

# تولید نانوذره‌های اکسید فلزی عامل دار با خاصیت ابر آب‌گریزی به وسیله‌ی اصلاح شیمی سطح با N-تری اتوکسی سایلایل پروپیل اولئامید

علی رستمی، شهرام شریف‌نیا\*<sup>+</sup>، گلشن مرادی

گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

**چکیده:** در این پژوهش، نانوذره‌های روی اکسید، تیتانیم دی‌اکسید و بوهمیت از طریق اصلاح شیمی سطح با ترکیب‌های آلی به نانو ساختارهای ابر آب‌گریز تبدیل شدند. ایجاد گروه‌های عاملی جدید از طریق واکنش با اولئیک اسید به‌تنهایی نتیجه‌های رضایت بخشی نشان نمی‌دهد در نتیجه در این مطالعه روغن اولئیک اسید به ترکیب‌های فعال‌تری تبدیل شد. سپس بر روی سطح نانوذره‌های آرایش داده شد. در این پژوهش معرف آب‌گریز کننده N-تری اتوکسی سایلایل پروپیل اولئامید (N-*TESPO*) با استفاده از اصلاح شیمایی اولئیک اسید سنتز شد که به آسانی می‌تواند انواع نانوذره‌های اکسیدی را عامل‌دار و ابر آب‌گریز کند. این معرف در یک واکنش دو مرحله‌ای از اولئیک اسید به دست می‌آید. به‌منظور شناسایی ویژگی‌های نانوذره‌های ابر آب‌گریز سنتز شده توسط روش اصلاح شیمی سطح، از تست زاویه تماس آب، SEM و FT-IR استفاده شد. نتیجه‌ها نشان داد که زاویه تماس سطح پوشانده شده با نانوذره‌های اصلاح شده روی اکسید، تیتانیم دی‌اکسید و بوهمیت به ترتیب ۱۵۸ و ۱۶۳ و ۱۶۱ درجه است که نشان‌دهنده‌ی خاصیت ابر آب‌گریزی این نانوذره‌ها می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** نانوذره‌ها؛ ابر آب‌گریز؛ اصلاح شیمی سطح؛ روی اکسید؛ تیتانیم دی‌اکسید؛ بوهمیت.

**KEYWORDS:** Nanoparticles; Superhydrophobic; Chemical surface modification; ZnO; TiO<sub>2</sub>; Boehmite.

## مقدمه

از جمله آن‌ها می‌توان به جداسازی آب از روغن، مقاومت در برابر خوردگی، سطح‌های مقاوم در برابر فشار، پوشش‌های ضد مه، پوشش‌های ضد یخ، سطوح خود تمییز شونده اشاره کرد [۲]. تر شونده‌گی یک خاصیت اختصاصی مواد می‌باشد که به‌شدت به انرژی سطحی و ریخت شناسی سطح وابسته است. خاصیت تر شونده‌گی مواد توسط یک سیال را می‌توان از روی زاویه تماس

در سال‌های اخیر، توجه بسیار زیادی در سرتاسر جهان به‌سوی سطح آب‌گریز جلب شده است. پژوهشگران با الهام از سطح‌های آب‌گریز طبیعی همانند برگ نیلوفر آبی، سطح هندوانه چینی، بال پروانه، پای حشره‌هایی که بر روی آب حرکت می‌کنند، سطح‌های مصنوعی آب‌گریز گوناگونی را طراحی و تولید کرده‌اند [۱]. مواد ابر آب‌گریز دارای قابلیت‌های کاربردی بسیار گسترده بوده که

\*عقد دار مکاتبات

+E-mail: sharif@razi.ac.ir

کوانتومی می‌باشد [۶۲، ۵۲]. هدف از این پژوهش دستیابی به نانوذره‌های جدید ابر آب‌گریز تیتانیوم دی‌اکسید ( $\text{TiO}_2$ )، بوهمیت ( $\gamma\text{-AlO(OH)}$ ) و روی اکسید ( $\text{ZnO}$ ) به منظور کاربردهای گسترده آن‌ها در صنایع گوناگون می‌باشد. دلیل انتخاب این سه نانوذره ویژگی‌های یگانه و کاربردهای چشمگیر آن‌ها، همان‌گونه که پیش‌تر توضیح داده شد، می‌باشد. برای تبدیل نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید، روی اکسید و نانوذره آب‌دوست بوهمیت به نانوذره‌های ابر آب‌گریز از روش اصلاح شیمی سطح به‌عنوان روشی پربازده و مفید استفاده شد. برای آنالیز نانوذره‌های سنتز شده از آزمون‌های FT-IR، SEM و زاویه تماس آب استفاده شده است.

### بخش تجربی

#### مواد

مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش از جمله آلومینیم نیترات  $\text{Al(NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ، سدیم هیدروکسید (NaOH)، اولئیک اسید ( $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ )، نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید ( $\text{TiO}_2$ )، تیونیل کلرید ( $\text{SOCl}_2$ ) و ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان (APTES) از شرکت مرک آلمان و نانوذره‌های روی اکسید ( $\text{ZnO}$ ) از شرکت سیگما آلدردیج خریداری شده‌اند. از آب یون زدایی شده به‌منظور سنتز نانوذره‌های بوهمیت و همچنین در کل مراحل آزمایش از استون برای شستشو استفاده شده است.

#### سنتز نانوذره‌های بوهمیت

روش سنتز نانوذره‌های بوهمیت در شکل ۱ نشان داده شده است. مطابق مقاله چاپ‌شده پیشین [۲۷] ۶۴۹ گرم سود در ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه و ۲۰ گرم آلومینیم نیترات در ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه حل شده و پس‌از آن تیتراسیون محلول آلومینیم نیترات توسط محلول سود انجام شد به این صورت که محلول سود به‌صورت قطره‌قطره و با سرعت ۲/۹۴ mL/min و به مدت ۱۷ دقیقه به محلول آلومینیم نیترات افزوده شد. مخلوط به دست آمده به مدت ۳ ساعت و در دمای  $25^\circ\text{C}$  در حمام فراصوت قرار داده شد. سپس، محلول به‌دست‌آمده به مدت ۴ ساعت داخل آون در دمای  $220^\circ\text{C}$  قرار داده شد. پس از ۴ مرتبه شست و شوی جامد سفید به دست آمده با آب مقطر، سوسپانسیون به‌دست‌آمده به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای  $80^\circ\text{C}$  قرار داده شد پس از کوبیده شدن جامد سفیدرنگ به دست آمده، نانوذره‌های بوهمیت به دست آمد.

مشخص کرد. سطح‌های ابر آب‌گریز دارای زاویه تماس بالاتر از  $150^\circ$  درجه برای آب می‌باشند [۳]. تا به حال از روش‌های متفاوتی به‌منظور دستیابی به سطح آب‌گریز استفاده شده است که شامل روش‌های رسوب‌دهی مواد شیمیایی (سل - ژل) [۴]، تصعید آلومینیم استیل استونات [۵، ۶]، خوردگی گالوانیک [۷]، سنتزهای گرمایی [۴]، امواج رادیویی پلاسمایی [۸]، رسوب‌دهی تبخیری-فیزیکی [۹] می‌باشد. در برخی از این روش‌ها موادی با سطح‌های آب‌گریز تولید می‌شود [۱۰، ۱۱] و در روش‌های دیگر، ابتدا یک بافت سطحی تولید می‌شود که در مرحله‌های بعدی با یک فیلم آب‌گریز روکش داده می‌شود [۱۲، ۱۳]. در تمامی روش‌ها زبری سطحی بالا و انرژی سطحی پایین به‌منظور دستیابی به سطح‌های فوق آب‌گریز به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۴]. تاکنون مطالعه‌های زیادی برای تهیه و آنالیز سطح‌های آب‌گریز انجام شده است. نوسونوسکای و بوشان [۱۵] یک نظریه برای تعیین زبری سطح‌های آب‌گریز ارائه دادند که در آن از معادله‌های ونزل و کاسی - باکسر برای ارزیابی زاویه تماس، زبری و نامتجانسی سطح استفاده شده است. همچنین، بوشان و همکاران [۱۶] رابطه بین پارامترهای زبری سطح و زاویه تماس را مورد مطالعه قرار دادند. هسیه و همکاران [۱۷] مدل اصلاح‌شده کاسی - باکسر را به‌منظور ارزیابی تأثیر اندازه نانوذره‌ها بر روی رفتار آب‌گریزی آن‌ها ارائه دادند. تارینو و همکاران [۱۸] به تهیه نانوذره‌های فوق آب‌گریز با استفاده از روش رسوب‌دهی مواد شیمیایی (سل - ژل) پرداختند. به تازگی نانوتکنولوژی به‌طور گسترده در حوزه‌های گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است. پژوهشگران در حال مطالعه دقیق ویژگی‌های فیزیکی و کاربرد شکل‌های گوناگون مواد با اندازه نانو، از جمله نانوذره‌ها می‌باشند [۱۹-۲۱]. تیتانیوم دی‌اکسید ( $\text{TiO}_2$ ) به دلیل ویژگی‌های یگانه، مانند قیمت پایین، فعالیت بالای فتوکاتالیستی، پایداری شیمیایی، غیر سمی بودن، ویژگی‌های الکتریکی و نوری و خاصیت ضد باکتریایی به‌طور گسترده در رنگ‌دانه‌ها، رنگ‌ها، لوازم آرایشی و نگه‌دارنده‌های فتوکاتالیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲، ۲۳]. بوهمیت ( $\gamma\text{-AlO(OH)}$ )، آلومینیم اکسید - هیدروکسید با میزان آب متفاوت و اندازه بلوری‌های متفاوت می‌باشد. در بسیاری از موارد بوهمیت به‌عنوان ماده اولیه برای سنتز فازهای آلومینا می‌باشد [۲۴]. روی اکسید ( $\text{ZnO}$ ) از جمله جذاب‌ترین مواد با قابلیت‌های کاربردی بسیار از جمله استفاده به‌عنوان دستگاه‌های فوتونیک بوده و یکی از نادرترین اکسیدهایی است که دارای تأثیرهای تجزیه‌پذیری

با استفاده از قرص KBr و آنالیز SEM (Scanning electron microscope (FESEM, TSCAN, Czech Republic) استفاده شد. برای اندازه‌گیری زاویه تماس از دستگاه آزمون زاویه تماس مدل OCA 15 PLUS استفاده شده است. اندازه‌گیری زاویه تماس آب تنها با قطره آب (با حجم ۴ میکرولیتر) توسط سامانه مجهز به یک دوربین CCD با قابلیت عکس‌برداری از قطره و دارای نرم‌افزار سنجش زاویه تماس قطره با سطح موردنظر انجام شده است. این سامانه مورد استفاده تولید شرکت Dataphysics می‌باشد. شایان ذکر است که ۵ اندازه‌گیری بر روی هر نمونه انجام شده و در پایان متوسط آن‌ها گزارش شده است.

### نتیجه‌ها و بحث

مرحله‌های سنتز ترکیب N-TESPO که یک معرف عامل‌دار کننده‌ی قوی از نوع آب‌گریز می‌باشد در شکل ۳ نشان داده شده است که شامل فعال کردن روغن اولئیک اسید از طریق آسیدل‌دار نمودن آن با تیونیل کلرید و سرانجام واکنش تولید آمید با APTES می‌باشد. فرآورده نهایی یک مایع قهوه‌ای‌رنگ به نسبت گرانبه است که می‌تواند جهت آب‌گریز نمودن سطوح آب‌دوست به کار برود.

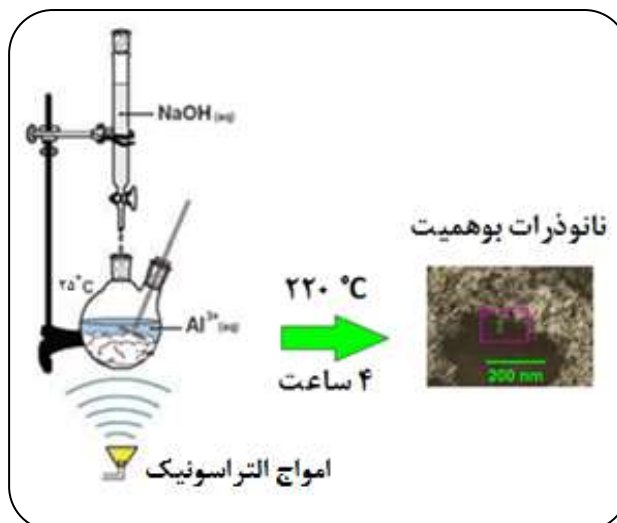
در شکل ۴ چگونگی عامل‌دار شدن سطح نانوذره‌ها گوناگون توسط معرف N-TESPO نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، این معرف با تشکیل پیوندهای کووالانسی با گروه‌های OH سطح نانوذره‌ها، به‌صورت یکنواختی نانوذره‌ها را آب‌گریز می‌نماید و یک آرایش منظمی از مولکول‌های غیر قطبی N-TESPO را در سطح به وجود می‌آورد.

### آنالیز SEM

شکل ۵ تصویرهای SEM نانوذره‌های روی اکسید، تیتانیوم دی‌اکسید و بوهمیت آب‌گریز شده را در دو بزرگ‌نمایی نشان می‌دهد. اندازه‌های نانوذره‌ها در شکل نشان داده شده است. تجمع ذره‌های ایجاد شده که در عکس‌ها دیده می‌شود باعث افزایش زبری سطح شده که سرانجام منجر به آب‌گریزی این نانوذره‌ها شده است [۲۹].

### آنالیز FT-IR

طیف‌سنجی FT-IR روشی مناسب جهت تعیین ویژگی‌های مواد می‌باشد. مقایسه طیف FT-IR نانوذره‌ها اولیه (نانوذره‌های



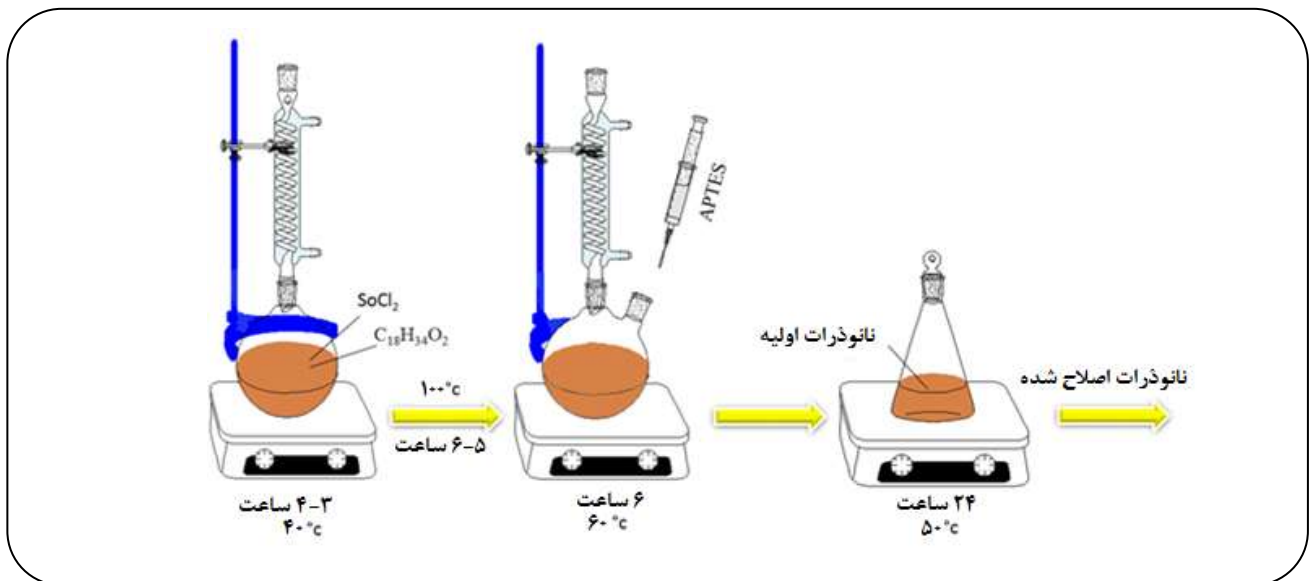
شکل ۱- روش سنتز نانوذره‌های بوهمیت.

### اصلاح نانوذره‌های اکسید روی، تیتانیوم دی‌اکسید و بوهمیت

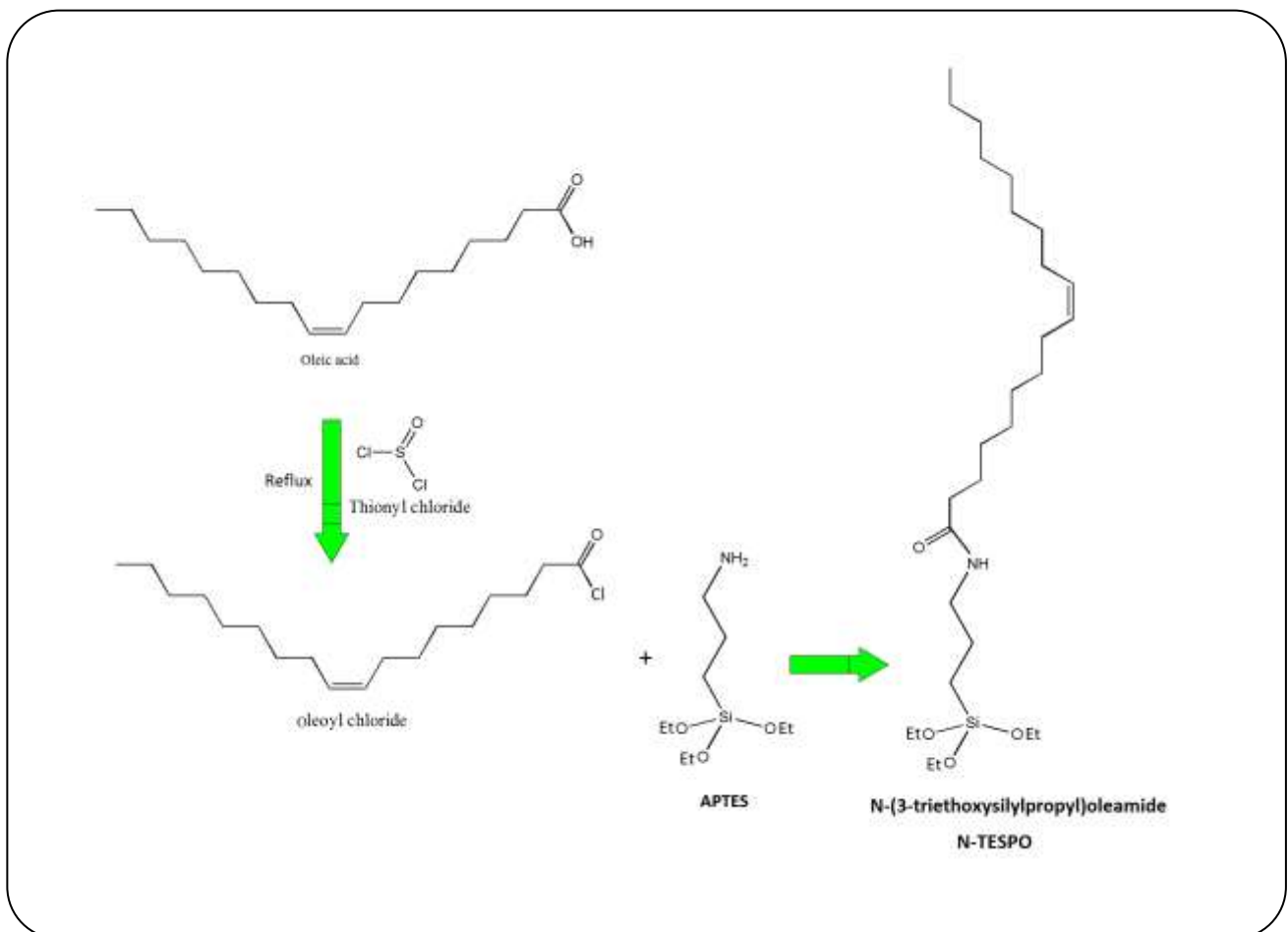
به‌منظور اصلاح نانوذره‌های روی اکسید، تیتانیوم دی‌اکسید و بوهمیت، ۵۰ mL اولئیک اسید ( $C_{18}H_{34}O_2$ ) به ۲۵ mL تیونیل کلرید ( $SOCl_2$ ) درون یک بالن افزوده و سپس به مدت ۳ تا ۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بازچرخانی شد. رنگ محلول پس از انجام واکنش از زرد کم‌رنگ به قرمز - قهوه‌ای تیره‌رنگ تبدیل شد. پس‌از آن، به‌منظور حذف تیونیل کلرید اضافی، محلول زیر هود زیستی تا دمای ۱۰۰ درجه به مدت ۵ تا ۶ ساعت گرما داده شد. در ادامه به منظور تکمیل واکنش ۱۰ میلی‌لیتر ۳-آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان (APTES) به محلول به‌دست‌آمده در مرحله پیشین در دمای ۶۰ درجه سلسیوس افزوده شد و محلول به مدت ۶ ساعت روی استیرر هم‌زده شد [۲۸]. سپس به منظور اصلاح شیمیایی نانوذره‌های مورد نظر به محلول سنتز شده در مرحله پیش (N-TESPO)، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس ۰/۵ گرم از نانوذره موردنظر همراه با هم زدن افزوده شد و به مدت ۲۴ ساعت هم زدن ادامه پیدا کرد. در پایان به کمک سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ rpm نانوذره‌های جداسازی و با استون چندین بار شستشو داده شد. به منظور حذف حلال، نانوذره‌ها به دست آمده در آن به مدت ۶ ساعت خشک شد. روش مورد استفاده به‌منظور اصلاح نانوذره‌های یاد شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

### شناسایی نانوذره‌ها

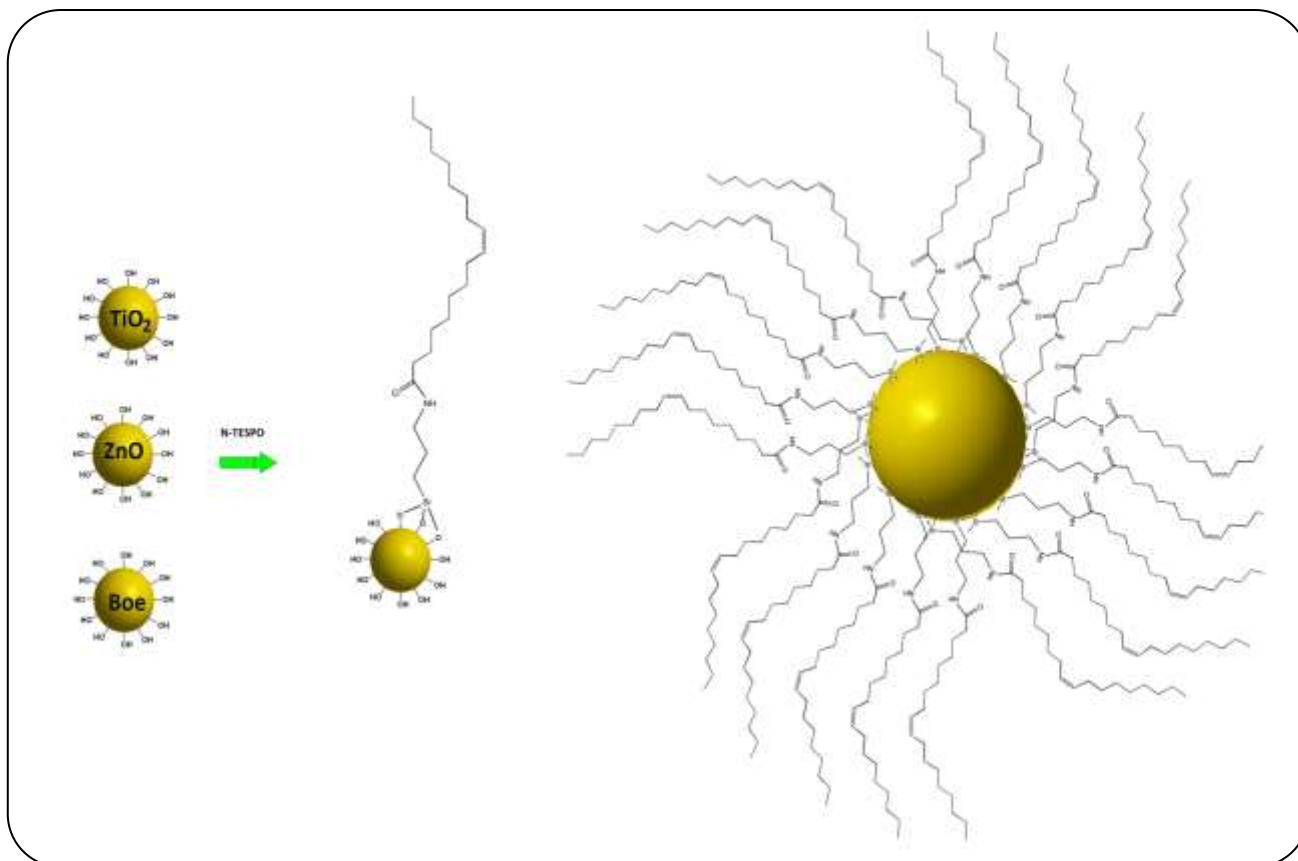
به‌منظور شناسایی نانوذره‌ها از دستگاه طیف‌سنج FT-IR مدل (Bruker-IFS 48 FT-IR spectrometer (Ettlingen, Germany))



شکل ۲- روش مورد استفاده جهت اصلاح نانوذره‌های.



شکل ۳- مرحله‌های سنتز ترکیب N-TESPO.



شکل ۴- چگونگی عامل‌دار شدن سطح نانوذره‌های اکسید فلزی.

پیک‌های دیده شده در فرکانس‌های  $2927\text{ cm}^{-1}$  و  $2856\text{ cm}^{-1}$  برآمده از ارتعاش‌های کششی C-H های آلکانی گروه‌های N-TESPO ایجاد شده در نانوذره‌های روی اکسید اصلاح شده می‌باشد. فرکانس  $1374\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوندهای Si-O و  $930\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند Si-O-Zn گروه‌های سیلانی می‌باشند. هم‌چنین پیک  $1629\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی C=O آمیدی گروه‌های N-TESPO ایجاد شده در ساختار نانوذره روی اکسید می‌باشد. پیک  $475\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند Zn-O و پیک موجود در فرکانس  $1130\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C-N می‌باشد.

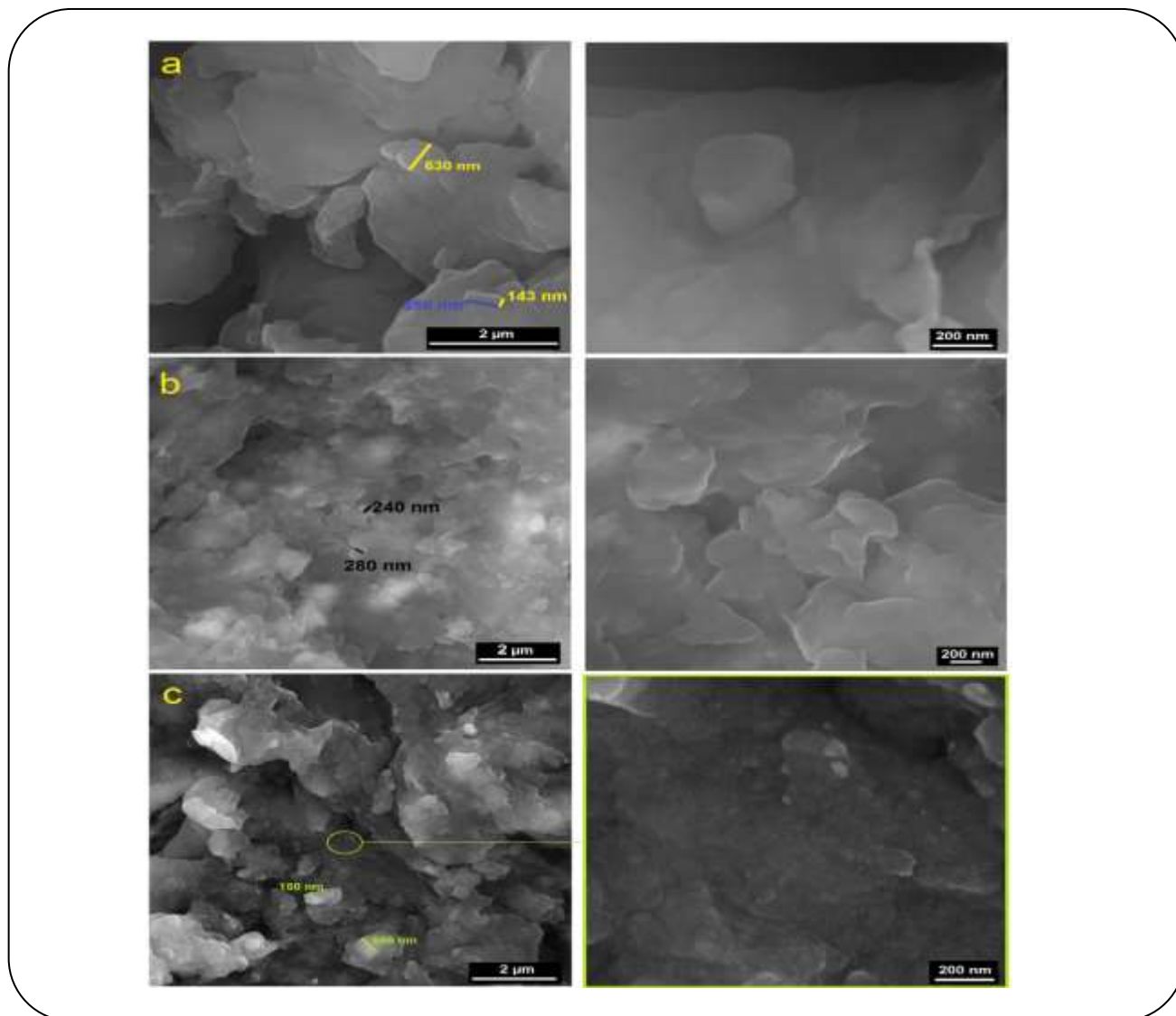
#### آنالیز FT-IR نانوذره‌های $\text{TiO}_2$ عامل دار شده

شکل ۷ طیف عبوری FT-IR نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید را در بازه‌ی فرکانس  $4000-500\text{ cm}^{-1}$  پیش و پس از اصلاح نشان می‌دهد. در طیف مربوط به نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید، پیک دیده شده در فرکانس  $3450\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه هیدروکسیل موجود بر روی سطح نانوذره می‌باشد. دو پیک  $600\text{ cm}^{-1}$  و  $650\text{ cm}^{-1}$

روی اکسید، تیتانیوم دی‌اکسید و بوهمیت) پیش و پس از واکنش با معرف N-TESPO می‌تواند بیانگر میزان موفقیت آمیز بودن انجام واکنش باشد.

#### آنالیز FT-IR نانوذره‌های ZnO عامل دار شده

در شکل ۶ طیف FT-IR نانوذره‌های روی اکسید و روی اکسید عامل دار شده نشان داده شده است. در طیف مربوط به روی اکسید پیش از عامل‌دار شدن، یک پیک قوی در فرکانس  $3440\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود که مربوط به ارتعاش‌های کششی گروه‌های هیدروکسیل موجود بر سطح نانوذره‌های روی اکسید می‌باشد. هم‌چنین، پیک‌های دیده شده در نزدیکی فرکانس  $568\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی پیوند Zn-O می‌باشند. دو پیک  $1509\text{ cm}^{-1}$  و  $1396\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های گروه‌های کربوکسیلات است که ناشی از فرایند سنتز این نانوذره‌ها می‌باشد. در طیف مربوط به نانوذره‌های روی اکسید اصلاح شده پیک‌های جدیدی ظاهر شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی عامل دار شدن این نانوذره‌ها با معرف N-TESPO می‌باشد.



شکل ۵ - تصویرهای SEM نانوذره‌های ابر آب گریز (a: اکسید روی، b) تیتانیوم دی اکسید و c) بوهمیت.

می‌باشد. پیک  $1130\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C-N می‌باشد. ضعیف‌تر شدن پیک مربوط به گروه هیدروکسیل در فرکانس  $3295\text{ cm}^{-1}$  نسبت به پیک گروه هیدروکسیل ظاهر شده در طیف نانوذره‌های تیتانیوم دی‌اکسید اصلاح‌نشده نشان‌دهنده‌ی تبدیل موفقیت‌آمیز گروه‌های هیدروکسیل موجود در سطح نانوذره‌ها به گروه‌های آب‌گریز آلکانی می‌باشد.

#### آنالیز FT-IR نانوذره‌های بوهمیت عامل دار شده

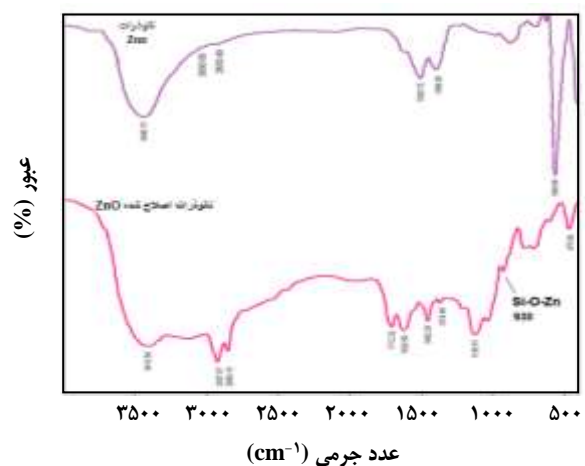
شکل ۸ طیف FT-IR نانوذره‌های بوهمیت و بوهمیت اصلاح‌شده را در بازه‌ی طول‌موج  $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهد.

مربوط به پیوندهای Ti-O-Ti در ساختار نانوذره و پیک موجود در فرکانس  $1640\text{ cm}^{-1}$  مربوط به آب جذب شده می‌باشد. در طیف مربوط به نانوذره‌های  $\text{TiO}_2$  اصلاح‌شده پیک‌های  $2924\text{ cm}^{-1}$  و  $2854\text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش‌های کششی C-H های آلکانی گروه‌های N-TESPO ایجاد شده در نانوذره‌های اکسید روی اصلاح‌شده می‌باشد. پیک قوی بازه‌ی  $1050\text{ cm}^{-1}$  نیز مربوط به ارتعاش‌های کششی Si-O-Ti می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی اتصال مولکول‌های N-TESPO به سطح ذره‌ها می‌باشد. همچنین پیک  $1458\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی C=O آمیدی گروه‌های N-TESPO ایجاد شده در ساختار نانوذره تیتانیوم دی‌اکسید

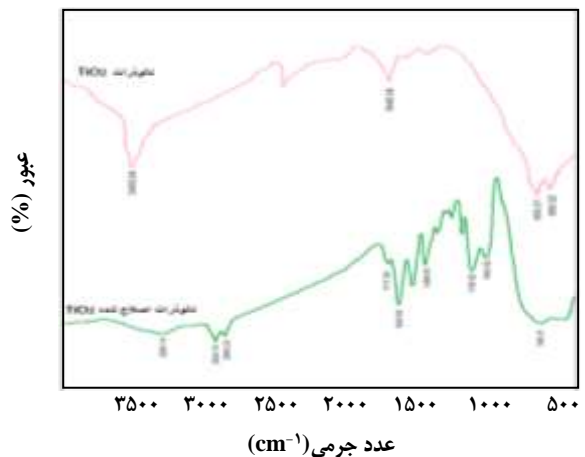
در طیف مربوط به نانوذره بوهمیت، دو پیک  $3090 \text{ cm}^{-1}$  و  $3349 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی پیوند Al-OH می‌باشد. همچنین فرکانس‌های  $1068 \text{ cm}^{-1}$  و  $1164 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های متقارن پیوندهای هیدروژنی OH...OH ساختار بوهمیت و فرکانس‌های  $579 \text{ cm}^{-1}$  و  $563 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های پیوند Al-O می‌باشد. پیک ظاهر شده در فرکانس  $1392 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ناخالصی نیترات موجود در ساختار نانوذره‌ها می‌باشد. طیف به دست آمده برای نانوذره‌های بوهمیت سنتز شده با نتیجه‌های به دست آمده توسط رجبی و همکاران سازگار می‌باشد [۳۰]. در طیف مربوط به نانوذره‌های بوهمیت اصلاح شده فرکانس‌های  $2853 \text{ cm}^{-1}$  و  $2920 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از ارتعاش‌های کششی C-H های آلکانی گروه‌های N-TESPO می‌باشد و پیک ایجاد شده در حدود فرکانس  $1040 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های پیوند Si-O-Al است که ناشی از گروه‌های سیلان ایجاد شده در ساختار نانوذره‌های بوهمیت اصلاح شده می‌باشد. پیک ایجاد شده در فرکانس  $1463 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های خمشی پیوندهای C-H می‌باشد. پیک ظاهر شده در فرکانس  $895 \text{ cm}^{-1}$  و پیک موجود در فرکانس  $1071 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به گروه‌های Si-C و C-N در ساختار نانوذره‌های بوهمیت اصلاح شده می‌باشد.

### تعیین زاویه تماس آب

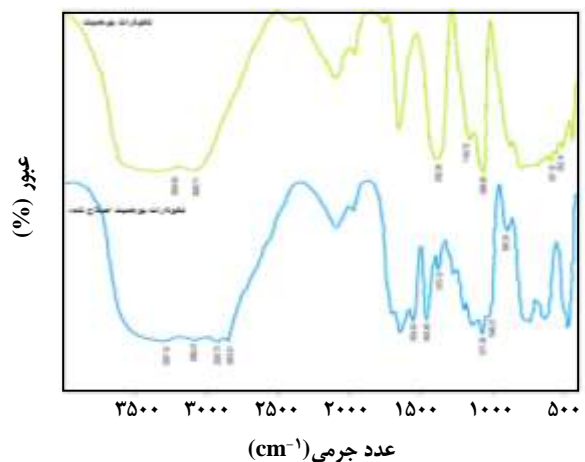
با استفاده از اندازه‌گیری زاویه تماس آب می‌توان میزان آبدوستی، آب‌گریزی، اثرهای فتوکاتالیستی و ویژگی‌های خودتمیزشوندگی را مورد بررسی قرار داد. به منظور اثبات خاصیت آبر آب‌گریزی نانوذره‌های اصلاح شده روی اکسید، تیتانیم دی‌اکسید و بوهمیت از تست زاویه تماس آب استفاده شد. به همین جهت ابتدا مقداری از نانوذره‌های اصلاح شده را بر روی سطحی تمیز پوشش داده و یک فیلم صاف و یک دست (به ضخامت حدود ۲۰ تا ۲۵ میکرومتر) ایجاد نموده و سپس اندازه زاویه تماس قطره آب با سطح پوشش داده شده به دست آمد. شکل ۹ نتیجه‌های آزمون زاویه تماس را برای هر سه نانوذره اصلاح شده نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، زاویه تماس آب با سطح هر سه نانوذره‌ی اصلاح شده با N-TESPO بالای ۱۵۰ درجه است که نشان‌دهنده‌ی خاصیت آبر آب‌گریزی بودن آن‌ها می‌باشد. این در حالی است که این نانوذره‌ها پیش از اصلاح شیمیایی به طور کامل آبدوست می‌باشند. در آزمایش ساده دیگری که انجام گرفت این نانوذره‌ها درون آب پخش شده و به مدت یک هفته نگهداری شدند



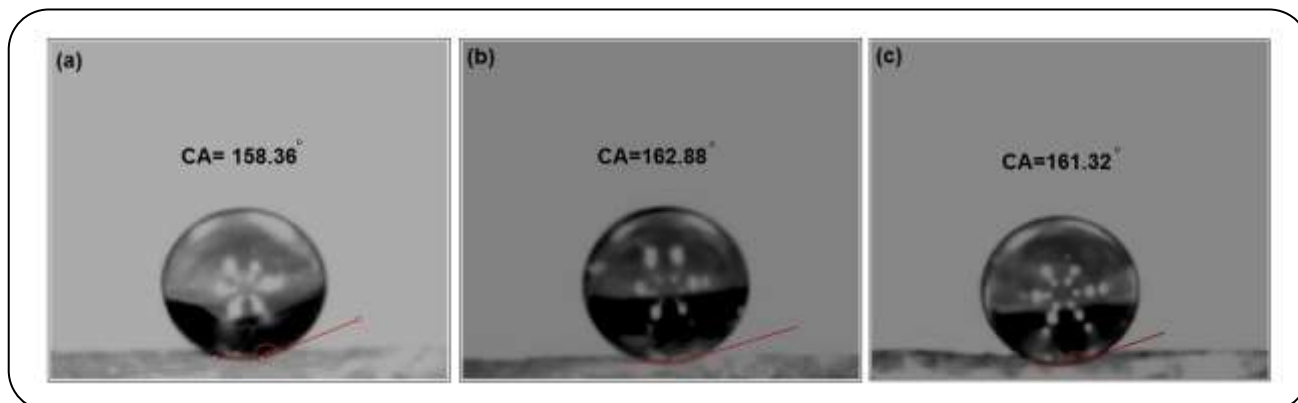
شکل ۶ - طیف FT-IR نانوذره‌های اکسید روی و اکسید روی اصلاح شده.



شکل ۷ - طیف FT-IR نانوذره‌های تیتانیم دی‌اکسید و تیتانیم دی‌اکسید اصلاح شده.



شکل ۸ - طیف FT-IR نانوذره‌های بوهمیت و بوهمیت اصلاح شده.



شکل ۹- زاویه تماس قطره آب بر سطح پوشش داده شده با نانوذره‌های (a) روی اکسید، (b) تیتانیوم دی‌اکسید، (c) بوهمیت اصلاح شده.

سطح نانوذره‌ها آرایش داده شد. در این کار معرف آب‌گریز کننده‌ی N-تری اتوکسی سایلایل پروپیل اولتامید (N-TESPO) با استفاده از اصلاح شیمایی اولئیک اسید سنتز شده که به سادگی قادر به عامل‌دار کردن و ابر آب‌گریز کردن انواع نانوذره‌های اکسیدی می‌باشد. این معرف در یک واکنش دو مرحله‌ای از اولئیک اسید به دست آمد. نتیجه‌ها نشان داد که زاویه تماس سطح پوشانده شده با نانوذره‌های اصلاح شده روی اکسید، تیتانیوم دی‌اکسید و بوهمیت به ترتیب ۱۵۸ و ۱۶۳ و ۱۶۱ درجه می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی خاصیت ابر آب‌گریزی این نانوذره‌ها است.

اما در طول این مدت خاصیت ابر آب‌گریزی آن‌ها تغییری نداشت و هیچ‌گونه انحلالی در آب از خود نشان ندادند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک معرف عامل‌دار کننده به منظور ابر آب‌گریز نمودن اکسیدهای فلزی و سطح‌های گوناگون به نام N-TESPO سنتز و شناسایی شد. نانوذره‌های روی اکسید، تیتانیوم دی‌اکسید و بوهمیت از طریق اصلاح شیمی سطح با معرف آلی N-TESPO به نانو ساختارهای ابر آب‌گریز تبدیل شدند. ایجاد گروه‌های عاملی جدید از طریق واکنش با اولئیک اسید به‌تنهایی نتیجه‌های رضایت بخشی نشان نمی‌دهد در نتیجه در این مطالعه روغن اولئیک اسید به ترکیب‌های فعال‌تری تبدیل و سپس بر روی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۱

### مراجع

- [1] Ensikat H.J., Ditsche-Kuru P., Neinhuis C., Barthlott W., [Superhydrophobicity in Perfection: the Outstanding Properties of the Lotus Leaf](#), *Beilstein Journal of Nanotechnology*, **2**: 152-161 (2011).
- [2] Darmanin T., Guittard F., [Recent Advances in the Potential Applications of Bioinspired Superhydrophobic Materials](#), *Journal of Materials Chemistry A*, **2**: 16319-16359(2014).
- [3] Wisdom K.M., Watson J.A., Qu X., Liu F., Watson G.S., Chen C.-H., [Self-Cleaning of Superhydrophobic Surfaces by Self-Propelled Jumping Condensate](#), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **110**: 7992-7997 (2013).
- [4] Shi F., Chen X., Wang L., Niu J., Yu J., Wang Z., Zhang X., [Roselike Microstructures Formed by Direct in Situ Hydrothermal Synthesis: From Superhydrophilicity to Superhydrophobicity](#), *Chemistry of Materials*, **17**: 6177-6180 (2005).



- [5] Nakajima A., Koizumi S.-i., Watanabe T., Hashimoto K., [Photoinduced Amphiphilic Surface on Polycrystalline Anatase TiO<sub>2</sub> Thin Films](#), *Langmuir*, **16**: 7048-7050 (2000).
- [6] Shang H., Wang Y., Limmer S., Chou T., Takahashi K., Cao G., [Optically Transparent Superhydrophobic Silica-Based Films](#), *Thin Solid Films*, **472**: 37-43 (2005).
- [7] Wu X., Shi G., [Fabrication of a Lotus-Like Micro–Nanoscale Binary Structured Surface and Wettability Modulation From Superhydrophilic to Superhydrophobic](#), *Nanotechnology*, **16**: 2056 (2005).
- [8] Hozumi A., Takai O., [Preparation of Ultra Water-Repellent Films by Microwave Plasma-Enhanced CVD](#), *Thin Solid Films*, **303**: 222-225 (1997).
- [9] Tavana H., Amirfazli A., Neumann A., [Fabrication of Superhydrophobic Surfaces of n-Hexatriacontane](#), *Langmuir*, **22**: 5556-5559 (2006).
- [10] Yabu H., Shimomura M., [Single-Step Fabrication of Transparent Superhydrophobic Porous Polymer Films](#), *Chemistry of Materials*, **17**: 5231-5234(2005).
- [11] Yoshida N., Abe Y., Shigeta H., Takami K., Osaki H., Watanabe T., Hashimoto K., Nakajima A., [Preparation and Water Droplet Sliding Properties of Transparent Hydrophobic Polymer Coating by Molecular Design for Self-Organization](#), *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, **31**: 195-199 (2004).
- [12] Nakajima A., Abe K., Hashimoto K., Watanabe T., [Preparation of Hard Super-Hydrophobic Films with Visible Light Transmission](#), *Thin Solid Films*, **376**: 140-143 (2000).
- [13] Shang H., Wang Y., Takahashi K., Cao G., Li D., Xia Y., [Nanostructured Superhydrophobic Surfaces](#), *Journal of Materials Science*, **40**: 3587-3591(2005).
- [14] Bravo J., Zhai L., Wu Z., Cohen R.E., Rubner M.F., [Transparent Superhydrophobic Films Based on Silica Nanoparticles](#), *Langmuir*, **23**: 7293-7298 (2007).
- [15] Nosonovsky M., Bhushan B., [Roughness-Induced Superhydrophobicity: A Way to Design Non-Adhesive Surfaces](#), *Journal of Physics: Condensed Matter*, **20**: 225009 (2008).
- [16] Bhushan B., Koch K., Jung Y.C., [Biomimetic Hierarchical Structure for Self-Cleaning](#), *Applied Physics Letters*, **93**: 093101 (2008).
- [17] Hsieh C.-T., Chen W.-Y., Wu F.-L., Shen Y.-S., [Fabrication and Superhydrophobic Behavior of Fluorinated Silica Nanosphere Arrays](#), *Journal of Adhesion Science and Technology*, **22**: 265-275 (2008).
- [18] Taurino R., Fabbri E., Messori M., Pilati F., Pospiech D., Synytska A., [Facile Preparation of Superhydrophobic Coatings by Sol–Gel Processes](#), *Journal of Colloid and Interface Science*, **325**: 149-156 (2008).
- [19] Alivisatos A.P., Johnsson K.P., Peng X., Wilson T.E., Loweth C.J., Bruchez M.P., Schultz P.G., [Organization of Nanocrystal Molecules' Using DNA](#), *Nature*, **382.6592**: 609-611 (1996).
- [20] Jensen P., [Growth of Nanostructures by Cluster Deposition: Experiments and Simple Models](#), *Reviews of Modern Physics*, **71**: 1695 (1999).

- [21] Xia Y., Yang P., Sun Y., Wu Y., Mayers B., Gates B., Yin Y., Kim F., Yan H., [One-Dimensional Nanostructures: Synthesis, Characterization, and Applications](#), *Advanced Materials*, **15**: 353-389 (2003).
- [22] Cheng F., Sajedin S.M., Kelly S.M., Lee A.F., Kornherr A., [UV-Stable Paper Coated with APTES-Modified P25 TiO<sub>2</sub> Nanoparticles](#), *Carbohydrate Polymers*, **114**: 246-252 (2014).
- [23] Zhao J., Milanova M., Warmoeskerken M.M., Dutschk V., [Surface Modification of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles with Silane Coupling Agents](#), *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **413**: 273-279 (2012).
- [24] Derakhshan A.A., Rajabi L., [Review on Applications of Carboxylate-Alumoxane Nanostructures](#), *Powder Technology*, **226**: 117-129 (2012).
- [25] Guo L., Yang S., Yang C., Yu P., Wang J., Ge W., Wong G.K., [Highly Monodisperse Polymer-Capped ZnO Nanoparticles: Preparation and Optical Properties](#), *Applied Physics Letters*, **76**: 2901-2903 (2000).
- [26] Meulenkamp E.A., [Synthesis and Growth of ZnO Nanoparticles](#), *The Journal of Physical Chemistry B*, **102**: 5566-5572 (1998).
- [27] Yanagisawa K., Gushi D., Onda A., Kajiyoshi K., [Hydrothermal Synthesis of Boehmite Plate Crystals](#), *Journal of the Ceramic Society of Japan*, **115**: 894-897 (2007).
- [28] Rostami A., Sharifnia S., [Fabrication of Robust and Durable Superhydrophobic Fiberglass Fabrics for Oil-Water Separation Based on Self-Assembly of Novel N-TESPO and N-TESPS Reagents](#), *Journal of Materials Chemistry A*, **5.2**: 680-688 (2017).
- [29] Wang L., Yang S., Wang J., Wang C., Chen L., [Fabrication of Superhydrophobic TPU Film for Oil-Water Separation Based on Electrospinning Route](#), *Materials Letters*, **65**(5): 869-872 (2011).
- [30] Rajabi L., Derakhshan A., [Room Temperature Synthesis of Boehmite and Crystallization of Nanoparticles: Effect of Concentration and Ultrasound](#), *Science of Advanced Materials*, **2**: 163-172 (2010).