدی ممکن است در فرایند انعقاد - لخته‌سازی با آنها روبرو شود نام ببرید.
- ۴- چرا حفظ ارتباطات خوب بخش مهمی از کار متصدی تصفیه‌خانه است؟
- ۵- چرا ممکن است اصول راهبری آزمون جار آنچنان که در اینجا ارائه شده است (سرعت همزنی، زمان همزنی، مقدار مواد مصرف شده) برای تصفیه‌خانه مناسب نباشد؟
- ۶- هدف اصلی از آزمون جار چیست؟
- ۷- چرا بعضی از متصدیان از ظرف‌های مکمی در آزمون جار استفاده می‌کنند؟
- ۸- آزمون‌های جار در چه فواصل زمانی باید انجام شود؟
- ۹- محدودیت‌های اتکای صرف به کدوری آب صاف شده به عنوان شاخص عملکرد کلی فرایند کدام هستند؟
- ۱۰- در فرایند انعقاد - لخته‌سازی، در چه فواصل زمانی باید نمونه‌برداری و آزمایش کرد؟
- ۱۱- ثبت دقیق رویدادها چه کمکی به متصدی خواهد کرد؟
- ۱۲- در فرایند انعقاد - لخته‌سازی، چه نوع سوابقی را باید ثبت کرد؟
- ۱۳- شیوه ارتباط متصدی با متصدیان دیگر باید چگونه باشد؟