

# بررسی رفتار نوری پوشش های چندلایه - کامپوزیت تیتانیا - سیلیکا اعمال شده با روش سل - ژل

نجمه لاری<sup>۱\*</sup>، شاهرخ آهنگرانی<sup>۲</sup>، علی شانقی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی مواد، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده مواد پیشرفته و انرژی های نو، تهران، ایران

۲- استادیار، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده مواد پیشرفته و انرژی های نو، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشگاه ملایر، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مواد، ملایر، ایران

\*nl1ari@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۲۷، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۲۵)

## چکیده

در بسیاری از کاربردها مانند کالکتورها و سلول های خورشیدی، شیشه اتومبیل، لعاب پنجره ها و لامپ های کاتدی افزایش عبور نور یا کاهش بازتاب مطلوب می باشد. در این پژوهش، پوشش های ضدبازتاب تک، چندلایه و کامپوزیت توسط روش سل-ژل بدست آورده شد. برای ارزیابی پوشش ها از آنالیز طیف عبور UV-Vis و طیف نگاری مادون قرمز FT-IR بهره گرفته شد. نتایج به دست آورده شده حاکی از رفتار متفاوت نوری پوشش های تهیه شده می باشد. همچنین نتایج نشان داد، پوشش سه لایه تیتانیا، ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، ۹۰ سیلیکا-۱۰ تیتانیا، ۹۵٪ از نور ورودی را در ۴۰۰ نانومتر عبور می دهند و برای کاربردهای نوری ضدبازتاب مناسب می باشند. علت این برتری نسبت به پوشش های تک لایه سیلیکا و تیتانیا، بهره گیری همزمان از پوشش های چندلایه و کامپوزیت و تاثیر ضرایب شکست متفاوت تیتانیا و سیلیکا در پوشش های مخلوط چندلایه-کامپوزیت می باشد.

## کلمات کلیدی:

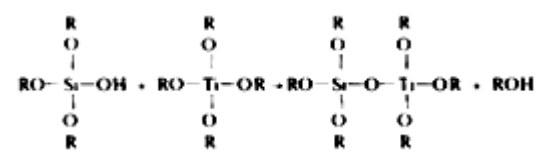
پوشش های چندلایه، کامپوزیت، ضدبازتاب، تیتانیا، سیلیکا، سل-ژل.

## ۱- مقدمه

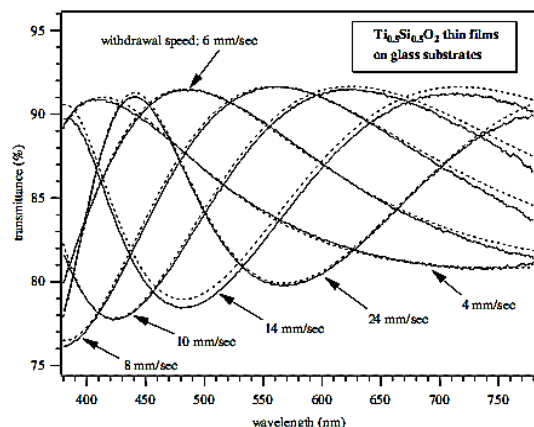
خورشیدی، شیشه اتومبیل، لعاب پنجره ها و لامپ های کاتدی افزایش عبور نور یا کاهش بازتاب مطلوب می باشد [۳-۴]. فیلم های نازک چندلایه و کامپوزیت ضد بازتاب و دی الکتریک می توانند به عنوان یک سطح نوری، بازتابش را کم و در نتیجه عبور را افزایش دهند [۵]. معمولا پوشش های متخلخل سیلیکا به عنوان پوشش ضدبازتاب استفاده می شوند. علی رغم ضریب

مفید بودن خصوصیات لایه های نازک و جالب توجه بودن مطالعه بر رفتار جامدهای دو بعدی باعث شده که چه از نظر علمی و چه از نظر تکنولوژی به لایه های نازک توجه ویژه ای شود. امروزه بسیاری از قطعات مدرن و پیچیده نوری، الکتریکی و الکترونیکی با استفاده از لایه های نازک پوشش داده می شوند [۱-۲]. در بسیاری از کاربردها مانند کالکتورها و سلول های

دست می آیند. واکنش محلول تا ۵۰٪ وزنی تیتانیا با افزودن  $Ti(OC_2H_5)_4$  به محلول هیدرولیز شده تترا اتوکسید سیلیکون به وسیله یولداس به دست آورده شده است. معادله واکنش کندانسیون به صورت زیر می باشد.



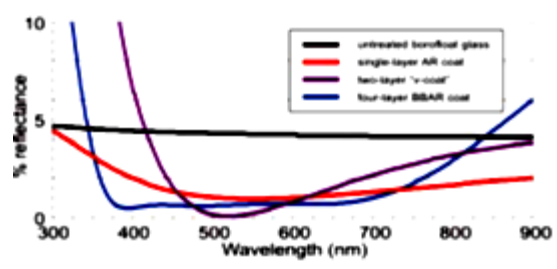
همچنین برینکر متوجه شد، با افزایش مقدار تیتانیا و دما در هر دو حالت ضریب شکست فیلم افزایش می یابد. زیرا با افزایش دما، دانسیته سطح افزایش و منجر به افزایش ضریب شکست می گردد. پایداری شیمیایی فیلم های تیتانیا-سیلیکا چون هم با افزایش تیتانیا و هم دمای عملیات حرارتی افزایش می یابد، امتیازات خوبی از ترکیب هر دو سیستم به وجود می آید [۱۰]. در سال ۲۰۰۶ میلادی اسچولر و همکارانش<sup>۲</sup> به روش سل-ژل فیلم های نازک بر کالکتورهای خورشیدی از مخلوط اکسید تیتانیم و اکسید سیلیسیم تهیه کردند. چند لایه ای های  $TiO_2/SiO_2$  با کیفیت بالا به دست آمد و چون محیط عاری از ذرات بود، نقص به علت وجود ذرات گرد و خاک در هوا ایجاد نگردید. شکل (۲) طیف عبوری برای نمونه  $Ti_{0.5}Si_{0.5}O_2$  که در دو طرف پوشش داده شده است، نشان داده شده است. تمام طیف ها رفتار نوسانی از خود نشان می دهند [۱۱].



شکل (۲): طیف عبوری نمونه  $Ti_{0.5}Si_{0.5}O_2$  دوطرف پوشش داده شده

[۱۱]

شکست پایین این پوشش ها، خواص مکانیکی ضعیفی نیز شامل می شوند. برای حل این معضل و به دست آوردن خواص چسبندگی و سایشی مطلوب، پوشش های چند لایه چگال جایگزین تک لایه متخلخل می گردند [۶]. پوشش های دو لایه معمولا در یک و یا دو طول موج بازتابش را نزدیک صفر می کنند و نسبت به پوشش های تک لایه در کاهش بازتابش موثرترند. اما در چندین طول موج موثر نمی باشند. لذا برای به دست آوردن خواص ضد بازتاب در محدوده وسیعی از منطقه مرئی، پوشش های چندلایه مطلوب می باشند [۵ و ۷]. پوشش های چند لایه دارای مزیتی چون تولید فیلم با بازتابش خیلی کم و قابل کنترل در رنج وسیعی از طول موج هاست که در شکل (۱) ملاحظه می شود [۸].



شکل (۱): منحنی های تئوری بازتاب سه پوشش مختلف روی شیشه های بورو سیلیکاتی [۸].

همچنین باید گفت، مخلوط فیلم های آمورف سیلیکا-تیتانیا رنج وسیعی از ضرایب شکست را به دست می آورند. زیرا اختلاف زیادی بین ضرایب شکست دو جز وجود دارد. این خاصیت منجر به آماده سازی وسایل نوری بسیاری مانند پوشش های ضد بازتاب، موج برهای پسیو یا فعال و غیره می شود [۹]. طیف عبوری فیلم های سل-ژلی کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا با سه پارامتر می توان تنظیم کرد. ترکیب، ضخامت فیلم و دمای عملیات حرارتی. برینکر و همکارانش<sup>۱</sup> فیلم های کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا از ۳۰ تا ۹۵٪ تیتانیا به روش سل-ژل تهیه کردند. این فیلم ها روی سیلیکون پولیش شده به کارگرفته شد. در این پژوهش نشان داده شد، فیلم های اکسیدی آمورف در دمای کمتر از دمای ۴۵۰ درجه با ضریب شکست  $1/63$  تا  $2/17$  به

گزارش دادند [۱۳]. اخیرا رویکرد پوشش های ضدبازتاب به سمت استفاده همزمان از پوشش های چندلایه و کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا می باشد. در این راستا در پژوهش حاضر اثر همزمان مخلوط فیلم های سیلیکا و تیتانیا و چندلایه ها برای کاربردهای نوری مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- آماده سازی پوشش ها

#### ۲-۱-۱- آماده سازی سل های تیتانیا، سیلیکا و کامپوزیت

##### سیلیکا-تیتانیا

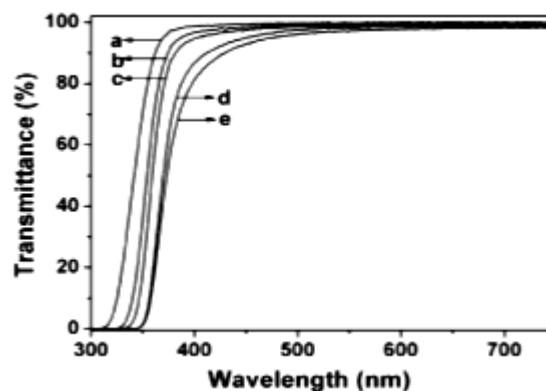
برای آماده سازی سل تیتانیا و سیلیکا از تترابوتیل ارتوتیتانات، تتراتیل ارتوسیلیکات، اتانول، آب مقطر استفاده گردید. اسید نیتریک نیز به عنوان کاتالیست در سل تیتانیا در نظر گرفته شد. سل های تیتانیا و سیلیکا با ترکیب جدول (۱) آماده گردیدند.

جدول (۱): ترکیب سل های تیتانیا و سیلیکا برای تهیه ۱۰۰ میلی لیتر محلول

| سل      | اتانول | آب   | تترا بوتیل ارتوسیلیکات |         | تترا ارتوسیلیکات |
|---------|--------|------|------------------------|---------|------------------|
|         |        |      | اسید نیتریک            | تیتانات |                  |
| تیتانیا | ۸۹/۴   | ۰/۷۷ | ۰/۹                    | ۸/۹۳    | -                |
| سیلیکا  | ۴۸     | ۴    | -                      | -       | ۴۸               |

برای آماده سازی سل تیتانیا، به مخلوط اتانول و تتران بوتیل تیتانات، اسیدنیتریک اضافه گردید. پس از ۱۵ دقیقه هم زدن با سرعت ۲۵۰ rpm توسط دستگاه همزن مغناطیسی، آب به محلول اضافه شد. سپس دو ساعت با همان سرعت هم زده شد. پس از آماده سازی سل شفاف و بی رنگی به دست آمد. برای آماده سازی سل سیلیکا، به مخلوط اتانول و تتراسیلیکات، پس از گذشت ۱۵ دقیقه آب افزوده و به مدت یک ساعت با همان سرعت هم زده شد. سل های کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا بر اساس درصد حجمی با ترکیب ۹۰٪ تیتانیا-۱۰٪ سیلیکا و ۹۰٪ سیلیکا-۱۰٪ تیتانیا آماده گردیدند. پس از مخلوط کردن سل ها به مدت یک ساعت با سرعت ۲۵۰ rpm هم زده شدند. سپس هر چهار

لیو و همکارانش<sup>۳</sup> پوشش های هیبریدی با ضریب شکست بالا حاوی نانوکریستال های  $TiO_2$  در سل سیلیکای آلی تولید نمودند. نانوذرات آناز با کنترل هیدرولیز آلکوکسید تیتانیم در محلول اسیدی و با اندازه ذرات ۴ نانومتر به دست آمد. بعد از دوپ کردن  $TiO_2$ ، پوشش هایی با سطوح مسطح و صاف و با شفافیت و عبور بالا در ناحیه مرئی نور به دست آمد. ضریب شکست در ۶۳۲ نانومتر با افزایش ذرات از ۱۰ تا ۵۰٪ وزنی تیتانیا از ۱/۵۰۲ به ۱/۶۶۳ افزایش می یابد. بعلاوه، پوشش های هیبریدی پایداری حرارتی و سختی بالا دارا می باشند و برای پوشش های ضد بازتاب کاربرد دارند. تیتانیا با ضریب شکست بالا به عنوان پرکننده معدنی در ماتریکس های پلیمری برای بهبود عملکرد نوری شان استفاده می گردد. شکل (۳) طیف عبوری پوشش های هیبریدی با مقادیر مختلف تیتانیا را نشان می دهد. عبور نمونه ها در منطقه مرئی زیاد می باشد و با افزایش مقدار تیتانیا کاهش می یابد. درصد عبور نور براساس میزان تیتانیا از ۹۹/۸٪ تا ۹۷/۳٪ تغییر می کند [۱۲].



شکل (۳): طیف عبوری پوشش های هیبریدی با مقادیر مختلف تیتانیا:

(الف): نمونه ۱، (ب): نمونه ۲، (ج): نمونه ۳، (د): نمونه ۴ و (ه): نمونه ۵ [۱۲].

لین و همکارانش<sup>۴</sup> پوشش های ضدبازتاب تک لایه تیتانیا، دولایه سیلیکا-تیتانیا و سه لایه سیلیکا-کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا-سیلیکا بر سلول های خورشیدی سیلیکونی تولید کردند. متوسط بازتاب نوری بین ۴۰۰-۱۰۰۰ نانومتر به ترتیب ۶/۲٪، ۹/۳٪، ۳/۲٪

بکارگیری اتانول خشک گردیدند. پوشش دهی توسط دستگاه Dip Coater با سرعت رفت و برگشت ۲۵ mm/min، زمان غوطه وری ۶۰ ثانیه و ساختارهای مختلف مطابق جدول (۲) تهیه گردید. پس از غوطه وری ابتدا نمونه ها در دمای محیط خشک و سپس به مدت ۳ ساعت در دماهای ۸۰ و ۴۰۰ درجه سانتیگراد در کوره عملیات حرارتی انجام گردید.

سل به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط در ظرف در بسته به منظور کامل شدن واکنش های کندانسین پیرسازی شدند.

### ۲-۱-۲- پوشش دهی و عملیات حرارتی

پس از تهیه سل ها، پوشش دهی به روش غوطه وری روی لام های آزمایشگاهی با ابعاد ۱\*۲۵\*۷۰ انجام شد. قبل از عملیات غوطه وری، نمونه ها توسط آب مقطر ابتدا شستشو و سپس با

جدول (۲): ترکیب، نحوه قرار گیری لایه ها و بیشینه عبور پوشش های چندلایه و کامپوزیت ها

| نمونه   | عنوان   | بیشینه میزان عبور نور/ % |
|---|---------|--------------------------|
| سیلیکا  | s       | ۹۲/۲۵                    |
| سیلیکا، سیلیکا، سیلیکا                          | sss     | ۹۲/۲۵                    |
| تیتانیا   | t       | ۸۴/۵                     |
| تیتانیا، تیتانیا، تیتانیا                       | ttt     | ۸۴/۷۵                    |
| ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا                              | 9s      | ۹۲                       |
| ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا                              | 9t      | ۸۵                       |
| ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا، ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا          | 9s-9t   | ۸۵                       |
| ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا، ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا          | 9t-9s   | ۸۷، ۹۱                   |
| تیتانیا، ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا، ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا | t-9s-9t | ۸۳/۵، ۸۶                 |
| تیتانیا، ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا، ۹۰سیلیکا-۱۰سیلیکا  | t-9t-9t | ۸۴                       |
| تیتانیا، ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا، ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا | t-9s-9s | ۹۲/۵                     |
| تیتانیا، ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا، ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا | t-9t-9s | ۹۵                       |
| تیتانیا، ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا، سیلیکا             | t-9t-s  | ۹۳                       |
| تیتانیا، ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا، سیلیکا             | t-9s-s  | ۸۰/۵                     |
| ۹۰سیلیکا-۱۰تیتانیا، تیتانیا، سیلیکا             | 9s-t-s  | ۸۳                       |
| ۹۰تیتانیا-۱۰سیلیکا، تیتانیا، سیلیکا             | 9t-t-s  | ۷۰، ۷۸                   |

## ۲-۲- بررسی خواص پوشش ها

پس از آماده شدن نمونه ها، به منظور ارزیابی پوشش های به دست آمده از دستگاه های UV-VIS (Bruker Tensor 27)، طیف نگاری مادون قرمز FT-IR (Jasco v-550) و میکروسکوپ الکترونی (FE-SEM) استفاده گردید.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- طیف نگاری مادون قرمز

گروه های عاملی ترکیبات پوشش ها، توسط طیف نگاری مادون قرمز FT-IR شناسایی شدند. طیف نگاری مادون قرمز پوشش ها در شکل (۴) مشاهده می شود.

مشخصا پیک ها در  $450\text{ cm}^{-1}$ ،  $800$  و  $1080$  به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی جنبشی یا نوسانی، خمشی و نامتقارن پل های سیلیکا می باشند [۱۴-۱۵]. پیوندهای تیتانیا بین  $500\text{ cm}^{-1}$  تا  $900$  [۱۶-۱۷] و پیوند Si-O-Ti در  $920-960\text{ cm}^{-1}$  اتفاق می افتند [۱۸-۱۹]. در پوشش تک لایه سیلیکا پیوند قوی سیلیکا در  $1100\text{ cm}^{-1}$  و  $812$  رخ داده است. همچنین پیک قوی در  $1496$  [۲۰] پیوندهای کربنی C-H در اثر حضور اتانول را نشان می دهد. با سه بار غوطه وری، پیک های پیوند سیلیکا وجود دارند با این تفاوت که پیک های دیگری نیز موجود می باشند که از پیوندهای سیلیسیم و یا از اتانول ناشی شده اند.

دو پیک قوی کمتر از  $900\text{ cm}^{-1}$  در نمودار تک لایه تیتانیا مربوط به پیوند تیتانیا می باشد. پیک قوی  $807\text{ cm}^{-1}$  مربوط به فاز روتایل است.

در سه لایه تیتانیا نیز پیک های تیتانیا حضور دارند. این نمودار نیز مانند سه لایه سیلیکا از آشفتگی برخوردار است که نشان دهنده پیوندهای بیشتری نسبت به تک لایه می باشد. در پوشش

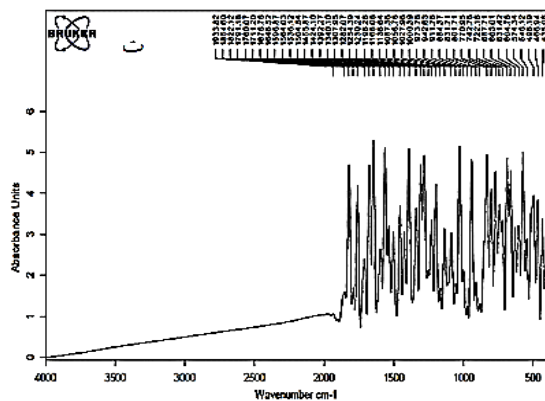
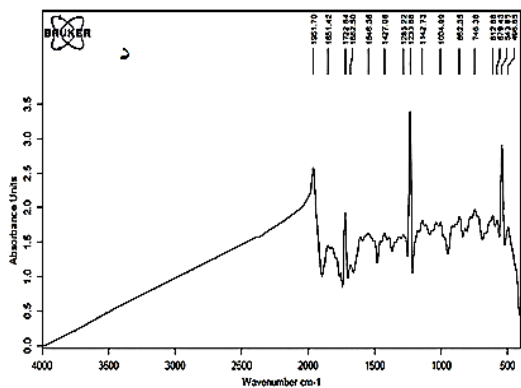
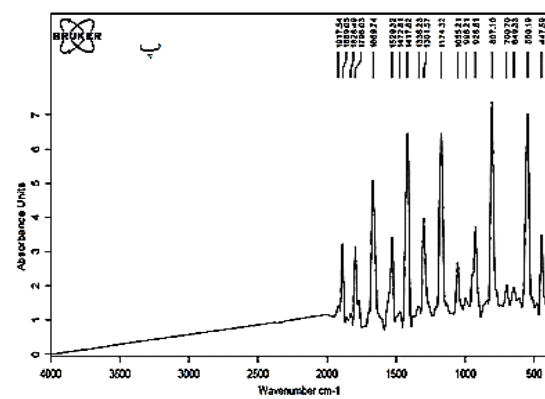
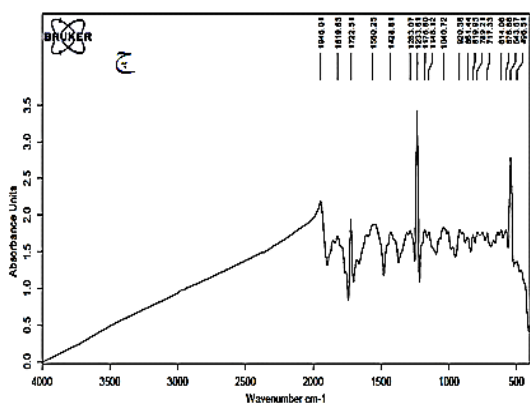
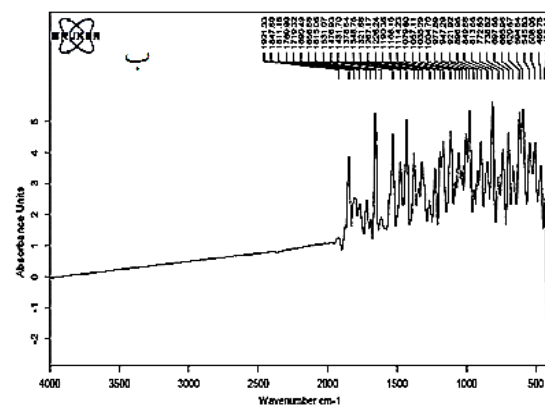
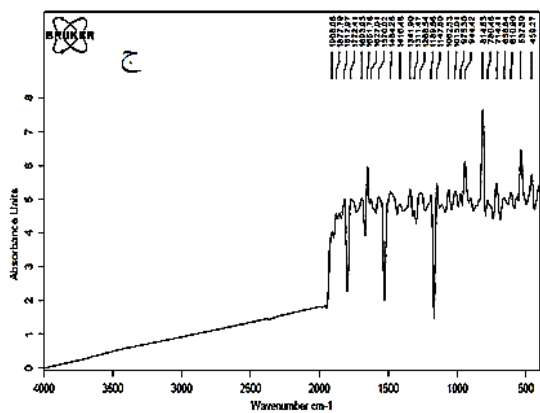
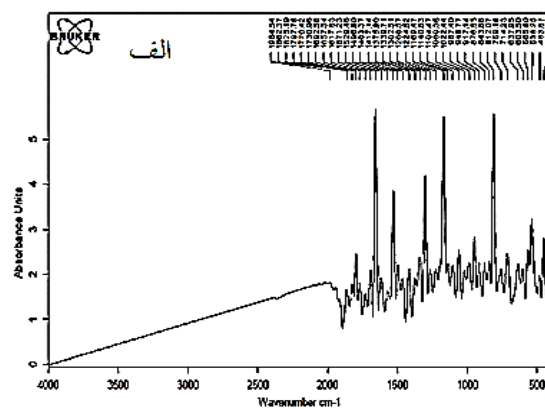
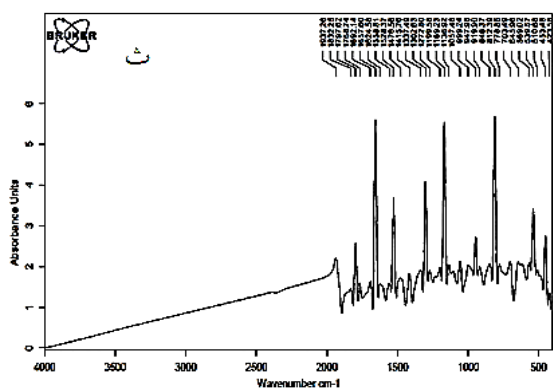
هایی که حاوی لایه تیتانیم است، پیوندهای آب [۱۶] در حوالی  $1600\text{ cm}^{-1}$  از شدت متوسطی برخوردار است. زیرا تیتانیم دارای خاصیت آب دوستی می باشد و جذب فیزیکی آب از محیط اتفاق می افتد. کلا در نمودارهای چندلایه- مخلوط، فازهای تیتانیا و سیلیکا مشاهده می شود اما پیوند Ti-O-Si یا اصلا

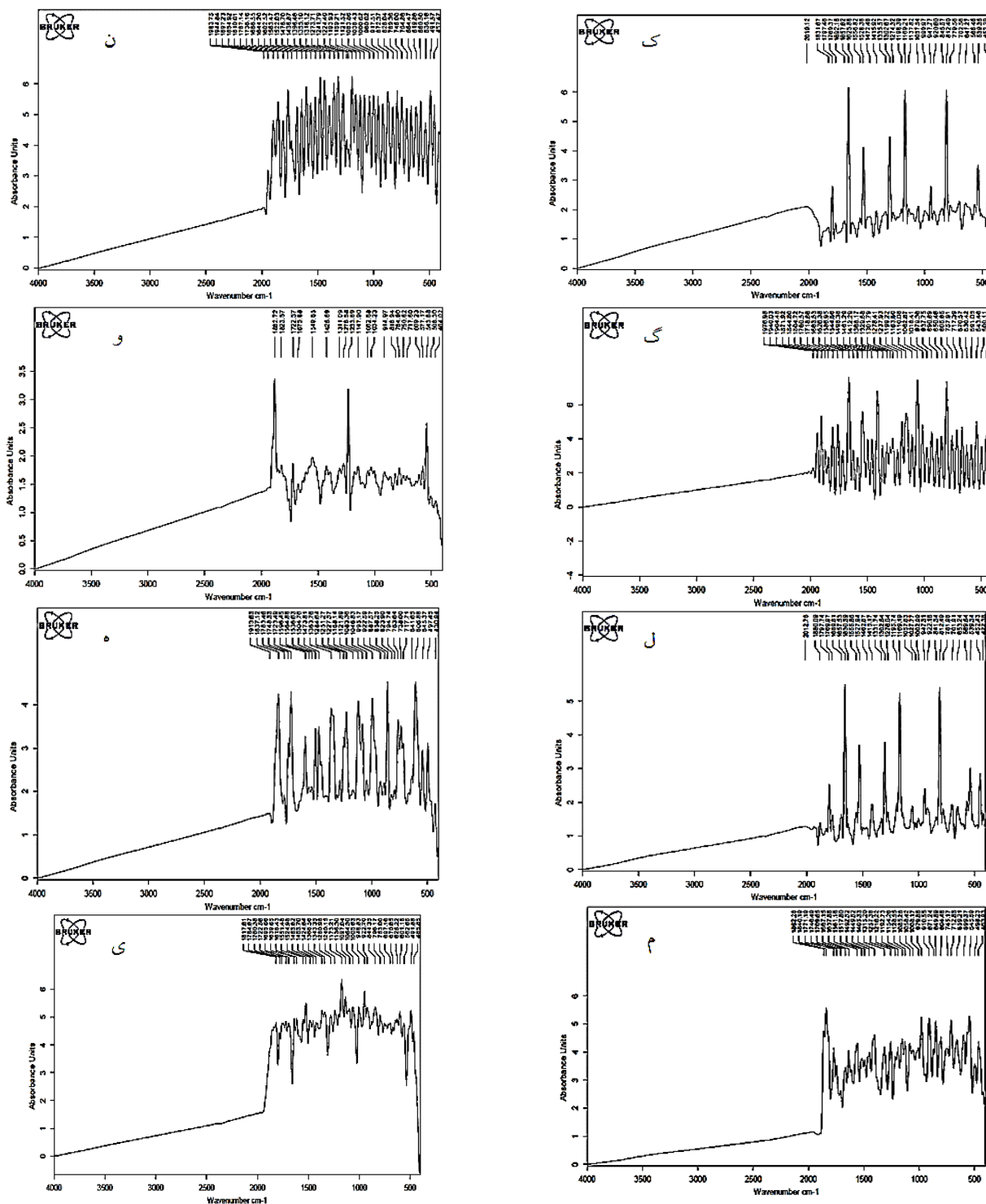
مشاهده نشده و یا شدت آن ضعیف می باشد. در کامپوزیت 9s و 9t در  $940\text{ cm}^{-1}$  پیک Ti-O-Si اتفاق افتاده است. در نمودار 9s پیک غالب حوالی  $812\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشات خمشی سیلیکا می باشد. پیک قوی  $778\text{ cm}^{-1}$  در 9t مربوط به پیوند تیتانیا می باشد.

در کامپوزیت 9t،  $1169\text{ cm}^{-1}$  پیک قوی دیگری مرتبط به پیوند Si-O-Si ارتعاشات کششی نامتقارن دیده می شود. در پوشش های دولایه 9s-9t و 9t-9s پیوند Ti-O-Si مشاهده نمی شود. در پوشش های دو لایه 9s-9t و 9t-9s پیک غالب و قوی تقریبا  $1233\text{ cm}^{-1}$  می باشد که مربوط به ارتعاشات پیوند Si-O-Si است. مشخصا هر پیکی بین  $1000\text{ cm}^{-1}$  تا  $1250$  مربوط به پیوند Si-O-Si است.

در پوشش های سه لایه پیک Ti-O-Si در 9s-9s در  $937$  و در 9t-9t در  $920\text{ cm}^{-1}$  و  $940$  رخ داده است. طیف t-9t و 9t-9s مانند طیف تک لایه کامپوزیت 9t می باشد. در نمودارهای 9t-9s نسبت به 9t-s پیک ها از شدت بیشتری برخوردارند و شدت پیک های تیتانیا و سیلیکا تقریبا برابر می باشند. اما در نمودار t-9t-s شدت پیک سیلیکا از تیتانیا بیشتر می باشد. در این دو طیف، پیک قوی در  $1880\text{ cm}^{-1}$  مربوط به باقی مانده های پیوندهای فرعی و ترکیبی از نوسانات مواد آلی، مولکول آب و شبکه  $\text{SiO}_2$  می باشد.

از موارد دیگری که شایان ذکر است، حضور پیوند Ti-O-Si در پوشش 9t-9s پررنگ می باشد. کلا در مواردی که پوشش دارای میزان بیشتری از سیلیکا می باشد، شدت پیک Ti-O-Si بیشتر است.





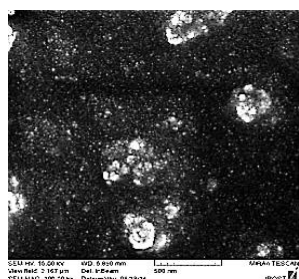
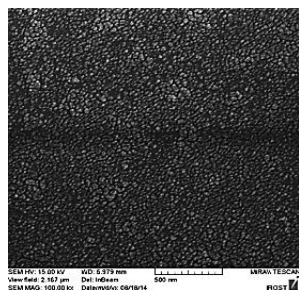
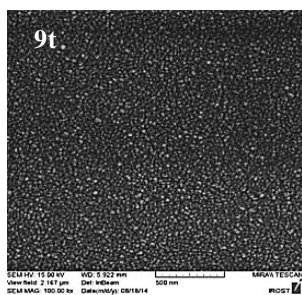
شکل (۴): طیف نگاری مادون قرمز پوشش های تک، چندلایه و کامپوزیت: (الف): تک لایه سیلیکا، (ب): سه لایه سیلیکا، (پ): تیتانیا، (ت): سه لایه تیتانیا، (ث): ۹۰-تیتانیا-۱۰-سیلیکا، (ج): ۹۰-سیلیکا-۱۰-تیتانیا، (چ): ۹۰-تیتانیا-۱۰-سیلیکا، (د): ۹۰-سیلیکا-۱۰-تیتانیا، (ه): ۹۰-تیتانیا-۱۰-سیلیکا، (ک): تیتانیا، ۹۰-تیتانیا-۱۰-سیلیکا، (گ): تیتانیا، ۹۰-سیلیکا-۱۰-تیتانیا، (ل): تیتانیا، ۹۰-سیلیکا-۱۰-تیتانیا، (م): تیتانیا، ۹۰-تیتانیا-۱۰-سیلیکا، (ن): تیتانیا، ۹۰-سیلیکا-۱۰-تیتانیا، (و): تیتانیا، ۹۰-سیلیکا-۱۰-سیلیکا، (ز): تیتانیا، ۹۰-سیلیکا-۱۰-سیلیکا، (ح): تیتانیا، ۹۰-سیلیکا-۱۰-سیلیکا و (ی): ۹۰-سیلیکا-۱۰-تیتانیا، تیتانیا، سیلیکا

## ۳-۲- طیف نگاری عبور پوشش ها

طیف عبور نور بر حسب طول موج در گستره طیف مرئی نمونه ها در شکل (۵) ملاحظه می شود. با توجه به شکل (۵) مشاهده می شود، شیشه بدون پوشش متوسط عبوری تقریباً در حد ۹۱٪ در محدوده ۳۷۰ تا ۸۴۰ نانومتر از خود نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، عبور نور در فیلم تک لایه سیلیکا در طول موج ۵۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر، ۹۲/۲۵٪ و با سه بار غوطه وری در سل سیلیکا نیز تقریباً همین نتیجه را در برخواهد داشت. بیشینه عبور نور در تک لایه تیتانیا تقریباً ۸۴٪ در ۶۰۰ نانومتر که با سه بار غوطه وری نیز تقریباً همین مقدار می باشد. نتایج نشان می دهد، ضخامت بیشتر فیلم های سیلیکا و تیتانیا چندان بر بیشینه عبور نور تاثیرگذار نیست. بیشینه عبور کامپوزیت ۹۰٪ تیتانیا-۱۰٪ سیلیکا تقریباً ۸۵٪ و کامپوزیت ۹۰٪ سیلیکا-۱۰٪ تیتانیا تقریباً ۹۲٪ می باشد. ۱٪ عبور بیشتر کامپوزیت ۹۰٪ تیتانیا-۱۰٪ سیلیکا نسبت به تیتانای خالص و حدود ۲۵٪ میزان عبور کمتر کامپوزیت ۹۰٪ سیلیکا-۱۰٪ تیتانیا نسبت به سیلیکای خالص می باشد. البته باید گفت، در کامپوزیت ۹۰٪ سیلیکا-۱۰٪ تیتانیا متوسط عبور نسبت به تک لایه سیلیکا بیشتر گردیده و در طول موج های بیشتری میزان عبور نور مطلوبی وجود دارد. در کامپوزیت ۹۰٪ تیتانیا-۱۰٪ سیلیکا نیز متوسط عبور بیشتر از تک لایه تیتانیا می باشد. اختلاف زیاد بین ضرایب شکست تیتانیا و سیلیکا منجر به متوسط عبور بیشتر نور گردیده است. در دو لایه کامپوزیت ها، حالتی که کامپوزیت ۹۰٪ سیلیکا-۱۰٪ تیتانیا لایه بیرونی می باشد، دارای دو بیشینه به میزان ۹۱٪ و ۸۷٪ در ۵۲۰ و ۸۲۰ نانومتر می باشد که تقریباً بیشینه مقدار هر دو لایه کامپوزیت را شامل می باشد. دو نوع فیلتر ضد بازتاب دو لایه وجود دارد. یکی ۷ شکل (۴/۴ لانداندا و ۴/۴ لانداندا) و دیگری ۷ شکل (۴/۴ لانداندا و ۲/۲ لانداندا). ساختارهای ضد بازتاب شکل وی تنها پهنای کمی از طول موج ها را پوشش می دهند. در صورتی که ساختارهای دبلو شکل در دو مقدار بازتابش کمینه دارند [۲۱]. دو لایه بودن در این حالت منجر به ایجاد ساختار دبلو شکل شده است.

اما حالتی که کامپوزیت ۹۰٪ تیتانیا-۱۰٪ سیلیکا لایه بیرونی باشد، بیشینه عبور تقریباً مانند کامپوزیت تک لایه ۹۰٪ تیتانیا-۱۰٪ سیلیکا ۸۵٪ می باشد و همان ساختار وی شکل در این پوشش دولایه رخ داده است. در پوشش سه لایه t-9s-9s بیشینه عبور در ۸۰۰ nm، ۹۲/۵٪ و در پوشش سه لایه t-9t-9t تقریباً ۸۴٪ می باشد. در این پوشش های سه لایه، بیشینه عبور مشابه با عبور تک لایه سطح بیرونی می باشد، با این تفاوت که در t-9s-9s مکان بیشینه عبور نور نسبت به 9s به ۸۰۰ نانومتر ارتقا پیدا کرده است. این ارتقا دو علت می تواند داشته باشد، یکی اینکه ضخامت پوشش های سه لایه منجر به تغییر موضع بیشینه عبور نور شده است و دیگر اینکه زیر لایه تیتانیا در این پوشش ها بر موقعیت بیشینه عبور نور تاثیر گذاشته و آن را به موقعیتی که در سیستم های تک لایه تیتانیا مشاهده می شود، برده است. در پوشش سه لایه t-9t-9t موقعیت بیشینه عبور به طول موج های کمتر نسبت به 9t برده شده است. در این حالت ممکن است، علت در نحوه ساختار پوشش و حضور سیلیکا در پوشش باشد. در پوشش سه لایه t-9s-9t دو بیشینه عبور در ۴۰۰ نانومتر ۸۶٪ و در ۸۰۰ نانومتر ۸۳٪ می باشد. در سه لایه t-9t-9s دارای یک بیشینه عبور در ۴۰۰ نانومتر به میزان ۹۵٪ می باشد که در بقیه طول موج ها مقدار عبور کم می باشد. یکی از علت های آن تشکیل پیوند قوی ti-o-si در  $910$  و  $970$   $\text{cm}^{-1}$  پوشش می باشد. در دو حالت نسبت به پوشش های دو لایه 9s-9t و 9t-9s میزان عبور نور بیشتر گردیده است. علت در وجود زیر لایه تیتانیا بر سطح شیشه می باشد. رفتار جالب دیگر این پوشش ها تفاوت در دبلو شکل یا وی بودن پوشش ها در دو حالت دو و سه لایه با زیر لایه تیتانیا می باشد. به نحوی که در 9s-9t وی شکل اما در t-9t-9s دبلو شکل و برعکس در 9t-9s دبلو شکل و در t-9t-9s وی شکل می باشد. تعداد، ترتیب قرارگیری لایه ها و زیر لایه ها بر میزان عبور نور در طول موج های مختلف تاثیر گذاشته است. در پوشش سه لایه t-9t-s نیز بیشینه عبور در ۴۰۰ نانومتر به میزان ۹۳٪ می باشد که نسبت به پوشش t-9t-9s به میزان ۲٪ کمتر

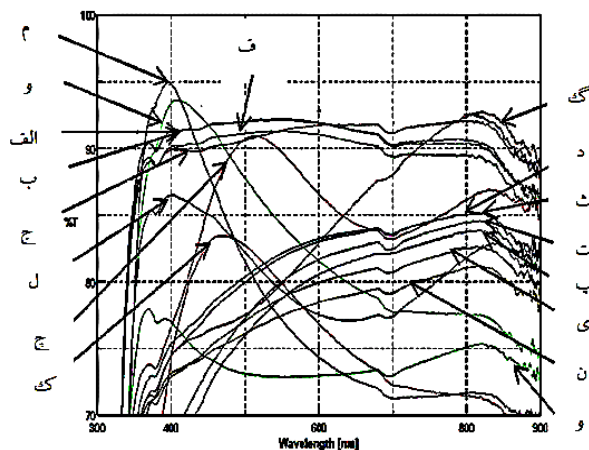




شکل (۶): تصاویر سطوح پوشش های تک لایه تیتانیا، کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا و چندلایه تیتانیا-سیلیکا.

تحت این شرایط نرخ کندانسیون خیلی پایین و فیلم به قدر کافی تبدیل به ژل می گردد. بنابراین حجم تخلخل فیلم به شدت کاهش می یابد. در صورت دیگر، در اسیدیته بالای ۷/۵، نرخ کندانسیون بسیار سریع است. رشد به صورت ذرات کروی که به صورت خوشه ای منبسط به هم می پیوندند، صورت می گیرد. در شکل (۷) ب دیده می شود، فیلم تشکیل شده دارای تخلخل بسیار و در نتیجه ضریب شکست پایین می باشد [۲۲]. این رفتار در کامپوزیت سیلیکا قابل مشاهده است. سطوح همان طور که

است. لذا نشان دهنده موثر بودن لایه کامپوزیت سطحی نسبت به سیلیکای خالص می باشد.



شکل (۵): طیف نگاری عبور پوشش های تک، چندلایه و کامپوزیت: (الف): تک لایه سیلیکا، (ب): سه لایه سیلیکا، (پ): تیتانیا، (ت): سه لایه تیتانیا، (ث): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ج): ۹۰ سیلیکا-۱۰ تیتانیا، (چ): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (د): ۹۰ سیلیکا-۱۰ تیتانیا، (ه): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (و): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ز): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ح): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ط): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ث): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (پ): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ی): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ن): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (و): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ه): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ی): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (و): ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، (ف): شیشه بدون پوشش

### ۳-۳- بررسی میکروسکوپی

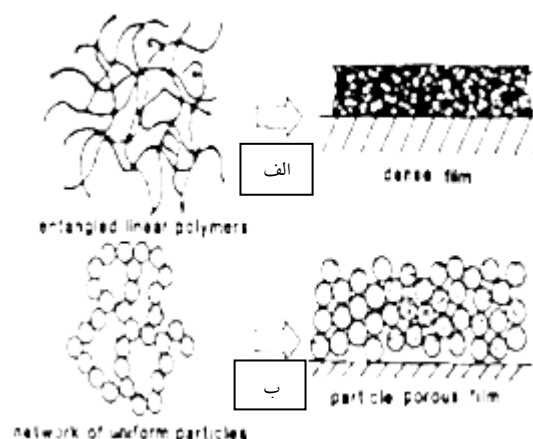
تصاویر پوشش های تک لایه تیتانیا و کامپوزیت تیتانیا و سیلیکا و پوشش تیتانیا، ۹۰ تیتانیا-۱۰ سیلیکا، ۹۰ سیلیکا-۱۰ تیتانیا در شکل (۶) مشاهده می شود. در پوشش کامپوزیت سیلیکا به دلیل حضور سل سیلیکای بازی منجر به رشد جزایر بر سطح شده است. تک لایه تیتانیا به علت حضور اسید در محلول تقریباً پوشش یکنواخت و متراکمی از خود نشان می دهد. در شرایط اسیدی و pH کمتر از ۲/۵، مدل رشد به صورت خطی یا به صورت تصادفی خوشه شده مطابق شکل (۷) الف به دست می آید.

۹۵٪ می تواند به عنوان پوشش ضدبازتاب در صنایع مختلف از جمله نیروگاه های خورشیدی کاربرد داشته باشد.

### ۵- مراجع

- [1] N. Settera & D. Damjanovic, "Ferroelectric thin films: Review of materials, properties, and applications", Journal of applied physics, Vol. 100, 2006.
- [2] P. K. Biswas, "Sol-gel thin films for optics and photonics", J Sol-Gel Sci Technol, Vol. 59, pp. 456-474, 2011.
- [3] F. Chi, L. Yan, H. Lv & B. Jiang, "Novel pathways for the preparation of silica antireflective films: Improvement in mechanical property", Materials Letters, Vol. 65, pp. 1095-1097, 2011.
- [4] Ö. Kesmez, E. Burunkaya, N. Kiraz, H. Erdem Çamurlu, M. Asiltürk & E. Arpaç, "Effect of acid, water and alcohol ratios on sol-gel preparation of antireflective amorphous SiO<sub>2</sub> coatings", Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 357, pp. 3130-3135, 2011.
- [5] D. Chen, "Anti-reflection (AR) coatings made by sol-gel processes: A review", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 68, 2001.
- [6] S. S. Ghosh, S. Das, A. Sil & P. K. Biswas, "Characterization of individual layers of an optical design based multilayered antireflection coating developed by sol-gel method", J Sol-Gel Sci Technol, 2012.
- [7] B. Richards, "Novel uses of titanium dioxide for silicon solar cells", Centre for Photovoltaic Engineering and the School of Electrical Engineering University of New South Wales Sydney, 2052 New South Wales, Australia, 2002.
- [8] M. Fink, "Types of anti-Reflective treatments and when to use them", The Photonics Solutions Update, www.photonicsonline.com.
- [9] Hodroj, O. Chaix-Pluchery, M. Audier, U. Gottlieb & J. Deschanvres, "Thermal annealing of amorphous Ti-Si-O thin films", Journal of Materials Research, Vol. 23, pp. 753-755, 2008.
- [10] C. J. Brinker, M. S. Harrington, "Sol-gel derived antireflective & coatings for silicon, Solar Energy Materials", Vol. 5, pp.159-172, 1981.

در تصویر تیتانیا دیده می شود، شامل نانو ذرات می باشند. کامپوزیت 9t نیز تقریباً یکنواخت به نظر می رسد. اما در بعضی مکان ها رشد بیشتر و در بعضی رشد کمتر بوده است. یکی از دلایل آن حضور مقدار کمی از سیلیکا در این کامپوزیت است. در بهترین نمونه از لحاظ عبور یعنی t-9t-9s تقریباً یکنواختی در سطح دیده می شود. در مجموع میزان عبور خوب در نمونه t-9t-9s مرهون سطح منسجم و نانوساختار این پوشش در اثر استفاده از سل بازی سیلیکا و سل اسیدی تیتانیا همزمان در پوشش است.



شکل (۷): شماتیک ژله ای شدن برای: (الف): کاتالیز شده اسیدی، (ب): کاتالیز شده بازی [۲۲].

### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق به خوبی پوشش های چندلایه، کامپوزیت و مخلوط آن ها به روش سل-ژل روی شیشه اعمال شد. نتایج حاکی از رفتارهای متفاوت نوری انواع پوشش ها است که با توجه به این رفتارهای متفاوت می توانند کاربردهای گوناگونی داشته باشند. ترتیب قرار گیری و نوع لایه ها در ایجاد این رفتار متفاوت نقش داشته اند. نتایج نشان می دهد، با به کارگیری اثر همزمان چندلایه و کامپوزیت تیتانیا-سیلیکا، پوشش سه لایه تیتانیا، ۹۰٪ تیتانیا-۱۰٪ سیلیکا، ۹۰٪ سیلیکا، ۱۰٪ تیتانیا با عبور

- [18] Pirson, A. Mohsine, R Marchot, B. Michaux, O. V. Cantfort & J. R Pirard, "Synthesis of SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Xerogels by Sol-Gel Process, Journal of Sol-Gel Science and Technology", Vol. 4, pp. 179-185, 1995.
- [19] J. Jiao, Q. Xu & L. Li, "Porous TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> composite prepared using PEG as template direction reagent with assistance of supercritical CO<sub>2</sub>", Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 316, pp. 596-603, 2007.
- [20] E. Zanchetta, V. Auzelyte, J. Brugger, A. V. Savegnago, G. G. Della & G. Brusatin, "Highly inorganic titania based sol-gel as directly patternable resist for micro- and nano- structured surfaces", Microelectronic Engineering, Vol. 98, pp. 176-179, 2012.
- [21] X. Wang & J. Shen, "Sol-gel derived durable antireflective coating for solar glass", Sol-Gel Sci Technol, Vol. 53, pp. 322-327, 2010.
- [22] G. Wu, J. Wang, J. Shen, T. Yang, Q. Zhang, B. Zhou, Z. Deng, B. Fan, D. Zhou & F. Zhang, "A novel route to control refractive index of sol-gel derived nano-porous silica films used as broadband antireflective coatings", Materials Science and Engineering, Vol. B78, pp. 135-139, 2000.
- [11] Schulera, D. Dutt, E. Chambriera, C. Roeckera, G. Temmermanc, P. Oelhafenc & J. Scartezzini, "Sol-gel deposition and optical characterization of multilayered SiO<sub>2</sub>/Ti<sub>1-x</sub>Si<sub>x</sub>O<sub>2</sub> coatings on solar collector glasses", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90, pp. 2894-2907, 2006.
- [12] Y. Liu, C. Lü, M. Li, L. Zhang & B. Yang, "High refractive index organic-inorganic hybrid coatings with TiO<sub>2</sub> nanocrystals" Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, Vol. 328, pp. 67-72, 2008.
- [13] S. Y. Lien, D. S. Wu, W. C. Yeh & J. C. Liu, "Tri-layer antireflection coatings (SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>) for silicon solar cells using a sol-gel technique", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90, pp. 2710-2719, 2006.
- [14] V. Purcar, I. Stamatina, O. Cinteza, C. Petcu, V. Raditoiu, M. Ghiurea, T. Miclaus & A. Andronie, "Fabrication of hydrophobic and antireflective coatings based on hybrid silica films by sol-gel process", Surface & Coatings Technology, Vol. 206, pp. 4449-4454, 2012.
- [15] S. E. Babayan, J. Y. Jeong, A. Schütze, V. J. Tu, M. Moravej, G. S. Selwyn & R. F. Hicks, "Deposition of silicon dioxide films with a non-equilibrium atmospheric-pressure plasma jet", Plasma Sources Sci. Technol, Vol. 10, pp. 573-57, 2001.
- [16] Verma, S. B. Samanta, A. K. Bakhshi & S. A. Agnihotry, "Effect of stabilizer on structural, optical and electrochemical properties of sol-gel derived spin coated TiO<sub>2</sub> films", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 88, pp. 47-64, 2005.
- [17] M. R. Golobostanfard & H. Abdizadeh, "Effects of acid catalyst type on structural, morphological, and optoelectrical properties of spin-coated TiO<sub>2</sub> thin film", Physica B, Vol. 413 pp. 40-46, 2013.

### ۶- پی نوشت

- [1] Brinker et al.  
 [2] Schulera et al  
 [3] et al Liu  
 [4] Lien et al.