

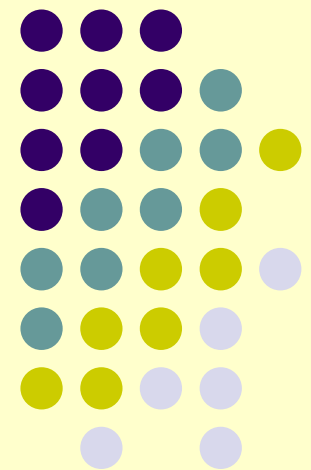


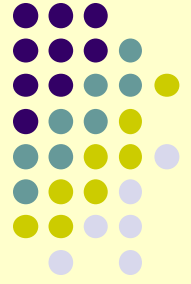
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
دانشکده مهندسی و علم مواد

# اصول مهندسی پلیمر

جلسه دوازدهم  
(مقدمه ای بر مواد کامپوزیت)

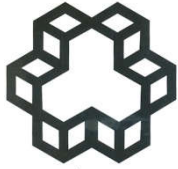
دکتر رضا اسلامی فارسانی



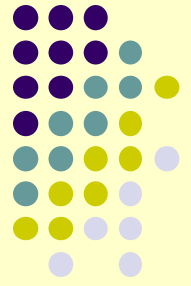


## مواد کامپوزیت ( Composite Materials )

- ✓ مواد مهندسی اصلی (فلزات، پلیمرها و سرامیک ها) فاقد سه خاصیت استحکام بالا، مدول بالا و وزن مخصوص پایین (استحکام و سفتی ویژه بالا) به صورت همزمان هستند.
- ✓ از طریق کامپوزیت کردن می توان خواص به ظاهر متضاد را به صورت همزمان در مواد کسب نمود.
- ✓ به مواد کامپوزیت نام های مواد مرکب و چندسازه نیز اطلاق می شود.



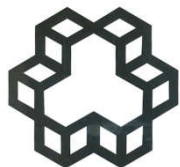
## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



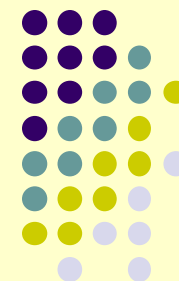
### مشخصات مواد کامپوزیتی

مواد کامپوزیتی از دو یا چند جزء (زمینه و تقویت کننده) تشکیل شده که با هدف بهینه سازی خواص تهیه می شوند. این تعریف کلی بوده و باید معیارهای زیر نیز در نظر گرفته شوند:

۱. از دو یا چند جزء تشکیل شده که در هم حل نشده، با هم ترکیب نشده و واکنش ندهند.
۲. اجزای تشکیل دهنده اصلی، به صورت مخلوط و با فصل مشترک مشخص قابل تشخیص باشند.
۳. خواص متفاوتی با اجزای تشکیل دهنده داشته باشد که توسط هر یک از اجزاء به تنهایی قابل کسب نباشد.
۴. هر دو جزء دارای درصد قابل ملاحظه ای باشند (عموماً حداقل ۵ درصد حجمی تقویت کننده در مقیاس ماکروسکوپی).

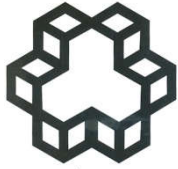


# مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی

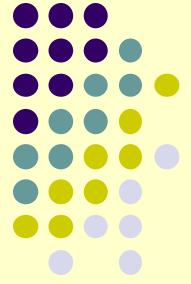


## مقایسه مواد مهندسی

نوع ماده	نوع پیوند	ریزساختار	مزایا	معایب
فلزات و آلیاژهای آنها	فلزی	دانه‌های کریستالی	سفتی، استحکام، شکل‌پذیری، هدایت حرارتی و الکتریکی	شکست، خستگی، خزش و ...
پلیمرها	کووالانسی و ثنویه	زنجیره‌های مولکولی	وزن کم، قیمت پایین، مقاوم به خوردگی	استحکام و سفتی پایین، خزش
سرامیک‌ها و شیشه‌ها	کووالانسی و یونی	دانه‌های کریستالی و آمورف	سفتی، استحکام، سختی، مقاوم به حرارت و خوردگی	تردی و عدم شکل‌پذیری
کامپوزیت‌ها	متنوع (با توجه به نوع زمینه و تقویت‌کننده)	زمینه + تقویت‌کننده	استحکام و سفتی بالا، وزن کم	قیمت بالا، پدیده تورق



## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



### اجزای تشکیل دهنده مواد کامپوزیتی

#### ✓ زمینه یا پایه (Matrix)

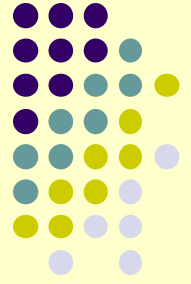
جزء پیوسته ای است که تقویت کننده را درون خود جای می دهد و آن را از آثار و آسیب های محیطی محافظت نموده و شکل کلی محصول را ایجاد می کند. زمینه به هنگام اعمال بار، بار اعمالی را به تقویت کننده منتقل می کند و عموماً استحکام زیادی ندارد.

#### ✓ فاز تقویت کننده (Reinforcement Phase)

جزء یا فاز دوم است که عموماً دارای استحکام و مدول بالایی بوده و درون زمینه قرار می گیرد. در برابر بار اعمالی به کامپوزیت از خود مقاومت نشان می دهد و باعث بهبود خواص کامپوزیت می شود.

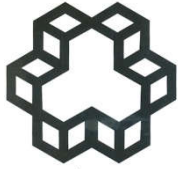
- در مواد کامپوزیتی، زمینه و تقویت کننده نه تنها در مقیاس مولکولی و میکروسکوپی، بلکه در حالت ماکروسکوپی نیز قابل تشخیص هستند و عموماً به طریق مکانیکی قابل تفکیک هستند.



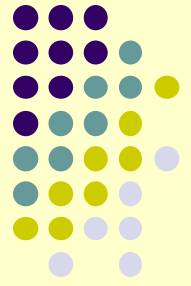


## تاریخچه

در دهه ۱۹۲۰، تعداد محدودی کامپوزیت زمینه سرامیکی ساخته شد، اما کاربرد اصلی و عمده در سال ۱۹۴۵ بود که چوب (میله) ماهیگیری از جنس نایلون فنولی تقویت شده با الیاف شیشه استفاده شد.



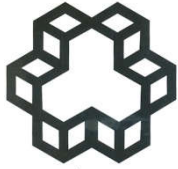
## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



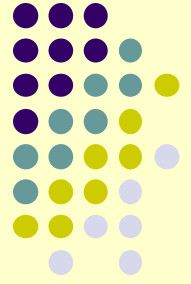
### زمینه های کاربرد

فضایی (سازه ها، آنتن)، هوایی (بال و بدنه هواپیما)، حمل و نقل (سپر و بدنه خودرو)، الکتریکی (بردهای مدار چاپی)، دریایی (بدنه و دکل کشتی و قایق)، پزشکی (اندام مصنوعی)، وسایل ورزشی (راکت تنیس، میله ماهیگیری و اسکلت دوچرخه)، ساختمان (سقف کاذب، پانل های ساختمانی و بتن مسلح)، بهداشتی (وان و زیردوشی)، شیمیایی (لوله های انتقال سیالات و مخازن نگهداری مواد شیمیایی)، لوازم خانگی (میز و صندلی و کابینت)، متفرقه (کیوسک ها، قطعات صنعتی فایبرگلاس، یاتاقان)





## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



### مثال هایی از مواد کامپوزیتی

#### ۱. بتن آرمه



زمینه سرامیکی: بتن (سیمان + آب + شن)  
تقویت کننده فلزی: میلگردهای فولادی

#### ۲. فایبرگلاس

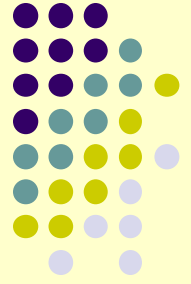


(زمینه پلیمری ترموست + تقویت کننده الیاف سرامیکی شیشه)

#### ۳. کاه گل

(زمینه: گل شامل خاک و آب + تقویت کننده: الیاف کوتاه کاه)

## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



### مثال هایی از مواد کامپوزیتی

۴. ماهیچه بدن موجودات زنده

(زمینه: گوشت + تقویت کننده: استخوان)

۵. کرفس

(زمینه: مواد پلیمری طبیعی + تقویت کننده: ماده سلولزی لیفی)

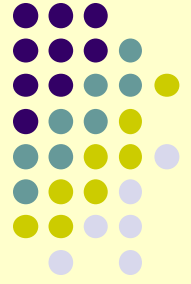
۶. کامپوزیت  $Al-SiC$

(زمینه: آلومینیم + تقویت کننده: کاربید سیلیسیم)

۷. تخته چندلا



## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی

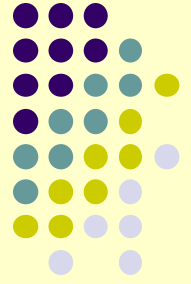


### دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس طبیعت آنها

✓ مواد کامپوزیتی طبیعی  
چوب، ماهیچه، کرفس و غیره.

✓ مواد کامپوزیتی مصنوعی  
بتن مسلح، فایبر گلاس و غیره.

## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



### دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس نوع زمینه

✓ مواد کامپوزیتی زمینه پلیمری (Polymer Matrix Composites (PMC)

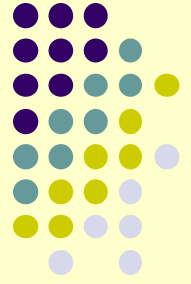
✓ مواد کامپوزیتی زمینه فلزی (Metal Matrix Composites (MMC)

✓ مواد کامپوزیتی زمینه سرامیکی (Ceramic Matrix Composites (CMC)

✓ مواد کامپوزیتی زمینه بین فلزی (Intermetallic Matrix Composites (IMC)

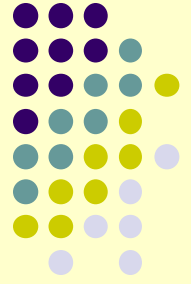
✓ کامپوزیت کربن-کربن (C-C)

## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

- الیاف (Fibers)
- ذرات (Particles)
- ویسکرها (Whiskers)
- کامپوزیت های لایه ای یا سازه ای (Laminated Composites)

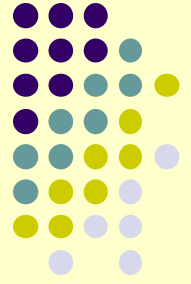


## دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

### • الیاف (Fibers)

- واژه ای عمومی برای موادی است که محور طولی آنها چند برابر محور شعاعی است. یعنی نسبت طول به قطر بالایی (عموماً بالاتر از ۱۰ به ۱) دارند.
- استحکام الیاف در جهت طولی نسبت به سایر جهات آن به مراتب بیشتر است. مقطع لیف ها عمدتاً گرد یا نزدیک به دایره است اما می تواند به صورت لوبیایی، دمبل شکل و ... نیز باشد.

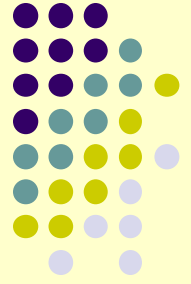




## دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

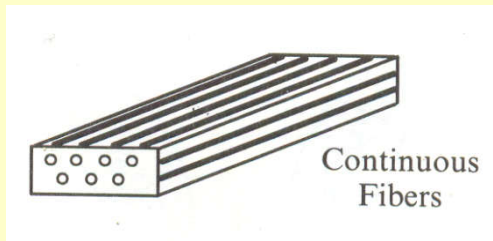
### • الیاف (Fibers)

- الیاف می تواند چند کریستالی، تک کریستال یا آمورف باشد که با طول نامحدود تولید شده و به صورت پیوسته یا خرد شده به بازار عرضه می شود.
- البته برخی از انواع الیاف نیز از ابتدا با طول محدود تولید می شوند.



## دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

الیاف، مرسوم ترین نوع تقویت کننده است و به شکل های مختلف زیر در کامپوزیت ها مورد استفاده قرار می گیرد:

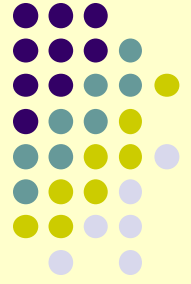


- الیاف بلند یا پیوسته یا مداوم (Continuous)

- الیاف کوتاه یا غیر پیوسته یا بریده شده یا خرد شده (Discontinuous)

- شکل های جهت دار نظیر پارچه (Fabric)، نمد (Mat)، شبکه یا توری (Net)، ورق نازک بی بافت (Tissue)

# مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



## دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

پارچه



الیاف کوتاه



الیاف بلند



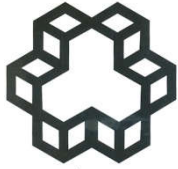
توری



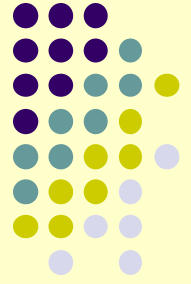
مت



تیشو

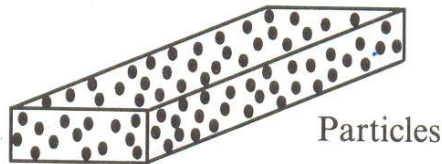


## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی



### دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

• **ذرات (Particles):** در جهت خاصی آرایش نمی یابند و لذا شکل آنها در مقایسه با الیاف از اهمیت کمتری برخوردار است. می توانند دارای شکل نامنظم، سوزنی، گوشه دار، گرد و ... باشند. در کامپوزیت های تقویت شده با ذرات، ذرات بار را تحمل نمی کنند، بلکه زمینه بار را تحمل کرده و تنها ذرات از حرکت نابجایی جلوگیری می کنند، لذا مکانیزم تقویت کنندگی با حالت الیاف متفاوت است.



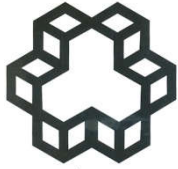
• **ویسکرها (Whiskers):** الیاف تک کریستال

هستند که در مقایسه با الیاف معمول،

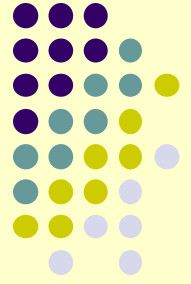
طول و قطر کمتر و استحکام بالاتری دارند.







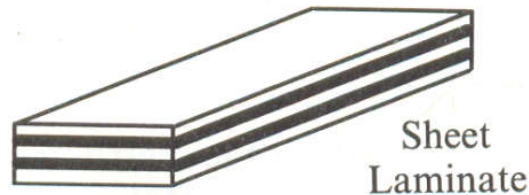
## مقدمه ای بر مواد کامپوزیتی

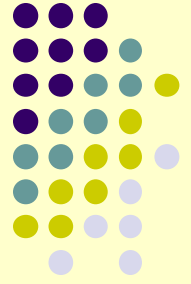


دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

• کامپوزیت های لایه ای یا سازه ای (Laminated Composites):

این نوع کامپوزیت ها جهت ضخامت دادن به قطعات و تقویت کنندگی در جهات مختلف بکار می روند. در این مواد، لایه های مواد مختلف (لمینیت ها) به یکدیگر متصل شده اند (نظیر تخته چندلا، فرمیکا حاوی کاغذ یا پارچه اندود شده با رزین تحت فشار و حرارت با نمای زینتی و روکش پلاستیکی).





دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده

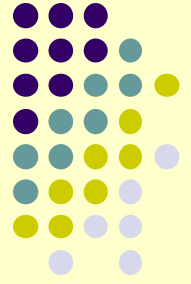
کامپوزیت های لایه ای یا سازه ای عموماً به دو صورت هستند:



## ۱. ساندویچ پانل (Sandwich Panel)

در مواردی از لایه هایی از مواد با استحکام و سفتی بالا در دو طرف یک هسته سبک استفاده می شود. هسته می تواند از مواد فوم یا ساختارهای لانه زنبوری از آلومینیم یا مقوا و ... باشد. این نوع کامپوزیت ها را ساندویچ پانل گویند.





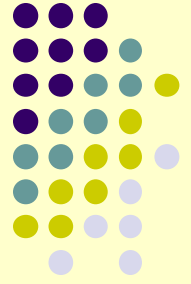
## دسته بندی مواد کامپوزیتی بر اساس هندسه فاز تقویت کننده



۲. کامپوزیت های چند لایه یا لایه های الیاف - فلز  
(Fiber Metal Laminate = FML)

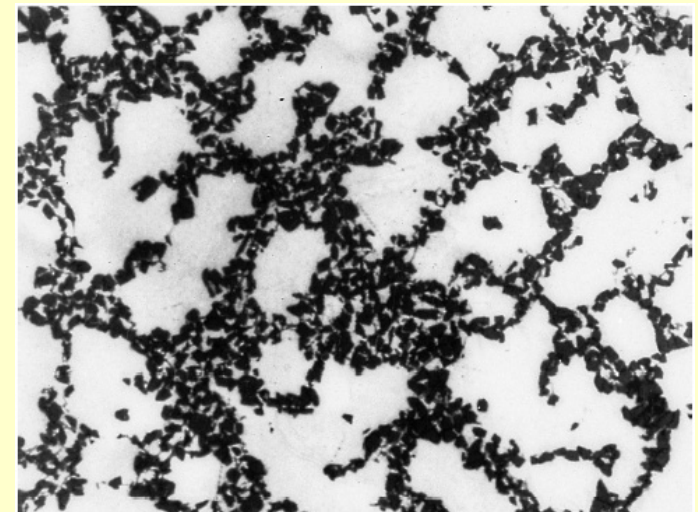
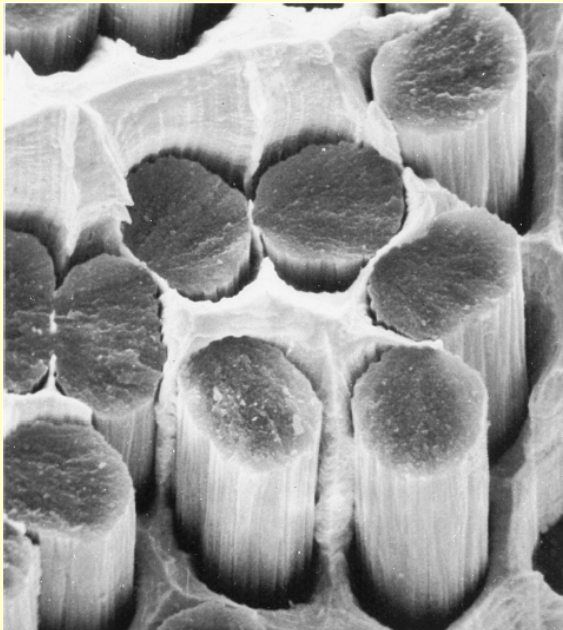
نوع دیگری از کامپوزیت های سازه ای یا به عبارتی، چند سازه های لایه ای، حاوی لایه های فلز (نظیر ورق آلومینیم و فولاد) و کامپوزیت (نظیر کامپوزیت زمینه اپوکسی تقویت شده با الیاف کولار) هستند. انواع معروف و تجاری FML عبارتند از:

- **ARALL (Aramid Reinforced Aluminum Laminate)**
- **GLARE (Glass Laminate Aluminum Reinforced Epoxy)**
- **CARALL (Carbon Reinforced Aluminum Laminate)**



## تصاویر میکروسکوپی از نمونه های کامپوزیتی

***Microstructure of an aluminum casting alloy reinforced with silicon carbide particles.***



**Scanning electron micrograph of the fracture surface of a silver-copper alloy reinforced with carbon fibers.**