

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

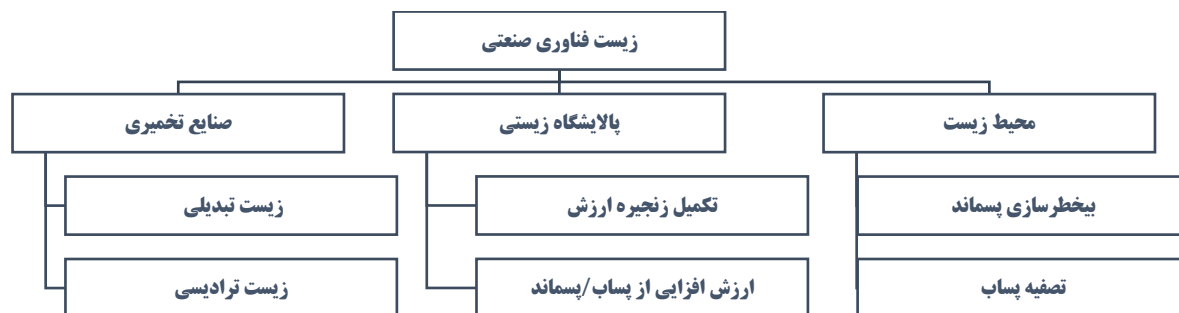
خلاصه مدیریتی:
چشم‌انداز و گزارش تحلیلی ظرفیت‌های
زیست‌فناوری صنعتی در کشور

فهرست مطالب

۱-۱- مقدمه و ضرورت استراتژیک توسعه زیست فناوری صنعتی.....	۳
۱-۲- ارکان و حوزه های اصلی زیست فناوری صنعتی.....	۳
۱-۲-۱- صنایع تخمیری و کاتالیز زیستی.....	۳
۱-۲-۲- پالایشگاه زیستی و اقتصاد چرخشی.....	۴
۱-۲-۳- مدیریت محیط زیست و زیست پایایی.....	۵
۱-۳- سیر تحول تاریخی و تکامل زیست فناوری صنعتی.....	۵
۱-۴- امنیت غذایی، امنیت ملی و رابطه بین آنها.....	۶
۱-۵- مؤلفه های مؤثر در امنیت غذایی.....	۶
۱-۶- نقش بیوتکنولوژی صنعتی در امنیت غذایی.....	۷
۱-۷- لزوم خوداتکایی در تولید محصولات استراتژیک در کشور.....	۸
۱-۸- چالش ها، گلوگاه ها و زنجیره ارزش توسعه زیست فناوری در کشور.....	۹
۱-۸-۱- تحلیل جامع زنجیره ارزش در بیوتکنولوژی صنعتی.....	۹
۱-۸-۲- چالش ها و گلوگاه های ۶ گانه توسعه زیست فناوری صنعتی در ایران.....	۹
۱-۹- ذی نفعان توسعه حوزه در کشور.....	۱۰
۱-۱۰- قوانین و اسناد بالادستی موجود.....	۱۱
۱-۱۱- بازار زیست فناوری صنعتی در کشور.....	۱۲
۱-۱۲- متدولوژی شناسایی حوزه های ترند و سنجش بازار زیست فناوری در کشور.....	۱۴
۱-۱۲-۱- چرخه بلوغ فناوری (TMCL) و سطح آمادگی فناوری (TRL).....	۱۴
۱-۱۲-۲- نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR).....	۱۷
۱-۱۲-۳- تحلیل علمی و اسناد حقوقی (پتنت ها).....	۱۷
۱-۱۲-۴- بررسی محصولات و روند کاری شرکت های بزرگ تجاری (تقاضای اثبات شده).....	۱۷
۱-۱۲-۵- بررسی سیستم جذب سرمایه استارت آپ ها (نشانگر زود هنگام نوآوری).....	۱۸
۱-۱۲-۶- بررسی بازار و پتانسیل ایران (بوم سازی و قابلیت اجرا).....	۱۸
۱-۱۳- بوم سازی و الزامات اختصاصی بازار ایران.....	۱۹
۱-۱۴- دسته بندی جامع حوزه های ترند زیست فناوری صنعتی.....	۲۰

۱-۱- مقدمه و ضرورت استراتژیک توسعه زیست فناوری صنعتی

در محیط کلان اقتصاد جهانی، محدودیت فزاینده منابع فسیلی و چالش های ناشی از تغییرات اقلیمی، گذار به اقتصاد زیستی را به یک الزام استراتژیک مبدل ساخته است. زیست فناوری صنعتی که با نام بیوتکنولوژی سفید نیز شناخته می شود، به عنوان موج سوم بیوتکنولوژی و متمایز از موج های پزشکی و کشاورزی، نقش بسزایی در فراوری و تولید پایدار مواد شیمیایی، دارویی، سوخت ها و پلیمرها از منابع تجدیدپذیر ایفا می کند. این فناوری با کاهش اتکا به نفت و گاز و کمینه سازی انتشار گازهای گلخانه ای، بستری استوار برای توسعه پایدار فراهم می آورد. از مهم ترین مزیت های رقابتی زیست فناوری صنعتی می توان به سازگاری بالا با محیط زیست، توانمندی در بهره برداری حداکثری از پسماندها و پساب ها، امکان تولید محصولات پیچیده با خلوص بالا، کاهش چشمگیر مصرف انرژی در شرایط بهینه و قابلیت تولید طیف گسترده ای از مواد پایه، واسطه و نهایی اشاره کرد.



شکل (۱-۱) حوزه های اصلی زیست فناوری صنعتی

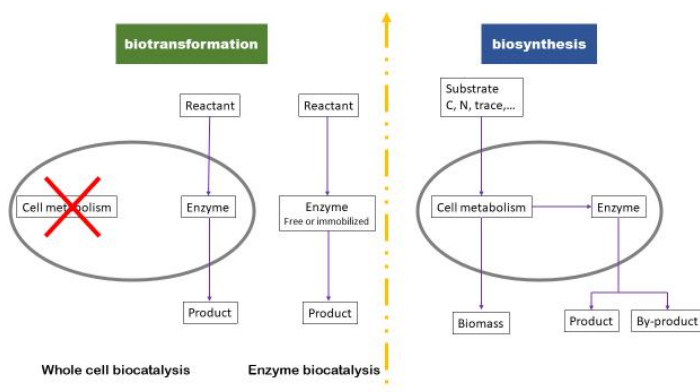
۱-۲- ارکان و حوزه های اصلی زیست فناوری صنعتی

۱-۲-۱- صنایع تخمیری و کاتالیز زیستی

صنایع تخمیری به عنوان یکی از قدیمی ترین و کلیدی ترین حوزه های بیوتکنولوژی صنعتی، بر فرایندهای کنترل شده ای استوار است که در آن ها میکروارگانیسم ها با مصرف منابع کربنی، محصولات ارزشمندی تولید می کنند. این حوزه به دو بخش اصلی «سنتز زیستی یا تخمیر» و «زیست ترادپسی یا بیوکاتالیست» تقسیم می شود. در سنتز زیستی، میکروارگانیسم ها از طریق مسیرهای پیچیده متابولیکی رشد کرده و طیف وسیعی از متابولیت های اولیه و ثانویه مانند اسیدهای آلی و اتانول را تولید می نمایند؛ در این روش محصول نهایی تفاوت ساختاری متنابهی با ماده اولیه دارد. در مقابل، زیست ترادپسی بر استفاده از آنزیم های خالص یا سلول های کامل (به صورت آزاد یا تثبیت شده) برای تبدیل یک پیش ساز مشخص به محصولی ارزشمند طی یک یا دو واکنش کاتالیزتی تخصصی تمرکز دارد.

جدول (۱-۱) مقایسه بین تخمیر و زیست ترادایسی

پارامتر	سنتر زیستی (تخمیر)	زیست ترادایسی (بیوکاتالیست)
تعداد مراحل واکنش	چندین مرحله کاتالیزوری در مسیر متابولیک	یک یا دو مرحله کاتالیزوری تخصصی
شباهت ساختاری	عدم لزوم شباهت ساختاری محصول و سوبسترا	شباهت ساختاری بسیار بالای محصول و ماده اولیه
تولید محصولات جانبی	بالاتر به دلیل انحراف سوبسترا به رشد سلولی	بسیار محدود به دلیل گزینش پذیری بالا
کاربردهای صنعتی	اسیدهای آلی، اتانول، خمیرمایه و مواد بالک	آنتی بیوتیک ها، ویتامین ها، داروهای خاص و استرهای اسید چرب



شکل (۱-۲) مفهوم بیوسنتز و زیست ترادایسی

۲-۱-۲- پالایشگاه زیستی و اقتصاد چرخشی



شکل (۱-۳) شماتیک پالایشگاه زیستی

اقتصاد چرخشی^۱ با الگوی طراحی ترمیم کننده و تمرکز بر حفظ حداکثری ارزش مواد، در پی استفاده کارآمد از منابع محدود است. در این میان، اقتصاد زیستی با بهره گیری از زیست توده تجدیدپذیر به عنوان منبع کربن پایدار، علاوه بر کاهش اثرات تغییرات اقلیمی و ایجاد فرصت های شغلی جدید، مبنای اصلی تحقق اقتصاد زیستی چرخشی را تشکیل می دهد. در این چارچوب نوآورانه، چرخه تولید محصولات، بیوشیمیایی ها و انرژی های زیستی بسته شده و پایداری زیست محیطی در کنار دوام اقتصادی تضمین می گردد.

پالایشگاه زیستی^۲ با الگوبرداری از پالایشگاه های نفت و جایگزینی زیست توده و پسماند به جای خوراک فسیلی، رکن اصلی تحقق این الگوی اقتصادی است. این تأسیسات با هدف تکمیل زنجیره ارزش، حداقل دو مرحله فراوری و صفر کردن پسماند قابل بازیافت، تنوعی از

^۱ Circular economy

^۲ Biorefinery

محصولات با ارزش افزوده بالا (شامل مواد شیمیایی پایه، بیومواد و سوخت های زیستی) را از طریق مدل های متنوع (مبتنی بر شکر، لیگنوسلولز، روغن، پسماند و مدل های یکپارچه) و فرایندهای زیستی و شیمیایی پیشرفته (مانند هضم بی هوازی و تخمیر تاریک) تولید کرده و پایداری صنعتی را رقم می زنند.

۳-۲-۱- مدیریت محیط زیست و زیست پایایی

زیست فناوری صنعتی راهکارهایی بسیار پایدارتر و کارآمدتر از روش های سنتی تصفیه مانند دفن یا سوزاندن پسماند ارائه می دهد. در حوزه تصفیه پساب های صنعتی، شهری و کشاورزی، استفاده از فرایندهای بیولوژیکی هوازی و بی هوازی (نظیر راکتورهای UASB) موجب کاهش مصرف انرژی و کمینه سازی تولید لجن می شود. علاوه بر این، فناوری «زیست پایایی» با بهره گیری از میکروارگانیسم های طبیعی یا مهندسی شده و آنزیم های تخصصی مانند پراکسیدازها و دی اکسیژنازها، امکان پاک سازی خاک ها و آب های آلوده به هیدروکربن های نفتی یا فلزات سنگین را فراهم ساخته و از بروز آلودگی های جدید جلوگیری می کند

۳-۱- سیر تحول تاریخی و تکامل زیست فناوری صنعتی

توسعه بیوتکنولوژی صنعتی همواره تحت تأثیر نیروهای بازار، هزینه های عملیاتی و نیازهای جوامع به فرایندهای پایدار شکل گرفته است. سیر تکامل این حوزه را می توان در سه دوره تاریخی جمع بندی کرد: دوره نخست که به قبل از سال ۱۹۳۰ بازمی گردد، بر فرایندهای تخمیری اولیه و تولید محصولات پایه نظیر حلال ها، اسیدهای آلی، آمینواسیدها و خمیرمایه نان تمرکز داشته است. دوره دوم؛ یعنی از ۱۹۳۰ تا قبل از سال ۱۹۸۰، با توسعه فرایندهای تولید آنزیم ها، آنتی بیوتیک ها، پروبیوتیک ها، واکسن ها، بیوپلیمرها و پروتئین های تک یاخته همراه بوده است. در نهایت، دوره سوم که از بعد از سال ۱۹۸۰ آغاز شده و تا عصر حاضر ادامه دارد، به عنوان دوران نوین فناوری زیستی شناخته می شود که دستاوردهایی نظیر تولید آنتی بادی های مونوکلونال، پروتئین های نو ترکیب، سوخت های زیستی، مواد فعال زیستی گیاهی و مواد مؤثره دارویی پیشرفته را به صنعت معرفی کرده است.

زیست فناوری صنعتی با پیوند زدن اهداف اقتصادی و الزامات زیست محیطی، چارچوبی عملیاتی برای حرکت به سوی اقتصاد زیستی چرخشی^۱ فراهم می آورد. برای مدیران ارشد و سیاست گذاران صنعتی، سرمایه گذاری بر توسعه بسترهای کاتالیز زیستی به دلیل گزینش پذیری بالا، ایجاد پالایشگاه های زیستی یکپارچه جهت تکمیل زنجیره ارزش پسماندها، و به کارگیری روش های زیست پایایی در مدیریت پساب های صنعتی، اولویت های استراتژیکی هستند که علاوه بر کاهش هزینه های تولید، خلق ارزش افزوده پایدار و ارتقای مسئولیت های زیست محیطی سازمان را به همراه خواهند داشت.

¹ Circular bioeconomy

۴-۱- امنیت غذایی، امنیت ملی و رابطه بین آنها

ارزیابی چالش های اقتصادی ایران در سال های اخیر نشان می دهد که بحران های ارزی، وابستگی به واردات کالاهای پایه و محدودیت های منابع ارزی، فشارهای ساختاری شدیدی به اقتصاد کشور وارد آورده اند. در چنین شرایطی، تقویت خوداتکایی در محصولات استراتژیک به عنوان حیاتی ترین نیازمندی برای حفظ استقلال اقتصادی و مقابله با بحران ها مطرح می شود. بررسی های عمیق امنیت ملی گواهی می دهند که مخاطرات تهدیدکننده امنیت و رفاه آینده جوامع، از مخاطرات سنتی نظامی و برخورد های بین المللی فراتر رفته و به بی ثباتی های اقتصادی، فقر، گرسنگی و به ویژه ناامنی غذایی تغییر ماهیت داده اند. امنیت غذایی مفهومی چندبعدی و دارای زیرسیستم های متوالی شامل عرضه و تولید مواد غذایی، نگهداری، فراوری و توزیع، مصرف و سلامت است که هرگونه اختلال در هر یک از این زیرسیستم ها می تواند امنیت فردی و ملی را به مخاطره اندازد. زیرسیستم تولید و عرضه، نقطه آغازین امنیت غذایی است که در آن عرضه مواد غذایی اولیه، تعیین کننده ترین شاخص سنجش محسوب می شود.

مفهوم امنیت ملی در تعریف مدرن خود، به جای تمرکز بر تهدیدات نظامی خارجی، بر آسیب پذیری های داخلی و شاخص های کلان اقتصادی نظیر نرخ بیکاری، تورم، میزان تولید ناخالص داخلی، درآمد سرانه، ذخایر ارزی و جمعیت فعال تأکید دارد. توانایی دولت در ارائه سطح معقولی از رفاه اجتماعی و امنیت غذایی، مستقیماً مقبولیت و مشروعیت سیاسی آن را تعیین می کند.

رابطه میان امنیت غذایی و امنیت ملی یک رابطه حیاتی و متقابل است. امنیت غذایی در واقع یک سیاست امنیت ملی است که مقدار و کیفیت کالاهای عمومی امنیت ملی را در هر کشور تعیین می کند. عرضه سطح بهینه امنیت ملی مستلزم تدارک سطح بهینه امنیت غذایی است. تاریخ روابط بین الملل نشان می دهد کشورهای قدرتمند همواره از غذا به عنوان یک حربه و سلاح سیاسی علیه کشورهای در حال توسعه استفاده کرده اند. وابستگی به واردات مواد غذایی، ضربه پذیری سیاسی ایجاد کرده و عزت نفس ملی را که ستون اصلی توسعه است، تخریب می کند. ناامنی غذایی با ایجاد اخلاص در انباشت سرمایه اجتماعی، کنش های جمعی را پرهزینه ساخته و وفاق ملی را تضعیف می نماید. از همین رو، امنیت غذایی با ابعاد اقتصادی و منابع انسانی امنیت ملی رابطه مستقیم و با ابعاد سیاسی، اجتماعی، دفاعی - نظامی و فرهنگی - فناورانه رابطه غیرمستقیم دارد و اتکا بر تولیدات داخلی مواد غذایی، آسیب پذیری ملی را در شرایط تحریمی به حداقل ممکن می رساند.

۵-۱- مؤلفه های مؤثر در امنیت غذایی

امنیت غذایی بر پایه سه مؤلفه کلیدی و استراتژیک ضریب خودکفایی و عرضه کلان، دسترسی به غذا در سطح خرد و خانوار، و نحوه استفاده و الگوی تغذیه استوار است. ضریب خودکفایی نشان دهنده درجه تأمین نیازهای اساسی کشور از منابع تولید داخلی است. اگرچه خودکفایی لزوماً به معنای امنیت غذایی کامل در سطح خرد نیست، اما افزایش آن موجب گسترش دسترسی فیزیکی، کاهش قیمت ها و بهره مندی گروه های محروم و کم درآمد روستایی می شود. علاوه بر این، ارتقای ضریب خودکفایی دلالت بر بهبود بهره وری کشاورزی،



شکل (۴-۱) مؤلفه های کلیدی امنیت غذایی

کارایی سرمایه و نیروی کار، اثربخشی سیاست های دولتی و تقویت صرفه جویی های ارزی دارد. بررسی داده های تاریخی کشور نشان می دهد ضریب خوداتکایی ایران در تولید محصولات غذایی اساسی مانند گوشت مرغ، گوشت قرمز، تخم مرغ، لبنیات، ماهی، سیب زمینی و حبوبات تا سال ۱۳۸۰ در وضعیت مطلوبی قرار داشت، اما از سال ۱۳۸۰ به بعد روند نزولی به خود گرفت. مؤلفه دوم یا دسترسی به غذا، تمرکز را از سطح ملی به سطح فرد و خانوار معطوف می سازد. دسترسی باید در تمام زمان ها و نه فقط برای ادامه حیات، بلکه برای ایجاد بستر مشارکت فعال و پویا در جامعه محقق شود. متغیرهای کلان اقتصادی نظیر نرخ تورم بالا، نرخ بیکاری، درصد جمعیت زیر خط فقر، توزیع نامتعادل درآمد و قیمت بالای مواد غذایی، دسترسی اقتصادی را تهدید می کنند. در بعد فیزیکی، نارسایی در سیستم حمل و نقل، کارایی پایین شبکه توزیع، ضعف نظام کنترل کیفیت و عدم رعایت استانداردهای برچسب زنی، دسترسی مردم به غذای سالم را با مشکل مواجه می سازد. مطالعات سال ۱۳۹۰ نشان داد که نیمی از استان های کشور در طیف نسبتاً ناامن تا بسیار ناامن غذایی قرار داشته اند و سیاست های حمایتی پرداختی به دلیل هدف گذاری نامساعد، اثرات پایداری نداشته اند.

۶-۱- نقش بیوتکنولوژی صنعتی در امنیت غذایی

بیوتکنولوژی صنعتی به عنوان یکی از پیشرفته ترین ابزارهای فناوریانه، نقش کلیدی در تحول امنیت غذایی و کاهش وابستگی های ارزی ایفا می کند. تأکیدات مقام معظم رهبری شهید از سال ۱۳۶۸ مبنی بر سرمایه گذاری در روستاها و خودکفایی تغذیه به عنوان پایه اول استغنا تا سال ۱۴۰۱ و تأکید بر درجه اول بودن مسئله امنیت غذایی در شرایط بحران های جهانی، اهمیت راهبردی این حوزه را نشان می دهد. همچنین در سیاست های کلی اقتصاد مقاومتی و سند ملی دانش بنیان امنیت غذایی، الزامات اجرایی بیوتکنولوژی به دقت تبیین شده است.

اقدامات ملی تصریح شده در سند دانش بنیان امنیت غذایی مرتبط با بیوتکنولوژی صنعتی شامل موارد گسترده ای است؛ از جمله تأمین تخم چشم بچه ماهی و تکثیر گونه های جدید با عملکرد بالا و جلبک ها، فراوری بقایا، ضایعات، پسماندها، جلبک ها، حشرات و دانه های جدید نظیر ارزن، سورگوم و تربیت کاله برای جایگزینی بخشی از خوراک دام و طیور، و بومی سازی تولید و ارتقای کیفیت انواع کودهای کشاورزی، کودهای زیستی، آفت کش های کم خطر زیستی و محرک های رشد گیاهی. همچنین

کاهش وابستگی به واردات مواد اولیه تولیددارو، سموم، اسیدهای آمینه، ویتامین ها، ریزمغذی ها و مکمل های خوراک دام و طیور مبتنی بر ظرفیت های داخلی دانش بنیان در کنار امکان سنجی تولید گوشت مصنوعی، پروتئین های میکروبی و شبه کازئین های میکروبی جایگزین لبنیات و توسعه فناوری های نوین جهت تولید مواد افزودنی مفید زیستی از دیگر احکام این سند است.

بیوتکنولوژی صنعتی از طریق تکمیل زنجیره ارزش و توسعه پالایشگاه های زیستی تحول ایجاد می کند. پالایشگاه های زیستی با استفاده از ضایعات کشاورزی مانند پوست دانه ها، کاه و ساقه برنج و محصولات قندی مثل نیشکر و چغندر، قادر به تولید اتانول سوختی، الکل های صنعتی، بیوپلاستیک ها، اسیدهای ارگانیک و کودهای زیستی هستند. توسعه پالایشگاه های مخمر و زیستی نیشکر ضمن کاهش مصرف سوخت های فسیلی و جایگزینی پلاستیک های نفتی، زمینه ساز ایجاد صنایع پایدار، ارتقای سلامت جامعه و ارزآوری صادراتی خواهد بود.

۷-۱- لزوم خوداتکایی در تولید محصولات استراتژیک در کشور

خوداتکایی در تولید محصولات استراتژیک شامل کشاورزی، دارو، انرژی و صنایع دفاعی، ابزاری حیاتی برای حفظ استقلال اقتصادی و مقابله با فشارهای بین المللی است. مفهوم اقتصاد مقاومتی که نخستین بار در شهریور ۱۳۸۹ مطرح شد، راهکاری علمی برای تشخیص نقاط فشار، کنترل تحریم ها، مهار تورم، مبارزه با رکود و تبدیل تهدیدها به فرصت از طریق اتکا به توان داخلی است.

ضرورت های خوداتکایی در شرایط کنونی ایران از چند جنبه قابل تحلیل است. نخست، کاهش وابستگی به واردات و حفظ منابع ارزی اهمیت دارد؛ چرا که واردات گندم، دانه های روغنی، دارو و نهاده های کشاورزی موجب ارزیابی شدید می شود و خوداتکایی فشار بر منابع ارزی را تخلیه می کند. دوم، تقویت امنیت غذایی و ثبات اجتماعی مطرح است که باتوجه به محدودیت های شدید منابع آب و تغییرات اقلیمی، تولید داخلی محصولات استراتژیک مانع از بروز شوک های غذایی و نارضایتی های اجتماعی می گردد. سوم، حفظ استقلال و امنیت ملی در منطقه ای پرچالش ضروری است؛ زیرا وابستگی غذایی و دارویی نقطه ضعف استراتژیک ایجاد می کند. چهارم، توسعه اقتصاد دانش بنیان و اشتغال زایی از طریق بومی سازی صنایع دارویی نظیر تولید داروهای نو ترکیب، انسولین، هورمون ها و فاکتورهای خونی و همچنین تولید سوخت های زیستی؛ مانند اتانول و بیودیزل، باعث به کارگیری نیروهای متخصص و کاهش بیکاری جوانان می شود. بیوتکنولوژی صنعتی با بومی سازی فرایندهای تخمیری، تولید پروتئین های گیاهی و نو ترکیب، تولید بیوپلاستیک های تجدیدپذیر و بهینه سازی زنجیره ارزش نیشکر و ذرت، موتور پیشران این خوداتکایی محسوب می شود.

۸-۱- چالش ها، گلوگاه ها و زنجیره ارزش توسعه زیست فناوری در کشور

۸-۱-۱- تحلیل جامع زنجیره ارزش در بیوتکنولوژی صنعتی

زنجیره ارزش ارائه شده توسط مایکل پورتر ابزاری سیستماتیک برای تفکیک فعالیت های استراتژیک یک سازمان یا صنعت به منظور درک رفتار هزینه ها و خلق مزیت رقابتی است. حاشیه سود در این چارچوب از مابه التفاوت ارزش کل ایجاد شده برای خریدار و مجموع هزینه های انجام فعالیت های ارزشی به دست می آید. در زیست فناوری صنعتی، فعالیت های زنجیره ارزش به دو دسته فعالیت های اولیه شامل لجستیک ورودی، عملیات تولید بالادستی و پایین دستی، لجستیک خروجی، بازاریابی و خدمات، و فعالیت های پشتیبانی شامل تدارکات، توسعه فناوری، مدیریت منابع انسانی و زیرساخت های سازمانی تقسیم می شوند. پیاده سازی این رویکرد نیازمند درک زنجیره ارزش و شناسایی نقاط حساس، جمع اقدامات موجود و شناسایی فرصت ها، و در نهایت تعیین دستور کار مشترک میان تمام بازیگران است.

نمونه های عملیاتی این زنجیره را می توان در دو حوزه مشاهده کرد. در حوزه تولید بیو انرژی، زنجیره ارزش از برداشت زیست توده و پسماندها آغاز شده و پس از حمل و نقل و ذخیره سازی، وارد فرایندهای تبدیل زیستی یا حرارتی نظیر هضم بی هوازی و پیرولیز می شود و در نهایت پس از تصفیه، در صنایع هوایی، نیروگاهی و خودروبی توزیع می گردد. در نمونه ای دیگر، تجربه تولید بایندر آلی از ویناس کارخانه الکل نشان می دهد که چگونه پساب و ضایعات تقطیر نیشکر می تواند پس از تبخیر و خشک سازی به روان کننده بتن تبدیل شده و آب بازیافتی آن به چرخه تولید الکل بازگردد.

۸-۱-۲- چالش ها و گلوگاه های ۶ گانه توسعه زیست فناوری صنعتی در ایران

بازار محصولات زیست فناوری صنعتی در ایران بیش از ۲.۵ میلیارد دلار ارزش دارد که متأسفانه بیش از ۹۰ درصد آن از طریق واردات تأمین می شود. این وابستگی در حالی است که پتانسیل های عظیمی در پالایشگاه های زیستی، صنایع تخمیری و ارزش افزایی از پسماندها وجود دارد. چالش های اصلی توسعه این حوزه در ۶ گام ساختاری قابل دسته بندی است:

۱. عدم تدوین دقیق اولویت ها و مسئله شناسی کاربردی: عدم ارتباط ساختاریافته میان حاکمیت و ستاد توسعه زیست فناوری با صاحبان صنایع و واردکنندگان موجب شده تا نیازسنجی واقعی انجام نگرفته و اولویت های تحقیقاتی با نیازمندی های صنعت تطبیق نداشته باشند.
۲. ضعف زیرساخت های تحقیق و توسعه و سقوط در دره مرگ: فاصله میان بهینه سازی آزمایشگاهی در سطح آمادگی فناوری ۴TRL تا مقیاس صنعتی ۷TRL به عنوان دره مرگ شناخته می شود. نبود زیرساخت های پایلوت نیمه صنعتی باعث شکست طرح های فناورانه می شود که راهکار عبور از آن، توسعه سازمان های تحقیقات و خدمات تولید قراردادی (CRAMS) و سازمان های توسعه و تولید قراردادی (CDMO) برای پیمانکاری تولید و ارتقای مقیاس است.

۳. بحران نیروی انسانی متخصص و انحراف دانشگاه ها: انحراف دانشگاه ها از رسالت آموزش نیروی متخصص مورد نیاز

- صنعت و روی آوردن به پژوهش های انتزاعی موجب شده تا علاوه بر هدایت نخبگان به خروج از کشور، صنایع تخمیری و مهندسی فرایندهای زیستی با کمبود شدید نیروی ماهر مواجه شوند.
۴. اختلالات ساختاری بازار و قیمت گذاری دستوری: وجود یارانه های سنگین روی سوخت های فسیلی که قیمت بنزین در ایران را به حدود ۰.۰۶ دلار در مقایسه با قیمت جهانی ۰.۶ تا ۲.۸۸ دلار می رساند، تولید سوخت های زیستی؛ مانند اتانول را غیراقتصادی نشان می دهد. همچنین تفاوت ظرفیت اقتصادی تولید با نیاز بازار، مانند نیاز ۲۰ هزارتنی کشور به اسیدآمینه لیزین در برابر کف ظرفیت اقتصادی ۵۰ هزارتنی کارخانه، به دلیل عدم وجود سازمان های توسعه صادرات، احداث واحد تولیدی را توجیه ناپذیر می کند.
۵. ناکارآمدی سیستم های تأمین مالی خطرپذیر: عدم پذیرش ریسک توسط صندوق های سرمایه گذاری خطرپذیر (VC) و رفتار مشابه آن ها با بانک های سنتی، ضربه مهلکی به تجاری سازی طرح های زیست فناوری وارد آورده است.
۶. عدم پیوستگی و ارتباط درون ساختاری اجزای اکوسیستم: گسستگی شبکه میان فناوران، سرمایه گذاران، تأمین کنندگان مواد اولیه، صنایع تجهیزات ساز و سازمان های نظارتی مانع از شکل گیری یک اکوسیستم پویا شده است.

۹-۱- ذی نفعان توسعه حوزه در کشور

توسعه زیست فناوری صنعتی و زنجیره ارزش امنیت غذایی نیازمند هماهنگی جامع میان شبکه گسترده ای از ذی نفعان است. در بخش نهادهای حاکمیتی و سیاست گذار، شورای عالی انقلاب فرهنگی و ستاد توسعه زیست فناوری مسئولیت تدوین نقشه راه و تنظیم زمین بازی را بر عهده دارند، وزارت جهاد کشاورزی متولی اصلی تأمین امنیت غذایی و الگوی کشت است، وزارت صمت پشتیبانی از صنایع فراوری و پالایشگاه های زیستی را دنبال می کند، و سازمان غذا و دارو به همراه سازمان ملی استاندارد وظیفه نظارت بر ایمنی و صدور مجوزها را بر عهده دارند.

در بخش علمی و زیرساختی، دانشگاه ها و پژوهشگاه ها مسئول تأمین نیروی انسانی و اجرای R&D کاربردی هستند، مراکزی نظیر CDMO و CRAMS خدمات مقیاس گذاری تولید را ارائه می دهند، و پارک های علم و فناوری به شتابدهی استارت آپ ها می پردازند. در بخش صنعتی، شرکت های بزرگ صنعتی مانند فعالان حوزه نیشکر و نشاسته در کنار شرکت های دانش بنیان کوچک و متوسط و تأمین کنندگان زیست توده نقش آفرینی می کنند. در نهایت، بخش مالی شامل صندوق توسعه ملی و صندوق های VC وظیفه تأمین سرمایه را بر عهده داشته و آحاد جامعه و خانوارها به عنوان ذی نفعان نهایی، از امنیت غذایی و سلامت حاصل از این زنجیره بهره مند می شوند.



شکل (۵-۱) نقشه ذی نفعان در حوزه پالایشگاه زیستی در کشور

۱۰-۱- قوانین و اسناد بالادستی موجود

سیاست گذاری و توسعه امنیت غذایی و بیوتکنولوژی صنعتی در ایران بر پایه ای محکم از اسناد بالادستی و قوانین مصوب استوار است. در رأس این اسناد، قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران قرار دارد که در اصل سوم بر پی ریزی اقتصادی صحیح برای رفع محرومیت در زمینه تغذیه و بهداشت و در اصل چهارم و سوم بر تأمین نیازهای اساسی و خودکفایی در علوم، کشاورزی و صنعت تأکید می کند. سند چشم انداز افق ۱۴۰۴ نیز دستیابی به جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری منطقه با محوریت امنیت غذایی را هدف گذاری کرده است.

در سطح سیاست های کلی ابلاغی، بند ۷ سیاست های کلی اقتصاد مقاومتی به صراحت بر تأمین امنیت غذایی و ایجاد ذخایر استراتژیک با محوریت افزایش کمی و کیفی تولید تأکید دارد و سیاست های کلی بخش کشاورزی، آمایش سرزمینی و اصلاح الگوی مصرف نیز بر ارتقای بهره وری و خوداتکایی استوار هستند. قوانین برنامه های چهارم، پنجم و ششم توسعه و قوانین بودجه سالانه از جمله قانون بودجه سال ۱۳۹۸ تکالیف مالی و اجرایی مشخصی را تعیین کرده اند. در نهایت، سند ملی دانش بنیان امنیت غذایی به عنوان جامع ترین سند اجرایی، در ماده ۶ خود احکام و اقدامات ملی متعددی را برای نقش آفرینی بیوتکنولوژی، ارزش آفرینی از ضایعات، توسعه پالایشگاه های زیستی و حمایت از شرکت های دانش بنیان مصوب نموده است. در کشور ظرفیت های خالی فراوانی وجود دارد که می تواند برای توسعه حوزه های مختلف زیست فناوری صنعتی در کشور استفاده شود. این ظرفیت های خالی بررسی شده و در گزارش اصلی موجود است.

۱-۱۱- بازار زیست فناوری صنعتی در کشور

زیست فناوری صنعتی به عنوان یکی از ارکان کلیدی اقتصاد دانش بنیان، نقشی تعیین کننده در تحول ساختار تولید، ارتقای بهره‌وری منابع و تحقق توسعه پایدار ایفا می‌کند. در ایران، باتوجه به تنوع منابع زیستی و زیرساخت‌های تحقیقاتی، این حوزه محور استراتژیک توسعه فناوری و اقتصاد مقاومتی محسوب می‌شود. تحولات جهانی اخیر در حوزه‌هایی نظیر بیوکاتالیست، تخمیر صنعتی، مهندسی مسیرهای متابولیک و تولید زیستی مواد با ارزش افزوده بالا، اهمیت این بخش را دوچندان کرده است.

با وجود پیشرفت‌های گسترده، وابستگی ایران به واردات فرآورده‌ها و واسطه‌های زیست فناوری غیرقابل انکار است. این وابستگی طیف وسیعی از محصولات را شامل می‌شود: واکسن‌ها، مواد بیوشیمیایی، اسیدهای آلی، استابیلایزرها، حلال‌ها، بیوپلیمرها، نشاسته و مشتقات آن، خمیرمایه، شیرین کننده‌ها، ویتامین‌ها، آنتی بیوتیک‌ها، پروبیوتیک‌ها، پری بیوتیک‌ها، مواد اولیه واکنش‌های بیوشیمیایی، آنزیم‌ها، معرف‌ها، کیت‌های تشخیصی مولکولی، محیط‌ها و سرم‌های کشت سلولی، راکتورهای اختصاصی، قطعات ادوات کروماتوگرافی، ستون‌های تخصصی و خدمات تحلیلی پیشرفته. تداوم این وضعیت، زنجیره ارزش کشور را در برابر نوسانات ارزی، تحریم‌ها و اختلالات زنجیره تأمین بین‌المللی آسیب پذیر می‌سازد. از این رو، خودکفایی فناورانه از طریق تدوین نقشه راه با اهداف کمی و زمانی مشخص، یک ضرورت استراتژیک برای نیل به امنیت زیستی، ایجاد صرفه جویی ارزی، کاهش قیمت تمام شده و تقویت تراز تجاری است. بر اساس ارزیابی‌های جامع، مجموع ارزش کل بازار برای ۲۱ دسته محصول کلیدی زیست فناوری صنعتی در کشور (شامل تولید داخلی و واردات) معادل ۳ میلیارد دلار برآورد شده است. توزیع ارزش اقتصادی در این سبد بازار یکنواخت نبوده و ساختار آن بر اساس ارزش دلاری زیربخش‌ها به شرح جدول ۳-۱ تفکیک می‌شود. موارد بیان شده در جدول ۳-۱ با جزئیات در گزارش بیان شده و بازار و پتانسیل هر یک از دسته‌بندی‌ها و زیر دسته‌های آن در گزارش اصلی آمده است.

اسیدهای آلی و نمک های آن طیف محصولات: سیتریک اسید، لاکتیک اسید، گلوکونیک اسید، پروپیونیک اسید، آدیپیک اسید ظرفیت نیاز بازار کشور: ۶۰۰۰۰ تن - ۷۰۰ تن - ۱۳۰۰ تن - ۸۲۹ تن - ۲۸۰۰۰ تن محصولات جایگزین: تا حدود بسیار زیادی جایگزینی ندارند سابقه صادرات / رقابت پذیری بین المللی: ضعیف ولی دارد (سیتریک اسید جوبین) واحدهای موجود فعال: کشت و صنعت جوبین، سیتریک اسید کرمانشاه (غیر فعال) چالش اصلی: تأمین منبع کربن، سویه مناسب، قیمت تمام شده	اسیدهای آمینه طیف محصولات: لایزین هیدروکلراید - متیونین - ترئونین - سیستین گلوتامیک اسید نیاز بالفعل کشور: ۱۴۰۰۰ تن - ۱۸۰۰۰ تن - ۱۰۰۰ تن - ۷۵۰ تن محصولات جایگزین: هیدرولیزات پروتئینی (پر، خون، گلوتن...)، کولین و بنائین برای متیونین در حوزه ی دام سنگین با عبوری کردن مصرف تا ۳۰٪ کاهش می یابد. سابقه صادرات / رقابت پذیری بین المللی: با توجه به وجود بازگران با ظرفیتهای بسیار بالا در جهان ۲۰۰ هزار تن بازار فروش مستقیم آن بسیار بعید است. واحدهای موجود فعال: نداریم چالش اصلی: سویه مناسب تأمین منبع کربن، شرکت تک محصولی
بیواتانول مطلق طیف محصولات: اتانول سوختی اتانول گرید دارو و آنالیزی، اتیل استات، سایر ظرفیت نیاز بازار کشور: برای E10 حدود ۳۰۶۵ میلیون متر مکعب در سال، ۴۵۰۰ متر مکعب برای اتانول گرید دارویی و آنالیزی، ۱۴۰۰ متر مکعب اتیل استات صنعتی محصولات جایگزین: MTBE برای حوزه ی سوخت سابقه صادرات / رقابت پذیری بین المللی: در زمینه اتانول مطلق نداریم ولی سایر بله واحدهای موجود فعال: فناوران اروند (تکنولوژی Tomaa destil اسپانیا) (ملاس)، زیست فرآورده سپاهان (تکنولوژی بومی) (ملاس)، سوخت سبز زاگرس کرمانشاه (تکنولوژی Maguin Interis فرانسه) (غلات)، سوخت سبز زاگرس باشت در حال ساخت (غلات)، کشت و صنعت هفت تپه غیر فعال (لیگنوسولزی) چالش اصلی: تأمین منبع کربن، تکنولوژی تولید، سویه مناسب، مشکلات زیست محیطی	آنزیم ها طیف محصولات: سلولاز پروتاز، یکتیناز آمیلاز، گلوکز اکسیداز، فیتاز، کاتالاز، لاکتاز ... ظرفیت نیاز بازار کشور: جمعا ۵۶۰۰ تن (آنزیم ها شوینده ۲۵۰۰ تن - آنزیم های صنعت مشتقات نشاست مشتقات (مالتودکسترین، گلوکز، فروکتور ...) ۸۰۰ تن - نشاسته مولتی آنزیم خوراک دام ۵۰۰ تن - فیتاز خوراک دام، طیور و آبزیان ۵۰۰ تن - آنزیمهای صنعت کسانتره (یکتیناز، سلولاز، ...) ۲۰۰ تن - لاکتاز صنعت شیر ۱۵۰ تن - صنعت نان ۱۰۰ تن - وقت ۱۰۰ تن - پروتاز صنعت غذا و کودو جرم ۵۰ تن محصولات جایگزین: تقریبا ندارد. سابقه صادرات / رقابت پذیری بین المللی: ندارد واحدهای موجود فعال: بن دا فرآور، واحدهای متعدد کوچک آنزیم های استخراجی (عموما پروتاز) چالش اصلی: سویه مناسب، فرمولاسیون و پایداری محصول، بانک سویه، تکنولوژی تولید آنزیم

شکل (۶-۱) وضعیت کشور در زیست فناوری صنعتی

جدول (۲-۱) ظرفیت بازار زیست فناوری در کشور (بالفعل - شامل تولید و واردات)

ردیف	حوزه	ارزش تقریبی بازار (میلیون دلار)
۱	قند و شیرین کننده ها (دکستروز، سوربیتول، لاکتوز، گلیسرول، سوکرالوز، HFCS، و...)	۶۰۰
۲	سلولز و مشتقات سلولز (CMC، استات سلولز، و...)	۲۶۰
۳	صنایع غذایی و دارویی	۴۰۰
۴	صنایع دام، طیور و آبزیان و محصولات قابل استحصال از کشتارگاه های دام	۲۵۵
۵	اسیدهای آمینه (لایزین، گلوتامیک اسید، و...)	۸۰
۶	خمیرمایه و عصاره مخمر	۶۰
۷	صنایع کشاورزی	۲۰
۸	حلال ها (اتانول، فورفورال، و...)	۲۰۰
۹	اسیدهای آلی (سیتریک اسید، لاکتیک اسید، گلوکونیک اسید و...)	۶۰
۱۰	پروبیوتیک و پری بیوتیک	۲۰
۱۱	سایر	۳۸۰
دیدنه نشده (۱۵٪ موارد فوق)		۳۵۰
مجموع		۳۰۰۰ میلیون دلار

۱-۱۲- متدولوژی شناسایی حوزه های ترند و سنجش بازار زیست فناوری در کشور

شناسایی حوزه های ترند در زیست فناوری صنعتی نیازمند اتخاذ یک متدولوژی چندلایه و همگرا است تا اطمینان حاصل شود که حوزه های منتخب نه تنها از نظر فنی نوآورانه هستند، بلکه از نظر اقتصادی و استراتژیک نیز دارای بالاترین پتانسیل در بازار ایران هستند. این مطالعه از یک چارچوب تحلیلی جامع استفاده می کند که نتایج حاصل از پنج منبع اطلاعاتی کلیدی شامل (۱) چرخه بلوغ فناوری (TMCL)، (۲) نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR)، (۳) بررسی ترندهای علمی (مقالات و پتنت ها)، (۴) رویکرد شرکت های بزرگ تجاری و (۵) پایش اکوسیستم استارتاپی (میزان جذب سرمایه خطرپذیر) را به یکدیگر پیوند می زند.

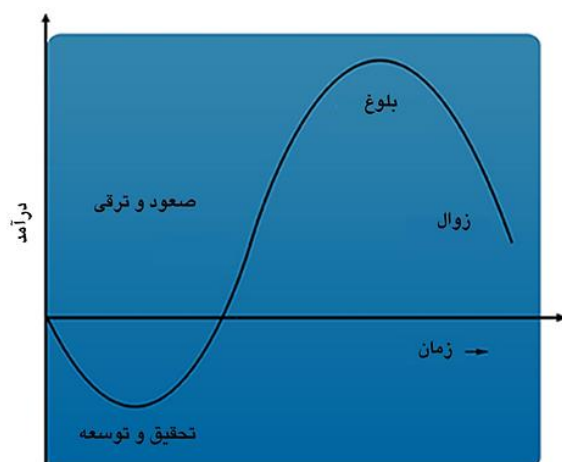


شکل (۷-۱) منابع مورد استفاده در شناسایی حوزه های ترند

یک چالش اساسی و مغفول در حوزه بیوتکنولوژی کشور، عدم وجود پایگاه داده جامع و قابل استناد برای بررسی و مشاهده روند بازار، پتانسیل، نیاز بازار و تغییرات قیمت در بازه های مختلف زمانی است. نمونه های موفق جهانی نظیر گزارش های پایگاه Feed Additive - که به صورت تفصیلی بازارهای جهانی ویتامین ها، آمینواسیدها و خوراک دام را رصد می کنند - ضرورت ایجاد و توسعه سیستم های رصد بازار را برای کشف فرصت های صنعتی در ایران دوچندان می سازد. این نمونه گزارش به گزارش اصلی ضمیمه شده است.

۱-۱۲-۱- چرخه بلوغ فناوری (TMCL) و سطح آمادگی فناوری (TRL)

درک فرایند تکامل یک فناوری از مرحله ایده تا کاربری گسترده و منسوخ شدن، شرط حیاتی مدیریت منابع و سرمایه گذاری است. چرخه بلوغ فناوری (TMCL) که اغلب به صورت منحنی S شکل نمایش داده می شود، ابزاری استراتژیک برای تعیین زمان بندی ورود به بازار، تخصیص بودجه D&R و خروج از فناوری های رو به افول ارائه می دهد. این چرخه به چهار مرحله ساختاریافته تقسیم می شود:



شکل (۸-۱) نمودار کلی چرخه بلوغ فناوری

۱. مرحله اول: نوآوری و تحقیقات پایه^۴: این مرحله نقطه تولد فناوری و منطبق بر سطوح TRL1 تا TRL3 (مشاهده اصول پایه، فرموله سازی مفهوم و اثبات آزمایشی امکان پذیری فنی) است. ویژگی بارز این فاز، ریسک بسیار بالا، عدم قطعیت زیاد و هزینه های فزاینده بدون بازدهی تجاری ملموس بوده و نتایج آن وابسته به تحقیقات دانشگاهی و حمایت های دولتی است.

۲. مرحله دوم: رشد و تجاری سازی^۵: با اثبات امکان پذیری فنی، فناوری وارد این فاز شده و TRL آن از ۴ به ۷ ارتقا می یابد. تمرکز از تحقیقات پایه به مهندسی سیستم و توسعه نمونه های اولیه در محیط های شبیه سازی شده یا واقعی منتقل می شود. با وجود ریسک تجاری همچنان بالا، نخستین درآمدهای تجاری حاصل شده و نوآوری های بنیادی شکل می گیرند.

۳. مرحله سوم: بلوغ و تثبیت^۶: فناوری به اوج عملکرد فنی و حداکثر نفوذ در بازار رسیده (TRL ۸ و ۹) و رشد بازار کند و رقابت فشرده می شود. تمرکز اصلی بر نوآوری های افزایشی، بهینه سازی فرایند، کاهش هزینه تولید و حفظ سهم بازار قرار دارد.

۴. مرحله چهارم: افول و جایگزینی^۷: با ظهور فناوری های جدیدتر و کارآمدتر، میزان فروش و سوددهی کاهش یافته و فناوری قدیمی به سمت منسوخ شدن^۸ و خروج از بازار حرکت می کند. جدول زیر ارتباط بین چرخه بلوغ فناوری و TRL آن را نشان می دهد.

⁴ Introduction/R&D Phase

⁵ Growth/Ascent Phase

⁶ Maturity Phase

⁷ Decline/Substitution Phase

⁸ Decommissioning

جدول (۳-۱) ارتباط بین چرخه بلوغ فناوری و سطوح TRL

چرخه بلوغ فناوری	سطح آمادگی فناوری (TRL)	توصیف سطح آمادگی فناوری	ریسک فنی و تجاری	تمرکز اصلی
نوآوری و تحقیقات پایه (Introduction/R&D)	TRL 1	مشاهده و گزارش اصول پایه‌ای و نظری	بسیار بالا	اثبات مفهوم علمی (Proof-of-Concept)
	TRL 2	فرموله‌سازی مفهوم تکنولوژیکی و کاربرد عملی	بسیار بالا	تعریف کاربردها و مفاهیم اولیه
	TRL 3	اثبات آزمایشی مفهوم (تست در محیط آزمایشگاهی)	بالا	اثبات امکان‌پذیری فنی
رشد و تجاری‌سازی (Growth/Ascent)	TRL 4	توسعه اجزا و زیرسیستم‌ها در محیط آزمایشگاهی یکپارچه	متوسط روبه‌بالا	توسعه نمونه اولیه آزمایشگاهی (Lab Prototype)
	TRL 5	آزمایش نمونه اولیه در محیط شبیه‌سازی شده مربوطه	متوسط	تأیید عملکرد در محیط شبیه‌سازی شده
	TRL 6	اثبات نمونه اولیه پیشرفته در محیط عملیاتی مرتبط	متوسط روبه‌پایین	مهندسی و آمادگی برای مقیاس‌دهی (Scale-up)
بلوغ و تثبیت (Maturity)	TRL 7	نمایش نمونه اولیه سیستم عملیاتی در محیط عملیاتی واقعی	پایین	اثبات سیستم در شرایط عملیاتی
	TRL 8	تکمیل و واجد شرایط شدن سیستم/محصول نهایی	بسیار پایین	تولید نهایی و تست قابلیت اطمینان
افول و جایگزینی (Decline/Substitution)	TRL 9	راه‌اندازی موفقیت‌آمیز سیستم در محیط عملیاتی (کاربری رقابتی)	بسیار پایین	تولید انبوه و حضور در بازار (پایان چرخه فناوری)
	پایان عمر	منسوخ‌شدن فناوری و جایگزینی با نسل جدید	متغیر (اغلب تجاری)	مدیریت خروج و حذف تدریجی (Decommissioning)

چرخه بلوغ فناوری از بعد آکادمیک، ابزاری برای تحلیل دینامیک نوآوری و تحولات ساختار صنعت است و از بعد صنعتی، نقش یک نقشه راه استراتژیک را برای مدیریت سبد فناوری ایفا می‌کند. این ابزار تعیین می‌کند کدام فناوری‌ها نیازمند R&D پایه، کدام یک آماده ورود به بازار و تجاری‌سازی، و کدام در معرض خطر جایگزینی هستند؛ درکی که ضلالت بخش رقابت‌پذیری بلندمدت سازمان‌هاست.

اتخاذ متدولوژی چرخه بلوغ فناوری (TMCL) در این گزارش، پاسخی به نیاز به یک رویکرد نظام‌مند و مبتنی بر شواهد است تا از تحلیل‌های سطحی متکی بر فراوانی واژگان فراتر رود. این روش با ارزیابی دقیق سطح آمادگی فناوری (TRL) و کشش بازار ایران، ترندها را بر اساس جایگاه استراتژیک و ریسک فنی/تجاری‌شان (از پژوهش‌های نوظهور تا محصولات تثبیت‌شده) دسته‌بندی کرده و تصویری جامع برای تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری هوشمند فراهم می‌سازد.

۲-۱۲-۱- نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR)

نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR) به عنوان یک شاخص مالی کلیدی، میانگین نرخ بازدهی سالانه را با فرض سرمایه گذاری مجدد سودها و لحاظ اثر ترکیب^۹ محاسبه می کند. فرمول محاسباتی این شاخص به شرح زیر است:

$$CAGR = \left(\frac{\text{Ending Value}}{\text{Beginning Value}} \right)^{\frac{1}{\text{Number of period}}} - 1$$

برخلاف میانگین حسابی (AAGR)، این شاخص نوسانات سالانه را هموار کرده و امکان مقایسه استاندارد بین بازارهای مختلف را فراهم می سازد. در فرایند ترندیابی، CAGR بالا به عنوان سیگنالی قوی برای تشخیص بازارهای پرکشش، تحلیل رشد رقبا و اعتبارسنجی مالی فرضیات پژوهش عمل می کند.

۳-۱۲-۱- تحلیل علمی و اسناد حقوقی (پتنت ها)

برای ردیابی ترندهای آکادمیک و تجاری از پایگاه های Web of Science، Scopus، Google Scholar و برای مقالات و پایگاه های Google Patents، Espacenet، USPTO، WIPO Patentscope و Derwent Innovation برای اسناد پتنت استفاده می شود. بررسی پتنت ها به سه دلیل استراتژیک اهمیت دارد:

۱. اعتبار فنی و دقت حقوقی: ارزیابی توسط ممتحنین پتنت و احراز گام اختراعی، عملیاتی بودن فناوری را تضمین می کند.
۲. قابلیت پیش بینی فناوری های نوظهور: ثبت پتنت معمولاً در TRL های پایین تا متوسط (پیش از عرضه به بازار) انجام می پذیرد و به عنوان نشانگر پیشرو عمل می کند.
۳. ارزش اقتصادی: تعهد مالی برای حفظ حقوق مالکیت فکری، نشان دهنده ارزش تجاری بالای انحصار بازار در حوزه مربوطه است.

۴-۱۲-۱- بررسی محصولات و روند کاری شرکت های بزرگ تجاری (تقاضای اثبات شده)

بررسی عملکرد و الگوی سرمایه گذاری شرکت های بزرگ تجاری، مؤثرترین راهکار برای شناسایی تقاضای واقعی، عملیاتی و اثبات شده در بازار است. این شرکت ها به دلیل تعهدات مالی سنگین و مسئولیت حفظ سهم بازار، تنها زمانی وارد یک فناوری می شوند که ریسک فنی آن به حداقل رسیده و توجیه پذیری اقتصادی آن در مقیاس صنعتی تضمین شده باشد؛ بنابراین، تحلیل اسنادی گزارش های مالی، گزارش های پایداری زیست محیطی و پروژه های توسعه ظرفیت این غول های صنعتی، نشان دهنده عبور قطعی یک فناوری زیستی از فاز آزمایشگاهی و ورود آن به فاز تجاری سازی است.

علاوه بر این، تمرکز شرکت های بزرگ بر کاهش هزینه های عملیاتی و ارتقای بهره وری، دو مسیر اصلی تحقیق و توسعه را برجسته می سازد: نخست، مقیاس پذیری فرایندهای زیست بنیان^{۱۰} و مهندسی فرایند در ابعاد صنعتی جهت جایگزینی با

^۹ Compounding

^{۱۰} Bio-based

روش های سنتی؛ و دوم، دیجیتالی سازی و هوشمندسازی تولید زیستی. تمایل این شرکت ها به استفاده از سنسورهای پیشرفته، نظارت بلادرنگ و مدل سازی پیش بینانه تخمیر، موجب پیوند زیست فناوری با هوش مصنوعی و تحلیل داده های بزرگ گردیده است. این رویکرد تضمین می کند که پژوهش های آتی مستقیماً به سمت حل چالش های میلیون دلاری صنعت و جذب سریع در زیرساخت های موجود هدایت شوند.

۵-۱۲-۱- بررسی سیستم جذب سرمایه استارت آپ ها (نشانگر زودهنگام نوآوری)

تحلیل روند جذب سرمایه خطرپذیر (VC) در اکوسیستم استارت آپی، به عنوان یک «نشانگر زودهنگام» برای ترسیم سمت و سوی آینده صنعت زیست فناوری عمل می کند. سرمایه گذاران خطرپذیر به عنوان متخصصان ارزیابی ریسک و پتانسیل رشد، منابع مالی خود را به سمت فناوری های نوآورانه و تحول آفرینی سوق می دهند که توانایی ایجاد اختلال در بازارهای سنتی را داشته باشند. در مراحل اولیه جذب سرمایه (Seed و Series A)، تمرکز اصلی بر پلتفرم های تکنولوژیکی است که زمان و هزینه R&D را کاهش می دهند؛ حوزه هایی نظیر طراحی هوشمند پروتئین ها، غربالگری سریع سویه های میکروبی و الگوریتم های یادگیری ماشین، در این فاز بیشترین جذب سرمایه را به خود اختصاص می دهند. در مقابل، موفقیت استارت آپ ها در مراحل متأخر جذب سرمایه (Series B و بالاتر)، نشان دهنده پذیرش ریسک مقیاس گذاری و تأیید پتانسیل تجاری محصول نهایی از سوی بازار است. این فاز، فناوری هایی را برجسته می سازد که از چالش های مقرراتی و مهندسی تولید انبوه عبور کرده و آماده ورود به بازار همگانی هستند. تحلیل موفقیت های مالی در این مرحله، پژوهشگران و تصمیم گیرندگان را به سمت توسعه محصولات تجاری سازی پذیر و پاسخگویی به تقاضاهای نوظهور جوامع هدایت می کند تا امکان خلق نوآوری های مخرب با بازدهی بالا فراهم شود.

۶-۱۲-۱- بررسی بازار و پتانسیل ایران (بوم سازی و قابلیت اجرا)

انتخاب ترندهای استراتژیک زیست فناوری زمانی به موفقیت عملیاتی منجر می شود که داده های کلان جهانی با واقعیت های زیست بوم ایران تلفیق گردند. گرچه ابزارهایی نظیر چرخه بلوغ فناوری (TMCL)، سطح آمادگی فناوری (TRL)، نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR)، تحلیل پتنت ها و پایش استارت آپ های بین المللی، چشم انداز فنی و اقتصادی جهانی را روشن می سازند، اما پیاده سازی آن ها در داخل کشور نیازمند سنجش «TRL انطباقی» است. محدودیت های زیرساختی، عدم دسترسی به برخی تجهیزات پیشرفته یا تأمین کنندگان مواد اولیه، می تواند سطح آمادگی عملیاتی یک فناوری جهانی را در ایران کاهش دهد؛ از این رو بوم سازی ترندها برای جلوگیری از اتلاف منابع الزامی است.

علاوه بر بعد فنی، تحلیل بازار ایران از جنبه های اقتصادی، نظارتی و اولویتهای ملی نیز حائز اهمیت حیاتی است. تطبیق ترندها با نرخ ارز، یارانه های انرژی، حجم بازار داخلی و قوانین نهادهای نظارتی (مانند سازمان غذا و دارو و سازمان حفاظت محیط زیست)، امکان ورود موفق و بدون توقف محصول به بازار را فراهم می سازد. از سوی دیگر، تمرکز بر مزیت های رقابتی بومی - مانند بهره برداری از ذخایر میکروبی کشور، مدیریت بحران خشکسالی، امنیت غذایی و والوریزاسیون پسماندهای کشاورزی و صنعتی - تضمین می کند که ترندهای انتخابی نه تنها در ثنوری، بلکه در عمل دارای بالاترین توجیه اقتصادی و کاربرد ملی

باشند.

۱-۱۳- بوم سازی و الزامات اختصاصی بازار ایران

در نهایت، دستیابی به یک نقشه راه عملیاتی و موفق در حوزه زیست فناوری صنعتی، نیازمند عبور از تحلیل های صرفاً بین المللی و رسیدن به نقطه همگرایی میان «پیشران های جهانی» و «واقعیت های زیست بوم داخلی» است. اگرچه شاخص هایی نظیر چرخه بلوغ فناوری (TMCL)، نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR)، رصد اسناد حقوقی و پتنت ها، و همچنین پایش الگوهای سرمایه گذاری شرکت های بزرگ و استارت آپ های بین المللی، جهت گیری کلان فناوری را مشخص می سازند، اما اتکا به این داده ها به تنهایی نمی تواند موفقیت پروژه ها را در کشور تضمین کند.

بنابراین، انتخاب نهایی و اولویت بندی ترندهای فناوری جهت پیاده سازی و سرمایه گذاری در ایران، مستلزم تعدیل و بوم سازی داده های جهانی بر اساس چهار محور حیاتی و استراتژیک زیر است:

۱. **TRL انطباقی و آمادگی زیرساختی**^{۱۱}: سطح آمادگی فناوری (TRL) یک متغیر کاملاً وابسته به زیست بوم است.

یک فناوری که در مقیاس جهانی به سطح صنعتی و بلوغ کامل (TRL 8-9) رسیده است، ممکن است در ایران به دلیل عدم دسترسی به تجهیزات پیشرفته، پیچیدگی های مهندسی معکوس، یا تحریم های مرتبط با تأمین مواد اولیه و کاتالیزورها، در عمل در سطح نیمه صنعتی یا پایلوت (TRL 5-6) متوقف شود. از این رو، ارزیابی ترندها باید بر اساس «TRL انطباقی» و منطبق بر توان مهندسی فرایند و زیرساخت های ساخت داخل صورت گیرد تا از توقف پروژه ها در فاز توسعه جلوگیری شود. ۲

۲. **سازگاری اقتصادی و محاسبات ارزی**^{۱۲}: توجیه مالی طرح های زیست فناوری در ایران منطبق متفاوتی از بازارهای جهانی دارد. مدل های اقتصادی باید با نرخ ارز، محدودیت های خریدهای بین المللی، ساختار یارانه های انرژی و سوخت، و عدم امکان استفاده از اقتصاد مقیاس بسیار بزرگ^{۱۳} در برخی حوزه ها هم خوان باشند. فناوری هایی که سرمایه گذاری ارزی بالایی طلب می کنند، تنها در صورتی اولویت خواهند داشت که یا موجب صرفه جویی ارزی قابل توجه در واردات شوند یا بر پایه یارانه های انرژی و خوراک ارزان داخلی، مزیت صادراتی رقابتی ایجاد کنند.

۳. **شفافیت مسیرهای نظارتی و قانونی**^{۱۴}: تجاری سازی محصولات زیستی مستلزم اخذ مجوز از نهادهای حاکمیتی نظیر سازمان غذا و دارو، سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت جهاد کشاورزی است. پیچیدگی و طولانی بودن فرایندهای ثبت و استلندارد سازی در ایران می تواند ورود یک فناوری نوظهور جهانی به بازار را سال ها به تأخیر بیندازد. بر این اساس، ترندهایی در اولویت اجرایی قرار می گیرند که یا دارای دستورالعمل ها و استانداردهای قانونی شفاف در کشور هستند، یا در راستای اولویت های حمایتی و سیاست های تسریع شده نهادهای نظارتی تعریف شده اند.

۴. **مزیت های رقابتی بومی و حل چالش های ملی**^{۱۵}: بالاترین پتانسیل کشش بازار و جذب منابع مالی در ایران، متعلق به فناوری هایی است که مستقیماً به چالش های ساختاری کشور پاسخ می دهند یا از مزیت های نسبی منطقه ای بهره

¹¹ Adaptive TRL & Infrastructure

¹² Economic & FX Alignment

¹³ Mass Production

¹⁴ Regulatory & Legal Pathways

¹⁵ Local Advantages & National Challenges

می‌برند. اولویت‌دهی به ترندهایی همچون مدیریت بحران خشکسالی و تنش آبی، ارتقای امنیت غذایی، والوریزاسیون پسماندهای گسترده کشاورزی و صنعتی (نظیر باگاس و پساب‌ها)، و همچنین بهره‌برداری تجاری از ذخایر غنی میکروبی و زیستی بومی، تضمین‌کننده حمایت‌های حاکمیتی، توجیه بالای اقتصادی و پایداری بلندمدت این صنایع در کشور خواهد بود.

تلفیق این چهار الزام بومی با شاخص‌های ارزشیابی جهانی، چارچوبی اتکاپذیر برای «ریسک‌زدایی از سرمایه‌گذاری» و «هدایت هدفمند R&D» در زیست‌فناوری صنعتی کشور فراهم می‌سازد. این رویکرد ساختاریافته تضمین می‌کند که خروجی تصمیم‌گیری‌ها، نه تنها در سطح تئوری و مقالات علمی ارزشمند باشد، بلکه منجر به خلق ارزش اقتصادی، توسعه پایداری زیست‌محیطی و دستیابی به محصولات تجاری در بازار ایران گردد.

۱۴-۱- دسته‌بندی جامع حوزه‌های ترند زیست‌فناوری صنعتی

حوزه‌های ترند زیست‌فناوری صنعتی استخراج شده در سه محور اصلی (۱) محیط‌زیست، (۲) پالایشگاه زیستی و (۳) صنایع تخمیری دسته‌بندی شده‌اند. ترندهای هر حوزه بر اساس شاخص‌های بیان شده در بالا، در گزارش اصلی به تفصیل بیان شده است. جدول زیر خلاصه گزارش انجام شده بر روی ترندهای زیست‌فناوری صنعتی در کشور را نمایش می‌دهد.

جدول (۴-۱) نظر نگارنده نگارش در زمینه کلیدواژه‌های معرفی شده

ردیف	کلیدواژه اصلی	کلیدواژه‌های مرتبط	چرخه عمر فناوری	روند پتنت	روند مقالات علمی	شرکت‌های جهانی	پتانسیل بازار کشور	تولید در کشور
۱	Anearobic Fermentation		بالغ	تثبیت شده	نزولی	تثبیت شرکت‌های بزرگ جهانی	بالا	محدود
۲		Biohydrogen	بالغ	صعودی	صعودی	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	بالا	ندارد
۳		Biogas	بالغ	نزولی	نزولی	تثبیت شرکت‌های بزرگ جهانی	بالا	محدود
۴		Dark fermentation	درحال رشد	نزولی	نزولی	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	بالا	محدود
۵		Chain elongation	درحال رشد	صعودی	تثبیت	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	بالا	ندارد
۶	Pullatant Bioremediation		درحال رشد	تثبیت	تثبیت	تثبیت شرکت‌های بزرگ جهانی	بالا	محدود
۷		Biofiltration	درحال رشد	نزولی	نزولی	تثبیت شرکت‌های بزرگ جهانی	متوسط	ندارد
۸		Microbial Electrochemical Technology (MET)	درحال رشد	صعودی ملایم	صعودی ملایم	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	کم	ندارد
۹		Soil Bioremediation	درحال رشد	تثبیت	تثبیت	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	متوسط روبه‌بالا	محدود
۱۰		Solid-waste management	درحال رشد	صعودی	صعودی	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	بالا	بسیار محدود
۱۱	Net-zero greenhouse gas (GHG) emissions		درحال رشد	بسیار صعودی	نزولی	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	بالا	محدود

۱۲		Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)	در حال رشد	بسیار صعودی	صعودی ملایم	ورود شرکت ها بزرگ جهانی / پتانسیل ورود شرکت ها و استارت آپ های نوپا	بالا	محدود
۱۳		Biological N ₂ Fixation (BNF) Enhancement	بالغ	تثبیت	نزولی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی / پتانسیل ورود شرکت ها و استارت آپ های نوپا	متوسط روبه بالا	ندارد
۱۴		Methanification	بالغ	تثبیت	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ	بالا	بسیار محدود
۱۵	Sustainable Waste Water Treatment (WWT)		بالغ	تثبیت	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ	بالا	بسیار محدود
۱۶		Microalgae	در حال رشد	صعودی ملایم	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ	متوسط روبه پایین	دارد
۱۷		advanced Oxidising Processes (AOP)	در حال رشد	صعودی ملایم	نزولی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی / پتانسیل ورود شرکت ها و استارت آپ های نوپا	متوسط روبه بالا	ندارد
۱۸		Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor	بالغ	تثبیت	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ	بالا	ندارد
۱۹	Biorefinery	Lysis Cryptic Growth	در حال رشد	صعودی	نزولی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی	متوسط روبه بالا	ندارد
۲۰			در حال رشد	صعودی	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ	بسیار بالا	بسیار محدود
۲۱		Nutrient recovery	در حال رشد	صعودی	نزولی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی / پتانسیل ورود شرکت ها و استارت آپ های نوپا	بسیار بالا	بسیار محدود
۲۲		Biomass storage	در حال رشد	بسیار صعودی	نزولی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی	بسیار بالا	بسیار محدود
۲۳	Biobased chemicals	Lignin valorization	در حال رشد	بسیار صعودی	نزولی	ورود شرکت های بزرگ	متوسط روبه بالا	ندارد
۲۴			در حال رشد	صعودی	صعودی	تثبیت شرکت های بزرگ	بالا	بسیار محدود
۲۵		Platform chemicals	تثبیت	صعودی ملایم	تثبیت	تثبیت شرکت های بزرگ	بالا	ندارد
۲۶		Circular bioeconomy	در حال رشد	صعودی	صعودی	ورود شرکت های بزرگ	بالا	ندارد
۲۷	Bioenergy		در حال رشد	تثبیت	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ جهانی	بالا	محدود
۲۸		Liquid Biofule	در حال رشد یا بالغ (بسته به سوخت)	صعودی ملایم	صعودی ملایم	ورود شرکت های بزرگ جهانی	بالا	محدود
۲۹		Drop-in biofuel	در حال رشد	تثبیت	نزولی	ورود شرکت های بزرگ جهانی	بالا	ندارد
۳۰		Sustainable aviation fuel (SAF)	در حال رشد	بسیار صعودی	بسیار صعودی	ورود شرکت های بزرگ جهانی	متوسط	ندارد
۳۱		Renewable Diesel	در حال رشد	صعودی	نزولی	ورود شرکت های بزرگ جهانی	بالا	بسیار محدود
۳۲		Co-Processing	در حال رشد	بسیار صعودی	نزولی	ورود شرکت های بزرگ جهانی	متوسط	ندارد
۳۳		Second generation bio-fuel	در حال رشد	صعودی	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ جهانی	بالا	بسیار محدود
		Hydrotreated vegetable oil (HVO)	در حال رشد	صعودی	نزولی	ورود شرکت های بزرگ جهانی	بالا	ندارد
۳۴	Marine Biorefinery		در حال رشد	صعودی	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ	بسیار بالا	بسیار محدود
۳۵		Fish-based biorefinery	در حال رشد	صعودی	صعودی	تثبیت شرکت های بزرگ	بسیار بالا	بسیار محدود
۳۶		Marine biomass	در حال رشد	صعودی	صعودی	تثبیت شرکت های بزرگ	بسیار بالا	بسیار محدود
۳۷	Sustainable Agriculture		بالغ	صعودی ملایم	تثبیت	تثبیت شرکت های بزرگ	بسیار بالا	بسیار محدود
۳۸		Biopesticides	در حال رشد	بسیار صعودی	بسیار صعودی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی / پتانسیل ورود شرکت ها و استارت آپ های نوپا	بسیار بالا	بسیار محدود
۳۹		Biostimulnt	بدر حال رشد	بسیار صعودی	بسیار صعودی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی / پتانسیل ورود شرکت ها و استارت آپ های نوپا	بسیار بالا	بسیار محدود
۴۰	Thermochemical proces		در حال رشد / بالغ	بسیار صعودی	نزولی	ورود شرکت های بزرگ جهانی	بالا	ندارد
۴۱		Pyrolyze	بالغ	بسیار صعودی	بسیار صعودی	تثبیت شرکت های بزرگ جهانی	بالا	ندارد
۴۲		Biochar	در حال رشد	بسیار صعودی	بسیار صعودی	ورود شرکت ها بزرگ جهانی / پتانسیل ورود شرکت ها و استارت آپ های نوپا	بالا	بسیار محدود
۴۳		Gasification	در حال رشد	صعودی ملایم	نزولی	تثبیت شرکت های بزرگ	بالا	ندارد

ندارد	متوسط	تثبیت شرکت‌های بزرگ	نزولی	تثبیت	بالغ	Fischer-Tropsch (FT)		۴۴
ندارد	متوسط	تثبیت شرکت‌های بزرگ	نزولی	صعودی ملایم	درحال‌رشد	Hydrothermal Liquefaction (HTL)		۴۵
ندارد	متوسط	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	نزولی	صعودی	درحال‌رشد	-	Value-added biogenic compunds	۴۶
ندارد	متوسط	ورود شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	صعودی	صعودی	بالغ	-	Non-medical plant extract	۴۷
ندارد	متوسط روبه‌بالا	ورود شرکت‌های بزرگ جهانی	نزولی	بسیار صعودی	درحال‌رشد	Single Cell Oil (SCO)	Alternative fats & oils	۴۸
ندارد	متوسط روبه‌بالا	ورود شرکت‌های بزرگ جهانی	نزولی	بسیار صعودی	درحال‌رشد			۴۹
ندارد	متوسط	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی/ پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	نزولی	بسیار صعودی	درحال‌رشد	Enzyme immobilization	Biotransformation	۵۰
ندارد	متوسط	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	نزولی	صعودی	درحال‌رشد			۵۱
ندارد	متوسط	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	نزولی	بسیار صعودی	درحال‌رشد			Resting cell bioreactor
ندارد	متوسط	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	نزولی	صعودی	درحال‌رشد	Cascade enzymatic reaction		۵۳
بسیار محدود	متوسط	ورود شرکت‌های بزرگ جهانی	صعودی	بسیار صعودی	درحال‌رشد	PolyHydroxyAlkanoates (PHA)	Bioplastic	۵۴
ندارد	متوسط	ورود شرکت‌های بزرگ جهانی	صعودی	بسیار صعودی	درحال‌رشد			۵۵
ندارد	متوسط	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	بسیار صعودی	بسیار صعودی	درحال‌رشد	-	Biofilm	۵۶
بسیار محدود	بسیار بالا	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	صعودی	بسیار صعودی	بالغ	-	Bioprocess eng/design	۵۷
ندارد	بسیار بالا	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	صعودی -	صعودی -	درحال‌رشد	Single-use bioprocessing & assemblie	Bioprocess CDMO	۵۸
ندارد	بسیار بالا	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	نزولی	صعودی	درحال‌رشد			۵۹
ندارد	بسیار بالا	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	نزولی	تثبیت	درحال‌رشد			Process intensification
ندارد	بالا	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	نزولی	تثبیت	درحال‌رشد	-	Continuous fermentation	۶۱
محدود	بسیار بالا	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	تثبیت	صعودی	درحال‌رشد	Simulated Moving Bed Chromatography (SMB)	Continuous chromatographic separation	۶۲
محدود	بسیار بالا	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	نزولی	صعودی ملایم	بالغ			۶۳
محدود	بسیار بالا	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	صعودی ملایم	صعودی ملایم	درحال‌رشد			Supercritical Fluid Chromatography (SFC)
بسیار محدود	بالا	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	نزولی	صعودی	درحال‌رشد	Mycellium microbial protein	De Novo Protein Synthesis	۶۵
ندارد	بسیار بالا	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	صعودی	صعودی	درحال‌رشد			۶۶
ندارد	بالا	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	نزولی	تثبیت	درحال‌رشد	RUBISCO		۶۷
ندارد	بسیار بالا	ورود شرکت‌های بزرگ جهانی	نزولی	بسیار صعودی	درحال‌رشد		Gas fermentation	۶۸
ندارد	متوسط روبه‌پایین	پتانسیل ورود شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های نوپا	نزولی	صعودی ملایم	درحال‌رشد	-	Live biotherapeutic	۶۹
ندارد	بالا	تثبیت شرکت‌ها بزرگ جهانی	تثبیت	تثبیت	درحال‌رشد	-	Percision fermentation	۷۰