مقاله مروری

فناوری پلیمر ایران

فصلنامه علمی
سال ششم، شماره ۴، شماره پیاپی ۲۴، زمستان ۱۴۰۰
Vol. 6, No. 4, Issue No. 24
Winter 2021, Quarterly
صفحه ۶۱-۵۱

Iran Polymer Technology: Research and Development

تاملی در برنامه درسی کارشناسی مهندسی بسپار در نظام آموزش عالی ایران: بهره‌گیری از رویکرد CDIO در تربیت مهندس

علی عباسیان*، بیتا کاظمی‌نژاد

۱ تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، استادیارگروه نفت و مهندسی شیمی

۲ تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانش‌آموخته رشته مهندسی پلیمر

چکیده ...

شکل‌گیری رشته مهندسی بسپار (پلیمر) در دنیا، از یک سو خاستگاه‌های صنعتی داشته و از سوی دیگر به واسطه تلاش‌های پژوهشگران دانشگاهی این حوزه بوده است. اما مسئله اصلی این است که به دلیل همین پراکندگی و فصل مشترکی که حوزه بسپار با سایر حوزه‌ها داشته، برنامه‌های آموزشی ارائه شده در دانشگاه‌ها در این حوزه عموما به صورت گرایشی از علوم دیگر بوده و تنها در چند دهه اخیر بوده است که این رشته به صورت مستقل در دانشگاه‌های دنیا ارائه شده است. همزمان مباحث دیگری نیز برای بازاندیشی رشته‌های مهندسی توسط ابتکاراتی مانند CDIO (کوته‌نوشت concieve (درک)، Design (طراحی)، Implement (پیاده‌سازی) و Operation (اجرا)) مطرح شده است که تمرکز را از پژوهش‌محوری به عملی شدن منتقل کرده است تا به این ترتیب شرایط تربیت نیروی انسانی متخصص برای صنایع فراهم شود. این مطالعه ابتدا با بررسی تاریخچه شکل‌گیری رشته مهندسی بسپار در دانشگاه‌های دنیا، حوزه‌های گوناگون آن را شفاف کرده و با بهینه‌کاوی ۶۱ برنامه آموزش مهندسی بسپار یا گرایش‌های آن از دانشگاه‌های سراسر دنیا حوزه‌های فعلی آموزش بسپارها و همچنین اهداف یادگیری مهندسی بسپار را مشخص کرده است. سپس با انجام یک پیمایش میدانی در میان اساتید دانشکده‌های مهندسی پلیمر، شیمی و مواد دانشگاه‌های ایران، اهداف آموزش بسپار در ایران به لحاظ مطلوبیت (در نیازمندی‌های صنعت) و انطباق (با سرفصل‌های آموزشی فعلی) گردآوری شده است. در نهایت با توجه به نتایج این بررسی‌ها، پیشنهادهای لازم برای بهبود برنامه درسی یکپارچه آموزش مهندسی پلیمر در ایران، از دو منظر ساختار و گرایش‌ها و هم‌چنین انطباق محتوا با اهداف آموزشی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی:

آموزش بسپار،
علوم و مهندسی بسپار،
اهداف یادگیری مهندسی بسپار،
ابتکار CDIO،
برنامه درسی یکپارچه.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:
abbasian.a@srbiau.ac.ir

۱ مقدمه

علوم بسپاری نسبت به علوم دیگر تاریخچه کوتاه‌تری دارند اما به سبب کاربردهای گسترده در حوزه‌های مختلف، سرعت رشد این علوم نسبت به علوم دیگر قابل توجه بوده است. هر چند خاستگاه اصلی بسپارها از صنعت بوده، اما می‌توان گفت عمده رشد و گسترش مفاهیم آن در دانشگاه‌ها و انجمن‌های علمی شکل گرفته است.

آموزش بسپار در بسیاری از دانشگاه‌ها ابتدا به صورت واحدهای درسی محدود با محتوای بسپار بوده (و هست) و سپس بخش بیشتری از برنامه درسی دانشگاهی به بسپارها اختصاص یافت که البته هم‌راستا با نیازهای صنعت توسعه یافته است؛ برای نمونه در آلمان به دلیل دانش ناکافی دانش‌آموختگان شیمی در حوزه بسپارها، در حالی که تقریباً یک سوم از آن‌ها در حوزه بسپارها مشغول به کار می‌شوند، یک برنامه دو ساله کارشناسی ارشد علوم بسپار با همکاری میان چهار دانشگاه آلمانی طراحی شده است (Theato, P, 2015). در همین راستا، مسئله‌ای که در دهه‌های اخیر در آموزش مهندسی به صورت عمومی مورد توجه قرار گرفته، نظری شدن بیش از اندازه آن بوده که سبب می‌شود دانش‌آموختگان رشته‌های مهندسی، مهارت‌ها و توانایی‌های عملی کافی را برای پیشبرد نیازهای صنعت کسب نکنند. از این رو چارچوب‌های جدیدی مانند CDIO برای بازطراحی برنامه‌های آموزش مهندسی مطرح شده‌اند که قابل انطباق با همه رشته‌های مهندسی هستند (Crawley, Edward, et al, 2007). این امر در کنار نوپا بودن رشته‌ی مستقل مهندسی بسپار که در دنیا از دل دانشکده‌های مختلف مهندسی شیمی، نساجی، مواد و بعضا مکانیک یا رشته‌های پایه‌ای مثل شیمی و فیزیک و زیست شناسی رشد کرده است، فضایی فراهم کرده که گفتگو در مورد طراحی رشته مهندسی بسپار نیز در کنار تبیین دقیق حوزه‌های آن و مطرح شدن آن به عنوان یک رشته دانشگاهی مستقل را باز کند.

این مقاله در کنار بهینه‌کاوی گستره و اهداف یادگیری رشته مهندسی/علوم بسپار در کشورهای مختلف در مقطع کارشناسی و با نگاهی به اصول CDIO برای طراحی یک رشته مهندسی با توجه به اصل دروس تخصصی این حوزه برای تربیت هدف‌دار مهندسان بسپار سعی دارد پیشنهادی در جهت ایجاد زیرساختی مناسب برای رشته مهندسی بسپار در ایران فراهم کند.

۲ شکل‌گیری رشته مهندسی بسپار در دنیا

حوزه علوم بسپار حوزه‌ای میان‌رشته‌ای است که شکل‌گیری، رشد و گسترش آن در قرن گذشته قابل توجه بوده است. به همین ترتیب افرادی که در حوزه بسپارها فعالیت می‌کنند طیف گسترده‌ای از دانشگرها، مهندس‌ها، فناوران و صنعت‌گران بسپار را شامل می‌شوند. پیش از مطرح شدن بسپارها در دانشگاه‌ها، این مواد در صنعت کاربردهای فراوانی داشتند. به همین جهت نخستین پایه‌های ایجاد رشته علوم و مهندسی بسپار در دانشگاه‌ها به واسطه تلاش‌های اولیه در صنعت شکل گرفته‌است و خاستگاه بسیاری از رشته‌های دانشگاهی مهندسی بسپار در امریکا در شهرهایی بوده که به عنوان قطب صنعتی شناخته شده‌اند؛ مانند شکل‌گیری رشته مهندسی مکانیک بسپارها در دانشگاه اکرون حول صنعت تایر، شکل‌گیری رشته علوم بسپار دانشگاه میسی‌سی‌پی جنوبی حول صنعت نفت و آموزش بسپار در کره جنوبی که بر حوزه‌های مشخصی در تولید مواد اولیه پلاستیکی و لاستیکی متمرکز بوده‌است (Theato, 2015). در برزیل نیز وضعیتی مشابه در خصوص هم‌جواری عمده دانشگاه‌ها با پتروشیمی‌ها وجود دارد (dos Santos et al, 2015). با این حال ممکن است در معدود مواردی مانند استرالیا تمرکز بر آموزش بسپار مبتنی بر پژوهش باشد (Fellows, 2015).

شکل‌گیری علوم بسپارها به صورت رسمی با فعالیت‌های انجمن فارادی، انجمن پیشروی شیمی‌فیزیک در اوایل قرن بیستم آغاز شد (Patterson, 2012). در اواخر دهه ۱۹۲۰ و اوایل دهه ۱۹۳۰، دانشگاه‌هایی بودند که تنها تعدادی واحد درسی در حوزه بسپارها ارائه می‌دادند. دهه ۵۰ شاهد توسعه برنامه‌های بسپار در دانشگاه‌های اکرون، کیس‌وسترن و ماساچوست لوول و تشکیل گروه‌های تخصصی‌تری در دانشگاه‌های میسی‌سی‌پی جنوبی، کارولینای شمالی، MIT و استیونز حول ارتباط با صنعت بوده است. تلاش‌های دیگری هم در دانشگاه‌های پرینستون، ویسکانسین و بسیاری دانشگاه دیگر در دانشکده‌های شیمی برای توسعه بسپارها در واحدهای درسی شده است (Salamone, 1973).

رشد بعد دانشگاهی بسپارها تا حد زیادی با تلاش‌های هرمن مارک آغاز شد و ادامه یافت. مارک در دهه ۱۹۴۰ به بروکلین نیویورک آمد و فوراً یک برنامه برای آموزش شیمی بسپارها تدوین کرد. افزون بر تدریس یک واحد درسی پایه برای معرفی شیمی بسپارها، مارک گردهمایی‌های علمی هفتگی را ترتیب داد که در آن از دانشمندان پیشرو برای سخنرانی دعوت می‌کرد. با گسترش فعالیت‌های مارک در حوزه بسپارها، در سال ۱۹۴۶ سرانجام بخشی تحت عنوان پژوهشکده بسپار در موسسه پلی‌تکنیک بروکلین تأسیس شد که به قطب آموزش و پژوهش بسپار تبدیل شد و دانشمندان بسیاری جذب این پژوهشکده شدند (Carraher et al, 2008).

از جمله گام‌های موثر دیگر در آموزش مهندسی بسپار، تشکیل کمیته برنامه‌ریزی آموزش مهندسی بسپار در امریکا (PolyEd) بود که در نشست پاییز انجمن شیمی آمریکا در سپتامبر ۱۹۷۴ انجام شد (Salamone, 1973) و همچنین فراخوان رئیس انجمن شیمی آمریکا در سال ۱۹۷۵ که توجه جامعه علمی را به کمبود واحدهای درسی بسپار جلب کرد که در نهایت سبب تشکیل رشته مهندسی بسپار به صورت مستقل در دانشگاه‌ها شد (Carraher et al, 2008).

۲-۱ آموزش مهندسی بسپار در ایران

رشته مهندسی بسپار در ایران برای اولین بار در دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه پلی‌تکنیک در سال ۱۳۵۴ در مقطع کارشناسی ارشد به نام مهندسی نساجی و پلیمر شکل گرفت. پس از آن از سال ۱۳۵۸ به صورت یک گروه مستقل مهندسی پلیمر در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد درون دانشکده مهندسی شیمی رشد کرد و از ۱۳۶۸ به صورت یک دانشکده مجزا به نام مهندسی پلیمر در دانشگاه صنعتی امیرکبیر ادامه مسیر داد و بعدا در سایر دانشگاه‌های ایران تکثیر شد. البته این رشته به صورت یک گرایش از مهندسی شیمی (دانشگاه صنعتی اصفهان و تهران) یا مهندسی مواد (دانشگاه صنعتی شریف) و نیز در گرایش شیمی نساجی حیات فعال داشته است. اما به‌رغم این استقلال سرفصل‌های آموزشی مهندسی بسپار در ایران تا حدود زیادی حداقل تا سال ۱۳۹۴ متاثر از رشته مهندسی شیمی بوده است و گرچه پس از آن در بازنگری‌ها تا حدودی اصلاح شده اما جای بهبود فراوان دارد.

مطالعاتی که پیشتر بر روی برنامه درسی رشته مهندسی شیمی در ایران انجام شده نیز نشان می‌دهد میان نیازهای صنعت و برنامه درسی خلاءهایی وجود دارد و پرداختن به معضلات جهانی در قالب برنامه درسی می‌تواند به همگام‌سازی دانشگاه با پژوهش‌های به‌روز دنیا کمک کند (مقدس و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین برای بهبود برنامه آموزشی مهندسی شیمی در ایران، ارائه راهکارهایی درباره افزودن واحدهای درسی جدید، پروژه‌های طراحی و تحقیق پژوهش به منظور رفع نیازهای صنعت و عملی شدن ماهیت رشته مهندسی شیمی پیشنهاد شده است (گودرزی و همکاران، ۲۰۱۱).

۲-۲ بهینه‌کاوی سرفصل‌ها و محتوای آموزشی رشته‌های مهندسی بسپار

این بهینه‌کاوی به منظور شفاف شدن حوزه‌های گوناگون بسپار در دانشگاه‌های دنیا انجام شده است که در آن ۶۱ برنامه آموزشی از دانشگاه‌های سراسر دنیا در حوزه بسپارها مورد بررسی قرار گرفتند. به این منظور ابتدا دانشگاه‌ها در سه دسته تفکیک شدند:

الف) رشته‌های مهندسی بسپار

ب) رشته‌های علوم بسپار

پ) رشته‌های مهندسی یا علوم با گرایش بسپار

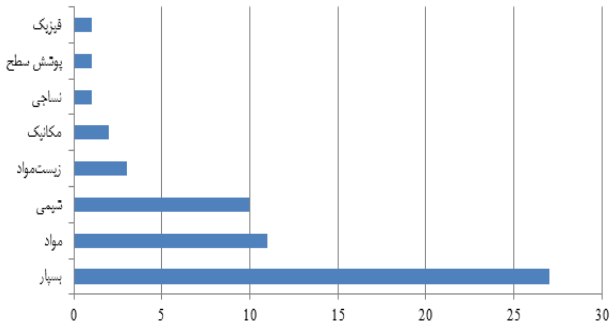
اطلاعات این دانشگاه‌ها به تفصیل در پیوست ۱ آمده است.

بر اساس نتایج این بهینه‌کاوی، آن چه ابتدا توجه را جلب می‌کند، تعداد زیاد رشته کارشناسی مهندسی بسپار در امریکا است. پس از امریکا بیشترین رشته‌های حوزه بسپارها در مقطع کارشناسی مربوط به آسیا و پس از آن نیز به ترتیب اروپا و استرالیاست (نک. جدول ۱). در واقع می‌توان گفت عمده دانشگاه‌های اروپایی با درجه علوم و در مقطع کارشناسی ارشد به حوزه بسپارها ورود کرده‌اند. رویکرد دانشگاه‌های آسیایی، مانند نمونه کره‌جنوبی، در طراحی رشته‌ها عمدتا در نظر گرفتن

جدول ۱ تعداد برنامه‌های آموزشی دانشگاه در حوزه مهندسی بسپار، علوم بسپار و گرایش بسپار در مقطع کارشناسی*.

قاره	رشته‌های مهندسی بسپار	رشته‌های علوم بسپار	رشته‌های با گرایش بسپار**	مجموع
امریکا	۷	۵	۱۵	۲۷
اروپا	۱	۳	۳	۷
آسیا	۲۳	۰	۰	۲۳
استرالیا	۰	۰	۴	۴
مجموع	۳۱	۸	۲۲	۶۱

* رشته‌های بررسی شده در جدول فوق بر اساس اطلاعات در دسترس در اینترنت گردآوری شده است. هم‌چنین لازم به ذکر است به‌رغم وجود دانشگاه‌های (دولتی و آزاد) بسیاری که در ایران رشته مهندسی بسپار را در مقطع کارشناسی ارائه می‌کنند، از آن‌جایی که برنامه درسی آن‌ها واحد است و به صورت متمرکز از جانب وزارت علوم تدوین شده است، در این آمار برنامه آموزش دانشگاه حوزه بسپار در ایران را تنها یک مورد در نظر گرفته‌ایم. **رشته‌های با گرایش بسپار شامل رشته‌های حوزه‌های نزدیک به بسپار (مانند شیمی، مواد و ...) است که تعداد قابل توجهی واحد درسی در حوزه بسپار دارند. در همین رابطه در چین دانشگاه‌های بسیاری بین ۳ تا ۶ واحد درسی حوزه بسپار در برنامه‌های بسیاری ارائه کرده‌اند که این موارد نیز در آمار فوق در نظر گرفته نشدند.



نمودار ۱. پراکندگی گرایش‌های ارائه شده در رشته‌های مقطع کارشناسی حوزه بسپارها.

نیازهای صنعت بوده است و بیش‌ترین تعداد رشته‌های مهندسی بسپار را در آسیا مشاهده می‌کنیم که عمده آن‌ها در کشورهای کره، هند و مالزی ارائه شدند که صنایع وابسته به مواد بسپاری دارند.

بررسی دانشکده‌های ارائه‌دهنده رشته‌های مهندسی بسپار، علوم بسپار و رشته‌های علوم یا مهندسی با گرایش‌های بسپار نشان می‌دهد که دانشکده‌های خاستگاه رشته مهندسی بسپار به ترتیب دانشکده‌های علوم و مهندسی مواد و دانشکده‌های شیمی یا مهندسی شیمی و پس از آن حوزه‌های زیست‌مواد، مکانیک، نساجی، پوشش سطح و فیزیک بوده‌اند (نک. نمودار ۱).

۳ اهداف یادگیری در آموزش مهندسی بسپار

۳–۱ اهداف عمومی آموزش مهندسی بسپار

اهداف یادگیری مهندسی به صورت عمومی توسط موسسات ارزیابی آموزشی که مسئولیت اعتباربخشی به برنامه‌های آموزش مهندسی در دانشگاه‌ها را برعهده دارند، تدوین شده‌اند. این اهداف سپس می‌توانند به صورت خاص برای هر رشته مهندسی به بروندادِ یادگیری تفسیر شوند. موسسه اعتباربخشی آموزش مهندسی –ABET در آمریکا از معتبرترین موسسات اعتباربخشی برنامه‌های آموزش مهندسی در دنیاست که بسیاری از دانشگاه‌ها از آن پیروی می‌کنند و اهداف آموزش مهندسی را تعریف کرده است (ABET, 2017). موسسات مشابه دیگری نیز مانند موسسه IOM3 با مجوز شورای مهندسی در اروپا، ارزیابی برنامه‌های آموزش مهندسی، در این مورد خاص برنامه‌های آموزش مهندسی مواد، را برعهده دارند و به صورت مشابه اهداف آموزش مهندسی را تعریف کرده‌اند (IOM3, 2019).

۳–۲ بهینه‌کاوی اهداف آموزش مهندسی بسپار در دنیا

اهداف ارائه شده توسط دانشگاه‌هایی که رشته‌های مهندسی بسپار را در مقطع کارشناسی ارائه کرده‌اند بهینه‌کاوی شده‌اند تا به این ترتیب اهداف آموزش بسپار در دانشگاه‌های دنیا شفاف شود. در این بررسی، چهار دانشگاه که رشته‌های مهندسی در مقطع کارشناسی بسپارها ارائه می‌کنند، از امریکا، اتریش و هند بر اساس اهمیت دانشگاه و دسترسی به اطلاعات انتخاب شدند (نک. جدول ۲).

ابتدا با توجه به قلمرو بحث در این مقاله آن دسته از اهداف یادگیری ABET که مربوط به یادگیری دانش و مهارت بودند انتخاب و خلاصه شدند (با حذف موارد مهارت‌های شخصی و میان‌شخصی) و سپس میزان انطباق بروندادهای یادگیری در هر یک از چهار دانشگاه ذکرشده با اهداف ABET ارزیابی شد (نک. جدول ۳).

همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است، اهداف یادگیری در تمام دانشگاه‌ها، انطباق خوبی با اهداف یادگیری دارند. همه این دانشگاه‌ها اهمیت توانایی به‌کارگیری دانش را در سه

جدول ۲ دانشگاه‌های مورد بررسی در بهینه‌کاوی اهداف آموزش مهندسی.

دانشگاه	کشور	رشته
دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا (Pennsylvania University, n.d.)	امریکا	کارشناسی مهندسی بسپار و پلاستیک
دانشگاه اکرون (Akron University, n.d.)	امریکا	کارشناسی مهندسی مکانیک بسپار
دانشگاه مونتان (Montan Universitat, n.d.)	اتریش	کارشناسی فناوری پلاستیک
دانشگاه صلح جهانی MIT (MIT WP University, n.d.)	هند	کارشناسی مهندسی بسپار (۴ گرایش)

جدول ۳ انطباق اهداف آموزش مهندسی ABET و اهداف دانشگاه‌های مورد بررسی.

	اهداف یادگیری ABET					
	مهارت به‌کارگیری ابزار و روش‌ها	دانش فنی به‌روز	دانش میان‌رشته‌ای	طراحی سامانه / فرایند	طراحی و اجرای آزمایش، تحلیل و تفسیر داده‌ها	به‌کارگیری دانش پایه و فنی
دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا	■		▒	■	■	■
دانشگاه اکرون	■	■	■	▒	■	■
دانشگاه مونتان	■		▒	■	▒	▒
دانشگاه MITWP	■	■	■	■	■	■

حوزه علوم پایه، ریاضیات و مهندسی در اهداف یادگیری خود در نظر گرفته‌اند و توانایی به‌کارگیری ابزار و روش‌ها، طراحی سامانه، فرایند و هم‌چنین آزمایش‌ها به همراه توانایی تحلیل و تفسیر داده‌ها را در اولویت قرار دادند. نکته جالب دیگر عدم در نظر گرفتن مسئله به روز بودن دانش فنی در دو دانشگاه مونتان و پنسیلوانیا (به معنای در نظر گرفتن واحدهای درسی با موضوعات خاص و به روز) است.

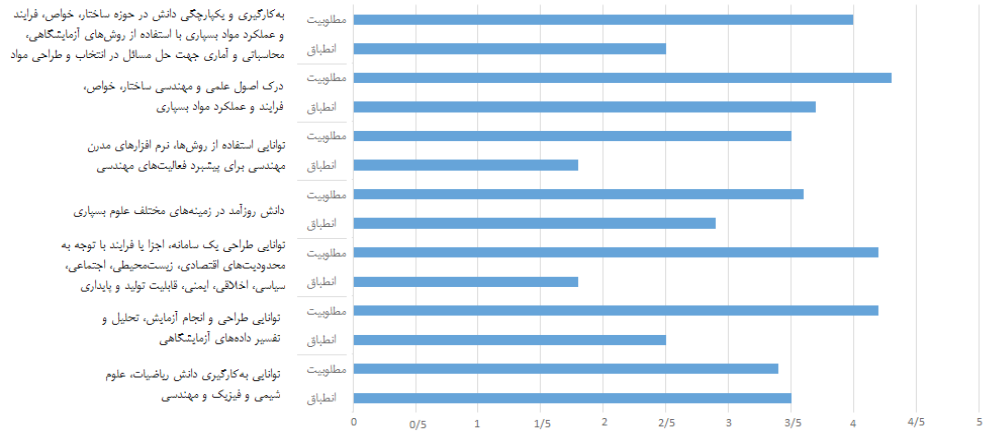
در میان این چهار دانشگاه، دانشگاه MITWP هند و دانشگاه اکرون امریکا بیشترین میزان انطباق اهداف را دارند. در حالی که دانشگاه پنسیلوانیا صرفا به انطباق سطحی اهداف ABET در حوزه بسپارها اکتفا کرده است (مثلا: طراحی سامانه، اجزا و یا فرایندها برای مسائل حوزه پلاستیک و بسپار)، سه دانشگاه دیگر اهداف را با جزئیات خاص‌تری متناسب با رشته بسپار تعریف کرده‌اند (مثلا: توانایی طراحی روش‌هایی جهت توسعه مواد و کاربردهای جدید از طریق به‌کارگیری دانش برساخت بسپارها، سینتیک واکنش‌ها، ارتباط ساختار و خواص، روش‌های آزمون و شناسایی به همراه اصول شارش‌شناسی (رئولوژی) بسپارها، فرآوری، طراحی محصول و ابزار با در نظر گرفتن الزامات ایمنی و زیست‌محیطی).

۳-۳ اهداف یادگیری مهندسی بسپار در ایران

برنامه‌های آموزشی دانشگاه‌ها در ایران توسط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تدوین می‌شوند و بنابراین دانشگاه‌ها نمی‌توانند به صورت مستقیم نقشی تعیین‌کننده در تعیین اهداف آموزشی خود داشته باشند. از طرفی لزوم تفویض اختیار برای بازنگری و عدم تمرکز در این فرایند به‌عنوان عامل مهمی در ارتقای کیفیت برنامه‌های آموزش مهندسی در ایران مطرح شده است (معماریان، ۲۰۱۳). در وضعیت فعلی آموزش عالی ایران، بیانیه‌ای برای تعیین اهداف آموزشی از سوی کارگروه برنامه‌ریزی درسی مدون نشده است و از سویی برنامه‌ریزی متمرکز و عدم وجود آزادی عمل دانشگاه‌ها در تغییر چارچوب برنامه آموزشی، نسبت به برنامه سراسری تنظیم شده از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، سبب شده است دانشگاه‌ها نتوانند به تنهایی متناسب با نیاز منطقه یا کشور تغییراتی در برنامه ایجاد کنند و الزام هماهنگی از سرعت تغییرات برنامه‌ها متناسب با تحولات بیرونی کاسته است.

در این پژوهش برای بررسی وضعیت موجود به لحاظ میزان انطباق سرفصل‌های درسی فعلی رشته مهندسی بسپار، یک پیمایش میدانی برای گردآوری اطلاعات مبتنی بر مصاحبه با متخصصان با استفاده از پرسشنامه انجام شد که جامعه آماری در نظر گرفته شده برای این پژوهش، با توجه به بهینه‌کاوی صورت گرفته در بخش ۲، از میان طیف متنوعی از استادان دانشکده‌های پلیمر، مهندسی شیمی و مواد در ایران انتخاب شدند؛ به دو دلیل عمده: ۱) آشنایی با نظام آموزش عالی در ایران و تسلط بر مفاهیم پایه رشته مهندسی بسپار/و یا در ارتباط با این رشته، ۲) آشنایی با الزامات بازار کار در ایران و نیازمندی‌های تربیت مهندس بسپار. به این منظور پرسشنامه‌ای با توجه به اهداف عمومی آموزش مهندسی ABET و هم‌چنین با استفاده از خروجی بهینه‌کاوی اهداف آموزش مهندسی بسپار در دانشگاه‌های دنیا (در بخش ۳-۲) طراحی شد که یازده هدف آموزش مهندسی بسپار را فهرست کرده‌است (نک. پیوست ۳) و اساتید دانشگاه در دو سطح میزان مطلوبیت هدف نسبت به نیازمندی‌های صنعت و بازار کار و انطباق هدف با سرفصل‌های فعلی برنامه آموزش مهندسی در ایران اهداف را رتبه‌بندی کردند. هم‌چنین این امکان نیز برای پاسخ‌دهنده فراهم بوده است که در صورت لزوم اهداف دیگری به این فهرست اضافه کند.

در این پیمایش پرسشنامه از طریق رایانامه برای ۲۰ نفر از اساتید گروه مهندسی پلیمر، مهندسی شیمی و مواد ارسال شد که از این میان ۱۵ پرسشنامه به صورت کامل پر شد. نتایج حاصل از این بررسی در نمودار ۲ و ۳ مشخص شده است. همان‌طور که مشخص است بیشترین اختلاف در انطباق مربوط به هدف «ایجاد توانایی طراحی یک سامانه، اجزا یا فرایند با توجه به محدودیت‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، سیاسی، اخلاقی، ایمنی، قابلیت تولید و پایداری» است. از منظر بیشتر اساتید ایجاد چنین توانایی مطلوب‌ترین نیازمندی در بازار کار است که در عین حال کمترین انطباق را با سرفصل‌های درسی فعلی دارد. در رتبه بعدی بیشترین اختلاف میان وضعیت



نمودار ۲ نتایج پیمایش نظرسنجی اساتید پیرامون اهداف عمومی ABET در آموزش کارشناسی مهندسی بسپار در ایران.

موجود و مطلوب به ترتیب اهداف زیر قرار دارند:

– توانایی طراحی قالب و انتخاب ماشین‌آلات فرایند تولید محصولات بسپاری؛

– توانایی استفاده از روش‌ها و نرم‌افزارهای مدرن مهندسی برای پیشبرد فعالیت‌های مهندسی؛

– توانایی طراحی و انجام آزمایش و تفسیر و تحلیل داده‌های آزمایشگاهی؛

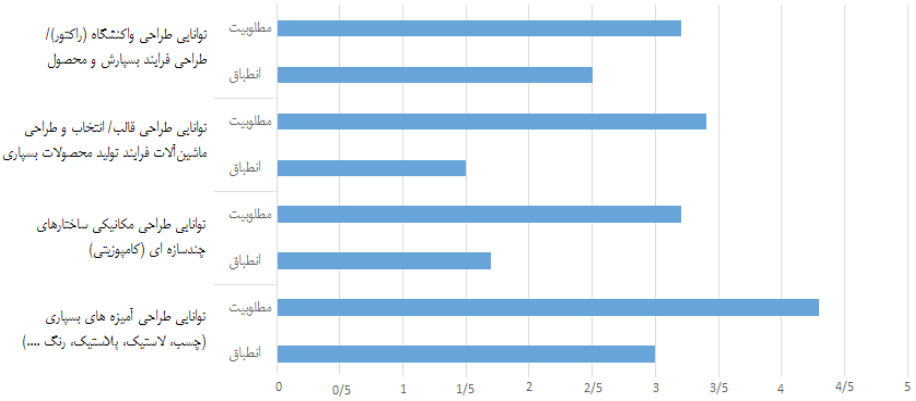
– توانایی طراحی مکانیکی ساختارهای چندسازه‌ای (کامپوزیتی).

از سوی دیگر همان‌طور که در نمودار ۲ مشخص است، اهداف «توانایی طراحی آمیزه‌های بسپاری (چسب، لاستیک، پلاستیک، رنگ)» و «درک اصول علمی و مهندسی ساختار، خواص، فرایند و عملکرد مواد بسپاری» بیشترین مطلوبیت را نسبت به نیازمندی‌های بازار کار دارند. به نسبت اهمیت این دو هدف از منظر اساتید، ایجاد توانایی طراحی آمیزه کمتر در سرفصل‌های درسی پوشش داده شده است اما هدف درک اصول عملی و مهندسی ساختار و خواص و عملکرد بسپار به لحاظ انطباق با سرفصل‌ها در وضعیت نسبتا خوبی قرار دارد. در عین حال به نظر تمام اهداف ذکرشده در پرسشنامه از منظر اساتید مطلوبیتی بیش از میانگین داشته‌اند و این در حالی است که در مورد انطباق سرفصل‌ها چنین وضعیتی وجود ندارد و چهار مورد از یازده مورد به لحاظ انطباق رتبه ۲.۵ یا کمتر از آن را کسب کرده‌اند. به بیان دیگر عدم انطباق سرفصل‌های درسی کارشناسی مهندسی بسپار دست کم در اهداف ذکر شده (که از منظر اساتید دانشگاه مطلوبیت بالایی برای ایران دارند) بسیار زیاد است. اهدافی که بیشترین انطباق را با سرفصل‌های درسی دارند شامل توانایی به‌کارگیری دانش ریاضیات، علوم شیمی و فیزیک و مهندسی، توانایی طراحی آمیزه‌های بسپاری و درک اصول علمی و مهندسی ساختار، خواص، فرایند و عملکرد مواد بسپاری است.

البته در این پرسشنامه نکته‌ای در نظر گرفته نشده است و آن این که اگر قرار باشد تمام این اهداف مطلوب را جزو برنامه درسی رشته مهندسی بسپار در ایران قرار دهیم آیا ساختار ۱۴۰ واحدی امکان تامین این اهداف را فراهم می‌کند؟ طبیعی است که در این مورد باید در مجالی عملی به هنگام برنامه‌ریزی دروس در کارگروه‌های برنامه‌ریزی تصمیم گرفته شود، عجالتا می‌توان گفت که روی چه اهدافی توافق بین استادان وجود دارد و در هنگام برنامه‌ریزی شاید بتوان برخی را در مقطع کارشناسی‌ارشد و برخی را در مقطع کارشناسی تامین کرد، ولی ارزیابی این که هر هدف با چه ساختاری باید تامین شود در تعیین ریسه‌های درسی هر هدف باید دیده شود که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود.

۴ رویکرد CDIO در طراحی رشته کارشناسی مهندسی بسپار: برنامه درسی یکپارچه

علت این‌که برون‌داد برنامه‌های آموزش مهندسی امروز پاسخ‌گوی نیازهای صنعت نیست، نه اصول مهندسی، بلکه نظری شدن ماهیت آموزش مهندسی است که خلأ میان نیازمندی‌های صنعت و خروجی دانشگاه ایجاد کرده است. بنابراین برای تدوین برنامه‌های آموزش مهندسی در چارچوب جدید نیازمند ابزارهای نوین هستیم. رویکرد CDIO مبتنی بر همین استدلال، چارچوبی جامع برای طراحی برنامه آموزش مهندسی به دست می‌دهد که قابل انطباق بر اهداف آموزش مهندسی است. هر



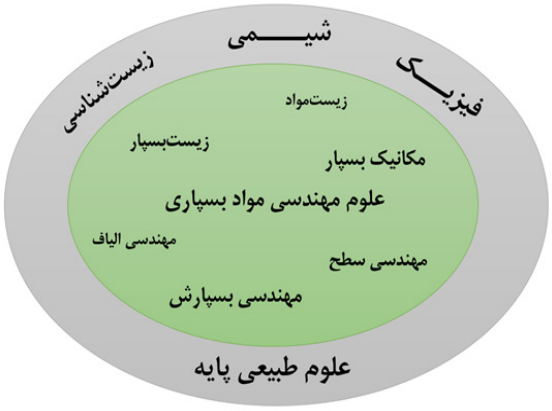
نمودار ۳ نتایج پیمایش نظرسنجی اساتید پیرامون اهداف طراحی در آموزش کارشناسی مهندسی بسپار در ایران.

چند رویکرد CDIO به مباحث گسترده‌ای در حوزه طراحی برنامه آموزشی مهندسی پرداخته (Crawley, Edward, et al, 2007) اما ما در اینجا متناسب با موضوع مقاله، تنها از یکی از ایده‌های اصلی آن یعنی «برنامه درسی یکپارچه» بهره برده‌ایم.

در طراحی دروس تخصصی CDIO بر لزوم ارتباط و یکپارچگی میان واحدهای درسی در یک برنامه آموزشی تأکید می‌شود تا یک ریسه مفهومی منطقی و یکپارچه یک یا چند هدف یادگیری را محقق کند (منظور از ریسه درسی، توالی چند درس مختلف در طول ترم‌های دانشگاهی است که در نهایت سرجمع منجر به ایجاد توانایی طراحی یا اجرای یک هدف در برنامه درسی را فراهم کند). به این منظور CDIO ابزارها و الگوهایی را در اختیار ما قرار می‌دهد که برای طراحی برنامه آموزشی، پروژه‌های عملی در بستری از دانش نظری قرار می‌گیرند (Crawley, Edward, et al, 2007).

اگر فرض کنیم که ریسه‌های درسی باید منجر به یادگیری اهداف آموزش مهندسی بسپار شوند، بر اساس نتایج بررسی انجام شده در بخش ۳-۳ (نک. نمودار ۲ و ۳) باید این گونه برنامه‌ریزی کنیم که یکی یا تعدادی بیشتری از ۴ هدف اصلی مندرج در نمودار ۳ (هدف مطلوب از دید استادان) مبنا قرار بگیرند و برای آن‌ها ریسه‌هایی طراحی شود که اهداف نمودار ۲ را نیز در بر بگیرد. یعنی ضمن این که مهندسان به اهداف نمودار ۳ (در توانایی طراحی) دست می‌یابند، بتوانند اصول علمی و مهندسی علوم پایه مرتبط را نیز بفهمند و امکان تحلیل نتایج آزمایشگاهی مرتبط را نیز داشته باشند. از این رو ابتدا روی این اهداف و ریسه‌های آن‌ها بحث می‌شود که آیا امکان درج همه آنها در یک مقطع کارشناسی وجود دارد یا خیر و پس از آن ریسه‌های مرتبط با توجه به بهینه‌کاوی‌های موجود بررسی می‌شود.

علوم و مهندسی بسپار با علوم پایه گوناگونی در ارتباط است، بنابراین جهت‌گیری‌های این رشته بسیار متنوع است. برای برآورده شدن الزامات طراحی ۴ هدف اصلی طراحی موجود (شامل طراحی واکنشگاه و فرایند بسپارش، طراحی آمیزه بسپاری، طراحی قالب و انتخاب ماشین، طراحی مکانیکی چندسازه‌ها) نیازمند دروس علوم پایه هستیم که به نسبتی باید تامین شوند. یکی از دلایلی که رشته مهندسی بسپار در دانشکده‌های مختلفی رشد کرده همین تنوع کاربردها است که طراحی رشته را کمی پیچیده می‌کند. در نمودار ۱ تنوع رشته‌ها و دانشکده‌ها کم و بیش نشان داده شد. برای جمع‌بندی این موارد در شکل ۱ رشته‌های تخصصی اصلی مهندسی بسپار در یک هسته درونی نمایش داده شده است و دروس علوم پایه (به غیر از ریاضی که طبیعتا پایه همه مهندسی‌ها است) در پوسته بیرونی نشان داده شده‌اند که نشان می‌دهد برخی



شکل ۱ زمینه‌های شکل‌گیری جهت‌گیری‌های رشته مهندسی بسپار در دانشگاه‌ها.

شکل ۲ توسعه مفهوم و توانایی طراحی مواد بسپاری–برنامه مهندسی پلاستیک، دانشگاه ماساچوست لوول.

شکل ۴. توسعه مفهوم و توانایی بسپارها با گرایش الیاف – برنامه مهندسی مواد/ مواد بسپاری و الیاف، دانشگاه جورجیاتک.

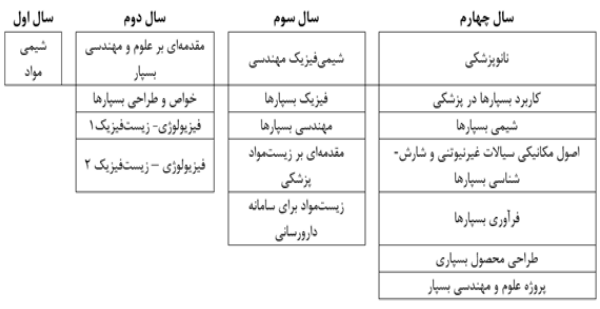
اهداف طراحی نیازمند دروس زیست‌شناسی، شیمی و برخی نیز دروس فیزیک هستند. بنابراین برای دستیابی به این اهداف باید فرض شود همزمان حضور هر چهار هدف طراحی در یک برنامه درسی ۱۴۰ واحدی ممکن نیست و باید گرایش‌های مجزایی از مهندسی بسپار طراحی شوند، یا برخی در مقطع کارشناسی ارشد دیده شوند.

علت این برآورد ساده این است که اکنون که در ایران ریشه زیست‌مواد یا طراحی مکانیکی در گرایش مهندسی بسپار فعلی مهم نیست، عملا رشته با دو هدف طراحی فرایند بسپارش و طراحی آمیزه و محصول درس‌بندی شده‌است. از منظر استادان مشخص است که دروس موجود برای طراحی کافی نیست و درس‌ها باید تغییر کنند تا بتوان اهداف طراحی مد نظر را محقق کرد. در صورت تغییر نیز ممکن است لازم باشد برخی از این دروس در رشته کارشناسی دیگر یا در کارشناسی‌ارشد مطالعه شوند که دانش‌آموخته این رشته، آموخته‌های مناسبی برای کار در صنعت داشته باشد. نکته دیگر این که رشته‌هایی موازی در ایران هستند که به صورت جزیی از مهندسی بسپار تعریف می‌شوند، مثلا گرایش زیست مواد مهندسی پزشکی ایران معادل گرایش زیست‌مواد از مهندسی بسپار دانشگاه‌های آمریکا است (Case Western Reserve University, n.d.) یا گرایش علوم الیاف مهندسی نساجی ایران که نزدیکی زیادی با مهندسی بسپار در دانشگاه جورجیاتک آمریکا (Georgia Tech University, n.d.) دارد.

برای مقایسه، چند نمونه از ریسه‌های رشته مهندسی بسپار دانشگاه‌های دنیا و ایران (ریسه‌های درسی مصوب سال ۱۳۶۸ و ۱۳۹۶) در شکل ۲ تا ۸ آمده‌است که براساس آن‌ها ریسه‌های پیشنهادی مهندسی بسپار با اهدافی که ذکر شد تحلیل خواهد شد.

از مقایسه این ریسه‌ها با یکدیگر مشخص می‌شود که در ایران عملا مفهوم ریسه به جهت مهندس شدن برای یک منظور خاص هنوز شفاف نشده‌است. گرچه ریسه مصوب سال ۹۶ نسبت به سال ۶۸ تغییراتی داشته‌است؛ در ریسه‌های سال ۶۸ به طور مشخص دو گرایش طراحی فرایند بسپارش و طراحی آمیزه به صورت ناقص دیده می‌شود که همان طور که از نظرسنجی استادان نیز برمی‌آید نیازهای صنعت را برآورده نمی‌کند و دروس آن مطلوب نیست. ولی در ریسه‌های سال ۹۶ نیز هدف رشته به وضوح مشخص نیست. با قراردادن برخی واحدهای درسی

شکل ۳ توسعه مفهوم و توانایی طراحی مکانیک بسپارها–برنامه مکانیک بسپارها، دانشگاه اکرون.



شکل ۵ توسعه مفهوم و توانایی بسپارها با گرایش زیست‌مواد–برنامه علوم و مهندسی مواد/زیست‌مواد، دانشگاه کیس‌وسترن‌ریزرو.

سال چهارم	سال سوم
علوم بسپار کاربردی	شیمی آلی ۱
علوم مواد پوشش سطح	شیمی آلی ۲
زیست‌بسپارها و زیست‌کامپوزیت‌ها	
محیط زیست و صنایع شیمیایی	
برساخت (سنتز) بسپارها	
خوردگی و مواد	
مطالعات فردی (پژوهش)	

شکل ۶ توسعه مفهوم و توانایی بسپارها با گرایش پوشش وسط–برنامه مهندسی پوشش و مواد بسپاری، دانشگاه داکوتای شمالی.

مانند «طراحی و انتگراسیون فرایندها»، «مدل‌سازی سیستم‌های پلیمری»، «کنترل فرایندهای پلیمری» و «چسب، رزین و اسفنج» گرایش مواد تقویت شده و برخی شاخه‌های مواد اضافه و برخی دروس گرایش طراحی بسپارش مانند «عملیات واحد» و «طراحی راکتور» حذف شده‌اند. اما از سوی دیگر مفهوم ریسه دچار خدشه شده‌است و گاهی علی‌رغم وجود درس طراحی در انتها، دروس پایه‌ای که شکل‌دهنده ریسه هستند، وجود ندارند.

از سوی دیگر برخی از این واحدهای درسی اضافه شده عملا در هیچ یک از ریسه‌ها جا نمی‌گیرند و انسجامی در برنامه درسی بازبینی شده آموزش مهندسی بسپار ایجاد نکرده‌اند. ضمن این که هنوز ریسه‌ای که منجر به طراحی قالب بشود (مکمل ریسه طراحی آمیزه و مواد) وجود ندارد و کاربرد نهایی مهندسی مواد شفاف نیست که چگونه برای دانشجو تامین می‌شود. همچنین مشخص نیست اضافه کردن دروس بسیاری مانند چسب و رزین و اسفنج در کنار درس‌های لاستیک و پلاستیک و کامپوزیت که قبلا بوده‌اند، چگونه دانشجو را در طراحی یک محصول تواناتر می‌کند. این مسائل بیشتر باعث سردرگمی دانشجویی می‌شود

شکل ۷ توسعه مفاهیم بسپارها–برنامه درسی مهندسی بسپار، مصوب وزارت علوم ایران (سال ۱۳۶۸).

شکل ۸ توسعه مفهوم و توانایی طراحی بسپارها (مصوب سال ۱۳۹۶)–بالا توسعه مفهوم بسپارش، پایین توسعه مفهوم طراحی آمیزه.

که مفاهیم زیادی را می‌آموزد ولی در نهایت در هیچ یک توان طراحی کسب نمی‌کند. هم‌اکنون نیز که دانشجو خیلی از این دروس را نمی‌گذراند توان طراحی محدودی دارد که منطبق با نیازهای صنعت نیست (همان‌طور که نظرسنجی نشان داد)، از این رو مشخص است که افزایش دروس کمکی به تربیت یک مهندس طراح نمی‌کند.

۵ نتیجه‌گیری

رویکرد جوامع مختلف نسبت به توسعه علوم بسپار متفاوت بوده است. همان‌طور که نتایج بهینه‌کاوی در این پژوهش نشان می‌دهد بسیاری از دانشگاه‌های امریکایی رشته‌های مهندسی بسپار را در سطح کارشناسی ارائه کرده‌اند؛ چه به صورت مستقل و چه به صورت گرایشی از سایر رشته‌ها. وضعیت مشابهی در آسیا در خصوص توسعه رشته‌های مهندسی بسپار در دانشگاه‌ها وجود دارد با این حال به نظر می‌رسد عمده دانشگاه‌های اروپایی در مقطع کارشناسی ارشد به این رشته ورود کرده‌اند. در نهایت می‌توان ارتباط میان صنعت و دانشگاه و پر کردن خلأ نیازمندی‌های صنعت را در امریکا و آسیا، علت اصلی رشد این حوزه دانست.

به‌رغم ارتباط نزدیک میان صنعت و دانشگاه در حوزه بسپارها، به نظر می‌رسد هنوز کاستی‌هایی در این زمینه به ویژه در حوزه ساختار و محتوای برنامه آموزشی وجود دارد. با بررسی ریسه‌های درسی در دانشگاه‌هایی که رشته مهندسی بسپار را ارائه می‌کنند، عدم انسجام و یکپارچگی که در چارچوب CDIO به عنوان اساس دستیابی به اهداف آموزش مهندسی شمرده شده‌اند، بیش از پیش مشخص می‌شود. هم‌چنین نظرسنجی از استادان نشان

می‌دهد که ریسه‌های درسی فعلی به لحاظ انطباق با نیازهای صنعت و اهداف آموزش مهندسی بسپار کمبودهایی دارد. به‌رغم این مسئله بسپارها قابلیت توسعه مستقل در حوزه‌ی مهندسی مواد را دارند و می‌توان ریسه‌های درسی متناسب برای تربیت یک مهندس بسپار با هدف مشخص را در این حوزه به ویژه در مقطع کارشناسی ارائه داد. به همین ترتیب در حوزه‌ی مهندسی شیمی و یا مهندسی مکانیک تاکنون ریسه درسی مستقلی وجود نداشته است اما امکان توسعه رشته بسپار در گرایش مهندسی مکانیک و بسپارش به صورت مستقل با اهداف مشخص به ویژه در مقطع کارشناسی ارشد وجود دارد و همان‌طور که پیشتر در بخش توسعه دانشگاهی رشته مهندسی بسپار مرور کردیم، مفاهیم آن در ابتدا به صورت تک درس‌هایی در دانشگاه‌ها ارائه می‌شده است و به تدریج توسعه یافته است.

یکی از مواردی که کمبود آن در ریسه درسی دانشگاه‌های ایران نسبت به سایر دانشگاه‌ها دیده می‌شود، تعدد در واحدهای درسی عملی/پروژه است که محتوای طراحی دارد. توانایی طراحی از این جهت اهمیت دارد که از یک سو یکی از اهداف آموزش مهندسی بسپار است و از سوی دیگر اساس چارچوب CDIO را برای تربیت مهندس برای قرن ۲۱ تشکیل می‌دهد. در واقع مفاهیم بسپاری که در ریسه درسی توسعه داده می‌شوند، متعددند و لازم است به تناسب واحدهای درسی طراحی برای هر ریسه در نظر گرفته شود.

تقدیر و تشکر

در تهیه این مقاله از دیدگاه‌های ارزشمند اساتید گرانقدر، سرکار خانم‌ها دکتر فاضلی، قاسمی‌راد و گوهرپی و آقایان دکتر پیرچراغی، جان‌نثاری، جهانمردی، رستگار، رضوی، شریف، عباسی، قاسمی، نجفی، واشقانی‌فراهانی و هاشمی‌مطلق بهره برده شده است و بدین وسیله از ایشان تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

۱. معصومی گودرزی ساغر، ستوده قره باغ رحمت، گرجی کندی، ارائه راهکارهایی برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در ایران، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۱۳، ۹۹-۷۵، **۲۰۱۱**.

۲. معماریان، بازنگری برنامه‌های آموزش مهندسی، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۱۵، ۸۵-۱، **۲۰۱۳**.

۳. مقدس جعفرصادق، یثربی نعیمه، شجاع الساداتی و تقوی، بررسی و مقایسه برنامه درسی و شیوه آموزشِ رشته مهندسی شیمی در دانشگاه‌های آمریکا و ایران، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*،۲۱، ۲۵-۴۵، **۲۰۱۹**.

4. ABET Criteria for Accrediting Engineering Programs ,Retrieved from: https//:www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs, 2016-2017

5. ABET Engineering Accreditation, College of Engineering, University of Akron ,Retrieved from :https//:www.uakron.edu/engineering/about-us/accreditation

6. Bachelor of Science in Material Science and Engineering Online Catalog) Polymer and Fiber Material, (Georgia Tech University, Retrieved from: http//:www.catalog.gatech.edu/programs/materials-science-engineering-polymer-fiber-materials/

7. Carraher Jr C.E., Droske J.P., PolyEd and IPEC: ACS and Intersociety Efforts to Promote Polymer Education in the US, *Polymer Reviews*, 48, 585-595, **2008**.

8. Crawley E., Malmqvist J., Ostlund S., Brodeur D., Edstrom K., Rethinking engineering education, *Department of Macromolecular Science and Engineering Bulletin (Biomaterial Track), Case Western Reserve University,* **2007**.

9. Do C.H., Theato P., Update on Polymer Education in Korea, *In Macromolecular Symposia*, 355, 68-74, **2015**.

10. Dos Santos C.G., Dias M.L., Canevarolo S.V., Polymer Education in Brazil: Present Situation, *In Macromolecular Symposia*, 355, 111-118, **2015**.

11. Fellows C.M., Polymer Education in Australia, *In Macromolecular Symposia, 355, 104-110,* **2015**.

12. IOM Criteria for Academic and Professional Accreditation, **2019**. Retrieved from: https://www.iom3.org/accreditation

13. Patterson G., A P-rehistory of Polymer Science, *Springer,* **2012**.

14. Plastic and Polymer Engineering Technology Program Educational Objectives, Pennsylvania College of Technology, Retrieved from: Https://www.pct.edu/academics/icet/plastics-polymer-engineering-technology/objectives-and-outcomes

15. Plastic Technology (BSC) Program, Montan Universitat Leoben, Retrieved from: https://www.unileoben.ac.at/de/2892/

16. Polymer Engineering Syllabus, MIT World-Peace University, Retrieved from: https://mitwpu.edu.in/wp-content/uploads/2018/07/BTech-Polymer-Engineering-4yrs-structure-SYBTech-syllabus-modified-Final-copy-2018-07-18-1.pdf

17. Salamone J.C., Deanin R.D., Young M.G., Polymer Science and Engineering Education in the United States. *Journal of Chemical Engineering*, 50, 768 – 771, **1973**.

18. Theato P., Polymer Education in Germany, *In Macromolecular Symposia*, 355, 119-125, **2015**.