

## ارزیابی فناوری؛

### ضرورتها و الزامات

■ مهندس غلامرضا ملک‌زاده  
پژوهشکده تحقیقات توسعه فناوری  
پارک علم و فناوری خراسان  
rezamalakzadeh@kstp.ir

روش‌های عملی مواجهه با چالش‌های اجتماعی ناشی از نسخه‌برداری، کسب یا خلق یک فناوری را در اختیار محقق قرار دهد. ارزیابی فناوری به شکل‌های مختلف و با رویکردهای گوناگونی انجام می‌شود که ناشی از دیدگاه و اندیشه افراد و هدفی است که از ارزیابی فناوری دارند. به عنوان مثال در جهت‌گیری پژوهش‌های توسعه فناوری برای آنکه بتوان جهت‌گیری آینده فناوری را تعیین کرد، لازم است ابتدا برآوردی از سطح موجود فناوری و وضعیت نسبی آن در اختیار داشت [۲]. ارزیابی فناوری، فرایندی است علمی، کنشی و ارتباطی که با هدف کمک به درک دیدگاه‌های اجتماعی و سیاسی با دانش و فناوری، مطرح می‌شود و جوانب اجتماعی و اثرات ناشی از یک فناوری را بررسی می‌کند [۱].

از جمله این اثرات می‌توان به تعیین پتانسیل‌ها، اثرات ثانویه، ریسک‌های فناوری،

نتایج حاصل فقط در مراحل انتهایی توسعه فناوری قابل استفاده است؛ یعنی در زمانی که کاربردهای آن را می‌توان به راحتی شناسایی کرد. از سوی دیگر تصمیم‌گیری نیازمند داشتن اطلاعات مربوط به پیامدهای ناشی از معرفی و کاربرد یک فناوری جدید قبل از بکارگیری گسترده آن است. یعنی در زمانی که هنوز مراحل اولیه توسعه یک فناوری مطرح می‌شود و فرایند نوآوری و جهت حرکت آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما اجرا و بکارگیری آن را به سختی می‌توان پیش‌بینی کرد. ارزیابی فناوری و روش‌های مختلف آن می‌تواند برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد و ابزاری کلیدی و قدرتمند در اختیار مدیران فناوری باشد.

### ارزیابی فناوری چیست؟

ارزیابی فناوری می‌تواند دانش، جهت‌گیری و

### مکیده

یکی از مهم‌ترین نیازهای امروز کشورهای در حال توسعه، تصمیم‌گیری در رابطه با چگونگی سرمایه‌گذاری در عرصه دانش و فناوری است که با توجه به کمبود منابع از یک سو و هزینه‌های بالای پژوهش و توسعه فناوری از سوی دیگر، اهمیت روز افزونی یافته است. از این رو ارزیابی فناوری<sup>۱</sup> به عنوان یکی از مناسب‌ترین ابزارها برای کمک به این نوع تصمیم‌گیری‌ها باید مورد توجه جدی قرار گرفته و با نگاهی تازه مورد استفاده مدیران و سیاست‌گذاران دانش و فناوری قرار گیرد. ارزیابی فناوری‌های نوین نظیر ریز فناوری، زیست فناوری و فناوری اطلاعات نیز نیازمند کاربرد روش‌های نو در ارزیابی است. این روش‌ها از نظام‌های دیگر علمی استنتاج شده و برای مقاصد خاصی طراحی می‌شود. به همین جهت باید امکان‌پذیری اجرا و نیاز به اصلاح و تعدیل در روش‌ها را مورد توجه قرار داد. در این مقاله مفاهیم، انواع و رویکردهای ارزیابی فناوری و روش ترسیم نقشه راه به عنوان ابزاری سودمند در ارزیابی فناوری‌های نوین، معرفی و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### واژه‌های کلیدی

فناوری، ارزیابی، نقشه راه.

### مقدمه

روش‌های ارزیابی فناوری با چالش‌های مهم و قابل توجهی در رابطه با فناوری‌های نوین مواجه شده است. اگر در فرایند ارزیابی فناوری بر خروجی‌ها یا اثرات یک فناوری متمرکز شویم،



#### 1. Technology Assessment

مسائل و مشکلات و تضاد و تناقض‌های احتمالی یک فناوری اشاره کرد.

در هر حال می‌توان ارزیابی فناوری را به عنوان یک تحقیق فناورانه بین رشته‌ای دانست که در آن مهندسين و متخصصين تمام رشته‌ها با هم یک فناوری خاص را ارزیابی می‌کنند. به همین جهت می‌توان به موارد زیر که از تعاریف بسیار خوب ارزیابی فناوری هستند اشاره کرد:

ارزیابی فناوری مجموعه‌ای از مطالعات نظام‌مند است که اثرات اجتماعی ناشی از معرفی، توسعه یا اصلاح یک فناوری را بررسی می‌کند. همچنین اثرات و پیامدهایی را که مورد توجه قرار نگرفته، مورد تأکید قرار می‌دهد.

به بیان دیگر، ارزیابی فناوری به عنوان تولید اطلاعات راجع به نتایج محتمل توسعه دانش و فناوری، با هدف بهبود سیاست‌های عمومی، می‌پردازد. به طور خاص، ارزیابی فناوری به نوعی از اطلاعات اطلاق می‌گردد که در رابطه با مسائل و مشکلات دانش و فناوری است و به شکل گزارش یا سندی نگارش می‌شود که در سیاست‌گذاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵].

ارزیابی فناوری شکلی از پژوهش درباره سیاست‌گذاری است که قادر است ارزشیابی جامعی از یک فناوری را برای تصمیم‌گیرنده فراهم کند [۳].

ارزیابی فناوری تلاشی برای برقراری و دستیابی به هشدارهای اولیه و ایجاد سیستمی اخطاردهنده است که تغییرات و توسعه فناورانه را شناسایی، کنترل و هدایت می‌کند. بطوریکه کالاهای ارزشمند برای جامعه را حداکثر و مخاطرات اجتماعی را به حداقل می‌رساند

### دلایل ضرورت ارزیابی فناوری

دلایل مختلف و متعددی برای ارزیابی فناوری‌ها وجود دارد. البته بسیاری از افراد تصور می‌کنند که ارزیابی فناوری، فرایندی است که چگونگی تأمین بودجه را مشخص می‌سازد. اما باید توجه کرد که تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی در خصوص تأمین مالی یا شناسایی منابع جدید مالی یکی از اهدافی است که ارزیابی فناوری به دنبال آن است. ولی دلایل مهمتر دیگری نیز وجود دارد. از جمله:

■ تأمین اطلاعات برای مهندسين و متخصصين در مورد جوانب مختلف یک فناوری در رابطه با فناوری‌های موجود که در حال حاضر به خوبی عمل می‌کند و مشکلات بالقوه‌ای که ممکن است در آینده در پی داشته باشد.

■ شناسایی مشکلات بالقوه‌ای که در مراحل اولیه ارائه محصول یا محصولات یک فناوری ممکن است پدیدار شوند. به طوری که بتوان آنها را قبل از وخامت اوضاع، تصحیح کرد.

■ هدایت تلاش‌های ارزیابی بیشتر، نظیر آشکارسازی ضرورت پرداختن به جزئیات و یا ارزیابی و بررسی اولیه محصولات یک فناوری و رسیدن به راهنمایی جهت ارزیابی اثرات طولانی‌مدت آن فناوری.

■ اطلاعات در خصوص کمک‌های فناورانه موردنیاز در صورت بکارگیری یک فناوری.

■ تعیین اثرات ناشی از بکارگیری یک فناوری بر مصرف‌کننده در جامعه.

به عبارت دیگر می‌توان دو دلیل اصلی برای ضرورت ارزیابی فناوری مطرح کرد که عبارتند از:

۱. درک این مطلب که آیا محصولات یک فناوری نتایج مطلوب و مورد نظر را تأمین

می‌کنند؟ به عبارت دیگر آیا از نظر هزینه، کاربرد فناوری مقرون به صرفه است؟ آیا فناوری جای خود را در جامعه باز کرده و برای اجتماع سودمند است؟ آیا تمام عوامل اصلی یعنی محیطی، اجتماعی، فنی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی در استفاده از این فناوری مورد توجه قرار گرفته‌اند؟

۲. دستیابی به اطلاعات ضروری در خصوص پیاده‌سازی و بکارگیری یک فناوری خاص برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در راستای فرایند توسعه فناوری.

### رویکردها

رویکردهای متفاوتی در ارزیابی فناوری می‌تواند به کار برده شود؛ از جمله چهار رویکرد که بطور خلاصه به آن اشاره می‌شود در ارزیابی فناوری مورد توجه قرار می‌گیرد [۴]:

#### ۱. ارزیابی فناوری آگاهی‌دهنده

مهمترین دلیل این نوع ارزیابی فناوری، پیش‌بینی توسعه فناوری و دیگر اثرات آن برای آگاهی از پیامدهای ناخواسته و ناپیدا است.

#### ۲. ارزیابی فناوری راهبردی

این رویکرد در ارزیابی فناوری زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که حمایت از گروه‌ها یا دسته‌های خاصی از دست اندرکاران تدوین سیاست‌ها یا استراتژی‌ها، با توجه به توسعه فناوری‌های خاص و مشخص مورد نظر باشد.

#### ۳. ارزیابی فناوری سازنده

مهمترین نتیجه‌ای که در این رویکرد مورد توجه محقق قرار می‌گیرد، توسعه و گسترش

فرایند تصمیم‌سازی در خصوص توسعه فناوری برای شکل‌دهی توسعه فناوریانه در جهت‌های مطلوب جامعه است.

#### ۴. ترسیم آینده

تهیه و تدوین سناریوهای آینده مطلوب و شروع فرایندهای نوآوری بر مبنای این سناریوها بر اساس نتایج ارزیابی فناوری با هدف ترسیم آینده در این رویکرد مورد توجه قرار می‌گیرد. البته گاهی طرح‌های ارزیابی فناوری، ترکیبی از رویکردهای گفته شده را مورد استفاده قرار می‌دهند که بستگی به حوزه عملکرد طرح دارد.

#### روش‌های تحلیل

نوع تجزیه و تحلیل نتایج ارزیابی فناوری نیز مهم و تعیین کننده است. این تحلیل‌ها می‌تواند به شکل زیر باشند:

۱. تحلیل جامع و نظام‌مند و برآورد پیش‌نیازها و اثرات مثبت و منفی ناشی از معرفی و به‌کاربردن فناوری‌ها؛
۲. شناسایی حوزه‌های تضاد و تناقض بوجود آمده به دلیل بکارگیری فناوری؛
۳. تعیین و مرور اقدامات بهینه یا گزینه‌های بهینه برای بهبود فناوری‌های موردنظر و کاربرد آنها.

#### روش‌های ارزیابی

مطالعات ارزیابی فناوری را نیز می‌توان به سه شکل مورد استفاده قرار داد. هر کدام از این مطالعات در جایگاهی خاص کاربرد دارند:

- مطالعات ارزیابی فناوری پروژه محور که مستقیماً در رابطه با کاربردهای یک فناوری به

صورت خاص و مشخص انجام می‌شود.

- مطالعات ارزیابی فناوری با محوریت یک فناوری خاص که دیدگاه‌های مربوط به آن فناوری و اثرات آن بر صنعت، محیط یا اجتماع را در چارچوب طیف وسیعی از کاربردهای بالقوه یا معلوم بررسی می‌کند.

- مطالعات ارزیابی مسئله محور که به دنبال گزینه‌های ممکن و پاسخ‌های فنی برای حل مشکلاتی نظیر مسائل حوزه حمل و نقل، تأمین انرژی و محیط زیست است و اثرات آنها را تحلیل می‌کند.

طرح، ساختار و روش ارزیابی فناوری بستگی به عوامل مختلف دارد و باید به صورت موردی تعیین شوند. ولی چارچوب و قالب مفهومی باید حفظ گردد. ساختار و طرح کلی یک ارزیابی فناوری معمولاً شامل اجزاء زیر است:

۱. تعریف وظایف و سامانه مورد بررسی؛
  ۲. تحلیل فناوری، کاربردهای آن و چارچوب عملکرد؛
  ۳. ارزیابی اثرات؛
  ۴. تعیین، برآورد و توسعه گزینه‌های مختلف و ممکن.
- مهمترین مشکلی که در فرایند ارزیابی فناوری مشاهده می‌شود، قابلیت دسترسی به اطلاعات موثق است که روایی و صحت لازم برای تجزیه و تحلیل را داشته باشند.

#### پالش‌های ارزیابی فناوری‌های نو

چشم‌انداز و منظر ارزیابی فناوری در طی سال‌های اخیر، دستخوش تغییرات بسیار بوده است. در ابتدای کاربرد ارزیابی فناوری، عمدتاً فناوری‌های پیچیده نظیر فناوری‌های تولید

انرژی، فناوری انرژی هسته‌ای، فناوری‌های هوا-فضا و نظایر آنها مورد توجه بوده است. اما کاربرد این نوع تحقیق به تدریج توسعه یافت و اثرات آن بر تصمیمات دولت‌ها و سیاست‌گذاران افزایش یافت.

در طی سال‌های اخیر، تمرکز بر فناوری تا حدود بسیار زیادی به سوی توسعه فناوری‌های کوچک‌تر و غیرمتمرکز تمایل پیدا کرده است. اثرات این نوع تمرکز ناشی از تعداد زیادی اجزاء و مؤلفه و کاربردهای آن می‌باشد. این نکته نشان دهنده نوع جدیدی از پیچیدگی‌ها و وابستگی‌هاست که این مؤلفه‌ها بوجود می‌آورند. وابستگی و پیچیدگی مورد بحث به دلیل تعامل مؤلفه‌های مختلف بر یکدیگر و تغییرات الگوهای اقتصادی و اجتماعی است که استفاده از یک فناوری به دنبال دارد.

برخی از فناوری‌ها، فناوری‌های توانمندساز نامیده می‌شوند. اینها اغلب فناوری‌های پیش‌نیاز برای دستیابی به فناوری، محصول یا فرآیندهای دیگری هستند که انتظار داریم بر فناوری‌های موجود تأثیرگذار باشند. این تأثیرات ناشی از بسط کارایی آنهاست و فناوری‌های نوین را قادر می‌سازد به کاربردهای وسیع‌تر در صنایع متعدد دست یابند. فناوری‌های توانمندساز، غالباً طبقه‌بندی مستقل و ساده‌ای ندارند. در نتیجه لازم است مراحل تحلیلی میان‌های مدنظر قرار گیرد تا بتوانیم آنها را تشخیص دهیم و دریابیم اثر آنها بر کاربردها چیست؟ و یا چه چشم‌اندازی برای آنها در رابطه با فناوری‌ها یا محصولات کاربردی ترسیم می‌شود؟

هنگامی که انواع جدیدی از فناوری‌ها ارزیابی می‌شوند، نقش دولت‌ها و سیاست‌های آنها

همانند بازیگران اصلی و کلیدی فرایند نوآوری، تغییر می‌کند. پیش از هر نکته باید به این مسئله توجه کرد که مشارکت مستقیم دولت در فرایند نوآوری، چارچوب و معیارهای جدیدی برای نوآوری را مطرح می‌کند. دلایل عمده این موضوع عبارتند از:

■ فرایند جهانی شدن که نقش و اثر صنایع و سیاست‌های ملی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛  
 ■ پارادایم‌های سیاسی که در طی سالهای اخیر، تغییر کرده اند؛

■ مقررات و ضوابط رقابت‌های جهانی که جایگاه فعالیت‌های دولتی را محدود کرده است. امروزه، بسیاری از کشورها تمایل شدید خود را برای تمرکز بر فعالیت‌ها و فناوری‌هایی که رشد اقتصادی مطلوبی به همراه دارند، نشان داده‌اند. این تمایلات گاه با الزامات توسعه فناوری در هم آمیخته می‌شود تا توسعه پایدار را به دنبال داشته باشد. البته گاهی نیز این الزامات به قید و بندها و محدودیت‌ها تبدیل می‌شوند.

سازمان‌های تأمین کننده بودجه و پیمانکاران، اغلب نیازمند دسترسی به اطلاعات علمی و دانش‌بینان و غالباً کمی شده در رابطه با توسعه یک فناوری هستند و می‌خواهند تعامل آن فناوری با جامعه را قبل از بکارگیری بدانند. توجه به این نکته ضروری است که سؤالات مربوط به پیامدهای یک فناوری و گزینه‌های مؤثر بر فناوری، در فازهایی از فرایند نوآوری قابل طرح و پاسخگویی هستند که از مرحله نفوذ به بازار مصرف عبور کرده باشند. در واقع این مسئله به کاربرد فناوری تا زوال آن مربوط است. به این ترتیب چالش قابل توجهی از دیدگاه روش تحقیق در تحلیل و ارزیابی تمام فناوری‌های نوین مطرح می‌شود

که در خصوص فناوری‌های توانمندساز از اهمیت بیشتری برخوردار است.

اصول مربوط به گنجاندن دانش در بررسی اثرات قابل تصور یک فناوری بر تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی، در مراحل اولیه ارزیابی فناوری مطرح می‌شود. این مسئله به عنوان اولین اخطار از خطرهای احتمالی فناوری و پیامدهای بررسی نشده آن، مورد بررسی قرار می‌گیرد که بعداً به ابزاری تشخیصی در مورد پتانسیل‌های یک فناوری به کار برده می‌شود.

مباحث مربوط به تلاش‌ها و چالش‌های محوری و بنیادی توسعه پایدار، به خصوص پایداری ارزیابی‌های فناوری، حاصل سال‌ها تحقیق و تجربه در روش‌های ارزیابی فناوری است. توجه به چشم‌انداز طولانی مدت، مواجهه با مسائل و مشکلات یکپارچه‌سازی، روابط علت و معلولی و ارتباط فوق عملی، مدت مدیدی مطرح بوده است که در مباحث ارزیابی فناوری با توجه به پایداری آن، اهمیت می‌یابد.

### ترسیم نقشه راه

روش ترسیم نقشه راه، ابزاری قدرتمند برای ارزیابی فناوری‌ها است. متأسفانه تعریفی استاندارد و مورد توافق برای همه دست اندرکاران در رابطه با یک نقشه راه یا ترسیم آن وجود ندارد. در عین حال، نظرات مختلفی درباره اینکه روش تهیه نقشه راه چه وقت باید به کار برده شود، وجود دارد.

در مدیریت فناوری، واژه نقشه راه به شکلی گسترده و فراگیر به کار برده می‌شود که از ارائه تصویری از مسیر توسعه فناوری و محیط کاربرد آن شروع شده و به شرح جزئیات و پیچیدگی‌ها

و الزامات آینده فناوری و نیازهای تحقیقاتی ختم می‌شود. جزئیات مربوط به انواع مختلف نقشه‌های راه، حوزه عمل، اهداف و روش‌شناسی و مقیاس زمانی آنها در مراجع مختلف ارائه شده است.

در میان انواع مختلف نقشه راه، نقشه‌های راه فناوری دارای تاریخچه‌ای طولانی‌تر است. شرکت‌ها و مؤسسات متعددی رسم نقشه راه فناوری خود را در دهه ۱۹۸۰ آغاز کردند. به طوری که در دهه‌های اخیر، این نقشه‌های راه هم برای صنعت و هم برای شرکت‌ها و مؤسسات فعال در آن صنعت به کار برده شده است.

نقشه راه دانش و فناوری، چشم‌اندازی از آینده دانش و فناوری برای تصمیم‌گیران فراهم می‌سازد. ترسیم این نقشه راه، راهی برای شناسایی، برآورد و انتخاب گزینه‌های راهبردی بوجود می‌آورد که می‌تواند رسیدن به اهداف و منظورهای دانش و فناوری را امکان‌پذیر سازد.

به طور خلاصه، نقشه راه پوششی است بر فراز گروهی از روش‌های علمی که ساختاردهی به فرایندهای مستقل و پیچیده را به همراه دارد و به عنوان وسیله‌ای کمکی در تصمیم‌گیری راهبردی و طرح‌ریزی سازمان‌های وابسته به توسعه دانش و فناوری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ترسیم نقشه راه، روش عمومی و کلی وجود ندارد؛ اما می‌توان از روش‌های رایج و اصول کلی حاکم بر ارزیابی فناوری استفاده کرد. اگرچه طرح‌های ارزیابی فناوری نیز از نظر نوع عملیات، موضوعات و سؤالات مطرح شده، متفاوتند.

از سوی دیگر، ترسیم نقشه راه شامل فرایند سازمان یافته‌ای است که گروه‌های بین رشته‌ای متخصص، ساختاری تحلیلی را ترسیم می‌کنند که در آن چگونگی تطابق اجزاء و عناصر مختلف

### منابع و مآخذ

[۲] مسعود نیلی و همکاران؛ **استراتژی توسعه صنعتی کشور، جهت‌گیری‌های فناوری**؛ ۱۳۸۳.  
 [۳] نواز شریف، محمد، ترجمه رشید اصلانی؛ **مدیریت انتقال تکنولوژی و توسعه**؛ سازمان برنامه و بودجه، تهران، ۱۳۶۷.

[1] D. Bu`tschi, R. Carius, M. Decker, S. Gram, A. Grunwald, P. Machleidt, S. Steyaert, R. van Est, The practice of TA.Science, interaction, and communication, in: M. Decker, M. Ladikas (Eds.), Bridges Between Science, Society and Policy.Technology Assessment-Methods and Impacts, Springer Heidelberg, New York, 2004.

[4] Eijnhoven, Josee Van 1997 Technology Assessment : Product or Process?, Technological Forecasting and Social Change, vol 54, F.Coates, A 21st Century agenda for technology assessment, Technol.Forcast.Soc.67,2001

[5] Managing Technology and Society, 1995, p. ix. Pinter Publishers.

فناوری و تعامل آنها با یکدیگر نشان داده می‌شود. در عین حال ممکن است وابستگی این اجزاء به هم یا محدودیت آنها با توجه به عوامل فنی یا اقتصادی- اجتماعی نیز مدنظر قرار گیرد. علاوه بر این سایر مزایای یک ارزیابی فناوری شامل شناسایی شکاف دانش، برآورد و تخمین تخصصی در خصوص اثرات فناوری و درجه سختی غلبه بر مشکلات، افق زمانی مناسب و پاسخ‌های مختلف برای مسائل و حتی مفاهیم جدید نیز در ترسیم نقشه راه وجود دارد.

ترسیم نقشه راه به افراد کمک می‌کند تا طرح‌ها و چشم‌اندازها را با هم در میان گذارند و بازخوردهای لازم را بگیرند. در این فرایند، تفکر در رابطه با آینده نامعلوم، دانشی را فراهم می‌سازد که منجر به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر شده و برای گروه نیز نوعی فرایند یادگیری محسوب می‌شود. مزایای ترسیم نقشه راه را می‌توان به شکل خلاصه مطرح کرد:

- شناسایی و ارزیابی فرصت‌ها، نیازها و موانع پژوهشی؛
  - یافتن گره‌ها و راه‌های میان‌بر برای حل مسائل؛
  - ساختاردهی به حوزه‌های تحقیق و تصور میزان پیچیدگی آن؛
  - توانایی برقراری ارتباطات میان رشته‌ای؛
  - یافتن گزینه‌های جدید پژوهشی و راه‌های دیگر اقدام؛
  - حمایت از توسعه راهبردها و ارتباطات میان رشته‌ای؛
  - برقراری ارتباط روشن و شفاف با حامیان و عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر از فناوری.
- علاوه بر این، پیاده‌سازی و اجرای موفق این

