دانشگاه صنعتی شاهرود

۱- نمره کوییز ۲
۲- نمره تحقیق کلاسی و سمینار ۵
۳- نمره میان ترم ۳
۴- نمره پایان ترم ۱۰

برنامه درسی

هفته	موضوع
1	مقدمه ای بر نانو مواد
2	روش های مهم در سنتز نانو ذرات
3	نانو تیوب کربن
4	نانوذرات فلزی طلا – نقره - مس
5	سنتز اکسید تیتانیم و روی
6	کوانتوم دات
7-8	کاربرد نانو مواد در مواد شیمیایی (رنگدانه)
9	کاربرد نانو مواد در هوا و فضا و صنعت اتومبیل
10 -11	کاربرد نانو مواد در انرژی
12	کاربرد نانو مواد در تصفیه آب کاربرد نانو مواد در پوشاک و صنعت ساختمانی

نانو مواد

- تاریخچه
- تعریف علم نانو مواد
- چرا مواد نانو با مواد حجیم فرق دارد
- علوم نانو
- فناوری نانو
- کاربردهای نانو مواد

تاریخچه

قدمت علم نانو به شروع حیات روی کره زمین برمی گردد.
جانوران نرم تن صدف دار و حلزون ها، صدفهای بسیار سختی را می سازند که در واحد های نانو ساختاری بسیار محکم به یکدیگر متصل شده اند.
قرن چهارم پس از میلاد: شیشه سازان رومی شیشه هایی حاوی فلزات نانو مقیاس می ساختند.
قرن ۱۸ و ۱۹: فناوری عکاسی که وابستگی کاملی به ذرات بسیار ریز نقره دارد، توسعه یافت.

البته ایده نانو توسط « ریچارد فایمن» با طرح چهار سئوال زیر که در یک سمینار عنوان کرد به صورت علمی در جوامع علمی مطرح شد:

۱- آیا میتوان اتمها را جابجا کرد؟(مثلا جای اتم A را با اتم Bعوض کنیم.)
۲- آیا می شود ماشینهای بسیار بسیار کوچک درست کرد؟(مثلا با چند اتم...)
۳- آیا میتوانیم سیم هایی درست کنیم که از اتم ساخته شده باشند؟
٤- آیا قوانین فیزیک در برابر این جزئیات مقاومت می کنند؟

تعریف علم نانو مواد

مطالعه پدیده ها و دستکاری مواد در مقیاس حدود ۱۰۰ نانومتر که در این مقیاس کوچک خصوصیات مواد با ویژگی هایشان در مقیاس بزرگ متفاوت است.

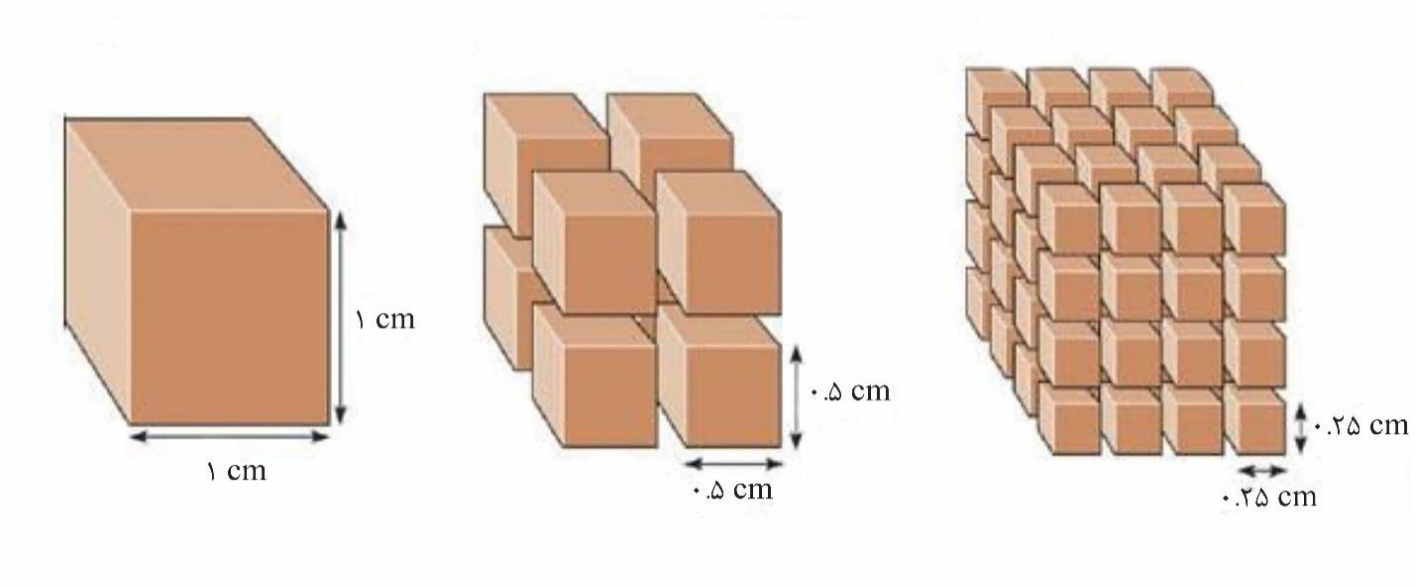
چرا مواد نانو با مواد حجیم فرق دارند؟

کوچک شدن اندازه ذرات در حد نانومتر سبب تغییراتی در خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها می‌شود. مهم‌ترین دلیل آن‌ها عبارتند از:افزایش نسبت سطح به حجم (surface area) ورود اندازه ذره به قلمرو آثار کوانتمی.

اثرات سطحی

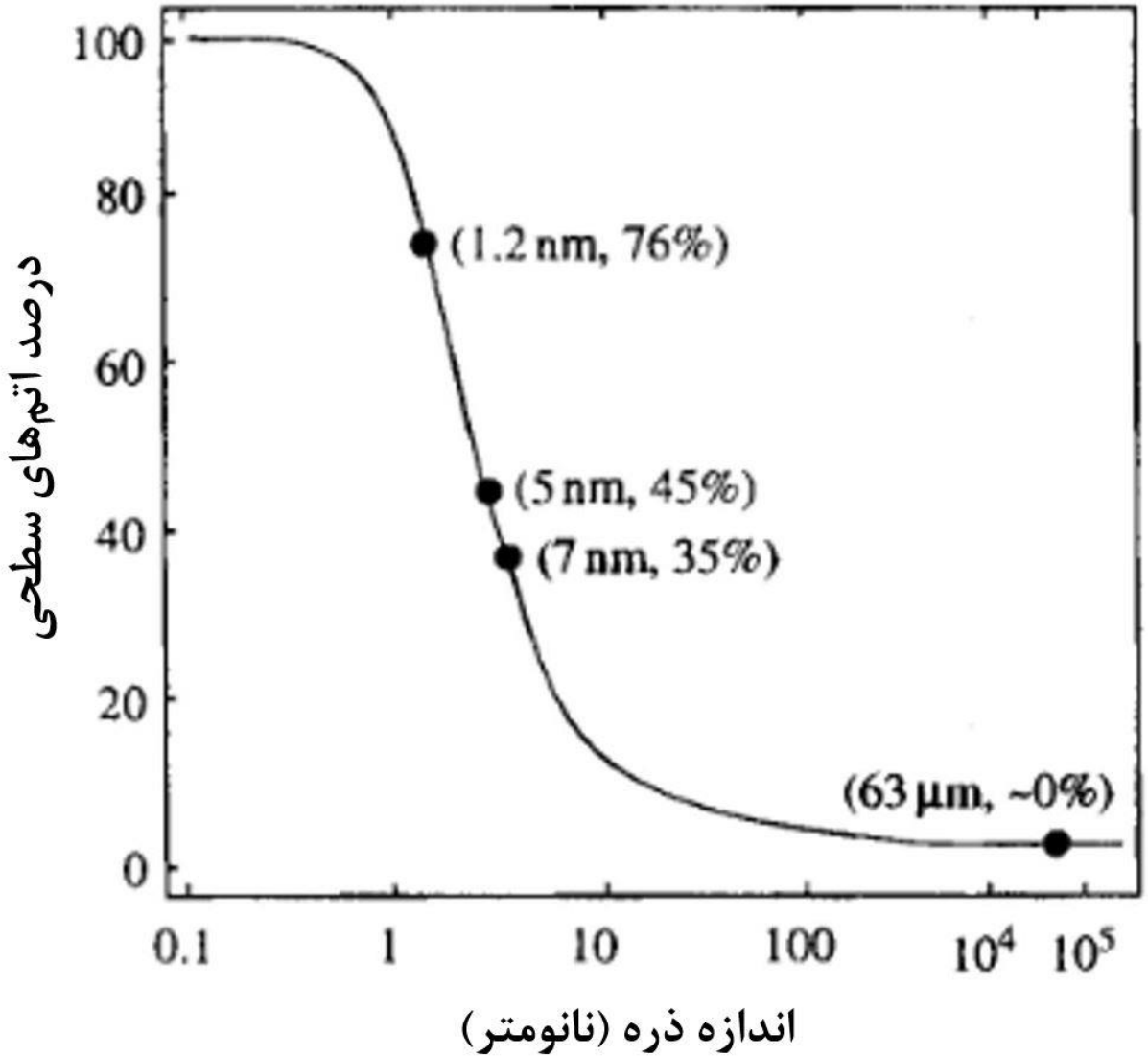
- یک مثال بسیار ساده از اثر سطح، مقایسه بین حل شدن شکر و قند در چای است. همان‌طور که می‌دانید، شکر نسبت به قند بسیار سریع‌تر در چای حل می‌شود. دلیل آن ریزتر بودن شکر و درنتیجه بیشتر بودن سطح شکر نسبت به قند (در صورتی که مقدار هر دو یکسان باشد) است. شکر چون سطحش بیشتر است، با چای در تماس بیشتری است و سریع‌تر در آن حل می‌شود (شکل ۱).

- نانومواد به علت اندازه بسیار کوچکشان، دارای نسبت سطح به حجم بسیار بالایی هستند. برای فهم بهتر این موضوع می‌توانید یک مکعب با ضلع یک سانتی‌متر را فرض کنید. فرض کنید می‌خواهید این مکعب را آنقدر ریز کنید تا هر ضلع آن برابر با یک نانومتر شود. برای این‌کار مطابق شکل۲ در هر مرحله آن را از دو مقطع برش می‌دهید و به هشت مکعب کوچکتر تقسیم می‌کنید.



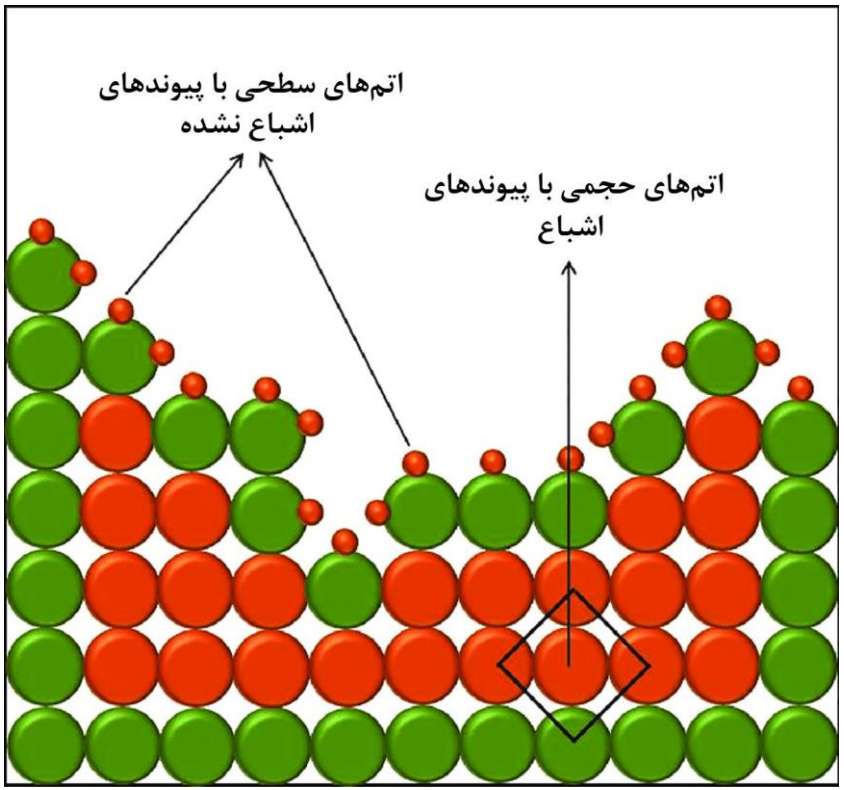
سطح خارجی (متر مربع)	ابعاد	تعداد تکه	دفعات تقسیم
۰.۰۰۰۶	۰.۰۱ متر	۱	۰
۰.۰۰۱۲	۰.۰۰۵ متر	۸	۱
۰.۰۰۲۴	۰.۰۰۲۵ متر	۶۴	۲
۰.۰۰۴۸	۰.۰۰۱۲۵ متر	۵۱۲	۳
۰.۰۰۹۶	۰.۰۰۰۶۲۵ متر	۴۰۹۶	۴
۰.۰۱۹۲	۰.۰۰۰۳۱۲۵ متر	۳۲۷۶۸	۵
۰.۰۳۸۴	۰.۰۰۰۱۵۶۲۵ متر	۲۶۲۱۴۴	۶
۰.۰۷۶۸	۰.۰۰۰۰۷۸۱۲۵ متر	۲۰۹۷۱۵۲	۷
۰.۱۵۳۶	۳۹.۰۶۲۵ میکرومتر	۱۶۷۷۷۲۱۶	۸
۰.۳۰۷۲	۱۹.۵۳۱۳ میکرومتر	۱۳۴۲۱۷۷۲۸	۹
۰.۶۱۴۴	۹.۷۶۵۶۳ میکرومتر	۱۰۷۳۷۴۱۸۲۴	۱۰

۱۰	۱۰۷۳۷۴۱۸۲۴	۹.۷۶۵۶۳ میکرومتر	۰.۶۱۴۴
۱۱	۸۵۸۹۹۳۴۵۹۲	۴.۸۸۲۸۱ میکرومتر	۱.۲۲۸۸
۱۲	۶۸۷۱۹۴۷۶۷۳۶	۲.۴۴۱۴۱ میکرومتر	۲.۴۵۷۶
۱۳	۵.۴۹۷۵۶E+۱۱	۱.۲۲۰۷ میکرومتر	۴.۹۱۵۲
۱۴	۴.۳۹۸۰۵E+۱۲	۰.۶۱۰۳۵۲ میکرومتر	۹.۸۳۰۴
۱۵	۳.۵۱۸۴۴E+۱۳	۰.۳۰۵۱۷۶ میکرومتر	۱۹.۶۶۰۸
۱۶	۲.۸۱۴۷۵E+۱۴	۰.۱۵۲۵۸۸ میکرومتر	۳۹.۳۲۱۶
۱۷	۲.۲۵۱۸E+۱۵	۷۶.۲۹۳۹ نانومتر	۷۸.۶۴۳۲
۱۸	۱.۸۰۱۴۴E+۱۶	۳۸.۱۴۷ نانومتر	۱۵۷.۲۸۶۴
۱۹	۱.۴۴۱۱۵E+۱۷	۱۹.۰۷۳۵ نانومتر	۳۱۴.۵۷۲۸
۲۰	۱.۱۵۲۹۲E+۱۸	۹.۵۳۶۷۴ نانومتر	۶۲۹.۱۴۵۶



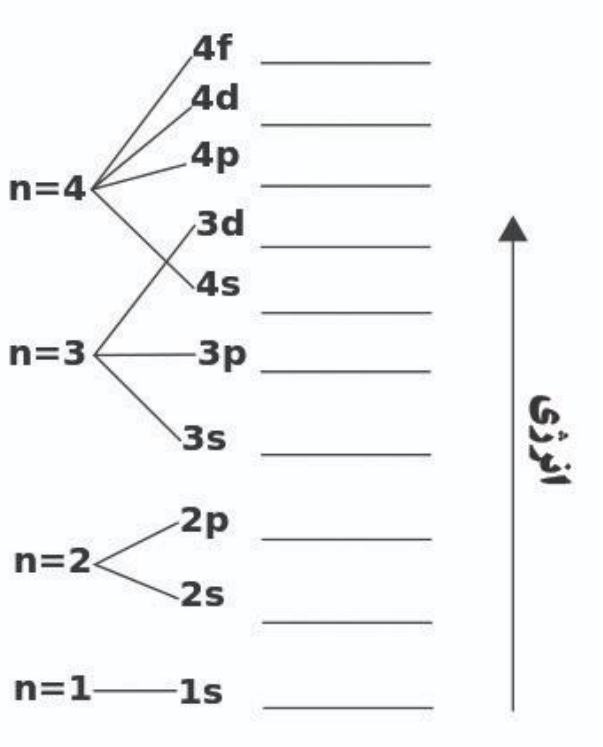
هم‌چنین اگر به نمودار بیشتر دقت کنید، می‌بینید که افزایش نسبت سطح به حجم با کوچکتر کردن مکعب از سانتی‌متر به میکرومتر نیز اتفاق افتاده است ولی اثر آن قابل توجه نبوده است و این اثر چشم‌گیر با رسیدن ابعاد به زیر ۱۰۰ نانومتر اتفاق افتاده و هرچه این ریزترشدن بیشتر شده، این اثر چشم‌گیرتر شده است.

- تا اینجا فهمیدیم که با رسیدن ابعاد ذرات به زیر صد نانومتر، نسبت سطح به حجم آنها به صورت چشم‌گیر افزایش می‌یابد و سهم اتم‌هایی که بر روی سطح هستند چشم‌گیر می‌شود. در نتیجه اتم‌های سطحی دیگر می‌توانند بر روی خواص شیمیایی و فیزیکی ماده تاثیر بگذارند. حال سوال بعدی اینجاست که اتم‌های سطحی چه تفاوتی با اتم‌های درون حجم می‌کنند؟ برای پرسش به این پاسخ به شکل پایین توجه کنید.

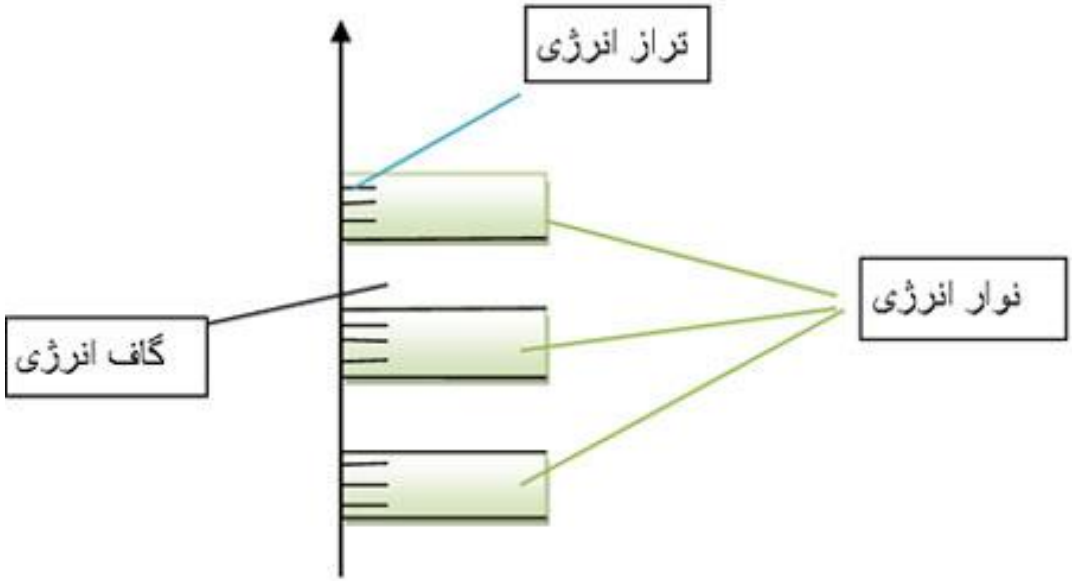


- در شکل صفحه قبل می‌توانید اتم‌های حجمی (اتم‌هایی که در سطح ذره نیستند) و اتم‌های سطحی را مشاهده کنید. همان‌طور که می‌بینید اتم‌های حجمی تمام پیوندهای ممکن (در این مثال برابر با چهارتا است) را برقرار کرده‌اند و اشباع هستند.
- اما اتم‌های سطحی تعدادی پیوند شکسته شده یا ناقص دارند که با دایره‌های قرمزرنگ کوچک نمایش داده شده است. درنتیجه، تفاوت بین اتم‌های سطحی و حجمی دارا بودن پیوندهای ناقص و یا اصطلاحا عدم اشباع شدن اتم‌های سطحی می‌باشد. این اتم‌ها به دلیل داشتن پیوندهای شکسته شده، نسبت به اتم‌های حجمی واکنش‌پذیرتر و ناپایدارترند و تمایل به اشباع شدن دارند. به همین دلیل است که وقتی نسبت اتم‌های سطحی در یک ذره زیاد می‌شود، آن ذره بسیارواکنش‌پذیرتر می‌شود.

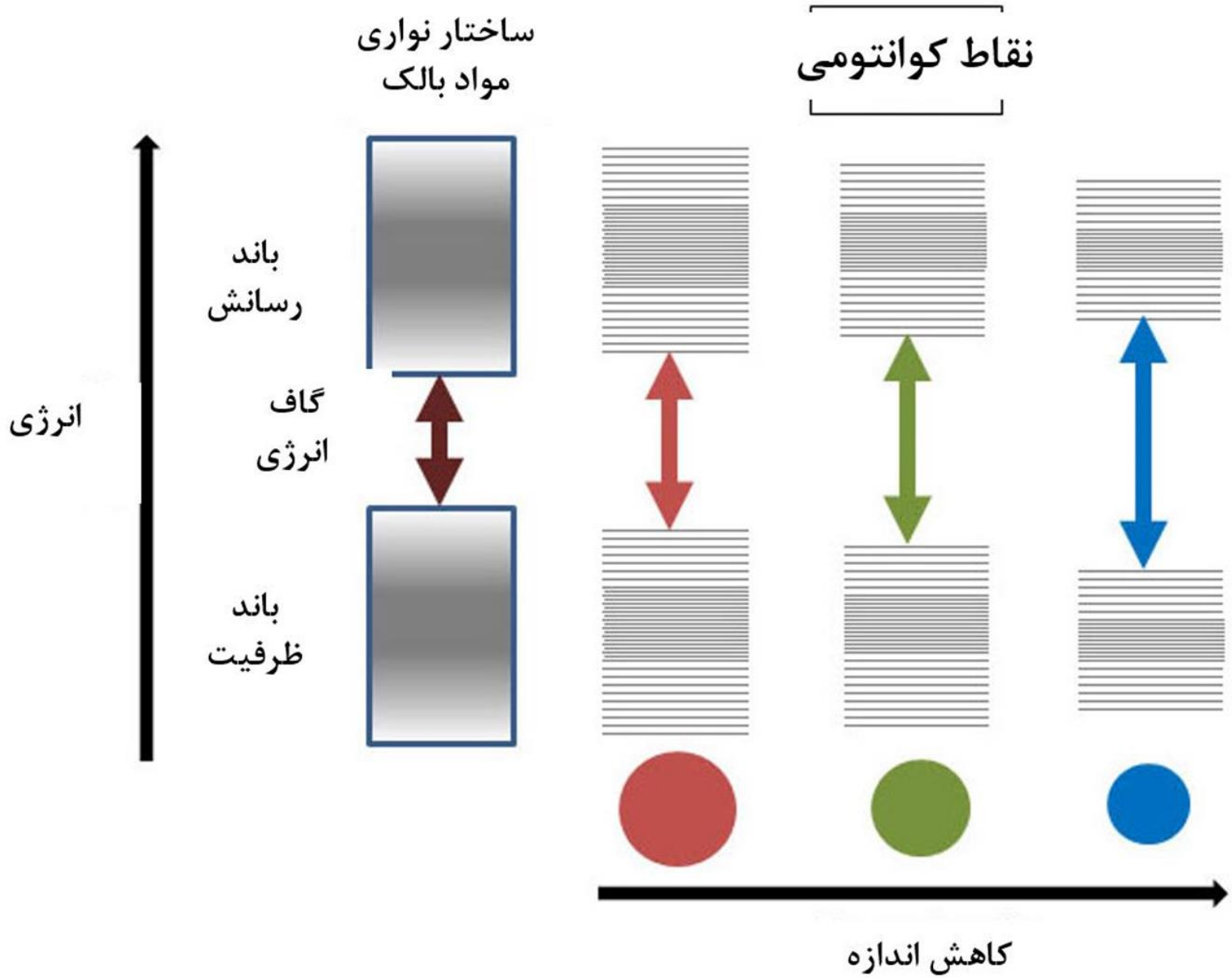
- در شکل زیر ترازهای انرژی یک تک اتم نمایش داده شده است. این ترازها در واقع نمایانگر اوربیتال‌های الکترونی هستند که در بررسی ساختار انرژی اتم‌ها از آنها استفاده می‌شود. با توجه به عدد اتمی عناصر مختلف (مشخص شدن تعداد الکترون‌های آنها) می‌توان ترازهای انرژی آنها را مشخص کرد.



- در موادی که در اطراف ما وجود دارند، ما با تک اتم‌ها سروکار نداریم بلکه آنها متشکل از تعداد بسیار زیادی اتم هستند. در نتیجه قرارگیری اتم‌های بسیار زیاد در کنار یکدیگر در یک ماده، برهمکنشی بین ترازهای انرژی آن اتم‌ها به وجود می‌آید و در اثر قرارگیری ترازهای انرژی اتم‌ها در کنار یکدیگر، نوارهای انرژی ایجاد می‌شود که در شکل صفحه به صورت شماتیک نشان داده شده است .
- درنتیجه نوارهای انرژی به خاطر وجود تعداد بسیار زیاد اتم در یک ماده حجیم به وجود آمده‌اند، چراکه هر اتم که به ماده اضافه می‌شود، ترازهای انرژی‌اش نیز به آن ماده اضافه می‌شود و با ترازهای انرژی سایراتم‌ها برهمکنش کرده و نوار انرژی را تشکیل می‌دهد.
-



- همان‌طور که مشاهده کردید، اتم‌ها دارای تراز انرژی هستند و مواد حجیم نیز دارای نوار انرژی هستند. اما نانومواد کوانتومی ابعاد کوچکی دارند و درنتیجه از تعداد اتم‌های بسیار کمتری تشکیل شده‌اند. درنتیجهٔ وجود تعداد اتم‌های کمتر در نانومواد کوانتومی، ترازهای انرژی کمتری با یکدیگر برهمکنش می‌کنند. به همین علت ساختار انرژی نانومواد کوانتومی بینابین ساختارتک اتم‌ها و مواد حجیم قرار می‌گیرد. .
- این مورد در شکل زیر نمایش داده شده است. در نانومواد کوانتومی (در اینجا نقاط کوانتومی) برخلاف مواد حجیم دیگر نوار انرژی وجود ندارد بلکه تعدادی تراز انرژی نزدیک به هم مشاهده می‌شود


ساختار نواری
مواد بالک
نقاط کوانتومی
باند
رسانش
گاف
انرژی
انرژی
باند
ظرفیت
کاهش اندازه

طبقه بندی نانومواد

- نانو مواد مواد به چهار دسته زیر تقسیم می شود.

۱- نانوذرات (Nano Particles)

۲- نانوسیم‌ها (Nano Wires)

۳- لایه‌های نازک (Thin Films)

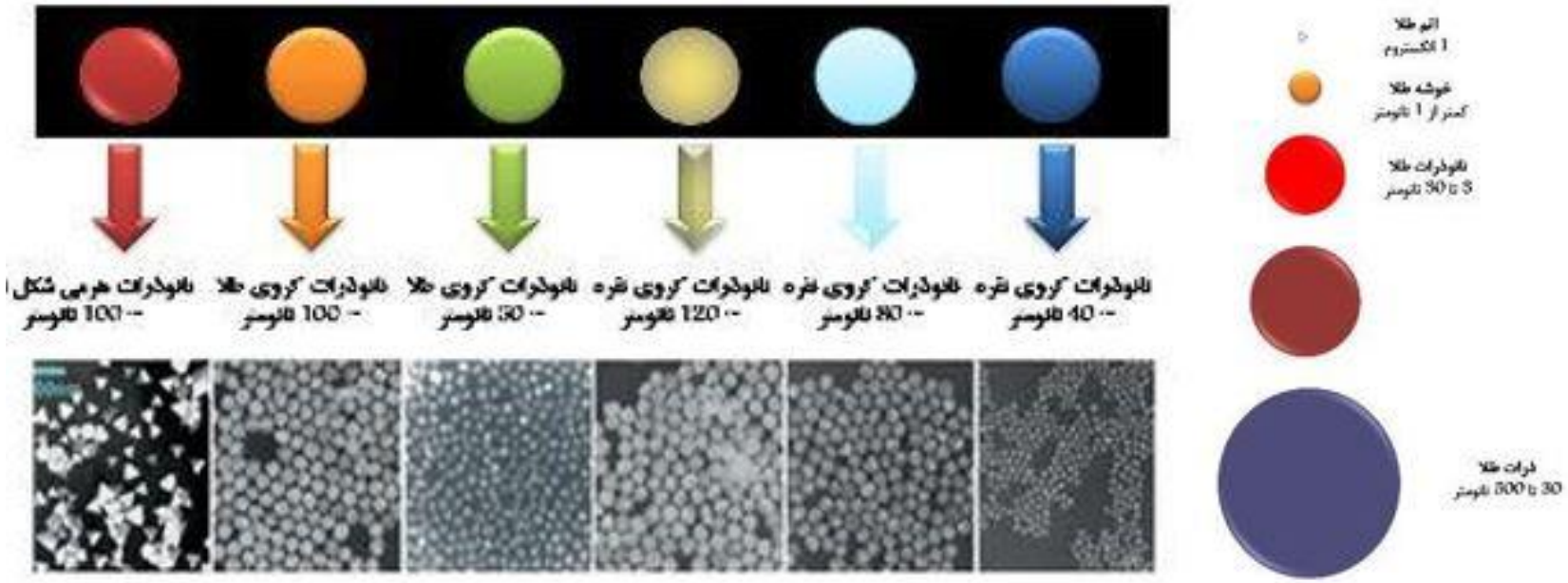
نانومواد حجیم (Bulk Nanomaterials)

مثال هایی از اهمیت علم نانو

- خواص مواد را می‌توان به دو بخش خواص فیزیکی و خواص شیمیایی تقسیم‌بندی کرد. رنگ، شفافیت، خواص الکتریکی، خواص مغناطیسی، سختی، حلالیت، نقطه ذوب و ... ویژگی‌هایی هستند که با نام خواص فیزیکی شناخته می‌شوند. سرعت واکنش، واکنش‌پذیری و .... نیز از جمله خواص شیمیایی هستند.
- تجربه چند هزار ساله زندگی انسان به او نشان داده که در شرایط عادی، ویژگی‌های یک ماده خاص تا حد قابل قبولی ثابت است و به این دلیل است که می‌توان مواد را از روی خواصشان شناسایی کرد. حال می‌خواهیم به صورت خلاصه به برخی از تغییر خواص مواد در مقیاس نانومتری نگاهی انداخته تا بیشتر با چشم اندازهای جهان علم و فناوری نانو آشنا شویم

تغییر رنگ

- یعنی موادی وجود دارند که رنگ ذرات چند نانومتری آنها، با رنگ ذرات بزرگ‌ترشان متفاوت است. طلا و نقره شناخته‌شده‌ترین نمونه‌های این مواد هستند. شکل ۱ نمودار تغییرات رنگ ذرات طلا را بر حسب اندازه آنها نشان می‌دهد. این پدیده در دنیای ماکرومقیاس ما یک اتفاق غیرمعمول است اما از آن غیرعادی‌تر این است که نانوذرات نقره با تغییر شکل هندسی هم تغییر رنگ می‌دهند. (شکل ۲) رنگ ذرات نقره و طلا را در شکل‌های هندسی مختلف نشان می‌دهد.



تغییر شفافیت

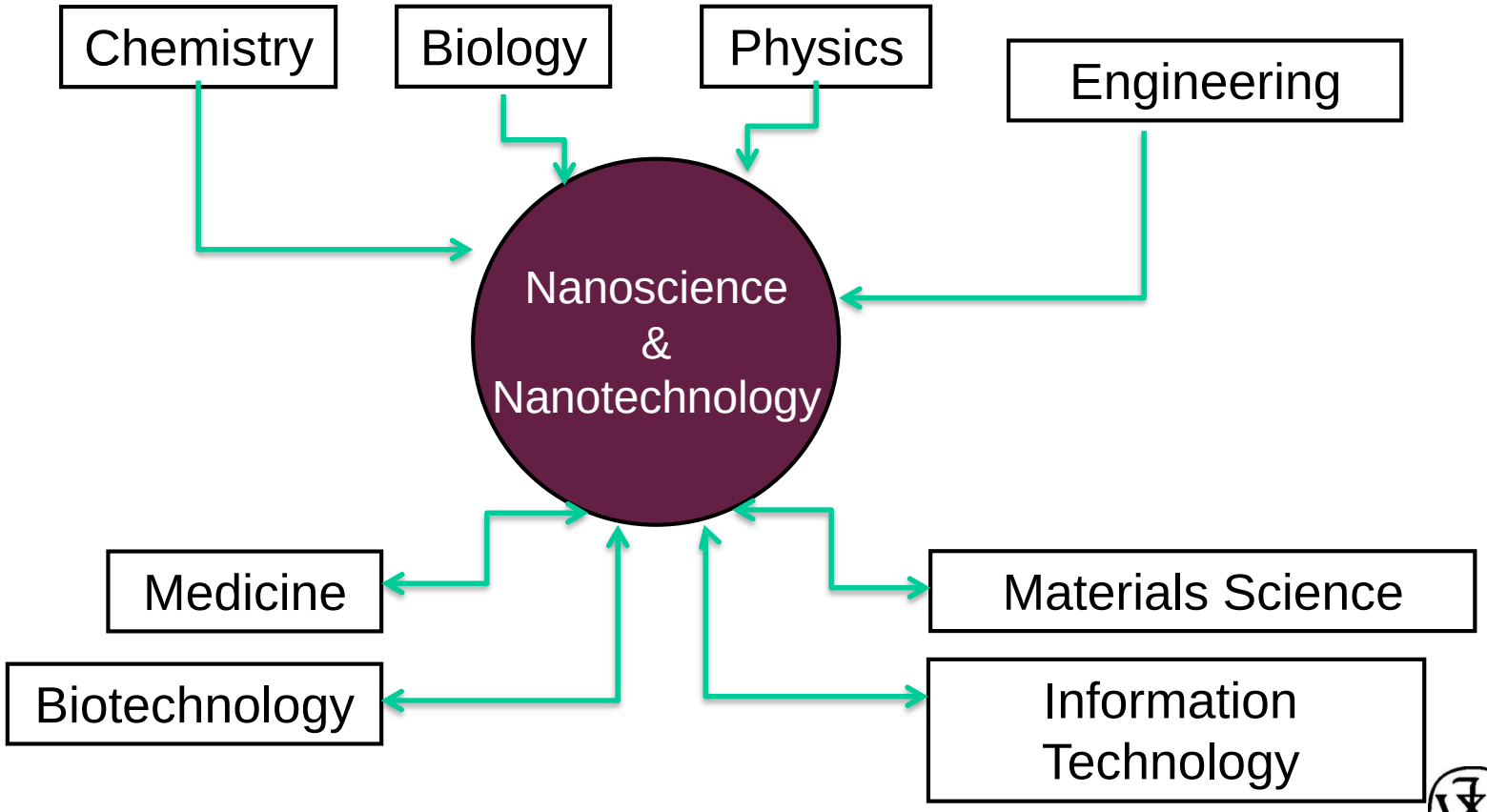
- شفافیت، یک خاصیت فیزیکی است و نشان‌دهنده میزان توانایی یک ماده در عبود دادن نور مرئی از خود است. یک پرتو نور در برخورد با سطح ماده می‌تواند از آن عبور کند، جذب آن گردد یا بازتاب شود. اگر ماده‌ای پرتوهای نور را جذب کند و یا آنها را باز تاباند، نور را مسدود کرده است.
- مواد مختلف بسته به عملکردشان در برابر تابش نور، می‌تواند کاربردهای فراوانی داشته باشد. به عنوان مثال اکسید روی و اکسید تیتانیوم نور ماورای بنفش را کاملا جذب می‌کنند و نور مرئی را بازتاب می‌کنند. این مواد که به رنگ سفید دیده می‌شوند، گزینه‌های بسیار مناسبی برای کرم‌های ضد آفتاب هستند. البته افراد بسیاری رنگ سفیدی را که این کرم‌ها بر روی پوست ایجاد می‌کنند، دوست ندارند. خوشبختانه این مشکل را می‌توان با کوچک کردن اندازه ذرات این مواد حل کرد (شکل ۳ را ببینید).
- نانوذرات اکسید روی و اکسید تیتانیوم، با وجود اینکه نور ماورای بنفش را کاملا جذب می‌کنند، اما برخلاف ذرات بزرگ‌تر کاملا شفاف هستند. این امر ناشی از آن است که اندازه نانوذرات اکسید روی و اکسید تیتانیوم کوچک‌تر از طول موج نور مرئی (۴۰۰–۷۰۰ نانومتر) است و از این رو لایه تشکیل شده از نانوذرات توانایی عبور نور مرئی را دارند.

نانوذرات اکسید تیتانیوم
ذرات بزرگ اکسید تیتانیوم

تغییر واکنش پذیری

- . پنجره‌های آلومینیومی بدون هرگونه مشکلی در مجاورت هوا استفاده می‌شوند (البته این به مدد لایه مقاوم اکسیدی است که بر روی سطح آلومینیوم تشکیل می‌شود). اما همین مواد در مقیاس نانومتر رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. نانوذرات آلومینیوم در هوا آتش می‌گیرند و می‌توان از آنها به عنوان سوخت موشک استفاده کرد. افزایش واکنش‌پذیری مواد در این مقیاس، امکان ساخت کاتالیزگرهای بسیار قوی‌تری را فراهم کرده است.
- واکنش‌پذیری مواد در مقیاس نانومتر افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند. در این مقیاس ذرات طلا نه تنها واکنش‌پذیری بالایی دارند، بلکه برای افزایش سرعت واکنش مواد دیگر (به عنوان کاتالیزگر) نیز استفاده می‌شوند.
-

- آنچه گفته شد تنها مثال‌های محدودی از تغییر ویژگی‌های یک ماده در مقیاس نانو است. نقطه ذوب، خواص حرارتی، خواص الکتریکی، خواص مکانیکی و ده‌ها خاصیت فیزیکی و شیمیایی شناخته شده دیگر نیز در این مقیاس تغییر می‌کنند.
- گویا دیگر نمی‌توان بدون در نظر گرفتن اندازه ذرات یک ماده، آن را از روی خواصش شناسایی کرد. برخی برای حل این مشکل پیشنهاد داده‌اند که یک بُعد دیگر به جدول تناولی مندلیف اضافه شود. بدین معنی که برای مشخص کردن خواص یک عنصر، علاوه بر اینکه باید نام آن عنصر و جایگاه آن را در جدول مندلیف مشخص کرد، لازم است که معلوم شود خواص عنصر در چه ابعادی مورد نظر است.


Chemistry
Biology
Physics
Engineering
Nanoscience
&
Nanotechnology
Medicine
Biotechnology
Materials Science
Information
Technology

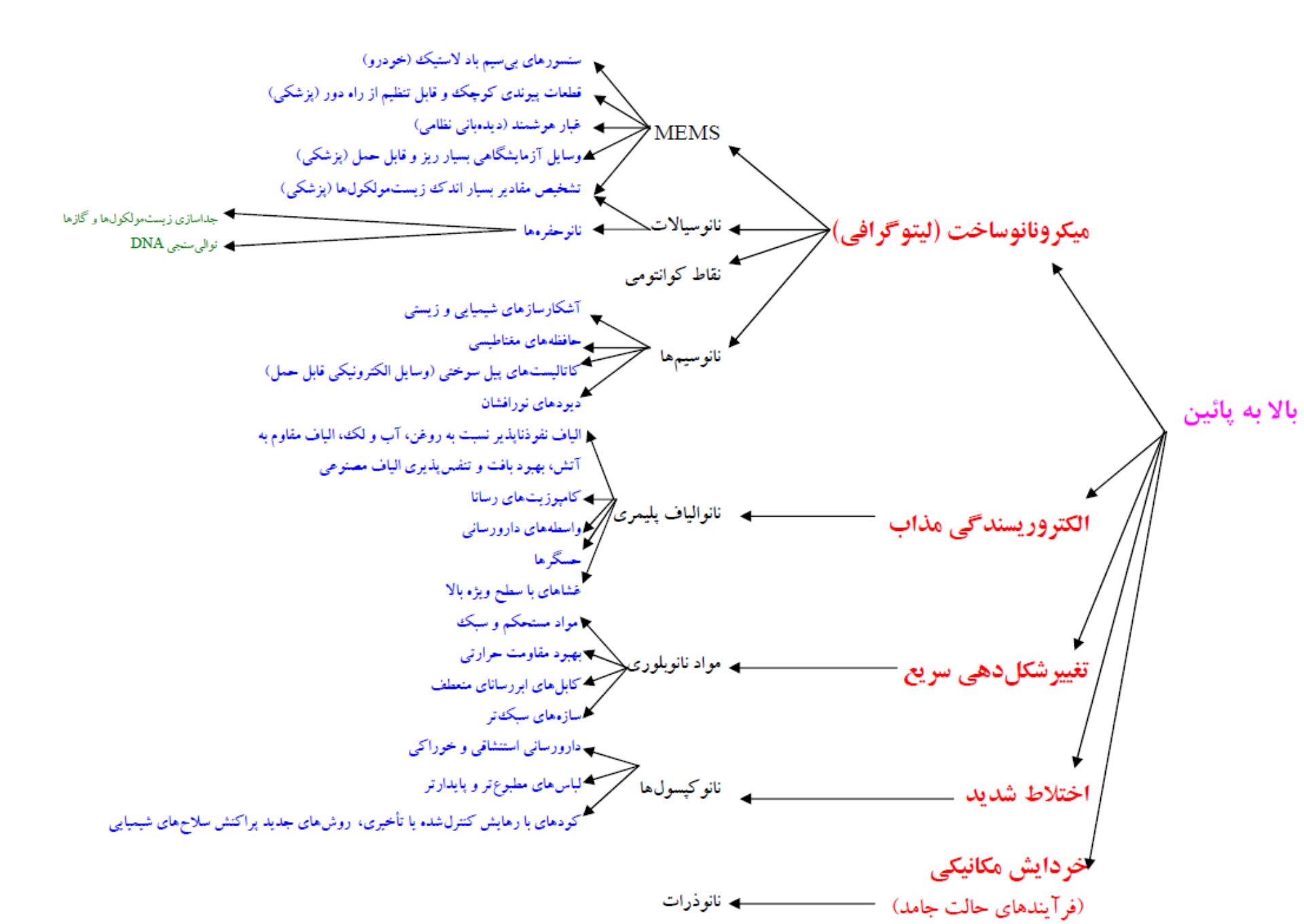
تعریف نانو فناوری

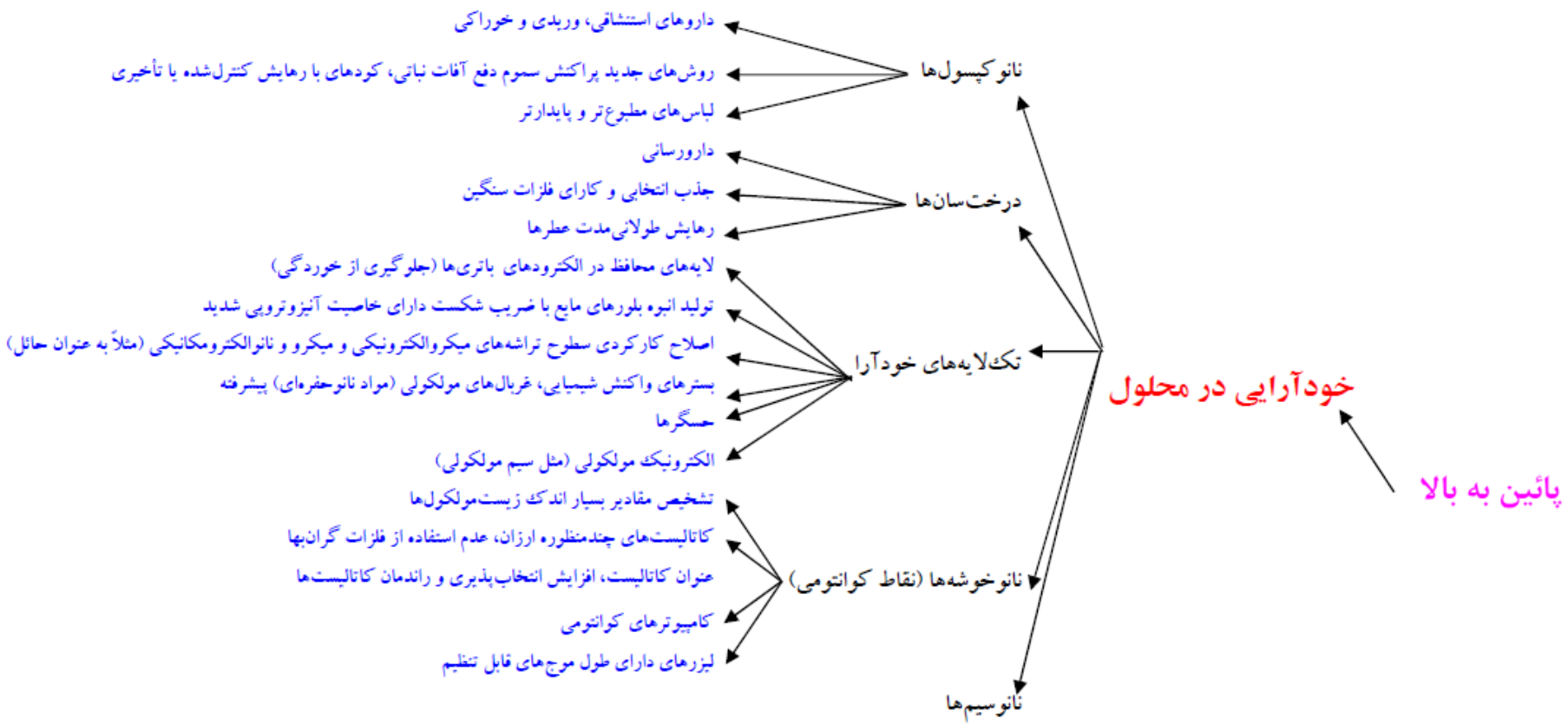
- نانو فناوری: طراحی، شناسایی، تولید و کاربرد ساختارها، طرحها و سامانه ها با استفاده از کنترل شکل و اندازه مواد در مقیاس نانو.
- روش های تولید نانو مواد

۱- بالا به پایین- روش هایی که در آن نانو ساختارها مستقیما از مواد معمولی و درشت مقیاس تهیه می شود.

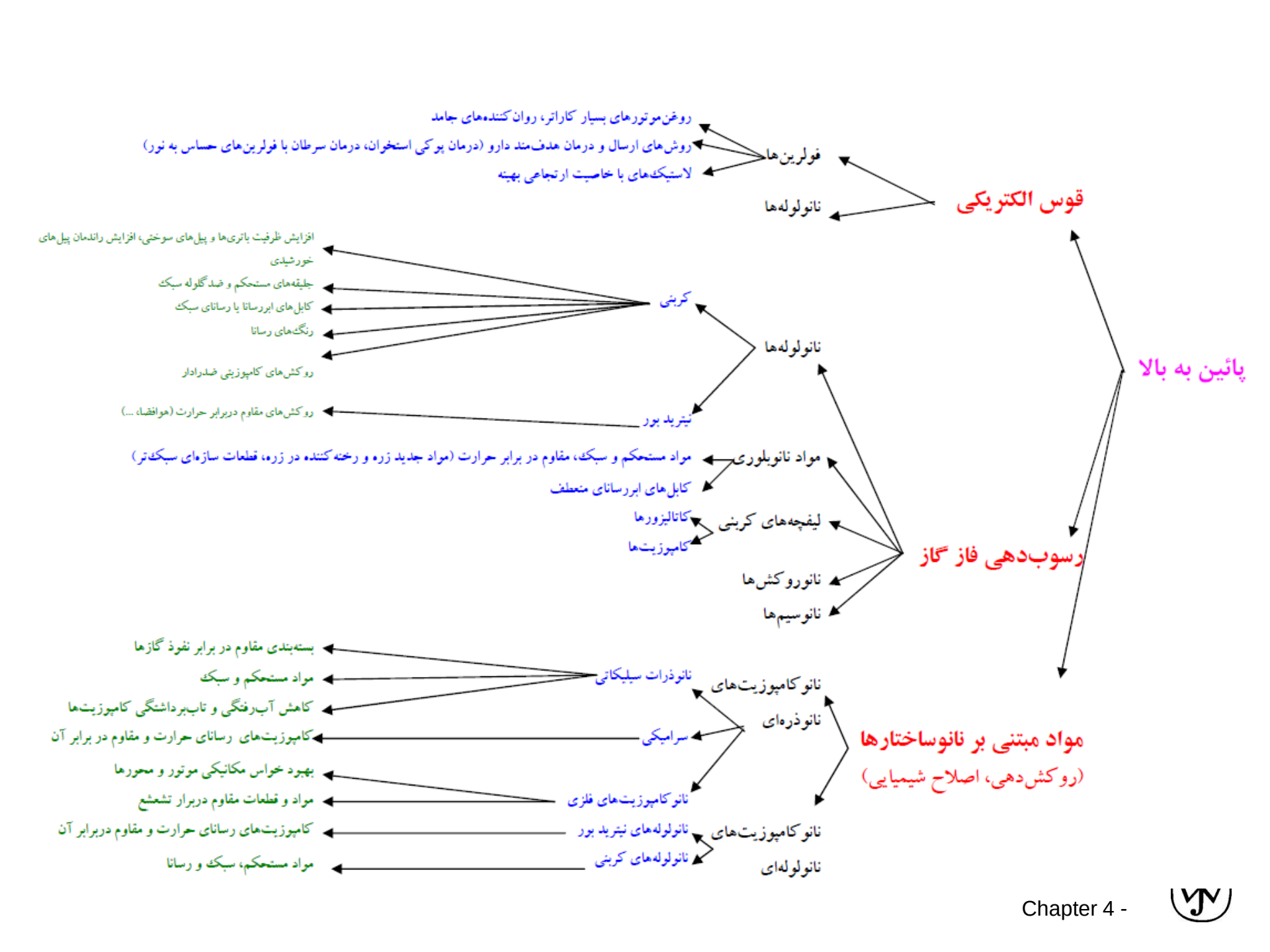
۲- از پایین به بالا –به معنی شروع کردن از مقیاس های زیر نانو و رسیدن به ابعاد نانو می باشد.

درخت فناوری های نانو

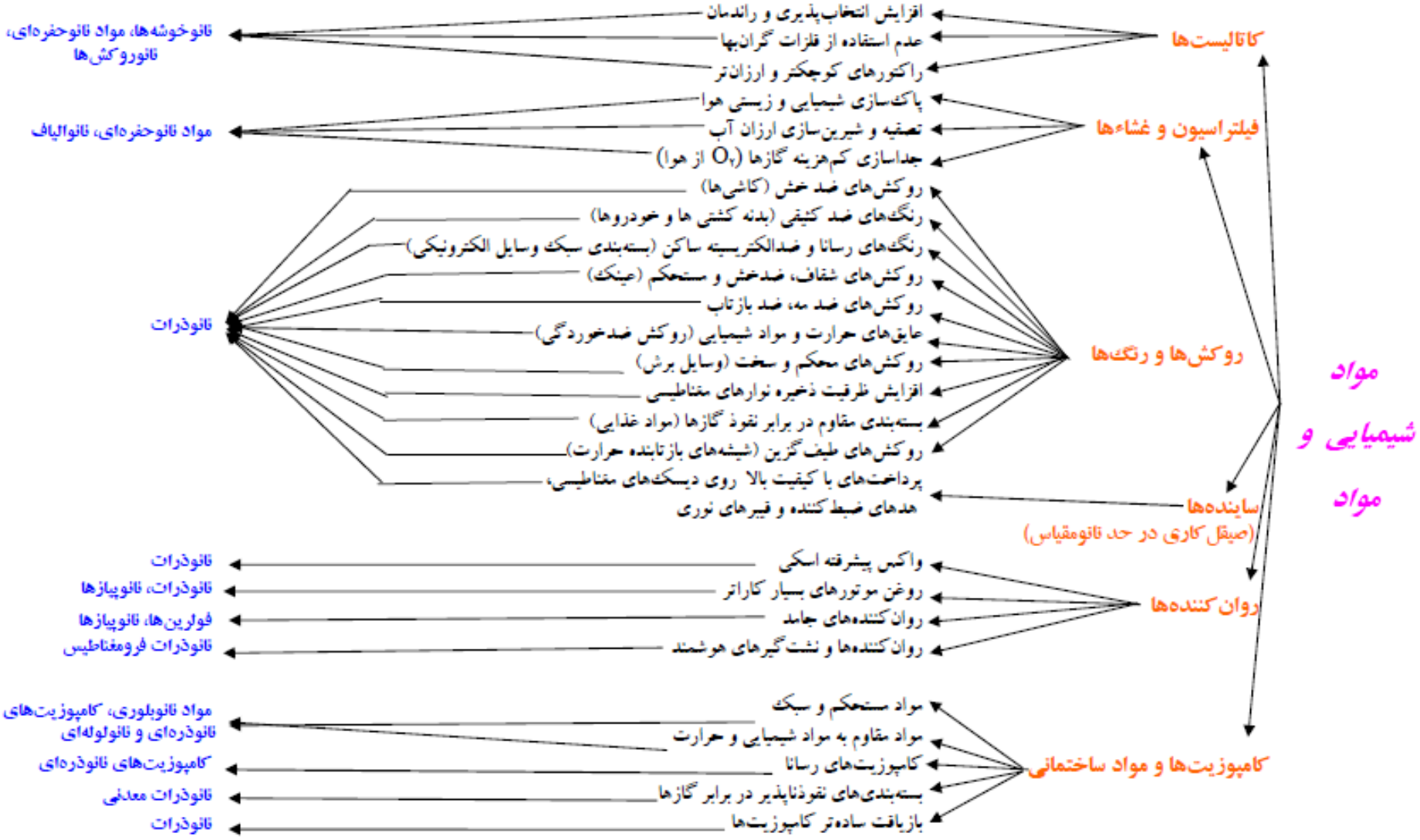

بالا به پائین
میکرونانوساخت (لیتوگرافی)
MEMS
سنسورهای بی‌سیم باد لاستیک (خودرو)
قطعات پیوندی کوچک و قابل تنظیم از راه دور (پزشکی)
غبار هوشمند (دیده‌بانی نظامی)
وسایل آزمایشگاهی بسیار ریز و قابل حمل (پزشکی)
تشخیص مقادیر بسیار اندک زیست‌مولکول‌ها (پزشکی)
نانوسیالات
نانوحفره‌ها
جداسازی زیست‌مولکول‌ها و گازها
توالی‌سنجی DNA
نقاط کوانتومی
نانوسیم‌ها
آشکارسازهای شیمیایی و زیستی
حافظه‌های مغناطیسی
کاتالیست‌های پیل سوختی (وسایل الکترونیکی قابل حمل)
دیودهای نورافشان
الکتروریسندگی مذاب
نانوالیاف پلیمری
الیاف نفوذناپذیر نسبت به روغن، آب و لک، الیاف مقاوم به آتش، بهبود بافت و تنفس‌پذیری الیاف مصنوعی
کامپوزیت‌های رسانا
واسطه‌های دارورسانی
حسگرها
غشاهای با سطح ویژه بالا
تغییرشکل‌دهی سریع
مواد نانوبلوری
مواد مستحکم و سبک
بهبود مقاومت حرارتی
کابل‌های ابررسانای منعطف
سازه‌های سبک‌تر
اختلاط شدید
نانوکپسول‌ها
دارورسانی استنشاقی و خوراکی
لباس‌های مطبوع‌تر و پایدارتر
کودهای با رهایش کنترل‌شده یا تأخیری، روش‌های جدید پراکنش سلاح‌های شیمیایی
خردایش مکانیکی
(فرآیندهای حالت جامد)
نانوذرات


خودآرایی در محلول
پائین به بالا
نانوکپسول‌ها
داروهای استنشاقی، وریدی و خوراکی
روش‌های جدید پراکنش سموم دفع آفات نباتی، کودهای با رهایش کنترل‌شده یا تأخیری
لباس‌های مطبوع‌تر و پایدارتر
درخت‌سان‌ها
دارورسانی
جذب انتخابی و کارای فلزات سنگین
رهایش طولانی‌مدت عطرها
تک‌لایه‌های خودآرا
لایه‌های محافظ در الکترودهای باتری‌ها (جلوگیری از خوردگی)
تولید انبوه بلورهای مایع با ضریب شکست دارای خاصیت آنیزوتروپی شدید
اصلاح کارکردی سطوح تراشه‌های میکروالکترونیکی و میکرو و نانوالکترومکانیکی (مثلاً به عنوان حائل)
بسترهای واکنش شیمیایی، غربال‌های مولکولی (مواد نانوحفره‌ای) پیشرفته
حسگرها
الکترونیک مولکولی (مثل سیم مولکولی)
نانوخوشه‌ها (نقاط کوانتومی)
تشخیص مقادیر بسیار اندک زیست‌مولکول‌ها
کاتالیست‌های چندمنظوره ارزان، عدم استفاده از فلزات گران‌بها
عنوان کاتالیست، افزایش انتخاب‌پذیری و راندمان کاتالیست‌ها
کامپیوترهای کوانتومی
لیزرهای دارای طول موج‌های قابل تنظیم
نانوسیم‌ها

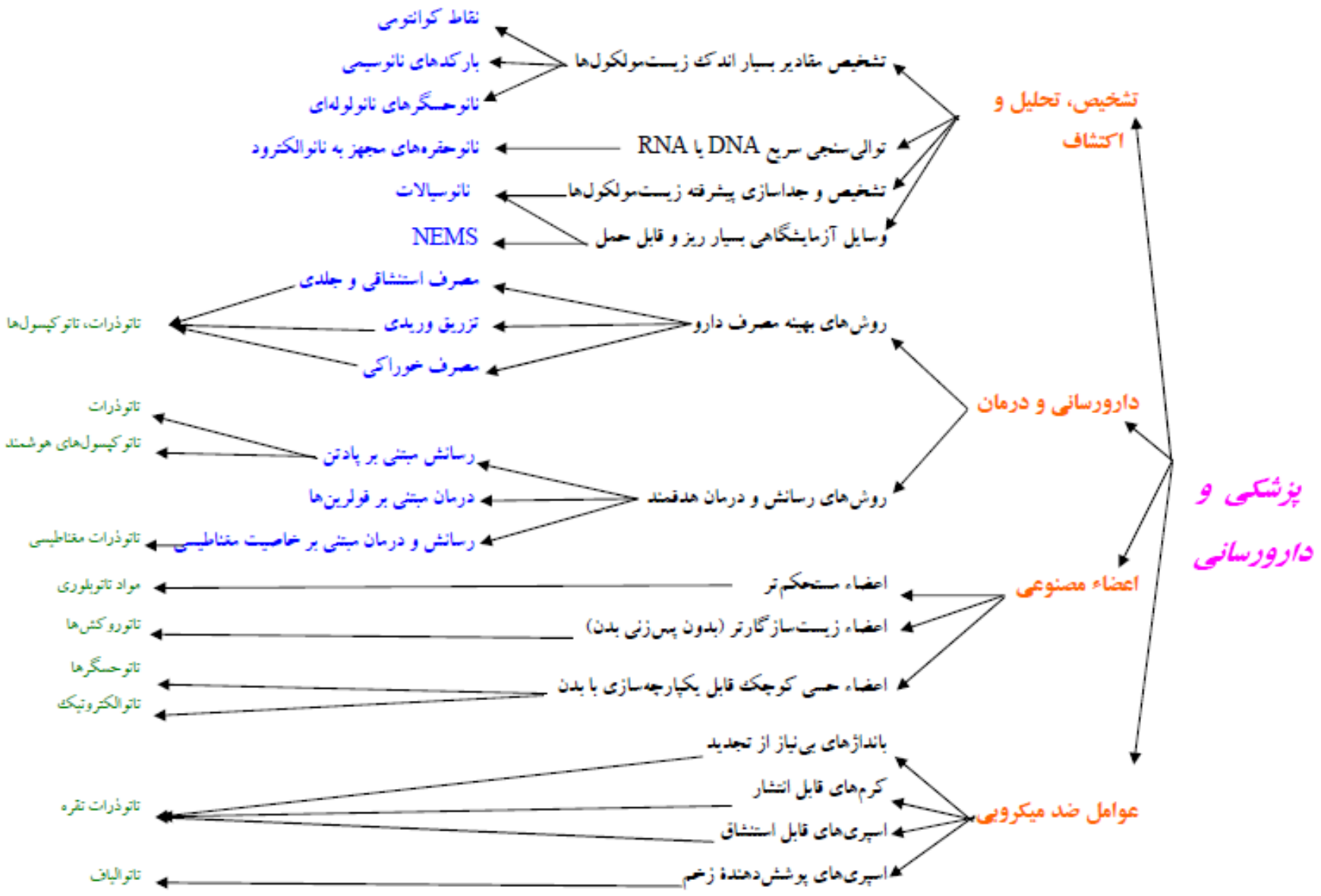
سل‌ژل
پائین به بالا
نانوذرات
تجزیه آسان آلاینده‌های آلی با کمک نور و حرارت (فرآیندهای تصفیه و آلودگی‌زدایی، الیاف خودپاک‌کن)
سوخت‌های راکت پرقدرت‌تر، روغن موتورهای بسیار کاراتر
پیل‌های خورشیدی سبک‌تر با خصوصیات مکانیکی بهینه، افزایش سرعت شارژ و تخلیه باتری‌ها
رنگ‌های خوش‌رنگ‌تر و پایدارتر (ضدخش و ضدکثیفی) و رسانا، تزئینات و روشنایی رنگی زیباتر
دارورسانی استنشاقی، وریدی، جلدی و خوراکی، بانداژهای بی‌نیاز از تجدید و اسپری‌های قابل استنشاق
سیالات هوشمند جوهرهای رسانا (نشت‌گیرهای الکترونولوژیک، خنک‌سازی اتوماتیک ترانسفورماتورها و یخچال‌ها)
نانوروکش‌ها
روکش‌های مستحکم و سبک، ضدخش، مقاوم به فرسایش، روکش‌های زره و رخنه‌کننده در زره
روکش‌های با پایداری حرارتی بالا، روکش‌های ضدخوردگی
روکش‌های شفاف و سبک، طیف‌گزین، ضدمه، ضد دست‌نوشته، ضدبازتاب، ضدالکتریسیته ساکن (رسانا)
فیلم‌های اشعه X ضدخش، فیلم‌های ارزان، پروضوح و ضدتاری (عکس‌های هوایی)
مواد نانوحفره‌ای
فیلم‌های نانوحفره‌ای دارای ثابت دی‌الکتریک پائین (تراشه‌های کامپیوتری، ابرخازن‌ها)
کاتالیست‌های چندمنظورهٔ ارزان، تجزیهٔ آسان آلاینده‌های آلی
جداسازی جذبی و غربالی بسیار کارای مواد پیچیده (تصفیه و شیرین‌سازی آب شرب، ماسک‌های ضدگاز بادوام‌تر و کاراتر، جداسازی زیست‌مولکول‌ها، توالی‌سنجی DNA)
آئروژل‌ها
عایق‌های سبک‌تر و شفاف (در شیشه‌های دوجداره)
روکش‌های محافظ غبار بین ستاره‌ای
نانوالیاف معدنی
فیلتراسیون بسیار سریع (برحسب بار الکتریکی)، زیست‌مولکول‌ها، استریلیزه‌نمودن آسان ویروس‌ها و باکتری‌ها از آب
رشد سریع بافت (قطعات پیوندی، تکثیر نمونه زیستی)
سرامیک‌ها و شیشه‌های یکپارچه
دمای پخت پائین‌تر


قوس الکتریکی
فولرین‌ها
روغن‌موتورهای بسیار کاراتر، روان‌کننده‌های جامد
روش‌های ارسال و درمان هدف‌مند دارو (درمان پرکی استخوان، درمان سرطان با فولرین‌های حساس به نور)
لاستیک‌های با خاصیت ارتجاعی بهینه
نانولوله‌ها
پائین به بالا
رسوب‌دهی فاز گاز
نانولوله‌ها
کربنی
افزایش ظرفیت باتری‌ها و پیل‌های سوختی، افزایش راندمان پیل‌های خورشیدی
جلیقه‌های مستحکم و ضدگلوله سبک
کابل‌های ابررسانا یا رسانای سبک
رنگ‌های رسانا
روکش‌های کامپوزیتی ضدرادار
نیترید بور
روکش‌های مقاوم دربرابر حرارت (هوافضا، ...)
مواد نانویلوری
مواد مستحکم و سبک، مقاوم در برابر حرارت (مواد جدید زره و رخته کننده در زره، قطعات سازه‌ای سبک‌تر)
کابل‌های ابررسانای منعطف
لیفچه‌های کربنی
کاتالیزورها
کامپوزیت‌ها
نانوروکش‌ها
نانوسیم‌ها
مواد مبتنی بر نانوساختارها
(روکش‌دهی، اصلاح شیمیایی)
نانوکامپوزیت‌های نانوذره‌ای
نانوذرات سیلیکاتی
بسته‌بندی مقاوم در برابر نفوذ گازها
مواد مستحکم و سبک
کاهش آب‌رفتگی و تاب‌برداشتگی کامپوزیت‌ها
سرامیکی
کامپوزیت‌های رسانای حرارت و مقاوم در برابر آن
نانوکامپوزیت‌های فلزی
بهبود خواص مکانیکی موتور و محورها
مواد و قطعات مقاوم دربرار تشعشع
نانوکامپوزیت‌های نانولوله‌ای
نانولوله‌های نیترید بور
کامپوزیت‌های رسانای حرارت و مقاوم دربرابر آن
نانولوله‌های کربنی
مواد مستحکم، سبک و رسانا

درخت
(کاربردهای) نانو صنعت

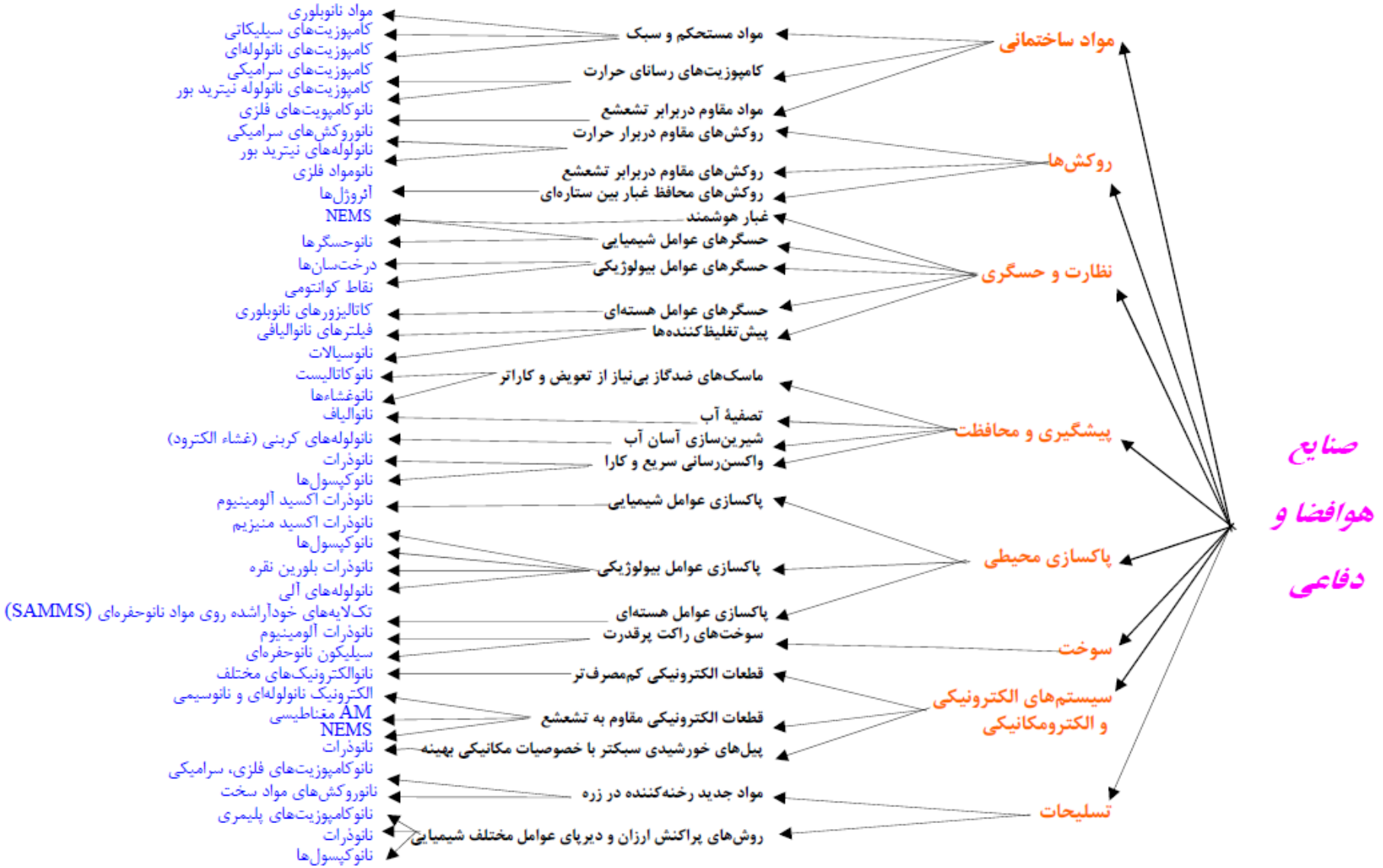

مواد شیمیایی و مواد
کاتالیست‌ها
افزایش انتخاب‌پذیری و راندمان
عدم استفاده از فلزات گران‌بها
راکتورهای کوچکتر و ارزان‌تر
نانوخوشه‌ها، مواد نانوحفره‌ای، نانوروکش‌ها
فیلتراسیون و غشاءها
پاک‌سازی شیمیایی و زیستی هوا
تصفیه و شیرین‌سازی ارزان آب
جداسازی کم‌هزینه گازها (O_2 از هوا)
مواد نانوحفره‌ای، نانوالیاف
روکش‌ها و رنگ‌ها
روکش‌های ضد خش (کاشی‌ها)
رنگ‌های ضد کثیفی (بدنه کشتی ها و خودروها)
رنگ‌های رسانا و ضدالکتریسیته ساکن (بسته‌بندی سبک وسایل الکترونیکی)
روکش‌های شفاف، ضدخش و مستحکم (عینک)
روکش‌های ضد مه، ضد بازتاب
عایق‌های حرارت و مواد شیمیایی (روکش ضدخوردگی)
روکش‌های محکم و سخت (وسایل برش)
افزایش ظرفیت ذخیره نوارهای مغناطیسی
بسته‌بندی مقاوم در برابر نفوذ گازها (مواد غذایی)
روکش‌های طیف‌گزین (شیشه‌های بازتابنده حرارت)
نانوذرات
پرداخت‌های با کیفیت بالا روی دیسک‌های مغناطیسی،
هدهای ضبط‌کننده و قیدهای نوری
سایندهها
(صیقل‌کاری در حد نانومقیاس)
روان‌کننده‌ها
واکس پیشرفته اسکی
روغن موتورهای بسیار کاراتر
روان‌کننده‌های جامد
روان‌کننده‌ها و نشت‌گیرهای هوشمند
نانوذرات
نانوذرات، نانوپیازها
فولرین‌ها، نانوپیازها
نانوذرات فرومغناطیس
کامپوزیت‌ها و مواد ساختمانی
مواد مستحکم و سبک
مواد مقاوم به مواد شیمیایی و حرارت
کامپوزیت‌های رسانا
بسته‌بندی‌های نفوذناپذیر در برابر گازها
بازیافت ساده‌تر کامپوزیت‌ها
مواد نانوبلوری، کامپوزیت‌های نانوذره‌ای و نانولوله‌ای
کامپوزیت‌های نانوذره‌ای
نانوذرات معدنی
نانوذرات

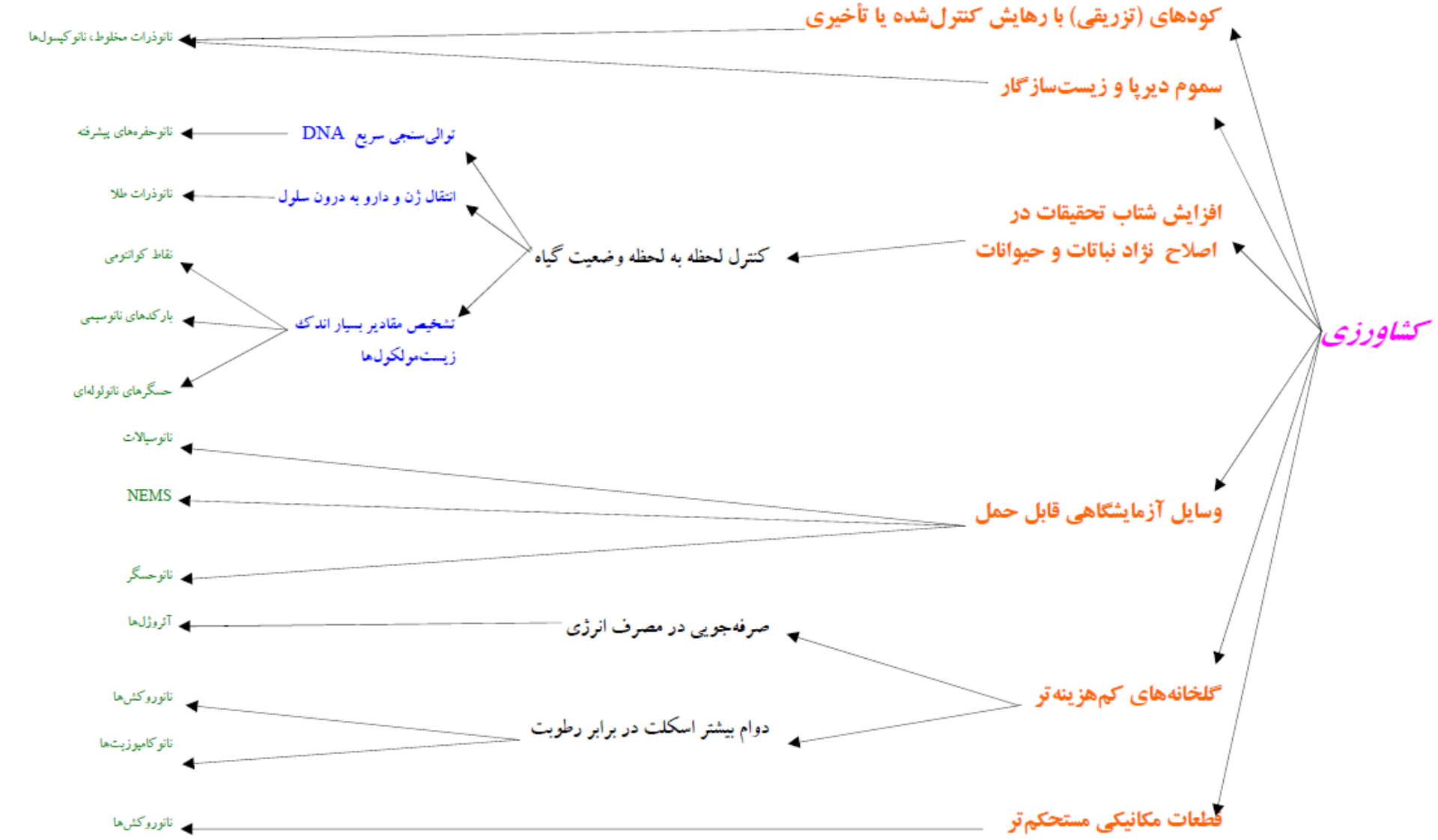
صنعت خودروسازی و حمل و نقل
مواد ساختمانی و روکش‌ها
روکش‌های فتوکرومیک و الکتروکرومیک پنجره‌ها
نانودارت
بدنه‌های سبک‌تر و مستحکم‌تر
نانوکامپوزیت‌های سیلیکاتی
لاستیک‌های مقاوم در برابر فرسایش و با خاصیت ارتجاعی بهینه
کربن بلک
نانودارت سیلیکاتی (رسی)
فولرین‌ها
بهبود خواص مکانیکی و مقاومت حرارتی موتور و محورها
نانودارت سرامیکی
مواد نانوبلوری
روکش‌های ضداصطکاک یاتاقان‌ها و بدنه زیردریایی
نانوپیازها
نانودارت
روکش‌های مقاوم به فرسایش و حرارت (تسمه‌ها)
نانودارت سیلیکاتی
نانولوله‌های کربنی
رنگ‌های رسانا
کامپوزیت‌های نانولوله‌های کربنی
لیفچه‌های کربنی
بدنه‌های ضد خوردگی و ضد کثیفی
نانوکامپوزیت‌های پلیمری
نانوروکش‌ها
روکش‌های خودپاک‌کن شیشه و بدنه
نانودارت تیتانیا
روکش‌های ضدخش شیشه و بدنه
نانودارت
حسگرها
ماشه‌های کوچک و ارزان کیسهٔ هوا
NEM
حسگرهای بی‌سیم باد لاستیک
انواع هشداردهنده‌های دیگر
نانوحسگرها
صفحات نمایشگر مسطح
نشانگرهای زیباتر و تعاملی‌تر
آرایه‌های نانولوله کربنی
نمایشگرهای شفاف
نانودارت
مبدل‌های کاتالیستی و فیلترها
احتراق عاری از آلایندگی با کاتالیست‌های احتراق
نانوروکش‌ها
حذف آلودگی با کاتالیست‌های چندمنظورهٔ ارزان
نیرومحرکه
باتری‌ها
افزایش ظرفیت باتری‌ها
نانولوله‌های کربنی
افزایش سرعت شارژ و تخلیه باتری‌ها
نانودارت
پیل‌های سوختی
افزایش ظرفیت ذخیره هیدروژن پیل‌های سوختی
نانوشاخ کربنی
نانولوله کربنی
روان‌کننده‌ها
روغن‌موتورهای بسیار کاراتر
نانودارت، نانوپیازها
روان‌کننده‌های جامد
فولرین‌ها، نانوپیازها

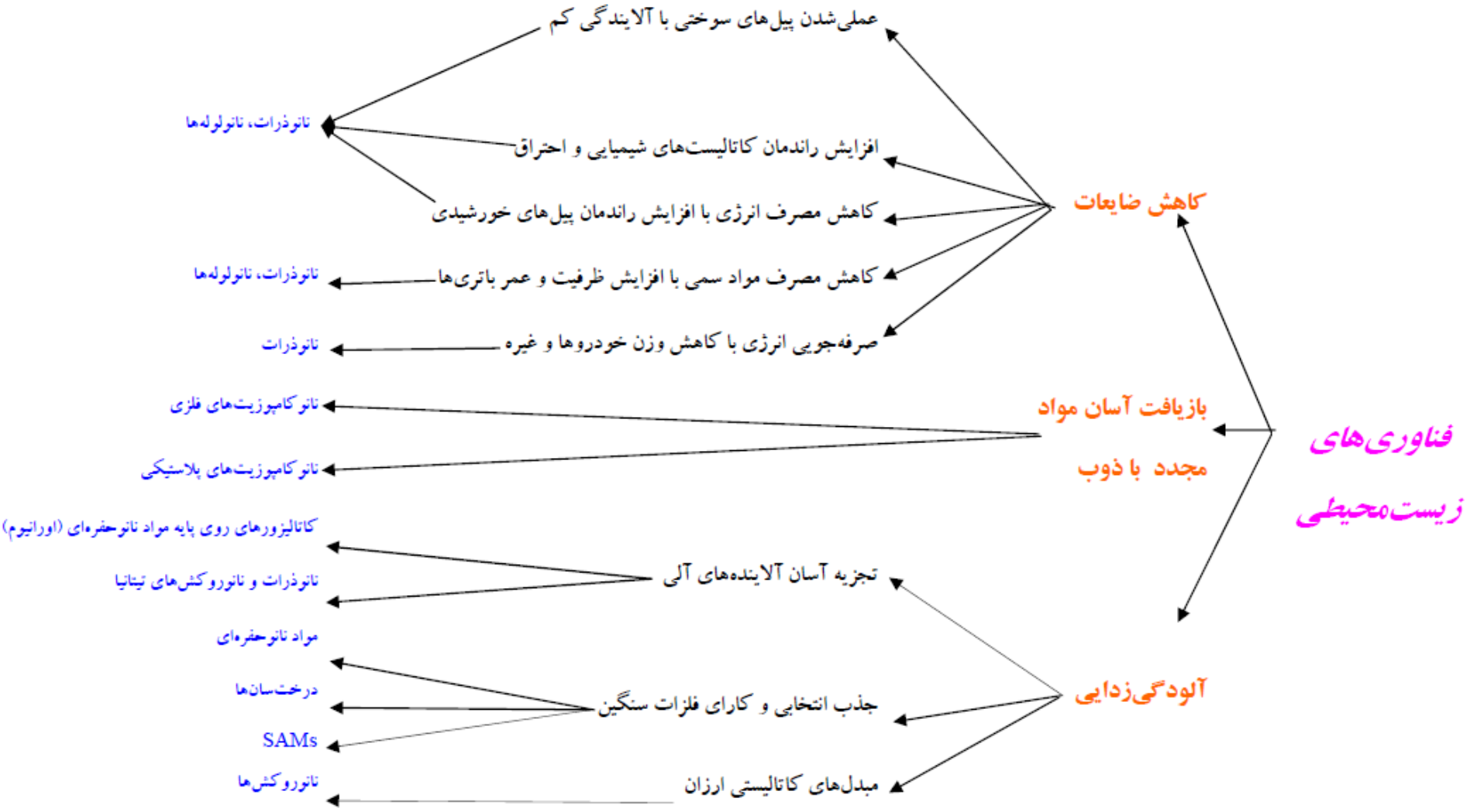

پزشکی و داروسانی
تشخیص، تحلیل و اکتشاف
تشخیص مقادیر بسیار اندک زیست‌مولکول‌ها
نقاط کوانتومی
بارکدهای نانوسیمی
نانوحسگرهای نانولوله‌ای
توالی‌سنجی سریع DNA یا RNA
نانوحفره‌های مجهز به نانوالکترود
تشخیص و جداسازی پیشرفته زیست‌مولکول‌ها
نانوسیالات
وسایل آزمایشگاهی بسیار ریز و قابل حمل
NEMS
داروسانی و درمان
روش‌های بهینه مصرف دارو
مصرف استنشاقی و جلدی
تزریق وریدی
مصرف خوراکی
نانوذرات، نانوکپسول‌ها
روش‌های رسانش و درمان هدفمند
رسانش مبتنی بر پادتن
نانوذرات
نانوکپسول‌های هوشمند
درمان مبتنی بر قولرین‌ها
رسانش و درمان مبتنی بر خاصیت مغناطیسی
نانوذرات مغناطیسی
اعضاء مصنوعی
اعضاء مستحکم‌تر
مواد نانوبلوری
اعضاء زیست‌سازگارتر (بدون پس‌زنی بدن)
نانوروکش‌ها
اعضاء حسی کوچک قابل یکپارچه‌سازی با بدن
نانوحسگرها
نانوالکترونیک
عوامل ضد میکروبی
باندژهای بی‌نیاز از تجدید
کرم‌های قابل انتشار
اسپری‌های قابل استنشاق
نانوذرات نقره
اسپری‌های پوشش‌دهندهٔ زخم
نانوالیاف

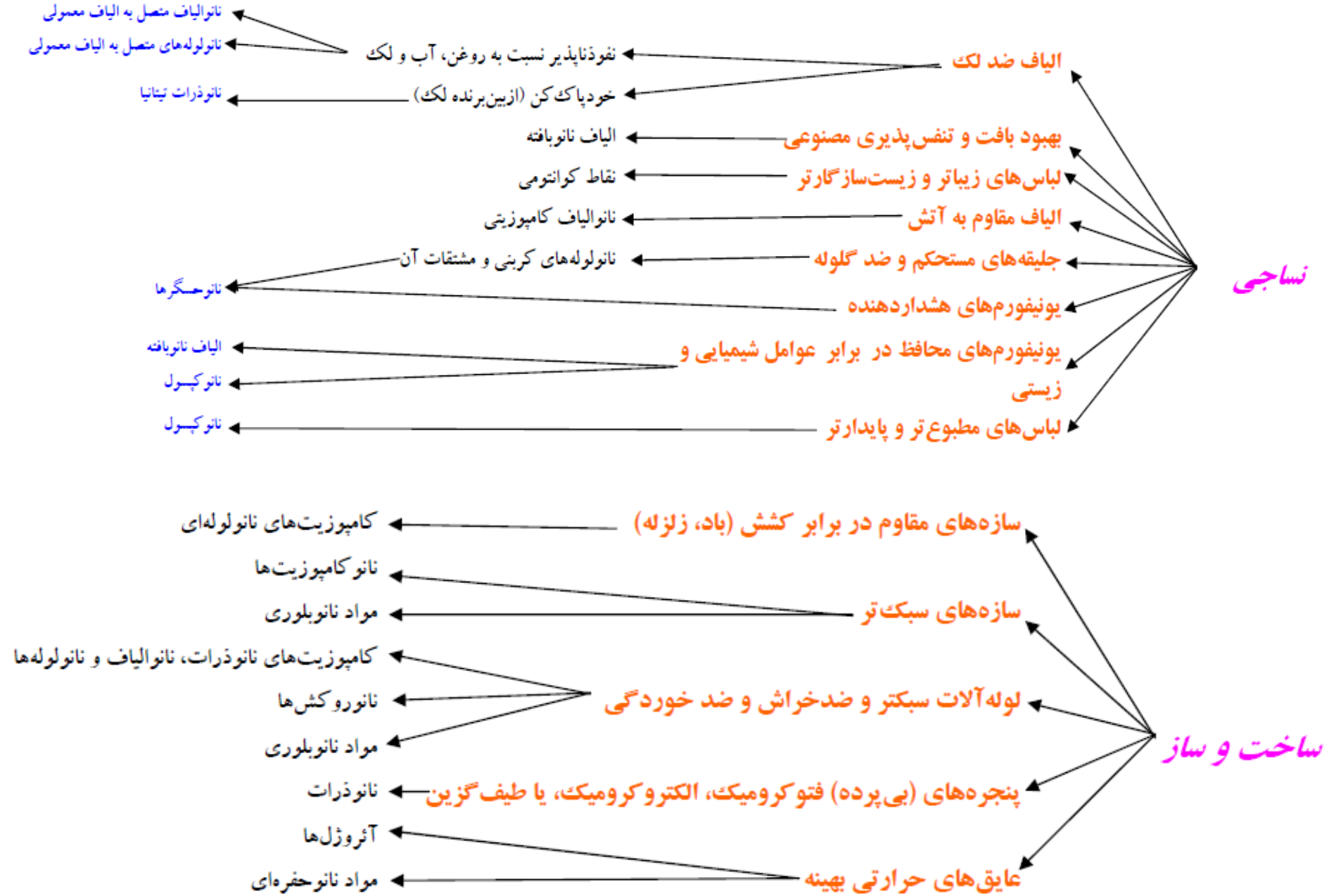
فناوری
اطلاعات و
مخابرات
میکروالکترونیک
مرسوم در آستانه
ورود به نانومقیاس
کاهش مقیاس فتولیتوگرافی
الکترونیک و
اپتوالکترونیک
جدید
پردازنده‌ها
نانولوله‌ها
مولکول‌های خودآراشده
مشتقات DNA
میکروپردازنده‌های مخلوط حاوی نانوساختارها
ذخیره‌سازی داده‌ها
ذخیره‌سازی نوری
سیستم‌های مغناطیسی نوری
استفاده از پرتوالکترونی
استفاده از شکاف‌های بسیار کوچک
روی هدهای نزدیک به سطح
ذخیره‌سازی هولوگرافیک
ذخیره‌سازی مغناطیسی
دیسک‌های مغناطیسی
حافظه دسترسی اتفاقی
مغناطیسی (MRAM)
نانوروکش‌ها
راهگذر اسپین
اتصال تونلی
تزریق اسپین
نانولایه‌ها
ذخیره‌سازی مبتنی بر میکروسکوپ پروب پیمایشگر
راهکار مبرزنی
راهکار تغییر فاز
راهکار مغناطیسی
پروب‌های پیمایشگر
حافظه مبتنی بر نانولوله‌ها
حافظه مبتنی بر نانوسیم‌ها
نانولوله‌ها
نانوسیم‌ها
صفحات نمایشگر
پاسخ‌دهی سریع‌تر
زاویه نمایش پهن‌تر
سازگاری زیست‌محیطی بهتر
شفافیت
آرایه‌های نانولوله‌های کربنی
نانوذرات
محاسبه کوانتومی
رمزنگاری و رمزگشایی
سهولت انجام شبیه‌سازی‌های پیچیده
لیتوگرافی پیشرفته
ارتباطات از راه
دور
ارتقای فناوری بی‌سیم
پیل سوختی
حافظه‌های چگالتر و سبک‌تر
نشر کننده‌های ماکروویو میدانی
نانولوله‌های کربنی
نانوRAM
جابجایی نوری
افزایش حجم جابجایی
لیزرهای کوچکتر و قابل تنظیم
کلیدزنی نوری
کلیدزنی فرکانس‌های مختلف
تبدیل سریع و ارزان سیگنال
توری‌پراش نانومقیاس
آرایه‌های میکروآینه‌ای
دستکاری آسان‌تر نور
بلورهای فتونیک

انرژی
تولید انرژی
انتقال نیرو
روشنایی
صرفه‌جویی انرژی
پیل‌های سوختی
انرژی خورشیدی
باتری‌های قابل شارژ
کابل‌های ابررسانای منعطف
کابل‌های ابررسانا یا رسانای سبک و مستحکم
منابع روشنایی خوش‌رنگ‌تر
منابع روشنایی کم‌مصرف و زیست‌سازگار
شیشه‌های بازتاب‌کننده حرارت
صرفه‌جویی حاصل از کاهش وزن
عایق‌های سبک‌تر و شفاف در شیشه‌های دوجداره
منابع تعاملی پشتیبان و ذخیره‌ساز
منابع تغذیه وسایل الکترونیکی قابل حمل
تولید مستقیم هیدروژن جهت مصرف دیرهنگام
افزایش راندمان پیل‌های خورشیدی
افزایش استحکام پیل‌های خورشیدی
افزایش سرعت شارژ و تخلیه باتری‌ها
افزایش ظرفیت باتری‌ها
نانولوله‌ها، فولرین‌ها
لایه‌های نانوبلوری تیمه‌هادی
نانوذرات، نانولوله‌ها، فولرین‌ها
نانوذرات
نانوذرات
نانولوله‌های کربنی
نانوبلورهای سرامیکی
نانولوله‌ها
نانوذرات
آرایه‌های نانولوله‌های کربنی
نقاط کوانتومی
سیلیکون نانوحفره‌ای
OLEDها
نانوذرات، نانوروکش‌ها
نانوکامپوزیت‌های سبک
آئروژل‌ها


صنایع هوافضا و دفاعی
مواد ساختمانی
روکش‌ها
نظارت و حسگری
پیشگیری و محافظت
پاکسازی محیطی
سوخت
سیستم‌های الکترونیکی و الکترومکانیکی
تسلیحات
مواد مستحکم و سبک
کامپوزیت‌های رسانای حرارت
مواد مقاوم دربرابر تشعشع
روکش‌های مقاوم دربرار حرارت
روکش‌های مقاوم دربرابر تشعشع
روکش‌های محافظ غبار بین ستاره‌ای
غبار هوشمند
حسگرهای عوامل شیمیایی
حسگرهای عوامل بیولوژیکی
حسگرهای عوامل هسته‌ای
پیش‌تغلیظ‌کننده‌ها
ماسک‌های ضدگاز بی‌نیاز از تعویض و کاراتر
تصفیهٔ آب
شیرین‌سازی آسان آب
واکسن‌رسانی سریع و کارا
پاکسازی عوامل شیمیایی
پاکسازی عوامل بیولوژیکی
پاکسازی عوامل هسته‌ای
سوخت‌های راکت پرقدرت
قطعات الکترونیکی کم‌مصرف‌تر
قطعات الکترونیکی مقاوم به تشعشع
پیل‌های خورشیدی سبکتر با خصوصیات مکانیکی بهینه
مواد جدید رخنه‌کننده در زره
روش‌های پراکنش ارزان و دیرپای عوامل مختلف شیمیایی
مواد نانوبلوری
کامپوزیت‌های سیلیکاتی
کامپوزیت‌های نانولوله‌ای
کامپوزیت‌های سرامیکی
کامپوزیت‌های نانولوله نیترید بور
نانوکامپوزیت‌های فلزی
نانوروکش‌های سرامیکی
نانولوله‌های نیترید بور
نانومواد فلزی
آئروژل‌ها
NEMS
نانوحسگرها
درخت‌سان‌ها
نقاط کوانتومی
کاتالیزورهای نانوبلوری
فیلترهای نانوالیافی
نانوسیالات
نانوکاتالیست
نانوغشاءها
نانوالیاف
نانولوله‌های کربنی (غشاء الکترود)
نانوذرات
نانوکپسول‌ها
نانوذرات اکسید آلومینیوم
نانوذرات اکسید منیزیم
نانوکپسول‌ها
نانوذرات بلورین نقره
نانولوله‌های آلی
تک‌لایه‌های خودآراشده روی مواد نانوحفره‌ای (SAMMS)
نانوذرات آلومینیوم
سیلیکون نانوحفره‌ای
نانوالکترونیک‌های مختلف
الکترونیک نانولوله‌ای و نانوسیمی
AM مغناطیسی
NEMS
نانوذرات
نانوکامپوزیت‌های فلزی، سرامیکی
نانوروکش‌های مواد سخت
نانوکامپوزیت‌های پلیمری
نانوذرات
نانوکپسول‌ها


کشاورزی
کودهای (تزریقی) با رهایش کنترل‌شده یا تأخیری
ناتوذرات مخلوط، ناتوکپسول‌ها
سموم دیرپا و زیست‌سازگار
افزایش شتاب تحقیقات در
اصلاح نژاد نباتات و حیوانات
کنترل لحظه به لحظه وضعیت گیاه
توالی‌سنجی سریع DNA
ناتوحفره‌های پیشرفته
انتقال ژن و دارو به درون سلول
ناتوذرات طلا
تشخیص مقادیر بسیار اندک
زیست‌مولکول‌ها
نقاط کوانتومی
بارکدهای نانوسیمی
حسگرهای نانولوله‌ای
وسایل آزمایشگاهی قابل حمل
ناتوسیالات
NEMS
ناتوحسگر
گلخانه‌های کم‌هزینه‌تر
صرفه‌جویی در مصرف انرژی
آئروژل‌ها
دوام بیشتر اسکلت در برابر رطوبت
ناتوروکش‌ها
ناتوکامپوزیت‌ها
قطعات مکانیکی مستحکم‌تر
ناتوروکش‌ها


فناوری‌های زیست‌محیطی
کاهش ضایعات
بازیافت آسان مواد مجدد با ذوب
آلودگی‌زدایی
عملی‌شدن پیل‌های سوختی با آلایندگی کم
افزایش راندمان کاتالیست‌های شیمیایی و احتراق
کاهش مصرف انرژی با افزایش راندمان پیل‌های خورشیدی
کاهش مصرف مواد سمی با افزایش ظرفیت و عمر باتری‌ها
صرفه‌جویی انرژی با کاهش وزن خودروها و غیره
نانوذرات، نانولوله‌ها
نانوذرات، نانولوله‌ها
نانوذرات
نانوکامپوزیت‌های فلزی
نانوکامپوزیت‌های پلاستیکی
تجزیه آسان آلاینده‌های آلی
جذب انتخابی و کارای فلزات سنگین
مبدل‌های کاتالیستی ارزان
کاتالیزورهای روی پایه مواد نانوحفره‌ای (اورانیوم)
نانوذرات و نانوروکش‌های تیتانیا
مواد نانوحفره‌ای
درخت‌سان‌ها
SAMs
نانوروکش‌ها


نساجی
الیاف ضد لک
نفوذناپذیر نسبت به روغن، آب و لک
نانوالیاف متصل به الیاف معمولی
نانولوله‌های متصل به الیاف معمولی
خودپاک‌کن (ازبین‌برنده لک)
نانوذرات تیتانیا
بهبود بافت و تنفس‌پذیری مصنوعی
الیاف نانوبافته
لباس‌های زیباتر و زیست‌سازگارتر
نقاط کوانتومی
الیاف مقاوم به آتش
نانوالیاف کامپوزیتی
جلیقه‌های مستحکم و ضد گلوله
نانولوله‌های کربنی و مشتقات آن
یونیفورم‌های هشداردهنده
نانوحسگرها
یونیفورم‌های محافظ در برابر عوامل شیمیایی و زیستی
الیاف نانوبافته
نانوکپسول
لباس‌های مطبوع‌تر و پایدارتر
نانوکپسول
ساخت و ساز
سازه‌های مقاوم در برابر کشش (باد، زلزله)
کامپوزیت‌های نانولوله‌ای
سازه‌های سبک‌تر
نانوکامپوزیت‌ها
مواد نانوبلوری
لوله‌آلات سبکتر و ضدخراش و ضد خوردگی
کامپوزیت‌های نانوذرات، نانوالیاف و نانولوله‌ها
نانوروکش‌ها
مواد نانوبلوری
پنجره‌های (بی‌پرده) فتوکرومیک، الکتروکرومیک، یا طیف‌گزین
نانوذرات
عایق‌های حرارتی بهینه
آئروژل‌ها
مواد نانوحفره‌ای