کامپوزیت ها (مواد مرکب)
(Composite Materials)

مدرس: دکتر بهزاد نیرومند

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مواد

behzn@cc.iut.ac.ir
niroumand.iut.ac.ir/fa

?

کامپوزیت

- کامپوزیت چیست؟

- چرا به آنها نیاز داریم؟

✓سخت تر شدن روزافزون شرائط کاری مواد و قطعات مهندسی:
تنش، دما، محیط، عمر کاری، وزن، محیط زیست، ...

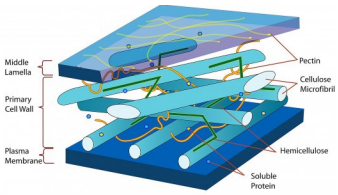
✓ نیاز به مواد جدید با خواص برتر

کامپوزیتهای طبیعی

- برگ درخت نارگیل:
یک سازه معلق،
الیاف تقویت کننده سلولزی
در زمینه بافت چوبی (Lignin)

کامپوزیتهای طبیعی

چوب: الیاف تقویت کننده سلولزی در زمینه بافت چوبی



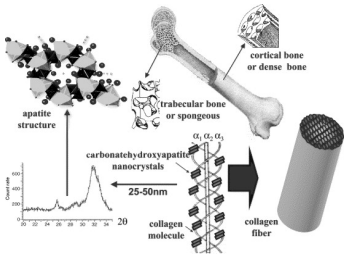
Underlying structure of the wall of a wood cell, showing the substructure of load-bearing cellulose microfibrils

الیاف سلولزی: استحکام کششی بالا، انعطاف پذیری بالا (صلبیت کم)

زمینه چوبی: عامل اتصال الیاف و فراهم کننده صلبیت

همه گیاهان از سلولز، بافت چوبی، تخلخل و مواد معدنی ساخته شده اند

کامپوزیتهای طبیعی



استخوان: رشته های پروتئینی نرم و کوتاه (Collagen) در یک زمینه سرامیکی (Apatite)

ساقه کرفس

کامپوزیتهای ساخت دست بشر

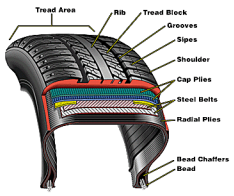
Close-up of an 18th-century Iranian crucible-forged Damascus steel sword.

کامپوزیتهای باستانی:

- **خشتهای گلی تقویت شده با کاه و ساقه گیاهان**
- **شمشیرهای سامورایی و فولادهای دمشقی که از کوبیدن لایه های چدن و فولاد بدست می آمده است**

- **کمانهای مغولی که با ترکیب زردپی گاو، چوب و ابریشم درست می شده است**
- **تخته های چندلا (لایه های چوب و چسب) توسط مصریان قدیم**
- **...**

کامپوزیتهای ساخت دست بشر



کامپوزیتهای جدیدتر:

- دوده در لاستیک
- خاک رس در اپکسی (وسایل ارزان قیمت مثل صندلی)
- سیم ها وتسمه های فولادی در لاستیک اتومبیل
- بتن مسلح در پل ها و ساختمان ها
- الیاف شیشه در رزین: بدنه قایق های تفریحی و مسابقه، قلاب های ماهیگیری، ...
- مخلوط ماسه و سیمان، ماسه و قیر
- اتومبیل های سواری
- هواپیمای بوئینگ ۷۸۷، ایرباس A380، جنگنده های B2، F22، ...،
- ...

کامپوزیتهای مهندسی

- از نظر تحقیقاتی و مهندسی کامپوزیت‌ها مواد جدیدی حساب میشوند.

- تحقیقات متمرکز و هدفدار از سال ۱۹۶۵ میلادی شروع شد

- تخمین سال ۱۹۷۳: ۸۰٪ تحقیقات در مورد مواد کامپوزیتی از سال ۱۹۶۵ انجام شده است.

- اکنون این درصد خیلی بالاتر است.

- کارهای در حال انجام روی کامپوزیت‌ها غالبا جدید هستند.

کامپوزیت های مهندسی

برخی از زمینه های مورد تحقیق:

- بهبود خواص: فیزیکی، مکانیکی، ...
- کاهش وزن
- کاهش مصرف انرژی
- بازیافت و جنبه های محیط زیستی
- اتصال کامپوزیت‌ها
- نانو کامپوزیت‌ها
- بیو کامپوزیت‌ها
- کامپوزیت‌های خودکفا (Autonomous composites):

خود ترمیمی (Self-healing)

خود تمیزشوندگی (Self-cleaning)

خود تقویت شوندگی (Self-reinforced)

- کامپوزیت های حافظه دار
- کامپوزیت های ابررسانا
- کامپوزیت های هیبریدی
- فوم های کامپوزیتی
- کامپوزیت ها مدرج تابعی (هدفمند)
- کامپوزیت های کربن-کربن
- کامپوزیت های لایه ای
- پیش آغشته های کامپوزیتی زمینه فلزی
- ...

- Composite material systems result in a performance unattainable by the individual constituents
- Composites allow performance which is not possible in monolithic materials
- One can tailor-make the material as per specifications of an optimum design
- Designer creates a different material for each application as he pursues savings in weight and cost
- Composites have introduced fluidity to design engineering

"Composite Materials," by K.K. Chawla, Springer-Verlag, 3rd Edition, 2012

تقسیم بندی کلی کامپوزیت‌ها

✓ بر اساس زمینه:

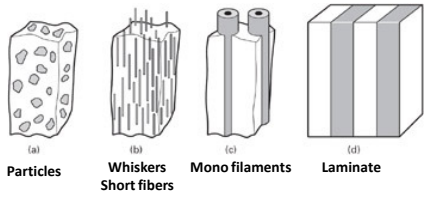
- کامپوزیت‌های زمینه فلزی (Metal Matrix Composite, MMC)
- کامپوزیت‌های زمینه پلیمری (Polymer Matrix Composite, PMC)
- کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی (Ceramic Matrix Composite, CMC)

✓بر اساس نوع ماده تقویت کننده:

- Graphite, Silicon Carbide, Alumina, Boron nitride, Alumino-silicate , Glass, …

✓ بر اساس شکل ماده تقویت کننده:

- Particulate, Fibrous, Wisker, Laminate



Different types of composite materials

Advantages of composites over conventional materials

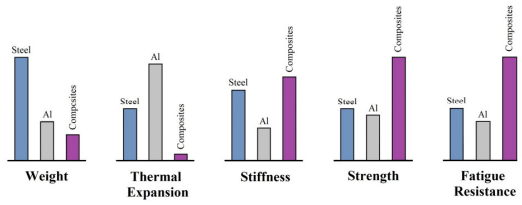


Table 7.1 Typical properties of some commercially available metal matrix composites and other structural alloys

Alloy	Tensile Strength MPa	Elastic Modulus GPa	Specific Gravity	Specific Modulus
6061	310	69	2.68	25.7
7075–T6(Al–Zn–Mg–Cu)	570	72	2.8	25.7
8090–T6(Al–Cu–Li–Mg)	485	80	2.55	31.4
Common structural steel	500	210	7.8	26.9
Ti–6%Al–4% V	950	106	4.4	24.1
A356–T6(Al–Si–Mg)	280	76	2.67	28.5
6061 + 20% SiC	500	105	2.78	37.5
7075 + 15% SiC	600	95	2.90	31.7
8090 + 17% SiC	540	105	2.65	39.5
A356 + 20% SiC	357	98	2.77	35.4

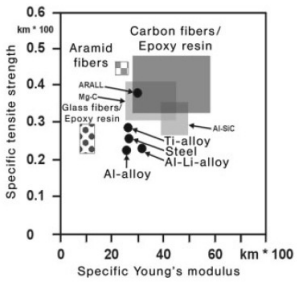


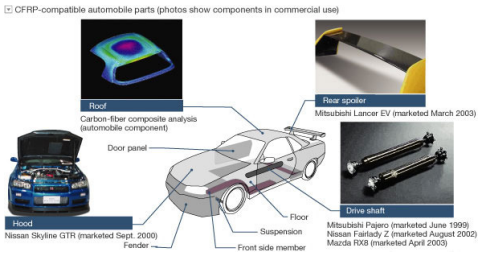
Fig. 1.5 Specific tensile strength and specific Young's modulus of different quasi-isotropic fiber composite materials in comparison to some metal alloys, after [2].

- **Practically everything in this world is a composite material.**
- تعریف کامپوزیت در این درس:
- **It is manufactured**
- **Consists of two or more physically and/or chemically distinct, suitably arranged or distributed phases with an interface separating them**
- **It has characteristics that are not depicted by any of the components in isolation**

"Composite Materials," by K.K. Chawla, Springer-Verlag, 3rd Edition, 2012

مثالهایی از کاربرد مواد کامپوزیتی مهندسی

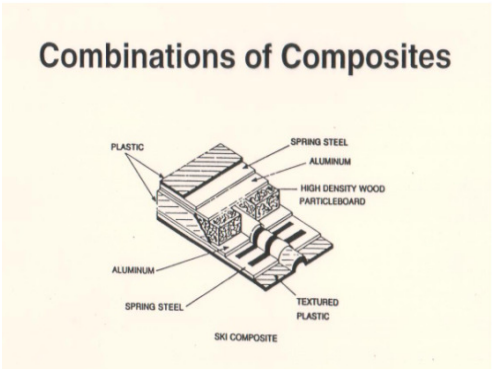
- **Cheetah Flex-Foot Carbon Fiber Reinforced**

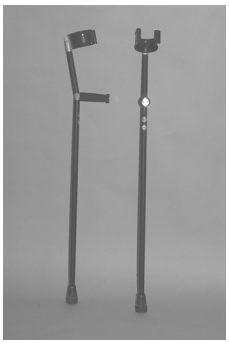


Fiber glass composite cabin

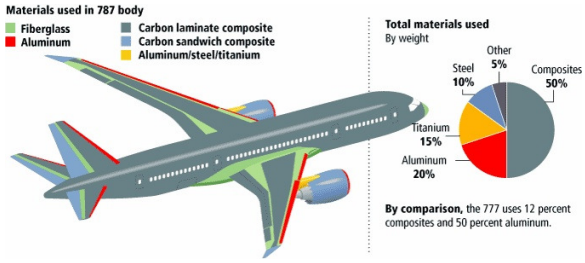
- All-composite bridge in Butler County, Ohio. Factory-constructed primarily using glass fiber, the bridge was trucked to the site and installed in less than one day.

Combinations of Composites





- Carbon/epoxy composite crutch. This crutch is stronger than its aluminum counterpart yet weighs 50% less, is quieter, and is more aesthetically pleasing.



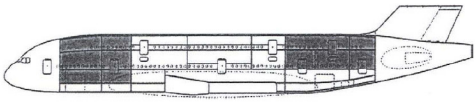


Fig. 7.3 Locations of GLARE laminate sheet in the fuselage of the Airbus A380 passenger aircraft (courtesy Airbus Industrie).

GLARE is comprised of alternating layers of aluminium foils and continuous, unidirectional or biaxially oriented meshes of high-strength glass fibres impregnated with an epoxy resin adhesive.

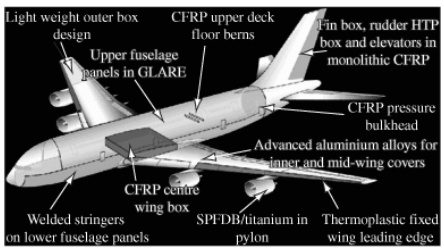
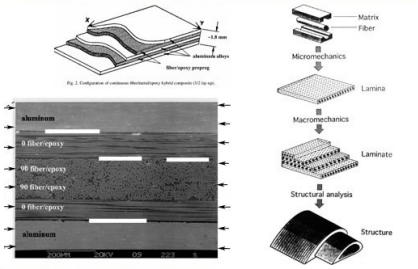
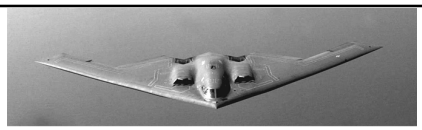
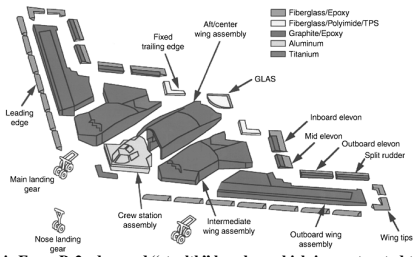


Figure 2. Metal/fiber applications in A380 airplane from Airbus[15].



Composite Materials, 2016, BN, IUT, Iran





The U. S. Air Force B-2 advanced "stealth" bomber, which is constructed to a large extent of advanced composite materials

Composite Materials, 2016, BN, IUT, Iran

- **Exhaust nozzle of an F414 engine on an F-18 E/F aircraft, showing the twelve sets of CMC flaps and seals. The white areas on the seals are a zirconia overcoat for mechanical fasteners. Over an order-of-magnitude increase in life has been obtained with the CMC flaps and seals.**

Composite Materials, 2016, BN, IUT, Iran

MMC cylinder liners

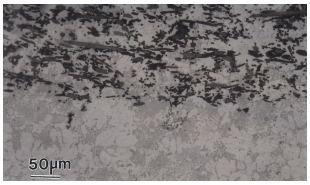
- Cutaway section of the Honda Prelude 2000 cc cast aluminum engine block with integral MMC piston liners. A cross section of the MMC liners is shown in the inset. These piston liners have been in production since 1990.

•Al/Al_2O_3-Carbon (short fibers): 12% Al_2O_3 for wear, 9% carbon for lubricity

•Integrally cast with Al-Si engine block
•Improved wear
•50% the weight of cast iron
•Improved cooling efficiency

Hybrid MMC

Al_2O_3 particle (12%) + carbon fiber (9%)+ Al-Si matrix



Microstructure of cylinder liner used in Honda's Prelude.

Isotropic MMCs

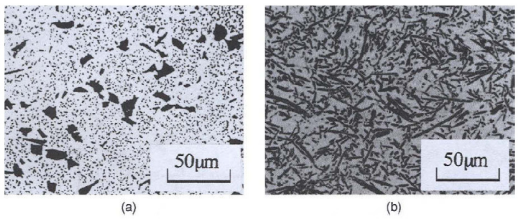
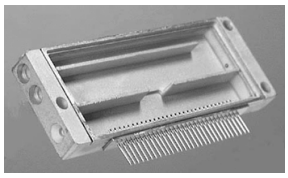


Fig. 7.7 Microstructures of metal matrix composites reinforced with (a) particulates and (b) fibres.

Microwave packaging

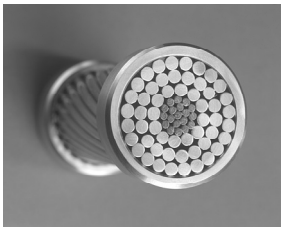


- An AlSiC radio frequency microwave packaging used in commercial low-earth orbit communications satellites (Courtesy of General Electric Company).

3M –Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR)

3M –Aluminum Conductor Composite Reinforced (ACCR)

- Alumina fiber (Nextel 610)/Al core strands.
- Al-Zr alloy outer strands



Cross section of an electrical conductor for power transmission. The core consists of 19 individual wires made from a continuously reinforced aluminum MMC produced by 3M. The MMC core supports the load for the 54 aluminum wires and also carries a significant current, unlike competing steel cores.

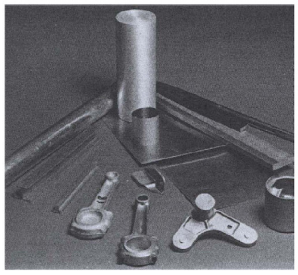


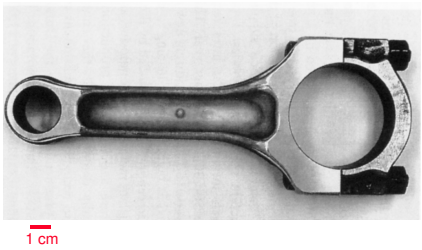
Fig. 7.11 Extrusions, forgings, sheet and a pressure die casting fabricated from DRA (from Willis, T. C., *Metal. & Mater.*, **4**, 485, 1988).

Connecting rod in the automobile engine

SiC_p/Al composites provide high stiffness and weight savings over monolithic materials.

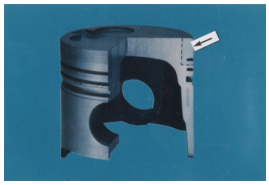
Property requirement: fatigue strength of 210 MPa at 150 °C, 40-60 Hz.

13% weight savings: >10% fuel economy



Diesel engine piston

(Saffil alumina fiber/Al compsite)



Made by squeeze casting

Roller-cone bit for oil drilling

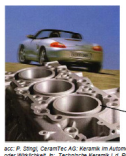
- These inserts of WC/Co perform rock cutting – need good fracture toughness, wear resistance, and thermal fatigue resistance.

Use of MMCs in track shoes

Spikes made of particle reinforced Al MMCs

MMC Applications in Automotive Industry: mainly Particle Reinforcement

Light metal crankcase; particle reinforcement of cylinders and bedplates



acc: P. Stingl, CeramTec AG: Keramik im Automobil - Vision oder Wirklichkeit, in: „Technische Keramik I, d. Presid", Sammelmerkhe 2005, Seib : Verb. d. keram. Industrie, 2005.

Heterogeneous solutions
cast iron & AlSi bushings (Silitec®)

Monolithic solutions
AlSi17Cu4Mg (Alusil®) hypereutectic alloy

Quasi-monolithic solutions
preform infiltration (Lokasil®) & various coatings

Lokasil II®: squeeze casting of Si cylinder liner preform

acc: Kolbenschmidt Pierburg AG, Neckarsulm, 2010

Nikasil®:

Lokasil® bedplate (particle or fiber/particle preform)

Reinforced piston rods and piston; short fiber or particle reinforcements

Piston rod, ZC71/SiC/12p; microstructure after forging

Process: stir casting of billets, hot extrusion and die-forging.

acc: V. M. Kevorkijan: Mg MMC Closed Die Forgings for Automotive Applications, Am. Ceram. Soc. Bull., Feb. 2004

acc: Mahle AG, Stuttgart

acc: Kolbenschmidt AG, 1992

Piston, 20 %vol. Saffil (δ-Al_2O_3) short fiber reinforced aluminium (Al Si12CuMgNi (KS1275) / Saffil / 20sf / squeeze casting)

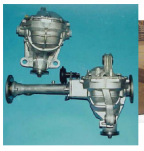
IFKB University of Stuttgart S2P Innovations in Metal Matrix Composite Processing R. Gadow IFKB P-727 slide 8

Application Example – Automotive and other Brake Systems

4'' AccuBond™ Duralcan™ MMC driveshaft ($6061/Al_2O_3/20p$/extruded/T6)

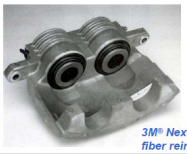
acc: Mark Williams Enterprises, Louisville (CO), USA, 2010

Duralcan™ driveline housing, brake rotor and brake drum (A359/SiC/20p/pmc/T6, and A360/SiC/20p/hpdc/T5)



acc: Alcan Engineered Cast Products, Alcan Inc. (now Rio Tinto Alcan Inc.), Montreal, Canada, 2010

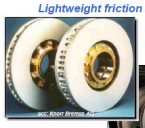
Disc brake caliper with fiber reinforcement



acc: K.-U. Kainer, Magnesium Innovations Centre, Helmholtz-Zentrum Geesthacht

3M® Nextel 610 long fiber reinforced AMC

Lightweight friction applications



acc: Knorr Bremse AG

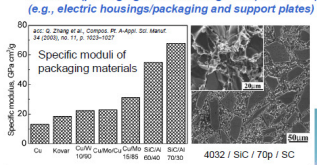
High speed train brake rotors from Duralcan™ Al Si7Mg/SiC_p

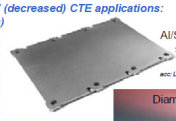
Wenzelburger, Gadow IFKB P-736

IFKB University of Stuttgart S2P Particle Reinforced Light Metal Composites slide 4

Review of MMC Applications

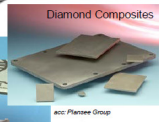
Heat sink (packaging thermal management) and 'low' (decreased) CTE applications: (e.g., electric housings/packaging and support plates)

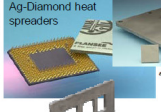




Al/SiC heat sink / spreader plate

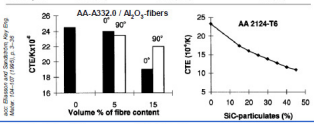
acc: Lamide Electronics





acc: Plansee Group

	Brinell hardness	Bending strength (MPa)	Modulus (GPa)
50% SiCp/Al	188.8(6.0)	422.0(12.6)	148(10.1)
60% SiCp/Al	208.7(5.5)	371.8(10.1)	165(7.3)
70% SiCp/Al	258.0(7.2)	390.7(10.4)	204(8.9)



acc: Ellison and Sandström, Key Eng. Mater. 104-107 (1995), p. 2-36

acc: Ferrotec Ceramics Corp.

AMC with up to 75 %vol. SiC

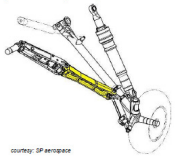
IFKB University of Stuttgart S2P Innovations in Metal Matrix Composite Processing R. Gadow IFKB P-727 slide 10

Application of Continuous Fibre Reinforced MMC in Aerospace Industry

F16 main landing gear (with a MMC drag brace)

courtesy: SP aerospace

The MMC drag brace in front of the reference part made of high strength steel

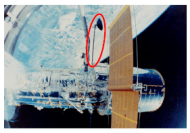


courtesy: SP aerospace

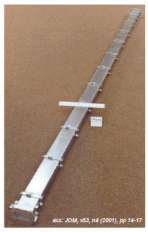
Hubble space telescope antenna mast

Pitch based carbon fiber reinforced 6061 Aluminum mast made of diffusion bonded sheet material; 3.6 meters in length.

- *Light weight component*
- *High elastic modulus and low coefficient of thermal expansion to maintain the position of the antenna during space operations*
- *Wave guide due to excellent electrical conductivity*



MMC mast deployed in the Hubble space telescope



acc. JOM, v53, n4 (2001), pp 14-17

Carbon fiber reinforced MMC mast

IFKB University of Stuttgart S2P Innovations in Metal Matrix Composite Processing R. Gadow IFKB P-727 slide 12

اهداف درس

آشنایی دانشجویان با:

- **ساختار، مشخصات و کاربردهای انواع مختلف کامپوزیت ها و روشهای ساخت آنها با تاکید بر کامپوزیت های زمینه فلزی،**
- **خواص ذرات و الیاف تقویت کننده،**
- **فصل مشترک و مکانیزمهای اتصال بین زمینه و ماده تقویت کننده،**
- **ارتباط بین خواص و ساختار در کامپوزیت ها،**
- **رفتار مکانیکی کامپوزیت ها،**
- **اطلاعات مقدماتی جهت طراحی کامپوزیت ها برای کاربردهای خاص و تخمین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی،**
- **بازیافت کامپوزیت ها،**
- **کامپوزیت های جدید و غیر متداول،**
- **...**

ارزیابی درس:

- تکلیف ها و تحقیق های کلاسی: ۴۰٪

تکلیف های کوچک: زمان تحویل ۲ هفته
تکلیف اصلی: هفته آخر ترم

- امتحان پایان ترم: ۶۰٪

منابع درس

مراجع اصلی:

•"Composite Materials," by K.K. Chawla, Springer-Verlag, 3rd Edition, 2012
•"Metal Matrix Composites" by N. Chawla and K.K. Chawla, Springer, 2006.

مراجع دیگر:

•"Metal Matrix Composites" by K.U. Kainer, Wiley-VCH, 1st Edition, 2006.
•"Fundamentals of Metal-Matrix Composites" by A. Mortensen, A. Needleman, S. Suresh, Butterworth-Heinemann, 1993.
•"An Introduction to Metal Matrix Composites," Edited by Clyne & Withers, Cambridge University Press, 1993.
•"ASM Handbooks, Vol. 21: Composites" by ASM international, 2001.
•"Comprehensive Composite Materials" Edited by A. Kelly and C. Zweben, Elsevier, 2000.
•"Metal and polymer matrix composites" by J.A. Lee, Noyes Data Corp., 1987.
•"Solidification processing of metal matrix composites - Rohatgi honorary symposium" TMS, 2006.
•"Testing technology of metal matrix composites" , Edited by N.R. Adsit and P.R. DiGiovanni, ASTM, 1988.
•"Metal matrix composites and metallic foams", Edite by T. W. Clyne, F. Simancik, Wiley-VCH, 2000.
•"Interfaces in metal matrix composites" by A.G. Metcalfe, Academic Press, 1974.
•مجموعه مقالات، ژورنالها و کتب مرتبط دیگر موجود در کتابخانه

- تکلیف ۱: حل مسائل ۱-۱ تا ۱-۵، فصل اول کتاب

"Composite Materials," by K.K. Chawla, 3rd Edition, 2012

- نام
- دانشگاه محل تحصیل و رشته قبلی
- دروس مرتبط با کامپوزیت که پاس کرده اید
- فعالیت های دیگر مرتبط با کامپوزیت‌ها که انجام داده اید
- علت اخذ و انتظارها خود از این درس

❑ هر چه در مورد کامپوزیت‌ها می دانید بنویسید.