

## نانوساختارهای صفر، یک و دو بعدی

تقسیم‌بندی نانومواد بر مبنای ابعاد یکی از اساسی‌ترین تقسیم‌بندی‌های نانوساختارهاست. در مقاله حاضر بدون بررسی جزئیاتی مثل خواص، کاربردها و روش‌های سنتز، فقط به معرفی انواع نانوساختارهای ابعادی و تفاوت‌های آن‌ها می‌پردازد. همچنین نانوساختارهای با ساختار اتمی جدید مثل فولرین و نانولوله کربنی و گرافن نیز معرفی می‌شود.

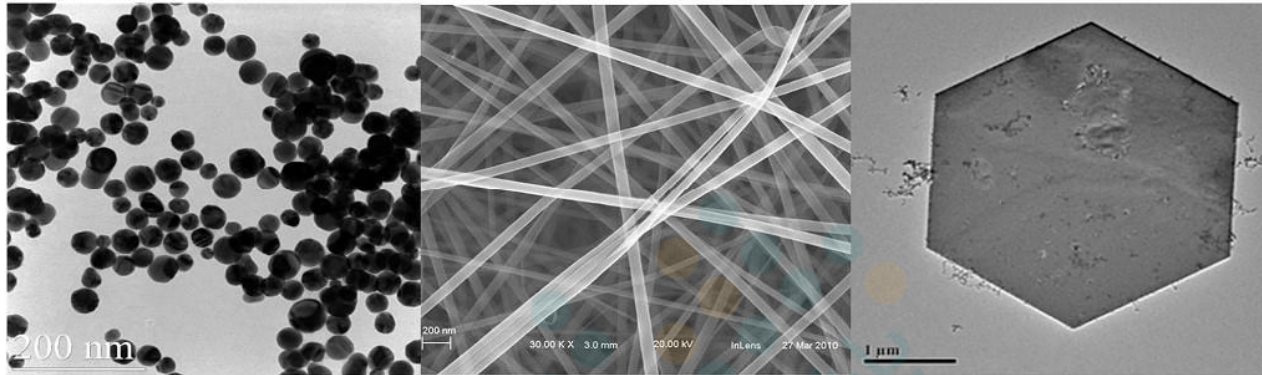
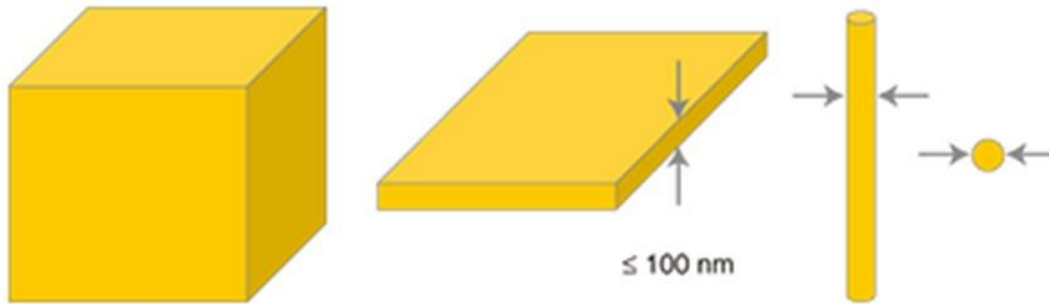
### ۱- معرفی نانوساختارها

پایه اصلی نانوتکنولوژی بر استفاده از مواد است. هر ماده‌ای در فضا دارای سه بعد طول، عرض و ارتفاع است. اگر در ماده‌ای حداقل یکی از این سه بعد در محدوده نانومتری باشد به آن یک ماده، یک نانوساختار گویند. در مورد محدوده نانومتری تعریف پذیرفته شده‌ای وجود ندارد اما یک تعریف مقبول تر محدوده‌ای بین یک تا صد نانومتر است. چون اهمیت نانوتکنولوژی بدلیل ایجاد خواص مطلوب و عملکرد بهتر است و ممکن است این مزایا حتی در ابعاد بزرگ تر نیز ظاهر شود بنابراین در مقالات مختلف بغور دیده می‌شود که حتی با وجود ابعاد چند صد نانومتری در یک ماده، باز هم آن را یک نانوساختار می‌نامند. در واقع تعریف ناحیه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر برای داشتن یک تعریف و استاندارد است و خیلی تعریف سخت گیرانه‌ای نیست.

### ۲- تقسیم‌بندی نانومواد بر اساس بعد

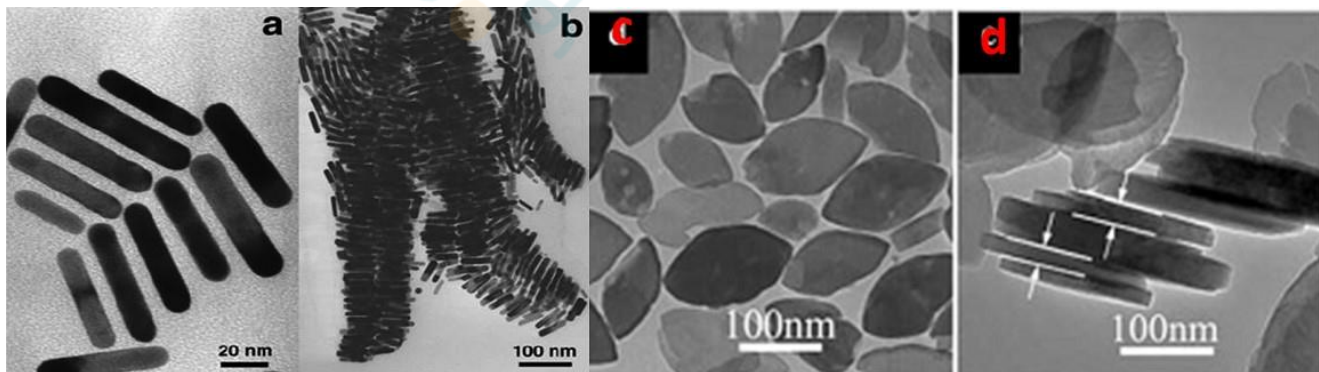
یک تقسیم‌بندی رایج در نانومواد (نانوساختارها) تقسیم آن‌ها را بر مبنای تعداد ابعادی است که در محدوده نانومتری قرار دارند. اگر هر سه بعد یک ماده در محدوده نانومتری باشد به آن نانوساختار صفر بعدی گویند. به همین ترتیب اگر دو بعد ماده در محدوده نانو باشد به آن نانوساختار یک بعدی و اگر یک بعد در محدوده نانومتری باشد به آن نانوساختار دو بعدی گویند. در این نام‌گذاری چون بعد نانومتری در مقایسه با ابعاد دیگر طول کمتری داد آن بعدی که در محدوده نانو قرار دارد بدون بعد (بدون طول) در نظر می‌گیرند. برای مشخص شدن این مطلب در شکل ۱ شماتیک و تصویر میکروسکوپ الکترونی تعدادی از نانوساختارها نشان داده شده است.

این تقسیم‌بندی نانومواد (نانوساختارها) یک تقسیم‌بندی ظاهری و بی‌ارزش نیست. این سه نوع نانوساختار، هم از جهت سنتز و تولید، و هم از جهت خواص و کاربردها تفاوت‌های اساسی با هم دارند. به طور کلی خواص الکتریکی، نوری، مغناطیسی، سطحی و ... این سه ساختار با یکدیگر تفاوت‌های اساسی دارند و بالطبع کاربردهایشان نیز متفاوت است. به طور مثال نانومواد صفر، یک و دو بعدی از جنبه جذب نور و انتشار نور تفاوت‌های اساسی دارند یا از نانو ساختارهای یک بعدی می‌توان برای اتصالات الکترونیکی استفاده کرد در حالی که برای نانومواد صفر بعدی و دو بعدی چنین کاربردی وجود ندارد.



شکل ۱- بالا نمایش شماتیک انواع نانوساختارها، در پایین به ترتیب از چپ به راست تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانوساختارهای صفر بعدی، یک بعدی و دو بعدی

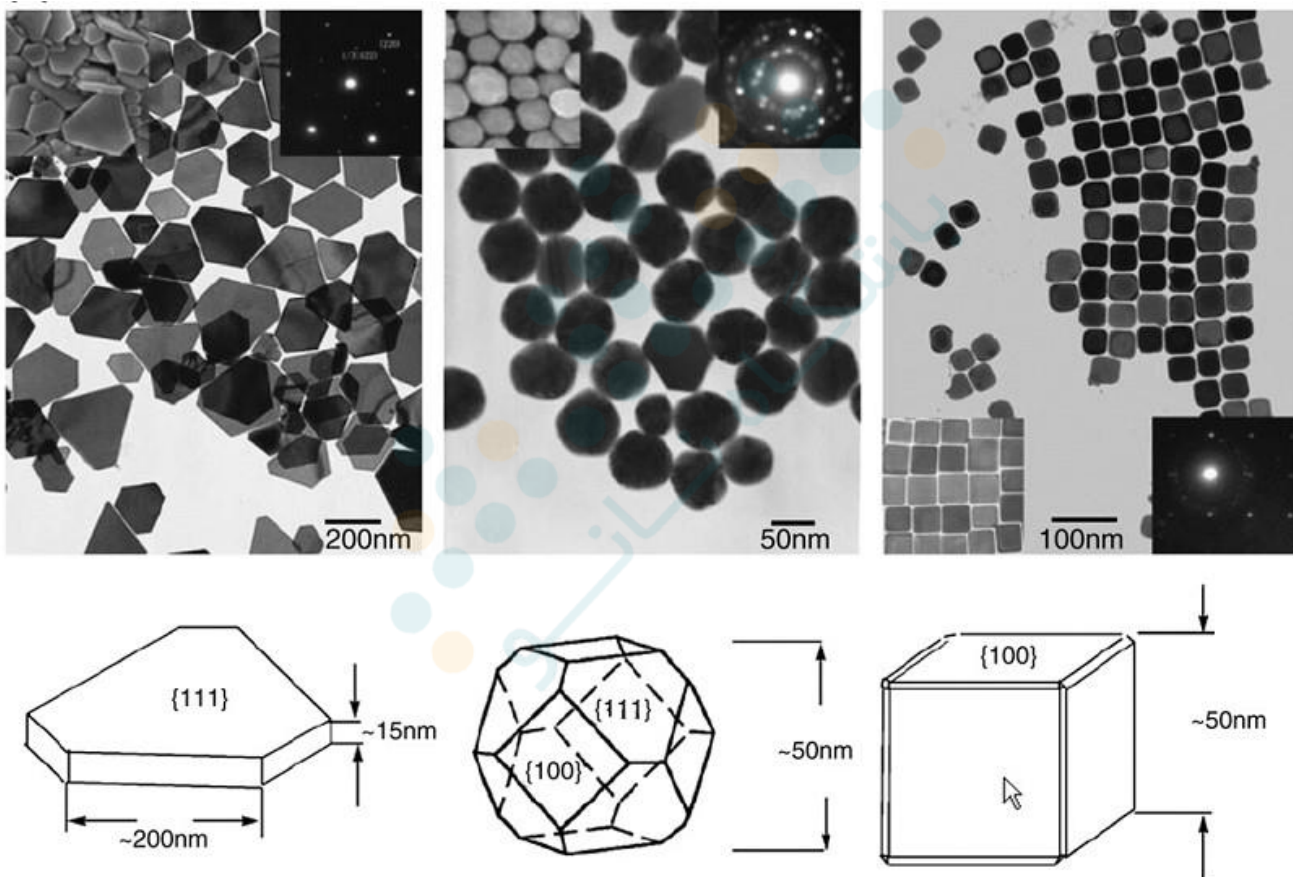
یک نکته مهم که لازم است بیان شود این که در نانومواد یک بعدی الزامی نیست که بعد دیگر در محدوده نانو قرار نداشته باشد و مطابق شکل ۲ می تواند هر سه بعد در محدوده نانو قرار داشته باشند ولی حتما لازم است که یک بعد چندین برابر دو بعد دیگر باشد. همین طور در نانومواد دوبعدی الزامی نیست که دو بعد دیگر حتما نانویی نباشد ولی همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود الزاما باید دو بعد دیگر چندین برابر بزرگ تر از بعد کوچک باشند .



شکل ۲ - نمایش نانوساختارهای یک بعدی و دو بعدی که هر سه بعد در محدوده نانو قرار دارند a و b: نانوساختارهای یک بعدی ، c و d: نانوساختارهای دو بعدی

### ۳- نانومواد صفر بعدی

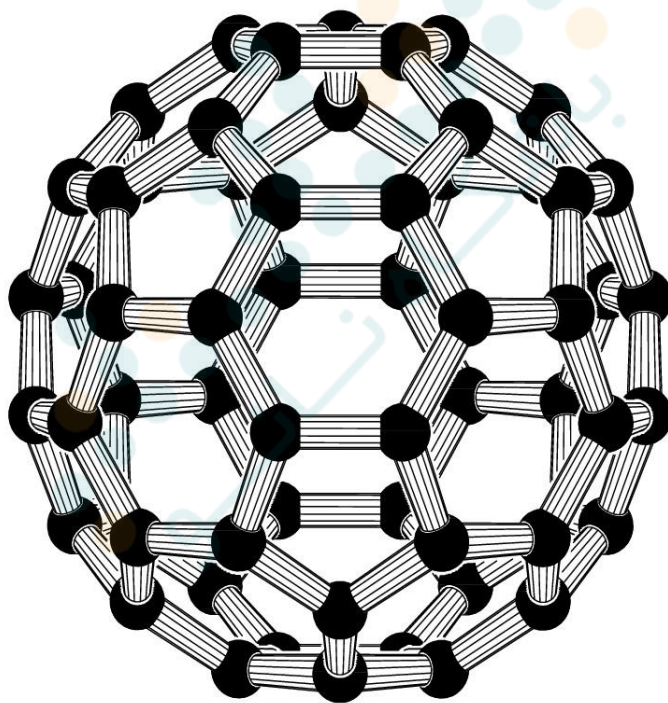
معروف ترین نانوساختارها، نانومواد صفر بعدی هستند. اصطلاحاً به صفر بعدی ها نانوذره می گویند. گرچه اکثر نانوذرات کروی و یا حتی بی نظم هستند ولی الزامی نیست که حتما این گونه باشند. اشکال مختلفی از نانوذرات به اشکال مکعبی، هرمی، حلقوی، ستاره ای، توخالی، هسته-پوسته و ... وجود دارند که به نوع و شرایط سنتز و کاربردی که از نانوذره نیاز است بستگی دارد. هدف مقاله فعلی بررسی این اشکال نیست و در مقالات آینده درباره آنان توضیحات بیشتری داده می شود ولی در شکل ۳ دو نمونه از این اشکال نشان داده شده است.



شکل ۳ - نمایش دو نمونه از نانوذرات به شکل مکعب و چندوجهی

صفر بعدی ها در مقایسه با دو نوع دیگر (یک بعدی و دو بعدی) روش سنتز ساده تری دارند و هزینه تولیدشان نیز کمتر است از این رو مشهورتر بوده و کاربرد و گسترش بیشتری یافته اند. در نانوساختارها چون ابعاد بستگی دارد بنابراین نیاز است که

ابعاد مجموعه نانوذرات تولید شده حتی الامکان نزد یک به هم باشند یعنی توزیع اندازه ذرات بار یک باشد .  
 اکثراً همین ساختارهای اتمی (ساختار کریستالی) که در حالت بالک (منظور میکرونی و بزرگ تر) وجود دارد در حالت نانو هم وجود دارد و فقط در نانو، ابعاد کاهش یافته است. اما در ابعاد نانو در بعضی ترکیبات مثل کربن علاوه بر ساختارهای اتمی معمول (ساختارهای گرافیت و الماس که در مقاله نانوساختارهای کربنی بحث شده اند)، ساختارهای جدیدی نانومواد صفر، یک و دو بعدی وجود دارند. از این ساختارهای جدید انواع گوناگونی از کربن به شکل صفر بعدی وجود دارد که معروف ترین آن ها فولرین است. شکل ۴ ساختار فولرین را نمایش می دهد. این نانوساختار صفر بعدی دارای ۲۰ شش ضلعی و ۱۲ پنج ضلعی است. توجه شود که این ساختار توخالی است ولی از بیرون حفره و منفذی ندارد و یک ساختار پیوسته است و در زیر میکروسکوپ الکترونی به شکل ذره دیده می شود و فقط در نمایش شماتیک اتم ها به شکل نقطه رسم شده اند .



شکل ۴- ساختار اتمی فولرین یک نانوساختار صفر بعدی ساخته شده از اتم های کربن

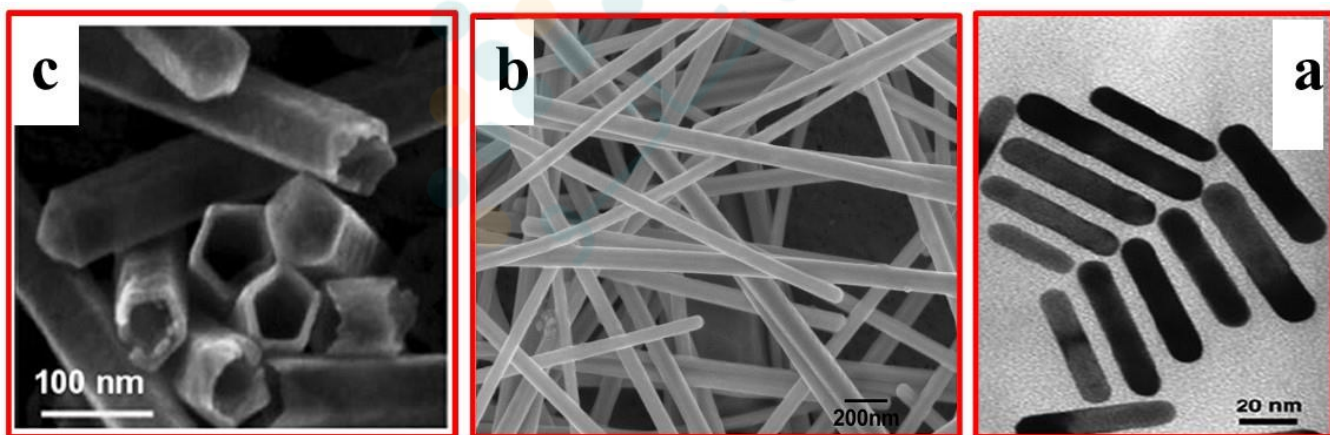
یک اصطلاح معروفی در نانومواد صفر بعدی وجود دارد و آن کوانتوم دات است. تعریف صد در صد دقیقی برای آن وجود ندارد ولی تعریف معروف تر اینست که وقتی ابعاد نانوذرات نیمه هادی (مثل CdSe ، CdS و ...) کمتر از چند ده نانومتر باشد اثرات کوانتومی غالب شده و تغییراتی در گاف انرژی و ... ایجاد می شود که باعث می شود به آن ها نقطه کوانتومی (Quantum Dot) یا به اختصار QD گوئیم. کوانتوم دات ها کاربردهای فراوانی در الکترونیک و اپتیک و پزشکی دارند. در مقایسه با دیگر نانوذرات در

کوانتوم دات ها حساسیتی بیشتری نسبت به کیفیت وجود دارد از این رو نیاز به شرایط سخت تر و دقیق تری برای سنتز وجود دارد تا ذراتی تک اندازه با کیفیت بلوری مناسب تهیه شوند. توجه شود که گرچه کوانتوم دات برای نیمه هادی تعریف می شود در خیلی مقالات به نانوذرات فلزی با ابعاد خیلی کوچک به اشتباه کوانتوم دات گفته شده است درحالی که اثر کوانتومی در فلزات در ابعاد زیر ۱ تا ۲ نانومتر ظاهر می شود .

اصطلاح دیگری که در مواد صفر بعدی استفاده می شود نانوخوشه است اگر ابعاد نانوذرات بسیار کوچک و در حد حداکثر چند صد اتم باشد به آن نانوخوشه (Nanocluster) می گویند. نانوخوشه ها تعداد اتم های معینی دارند به طوری که از قاعده اعداد الکترونی یا ساختاری پیروی می کنند. این نانوخوشه ها اکثرا از جنس عناصر (فلزات) هستند و نیاز به دقت و پیچیدگی بیشتری در سنتز در مقایسه با نانوذرات معمولی دارند .

#### ۴- نانومواد یک بعدی

نانوساختارهای یک بعدی آن هایی هستند که در دو بعد حتما در محدوده نانومتری و بعد دیگر حداقل چندین مرتبه بزرگ تر است و یا خارج از محدوده نانومتری قرار دارد. نانوساختارهای یک بعدی، بسته پارامترهایی مثل شکل سطح مقطع و نسبت ابعادی (نسبت بعد بزرگ به بعد کوچک) به انواع گوناگونی تقسیم می شوند. اگر همانند شکل ۵، نسبت ابعادی (جلوتر دقیقا تعریف می شود) کوچک باشد به آن نانومیله (Nanorod) گویند و اگر این نسبت ابعادی بزرگ باشد به آن نانوسیم (Nanowire) گویند و در آخر اگر ساختار توخالی باشد به آن نانولوله (Nanotube) گویند.

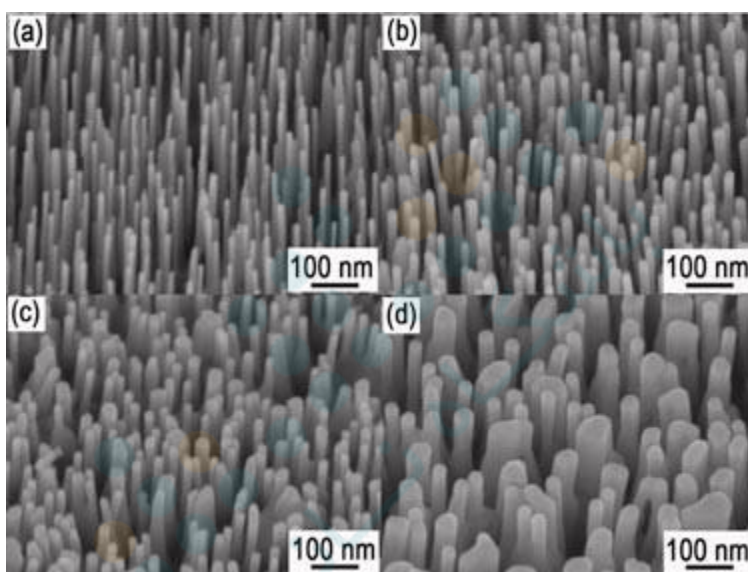


شکل ۵- نمایش مهم ترین اشکال یک بعدی a- نانومیله، b- نانوسیم، c- نانولوله

سنتز نانومواد یک بعدی در مقایسه با صفر بعدی ها سخت تر است و تولید انبوه آن ها نیز مشکل تر است از این رو در کاربردهای تجاری خصوصا آن هایی که به حجم زیادی از نانومواد با قیمت پایین نیاز است کاربرد کمتری دارند اما بدلیل خواص ویژه این نانوساختارها از آن ها در تحقیقات و کاربردهای اپتیکی، الکترونیکی و ... استفاده می شود .



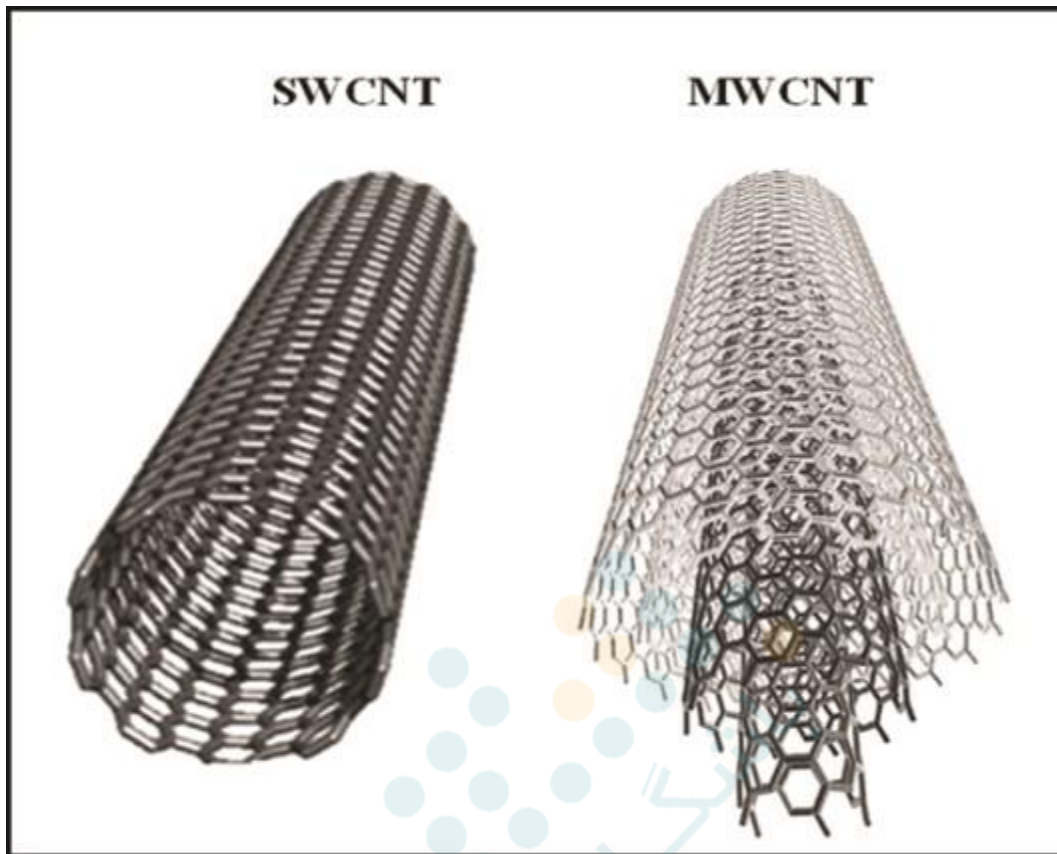
یکی از پارامترهای مهم در این نانو ساختارها نسبت ابعادی (Aspect-ratio) است. به نسبت طول بزرگ تر به طول کوچک تر، نسبت ابعادی گویند. در ارتباط با سنتز عموماً خواسته ما اینست که نانو ساختارهای یک بعدی با بیشترین نسبت ابعادی تهیه شوند هر چند این موضوع به کاربرد این نانومواد بستگی دارد. همانند صفر بعدی ها در یک بعدی ها هم نیاز است همگی حتی الامکان دارای ابعاد مساوی باشند. نانومواد یک بعدی پس از سنتز یا درون یک ماده دیگر (غالباً حلال) پراکنده شده اند و یا همانند شکل ۶ بر روی یک سطح جامد (اغلب به شکل عمودی) قرار گرفته اند. غالباً صفر بعدی هایی که درون مایع هستند نسبت ابعادی کمتر (نانومیله) هستند و آن هایی که بر روی سطح تهیه می شوند دارای نسبت ابعادی بیشتری (نانوسیم) می باشند. سنتز نانومیله ها درون حلال قابلیت تولید بیشتری از جنبه حجمی از نانوسیم های روی سطح دارد ولی هر کدام کاربردهای خاص خود را دارند.



شکل ۶- نانوسیم های رشد یافته بر روی سطح به شکل عمودی را نشان می دهد

مشابه صفر بعدی ها اگر در نانوسیم های نیمه هادی، مقطع نانوسیم آنقدر کوچک باشد که اثرات کوانتومی از خود نشان دهد به آن سیم کوانتومی (Quantum Wire) گویند که مشخصاً نیاز به پیچیدگی و دقت بیشتری در سنتز دارد. کاربرد سیم های کوانتومی در مقایسه با نقاط کوانتومی کمتر است ولی اهمیت آن ها در حال افزایش است.

یکی از نانو ساختارهای یک بعدی معروف نانولوله کربنی (Carbon-nanotube) است. نانولوله کربنی همانند فولرین یک ساختار جدید از کربن هستند. خواص فوق العاده مکانیکی، الکترونیکی، نوری و ... این نانو ساختار آن را شدیداً جذاب کرده است. اهمیت نانولوله های کربنی به حدی است که تقریباً حجم تحقیقات آن با دیگر یک بعدی ها هم تراز است. شکل ۷ ساختار آن ها را نشان می دهد. توجه شود همانند فولرین دیواره این ساختار پیوسته است و فقط در نمایش شماتیک اینگونه نشان داده می شود .

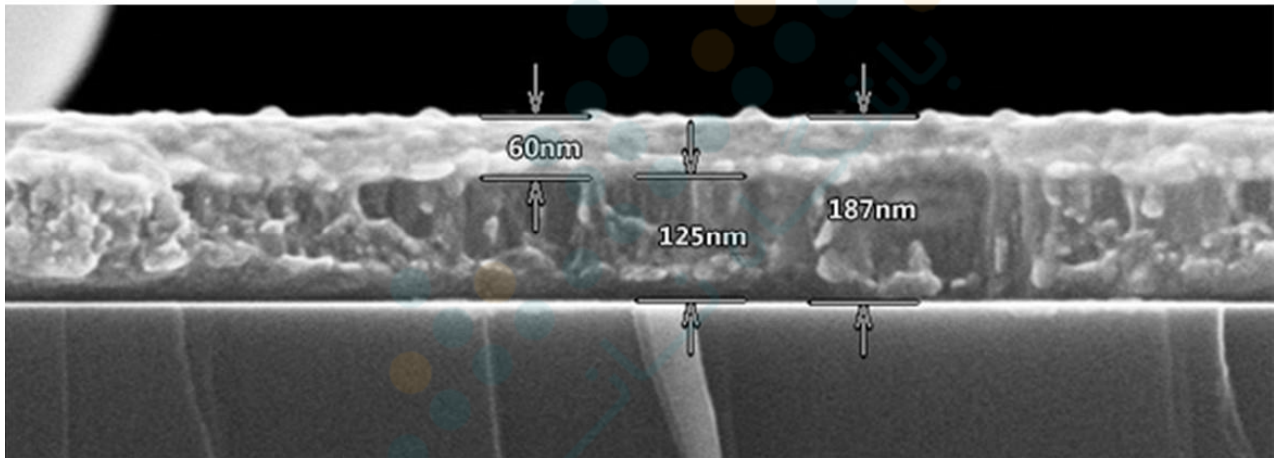
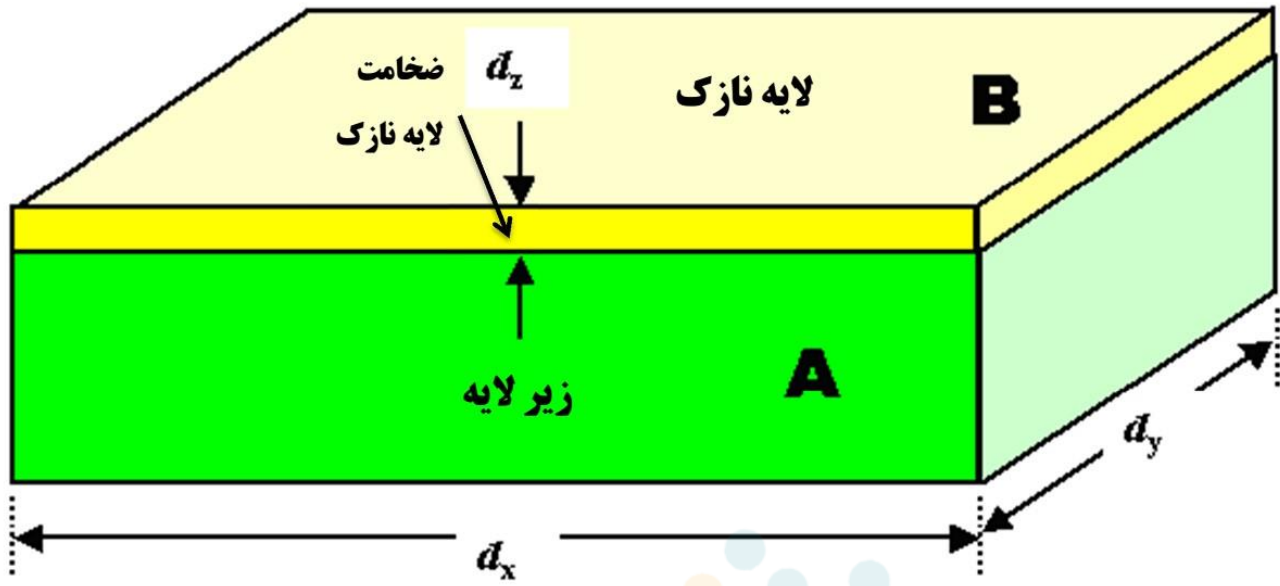


شکل ۷- نمایش نانولوله کربنی، سمت چپ تک دیواره و سمت راست چند دیواره است.

##### ۵- نانومواد دو بعدی

نانومواد دو بعدی یک گروه دیگر از نانو ساختارها هستند. اصولاً نانومواد دو بعدی در دو حالت گوناگون و کاملاً متفاوت وجود دارند. حالت معروف تر لایه های نازک (Thin-film) است. شماتیک و تصویر میکروسکوپ الکترونی (تصویر از مقطع لایه های نازک) در شکل ۸ نشان داده شده است. لایه نازک بر روی سطح یک ماده دیگر به نام زیر لایه (Substrate) به شکل یک لایه قرار می گیرد.

لایه های نازک کاربردهای فراوانی در حوزه های مختلف دارند. در ساخت ادوات الکترونیکی و اپتیکی به طور گسترده لایه های نازک مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین لایه های نازک در ایجاد ویژگی های سطحی دلخواه مثل مقاومت به خوردگی، مقاومت به سایش و ... کاربردهای فراوانی دارند. شبیه به موارد قبل در لایه های نازک و در مواد نیمه هادی اگر ضخامت به حدی کم باشد که اثرات کوانتومی غالب شود به لایه نازک چاه کوانتومی (Quantum-well) گویند .

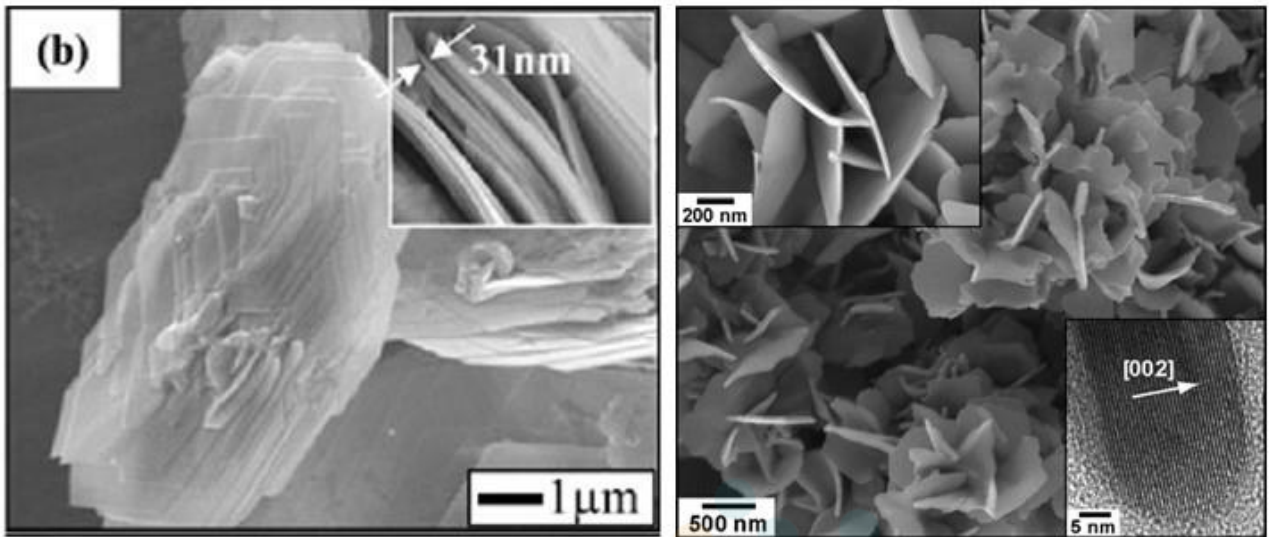


شکل ۸- نمایش شماتیک لایه های نازک در بالا و تصویر میکروسکوپ الکترونی از چند لایه نازک در پایین

در لایه های نازک اغلب نیاز است که ضخامت در تمامی مکان ها یکسان باشد و بین زیر لایه و لایه نازک چسبندگی خوبی برقرار باشد. حساسیت نسبت به کیفیت لایه ها بسته به کاربرد مورد نظر دارد و دوباره عموماً حساسیت ها در الکترونیک و اپتیک بیشتر است.

دسته دیگر مواد دو بعدی که در مقایسه با لایه های نازک اهمیت کمتری دارند آن هایی هستند که مستقل از یک زیر لایه اند. شکل ۹ دو نمونه تصاویر آن ها را نشان می دهد. از این گروه می توانیم نانوصفحه ها (Nanoplate) و نانورق ها (Nanosheet) را نام برد. نانو صفحه ها غالباً از نانورق ها ضخامت بیشتری دارند. سنتز این نانو ساختارها شدیداً به بستگی به ساختار کریستالی ماده و شرایط سنتز بستگی دارد. چاه های کوانتومی در این گروه دوم نانو ساختارهای دو بعدی نیز می توانند وجود داشته باشند گر چه اهمیتشان کمتر است.

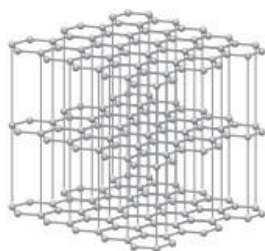




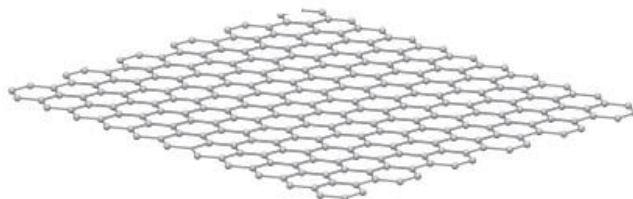
شکل ۹- نمایش تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوصفحات

اگر مطابق شکل ۱۰ یک تک لایه گرافیت را به طور مجزا در نظر بگیریم این تک لایه را گرافن (Graphene) می نامند. ضخامت گرافن خیلی کمتر از نانومتر و در حد شعاع یک اتم کربن است. گرافن خواص الکترونیکی، نوری، مکانیکی و ... فوق العاده ای دارد. سطح ویژه بالا، بالاترین رسانایی الکتریکی و گرمایی در حین شفافیت و سبکی، داشتن استحکام بالا همراه با انعطاف پذیری و سبکی فوق العاده بخشی از خواص ویژه این ماده است. این خواص فوق العاده بر اهمیت و کاربردهای آن افزوده است به طوری که حجم عظیم مقالات بین المللی درباره خواص و کاربردهای این ماده است.

graphite



graphene



شکل ۱۰- نمایش رابطه بین ساختار گرافیت و ساختار گرافن

#### ۶- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله به صورت خلاصه انواع نانو ساختارهای صفر، یک و دو بعدی معرفی شد. نکاتی اصولی درباره تفاوت های کاربردی این سه نوع ساختار بیان شد ولی مطالبی درباره روش های سنتز و کاربردهای این مواد بیان نشد که در مقالات مربوطه به آن پرداخته می شود.

اهمیت نانومواد کربنی با ساختارهای جدید بیان شد. تعاریف نانو ساختارهای کوانتومی ذکر شد. مشخص شد که حساسیت نسبت به کیفیت نانو ساختارها بعد از سنتز شدیداً به کاربرد آن ها بستگی دارد. در مقاله آتی نیز درباره نانو ساختارهای سه بعدی همچون مزومتخلخل ها، نانوکریستالین ها، نانوکامپوزیت ها و نانومواد ترکیبی مطالب مفیدی بیان می شود .

---

منابع و مراجع

---

Bréchnignac, Catherine, Philippe Houdy, and Marcel Lahmani, eds. Nanomaterials and nanochemistry. Springer Science & Business Media, 2008.

Tanaka, Masatoshi, Jun Takeda, and Yoshiyuki Kawazoe, eds. Nano-and micromaterials. Vol. 9. New York: Springer, 2008

Edelstein, Alan S., and R. C. Cammaratra, eds. Nanomaterials: synthesis, properties and applications. CRC Press, 1998.

Poole Jr, Charles P., and Frank J. Owens. Introduction to nanotechnology. John Wiley & Sons, 2003

Schaefer, Hans-Eckhardt. Nanoscience: the science of the small in physics, engineering, chemistry, biology and medicine. Springer Science & Business Media, 2010.

مقالات مختلف ستاد نانو

Aliofkhazraei, Mahmood, and Nasar Ali. Two-dimensional Nanostructures. CRC Press, 2012.

Sajanlal, Panikkanvalappil R., et al. "Anisotropic nanomaterials: structure, growth, assembly, and functions." Nano reviews 2 (2011): 5883\_1-5883\_62

Tran, Thai-Hoa, and Thanh-Dinh Nguyen. "Controlled growth of uniform noble metal nanocrystals: aqueous-based synthesis and some applications in biomedicine." Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 88.1 (2011): 1-22.

