

مواد یا مواد مهندسی مقدمه‌ای بر طبقه‌بندی آموزش مواد مهندسی

جلال حجازی

دانشگاه علم و صنعت ایران

در ابتدا خدا بود و خدا کلمه بود

و

کلمه ماده نبود

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

چکیده: مواد نام عام و وسیعی است که به هر چه از اتم‌ها یا مولکول‌ها تشکیل می‌شود، اطلاق می‌گردد و در این بیان موجودات جاندار و بی‌جان، گاز، مایع یا جامد، زیستی و غیرزیستی را در برمی‌گیرد که در مهندسی مواد فقط بخش کوچکی از آنها استفاده می‌شود. طبقه‌بندی‌های مواد هر چند ویژگی‌های کاربردی مناسبی دارد، ولی از تعریف و بنیان علمی مناسبی برخوردار نیست. در این مقاله، پس از مروری تاریخی بر مواد و طبقه‌بندی‌های آن، مواد مهندسی شامل فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها به صورتی علمی تعریف و ساختار، خواص، حالت و کاربرد آنها مشخص می‌شود. در پایان با پیشنهاد کاربرد واژه مواد مهندسی در رشته‌های مهندسی مواد برای طبقه‌بندی آموزشی آن نیز پیشنهادهایی مطرح می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مواد، مواد مهندسی، مهندسی مواد، مواد سنتزی، عناصر چهارگانه، فلزات، سرامیک‌ها، پلیمرها.

۱. مقدمه

مواد^۱ مایه اصلی رشد، تکامل، امنیت و کیفیت زندگی بشر [که خود سرمایه هستی است] از ابتدای هستی انسان است که هزارها و میلیون‌ها سال قبل از بشر نیز وجود داشته است. با آنکه فقط در چندین دهه اخیر است که پایه‌های علمی دقیق و هوشمندی برای تعریف، توجیه و تشریح آن بنا شده است که امروز می‌توان از پدیده‌هایی با عنوان علم و مهندسی مواد^۲ نام برد، ولی از همان آغاز ظهور انسان هوشمند، موضوع اصلی فکر و اندیشه او را تشکیل می‌داده است تا بر حسب اندیشه زمان خود بیندیشد.

"مواد چه هستند، چگونه هستند، چه خواهند شد و با آن چه می‌توان کرد؟"

مواد نام عام و وسیعی است که به هر چه که ساختار آن از مجموعه اتم‌ها و ملکول‌های عناصر^۳ همگون یا ناهمگون، به صورت ساده، ترکیب، مخلوط یا مجموعه‌ای از آنها تشکیل شده باشد، اطلاق می‌شود و از این رو در یک عبارت ساده ماده می‌تواند به هر چه که جهانی است تعبیر شود و آنچه چنین نیست، ماده نیست.

در یک سکال فلسفی می‌توان گفت که:

"ماده وجود گیتیایی است (فیزیک) و آنچه هست و ماده نیست، وجود مینوی

(متافیزیک) است و آنچه هیچ‌کدام از آنها نیست، موجود نیست."

مواد سازه جهان هستی طبیعی و انسان ساخت است که به شکل‌های گوناگون تجلی می‌کند و با انواع فرایندهای کهن و جدید و انواع روش‌های سنتزی به صورتی دیگر و با خواصی دیگر ظاهر می‌شود، در حالی که موجودیت آن در جهان هستی ثابت است (اصل اول قانون لاوازیه).

هزاران سال مواد مظهر طبقه‌بندی دوره‌های تاریخی بوده است که برخی از آنها بلند است و از چندین ده هزار تجاوز می‌کند و برخی دیگر بسیار کوتاه است و به سرعت جای خود را به دوره دیگر و ماده دیگر سپرده است.

۱. Materials

۲. Materials Science and Engineering

۳. Elements

دوره دیرینه سنگی، دوره نوسنگی، دوره سفال، دوره مفرغ و دوره آهن که زمان‌هایی از پیدایش انسان تا کمتر از دو هزار سال پیش را شامل می‌شوند تا دوره‌هایی نظیر عصر آلومینیم، عصر اتم، عصر نیمه‌هادی‌ها، عصر کمپوزیت و دوره مواد سنتزیک که صدها و دهه‌های اخیر را در بر می‌گیرند.

آن‌گونه که استنباط می‌شود، اینک دوره‌ها کوتاه و سیر دگرگونی‌ها آن‌قدر به هم نزدیک است که اجازه قطعیت یک نامگذاری ساده را برای هیچ ماده یا فرایندی متصور نمی‌سازد و هیچ نامی نیست که هم‌زمان با چند نام دیگر، بیش از یک یا دو دهه، ماندگار شود.

اگر دو میلیون سال تاریخ فعالیت‌های بشری در یک سال شمسی فهرست شود، مشخص می‌شود که عرصه تحولات و شناسایی مواد جدید به‌جای ماه‌ها به روزها و به‌جای روزها به دقیقه‌ها بستگی دارد و زمان وابستگی تحولات به ثانیه‌ها بسیار نزدیک است. جدول ۱ تبدیل دو میلیون سال تاریخ بشری در یک سال شمسی را بر محور توسعه و تحولات مواد نشان می‌دهد [۱].

جدول ۱. ثبت تحولات دو میلیون سال در یک سال شمسی

ماه	روز	ساعت	دقیقه	موضوع
فروردین	۱	۰۰	۰۰	دوره سنگ آغاز می‌شود
تیر	۱	۰۰	؟	انسان راست قامت
اسفند	۱۱	۰۸	۴۰	انسان نئاندرتال - کشف آتش
اسفند	۲۳	۰۱	۴۲	انسان اندیشمند - دوره زبان آغاز می‌شود
اسفند	۲۶	۱۸	۳۰	آغاز دوره نوسنگی
اسفند	۲۶	۲۲	۰۰	آغاز دوره کشاورزی
اسفند	۲۸	۰۵	۴۰	آغاز دوره سفال
اسفند	۲۸	۱۹	۳۰	آغاز دوره فلزات (عصر مس و مفرغ)
اسفند	۲۹	۰۰	۴۵	آغاز دوره چرخ
اسفند	۲۹	۰۲	۱۰	دوره خط آغاز می‌شود

ادامه جدول ۱. ثبت تحولات دو میلیون سال در یک سال شمسی

عصر آهن	۵۰	۰۸	۲۹	اسفند
آغاز سال میلادی	۲۳	۱۵	۲۹	اسفند
هجرت پیامبر اسلام	۵۸	۱۷	۲۹	اسفند
زکریای رازی - علمی شدن شیمی	۲۴	۱۹	۲۹	اسفند
دوره ابن سینا	۵۰	۱۹	۲۹	اسفند
آغاز دوره شیشه	۰۴	۲۰	۲۹	اسفند
ساخت عینک	۵۶	۲۰	۲۱	اسفند
آغاز دوره چاپ - گوتنبرگ	۲۴	۲۱	۲۹	اسفند
تولید فولاد ریختگی	۴۹	۲۱	۲۹	اسفند
کاربرد کک در صنایع متالورژی - انقلاب صنعتی	۵۰	۲۲	۲۹	اسفند
شناسایی آلومینیم	۰۹	۲۳	۲۹	اسفند
تولید صنعتی آلومینیم	۱۹	۲۳	۲۹	اسفند
ساخت اولین اتومبیل	۲۴	۲۳	۲۹	اسفند
ساخت پلیمر به عنوان ماده مهندسی	۲۶	۲۳	۲۹	اسفند
ساخت هواپیما	۳۲	۲۳	۲۹	اسفند
انفجار اولین بمب اتمی - عصر اتم آغاز می شود	۴۵	۲۳	۲۹	اسفند
ساخت تلویزیون	۴۸	۲۳	۲۹	اسفند
عصر فضا آغاز می شود	۴۹	۲۳	۲۹	اسفند
تولید چدن نشکن - کامپیوتر	۵۲	۲۳	۲۹	اسفند
تسخیر کره ماه - تولید کمپوزیت	۵۳	۲۳	۲۹	اسفند
میکروالکترونیک - عصر اطلاعات	۵۵	۲۳	۲۹	اسفند
حساسیت به محیط - ابر رسانه‌ها، نیمه‌هادی‌ها	۵۷	۲۳	۲۹	اسفند
مواد نانو	۵۹	۲۳	۲۹	اسفند
	۰۰	۲۴	۰۰	اسفند

اینک کمتر از یک دقیقه از هزاره سوم میلادی می‌گذرد و ساعت در حال تیک تاک و جهان در حال تغییر است. دقایقی دیگر در کجا هستیم و دامنه مواد تا کجا کشیده خواهد شد؟ آیا تکنولوژی این مخلوق انسان، همچون مخلوق فرانکشتین، سازنده خود را نابود خواهد کرد؟ آیا انسان رستگار خواهد شد؟ لحظه‌ای بیندیشیم.

در این اندیشیدن سؤالاتی مطرح می‌شود که پاسخ درست به آنها رفاه، سلامت، فریادی و رستگاری انسان را تضمین و سهم هر کس و هر جامعه را در این بی‌کرائگی به درستی شناسایی می‌کند.

"چنان دامنه و وسعتی را چگونه باید آموزش داد؟ پرورش در هویت یابی انسان چگونه برنامه‌ریزی می‌شود؟ دامنه تحقیقات در هر طبقه‌بندی تا کجا کشیده می‌شود؟ حق بشر، امنیت، سلامت، هوای سالم و ارتقای انسان در این آموزش، پرورش و پژوهش چه جایگاهی دارد؟"

۲. طبقه‌بندی مواد

شناسایی ریشه و عنصر اصلی تشکیل‌دهنده مواد از یک طرف و طبقه‌بندی مواد از طرف دیگر، همواره مورد توجه، تحقیق و بررسی و نظریه‌پردازی بسیاری از دانشمندان و فیلسوفان بوده است.

تالس، نخستین فیلسوف سستی یونان، آب را ماده‌المواد می‌دانست که از آن خاک، هوا، اشیا و ذیروح مشتق شده‌اند. او به حیات در ماده نیز معتقد بود [۲]. هراکلیوس آتش را مایه اصلی تمام مواد می‌دانست [۳].

فلاسفه بعدی دامنه فرضیات تالس را به پدیده‌های بیشتری گسترش دادند و خاک و باد (هوا) و آتش را نیز ماده اصلی دانستند. آنها معتقد بودند که این عناصر چهارگانه حروف تمام عالم هستند که تمام عبارات، جملات و کتاب‌ها با آنها نوشته می‌شوند [۴].

امپدوکس با نتیجه‌گیری از آرای تمام فیلسوفان پیشین معتقد بود که عناصر چهارگانه دارای نظم معینی هستند که خاک، آب، هوا و آتش به ترتیب بر روی هم قرار دارند و هرگونه تغییری که بر آنها حاصل شود، دوباره به جای نخستین خود برمی‌گردند [۵]. او معتقد بود که مواد هزارگانه در جهان هستی از تضاد بین عناصر چهارگانه حاصل می‌شوند و از [مخلوط و

ترکیب [آنها به وجود می آیند.

ز آغاز باید که دانی درست	سر مایه گوهران از نخست
که یزدان زناچیز، چیز آفرید	بدان، تا توانایی آید پدید
وزو مایه گوهر آمد چهار	بر آورده بی رنج و بی روزگار
یکی آتشی بر شده تابناک	میان باد و آب از بر تیره خاک [۶]

خواجه نصیرالدین طوسی در قرن سیزدهم میلادی در کیفیت وجود عناصر که اصول اند، چنین می نویسد [۷]:

"واجب الوجود تعالی و مقدس به کمال قدرت ازلی و علم لم یزلی، بعد از ایجاد عالم ارواح و ملائکه و افلاک و متحرکات آن در جوف فلک قمر که عالم سفلی است، چهار عنصر بیافرید که اصول مفردات و مرکبات اند که حیث آن عالم کون و فساد است و آن خاک است و آب و هوا و آتش".

طبقه بندی مذکور که در حقیقت طبقه بندی عناصر اصلی است و نه طبقه بندی مواد، به احتمال زیاد از سه صورت طبیعی مواد، جامد (خاک)، مایع (آب) و گاز (هوا) سرچشمه گرفته است و برای آتش (نور) به دلیل جایگاه ویژه آن و ناآگاهی از ماهیت آن سرفصل چهارمی باز شده است. به هر حال، فلسفه عناصر چهارگانه بیش از دو هزار سال پایدار ماند. دموکریتوس، در نظریه پردازی خود، بر اساس دیدگاهی فلسفی و با نگاهی به نظریه و فلسفه اعداد فیثاغورث [و نه بر اساس آزمایش و مشاهده علمی] به اتم (a-tome تجزیه ناپذیر) می پردازد که در خلأ حرکت می کند [۸]. این نظریه دیرپا و دیرنده تا ظهور دالتون و رادر فورد و نظریه اتمی آنها توفیق عمومی نیافت و در حد یک نظریه باقی ماند. هنگامی که اتم به درستی شناخته شد، اولین طبقه بندی علمی مواد بر اساس ساختار اتمی و الکترون های مدار آخر، مواد را به سه گروه فلزات، شبه فلزات و غیر فلزات تقسیم کرد که تاکنون بر عناصر و مواد بر ساخته از آنها به دو صورت مواد فلزی و مواد غیر فلزی اطلاق می شود، هر چند گروه دوم ناگزیر به شاخه های جزئی تری نیز تقسیم می شود.

محمد زکریای رازی که به حق او را بنیانگذار علم شیمی می دانند، مواد (عقاقیر) را به سه

گونه خاکی، گیاهی (رستنی) و جانوری تقسیم می‌کند و چنین می‌نویسد [۹]:

«مواد خاکی شش دسته‌اند: روح‌ها، جسدها (فلزها)، سنگ‌ها، زاگ‌ها، بوره‌ها و نمک‌ها.» وی برای رستنی و جانوری نیز طبقه‌بندی‌های جزئی دوگانه و ده گانه‌ای را نام می‌برد. از طرف دیگر، کلیه مواد را به دو گروه طبیعی (عقاقیر) و ساختگی نیز تقسیم می‌کند که در گروه مواد ساختگی به فلزات (اجساد) و غیرفلزات (غیراجساد) اشاره می‌کند.

با اطلاعاتی که در دست است، طبقه‌بندی یادشده از ابتکارات رازی است و پس از او شیمیدان‌ها و کیمیاگران عموماً این طبقه‌بندی را مراعات می‌کردند. طبقه‌بندی سه گانه خاکی، گیاهی و جانوری [که به صورت طبیعی منشأ جداگانه‌ای دارند]، موجب شد که شیمی کلاسیک به منظور توسعه روند آموزش و پژوهش با ادغام گروه‌های گیاهی و جانوری به دو گروه نیمه‌شیمی کانی و شیمی آلی تقسیم شود که در اولی به مواردی می‌پردازد که از طبیعت بی‌جان ریشه می‌گیرد و در دومی، موادی مطالعه می‌شوند که منشأ اولیه آنها موجود زنده است.

اولی تمام خاک‌ها، اکسیدها و ترکیبات کانی عناصر مختلف فلزی و غیرفلزی را شامل می‌شود و دومی به شیمی کربن - هیدروژن اختصاص دارد که عموماً عناصر دیگری نظیر ازت، اکسیژن و... نیز در آنها وجود دارد.

علاوه بر طبقه‌بندی‌های علمی [یا فلسفی]، از دیرباز مواد به صورت کاربردی و مصرفی نیز طبقه‌بندی شده‌اند که از میان آنها می‌توان به مواد غذایی، مواد دارویی، مواد سوختی، مواد ساختمانی، مواد سازه‌ای، مواد پوشاکی و نظایر آن اشاره کرد که عملاً با توسعه دانش و فناوری و امکان جایگزینی مواد مختلف در کاربردهای گوناگون پیدا کردن ریشه علمی مشترک در میان آنها بسیار دشوار است.

متأسفانه، تعریف دقیق و روشنی از دامنه مواد گوناگون به عمل نیامده است و به همین دلیل، در بسیاری از موارد دامنه علم شیمی با علم مواد و مهندسی مواد تداخل وسیعی پیدا کرده است و به دلیل تحقیقات جدید بر روی موادی که در مقیاس‌های خیلی کوچک از طریق سنتز حاصل می‌شوند، چنین تداخلی با فیزیک نیز وجود دارد.

۳. مواد مهندسی (مواد در رشته‌های مهندسی مواد)

با توجه به تداخل وسیعی که در نوع و دامنه مواد وجود دارد، به نظر می‌رسد که مواد مورد

آموزش در علم و مهندسی مواد باید به طور دقیق و علمی تعریف شوند تا برنامه‌های آموزشی و پژوهشی آن با توجه به سطح دانش جهانی و امکانات آموزش داخلی مشخص شود. در منابع آموزشی و پژوهشی مختلف، هنگامی که از مواد در رشته‌های مهندسی مواد نام برده می‌شود، نظرهای گوناگونی ابراز شده است که از جمع‌بندی و سگالش بر آنها می‌توان تعریف روشنی از این گونه مواد به دست داد.

در تشریح دامنه مواد از مواد مهندسی نام برده شده است تا عملاً دامنه و نوع آنها را محدود سازد [۱۰ و ۱۱]. در این منابع هدف از واژه Materials مواد مهندسی Engineering Materials است.

در منابع دیگر، در بیان مثال‌ها و تعریف‌ها با استفاده از صفت "جامد" برای مواد مورد نظر، در حقیقت در رشته‌های مهندسی مواد، مواد جامد را قابل بحث و بررسی می‌داند و مواد گازی و مایع طبیعی را از دامنه این رشته خارج می‌سازد [۱۲ و ۱۳] و به عبارت دیگر، هدف از واژه مواد در این منابع مواد جامد^۱ است.

در منابع بسیاری بدون اشاره به جامد یا مایع بودن مواد، مواد مهندسی را به سه گروه فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها طبقه‌بندی و در باره آنها مطالعه کرده‌اند [۱۰ و ۱۳]، در حالی که در منابع جدیدتر با حفظ طبقه‌بندی سه‌گانه مذکور، سرامیک‌ها را به دو گروه سرامیک و شیشه و پلیمرها را به دو گروه پلاستیک‌ها و لاستیک‌ها نیز تقسیم کرده‌اند [۱۴].

با توجه به توسعه روزافزون کمپوزیت‌ها و همچنین نیمه‌رساناها، این نوع مواد را نیز به ارکان مواد مهندسی اضافه و آنها را در ۵ یا ۷ گروه فهرست کرده‌اند [۱۰ تا ۱۳].

مسلماً اگر بنیان علمی دقیقی برای چنین طبقه‌بندی‌هایی ارائه نشود، با حضور مواد جدید و با کاربردهای دقیق نظیر فیلم‌های نازک، سنسورها و مواد نانو و زی‌مواد^۲، احتمال تجزیه بیشتر نیز وجود دارد که می‌تواند بنیان‌های برنامه‌ریزی‌های آموزشی در مقاطع اول یا دوم و برنامه‌ریزی‌های پژوهشی در مقاطع دوم و سوم آموزش عالی را با اختلال، موازی شدن و تضعیف پایه‌های علمی و جایگزینی‌های کاربردی روبه‌رو سازد؛ به عبارت دیگر، در حالی که

تعریف، تجزیه و طبقه‌بندی مواد و دامنه آنها به عنوان یک ضرورت مطرح است، تجزیه و طبقه‌بندی‌های جزئی و بر مبنای سلیقه می‌تواند بسیار زیانبار باشد. آنچه از مجموع منابع و طبقه‌بندی‌های یادشده استنباط می‌شود آن است که:

"مواد مورد استفاده در علم و مهندسی مواد به هیچ عنوان نمی‌تواند مشمول واژه مواد به‌طور عام باشد. در حقیقت، آنها بخش بزرگی از مواد هستند که به‌منظور تشخیص و تفکیک از مواد عام و با توجه به تعریف و دلایلی که ارائه خواهد شد، مواد مهندسی نامیده می‌شوند."

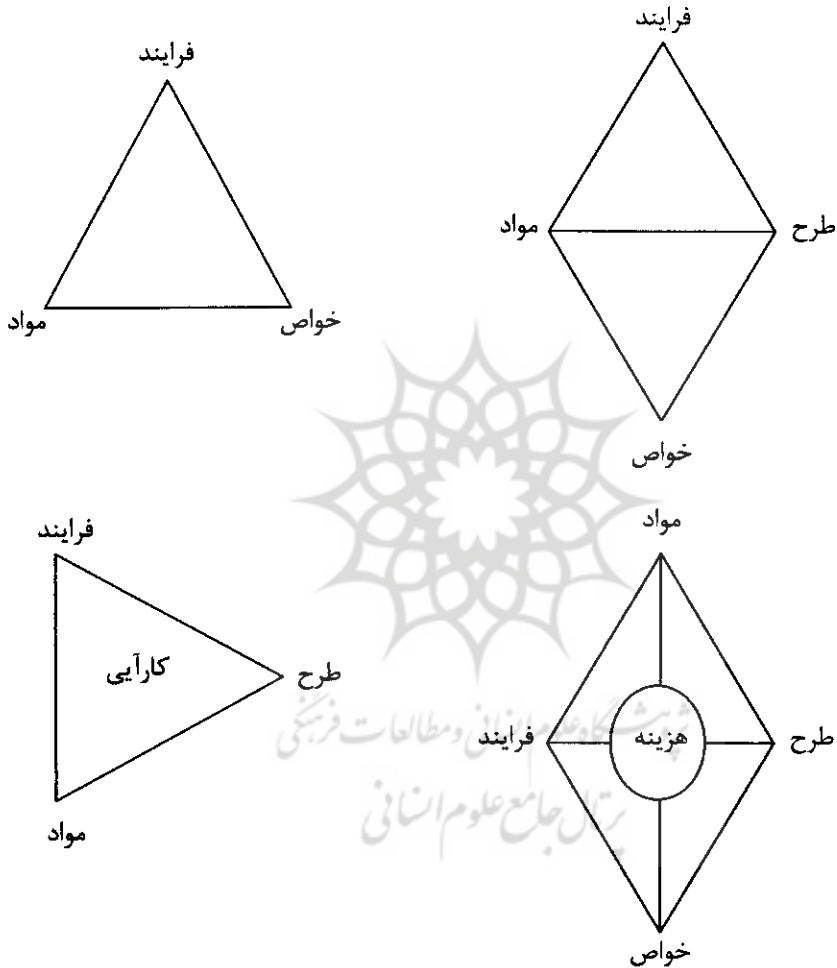
اگر علم مواد با مجموعه دانش‌های برخاسته از شیمی و فیزیک در توجیه و تشریح ارتباط ترکیب ساختار و خواص ثابت مواد تعریف شود، علم و مهندسی مواد در توانایی در ایجاد رابطه تضمین شده، ترکیب و ساختار در ارتباط با طرح (شکل) و فرایندها یا سنتزهای اقتصادی تولید برای رسیدن به خواص تضمین شده تعریف می‌شود [۱۵-۱۴] و بنابراین، مشخص می‌شود که:

۱. مواد مهندسی در کاربرد دارای طرح و شکل معینی هستند و بنابراین، جامدند و مهمترین مشخصه آنها در توجیه ترکیب، ساختار، خواص، طرح و کارایی است و بنابراین، مایع‌ها و گازهای طبیعی را شامل نمی‌شوند، هرچند این مواد در فرایندهای مختلف در فرآوری و ساخت مواد مهندسی کاربرد دارند و با آنها واکنش‌های اصلاحی یا تخریبی انجام می‌دهند.

۲. مواد مهندسی عموماً به عنوان جزئی یا بخشی از بنا، ابزارگان، ماشین و حتی جایگزین بخشی از اندام موجود زنده می‌شوند و کارایی آنها بر اساس عمرکاری محاسبه می‌شود و بنابراین، مصرف شدنی نیستند [خستگی، رفتگی، فرسایش و خوردگی به عنوان بخشی از انتخاب مواد مشمول عنوان مصرف شدنی نیستند، هر چند بعضی از مواد مهندسی نظیر الکترودها، ساینده‌ها و... مصرف می‌شوند].

بنابراین، مواد مصرف شدنی اعم از جامد یا مایع نظیر مواد غذایی، مواد دارویی، مواد پاک‌کننده و مواد سوختی در گروه مواد مهندسی قرار نمی‌گیرند، هر چند سوخت‌ها در

صورت‌های مختلف به عنوان مهمترین عامل تأمین انرژی در کلیه فرایندهای مواد مهندسی کاربرد دارند و باید شناسایی شوند.



شکل ۱. صورت‌های مختلف بررسی مواد مهندسی

۳. مواد مهندسی خواص نهایی خود را در ارتباط با ترکیب، ساختار و فرآوری و ستر باز می‌یابند و بنابراین، نیازمند مجموعه عملیاتی هستند تا در ترکیب‌های مختلف، خواص و

ساختار متفاوتی از آنها حاصل شود و بنابراین، بسیاری از مواد که به صورت طبیعی کاربرد دارند و تحت عملیات تغییر ترکیبی و ساختاری قرار نمی‌گیرند، در گروه مواد مهندسی مطالعه نمی‌شوند.

بنابراین، با توجه به سابقه دیرینه در طبقه‌بندی مواد مهندسی این مواد به سه گروه:

- فلزات، بر ساخته از فرآوری مواد کانی فلزی
 - سرامیک‌ها، بر ساخته از فرآوری مواد کانی غیر فلزی
 - پلیمرها، بر ساخته از فرآوری مواد کربنی (گیاهی و جانوری)
- تقسیم و تمام مواد بر ساخته از آنها نظیر ترکیبات، آلیاژها، کامپوزیت‌ها و مواد نو حاصل از فرآوری آنها را شامل می‌شود [۱۶].



شکل ۲. دامنه مهندسی مواد

هر یک از گروه‌های سه‌گانه مواد مهندسی با توجه به کشف‌های جدید علمی، توسعه فناوری و کشف و ابداع فرایندهای جدید و روش‌های نوستیزی، در دوران حاضر در سه شاخه مواد سنتی^۱، مواد مهندسی^۲ و مواد فرامهندسی^۳ نیز مطالعه می‌شوند که در اولی رسوخ فناوری و علم بسیار کم و محصولاتی با مواد نزدیک به شرایط طبیعی تولید می‌شوند، در حالی که در شاخه مواد فرامهندسی نفوذ دانش و فناوری بسیار زیاد و محصولاتی با ارزش افزوده چندین صد برابر تولید می‌شوند که تجسم مواد آنها در شرایط نزدیک به طبیعت غیرممکن است؛ به عبارت دیگر، مواد مهندسی بر اساس "ماده بری"^۴ یا "دانش‌بری"^۵ طبقه‌بندی شده‌اند. در حقیقت، این تقسیم‌بندی که در دو دهه اخیر جایگاه خاصی را با عنوان‌های مواد پیشرفته^۶ یا مواد نو^۷ به خود اختصاص داده است، بیشتر از آنکه به ماهیت اصلی مواد مربوط شود، به فناوری و دانش‌های پیشرفته مربوط می‌شود. بدیهی است با توجه به پیشرفت‌ها و تحولات علمی و فناوری در آینده و تحت تأثیر کشف‌ها و ابداع‌های جدید شاخه‌های دیگری نیز به آنها افزوده خواهد شد.

۴. اصول علمی شناسایی و طبقه‌بندی مواد مهندسی

آن‌گونه که در مقدمه ذکر شد، طبقه‌بندی مواد بر اساس شکل و ماهیت ظاهری (جامد، مایع و گاز) یا بر اساس ریشه‌های اصلی در طبیعت (کانی، گیاهی و جانوری) یا بر بنیان کارایی و کاربردی سابقه‌ای دیرینه دارد که می‌توان طبقه‌بندی‌های فیزیکی، شیمیایی یا مکانیکی را بر آنها اطلاق کرد و به دلیل تداخل‌هایی که در اثر پیشرفت‌های علمی و فناوری در سال‌های

۱. Traditional Materials

۲. Engineering Materials

۳. Engineered Materials

۴. Materials Intensitive

۵. Science Intensitive

۶. Advanced Materials

۷. New Materials

اخیر حاصل شده است، با حفظ ماهیت طبقه‌بندی‌های یادشده، باید نسبت به تعریف و شناسایی دقیق‌تر آنها اقدام کرد.

۱.۴. طبقه‌بندی بر اساس مدار الکترونی و ساختار اتمی

ساختار اتمی عناصر که در حقیقت پایه‌های اصلی هر گونه طبقه‌بندی محسوب می‌شوند، جدا از ماهیت فیزیکی آنها، عناصر را به دو گروه فلزات^۱ با ۳ الکترون یا کمتر در آخرین مدار ساختار اتمی آن و غیر فلزات^۲ با ۴ الکترون و بیشتر در آخرین مدار ساختار اتمی طبقه‌بندی می‌کند. در این میان عناصری نیز وجود دارند که ممکن است حسب مورد به دو صورت فلزی یا غیر فلزی ظاهر شوند که بر اساس یک توافق عمومی شبه‌فلزات^۳ نامیده می‌شوند. این طبقه‌بندی هر چند برای فلزات و ایجاد رشته متالورژی از بنیان‌های علمی بسیار قوی برخوردار است، ولی برای طبقه‌بندی و مطالعه سایر مواد مهندسی و مواد دیگر کاستی‌های فراوانی دارد.

۲.۴. طبقه‌بندی بر اساس ارتباط اتم‌ها در مجموعه (باند‌های اتصال)

علم شیمی و علم مواد وجود چهار نوع باند اتصال بین اتم‌ها را با عناوین باند فلزی^۴، باند یونی^۵، باند مشترک^۶ و باند واندروالز اثبات و تدوین کرده است که به دلیل شناخت عمومی از توضیح آنها خودداری می‌شود، ولی باید توجه داشت که ماهیت مواد و خواص آنها به مقیاس وسیعی به همین باندها بستگی دارد و در بسیاری از موارد اعمال شرایط فناوری و فرآوری در تغییر و دگرگونی مواد به نوع باند آنها نیز باید توجه شود.

۱. Metallic Elements

۲. Non Metallic Elements

۳. Melloide Elements

۴. Metallic Bond

۵. Ionic Bond

۶. Quvalunt Bond

در هر حال، در یک مجموعه اتمی ناهمگون امکان بیشتر از یک نوع باند وجود دارد، ولی ماهیت طبقه‌بندی بر اساس باند اتصال اصلی انجام می‌گیرد. هر یک از مواد مهندسی و سایر مواد از نظر باندهای اتصال وجوه تمایزی دارند که در ادامه مطالب به آنها پرداخته می‌شود.

۱.۲.۴. باندهای فلزی

این نوع باند که عموماً به گروه‌های فلزی اختصاص دارد، به دلیل وجود کمتر از ۴ الکترون در مدار آخر فلزات به وجود می‌آید که در نتیجه آن، تمام الکترون‌های مدار آخر در مجموعه اتمی به اشتراک گذاشته می‌شود. بنابراین، الکترون‌های مدار آخر نه فقط به دو یا چند اتم همسایه، بلکه به مجموعه اتمی تعلق دارند. این پدیده موجب ضریب هدایت بالا و قابلیت شکل‌پذیری مواد در حالت جامد می‌شود.

مواد فلزی به مجموعه‌هایی اطلاق می‌شود که بخش اعظم اتصال اتمی آنها از نوع باند فلزی است. هر چند سایر باندها نیز به ویژه در مواد برساخته از فلزات نظیر آلیاژها و کمپوزیت‌ها وجود دارد که به ویژه در ماده اخیر امکان نبود یک باند معین بین اجزای سازنده کمپوزیت نیز هست، کمپوزیت‌های زمینه فلزی (MMC)^۱ به دلیل ماهیت ساختار اتمی در این گروه مطالعه می‌شوند.

۲.۲.۴. باندهای یونی

این نوع باند از تبادل و انتقال الکترون‌های مدار آخر از سطح بالاتر انرژی به سطح پایین‌تر بین یک فلز و غیرفلز ایجاد می‌شود که عموماً خاصیت غیر فلزی پیدا می‌کند.

سرامیک‌ها، مواد کانی با خاصیت غیر فلزی هستند که عموماً از ترکیب فلز و غیرفلز و با اتصال یونی حاصل می‌شوند. این واژه از کلمه یونانی Keramikos به معنای نوسوز ساخته شده است. مهمترین مورد استثنا در تعریف مذکور شیشه‌ها^۲ هستند که از ترکیب دو غیرفلز

۱. Metal Matrix Composites

۲. Glass

(سیلیسیم - اکسیژن) و با اتصال اتمی مشترک ساخته شده‌اند و به همین دلیل، در سال‌های اخیر گروه سرامیک به دو شاخه سرامیک‌ها با باند یونی و شیشه‌ها با باند مشترک نیز طبقه‌بندی شده است. ولی با توجه به کاربردهای بسیار زیاد مواد سرامیکی حاصل از ترکیبات چندگانه سیلیسیم SiO_2 یا سرامیک‌های حاصل از اکسید سایر فلزات نظیر Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و... منطقی به نظر می‌رسد که چنین گروه‌بندی‌ای صورت نگیرد و شیشه‌ها فقط به عنوان شاخه‌ای مستقل در گروه سرامیک‌ها بررسی شوند.

کمزیت‌های زمینه سرامیکی (CMC)^۱ عموماً به دلیل ماهیت ساختار اصلی در این گروه مطالعه می‌شوند.

۳.۲.۴. باندهای مشترک

این نوع باند که عموماً بین دو یا چند اتم همسایه در ترکیبات عناصر غیرفلزی حاصل می‌شود، هر چند ممکن است بخشی از مواد و ترکیبات حاصل از مواد کانی را نیز شامل شود (نظیر سیلیس)، ولی عموماً به مواد غیرکانی و باریشه‌های حیاتی اختصاص دارد و مهمترین عامل آن کربن و سایر غیرفلزات و به‌ویژه هیدروژن است.

پلیمرها که در طبقه‌بندی‌های مختلف به صورت پلاستیک‌ها و لاستیک‌ها یا ترموپلاست‌ها و ترموست‌ها ارائه شده‌اند، موادی آلی هستند که از یک اسکلت کربنی همراه با مواد دیگری نظیر هیدروژن، اکسیژن، کلر، فلوئور، گوگرد و ازت در اتصال مشترک ساخته شده‌اند که در بسیاری از موارد نیروهای واندروالز نسبتاً قوی بین ملکول‌های آنها وجود دارد. کمپوزیت‌های زمینه پلیمری (PMC)^۲ نیز در این گروه مطالعه می‌شود.

۳.۴. طبقه‌بندی بر اساس ساختار جامد

مواد مهندسی در آخرین مرحله کاربردی خود جامد هستند و از این رو یکی از مهمترین

۱. Ceramic Matrix Composites

۲. Polymer Matrix Composites

شناسایی‌های علمی، توجیه ساختار جامد است که به سه صورت بلوری^۱، نابلور^۲ و مولکولی^۳ مطالعه می‌شوند.

در ساختارهای بلوری نظم هندسی و پر دامنه‌ای^۴ بین اتم‌ها وجود دارد که بر اساس سلول واحد^۵ و عدد همسایگی^۶ مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در ساختارهای نابلور در حالی که نظم عددی از نظر تراکم و چگالی اتمی وجود دارد، نظم هندسی آنها کم‌دامنه^۷ و سلول واحد مشخصی ندارند و این ساختارها را عموماً بی‌شکل یا آمورف نیز می‌نامند. در ساختارهای ملکولی اساس مطالعه نه بر مبنای تراکم اتمی، بلکه بر اساس زنجیری، حلقوی یا خطی بودن ملکولهاست که عموماً درشت و بسیار بزرگ هستند که مهمترین مشخصه تفکیک مواد کانی از مواد آلی است، هر چند در این گونه ساختارها نیز امکان ایجاد شبکه‌های سه‌بعدی وجود دارد.

ساختار فلزات و سرامیک‌ها عموماً بلوری است. در گروه سرامیک‌ها ساختار شیشه‌ها در بسیاری از موارد نابلور و ساختار پلیمرها به‌طور کلی ملکولی است. در حالی که تبدیل ساختارهای بلوری به ساختار نابلور تحت تأثیر فرایندهای مختلف امکان‌پذیر است، در شرایط فعلی تبدیل ساختارهای بلوری یا نابلوری کانی به ساختارهای ملکولی وجود ندارد.

با توجه به مجموعه مبانی علمی حاکم بر مواد مهندسی مشخص می‌شود که به دلیل ساختار الکترونی، باندهای اتصال و ساختار جامد طبقه‌بندی مواد مهندسی به سه گروه فلزات، سرامیک‌ها (و شیشه) و پلیمرها یا به دو گروه مواد کانی و مواد پلیمری از پایه و جایگاه علمی

۱. Crystalline

۲. Non-Crystalline-Amorph

۳. Molecular

۴. Long Range Order

۵. Unit Cell

۶. Coordination Number

۷. Short Range Order

مطلوب برخوردار است.

۵. اصول طبقه‌بندی آموزش مهندسی مواد

در بخش‌های قبلی اشاره شد که علم مواد در توجیه و تشریح ارتباط ترکیب، ساختار و خواص مواد تعریف می‌شود و مهندسی مواد در توانایی در ایجاد رابطه تضمین شده ترکیب، ساختار در ارتباط با طرح و تحت تأثیر فرایندهای اقتصادی تولید برای رسیدن به خواص تضمین شده تعریف می‌شود. بنابراین، در آموزش مهندسی مواد در حالی که وجوه تمایز و تشابه علمی در طبقه‌بندی مواد مهندسی باید مورد توجه قرار گیرد، به فرایندها، طراحی‌ها و کارایی و کاربری‌ها نیز باید توجه شود تا بنیان‌های محکمی در طبقه‌بندی‌های آموزشی آنها حاصل شود.

در طبقه‌بندی‌های آموزشی و ارائه آموزش در مهندسی مواد باید توجه داشت که سه محور اصلی آموزش مهندسی، توانایی (هدف)، دانایی (فلسفه) و اخلاق (جهان‌پایی) در هر یک از طبقه‌بندی‌ها در محدوده لازم آموزش داده شود.

محورهای دانایی و توانایی بر اساس تحلیل علمی، نوآوری، حل مشکل و طراحی اصولاً بر دو زمینه زیر استوار است [۱۲ و ۱۷]:

الف. مسائل علمی مهندسی (ESP)^۱ که معمولاً جواب مشخص و روشنی دارد.

ب. مسائل انتخابی مهندسی (EJP)^۲ که می‌تواند جواب‌های مختلفی داشته باشد.

موضوع یاد شده بر روند برنامه‌ریزی آموزش مهندسی مواد نیز حاکم است و در مقالات متعددی از نظر هدف، فلسفه و نظام آموزش مهندسی مواد بررسی شده است [۱۶، ۱۷ و ۱۸].

بنابراین، لازم است که بر اساس تطابق‌های علمی و فرایندها و همچنین، سطوح آموزش بالاتر طبقه‌بندی مناسبی برای آموزش مهندسی مواد (مهندسی) پیشنهاد شود تا امکان تحقق تمام زمینه‌های دانایی، توانایی و اخلاق مهندسی در مقطع اول آموزش عالی فراهم و در مقاطع بالاتر به تعمیق، نوآوری و پژوهش در آنها پرداخته شود.

۱. Engineering Science Problems

۲. Engineering Judgement Problems

نحوه طبقه‌بندی مجموعه‌های آموزشی همواره با دو نگرش متضاد و دو جهت‌گیری ناهمسو روبه‌رو بوده است.

در نگرش اول با پذیرش اصل علمی ماهیت مشترک مواد (ساختار اتمی، ساختار ملکولی، باندهای اتصال و شرایط تحقیق و پژوهش در آنها) تمایل به عدم تفکیک و تجزیه گرایش‌های مواد مهندسی در مقاطع اول آموزش عالی وجود دارد و از این رو یک رشته مهندسی مواد با مشترکات فراوان علمی را توصیه می‌کند.

نگرش دوم با پذیرش پاره‌ای از مشترکات علمی به دلیل آنکه فارغ‌التحصیلان باید در عرصه عمل و فناوری به تولید محصول و توسعه کمی و کیفی آنها پردازند، طبقه‌بندی‌های کوچک بر اساس فناوری را توصیه می‌کند (اصل تخصص‌گرایی) و از این رو انواع و اقسام گرایش‌های جزئی متکی بر فرایندها را توصیه می‌کند (ریخته‌گری، شکل‌دادن فلزات، خوردگی، سرامیک‌سازی، شیشه‌سازی و ...)

هر یک از نگرش‌های مذکور، از نظر روند برنامه‌ریزی آموزش، تحقیقات و کاربردهای هدفمند از زیربنای مستدلی برخوردار است که به سهولت نمی‌تواند از منظر برنامه‌ریزی دور شود. مطالعه روش‌های برنامه‌ریزی آموزشی مشخص می‌سازد که نگرش اول بر اساس اصول کلی‌گرایی علمی عموماً در آموزش دوره‌های علوم پایه جهت یافته است، در حالی که نگرش دوم عموماً به آموزش‌های کاربردی نظیر آموزش تکنسینی و مهندسی کاربردی اختصاص می‌یابد. در آموزش گروه اول عموماً تعمیق مطالب و تجزیه آنها در آموزش و تحقیقات مقاطع بالاتر تحصیلات کلاسیک حاصل می‌شود، در حالی که در گروه‌های برنامه‌ای دوم عموماً آموزش‌های غیرکلاسیک به صورت بازآموزی و کارورزی برای تعمیق و ارتقای آموزش‌گره کار می‌رود. در یک عبارت کلی، محور اصلی آموزش در برنامه‌ریزی گروه اول دانایی است و محور اصلی آموزش گروه دوم ایجاد توانایی بر اساس تکرار و مهارت است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

از مجموع توضیح‌های مذکور مشخص می‌شود که در آموزش علم و مهندسی مواد (مهندسی)، هیچ‌یک از طبقه‌بندی‌های دوگانه یادشده نمی‌تواند کامل و نتیجه‌بخش باشد، زیرا از یک طرف مبانی علمی جز در موارد بنیان‌های علمی برخاسته از شیمی - فیزیک مشترکات

کمتری دارند و از طرف دیگر، فرایندهای تولید بسیار گسترده و متنوع است و امکان طبقه‌بندی بر اساس فرایندها در سطح مهندسی و کارشناسی بسیار هزینه‌بر است و از کارایی مطلوب برخوردار نیست.

از نظر مبانی علمی و مشترکات علمی وجه مشترک تمام شاخه‌ها علوم فیزیک و شیمی است که در مورد پلیمرها شیمی آلی نقش اساسی دارد و در مورد سرامیک‌ها و فلزات نقش شیمی معدنی بسیار زیاد است. اختلاف روندهای تولید سرامیک‌ها و فلزات نیز بسیار زیاد است و به همین دلایل، اصل اول بر طبقه‌بندی مواد مهندسی و اصول آموزشی آنها طبقه‌بندی بر اساس اصول و بنیان‌های علمی است که در این حالت آموزش مواد مهندسی از همان ابتدای مقطع تحصیلی اول (کارشناسی) به سه گرایش اصلی زیر تقسیم شود:

۱. متالورژی (فلزات)

۲. سرامیک‌ها

۳. پلیمرها

در هر یک از این گرایش‌ها، سه محور اصلی دانایی، توانایی و اخلاق باید مورد توجه قرار گیرد.

در این حال، شرایط طبقه‌بندی زیر رعایت می‌شود:

الف) در دوره کارشناسی دروس گرایش‌های مواد مهندسی در پنج زمینه اصلی به شرح زیر می‌تواند تنظیم شود.

۱. دروس علوم پایه: به منظور ایجاد زمینه‌های اولیه دانایی برای تمام گرایش‌ها با هدف و جهت کلی دانایی در مواد مهندسی برنامه‌ریزی و اجرا شود (ریاضیات، فیزیک، شیمی و...).

۲. دروس عمومی: برای ارتقای سطح اخلاق مهندسی برای تمام گرایش‌ها اجرا شود (تاریخ هنر و صنعت، تاریخ تکامل مواد و چرایی‌های آن، اقتصاد مواد مهندسی، روان‌شناسی صنعتی و...).

۳. دروس اختصاصی: به منظور ایجاد دانش مشترک برای دو یا سه گرایش با تکیه بر ماهیت کاربرد و تولید مواد مهندسی برنامه‌ریزی و اجرا می‌شود (ترمودینامیک، پدیده‌های انتقال، مکانیک جامدات، شیمی فیزیک، علم مواد و کریستالوگرافی). این دروس قطعاً

باید به سمت مهندسی جهت داده شوند و از آموزش صرفاً علمی آنها پرهیز شود، چنانچه روند آموزش این دروس نمی‌تواند به صورت مشترک در هر سه گرایش جهت مهندسی پیدا کند و می‌توان آنها را به صورت مجزا برای گرایش‌های مختلف و در گروه دروس تخصصی گنجانید.

۴. دروس تخصصی: این دروس مجموعه موضوع‌های حاکم بر رشته به منظور ایجاد دانایی، توانایی و اخلاق مهندسی را در هر یک از گرایش‌های مواد مهندسی شامل می‌شود و باید به گونه‌ای طراحی شوند تا امکان ارتقای تخصصی در مقاطع بالاتر در همان گرایش را حاصل نمایند.

نکته حایز اهمیت در دروس، زمینه‌های ۳ و ۴ ارتباط نزدیک و منسجم آنها با فعالیت‌های آزمایشگاهی، کارگاهی و پروژه است. این موضوع تجدیدنظر کامل در دروس و برنامه‌های فعلی را ایجاب می‌کند.

۵. دروس عملی و اجرایی: شامل پروژه‌های مستقل و پایانی، کارورزی و کارآموزی است که به دلیل ضعف فراوان در سیستم‌های آموزشی ایران نیازمند برنامه‌ریزی تحقیقی جداگانه‌ای است.

۶. تحقیق و پژوهش: بخش مهمی از برنامه‌های دوره‌های آموزشی الزاماً باید به تحقیق و پژوهش اختصاص یابد که سهم آن در مقطع اول نسبتاً کم و در مقطع سوم (دکتر) حتی می‌تواند تمام محتوای دوره را شامل شود. مهمترین زمینه‌های همیشگی تحقیق در مواد را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- مواد نیز نظیر کانی‌ها دارای ویژگی‌هایی هستند که زمینه‌های تحقیقی و توسعه‌ای آنها را شدت می‌بخشد و به همین دلیل است که تحقیقات مواد از بنیادی‌ترین آن (فیزیک) تا کاربردی‌ترین آن (تولید)، همواره به عنوان اصلی‌ترین زمینه تحقیقاتی وجود داشته و هیچ‌گاه دچار تزلزل و افت نشده است و به همین دلایل باید در برنامه‌های آموزش عالی مورد نظر قرار گیرد.

- همان‌گونه که عناصر با خواص شیمیایی تقریباً ثابت، ساختار اتمی و ایزوتوپ‌های گوناگون دارند، همان‌گونه که بسیاری از عناصر ساختار بلوری و آلوتروپی‌های متفاوت دارند و همان‌گونه که در بسیاری از مواد خواص ایزوتروپی (همسویی) و آنیزوتروپی

(چندسویی) وجود دارد، مشخص می‌شود که خواص و دامنه کاربرد مواد نه فقط به ماده اصلی، بلکه به ساختار نهایی آنها بستگی دارد که از پر دامنه‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی آموزشی و نوآوری محسوب می‌شود.

- سه ویژگی عمده مواد (مخلوط، ترکیب و محلول) و نحوه اتصال اتم‌های عناصر مختلف به یکدیگر از بزرگترین عرصه‌های نوآوری و بهسازی در مواد شناخته شده است. بسیاری از مواد جدید فقط از طریق فناوری و تحقیق در ارتباط عناصر با یکدیگر ساخته شده‌اند. این موضوع از زمانی که جهان را با موادی بسیار محدود می‌ساختند و تا امروز که عرصه مواد کمپوزیت، نانومواد و بیومواد است، ادامه داشته است و پس از آن نیز ادامه خواهد یافت و از این رو بر خلاف کانی‌های طبیعی که تمام شدنی هستند، وسعت مواد و ظهور مواد جدید بی‌پایان است و عجیب‌تر آنکه تمام موادی که هزاران سال پیش کشف شده و توسعه یافته‌اند، امروزه در کنار جدیدترین منابع و مواد در نیازهای زیستی به کار می‌روند و مواد نوین امروزی فقط چند سال یا چند دهه، جدید باقی می‌مانند و جای خود را به مواد جدید دیگر می‌سپارند و این دور پایان‌ناپذیر همچنان عرصه تحقیقات و فناوری در مواد را پر دامنه می‌سازد.

- وابستگی ساختاری، طراحی، فرایند و ماده برای رسیدن به خواص مطلوب از مهمترین زمینه‌های تحقیقی در مواد است که حتی از سستی‌ترین و قدیمی‌ترین مواد، مواد جدید می‌سازد [چدن نشکن از خانواده چدن‌ها]، [مواد هوشمند از مس و آلومینیم]، [ابررساناها، سنسورها و...] و این در حالی است که مواد سنتز شده از طریق فرآوری اتم با اتم زمینه‌های جدید و وسیع دیگری را حاصل می‌کند.

- عرصه تحقیق برای دانش فنی و تولید اقتصادی مواد نیز از زمینه‌های مهم تحقیقاتی مواد محسوب می‌شود که باید به آنها توجه شود.

ب) ادامه تحصیل در دوره‌های بالاتر، در همان گرایش اصلی، امکان‌پذیر و از حرکت از یک گرایش به شاخه‌های تخصصی گرایش دیگر حتی الامکان جلوگیری شود [مگر آنکه دانشجویان و داوطلبان از زیربنای علمی و کاربردی کافی از دروس اختصاصی و تخصصی کامل برخوردار باشند].

به منظور حصول کامل این بند لازم است در آزمون پذیرش دانشجویان در دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترا از نظر دروس و موضوع‌های مورد آزمون تجدیدنظر به عمل آید.

ج) در یک برنامه‌ریزی جامع بر محور سه گرایش مذکور، زمینه‌های اصلی مقاطع تحصیلی بالاتر مشخص و روشن شود تا نیازهای کشور از یک طرف و حضور در عرصه علمی جهانی (مشارکت جهانی در تولید علم) از طرف دیگر، امکان‌پذیر شود. در این حال می‌توان گرایش‌های بعدی را هم از نظر نوع مواد مهندسی (زی‌مواد، کمپوزیت‌ها، ابررساناها و...) و هم از نظر روندهای تولید (ریخته‌گری، شکل‌دادن، استخراج و...) و هم از نظر خواص کاربردی طبقه‌بندی کرد.

د) پذیرش دانشجو در دوره اول نه بر اساس گرایش‌ها، بلکه با عنوان مهندسی مواد انجام شود تا دانشجویان پس از طی مجموعه‌ای از دروس پایه، عمومی، اختصاصی و حتی تخصصی با آگاهی کامل و بر حسب قابلیت‌های علمی و توانایی‌های مهندسی گرایش خود را انتخاب کنند.

ه) با توجه به رسوخ مبانی علمی و همچنین، ایجاد توانایی‌های مختلف در مهندسی مواد و نقش اساسی مواد مهندسی در ارتقای صنایع و علوم و ایجاد زمینه‌های لازم برای پذیرش دانشجویان رشته‌های مهندسی مواد پیشنهاد مطرح شده در مقاله نظام آموزشی مهندسی مواد [۱۶] مجدداً تکرار و توصیه می‌شود که آموزش مهندسی مواد (مواد مهندسی) به صورت کارشناسی ارشد پیوسته برنامه‌ریزی شود. در صورت پذیرفته شدن این اصل می‌توان برنامه‌های آموزش مهندسی مواد را به گونه‌ای طراحی کرد که دانشجویان بر اساس موفقیت‌های کسب شده امکان حضور مستقیم در دوره کارشناسی ارشد را بیابند و در صورت موفقیت امکان ادامه تحصیل آنها در دوره دکترا وجود داشته باشد و دانشجویانی که به هر عنوان نمی‌توانند حایز شرایط کارشناسی ارشد باشند، مدرک کارشناسی دریافت کنند و امکان تحصیل آنها در مقاطع بالاتر محدود شود.

مراجع

۱. گزارش پنجاه و هفتمین کنگره جهانی ریخته‌گری اوزاکا - ژاپن، سال ۱۹۹۰، مجله ریخته‌گری، سال ۱۲، شماره ۴، سال ۱۳۶۹.
۲. فردریک کاپلسن، تاریخ فلسفه، ترجمه سیدجلال‌الدین مینوی، جلد اول، قسمت اول، مرکز انتشارات علمی - فرهنگی، سال ۱۳۶۲.
۳. جرج سارتون، تاریخ در علم، ترجمه احمد آرام، جلد اول، انتشارات امیرکبیر، سال ۱۳۵۷.
۴. جان برنال، علم در تاریخ، ترجمه اسدپور میرانفر، جلد اول، بخش دوم، انتشارات امیرکبیر، سال ۱۳۵۴.
۵. پی‌یر روسو، تاریخ علم، ترجمه حسن صفاری، جلد اول، انتشارات امیرکبیر، سال ۱۳۵۸.
۶. شاهنامه فردوسی، به تصحیح ژول مول، جلد اول، انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی، سال ۱۳۷۰.
۷. خواجه‌نصیرالدین طوسی، تنسوخ نامه ایلخانی، به تصحیح مدرس رضوی، انتشارات اطلاعات، سال ۱۳۶۳.
۸. موريس دوکسن، ماده و ضد ماده، ترجمه فرزانه، سازمان نشر فرهنگ انسانی، سال ۱۳۴۴.
۹. محمد زکریای رازی، کتاب الاسرار (رازهای صنعت و کیمیا)، ترجمه و تحقیق حسنعلی شیبانی، انتشارات دانشگاه تهران، سال ۱۳۷۱.
10. R. Flin, P. Trojan, Engineering Materials and their Applications, Houghton Uifflin Company, 1986.
11. R.L. Timings, Engineering Materials, Longman Scientific and Technical Pub., 1991.
12. W.D. William and Jr. Callister, Materials Science and Engineering, John Weily and Sons, 1994.
13. Materials Science and Engineering, World Science Report UNESCO Publishing, 1996.

14. Materials Science and Engineering, Fort 1990's Research Councilite Report, 1989.
 15. The Key to the Future of Materials: Interdisciplinary, L.V. Azaraff, JOM Feb. 1991.
 ۱۶. جلال حجازی و همکاران، «پیشنهادی برای نظام آموزش مهندسی مواد»، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، شماره ۲، سال اول، ۱۳۷۸.
 ۱۷. نامه فرهنگستان علوم، «فلسفه و اهداف آموزش مهندسی مواد»، شماره ۲، سال دوم، سال ۱۳۷۴.
 ۱۸. جلال حجازی، «مهندس و مهندسی»، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، شماره ۱۳، سال چهارم، بهار ۱۳۸۱.
 ۱۹. و.ف. کانل، تاریخ آموزش و پرورش در قرن بیستم، حسن افشار، نشر مرکز، سال ۱۳۶۸.
- (تاریخ دریافت مقاله: ۸۲/۴/۱۱)