

مفاهیم یکپارچه در علم فیزیک، شیمی و مهندسی

مترجم: سید محمد حسینی

چکیده

این مقاله با توجه به نیازهای اجتماعی فعلی به بررسی روند یکپارچگی حوزه های علم و مهندسی پرداخته است. رشد جامعه و افزایش خلاقیت به عنوان فواید همگرایی امکان سنجی و بررسی شده است. ناهمگونی میان رشته های علمی و مهندسی و اولویت های اجتماعی بایستی از طریق تحلیلی نظام مند در طول فرایند تصمیم گیری متعادل شود.

۱- مقدمه

علم، فناوری و مهندسی در جوامع علمی پیشین و کنونی حوزه هایی با ارتباط نزدیک و متقابل محسوب می شوند. معمولاً مهندسی را کاربرد علمی دانش و ابزارهای فناورانه، به منظور تولید موارد مفید، پربازده و قابل اتکا می دانند. پیشرفت ها و نظریات علمی، فرصتی ارزشمند را برای رشد علم و فناوری فراهم می کند؛ رشدی که به دنبال خود، فناوری های جدیدی را در انقلاب های صنعتی طول تاریخ به نمایش گذاشته است. از طرف دیگر، پیشرفت علم نیز مدیون افزایش پیشرفت های فناورانه مهمی است که ظرفیتی بی سابقه را برای کاوش حوزه های بررسی نشده ایجاد کرده است. نقطه اشتراک تمامی اقدامات علمی، فناورانه و مهندسی، تلاش مداومی است که برای دستیابی به دانش جهان فیزیکی و ماوراء آن به کار گرفته می شود.

تلاش های علمی به واسطه فراهم آوری مبنای نظری و اصول بنیادی، ارتباطی نزدیک و ذاتی با مهندسی دارند. مفاهیم علمی کلاسیک از طریق پیشرفت های جدید مهندسی کشف می شوند و در اختیار عموم مردم قرار می گیرند. انجام فعالیت های مهندسی با محوریت علم و فناوری، در حال تبدیل به موضوعی ارزشمند در حوزه علوم مهندسی است. علم، منبع الهام بخش مهمی برای شیوه های مبتکرانه مهندسی محسوب می شود. محیط پیچیده و چالش هایی که در اثر

پیشرفت‌های مهندسی به وجود می‌آیند، ایده‌های قابل‌توجهی را در اختیار محققین فعال در حوزه‌های بنیادین قرار می‌دهد. این تحقیقات بنیادین اساسی‌ترین اصول ماده، انرژی و غیره را در می‌یابند. نمود همگرایی علم و مهندسی در گذشته را می‌توان در رویدادهایی از کشف نظریه نسبیت تا پروژه انرژی اتمی ایالات متحده آمریکا (که در سراسر جهان کاربردهای شگرف انرژی هسته‌ای را در زمینه‌های مختلف در پی داشت) مشاهده کرد. امروزه، مهندسی زیست‌پزشکی ارتباط زیادی با اکتشاف ساختار مارپیچی DNA^۱ دارد. صنعت تجهیزات نیمه‌رسانا از بهبود دانش بشر در خصوص رفتار انتقال بار الکتریکی مواد نشأت می‌گیرد. به علاوه، مسلماً تجهیزات علمی مختلفی مانند شتاب‌دهنده‌ها^۲، رصدخانه‌ها^۳ و غیره، مرکز تعالی اکتشافات علمی و مهندسی مختلف بوده و کمک شایانی به پیشرفت علوم بنیادین کرده‌اند.

پیشرفت‌های اخیر علم نانو نشان می‌دهد که اتحاد و یکپارچگی نیروهای مختلف فیزیک و مفاهیم بنیادی‌تر شیمی و دیگر رشته‌ها، روش‌های اصولی‌تری را برای درک ماهیت مواد و تغییر شکل فناوری‌ها فراهم می‌آورد. مسئله حائز اهمیت‌تر این است که تلفیق تحقیقات بنیادین با روش‌های مهندسی، از طریق رویکردی نظام‌مند، محاسباتی و ارتباطی، منجر به پیشرفت علم و فناوری نانو شده و فرصت‌های جدیدی را برای صنایع تولیدی و کاربردهای تجاری فراهم می‌آورد.

۲- همگرایی مفهومی در اثر چالش‌های اجتماعی

گرایش‌ها و ویژگی‌های پیشرفت علم مدرن نشان می‌دهند که تلفیق فزاینده تحقیقات بنیادی و مهندسی دائماً محدودیت قدرت ادراک انسان را برطرف ساخته و شیوه تفکر انسان در مورد جهان واقعی^۴، جهان ماکرو^۵، مزو^۶ و میکرو^۷ را تغییر خواهد داد. نیروی محرک مشترک ناشی از نیازهای اجتماعی سبب ایجاد ارتباط متقابل علم، فناوری و مهندسی، که یکی از خصوصیات بارز «کلان‌علم»^۸ امروزی است، می‌شود. هم اقتصادهای در حال توسعه و هم توسعه‌یافته، با اهداف راهبردی ملی مختلف و بر مبنای توانایی‌های متفاوت، از یکپارچگی فعالیت‌های علمی و مهندسی سود برده‌اند. این روند در گذشته بوده و در آینده نیز وجود خواهد داشت.

گرچه انقلاب‌های علمی و فناوری‌ها گذشته به شدت کیفیت زندگی انسان‌های زیادی، به ویژه در اقتصادهای توسعه‌یافته را ارتقا داده‌اند، با این حال صنعتی‌سازی، خسارات زیادی را به محیط زیست و منابع وارد کرده است. اگر قرار باشد صنعتی‌سازی برای سودرساندن به سایر انسان‌ها، به ویژه در اقتصادهای در حال توسعه و توسعه یافته افزایش یابد، حفظ محیط زیست به مسئله‌ای اساسی تبدیل می‌شود.

چالش‌های بزرگی که جوامع مختلف با آن روبرو هستند، تعهدات و فرصت‌های زیادی را پیش روی جوامع علمی و مهندسی قرار می‌دهد. اتحاد جوامع علمی و مهندسی، چارچوبی منحصربه‌فرد را برای اشتراک منابع فکری و تأمین مواد، به منظور به حداکثر رساندن تأثیرگذاری اجتماعی، در اختیار دانشمندان، مهندسان، تکنسین‌ها و کارآفرینان قرار می‌دهد. هدف از فرایند همگرایی، افزایش خلاقیت و نوآوری و حل چالش‌های بزرگ و حیاتی موجود بر سر راه توسعه اجتماعی، فراتر از حوزه‌های فناوری کنونی است.

واضح است که گرچه چالش‌های علمی شکلی جهان‌شمول دارند، اما چالش‌های اجتماعی به اشکال ناهمگون و متنوعی در جوامع مختلف بروز می‌یابند. به طور خاص، می‌بایست برای حل چالش‌های طولانی‌مدت اقتصادهای در حال توسعه، از مسائل زیست‌محیطی گرفته تا مشکلات حوزه سلامت، که شاید فناوری موجود به خوبی جوابگوی حل آن‌ها نباشد، تلاش بیشتری کرد. اگرچه همگان از اهمیت ایجاد توان مهندسی در اقتصادهای در حال توسعه آگاهند، اما سنگ بنای این فرایند، شدیداً به حوزه علمی مربوط است و شکل‌گیری آن تنها از طریق حمایت طولانی‌مدت از سوی منابع دولتی

و خصوصی میسر خواهد شد. در واقع ارزش ها و اهداف اجتماعی مشترک، باعث تهییج همگرایی علم و مهندسی می شود. می توان ارزش افزوده های زیادی را برای تلاش در راستای همگرایی علم و مهندسی متصور شد؛ ارزش هایی که بدون شک آموزش در صدر آن ها قرار خواهد گرفت. شکی نیست که نسل آینده دانشمندان و مهندسانی که قادرند به طور مؤثر بین حوزه های دانش و تخصص خود ارتباط برقرار کنند، قدرت بیشتری برای دستیابی به پیشرفت های مهم علمی و ایده های مهندسی خواهند داشت. به منظور دستیابی به این هدف می بایست زیرساخت های آموزشی را هم در اقتصادهای توسعه یافته و هم اقتصادهای در حال توسعه، مورد ارزیابی مجدد و ترمیم قرار داد.

در سه دهه اخیر، دولت چین برنامه های راهبردی ملی را به منظور ترویج تحقیقات بنیادین و فناوری های مهم برای رفع نیازهای اجتماعی به کار گرفته است؛ از این میان می توان به موارد زیر اشاره کرد: نیروگاه های برق هسته ای، مدارات یکپارچه^۹، ارتباطات پهن باند^{۱۰}، تولیدات دیجیتالی، اکتشافات نفت و گاز، تصفیه آب، فعالیت های تحقیق و توسعه در زمینه دارو، فضاپیماهای سرنشین دار^{۱۱}، کاوش ماه و پیشگیری و درمان بیماری های مسری^{۱۲}.

هفت صنعت راهبردی در جهت توسعه متمرکز اولویت بیشتری نسبت به سایر صنایع دارند. این صنایع عبارتند از:

- فناوری محیط زیست
- ذخیره سازی انرژی
- فناوری اطلاعات
- زیست فناوری
- تولید تجهیزات پیشتاز
- مواد پیشرفته

- وسایل نقلیه مصرف کننده نسل جدید انرژی

برنامه های ملی راهبردی در ایجاد یکپارچگی میان جوامع علمی و مهندسی و همچنین کارآفرینان و صنایع، به منظور توسعه فناوری های اساسی دارای اهمیت اجتماعی بالا، نقش مهمی را ایفا کرده اند. باید به این نکته نیز توجه داشت که این تلاش ها به ترویج فعالیت های علمی متنوع کمک شایانی کرده و آگاهی عمومی از اهمیت دستاوردهای بنیادین علمی و مهندسی را به طرز چشمگیری افزایش داده است. در نتیجه این پیشرفت، تجهیزات علمی و مراکز ملی مهندسی به شدت بهبود یافته اند. این امر هم به سود جوامع ملی است و هم جوامع بین المللی. به طور خاص، تجهیزات تحقیقاتی مشترک به ایجاد محیطی چندرشته ای کمک شایانی کرده اند؛ محیطی که وجودش برای ارتقای سطح ارتباطات بین حوزه های ضرورت دارد. نقش تجهیزات چندرشته ای در پیشرفت حوزه های علم و فناوری در اقتصادهای در حال توسعه و توسعه یافته بر کسی پوشیده نیست و این تجهیزات در آینده به زیرساخت هایی بی بدیل برای پیشرفت همگرایی علم و مهندسی تبدیل خواهند شد.

۳- سیاست های عمومی و سازوکارهایی برای ایجاد همگرایی

همگرایی علم، فناوری و مهندسی یکی از مهم ترین نیروهای محرکه علم مدرن محسوب می شود. موفقیت صنایع دارای فناوری های پیشرفته، نمودی از دستاوردهای علمی به حساب می آید. این که همگرایی علم و مهندسی بتواند تأثیرات اجتماعی بیشتری بر جوامع فعال در این زمینه داشته باشد، مسئله ای قابل پیش بینی است. تدوین سیاست های قابل اطمینانی که نمایان گر مهم ترین منافع عمومی هستند، در ایجاد شناختی کلی از علم، فناوری و مهندسی در میان سطوح مختلف جامعه، نقشی حیاتی خواهد داشت. علم، فناوری و مهندسی که فعالیت های کاملاً متفاوتی از یکدیگر به حساب می آیند، رسالت های اجتماعی خاص خود را دارند و باید به کمک خطوط مشی و سیاست های خاص خود نیز

حرکت کنند. باید به این نکته نیز توجه داشت که به دلیل اهمیت، ضرورت، بی‌همتایی و تعهدات اجتماعی خاص هر حوزه، می‌بایست سیاست‌ها و برنامه‌های راهبردی ملی را نیز به تناسب در نظر گرفت. مسئله‌ای که برای اقتصادهای در حال توسعه اهمیت زیادی دارد این است که می‌بایست با توجه به تنوع رشته‌های علمی و مهندسی و اولویت‌های اجتماعی، حمایت متوازن از هر حوزه برنامه‌ریزی و هماهنگ شود. تصمیم به حمایت از فعالیت‌های کاربردی و مهندسی به جای تحقیقات علمی در تنگنای مالی، تصمیمی اغواکننده و وسوسه‌برانگیز است. اما می‌توان پیش‌بینی کرد به احتمال زیاد، اتخاذ چنین تصمیمی ظرفیت نوآوری بلندمدت در بخش مهندسی را از بین خواهد برد.

بایستی مشاوره لازم در خصوص اهمیت تدوین خط مشی مرتبط و در عین حال متفاوت برای حوزه‌های علم، فناوری و مهندسی، به نهادهای سیاست‌گذار داده شود. پیشرفت دستاوردهای علمی را باید اساساً بر مبنای کیفیت آثار علمی منتشره ارزیابی کرد، پیشرفت در فناوری را می‌بایست بیش از هرچیز دیگری بر اساس اختراعات ثبت‌شده سنجید و دستاوردهای مهندسی را نیز باید بر مبنای کمک به صنعتی‌سازی و تأثیر بر تجاری‌سازی مورد ارزیابی قرار داد. عناصر مشترک سیاست‌گذاری باید نشانگر خصوصیات عملیاتی، مقررات حاکم بر فعالیت‌ها، معیارهای ارزیابی و اهداف پیش‌بینی‌شده باشند. سیاست ملی را می‌توان به عنوان شاخصی قدرتمند برای اولویت‌های عمومی در حوزه علم و مهندسی و نیز معیاری برای آزمودن چشم‌اندازهای جوامع علمی و مهندسی در نظر گرفت. هنگام بحث در مورد این سیاست‌ها، نباید تأثیرات بلندمدت حوزه‌های علم و فناوری و زیرشاخه‌هایشان را بر منافع دست‌کم بگیریم. این نکته نیز حائز اهمیت است که باید در فرایند سیاست‌گذاری و به ویژه تدوین برنامه‌های راهبردی بلندمدت، ریسک‌های همراه با کاوش‌های علمی و نوآوری‌های مهندسی را به خوبی ارزیابی نماییم. در این راستا، استفاده از مشاوره‌های ملی و بین‌المللی می‌تواند بسیار ارزشمند باشد. این‌گونه ارتباطات بین جوامع مختلف نه تنها قادر است به سیاست‌گذاری در حوزه علم و مهندسی کمک کند، بلکه خواهد توانست درک متقابل فرهنگ‌ها و نهادهای اجتماعی از یکدیگر را افزایش دهد. به علاوه، چنین اقدامی را می‌توان نقطه‌ای مهم برای برقراری ارتباط میان اقتصادهای در حال توسعه و توسعه‌یافته در نظر گرفت.

اقتصادهای در حال توسعه می‌توانند سازوکارهای موفقیت‌آمیز جوامع مبتکر را الگو قرار داده و برای رفع نیازهای خاص خود، به دنبال جستجو در میان آن‌ها باشند. دانشمندان اقتصادهای در حال توسعه (مانند چین) به شکل‌های مختلفی به پیشرفت علم کمک‌های شایانی کرده‌اند. این روند در آینده نیز ادامه خواهد داشت؛ تلاش‌هایی که آن‌ها برای گسترش قلمرو دانش بشر می‌کنند، اقدامات جوامع بین‌المللی را تکمیل کرده یا حتی با آن‌ها رقابت می‌کند. نتیجه این اقدامات را می‌توان در پروژه‌ها و آثار منتشرشده مشترکی دید که در سال‌های اخیر شدیداً در حال افزایش بوده است. همچنین محققان حوزه مهندسی (که از اهمیت خاص خود برخوردار است)، تعامل خود با همکاران بین‌المللی و صنایع را به میزان قابل توجهی افزایش خواهند داد. این پیشرفت را باید عاملی دانست که می‌تواند به توسعه پایدار و ارتقای کیفیت زندگی مردم این کشور (چین) کمک شایانی کند و در کنار آن، به سود جامعه جهانی نیز باشد.

پیامدهای مستقیم تدوین اصول کلی برای همگرایی حوزه‌های علم و مهندسی، شدیداً تحت تأثیر تلاش سازمانی است. برای ایجاد ارتباطی مؤثر در راستای پیشرفت جامعه، متناسب با کل ابعاد انسانی، ناگزیر خواهیم بود زیرساخت‌های تحقیقاتی موجود را بهینه‌سازی یا زیرساخت‌های جدیدی را با توجه به مراحل مختلف چرخه همگرایی-واگرایی ایجاد کنیم. سازمان‌ها باید برای کسب موفقیت در سازوکارها و سیاست‌های عمومی ایجاد همگرایی و نیز شکل‌گیری زبان‌های همگرا در میان رشته‌های مختلف، آماده و مشتاق باشند.

می‌توان از مقدار و نحوه توزیع سرمایه بین بخش‌های علم و مهندسی در اقتصادهای در حال توسعه و توسعه‌یافته، به خصوصیات متفاوت مذکور پی برد. مثالی از این مسئله را می‌توان در تحلیل‌های آماری سال ۲۰۰۶ ارائه‌شده توسط

گروه تحقیقاتی مقایسه‌ای علم و فناوری در سطح بین الملل از آکادمی علوم چین^{۱۳} مشاهده کرد؛ حدود ۴.۵ میلیارد دلار در بخش تحقیقات بنیادی، ۱۴.۶ میلیارد دلار در بخش تحقیقات کاربردی و ۶۷.۷ میلیارد دلار در بخش تحقیقات مهندسی (برابر ۵، ۱۷ و ۷۸ درصد) سرمایه‌گذاری شد. در همان سال، ایالات متحده آمریکا ۶۱.۶ میلیارد دلار برای تحقیقات بنیادی، ۷۶.۷ میلیارد دلار برای تحقیقات کاربردی و ۲۱۰.۵ میلیارد دلار هم برای تحقیقات مهندسی هزینه کرد که وزن توزیعی آن به ترتیب برابر ۱۸، ۲۲ و ۶۰ درصد است. همچنین سرمایه‌گذاری در تحقیقات بنیادی ۰.۰۵۶ درصد از تولید ناخالص داخلی چین را به خود اختصاص می‌دهد، در حالی که همین مقدار در ایالات متحده ۰.۴۷۱، در فرانسه ۰.۴۹۹ و در ژاپن ۰.۳۹۵ درصد است. این مقایسه تفاوت قابل توجه توزیع منابع در بخش‌های علم و مهندسی در اقتصادهای در حال توسعه و توسعه یافته را نشان می‌دهد. بنابر «شاخص علم و مهندسی ۲۰۱۴ آمریکا»^{۱۴}، هزینه فعالیت‌های تحقیق و توسعه در چین پس از ایالات متحده، مقام دوم را از آن خود کرده است و ژاپن، کره جنوبی، فرانسه و بریتانیا هم در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. با این حال، تحقیقات بنیادی تنها ۴.۷ درصد از کل فعالیت‌های تحقیق و توسعه چین را به خود اختصاص می‌دهد اما این مقدار در دیگر کشورها بیش از ۱۰ درصد است. در سال ۲۰۱۲، سرمایه‌گذاری در تحقیقات بنیادی، کاربردی و مهندسی به ترتیب برابر ۴.۸، ۱۱.۳، و ۸۳.۹ درصد مجموع هزینه فعالیت‌های تحقیق و توسعه را تشکیل می‌داد. این تفاوت در نحوه سرمایه‌گذاری نشان می‌دهد که اقتصادهای در حال توسعه می‌بایست حمایت از تحقیقات بنیادی را افزایش دهند تا بتوانند پایداری بلندمدت نوآوری‌های فناورانه و مهندسی خود را حفظ کنند. تفاوت‌های آشکار در سیاست‌های علمی می‌تواند تمایل شاخه‌های دانشگاهی و اجرایی را برای تدوین سازوکارهایی به منظور ایجاد شبکه‌های ارتباطی و تبادل نظر برانگیزد. چنین تلاش‌هایی می‌تواند سبب تسهیل مدیریت و ارزیابی مؤثر پیشرفت پایدار در همگرایی دانش، فناوری و جامعه شوند.

۴- آگاهی و حمایت عمومی در راستای همگرایی

برای انجام فعالیت‌های پایدار علمی و مهندسی، وجود حمایت‌های عمومی لازم و ضروری است. لازم است افراد حرفه‌ای نه تنها با یکدیگر، بلکه با غیر متخصصانی که در تحقق دستاوردهای محسوس نقشی کلیدی دارند، ارتباط مناسبی برقرار کنند. بدون شک، ارتباط مؤثر و موفق جوامع علمی و مهندسی با عموم مردم به سود همه خواهد بود. موفقیت‌های حاصل از تحقیقات علمی بنیادین و کاربردهای صنعتی برآمده از پیشرفت‌های مختلف مهندسی در چین، افزایش قابل توجه آگاهی عمومی از ظرفیت‌های مهم را در پی داشته است. علاوه بر تلاش مداوم در راستای تعالی تحقیقات علمی و تأثیرات اقتصادی، انتظارات زیادی برای رفع نیازهای اجتماعی وجود دارد. برطرف‌سازی این انتظارات، به جزئی اساسی از اقدامات علمی و مهندسی تبدیل شده است. ماهیت چندرشته‌ای فعالیت‌های علمی، فرصت‌های زیادی را برای تعامل میان تحقیقات بنیادی و پیشرفت‌های فنی فراهم می‌آورد. پیشرفت‌های علمی در زمینه‌هایی مانند پاک‌سازی محیط زیست، بهداشت عمومی، توسعه پایدار کشاورزی و غیره کاربردهای قابل توجهی داشته است.

پیشرفت‌های علمی در اقتصادهای در حال توسعه و توسعه‌یافته ارتباط بسیار نزدیکی با انتظارات برآمده از نیازهای اجتماعی مختلف دارند. در میان اثرگذاری‌های ملموس و مختلف این نیازهای اجتماعی، می‌توان به این مورد اشاره کرد که نیازهای مذکور، علم و فناوری را به ایجاد رقابتی در نظام آموزشی و بدیعات علمی در اقتصادهای توسعه‌یافته و در حال توسعه سوق می‌دهد. چنین نیازهایی به افزایش کیفیت نیروی کار و در نتیجه بهبود مداوم زیرساخت‌های آموزشی موجود و برگزاری برنامه‌های آموزش و کارآموزی در زمینه‌های چندرشته‌ای (مانند علم و فناوری نانو) منجر خواهد داشت. این نیازها همچنین به افزایش درک علمی مردم غیرمتخصص در اقتصادهای در حال توسعه کمک کرده و سبب شده است تا با ظرفیت فناوری‌های اصلی^{۱۵} (که ارتباط نزدیکی با فعالیت‌های علمی و مهندسی دارند) به عنوان

مقیاسی مهم برای اقتصادی پایدار در جامعه آشنا شوند. پیشرفت فناوری های اصلی نه تنها می تواند مزایای اقتصادی عظیمی را در پی داشته باشد، بلکه منجر به ثبات و امنیت نظام اقتصادی نیز خواهد شد. البته دستیابی به چنین فناوری هایی هم کاملاً مستقل از منابع مالی موجود نیست. کمک جوامع علمی و مهندسی وابسته به بخش اقتصادی، از طریق فراهم آوری منابع فکری لازم، نقشی حیاتی را در دستیابی به فناوری های اصلی ایفا خواهد کرد. آگاهی و حمایت عمومی عامل مهمی است که می تواند به تخصیص منابع عمومی به ترویج فعالیت های علمی و مهندسی در نظام اجتماعی کمک نماید.

تلاش جوامع علمی و مهندسی چین در راستای ارائه اختراعات مورد نیاز بخش های مختلف، به پیشرفت قابل توجهی منجر شده است. انتظار می رود پیشرفت علم و فناوری بتواند بخش عمده ای از دانش و حمایت فنی لازم به منظور تحقق تعهد دولت چین برای ارتقای کیفیت زندگی جامعه را (که به سود بیش از یک میلیارد نفر خواهد بود) فراهم کند. به منظور افزایش آگاهی و تضمین حمایت عمومی پایدار، تدوین رویکردهای تحقیقاتی قابل اجرا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. چنین رویکردی می بایست به گونه ای فراخور، تحقیقات بنیادی را در مقایسه با پیشرفت های فناورانه و عواید اقتصادی^{۱۶} بررسی کند.

علاوه بر تلاش مداوم در راستای تعالی تحقیقات آکادمیک و تأثیرات اقتصادی، توقع فزاینده برای رفع نیازهای اجتماعی نیز به جزئی اساسی از توسعه اقتصادی تبدیل شده است. ماهیت چندرشته ای فعالیت های علمی، فنی و مهندسی، فرصت های زیادی را برای ارتقای کیفیت زندگی عموم مردم فراهم می آورد. در ضمن باید یادآور شد که نمی توان تأثیر تحقیقات علمی بنیادی را بر طبق بازده اقتصادی کوتاه مدت سنجید. اگرچه بسیاری از فعالیت های علمی بنیادی تحت تأثیر کنجکاوی و تمایل افراد انجام می شوند، با این وجود چنین فعالیت هایی مستقیماً به کاربردهای زودبازده و قابل انجام منجر نخواهند شد. دانش نظام مند و مستند در آینده قادر است زیربنایی استوار را برای پیشرفت های فناورانه مهم و موثر فراهم کند. مثال های متعددی نشان داده اند که تحقیقات بنیادین علمی می توانند دانش لازم را برای رشدی منحصربه فرد و اساسی در جهت رفع نیازهای اجتماعی ایجاد نمایند. به ویژه در زمان بحران های عمومی، مانند شیوع بیماری سارس^{۱۷} (سندروم تنفسی حاد) در چین، تخصص جامعه علمی می تواند منبعی موثق برای فراهم آوری اطلاعاتی قابل اطمینان برای عموم مردم و مقامات محسوب شود. به منظور ترغیب فعالیت های علمی بدیع، باید روحیه و محیط علمی را رواج و گسترش داد. روحیه علمی بدیع و متفاوت نیز عنصر فرهنگی مهمی است که می تواند برای عموم مردم اهمیت اجتماعی ویژه ای داشته باشد.

دستاوردهای تحقیقات بنیادین علمی و کاربردهای صنعتی آن ها، آگاهی مردم از ظرفیت های مهم موجود را به دنبال خواهند داشت. فناوری های نوظهور در دستیابی به حمایت عمومی مداوم و پیشرفت های فناورانه مهم، نقشی حیاتی ایفا می کنند. پیشرفت قابل توجه فناوری نانو در دو دهه اخیر، می تواند به عنوان نمونه ای موفق از چنین مواردی مطرح شود. ایجاد ارتباطی نزدیک با عموم مردم (به جای قطع ارتباط با آن ها) به منظور شناسایی اولویت های تحقیقاتی (با وجود منابع محدود)، یکی از مسئولیت های مهم جوامع علمی و مهندسی محسوب می شود. به طور خاص، بخش های گسترده ای از صنعت چین (شامل سلامت، انرژی، محیط زیست، تولید و غیره) برای کاهش موانع فنی، علاقه شدیدی به این موضوع دارند. چنین انگیزه هایی را می توان به وضوح در تعیین اولویت های تحقیقاتی در سطوح ملی و محلی مشاهده کرد. با توجه به محدودیت در توان سرمایه گذاری و زیرساخت های موجود، ابداع راه حل های فناورانه برای نیازهای اجتماعی، به منظور ترویج علم و فناوری در اقتصادهای در حال توسعه اهمیت بالایی دارد. این موضوع، اهمیت منافع اجتماعی بلندمدت در سرمایه گذاری های تحقیقاتی را نشان می دهد.

۵- اقدامات مشترک جوامع

هم اکنون گرایش‌های موجود در فرایند همگرایی موضوعات علمی و مهندسی به خوبی مشخص شده‌اند. وجود تعاملات سازنده میان جوامع علمی و مهندسی، برای موفقیت در راستای همگرایی - بر مبنای انگیزه‌های مشترک ناشی از نیازها و چالش‌های اجتماعی - عاملی کلیدی محسوب می‌شود. با توجه به این که سنگ بنای همگرایی علم و مهندسی، تنها در مراحل اولیه ایجاد تأثیرات اجتماعی و اقتصادی تشکیل می‌شود، باید بسیاری از چالش‌های اساسی را در طول فرایند جستجوی پیشرفت‌های فناورانه حل نمود. ارتباط میان جوامع علمی و مهندسی می‌تواند نقش مهمی را در تدوین نقشه‌های راه و راهبردهای بلندمدت در کشورهای مختلف ایفا کند. چنین تبدالی میان گرایش‌های مختلف علم و مهندسی، می‌تواند پایه‌گذار تعاملاتی باشد که در تحکیم همگرایی میان این حوزه‌ها نقش دارد. گستره این تعاملات، حوزه‌های مختلفی نظیر شناسایی اولویت‌های راهبردی، اصول سیاست‌گذاری، نقاط قوت علم و مهندسی، اصلاحات آموزشی مربوطه و غیره را در بر می‌گیرد. انتظار می‌رود ماهیت تکمیلی و رقابتی این تعاملات شدیداً به سود رشد پایدار همگرایی علم و مهندسی باشد. این مسئله می‌تواند برای اقتصادهای در حال توسعه بسیار حائز اهمیت باشد (زیرا شباهت‌های بسیاری از نظر چالش‌های اجتماعی و ظرفیت‌های علمی و مهندسی وجود دارد). میل به ایجاد زیرساخت‌های صنعتی با فناوری‌های اصلی، می‌تواند فرایند همگرایی علم و مهندسی را تسهیل نماید.

رشد علم و فناوری در چین از ارتباطات و تبادلات آکادمیک این کشور با جوامع علمی بین‌المللی بهره زیادی برده است. اکثر فعالان عرصه علم و فناوری دریافته‌اند که تعاملات بین‌المللی نقش مهمی در ایجاد زیرساخت‌های این حوزه دارند. تقویت تعاملات بین‌المللی را می‌توان در قالب ایجاد پروژه‌های تحقیقاتی مشترک، گروه‌های تحقیقاتی، سمپوزیوم‌های^{۱۸} مشترک و غیره، مشاهده کرد. به علاوه، کاملاً مشخص است که بسیاری از سرمایه‌گذاران تحقیقات بنیادی، سابقه آکادمیک بین‌المللی دارند. تعامل بین جوامع بین‌المللی بسیار سازنده است و نمونه‌ای بارز از مکانیزم‌های کارآمد تعاملات جهانی را نشان می‌دهد.

جوامع تحقیقاتی چین و دیگر نقاط جهان با چالش‌های مشترکی بر سر راه پیشرفت علم و مهندسی مواجه‌اند. پیشرفت‌های قابل‌مشاهده در این حوزه را می‌توان در قالب تلاش‌های بی‌وقفه در راستای افزایش توفیقات علمی در زمینه پاک‌سازی محیط زیست، بهداشت عمومی، توسعه پایدار کشاورزی و غیره یافت. اقدامات صورت گرفته در نظام تحقیقات بنیادین در مقیاس جهانی، ماهیتی مکمل دارند. دانشمندان چینی که در مقایسه با اقتصادهای توسعه‌یافته از حمایت مالی محدودتری برخوردارند، کمک‌های شایانی به جامعه علمی جهان کرده‌اند.

برخی از دستاوردها پیشرفت‌های مهمی در زمینه مربوط به خود محسوب می‌شوند. با توجه به افزایش توجهات به عرصه‌های تحقیقاتی در چین، می‌توان انتظار داشت که تأثیر محققان چینی بر جوامع بین‌المللی، همچنان با یافته‌هایی مبتکرانه‌تر ادامه داشته باشد. چین در حوزه فعالیت‌های مهندسی بر اولویت‌های ناشی از نیازهای ملی و اجتماعی، مانند افزایش بهره‌وری انرژی، تولید داروهای ارزان و روش‌های درمانی جدید برای بیماری‌های مهلک و غیره، تمرکز کرده است. موارد مذکور مسائلی نگران‌کننده برای تمام مردم و جامعه علمی چین محسوب می‌شوند و به حصول اطمینان از تداوم حمایت عمومی کمک می‌نمایند. می‌توان انتظار داشت که تحقیقات کاربردمحور همچنان در آینده هم مورد حمایت قرار گیرند.

۶- ارزیابی عملکرد

همچنان تفاوت‌های فاحشی میان عملکرد اقتصادهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، به ویژه در حوزه‌های علمی و مهندسی و نیز صنعتی‌سازی وجود دارد. چه در اقتصادهای توسعه‌یافته و چه اقتصادهای در حال توسعه، منافع عمومی

عامل مهمی برای توجیه سرمایه‌گذاری عمومی در بخش علم و مهندسی محسوب می‌شوند. به طور خاص، باید پیشرفت صنایع بومی، مقیاس نهایی برای ارزیابی همگرایی علم و مهندسی در اقتصادهای در حال توسعه باشد. تحقیقات بنیادی، روند رو به رشد خود را با افزایش چشم‌گیر آثار علمی و ارجاعات منتشره (که مبنای مناسبی را برای ارزیابی اثرگذاری رشته‌های مختلف ایجاد می‌کنند)، ادامه داده‌اند. در طرف مقابل، برای ارزیابی حوزه مهندسی، بر کیفیت پروژه، تأثیرات صنعتی و اثرات اقتصادی تأکید می‌شود.

می‌بایست بر این نکته تأکید کنیم که ارزیابی زمینه‌ای نوظهور، امری بسیار چالش برانگیز است. ماهیت چندرشته‌ای و متنوع علم و مهندسی، استفاده از نظام ارزیابی چندبعدی و چندسطحی را تداعی می‌کند. از یک سو، پارامترهای کلیدی ارزیابی، به منافع افراد مختلف جامعه گره خورده است. از سوی دیگر، جوامع علمی و مهندسی نیز باید معیارهای خود را برای ارزیابی عملکرد رشته‌های خاصشان در نظر بگیرند. برخلاف زمینه‌های تحقیقیافته، نوعی عدم اطمینان محسوس در حوزه‌های نوظهور پویا و در حال پیشرفت وجود دارد که بیشتر به پیشرفت‌های بالقوه مهم اما احتمالی این حوزه‌ها مربوط می‌شود. برای ارزیابی حوزه‌های نوظهور باید از ارزش‌های بنیادین و محوری حوزه‌های علمی و مهندسی نیز استفاده کرد. باید در راه پیشرفت همگرایی علم و مهندسی صبر و تحمل داشته باشیم. بنابراین، باید ارزش‌های بنیادین گرایش‌های تحقیقیافته را در ارزیابی همگرایی علم و فناوری جای دهیم و برای اصالت و نو بودن فعالیت‌های چندرشته‌ای نیز احترام و ارزش قائل شویم. اگرچه همگان از تعالی علم و فناوری آگاهند، اما عناصر فرهنگی و اجتماعی نیز می‌توانند به نوآوری و منحصر به فرد بودن علم و مهندسی کمک کنند. در نتیجه، تقویت گرایش‌های تحقیقیافته علمی و مهندسی نیز می‌تواند ارزشمند باشد. نظام ارزیابی چندبعدی و چندسطحی می‌بایست اصول کلی و پویایی فرایند همگرایی را به خوبی در نظر گیرد و معیارهای ارزیابی رشته‌های مختلف را نیز کاملاً تحت پوشش قرار دهد.

۷- سخنان پایانی

همگان از این نکته آگاهند که همگرایی علم و مهندسی با پیشرفت چرخه همگرایی-واگرایی همراه است. ممکن است پویایی فرایند همگرایی سبب ایجاد واگرایی خلاقانه و مبتکرانه‌ای شود که می‌تواند عرصه‌های علم و مهندسی را دستخوش تغییر کند. همچنین پیشرفت جامعه، مانند فعالیت‌های اجتماعی مربوط به انرژی و محیط زیست، می‌تواند از تعیین نقشه‌های راه فناوری تا سیاست‌های ملی را تغییر داده و تأثیر تعیین‌کننده‌ای را بر همگرایی علم و مهندسی بگذارد. می‌توان این نکته را نیز دریافت که تعامل میان جوامع و ارتباط بین سطوح مختلف در ایجاد زبان‌های بین‌حوزه‌ای سطح بالا و اقدامات هم‌افزای رشته‌های مختلف علمی و مهندسی، از ارزش بسیار بالایی برخوردار است. شاید بتوان انتظار داشت که چنین پیشرفتی بر حوزه‌های اجتماعی نیز تأثیر بگذارد و به افزایش درک متقابل، قدردانی و احترام در میان جوامعی با تاریخ و ریشه‌های فرهنگی متفاوت، چه در اقتصادهای توسعه‌یافته و چه در اقتصادهای در حال توسعه کمک کند.

مرجع

Unifying Concepts in Physics, Chemistry, and Engineering, Chunli Baia and Chen Wangb, Springer, DOI 10.1007/978-3-319-04033-2_70-1

پی‌نوشت

¹ Helical structure of DNA

² accelerators

³ Observatories

⁴ universal

⁵ macro

⁶ meso

⁷ micro

⁸ mega-science

⁹ integrate circuitry

به مجموعه‌ای از مدارات الکترونیکی اطلاق می‌گردد که با استفاده از مواد نیمه‌رسانا (عموماً سیلیسیم همراه با میزان کنترل شده‌ای ناخالصی) در ابعادی کوچک (معمولاً کمتر از یک سانتی متر مربع) ساخته می‌شود.

¹⁰ broadband communication

اصطلاح پهن‌بند (Broadband) اشاره به سیگنال مخابراتی یا وسایل با پهنای باند زیاد دارد.

¹¹ manned aerospace

¹² contagious diseases

¹³ Chinese Academy of Sciences Comparative Study Group on International Science and Technology

¹⁴ American Science and Engineering Index 2014

¹⁵ core technologies

¹⁶ economical gains

¹⁷ SARS

سارس نوعی بیماری خطرناک تنفسی است که از سال ۲۰۰۲ شیوع پیدا کرده است. شیوع آن از کشور چین بود و به سرعت به دیگر کشورهای آسیای شرقی مثل هنگ کنگ، ویتنام و سنگاپور و بعد به کشورهای آمریکای شمالی مثل کانادا و آمریکا سرایت کرد. این بیماری بین انسان و حیوان مشترک است و حدود ده درصد مرگ و میر دارد. علائم اولیه شبیه آنفلوآنزا است (تب، خستگی، بدن درد، سرفه و گلودرد) سپس علائم تنفسی مانند تنگی نفس و دشواری تنفس تشدید می‌شود.

¹⁸ symposiums

به‌گروه‌آیی تخصصی در راستای برگزاری سخنرانی، بحث و گفتگوهای گروهی درباره موضوع‌های ویژه و ازپیش‌تعیین‌شده، پیرامون جستارهای علمی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و غیره که در پایان با نتیجه‌گیری همراه است، سمپوزیوم می‌گویند.