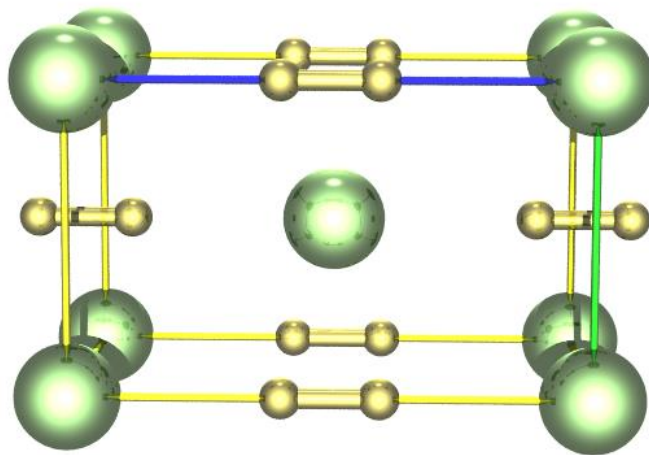
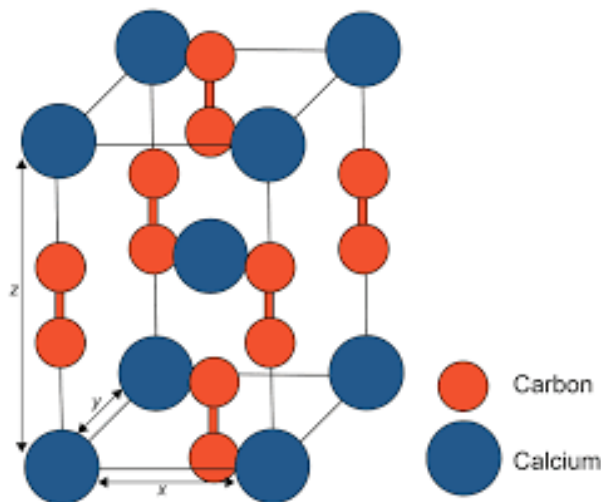


سوال ۱- شکل‌های زیر، سلول واحد و آرایش اتمی ترکیب کلسیم کاربید را از دو نمای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید، اتم‌های کلسیم در رئوس و مرکز سلول واحد قرار گرفته‌اند اما برخی از اتم‌های کربن روی اضلاع سلول واحد و برخی دیگر در دو سوی وجوه بالایی و پایینی قرار گرفته‌اند. این شبکه اتمی کاملاً فشرده بوده و اتم‌ها بر همدیگر مماس هستند.

(۱) تعداد اتم‌های کلسیم و کربن متعلق به یک سلول واحد را تخمین بزنید.

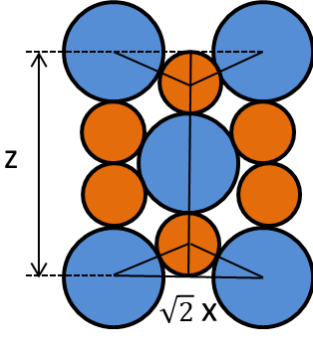
(۲) اگر شعاع اتمی کربن و کلسیم به ترتیب برابر 0.077 و 0.197 نانومتر باشد، طول ضلع سلول واحد در جهت محور x ، y ، و z را برحسب آنگستروم تخمین بزنید.

(۳) نسبت فضای اشغال‌شده توسط اتم‌های کربن به اتم‌های کلسیم در سلول واحد را محاسبه کنید.



سوال ۱
(۱۰ نمره)

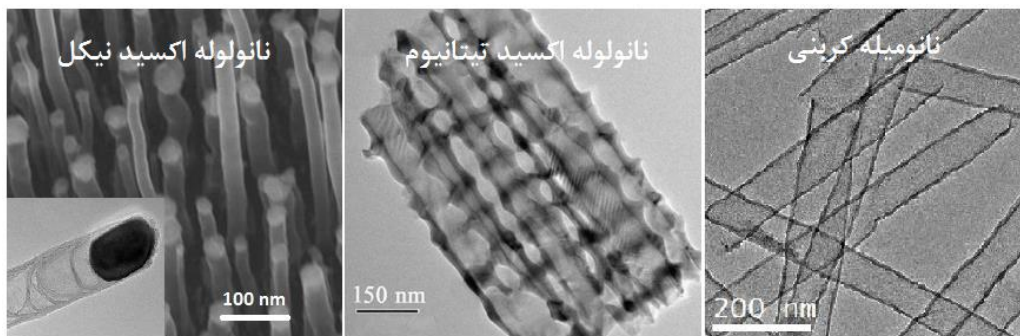
مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۰-۱۴۰۱)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)

<p>تعداد اتم‌های متعلق به سلول واحد به صورت زیر خواهد بود: ۲ اتم کلسیم و ۴ اتم کربن</p>	<p>بخش اول (۱ نمره)</p>	
<p>اگر سلول واحد را از جهت روبرو رسم کنیم خواهیم داشت:</p>  <p>لذا ضلع Z برابر خواهد بود با:</p> $z = 2D_C + D_{Ca} = 2 \times (2 \times 0.077) + (2 \times 0.197) = 0.702 \text{ nm} = 7.02 \text{ \AA}$ <p>برای محاسبه ضلع X نیز می‌توان مطابق شکل فوق، از رابطه فیثاغورث استفاده کرد:</p> $(r_C + r_{Ca})^2 = \left(\frac{\sqrt{2}x}{2}\right)^2 + r_C^2$ $(0.077 + 0.197)^2 = \left(\frac{\sqrt{2}x}{2}\right)^2 + (0.077)^2$ $x = 0.372 \text{ nm} = 3.72 \text{ \AA}$ $y = x = 3.72 \text{ \AA}$	<p>بخش دوم (۶ نمره)</p> <p>پاسخ تشریحی سوال ۱</p>	
<p>برای محاسبه سهم اتم‌های کربن و کلسیم را در اشغال حجم سلول واحد داریم:</p> $\text{Carbon Volume} = 4 \times \frac{4\pi r_C^3}{3} = 0.0764 \text{ nm}^3$ $\text{Calcium Volume} = 2 \times \frac{4\pi r_{Ca}^3}{3} = 0.064 \text{ nm}^3$ $\frac{\text{سهم اتم های کربن}}{\text{سهم اتم های کلسیم}} = \frac{0.0764}{0.064} = 0.119$ <p>بنابراین سهم اتم های کربن ۰,۱۱۹ برابر اتم های کلسیم است.</p>	<p>بخش سوم (۳ نمره)</p>	

سوال ۲- پژوهشگری قصد دارد نانولوله اکسید تیتانیوم را سنتز کرده و از آن به عنوان حامل در فرآیند دارورسانی استفاده نماید. تخلخل سطحی در این نانولوله می‌تواند مزیتی برای این کاربرد باشد. با توجه به اطلاعات خود از فرآیند دارورسانی، روش‌های سنتز نانومواد و دانش مشخصه یابی مواد، به سوالات زیر پاسخ دهید.

(۱) به نظر شما، چگونه می‌توان نانولوله اکسید تیتانیوم را سنتز کرد؟ مراحل سنتز را شرح دهید.

(۲) تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نانومیله کربنی، نانولوله اکسید تیتانیوم و نانولوله اکسید نیکل در شکل زیر ارائه شده است. اگر قرار باشد از این مواد در طول فرآیند سنتز استفاده کنید، کدام ماده را ترجیح می‌دهید؟ دلیل خود را بیان کنید.



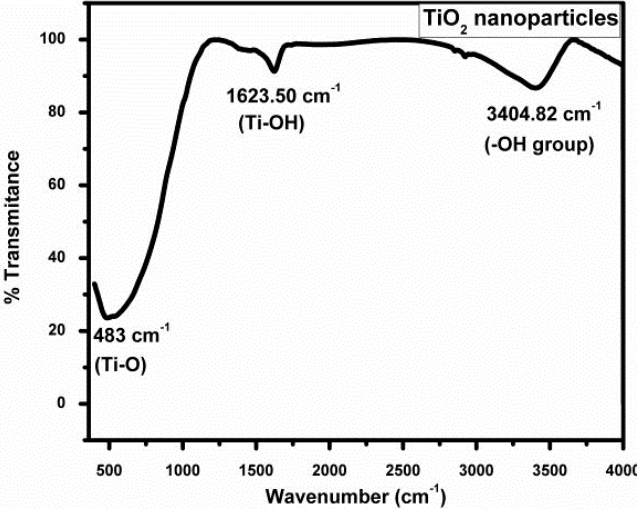
سوال ۲
(نمره ۱۰)

(۳) اگر از پودر سنتز شده، آنالیز شیمیایی گرفته شود، انتظار دارید چه عناصری به عنوان ناخالصی شناسایی شوند؟ به نظر شما، خاستگاه این عناصر در پودر سنتز شده چیست؟

(۴) اگر بخواهید ناخالصی‌های موجود را به طور کامل از سیستم حذف کنید، چه راهکاری را پیشنهاد می‌کنید؟

(۵) نتایج آزمون FTIR از پودر سنتز شده در نمودار صفحه بعد ارائه شده است که داده‌های به دست آمده از آنالیز شیمیایی را تایید نمی‌کند. توجیه شما برای این پدیده چیست و چه معنایی دارد؟

مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۰-۱۴۰۱)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)

		
<p>برای تولید یک نانوذره توخالی می‌توان از پرکننده یا فیلر استفاده کرد که برخی از منابع به آن تمپلیت یا قالب یا بستر هم می‌گویند. این ماده به عنوان بستر در حین سنتز مورد استفاده قرار می‌گیرد تا نانولوله مورد نظر با نشستن اتم‌ها بر روی پوسته آن تشکیل شوند. سپس با روش‌های مختلف، بستر را حذف می‌کنند. بستر یا فیلر هر شکل هندسی داشته باشد، شکل نهایی نانوذره توخالی را کنترل می‌کند.</p>	<p>بخش اول (۲ نمره)</p>	
<p>با توجه به توضیحات ارائه شده، اگر از نانومیله کربنی (به عنوان بستر) برای سنتز نانولوله اکسید تیتانیوم استفاده شود، می‌توان با حرارت دادن یا حل کردن داخل یک اسید قوی (مشروط به عدم انحلال نانولوله اکسید تیتانیوم) آن را حذف کرد. این در حالی است که اگر از اکسید نیکل و یا اکسید تیتانیوم استفاده شود، این دو ماده پایداری حرارتی بالایی دارند و با حرارت دهی نمی‌سوزند.</p>	<p>بخش دوم (۲ نمره)</p>	<p>پاسخ تشریحی سوال ۲</p>
<p>ناخالصی کربن ممکن است از چندین منبع وارد سیستم شده باشد:</p> <ul style="list-style-type: none"> - در اثر نانومیله کربنی استفاده شده به عنوان بستر یا پرکننده - در اثر سوختن ترکیبات آلی موجود در پیش ماده‌های مورد نیاز برای سنتز فاز محلولی اکسید تیتانیوم مانند تیتانیوم ایزوپروپوکساید یا سایر مواد - آلودگی‌های محیط مانند نشستن گرد و خاک بر روی نمونه قبل از انجام آنالیز شیمیایی 	<p>بخش سوم (۲ نمره)</p>	
<p>برای حذف کربن از سیستم دو راهکار کلی وجود دارد اما محدود به این دو روش نمی‌شود:</p>	<p>بخش چهارم (۲ نمره)</p>	

<p>- شستشوی پودر سنتزی با اسیدی که منجر به انحلال شیمیایی کربن شود و در عین حال نتواند اکسید تیتانیوم را حل کند.</p> <p>- عملیات حرارتی پودر سنتز شده در دمای بالا و اتمسفر هوا جهت سوختن ترکیبات آلی و کربن‌دار و خروج آنها از سیستم در اثر تبدیل به H_2O و CO_2.</p>		
<p>براساس نمودار FTIR، نشانه‌ای از حضور کربن در سیستم مشاهده نمی‌شود. یکی از دلایل این پدیده می‌تواند غلظت بسیار پایین کربن و عدم ظهور پیک واضح در نمودار FTIR باشد زیرا هرچه فراوانی یک پیوند مشخص در یک ماده بیشتر باشد، شدت پیک و حد تفکیک آن در آزمون FTIR بیشتر خواهد بود.</p>	<p>بخش پنجم (۲ نمره)</p>	

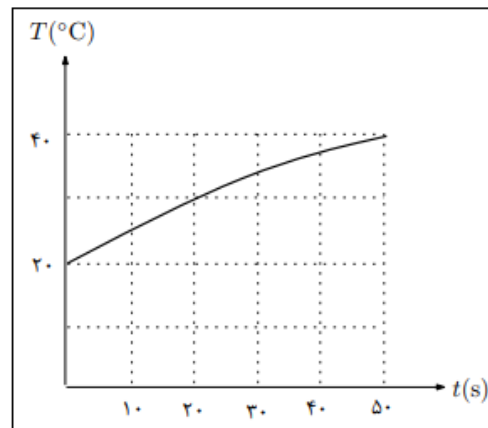
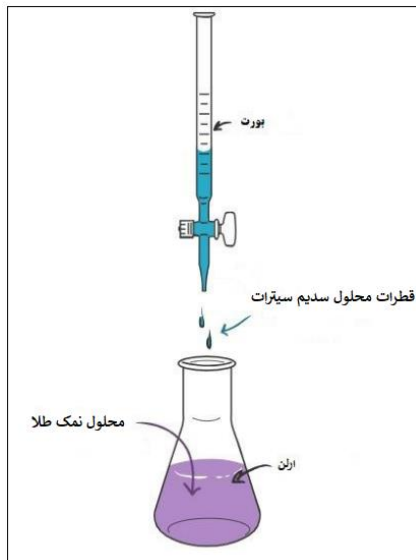
سوال ۳- در فرایند سنتز کلئوئید نانوذرات طلا به روش تورکویچ، سدیم سیترات (به عنوان عامل احیاکننده) را به آهستگی به محلول نمک طلا می‌افزاییم. ظرف حاوی محلول نمک طلا، دارای دمای T_0 است و از بالای ظرف، قطره‌های محلول سدیم سیترات با آهنگ ثابت در ظرف ریخته می‌شوند. فرض کنید دمای هر قطره موقع رسیدن به سطح محلول نمک طلا T_1 است و با ورود هر قطره، محلول درون ظرف به تعادل گرمایی می‌رسد (اختلاف ظرفیت گرمایی ویژه دو محلول نمک را ناچیز در نظر بگیرید). اگر شروع ریزش قطرات لحظه $t=0$ و تغییرات دمای محلول بر حسب زمان مطابق شکل باشد:

(۱) دمای T_0 را بیابید؟

(۲) دمای T_1 را بیابید؟

(۳) با رسیدن دمای محلول درون ظرف به 70°C ، سنتز ذرات طلا آغاز خواهد شد. پس از گذشت چه زمانی از شروع ریزش قطرات، فرایند سنتز آغاز می‌شود؟

سوال ۳
(۱۰ نمره)



با توجه به نمودار داده شده در صورت سوال دمای درج شده در زمان صفر، 20 درجه سانتیگراد، دمای خواسته شده است.

بخش
اول
(نمره)

با توجه به تعادل حرارتی برقرار شده در ظرف، حرارت از دست رفته توسط قطرات و حرارت دریافتی توسط محلول داخل ظرف بایستی برابر باشد. چنانچه شار ورود قطرات محلول سدیم سیترات را λ در نظر بگیریم، با توجه به رابطه $Q = mC\Delta\theta$ داریم:

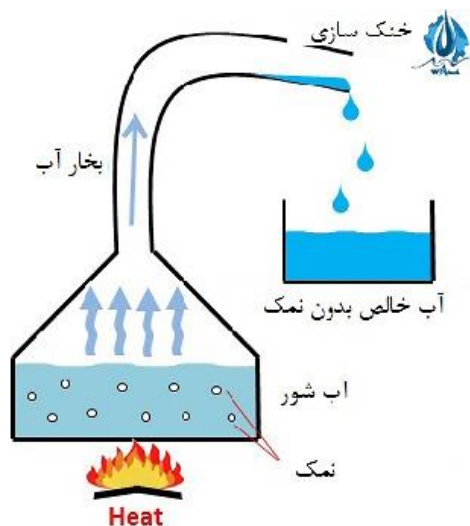
$$\lambda dtC(T_1 - T_t) = MC(T_t - T_0) \quad \rightarrow \quad \lambda dt(T_1 - T_t) = M(T_t - T_0)$$

پاسخ
تشریحی
سوال ۳
بخش
دوم
(۵
نمره)

مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۰-۱۴۰۱)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)

<p>با توجه به نمودار داریم:</p> $20\lambda(T_1 - 30) = M(30 - 20)$ $\rightarrow \frac{50\lambda(T_1 - 40)}{20\lambda(T_1 - 30)} = \frac{M(40 - 20)}{M(30 - 20)}$ $50\lambda(T_1 - 40) = M(40 - 20)$ $\frac{5(T_1 - 40)}{2(T_1 - 30)} = \frac{20}{10} \quad \frac{(T_1 - 40)}{(T_1 - 30)} = \frac{8}{10} \rightarrow 10T_1 - 400 = 8T_1 - 240 \rightarrow T_1 = 80$		
<p>برای محاسبه زمان شروع واکنش داریم:</p> $20\lambda(80 - 30) = M(30 - 20) \rightarrow 100\lambda = M$ $\lambda dt(80 - 70) = M(70 - 20) \rightarrow 10\lambda dt = 50 \times 100\lambda \rightarrow dt = 500s$	<p>بخش سوم (۴) (نمره)</p>	

سوال ۴- یکی از روش‌های شیرین سازی آب و حذف نمک محلول در آن، تبخیر آب در اثر حرارت دادن و میعان بعدی است. در این رویکرد، آب توسط یکی از منابع انرژی حرارت داده می‌شود تا به طور سطحی تبخیر شود. سپس توسط روش‌های مختلف، به فاز مایع تبدیل شده و در یک مخزن مجزا جمع آوری می‌شود. شمایی از این فرآیند در شکل زیر نشان داده شده است. امروزه یکی از اساسی‌ترین مشکلات زیست محیطی شهرهای جنوبی کشورمان، دسترسی به آب شیرین سالم و باکیفیت است. با توجه به اطلاعات خود در زمینه فناوری نانو و مهندسی سطح، به سوالات زیر پاسخ دهید.



سوال ۴
(نمره ۱۰)

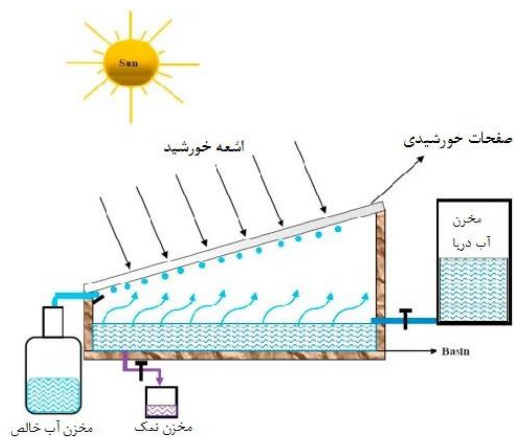
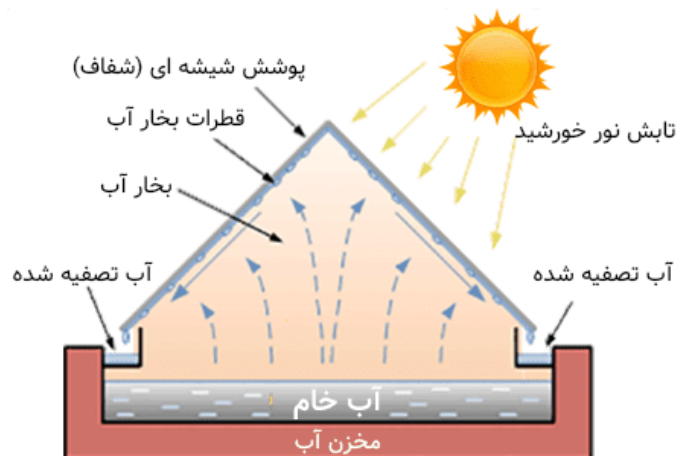
۱) فرض کنید که می‌خواهید برای شهروندان جنوبی کشورمان، یک آب شیرین کن خورشیدی بسازید. این دستگاه باید چگونه طراحی شود؟ شمایی از طرح خودتان را ارائه کنید و اجزای آن و نقش هر کدام را توضیح دهید.

۲) اگر بخواهید از اصلاح سطحی در حوزه فناوری نانو برای ساخت این محصول استفاده کنید، چگونه می‌توانید بازده دستگاه خود را افزایش دهید؟

۳) استفاده از یک غشای نانومتخلخل در دستگاه چه تاثیری می‌تواند روی بازده دستگاه و کیفیت آب خروجی داشته باشد؟ به نظر شما، این غشا بهتر است در کدام بخش دستگاه تعبیه شود (با ذکر دلیل)؟

مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۱-۱۴۰۰)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)

شمایی از دستگاه آب شیرین کن خورشیدی در دو شکل زیر ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، دستگاه از یک محفظه ابتدایی برخوردار است که آب دریا حاوی غلظت بالایی از نمک وارد آن می‌شود. بالای این محفظه، صفحات شفاف با رسانای حرارتی بالا قرار گرفته که می‌توانند نور خورشید را جذب و به محفظه حاوی آب دریا منتقل کنند. در یک طراحی دیگر ممکن است از سلول خورشیدی برای جذب نور و ذخیره انرژی آن تبدیل آن به حرارت جهت افزایش دمای آب درون محفظه استفاده شود. آب درون محفظه در اثر حرارت اعمال شده شروع به تبخیر سطحی می‌کند. بخارات آب باید روی یک سطح متراکم (condense) و تبدیل به مایع شود به طوری که با جریان پیدا کردن آب روی سطح، داخل یک مخزن مجزا جمع آوری شود. پس از اینکه دستگاه چندین ساعت کار کرد، غلظت بالایی از نمک در داخل محفظه ته‌نشین می‌شود که باید به طور دوره‌ای خارج شود.



بخش اول
(۴ نمره)

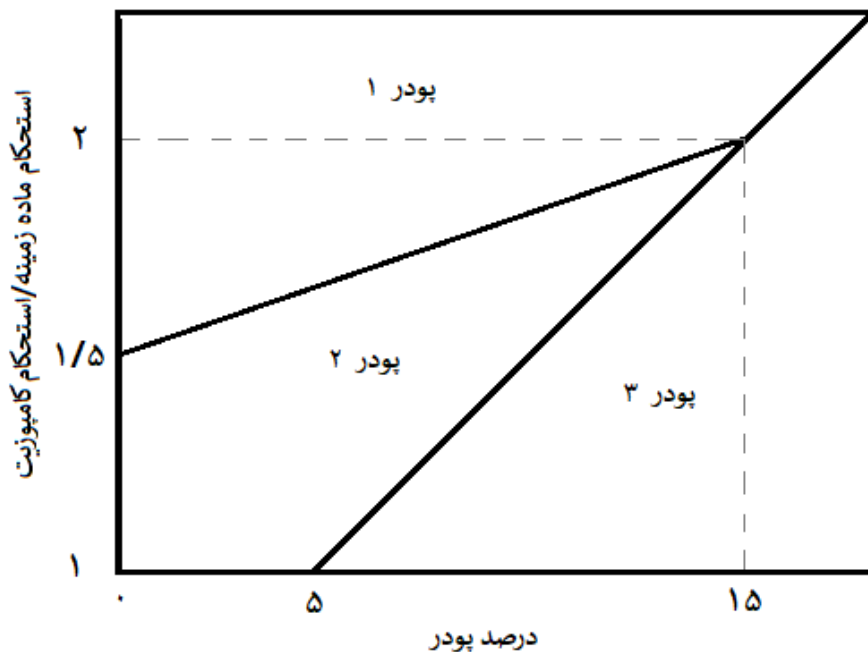
پاسخ
تشریحی
سوال ۴

<p>وظیفه اصلی صفحات بالایی محفظه آب دریا این است که به عنوان بستری مناسب برای میعان بخار آب و بستری برای انتقال آسان آن به مخزن آب شیرین عمل کند. برای اینکه آب بتواند به آسانی روی این سطح تبدیل به مایع شود لازم است بخار آب بتواند به آسانی سطح صفحه را تر (wet) کرده و با آن زاویه نزدیک صفر بسازد. به بیان دیگر، هرچه سطح آبدوست‌تر باشد، بازده میعان افزایش می‌یابد. برای این کار می‌توان بخشی از سطح صفحه را با استفاده از فناوری نانو، فوق آبدوست کرد. از سوی دیگر، برای اینکه آب بتواند به آسانی روی صفحه جریان پیدا کند بهتر است سطح آبگریز باشد. بنابراین می‌توان بخشی از سطح صفحه را نیز آبگریز کرد. بهترین طراحی زمانی خواهد بود که یک الگوی تکرار شونده از سطوح آبدوست و آبگریز روی صفحه ایجاد کنیم که مناطق آبدوست در میعان بهتر و مناطق آبگریز در انتقال آب به مخزن کمک کنند.</p>	<p>بخش دوم (۳ نمره)</p>	
<p>می‌توان فیلتر نانومتخلخل و لامپ یووی را بعد از میعان آب و قبل از ورود به مخزن آب در مسیر دستگاه قرار داد تا بدین وسیله، ناخالصی‌های بیشتر و باقیمانده آب شیرین توسط فیلتر نانومتخلخل گرفته شود و بار میکروبی (باکتری‌ها و سایر میکرواورگانیزم‌ها) توسط تابش نور پراثرزی یووی کاهش یابد و اصطلاحاً آب ضدعفونی (disinfection) شود.</p>	<p>بخش سوم (۳ نمره)</p>	

مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۱-۱۴۰۰)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)

سوال ۵- پژوهشگری به منظور تولید کامپوزیتی با فاز تقویت کننده مونت‌موری‌لونیت، مجاز به استفاده حداکثر ۲۰ درصد از فاز تقویت کننده است. این پژوهشگر پودر میکروذرات مونت‌موری‌لونیت را تهیه کرد و یکبار از طریق خردایش مکانیکی به پودر نانوذرات مونت‌موری‌لونیت و بار دیگر از طریق فرایند اصلاح شیمیایی و بازکردن صفحات قاعده شبکه بلوری مونت‌موری‌لونیت به پودر نانورس تبدیل نمود. او از این سه نوع نمونه پودری برای استحکام بخشی کامپوزیت خود استفاده کرد. بر اساس نتایج به دست آمده:

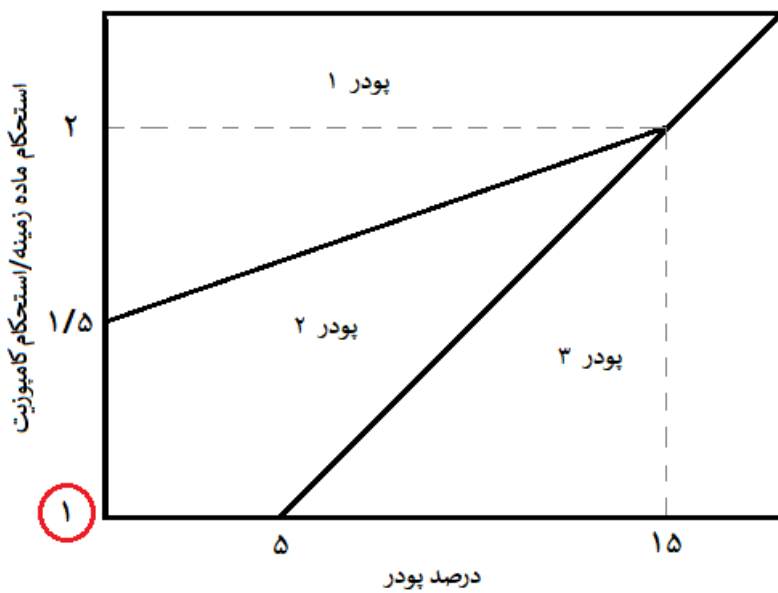
- افزودن کمتر از ۵ درصد میکروذرات، تاثیری بر افزایش استحکام نمونه کامپوزیتی ندارد.
 - اگر مقدار پودر نانوذرات مصرف شده بیش از ۱۵ درصد باشد، میزان استحکام بخشی آن تفاوتی با همین مقدار میکروذرات ندارد.
- ۱) در نمودار زیر، مناطق مربوط به پودر میکروذرات، نانوذرات و نانورس مونت‌موری‌لونیت را مشخص کنید (شرح مختصر دلیل)؟



سوال ۵
(۱۰ نمره)

- ۲) در صورت استفاده از ۱۰ درصد پودر نانوذرات، انتظار حداقل چه میزان افزایش استحکام نسبت به ماده زمینه را دارید؟
- ۳) به منظور افزایش استحکام به میزان ۷۵ درصد نسبت به ماده زمینه، چند درصد نانوذرات مونت‌موری‌لونیت برای تولید نانوکامپوزیت و چند درصد میکروذرات مونت‌موری‌لونیت برای تولید کامپوزیت نیاز است؟
- ۴) به منظور افزایش استحکام به میزان ۱۸۰ درصد از کدام پودر باید استفاده شود؟

مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۱-۱۴۰۰)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)



شرح مختصر دلیل	اندازه و مورفولوژی	
ناحیه باقیمانده بر روی شکل	نانورس	پودر ۱
با توجه به اینکه افزودن نانوذرات، استحکام بخشی بیشتری در مقایسه با همین میزان میکروذرات ندارد.	نانوذرات	پودر ۲
با توجه به اینکه افزودن کمتر از ۵ درصد میکروذرات تاثیری بر افزایش استحکام نمونه کامپوزیتی ندارد.	میکروذرات	پودر ۳

بخش اول
(۳ نمره)

پاسخ
تشریحی
سوال ۵

برای معادله مرز نواحی میکروذرات و نانوذرات داریم:

$$y = 0.1x + 0.5$$

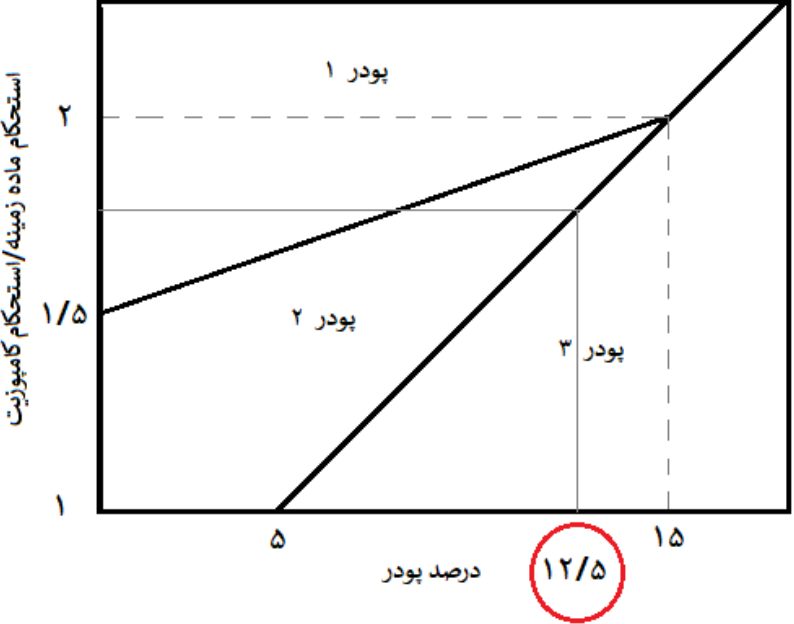
در نتیجه کمترین نسبت استحکام کامپوزیت به ماده زمینه برای ۱۰ درصد پودر نانوذرات برابر ۱/۵ شده و حداقل میزان افزایش استحکام ۵۰ درصد خواهد بود.

بخش دوم
(۲ نمره)

با توجه به معادله مرز نواحی میکروذرات و نانوذرات داریم:

بخش سوم
(۳/۵ نمره)

مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۱-۱۴۰۰)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)

 <p>حداقل $12/5$ درصد میکروذرات لازم داریم.</p> <p>برای معادله مرز نواحی نانوذرات و نانورس داریم:</p> $y = \frac{x}{30} + 1.5$ <p>با توجه به حل صورت گرفته حداقل $7/5$ درصد نانوذرات لازم داریم.</p>		
<p>افزایش استحکام به میزان 180 درصد به معنی نسبت استحکام کامپوزیت به ماده زمینه $2/8$ است. با توجه به شکل تنها بایستی از معادله زیر استفاده کرد.</p> $y = 0.1x + 0.5$ <p>با توجه به معادله فوق و قید حداکثر میزان مجاز فاز تقویت کننده 20 درصد، تنها با افزودن <u>نانورس</u> به فاز زمینه دستیابی به این استحکام امکان پذیر است.</p>	<p>بخش چهارم ($1/5$ نمره)</p>	

مرحله دوم سیزدهمین دوره المپیاد علوم و فناوری نانو - سال تحصیلی (۱۴۰۰-۱۴۰۱)
(دفترچه سوالات و پاسخ‌های تشریحی)

سوال ۶- در روش‌های لایه نشانی فیزیکی یکی از روش‌های اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ها استفاده از ضخامت سنج کوارتز است. در این ضخامت سنج از یک کریستال کوارتز برای اندازه‌گیری ضخامت استفاده می‌شود، کوارتز یک ماده پیزو الکتریک است که نوسانات آن تابع جرم است. با قرارگیری کریستال کوارتز در کنار زیرلایه از روی تغییرات نوسان می‌توان به میزان جرم ماده‌ای که روی آن نشسته و در نهایت ضخامت لایه پی برد.

در یک دستگاه لایه نشانی کندوپاش یونی (اسپاترینگ) از یک ضخامت سنج کوارتز برای اندازه‌گیری ضخامت لایه نازک مس استفاده شده است که در آن تغییرات نوسان کریستال کوارتز با معادله زیر به تغییرات جرم بستگی دارد.

$$\Delta m = c \cdot \Delta f$$

که در رابطه بالا Δf تغییرات نوسان کریستال کوارتز بر حسب هرتز، c عددی ثابت و برابر با $2/6 \times 10^{-14} \text{ gr/cm}^2 \cdot \text{Hz}$ و Δm تغییرات جرم ماده در واحد سطح است، اگر در یک فرایند لایه نشانی لایه مس، تغییرات نوسان کریستال کوارتز برابر با ۵ گیگاهرتز باشد:

۱) در هر سانتی متر مربع از زیرلایه چند گرم مس لایه نشانی شده است؟

۲) ضخامت لایه نازک مس چند نانو متر است؟

(برای محاسبه فرض کنید که اتم‌های مس به صورت شبکه بلوری مکعبی وجوه پر متبلور می‌شوند.

شعاع اتمی مس = ۱۲۵ پیکومتر

جرم اتمی مس = 10^{-22} گرم)

سوال ۶
(۱۰ نمره)

$$\Delta m = c \cdot \Delta f = 2/6 \times 10^{-14} \times 5 \times 10^9 = 1/3 \times 10^{-4} \text{ gr/cm}^2$$

$$\text{اتم} = \frac{1/3 \times 10^{-4}}{10^{-22}} = 1/3 \times 10^{18}$$

تعداد کل اتم‌های لایه نشانی شده در 1 cm^2

بخش اول
(۳ نمره)

پاسخ
تشریحی
سوال ۶

$$\sqrt{2}a = 4R$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$$

بخش دوم
(۷ نمره)

$$\text{تعداد سلول‌ها در } 1 \text{ cm}^2 : \text{لایه نشانی اولین سلول واحد در FCC در } 1 \text{ cm}^2 = \frac{10^{-4}}{\left(\frac{4R}{\sqrt{2}}\right)^2} = \frac{2 \times 10^{-4}}{16R^2}$$

$$۱ \text{ cm}^2 \text{ تعداد اتم‌ها در} = \frac{۴ \times ۲ \times ۱۰^{-۴}}{۱۶R^2} = \frac{۱۰^{-۴}}{۲R^2} = \frac{۱۰^{-۴}}{۲(۱۲۵ \times ۱۰^{-۱۲})^2} = ۳/۲ \times ۱۰^{۱۵} \text{ اتم}$$

$$۱ \text{ cm}^2 \text{ تعداد ردیف سلول‌های واحد روی هم قرار گرفته در} = \frac{۱/۳ \times ۱۰^{۱۸}}{۳/۲ \times ۱۰^{۱۵}}$$

$$\Rightarrow \text{ضخامت لایه} = \frac{۱/۳ \times ۱۰^{۱۸}}{۳/۲ \times ۱۰^{۱۵}} \times \frac{۴R}{\sqrt{۲}} = ۱۴۳ \text{ nm}$$