



بررسی وضعیت صنعت خمیرمایه و مشتقات آن با رویکرد زنجیره‌ی ارزش در ایران و جهان

عاطفه ریحانی^۱، عرفان داوری^۱، رضا حسن ساجدی^{۲*}

۱- شرکت پیشگامان زنجیره ارزش زیستی، تهران، ایران

۲- گروه بیوشیمی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

* صندوق پستی: ۱۵۴-۱۴۱۱۵، تهران، ایران
sajedi_r@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶

دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۴

چکیده

این مطالعه با هدف تحلیل زنجیره ارزش صنعت خمیرمایه و مشتقات آن در ایران و جهان، بر پایه داده‌های میدانی، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و آمار ثانویه طی بازه زمانی چهار تا پنج سال انجام شد. داده‌های کیفی با روش تحلیل تماتیک و داده‌های کمی با شاخص‌های توصیفی تحلیل شد و اعتبار نتایج از طریق تثبیت سه‌گانه میان مصاحبه‌ها، اسناد صنعتی و داده‌های آماری تأیید شد. مخمرها با ظرفیت متابولیکی بالا، از ارکان اصلی زیست‌فناوری صنعتی محسوب می‌شوند و در تولید مواد غذایی، افزودنی‌های خوراک دام، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، متابولیت‌های زیستی و بیواتانول کاربرد گسترده دارند. در چارچوب اقتصاد زیستی چرخشی، پالایشگاه زیستی مخمر رویکردی راهبردی برای بهره‌برداری حداکثری از زیست‌توده و تبدیل جریان‌های جانبی به محصولات با ارزش افزوده تلقی می‌شود. شرکت‌های پیشروی جهانی نظیر Lesaffre، Lallemand، Angel Yeast و Associated British Foods با اتخاذ این رویکرد، سبکی متنوع از محصولات مبتنی بر مخمر توسعه داده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد ایران با ظرفیت اسمی حدود ۴۵ هزار تن و هشت واحد فعال، دارای جایگاه منطقه‌ای در تولید خمیرمایه است؛ با این حال، زنجیره ارزش داخلی کامل نشده و تمرکز عمدتاً بر محصول پایه است. ارزیابی سطح آمادگی فناوری بیانگر ضرورت تقویت تحقیق، توسعه و استقرار فناوری‌های پیشرفته‌تر است. توسعه پالایشگاه زیستی مخمر می‌تواند با تکمیل زنجیره ارزش، افزایش ارزش افزوده، کاهش پسماند و ارتقای صادرات، نقش مهمی در تحقق اقتصاد زیستی چرخشی و توسعه پایدار کشور ایفا کند.

کلمات کلیدی: مخمر، اقتصاد زیستی چرخشی، زنجیره ارزش، پالایشگاه زیستی، متابولیت‌های زیستی، ترکیبات زیست‌فعال، نوآوری صنعتی

۱-مقدمه

۱-۱ مخمرها در صنعت زیست فناوری و کاربردهای آن

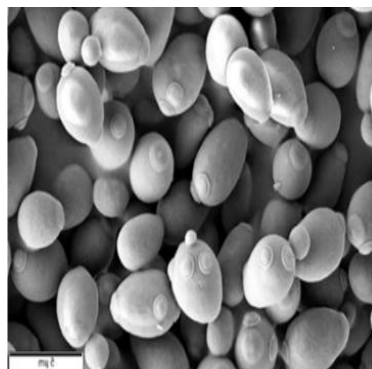
از هزاران سال پیش، استفاده از مخمر در تولید محصولات مختلف رایج و مرسوم بوده است. در گذشته، نوشیدنی‌ها و غذاهای تخمیر شده از طریق فعالیت مخمرها در سراسر جهان و بدون شناخت دقیق عملکرد آنها تولید می‌شد. شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که نوشیدنی‌های الکلی تخمیر شده توسط مخمرها، در دوران نوسنگی^۱ (۸۵۰۰-۴۰۰۰ سال قبل از میلاد) در چین، ایران، مصر و سایر مناطق جهان تولید و مورد مصرف بوده است. بسیاری از غذاهای تخمیر شده دیگر، مانند کفیر آفریقایی^۲، آبجو سورگوم^۳، پولکه^۴ در مکزیک، نان‌های تخمیر شده در مناطق مختلف و چندین غذا و نوشیدنی تخمیری تهیه شده از سویا، برنج و سبزیجات نیز در دوران نوسنگی مورد استفاده بوده‌اند. تمام این مشاهدات، بر قدمت استفاده از مخمر در غذای انسان، دلالت دارد. از دیرباز علی‌رغم اطلاع دقیق از عملکرد دقیق مخمر، از آن برای تولید نوشیدنی‌های حاوی الکل یا تولید خمیر نان استفاده می‌کردند. با این حال، استفاده هدفمند و تجاری از مخمرها تنها در پایان قرن نوزدهم پس از جداسازی و شناسایی آن‌ها توسط پاستور آغاز شد. امروزه، بسیاری از گونه‌های مخمر، علاوه بر تولید نان و نوشیدنی‌ها، در تولید طیف گسترده‌ای از محصولات در صنایع گوناگون استفاده می‌شوند. مخمرها

قارچ‌های تک سلولی میکروسکوپی هستند که به‌طور طبیعی در سراسر طبیعت وجود دارند (شکل ۱). در حال حاضر بیش از ۱۰۰۰ گونه مخمر شناخته شده وجود دارد که حدود ۱ درصد از همه گونه‌های قارچی شناخته شده را تشکیل می‌دهند. اندازه مخمر، بسته به گونه و محیط، از ۳ تا ۴ میکرومتر تا ۴۰ میکرومتر متغیر است. این میکروارگانیسم‌ها از طریق میتوز و جوانه‌زدن، به‌صورت غیرجنسی، تولید مثل می‌کنند. بر خلاف کپک‌ها که به‌صورت هیف رشد می‌کنند، مخمرها به‌صورت تک سلولی رشد می‌کنند [۱-۵].

مخمرها (بر خلاف باکتری‌ها) سلول‌های یوکاریوتی هستند. این بدان معنی است که آن‌ها دارای یک هسته مشخص و مواد ژنتیکی لازم برای بیوسنتز مولکول‌های پیچیده مانند آنزیم‌ها، بتاگلوکان، مانوپروتئین‌ها و لیپیدها در هسته سلولی هستند. سلول‌های مخمر دارای ویژگی‌های ساختاری متفاوت با سایر سلول‌های یوکاریوتی هستند (شکل ۲) [۴، ۶].

۱-۲ اهمیت صنعتی مخمرها

باتوجه به کاهش منابع جهانی، عوامل محیطی و نیاز به منابع انرژی پایدار، استفاده از مخمرها برای تولید سوخت زیستی، مواد غذایی و سایر محصولات صنعتی از زیست توده^۵ در سال‌های اخیر علاقه بسیاری را به خود جلب کرده است [۲، ۴].



شکل ۱ کشت مخمر بر روی پلیت (راست) - تصویر میکروسکوپی مخمر (چپ) [۶]

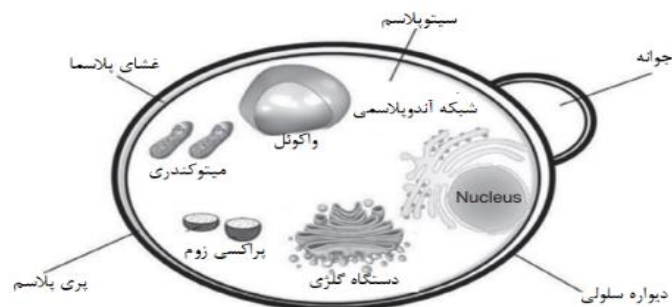
^۱ Pulque

^۲ Biomass

^۱ Neolithic times

^۲ African kafir

^۳ Sorghum beer



شکل ۲ سلول مخمر و اندامک‌های اصلی آن [۲]

جدول ۱ گونه‌های مختلف مخمری و کاربردهای صنعتی آن‌ها

منبع	ویژگی مهم جهت کاربردهای تجاری	کاربردهای تجاری	گونه	سرده
[۴۲-۳۲, ۲۴]	تخمیر قوی گلوکز مقاومت به غلظت اتانول تولید CO ₂ زیاد در محیط خمیر توان فعالیت در محیط‌های با فعالیت آبی پایین	خمیرمایه نانوائی تولید اتانول غیر خوراکی (حلال، سوخت زیستی، طبی) تولید نوشیدنی‌های الکلی تولید CO ₂ تولید عصاره مخمر و دیواره‌ی سلولی مخمر آنزیم‌های نوترکیب استارتر لبنی تولید اسانس	<i>cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces</i>
[۴۳]	تخمیر در دمای پایین مصرف مالتوز	تولید نوشیدنی‌های الکلی	<i>pastorianus</i>	<i>Saccharomyces</i>
[۴۴]	توان فعالیت در غلظت بالای اتانول توان تخمیری بالا	تولید نوشیدنی‌های الکلی	<i>bayanus (incl. uvarum)</i>	<i>Saccharomyces</i>
[۴۷-۴۵]	تخمیر لاکتوز پایداری حرارتی	استارتر لبنی آنزیم‌های نوترکیب اتانول	<i>marxianus</i>	<i>Kluyveromyces</i>
[۴۸]	بیان قوی القا شده با متانول ظرفیت ترشح بالا	آنزیم‌های نوترکیب	<i>phaffii (a.k.a. Pichia pastoris)</i>	<i>Komagataella / Pichia</i>
[۵۱-۴۹]	طیف متنوع خوراک توان تولید روغن و لیپاز	آنزیم‌های نوترکیب روغن تک‌یاخته (امگا-۳)	<i>lipolytica</i>	<i>Yarrowia</i>
[۵۳, ۵۲]	توان مصرف همزمان قندهای ۵ کربنه و ۶ کربنه تولید بالای گلوتامات	پروتئین تک‌یاخته عصاره مخمر و دیواره سلولی شدت‌دهنده‌های طعم	<i>utilis</i>	<i>Candida / Torula</i>
[۵۴]	توان فعالیت و زنده‌مانی در سیستم گوارش، اثرات تعدیل‌کننده‌ی سیستم ایمنی	پروبیوتیک	<i>boulardii</i>	<i>Saccharomyces</i>
[۵۶, ۵۵]	توان فعالیت در محیط‌های با غلظت بالای قند و فشار اسمزی	غذاهای تخمیری (سس سویا، میزو) نوشیدنی‌های الکلی	<i>rouxii</i>	<i>Zygosaccharomyces</i>
[۵۷]	توان فعالیت در محیط‌های با غلظت بالای اسیدهای آلی	استارتر (قندزدایی از آب میوه)	<i>pombe</i>	<i>Schizosaccharomyces</i>

اخلاقی شامل کسب رضایت آگاهانه و حفظ محرمانگی اطلاعات رعایت شده است.

۳- یافته‌ها

۳-۱ محصولات قابل استحصال در پالایشگاه زیستی

مخمر به تفکیک

اقتصاد زیستی چرخشی^۴ به عنوان نقطه تلاقی اقتصاد زیستی^۵ و اقتصاد چرخشی^۶ تعریف شده است. مفهوم پالایشگاه زیستی^۷ یکی از قوی‌ترین مفاهیم اقتصاد زیستی چرخشی است [۷]. هدف پالایشگاه زیستی، استفاده حداکثری از جریان‌ها و پسماندها و تبدیل آن‌ها به محصولات با ارزش افزوده^۸ است به طوری که پسماند نهایی باقی‌مانده، قابلیت تبدیل به هیچ ماده با ارزش افزوده نداشته باشد. شکل ۳ ارتباط بین اقتصاد چرخشی، اقتصاد زیستی، اقتصاد زیستی چرخشی و پالایشگاه زیستی را نمایش می‌دهد [۸-۱۸].

پالایشگاه زیستی یک استراتژی بهینه برای استفاده پایدار از زیست‌توده در اقتصاد زیستی است. ادغام کارآمد پالایشگاه‌های زیستی در زیرساخت‌های صنعتی موجود می‌تواند یک محرک کلیدی برای ایجاد پالایشگاه زیستی و اقتصاد زیستی پایدار باشد. یکی از انواع پالایشگاه‌های زیستی، پالایشگاه زیستی مخمر است. مخمرها به طور گسترده در بخش‌های مختلف بیوتکنولوژی، از بیوتکنولوژی سفید (صنعتی) تا بیوتکنولوژی قرمز (پزشکی) استفاده می‌شوند. برای توسعه یک اقتصاد زیستی قوی، استفاده از روش‌های مقرون به صرفه تبدیل زیستی مواد اولیه تجدیدپذیر و پایدار به ترکیبات با ارزش افزوده، بسیار مهم است.

مخمرها گروهی از میکروارگانیسم‌ها هستند که سال‌ها برای تولید مواد غذایی و نوشیدنی‌های تخمیری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان، مخمر نانویی یا *Saccharomyces cerevisiae* قرن‌ها است که به عنوان یکی از مهمترین میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در

مخمرها طیف گسترده‌ای از کاربردها را عمدتاً در صنایع غذایی، تولید زیست‌توده (پروتئین تک سلولی^۱ (SCP)) و سوخت زیستی^۲ دارند.

مخمرها منبع مهمی از آنزیم‌ها برای بازارهای سنتی از جمله غذا، خوراک دام و کشاورزی هستند. همچنین، از مخمرها به عنوان بیوکاتالیست‌های اختصاصی به طور فزاینده‌ای در سنتز داروها و مواد شیمیایی استفاده می‌شود؛ حوزه‌ای که مدت‌ها تحت سلطه فرایندهای سنتز شیمیایی بوده است. کاربرد اصلی مخمرها از ظرفیت متابولیسمی تبدیل قندها به اتانول و کربن دی‌اکسید در شرایط بی‌هوازی ناشی می‌شود. عوامل اصلی مؤثر بر متابولیسم مخمر، در دسترس بودن اکسیژن و نوع منبع کربن است. بسیاری از گونه‌های مخمر می‌توانند در شرایط بی‌هوازی و هوازی محیط عمل کرده و متابولیسم خود را به راحتی تغییر دهند. بدیهی است که مسیرهای اصلی متابولیسم حفظ می‌شوند، اما برخی مکانیسم‌های تنظیمی تغییر می‌کنند که نشان دهنده انعطاف‌پذیری متابولیسم مخمرها است. در جدول ۱ گونه‌های مختلف مخمری و کاربردهای صنعتی آن‌ها گردآوری شده است [۱-۴].

۲- روش‌شناسی و داده‌ها

این مطالعه یک بررسی تلفیقی مبتنی بر داده‌های میدانی، مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته و تحلیل آمار ثانویه است که به منظور بررسی زنجیره ارزش صنعت خمیرمایه و مشتقات آن در ایران و جهان انجام شد. داده‌ها طی بازه زمانی ۴ تا ۵ سال جمع‌آوری شدند، که شامل بررسی اسناد و گزارش‌های صنعتی، بازدیدهای میدانی از واحدهای تولیدی و مصاحبه با خبرگان صنعتی و صنفی است. داده‌های کیفی با روش تحلیل تماتیک و داده‌های کمی با روش‌های توصیفی و آزمون‌های آماری مناسب تحلیل شدند. برای افزایش اعتبار، نتایج از طریق تثبیت سه‌گانه^۳ میان مصاحبه، مستندات و داده‌های ثانویه تأیید شدند؛ ملاحظات

^۴ Bioeconomy

^۵ Circular economy

^۶ Biorefinary

^۸ Value-added products

^۱ Single Cell Protein-SCP

^۲ Biofuel

^۳ Triangulation

^۴ Circular Bioeconomy

بیوتکنولوژی شناخته می‌شود [۱۹]. تولید مخمر یکی از اولین کاربردهای بیوتکنولوژی صنعتی در دنیا بوده است.



شکل ۳ ارتباط بین اقتصاد چرخشی، اقتصاد زیستی، اقتصاد زیستی چرخشی و پالایشگاه زیستی [۲۲]

محصولات قابل استحصال از مخمر را می‌توان از نوع محصول نهایی به ۴ دسته کلی ۱- زیست‌توده فعال، ۲- مشتقات زیست‌توده، ۳- متابولیت‌های تولید شده توسط زیست‌توده و ۴- محصولات حاصل از زیست‌ترادیدی^۱ تقسیم کرد. جدول ۲ این دسته‌بندی را نشان می‌دهد [۲۲]. محصولات تجاری متنوعی که از مخمر ساکارومایسس سرویزیه یا همان مخمر نانوبی حاصل می‌شود بسته به حالت فعال سلول و فراوری آن در ۳ دسته‌ی کلی دسته‌بندی می‌شود که در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین، وضعیت تولید در کشور نیز بررسی شده است [۲۲].

برخی از شرکت‌های پیشرو در جهان که هم‌اکنون در حال تولید انواع خمیرمایه و محصولات بر پایه آن هستند، عبارتند از [۲۱]: Lesaffre؛ شرکت خانوادگی فرانسوی لسافر، قدیمی‌ترین و بزرگ‌ترین تولیدکننده انواع خمیرمایه (تأسیس ۱۸۵۳)، Lallemand؛ شرکت کانادایی لالماند (تأسیس سال ۱۹۱۵)، Angel Yeast؛ شرکت چینی آنجل ییست (تأسیس سال ۱۹۸۶)، Associated British Food (ABM)؛ شرکت بریتانیایی فودز بریتیش آسوشیيتد (تأسیس سال ۱۹۳۵) [۲۰، ۲۱]. جدول ۳ نمایش‌دهنده سبد محصولات متنوع هر شرکت و همچنین محصولات مخمری و غیرمخمیری آنها است. شکل ۴ نمایش

همچنین، صنعت تولید آن نیز یکی از اولین صنایعی بود که استفاده از راهبرد پالایشگاه زیستی را با هدف توسعه پایدار و مدیریت بهینه آب، انرژی و پسماند در دستور کار خود قرار داد. پالایشگاه زیستی مخمر پاسخی برای آینده‌ای پایدارتر و دستیابی به اقتصاد چرخشی است. مخمر می‌تواند از ضایعات و پساب‌های سایر صنایع به‌عنوان منبع اولیه استفاده کند [۵، ۱۸-۱۸].

تولید صنعتی خمیرمایه در جهان به حدود ۱۷۰ سال قبل باز می‌گردد. بیش از ۲۰۰ شرکت در جهان با ظرفیت‌های متفاوت، هم‌اکنون در حال تولید انواع خمیرمایه و مشتقات آن‌ها هستند [۲۰ و ۲۱]. شرکت‌های بزرگ تولید مخمر جهانی، به‌طور کلی ابتدا با تولید خمیرمایه شروع به کار کرده‌اند. سپس، در مرحله اول، با تولید مخمر نوشیدنی به دلیل محبوبیت آن به توسعه محصولات پرداخته‌اند. مرحله دوم عموماً به تولید مشتقات مخمر مانند عصاره مخمر و دیواره سلولی مخمر اختصاص دارد. در مرحله سوم توسعه اغلب شرکت‌ها متابولیت‌های ثانویه مانند ویتامین‌ها (ویتامین D، ویتامین‌های گروه B و...)، مواد معدنی (سلنیوم، کروم، روی و...)، آنزیم‌ها، بیواتانول و... را در دستور کار خود قرار داده‌اند. همچنین، ورود به بازارهای داروسازی و محصولات تخصصی مخمر (جایگزینی زیستی و...) در مراحل پایانی توسعه این شرکت‌ها قرار دارد.

^۱ Biotransformation

دهنده شرکت‌های پیشرو در صنعت مخمر جهان است
[۲۲].

جدول ۲ محصولات تجاری متنوع استحصال شده از مخمر ساکارومایسس سرویزیه در جهان

فرم مخمر	حوزه کاربری	محصول	شرکت‌های عرضه‌کننده		ظرفیت تولید در کشور	منبع
			بین‌المللی	داخلی		
زیست‌توده‌ی فعال	خمیرمایه	عمومی	Lallemand, Lesaffre, AngelYeast, AB Muri	ایران مایه (گل مایه)، ایران ملاس (فریمان)، خمیرمایه رضوی، خمیرمایه خوزستان، خمیرمایه و الکل رازی، خمیرمایه امید لرستان (صفامایه)	۴۱۰۰۰ تن	[۶۶-۲۸] [۳۳]
		تخصصی (در خمیر با قند بالا، محصولات فریز شده،...)	Lallemand, Lesaffre, AngelYeast , AB Biotek, Novozyme	در کشور هیچ شرکتی که تولیدکننده‌ی خمیرمایه‌های تخصصی باشد فعالیت نمی‌کند.	-	
	استارتر تخمیر	اتانول (قندهای ساده، قندهای لیگنوسلولزی، نوشیدنی،...)	Lallemand, Lesaffre, AngelYeast , AB Biotek, Novozyme	در کشور هیچ شرکتی که تولیدکننده‌ی استارترهای تخصصی تولید اتانول باشد نداشته و واحدهای اتانول با استفاده از خمیرمایه‌های نانوایی تولیدی در کشور اقدام به تولید محصول می‌کنند.	-	[۷۲-۶۷]
		اسانس (رز، وانیلین،...)	Evolva (by Lallemand), DSM-Firmenich, Isobionics®, Givaudan	در کشور هیچ شرکتی که عرضه‌کننده/ تولیدکننده‌ی سویه‌های صنعتی تخمیر یا تولیدکننده‌ی محصول آن باشد فعالیت نمی‌کند.	-	[۷۷-۷۳]
		تولید آنزیم (اینورتاز)	DSM, Megazyme	در کشور هیچ شرکتی که عرضه‌کننده/ تولیدکننده‌ی سویه‌های صنعتی تخمیر باشد فعالیت نمی‌کند.	-	[۷۹, ۷۸]
		دی‌اکسید کربن ^۱	Granbio, Illinois Industrial Carbon Capture and Storage	شرکت خمیرمایه و الکل رازی (خوزستان) (فرم مایع)	۷۵۰۰ تن	[۸۱, ۸۰]
	بیوکاتالیست زیست‌ترادایسی	تولید ربادیوساید ام از ربادیوساید آ به عنوان شیرین‌کننده‌ی بدون تلخی استویا	Avansya (Cargill J.V. Evolva & DSM), Amyris, GLG Life Tech Corporation (ADM), PureCircle USA, sinochem, sweegen	در کشور هیچ شرکتی که عرضه‌کننده/ تولیدکننده‌ی سویه‌های صنعتی زیست‌ترادایسی یا تولیدکننده‌ی محصول آن باشد فعالیت نمی‌کند.	-	[۹۱-۸۲]
		تولید S-Adenosyl به methionine عنوان دارو-مکمل	Lesaffre		-	[۹۲]
مکمل دامی/ غذایی		Lallemand, Lesaffre, AngelYeast, All	زیست تخمیر، پردیس رشد مهرگان (پارسی لاکت)،	-	[۱۱۶-۹۳]	

		زیست درمان ماهان، فن آور مهر (فرابیوتیک)، تک ژن فارما، فناوری زیستی طبیعت گرا (بایوران)، ویوان	Tech				
		هیچ شرکت تولیدکننده پروتئین تک یاخته در کشور فعالیت نمی کند. در اوایل دهه ۸۰ شمسی کارخانه خمیرمایه لرستان با هدف تولید پروتئین تک یاخته مخمیری از ملاس راه اندازی شد. اما به دلیل پساب گسترده و عدم اقتصادی بودن بسته شد و در اواخر دهه ۹۰ شمسی به عنوان کارخانه خمیرمایه مجددا راه اندازی شد.	Arbiom, Cangzhou Tianyu Feed Additive Co.Ltd., Lallemand, Lesaffre, Skotan S.A., Skystone Feed Yixing Co., Calysta Inc., iCell Sustainability.	پروتئین میکروبی مخصوص خوراک دام	پروتئین تک یاخته		
	-	خمیرمایه رضوی، گلنان پوراتوس	Lallemand, Lesaffre, AngelYeast, AB Muri	بهبود دهنده محصولات قنادی و نان	بهبود دهنده		
	-	-	Lallemand, Angel Yeast, Ohly, Lesaffre	مکمل تغذیه ای انسان/ دامی	مکمل		
	-	هیچ شرکت تولیدکننده مخمر غنی شده در کشور فعالیت نمی کند	Lallemand, Angel Yeast, Lesaffre, All Tech	مخمر غنی شده با سلنیوم			زیست توده ای غیر فعال ^۲
	-		Angel Yeast, Lallemand, Lesaffre	مخمر غنی شده با روی			
	-		Lallemand, Angel Yeast, Lesaffre,	مخمر غنی شده با کروم			
	-		Angel Yeast, Lallemand	مخمر غنی شده با مس			
	-		Lallemand	مخمر غنی شده با آهن			
	-		Lallemand	مخمر غنی شده با ید			
	-		Lallemand	مخمر غنی شده با منیزیم			
	-		Lallemand	مخمر غنی شده با منگنز			
	-		Angel Yeast, Lallemand	مخمر ویتامین D2			
	-		Angel Yeast, Lallemand, Ohly, Lesaffre	مخمر غنی شده با ویتامین های گروه ب			
	-	بهران کیمیا آنزیم، کاوشگر سپهر جوان، تک ژن، سورن تک توس، ویوان	Angel Yeast, Ohly, Lallemand, Lesaffre, ZHEN-AO Biotech	توکسین بایندر			مشتقات مخمر
	-	هیچ شرکت تولیدکننده دیواره سلول به منظور کمک	Angel Yeast	کمک تخمیر (جایگزین)			لیزات مخمیری ^۳
	-						

		تخمیر در کشور فعالیت نمی‌کند		آنتی‌بیوتیک در تخمیر الکل)		
	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی دیواره سلولی به‌عنوان کود در کشور فعالیت نمی‌کند	Lesaffre	کشاورزی (کنترل زیستی)		
[۱۲۶]، ۱۵۵-۱۵۸، ۱۷۴-۲۴۷	-	تالی ژن پارس، سورن تک توس، ورناتک	Angel Yeast, Ohly, Lallemand, Lesaffre, Kohjin, ZHEN-AO Biotech, DSM	طعم‌دهنده و مکمل غذایی	عصاره مخمر	
	-	سورن تک توس، تالی ژن پارس، شرکت لیز مخمر ایران، بهان کیمیا آنزیم، کاوشگر سپهر جوان، تک ژن	Ohly, Angel yeast	مکمل دامی		
	-	کاوشگر سپهر جوان	Angel Yeast, Ohly, Lallemand, Biomin, AllTech	پپتید (مکمل دامی) / غذایی / محیط کشت تخمیر)		
	-	سورن تک توس، تالی ژن پارس، بهان کیمیا آنزیم	Angel Yeast, Ohly, Lallemand, Lesaffre	استفاده در محیط کشت‌های صنعتی تخمیر		
	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی عصاره مخمر به‌عنوان کود در کشور فعالیت نمی‌کند	Lesaffre	کود و تحریک‌کننده‌ی زیستی		
	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی عصاره مخمر به‌عنوان جاذب حشرات در کشور فعالیت نمی‌کند	Lesaffre	جاذب حشرات		
	-	سورن تک توس، تالی ژن پارس	Angel Yeast, Ohly, Lallemand	گرید آزمایشگاهی		
[۱۵۶، ۱۵۵]، ۱۶۴، ۱۵۸، ۲۴۴-۲۵۴	-	سورن تک توس، تالی ژن پارس، بهان کیمیا آنزیم	Lallemand	طعم‌دهنده غذایی	اتولیزات مخمر	
	-	سورن تک توس، کیمیا بهان آنزیم، کاوشگر سپهر جوان	Lallemand, DSM, AllTech	مکمل دامی		
	-	سورن تک توس، تالی ژن پارس	Angel Yeast, Ohly, Lallemand	صنعتی (استفاده در محیط کشت تخمیر)		
	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی اتولیزات در صنعت کشاورزی در کشور فعالیت نمی‌کند.	Lesaffre	کشاورزی (تحریک‌کننده زیستی)		
[۲۵۵]	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی اتولیزات به‌عنوان جایگزین تخم‌مرغ در کشور فعالیت نمی‌کند.	Ab Inbev	جایگزین سفیده تخم‌مرغ	لیزات تخصصی	
[۱۲۶]، ۲۵۶-۲۶۳	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی عصاره مخمر غنی از نوکلئوتید در کشور فعالیت نمی‌کند.	Angel Yeast, Ohly, Lallemand, Lesaffre, Kohjin, ZHEN-AO Biotech	عصاره مخمر غنی از نوکلئوتید		
[۱۵۷، ۱۵۵]، ۱۷۷، ۱۵۹، ۲۶۴-۲۶۷	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی مانان اولیگوساکارید در کشور فعالیت نمی‌کند.	Angel Yeast, Ohly, Lallemand, Lesaffre	مانان اولیگوساکارید	متابولیت‌های مخمر ^۴	

[۱۵۷، ۱۵۵] [۱۵۹ ، ۱۷۷] [۲۷۵-۲۶۷]	-	هیچ شرکت تولیدکننده‌ی بتاگلوکان در کشور فعالیت نمی‌کند.	Angel Yeast, Lallemand, Ohly, Lesaffre	بتاگلوکان	
	-	هیچ شرکت تولیدکننده تخصصی گلوکاتینون در کشور فعالیت نمی‌کند.	Angel Yeast, Lallemand, Ohly, Lesaffre, Kohjin, ZHEN-AO Biotech	گلوکاتینون	
[۲۷۶]	-	هیچ شرکت تولیدکننده تخصصی سلنومتیونین در کشور فعالیت نمی‌کند.	Orffa	سلنومتیونین	
[۱۵۰] [۱۵۱]	-	یک واحد تولید ویتامین D ₂ از مخمر در همدان در حال راه اندازی است.	Lallemand, Angel Yeast	ویتامین D ₂ (ارگوکلسیفرول)	
[۲۷۷]	-	هیچ شرکت تولیدکننده تخصصی ایزوله پروتئین مخمري در کشور فعالیت نمی کند.	Angel Yeast	ایزوله پروتئینی	
[۲۷۸]		هیچ شرکت تولیدکننده ترکیبات مخمري به‌منظور ریزپوشانی در کشور فعالیت نمی‌کند.	Fluid Technologies (MiCap)	استفاده در ریزپوشانی	
۱- این محصول به‌عنوان محصول جانبی تولید اتانول از مخمر تولید می‌شود. ۲- غیرفعال‌سازی مخمر توسط حرارت و خشک کردن ۳- اجرای فرایند اتولیز و جداسازی اولیه و خشک کردن ۴- اجرای فرآوری‌های تخصصی و گسترده‌تر علاوه بر جداسازی اولیه و خشک کردن اشاره شده در مورد ۳					



شکل ۴ شرکت‌های پیشرو در صنعت مخمر جهان [۲۲]

جدول ۳ خلاصه شرکت‌های تولید مخمر بزرگ در جهان

حوزه	محصولات	Lallemand	Lesaffre	Angelyeast	Ohly	Kohjin	AM Muari	AB Biotek	Zhen-AO
صنعت نان	مخمري	*	*	*			*		
	غيرمخمري	*	*	*			*		
صنایع غذایی	مخمري	*	*	*	*	*		*	
	غيرمخمري	*	*		*				
نوشیدنی	مخمري	*	*	*				*	
	غيرمخمري	*	*	*				*	
سوخت زیستی	مخمري	*	*	*				*	
	غيرمخمري	*	*					*	
حوزه سلامت انسان	مخمري	*	*	*	*	*		*	*
	غيرمخمري	*	*	*					
حوزه سلامت دام	مخمري	*	*	*	*	*		*	*
	غيرمخمري	*	*	*					
حوزه سلامت گیاه	مخمري	*	*	*					
	غيرمخمري	*	*	*					
بیوتکنولوژی صنعتی	مخمري	*	*	*	*				
	غيرمخمري	*	*	*					

راهبرد تولید محصولات این شرکت‌ها، استفاده از پالایشگاه زیستی مخمر و تولید سبد محصولات مختلف بوده است. هیچ یک از این شرکت‌ها تک محصوله نبوده و طیف متنوعی از محصولات مبتنی بر مخمر را ارائه می‌دهند. سبد محصولات این شرکت‌ها عموماً دارای دسته‌بندی مطابق شکل ۵ است [۲۲].

این شرکت‌ها برای توسعه فعالیت‌های تجاری خود، راهبردهای متنوعی را اتخاذ کرده‌اند. شکل ۶ سیر توسعه سبد محصولات شرکت‌های فعال در صنعت مخمر را نشان می‌دهد.



شکل ۵ سبد محصولات شرکت‌های بزرگ تولید کننده خمیرمایه (پالایشگاه زیستی مخمر) [۲۲]



شکل ۶ سیر کلی توسعه سبد محصولات شرکت های تولیدکننده خمیرمایه (پالایشگاه زیستی مخمر) [۲۲]

۲-۳ بررسی وضعیت تولید خمیرمایه و مشتقات آن در ایران

اولین کارخانه خمیرمایه کشور در سال ۱۳۴۶ در منطقه شهریار تأسیس شد و بقیه کارخانه ها نیز از اوایل دهه ۱۳۷۰ به جمع تولیدکنندگان خمیرمایه کشور پیوستند. در واقع ایران به عنوان یک قطب منطقه ای، تأمین کننده خمیرمایه کشورهای همسایه که ارزش این ماده پر فایده را می دانند شناخته می شود.

راهبردهای مشترک بین تمام این شرکت ها عبارتند از [۲۲]: ۱- خرید یا مشارکت با شرکت های فعال برای توسعه محصولات موجود در تجارت یا گسترش تجارت به صورت بین المللی و ورود به بازارها و مناطق جدید تجاری، ۲- خرید یا مشارکت با شرکت های مطرح (شرکت های تولیدکننده یا تحقیق و توسعه) برای توسعه محصولات جدید و ورود به بازارهای جدید، ۳- خرید یا مشارکت شرکت های نوآور (تولیدکننده یا شرکت های تحقیق و توسعه) به منظور توسعه محصولات جدید و ورود به بازار جدید و ۴- تحقیق و توسعه داخلی در شرکت برای تولید محصول جدید و یا ورود به بازارهای جدید.

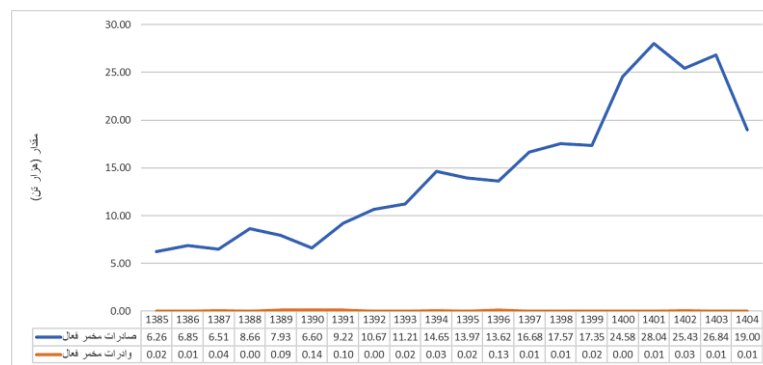
جدول ۴ تولیدکنندگان خمیرمایه کشور

شرکت	نام برند محصول	مکان	ظرفیت اسمی (تن)	تولید خشک (تن)	تولید تر (تن)
ایران مایه	گل مایه	لرستان	۳۰۰۰	۴۰۰۰	۲۲۲۵
ایران ملاس	فریمان / کاراتوس	خراسان رضوی	۱۰۰۰۰	۱۰۹۱۴	۰
خمیرمایه رضوی	رضوی / عالی مایه	خراسان رضوی	۵۰۰۰	۵۳۰۰	۱۰۶۰۰
خمیرمایه خوزستان	دز مایه	خوزستان	۷۵۰۰	۶۱۰۰	۰
خمیرمایه و الکل رازی	ناب مایه / دانیال	خوزستان	۱۰۰۰۰	۹۵۹۹	۷۰
خمیرمایه چهارمحال و بختیاری	کلار مایه	چهارمحال و بختیاری	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۰
خمیرمایه امید لرستان	صفامایه	لرستان	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰
خمیرمایه برتر	نان مایه	کرمانشاه	۳۲۰۰	۳۲۰۰	۰
مجموع (تن)					
ظرفیت تولید شرکت های خمیرمایه بر اساس تولید همگن محاسبه می شود. از آنجایی که از هر ۳ تن خمیرمایه تازه ۱ تن خمیرمایه خشک به دست می آید، تولید همگن برابر با جمع مقدار تولید خشک و یک سوم مقدار تولید تازه می باشد.					
۱۲۸۹۵					

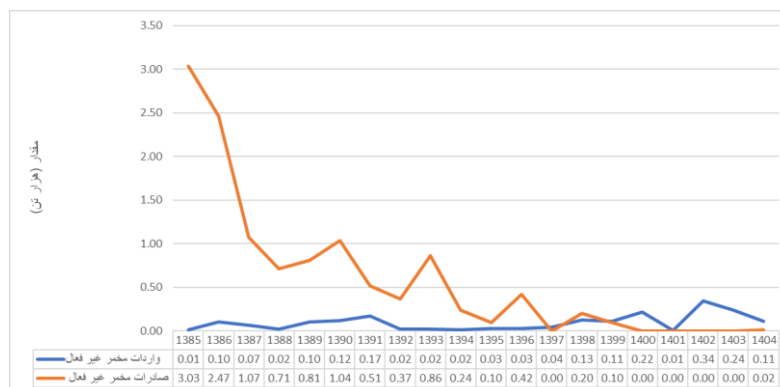
غذای انسان و خوراک دام تولید می‌شود. جدول ۴ لیست تولیدکنندگان خمیرمایه کشور را ارائه می‌دهد [۲۰، ۲۱ و ۲۳].

نمودار شکل ۷ و ۸ واردات و صادرات مخمر فعال و غیرفعال کشور از سال ۸۵ تا نه ماهه نخست ۱۴۰۴ را نمایش می‌دهد. باتوجه به این دو نمودار، همواره ظرفیت صادرات خمیرمایه بیش از واردات آن بوده است. بزرگ‌ترین مقاصد صادراتی خمیرمایه تولید شده در ایران در سال ۱۴۰۴ کشورهای عراق، افغانستان، پاکستان، ترکیه، سوریه و چند کشور دیگر بودند که در شکل ۹ نمایش داده شده است [۲۰].

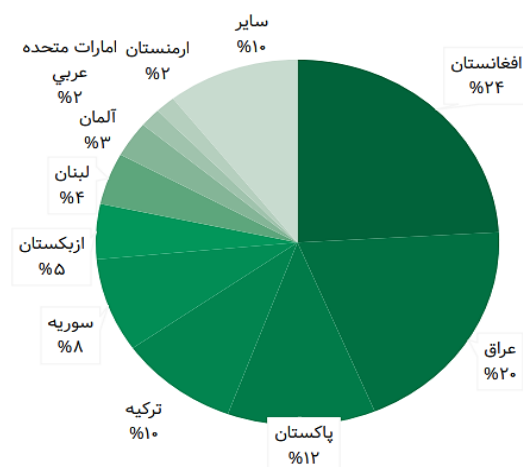
از کشورهای همسایه‌ی ایران، تنها ترکیه توانایی تولید مخمر را دارد. کشورهای حاشیه خلیج فارس به علت شرایط آب و هوایی و سخت بودن دسترسی به ملاس (ماده اولیه) و کشورهایی مثل عراق و پاکستان به علت مشکلات برق توانایی تولید مخمر را ندارند. هم‌اکنون هشت کارخانه در کشور با ظرفیت اسمی تولید حدود ۴۵۰۰۰ تن موجود است. کارخانه‌های فعلی با صد در صد ظرفیت خود در حال تولید هستند؛ اما متأسفانه باید گفت محصولات پر ارزش آنها در بازار داخل کمتر قدر شناخته می‌شود و بازارهای خارجی اقبال بیشتری به این محصول دارند. خمیرمایه تولیدی در کارخانجات خمیرمایه با دو گرید مختلف صنعت



شکل ۷ واردات و صادرات مخمر فعال با کد تعرفه گمرکی ۲۱۰۲۱۰۰ در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۴ (آمار ۹ ماهه مربوط به نه ماهه نخست سال است).



شکل ۸ واردات و صادرات مخمر غیرفعال با کد تعرفه گمرکی ۲۱۰۲۲۰۰ در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۴ (آمار ۹ ماهه مربوط به نه ماهه نخست سال است).



شکل ۹ مقاصد صادراتی خمیرمایه کشور در سال ۱۴۰۴ [۲۳]

علی‌رغم پتانسیل بالای کشور در تولید خمیرمایه، زنجیره ارزش این محصول در کشور هنوز به‌طور کامل توسعه نیافته است و تنها تعداد معدودی از محصولات مبتنی بر خمیرمایه در کشور تولید می‌شوند. این محصولات شامل عصاره مخمر، دیواره سلولی مخمر، تولید مخمرهای پروبیوتیک، اتانول و محصولات جانبی حاصل از تولید آن هستند [۲۲]. یکی از مشتقات مهم مخمر که بازار گسترده‌ای دارد و بسیار مورد توجه است، عصاره‌ی مخمر است. به زبان ساده عصاره‌ی مخمر محتویات داخل سلول مخمر است که به‌صورت پودری عرضه می‌شود. در فرایند تولید عصاره‌ی مخمر بسته به نوع فراوری سه نوع محصول ممکن است تولید شود. ۱- محصول اول مخلوط دیواره‌ی سلولی مخمر و محتویات سلول است. این محصول بعد از شکستن دیواره‌ی سلولی و خشک کردن پدید می‌آید. ۲- محصول دوم عصاره‌ی مخمر

جدا شده از دیواره‌ی سلولی است که پس از شکست دیواره سلولی، بعد از عبور از فرایند جداسازی، محصول مورد نظر حاصل می‌شود. ۳- محصول سوم نیز دیواره‌ی سلولی مخمر است که ماده‌ی جدا شده از محتویات داخل سلول است. با توجه به کاربرد وسیع این محصولات در خوراک دام، طیور و آبریان به‌عنوان افزودنی، در مجموع از طریق نقش‌هایی چون تحریک سیستم ایمنی، پری‌بیوتیکی، جذب و به‌دام‌اندازی سموم، تأمین ریزمغذی‌ها و ...، موجب دفع سموم، بهبود عملکرد مجرای گوارشی، تقویت سیستم ایمنی، بهبود رشد و در نهایت افزایش راندمان تولید در حیوانات می‌شود. علاوه بر این، عصاره مخمر به‌عنوان یک طعم دهنده طبیعی، جایگاه ویژه‌ای در صنایع غذایی پیدا کرده است و نیز جزء اصلی اکثر محیط‌های کشت میکروبی می‌باشد [۵، ۲۴-۲۶].

جدول ۵ شرکت‌های فعال در حوزه عصاره مخمر

نام شرکت	محصول	استان
پهان کیمیا آنزیم	دیواره سلولی مخمر، عصاره مخمر، مخمر اتولیز/هیدرولیز	اصفهان، همدان
سورن تک توس	مخلوط دیواره سلولی و محتویات سلول مخمر	خراسان رضوی
تالی ژن پارس	مخلوط دیواره سلولی و محتویات سلول مخمر	اصفهان
کاوشگر سپهر جوان	دیواره سلولی مخمر، عصاره مخمر، مخلوط دیواره سلولی و محتویات سلول مخمر	خوزستان
آکام فراورده‌های بهمن آزاد	مخلوط دیواره سلولی و محتویات سلول مخمر	تهران
صنایع غذایی گلشاد مشهد	عصاره مخمر	خراسان

ظرفیت دقیق برای بازار عصاره‌ی مخمر را نمی‌توان بیان داشت. اما با در نظر گرفتن مصاحبه‌های نخبگانی هم‌اکنون حداقل ۱۰۰۰ تن سالیانه در بازار مشتری آماده‌ی پرداخت وجود دارد و حد پتانسیل بازار بیش از ۱۰ هزار تن است. جدول ۵ شرکت‌های فعال در حوزه‌ی تولید عصاره‌ی مخمر فعال را بیان می‌کند [۲۲].

پروبیوتیک‌ها در سال‌های اخیر توجه جامعه جهانی، به‌ویژه در حوزه سلامت و درمان را به خود جلب کرده‌اند. این امر به‌دلیل نقش موثر محصولات پروبیوتیک در ارتقای سلامت، تقویت سیستم ایمنی و کمک به پیشگیری و درمان برخی بیماری‌ها در انسان و دام است. مصرف پروبیوتیک‌ها، با مهار رشد باکتری‌های بیماری‌زا، به‌ویژه در شرایط استرس، نقش مؤثری در حفظ و ارتقای سلامت افراد ایفا می‌کند. پروبیوتیک‌ها مکمل‌های غذایی حاوی میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که برای سلامتی میزبان مفید هستند [۲۷]. در کشور، شرکت‌های دانش‌بنیان و غیردانش‌بنیان متعددی برای تولید مکمل‌های انسانی و دامی پروبیوتیک فعال هستند. محصولات این شرکت‌ها اغلب بر پایه باکتری‌های پروبیوتیک هستند. با این حال، در سبد محصولات تمام این شرکت‌ها پروبیوتیک‌های مخمری وجود دارد. محصولات پروبیوتیک مخمری این شرکت‌ها از سویه *S. cerevisiae* استفاده کرده‌اند. این شرکت‌ها و حوزه پروبیوتیک آن‌ها در جدول ۶ بیان شده است [۲۲].

اتانول یا الکل اتیلیک رامی‌توان هم به روش پتروشیمیایی (هیدراسیون یا به عبارت دیگر احیای غیرمستقیم و یا

احیای مستقیم گاز اتیلن) و هم به روش زیستی از مواد قندی گوناگون با منشأ طبیعی تولید کرد. بر اساس اظهار نظر رئیس انجمن تولیدکنندگان اتانول سالانه ۱۵۰ میلیون لیتر اتانول در کشور توسط اعضای این انجمن تولید می‌شود. اتانول زیستی از منابع متفاوتی همچون ملاس، قند و شکر، پسماندهای شهری، آب‌پنیر، زیست‌توده‌های گیاهی (لیگنوسلولوزی) و بسیاری موارد دیگر تولید می‌شود. در ایران عموم واحدهای تولید بیواتانول از ملاس به‌عنوان منبع کربن و از مخمر *S. cerevisiae* استفاده می‌کنند. اتانول در فرایند تقطیر در شرایط عادی، به‌واسطه نقطه آزنوتروپ، حداکثر تا میزان ۹۶ درصد خالص می‌شود. از واحد تقطیر سه دسته محصول، شامل الکل‌ها، آب و ویناس، CO_2 خارج می‌شود [۲۲].

از میان ۴۴۷ شرکت دانش‌بنیان فعال در حوزه فناوری‌های زیستی، کشاورزی و صنایع غذایی، تا پایان آبان ماه ۱۴۰۲، ۱۵ شرکت دانش‌بنیان فناور، ۷۱ شرکت دانش‌بنیان نوآور و ۳۶۱ شرکت دانش‌بنیان نوپا در این حوزه خدمات و محصولات ارائه می‌کنند. از این میان ۷ شرکت فناور و ۱۸ شرکت نوآور در حوزه زیست‌فناوری و تولید محصولات بر پایه مخمر وجود دارد. از بررسی شرکت‌های نوپا به‌دلیل تعداد بالا و همچنین عدم وجود محصول قابل ارائه به بازار، صرف نظر شده است. جدول ۷ لیست شرکت‌های دانش‌بنیان فناور و نوآور بر پایه مخمر را ارائه می‌کند [۲۲].

جدول ۶ محصولات پروبیوتیک مخمری تولید شده در کشور

شرکت	مخمر	مکمل انسانی	مکمل دامی
دانش‌بنیان زیست تخمیر	<i>Saccharomyces boulardii</i>	*	
فراورده‌های زیستی پردیس رشد مهرگان (پارسی لاکت)	<i>S. boulardii</i>	*	*
دانش‌بنیان زیست درمان ماهان	<i>S. cerevisiae</i>		*
دانش‌بنیان فرادارو فن‌آور مهر® (فراپیوتیک®)	<i>S. boulardii</i>	*	
تک ژن فارما	<i>S. cerevisiae</i>		*
شرکت فن‌آوری زیستی طبیعت‌گرا (بایوران)	<i>S. boulardii, S. cerevisiae</i>	*	*
مجموعه تولیدی بازرگانی فرتاک	<i>S. cerevisiae</i>		*
دانش‌بنیان ویوان	<i>S. cerevisiae</i>		*

جدول ۷ شرکت‌های دانش‌بنیان فناوری و نوآور بر پایه مخمر

نام شرکت	شناسه ملی	نوع مجوز	استان	تاریخ تأیید
اکسیر دانش آبادیس	14007481665	فناور	مرکزی	1402/08/02
تک ژن زیست	10102825662	فناور	تهران	1400/11/02
زیست تخمیر	10320170851	فناور	تهران	1402/04/10
فرا دارو فن آور مهر	14005804900	فناور	تهران	1401/09/06
توسعه بن دا فراور	14005303245	فناور	تهران	1400/04/12
بهان کیمیا آنزیم	14004200897	فناور	تهران	1399/11/11
زیست فراورده سپاهان	10260604211	فناور	اصفهان	1398/11/19
شیر پاستوریزه پگاه زنجان	10460088025	نوآور	زنجان	1402/07/09
فراورده‌های لبنی رامک شیراز	10530151206	نوآور	فارس	1402/07/14
شیر پاستوریزه پگاه گلستان	10700129398	نوآور	گلستان	1402/07/25
شیر پاستوریزه پگاه فارس	10530272844	نوآور	فارس	1402/07/22
تولیدی خدماتی بهار آوران نسترن	10860969596	نوآور	قم	1402/06/28
فرداد کیان فرتاک	14008437100	نوآور	قم	1402/06/14
شیر پاستوریزه پگاه گیلان	10720219420	نوآور	گیلان	1402/07/08
شیر پاستوریزه پگاه اصفهان	10861147912	نوآور	اصفهان	1402/04/31
پارس طعم آرا	10480138612	نوآور	سمنان	1402/06/14
شیر پاستوریزه پگاه خوزستان	10420046119	نوآور	خوزستان	1402/06/05
سروستان پاک ایرانیان رایکا	14004503544	نوآور	قم	1402/04/17
شیر پاستوریزه پگاه آذربایجان شرقی	10200219532	نوآور	آذربایجان شرقی	1402/02/25
شیر پاستوریزه پگاه خراسان	10861934614	نوآور	خراسان رضوی	1402/02/23
ویوان تک اکسیر ایرانیان	10861068424	نوآور	خراسان جنوبی	1401/11/24
شیر خشک نوزاد پگاه	10680045035	نوآور	چهارمحال و بختیاری	1401/11/16
بنیان سلامت کسری	14004186358	نوآور	تهران	1400/04/12
زیست درمان ماهان	14005603886	نوآور	تهران	1399/04/07
بهرپوران نامی نقش جهان	10260359205	نوآور	اصفهان	1400/11/02

امروزه فناوری‌های گوناگون به سازمان‌ها کمک می‌کنند تا فرایندهای خود را با کارایی و اثربخشی بالاتری به انجام برسانند. توانایی به‌کارگیری دانش، مهارت، تجهیزات و امکانات برای تولید و توسعه محصولات و خدمات را سطوح آمادگی فناوری^۱ (TRL) می‌گویند. ارزیابی بلوغ یک فناوری در میان ذی‌نفعان (که برای دستیابی به استفاده

کارآمدتر از منابعی مانند سرمایه، مواد یا زیرساخت تلاش می‌کنند) به رسمیت شناخته شده و یکی از روش‌های رایج بررسی فناوری است [۲۹]. سطح آمادگی فناوری کشور برای هریک از محصولات قابل استحصال از پالایشگاه زیستی مخمر در جدول ۸ بیان شده است [۲۹].

^۱ Technology Readiness Level

جدول ۸ سطح آمادگی فناوری (TRL) کشور برای هریک از محصولات قابل استحصال از پالایشگاه زیستی مخمر

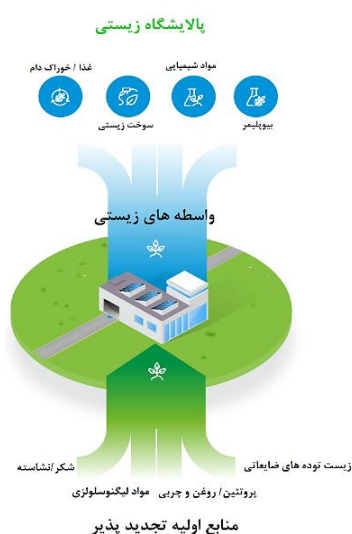
محصول		سطح TRL	شاخص‌های عمومی دستاورد
مخمر نانوائی	مخمر خشک فعال	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	مخمر خشک فوری	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	مخمر خشک فعال فوری	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	مخمر مایع	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	مخمر بلوک فشرده	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	مخمر خورده شده	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	مخمر خشک با قدرت کاهنده (فرم فعال مخمر)	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
مخمر تغذیه ای		۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
مخمر برای مصارف دیگر	پروبیوتیک انسانی	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	پروبیوتیک دامی	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
مخمر به عنوان استارتر	مخمر استارتر تولید پنیر	—	عدم بررسی در کشور
	مخمر استارتر تولید کفیر	۳ (اثبات مفهوم)	اثبات مفهوم در آزمایشگاه
مخمر پروتئین تک یاخته	SCP انسانی	۳ (اثبات مفهوم)	اثبات مفهوم در آزمایشگاه
	مخمر پروتئین تک یاخته	۴ (توسعه اولیه فرایند)	مستندسازی داده‌های تکرارپذیر و کمی (تدوین SOP)، فرایندهای جایگزین سنجیده و بررسی می‌شوند.
مخمر علوفه ای (خوراک دام)		—	عدم بررسی در کشور
مشتقات مخمر	دیواره سلولی مخمر	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.
	بتاگلوکان	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات

			دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	
	مانان الیگوساکارید	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه‌ی خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	تست محصول در شرایط کاملاً مشابه ظرفیت اصلی تولید
	نوکلئوتید (GMP و IMP)	—	عدم بررسی در کشور	
	پپتید	—	عدم بررسی در کشور	
	مخمر اتولیز/ هیدرولیز شده	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.	محصول آماده ارائه و فروش
	پپتون	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه‌ی خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	تست محصول با گرید آزمایشگاهی در شرایط کاملاً مشابه ظرفیت اصلی تولید
	گلوکاتینون	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه‌ی خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	تست محصول با گرید آزمایشگاهی در شرایط کاملاً مشابه ظرفیت اصلی تولید
	پروتئین ایزوله شده	۲ (مفهوم)	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	تدوین مفهوم اولیه‌ی محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است.
	استفاده از دیواره مخمر برای ریز پوشانی	۲ (مفهوم)	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	تدوین مفهوم اولیه‌ی محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است
	مخمر غنی شده با "سلنیوم"	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه‌ی خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	تست محصول با گرید آزمایشگاهی در شرایط کاملاً مشابه ظرفیت اصلی تولید
	مخمر غنی شده با "روی"	۵ (توسعه مبسوط فرایند)	پارامترها و شرایط دقیق شده است، مفاهیم فرایندی اندکی نیز بسط داده می‌شود.	شرایط محصول نهایی تدقیق می شود، طراحی پایلوت
	مخمر غنی شده با "کروم"	۲ (مفهوم)	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	تدوین مفهوم اولیه‌ی محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است.
	مخمر غنی شده با "منگنز"	۲ (مفهوم)	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	تدوین مفهوم اولیه‌ی محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است
	مخمر غنی شده با "مس"	۲ (مفهوم)	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	تدوین مفهوم اولیه‌ی محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است
	ارگوسترول و ارگوکلیسفرول (ویتامین D2)	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه‌ی خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	تست محصول با گرید آزمایشگاهی در شرایط کاملاً مشابه ظرفیت اصلی تولید

ویتامین‌های گروه ب		۴ (توسعه اولیه فرایند)	مستندسازی داده‌های تکرارپذیر و کمی (تدوین SOP)، فرایندهای جایگزین سنجیده و بررسی می‌شوند.	آزمایش‌های متعدد دیگر در راستای توسعه‌ی بازار محصول و رفع چالش‌های احتمالی، لحاظ کردن بازخوردهای مصرف‌کنندگان
جایگزین سفیده تخم مرغ		۵ (توسعه مبسوط فرایند)	پارامترها و شرایط دقیق شده است، مفاهیم فرایندی اندکی نیز بسط داده می‌شود.	شرایط محصول نهایی تدقیق می شود، طراحی پایلوت
تولید آنزیم	آنزیم اینورتاز	۵ (توسعه مبسوط فرایند)	پارامترها و شرایط دقیق شده است، مفاهیم فرایندی اندکی نیز بسط داده می‌شود.	شرایط محصول نهایی تدقیق می شود، طراحی پایلوت
	آنزیم مالتاز	—	عدم بررسی در کشور	
زیست ترادیدی		۲ (مفهوم)	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	تدوین مفهوم اولیه‌ی محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است.
اتانول مطلق (اتانول سوختی)		۸ (راه‌اندازی و آزمون‌های عملکردی در واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد نهایی و تایید شده آماده است.	قرارداد فروش محصول با مصرف‌کنندگان و خریداران منعقد شده تایید نهایی را داده‌اند.
ویناس	مالج زیستی	۶ (آزمون در مقیاس پایلوت)	واحد پایلوت در حال کار	شرایط محصول نهایی نهایی شده (غیر قابل تغییر)
	کود از خاکستر ناشی از سوزاندن	۳ (اثبات مفهوم)	اثبات مفهوم در آزمایشگاه	مفهوم محصول و کاربردهای آن در آزمایشگاه تست می‌شود، اولین تست توسط کابر و مصرف‌کننده انجام می شود.
	تولید پیش‌ماده صنعت سیمان و بتن	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا/ اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه‌ی خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	تست محصول با گرید آزمایشگاهی در شرایط کاملاً مشابه ظرفیت اصلی تولید
	استفاده برای کشت بافت گیاهی	—	عدم بررسی در کشور	
	تولید کو-کمپوست	۳ (اثبات مفهوم)	اثبات مفهوم در آزمایشگاه	مفهوم محصول و کاربردهای آن در آزمایشگاه تست می‌شود، اولین تست توسط کابر و مصرف‌کننده انجام می‌شود.
	کود آبیاری	۹ (تولید و بهره‌برداری)	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.	محصول آماده ارائه و فروش
	تولید بیوگاز	۳ (اثبات مفهوم)	اثبات مفهوم در آزمایشگاه	مفهوم محصول و کاربردهای آن در آزمایشگاه تست می‌شود، اولین تست توسط کابر و مصرف‌کننده انجام می‌شود.
	تولید بیوهیدروژن	۳ (اثبات مفهوم)	اثبات مفهوم در آزمایشگاه	مفهوم محصول و کاربردهای آن در آزمایشگاه تست می‌شود، اولین تست توسط کابر و مصرف‌کننده انجام می‌شود.
	مخمر علوفه‌ای (جداسازی)	۷ (اثبات و مهندسی واحد با ظرفیت بالا / اصلی)	واحد پایلوت/ پایلوت بزرگتر (واحد نمایش) در حالت بهینه‌ی خود در حال فعالیت است، تولید نمونه محصول قابل فروش، مستندات دقیق و نهایی فرایند و ابنیه برای ساخت و اجرای واحد با ظرفیت اصلی آماده هستند.	تست محصول با گرید آزمایشگاهی در شرایط کاملاً مشابه ظرفیت اصلی تولید

مفهوم محصول و کاربردهای آن در آزمایشگاه تست می‌شود، اولین تست توسط کابر و مصرف‌کننده انجام می‌شود.	اثبات مفهوم در آزمایشگاه	۳ (اثبات مفهوم)	مخمر علوفه‌ای تخمیری	
تدوین مفهوم اولیه محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است.	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	۲ (مفهوم)	استفاده به‌عنوان سوخت	ویناس
محصول آماده ارائه و فروش	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.	۹ (تولید و بهره‌برداری)	استفاده در محیط کشت تخمیر	
مفهوم محصول و کاربردهای آن در آزمایشگاه تست می‌شود، اولین تست توسط کابر و مصرف‌کننده انجام می‌شود.	اثبات مفهوم در آزمایشگاه	۳ (اثبات مفهوم)	بازیابی پتاسیم از ویناس	
تدوین مفهوم اولیه محصول، پرسشنامه‌ی مبسوط کاربران عملیاتی شده است.	تدوین مفهوم فناوری، لیست راه‌حل‌ها، برنامه‌ریزی برای تحقیق و توسعه‌ی آتی	۲ (مفهوم)	تولید بتائین	
محصول آماده ارائه و فروش	واحد با ظرفیت نهایی ساخته شده و در حال کار است.	۹ (تولید و بهره‌برداری)	کربن دی اکسید (CO ₂) مایع	

بزرگ از زیست‌توده در اقتصاد زیستی است (شکل ۱۰) [۱۸].



شکل ۱۰ شماتیک پالایشگاه زیستی

این امر منجر به تولید مشترک رقابتی مواد غذایی/خوراک دام، محصولات مبتنی بر زیست و انرژی زیستی همراه با اثرات بهینه اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی (استفاده کارآمد از منابع، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و غیره) خواهد شد. با توجه به اهمیت مفهوم اقتصاد چرخشی

۳-۳ اهمیت ایجاد پالایشگاه‌های زیستی در کشور

پالایشگاه زیستی به مجموعه‌ای گفته می‌شود که با استفاده از زیست‌توده (اولیه یا ثانویه) و با بهره‌گیری از فرایندهای متنوع زیستی (تخمیر، هضم و فرایندهای آنزیمی)، مکانیکی، شیمیایی مواد اولیه غیرزیستی مانند متان، CO₂ را از طریق مسیرهای فناورانه به محصول با ارزش افزوده تبدیل می‌کند. محصولات با ارزش افزوده در این تعریف شامل تکمیل زنجیره ارزش محصولات تولیدی در کشور (شکر، شیر و ...)، ارزش‌افزایی از پسماند و بقایا (باگاس و ...) و تولید محصولات زیست‌پایه است. این محصولات در سه دسته مواد شیمیایی، مواد اولیه و انرژی قرار می‌گیرند. دو محدودیت در تعریف پالایشگاه زیستی عبارت است از: ۱- در رویکرد استفاده از زیست‌توده، حداقل باید دو مرحله فراروی انجام شود؛ و ۲- در راستای اقتصاد چرخشی، هیچ‌گونه پساب یا پسماند قابل ارزش‌افزایی نباید باقی بماند. پالایشگاه زیستی یکی از راهبردهای کلیدی توانمندسازی اقتصاد چرخشی است که اتصال بین حلقه‌های مواد زیست‌توده خام (استفاده مجدد از جنگل‌داری، کشاورزی، ضایعات فرایندهای صنعتی)، مواد معدنی، آب و کربن را برقرار می‌سازد. بنابراین، پالایشگاه زیستی استراتژی بهینه برای استفاده پایدار در مقیاس

ارزش (به عنوان مثال، کشاورزی و جنگلداری، صنعت و تجارت) می شود. توسعه و به کارگیری فناوری های نوآورانه در زمینه پالایشگاه های زیستی، تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتری را تضمین کرده و صادرات محصولات و فناوری های پایدار را برای گسترش بیشتر رقابت تحریک می کند [۱۸].

باتوجه به اهمیت و اولویت نقش اقتصاد دانش بنیان در رشد اقتصاد کشور، لازم است ابزار و مدل نقش آفرینی زیست فناوری در این مهم تعیین شود. در همین راستا یکی از قدرتمندترین ابزارهای اثرگذاری زیست فناوری و اقتصاد زیست پایه در نقشه ی اقتصاد دانش بنیان، پالایشگاه زیستی است. با این وجود، کارخانه های تولید خمیرمایه صرفاً به تولید خمیرمایه اکتفا کرده و از پتانسیل بالای تولید محصولات فراوری شده مخمر غافل مانده اند. همچنین، کارخانه های تولیدکننده عصاره مخمر در کشور، خمیرمایه خود را به صورت ماده اولیه از کارخانه خریداری کرده و استراتژی این شرکت ها نیز اقتصاد خطی یا تولید تک محصول است؛ بنابراین، لزوم استفاده از پالایشگاه زیستی برای تبدیل کارخانه های تک جزیره ای به اقتصاد چرخشی زیستی برای استفاده از حداکثر پتانسیل این بازار، ضروری است. پالایشگاه زیستی علاوه بر سودآوری بیشتر و صرفه اقتصادی (به دلیل تولید محصولات با ارزش افزوده)، پساب های تولیدی را کاهش داده و از نظر زیست محیطی به توسعه پایدار صنعت در کشور کمک می کند. همچنین، با کاهش پساب ها، به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و کاهش آلودگی نیز کمک می کنند. تولید محصولات پالایشگاه زیستی، از خروج ارز و وابستگی به منابع خارجی می کاهد و همچنین باتوجه به نقش برجسته ایران به عنوان قطب خمیرمایه منطقه می تواند صادرات و ارزآوری بیشتر برای کشور به همراه داشته باشد. شکل ۱۱ به صورت خلاصه رسالت اقتصاد چرخشی را نمایش می دهد.

۴- جمع بندی و پیشنهاد

بررسی تلفیقی زنجیره ارزش صنعت خمیرمایه و مشتقات آن نشان می دهد که مخمرها، به ویژه *Saccharomyces cerevisiae*، یکی از راهبردی ترین پلتفرم های زیستی برای توسعه صنایع زیست پایه محسوب می شوند.

زیستی در جهان، تمام شرکت های بزرگ تولیدکننده مخمر در جهان از رویکرد پالایشگاه زیستی مخمر استفاده کرده اند.

پیروی از اهداف تولید پسماند و پساب خالص صفر، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و گذار به توسعه پایدار از نظر زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی چالش های پیچیده و عظیمی هستند که نیازمند یک سیستم پالایشگاه زیستی بسیار کارآمد و مقرون به صرفه هستند. پالایشگاه های زیستی باید با زیرساخت های کنونی ادغام شوند و در عین حال امکان تبدیل طیف وسیعی از مواد اولیه و ضایعات بیولوژیکی را به مجموعه ای از مواد زیست پایه و مواد شیمیایی ویژه فراهم کنند که هزینه های آن از هزینه همتایان پتروشیمی شان بیشتر نباشد و عملکرد آن ها ثابت شده باشد [۳۰]. پالایش زیستی یک استراتژی بهینه برای استفاده پایدار (در مقیاس صنعتی) از زیست توده در اقتصاد زیستی است که منجر به تولید مشترک رقابتی غذا و خوراک، محصولات زیست پایه و انرژی زیستی با مزایای بهینه اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی می شود. ادغام کارآمد پالایشگاه های زیستی در زیرساخت های صنعتی موجود می تواند یک محرک کلیدی برای ایجاد پالایشگاه زیستی و اقتصاد زیستی پایدار باشد [۳۱، ۱۸].

در پالایشگاه های زیستی، انرژی زیستی و محصولات زیست پایه باتوجه به پتانسیل منابع مختلف، به طور مؤثر تولید می شوند. علاوه بر این، نیازهای مختلف جامعه مانند خدمات حمل و نقل، تأمین برق، غذا و خوراک دام، مواد شیمیایی و سایر نیازها به طور پایدار پوشش داده می شود. محصولات پالایشگاه زیستی می توانند جایگزین محصولات مبتنی بر مواد خام فسیلی شده و منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (به عنوان مثال CO_2 ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی) شوند. استفاده از مواد اولیه و انرژی های تجدیدپذیر در پالایشگاه های زیستی، افزایش انرژی های تجدیدپذیر را تضمین می کند. تولید هم زمان انرژی زیستی و مواد مبتنی بر زیست، ویژگی ها و پتانسیل های محصول مواد خام را گسترش داده و به افزایش بازده انرژی و مواد کمک می کند. همچنین، گسترش زنجیره ارزش- از منابع بیولوژیک تا انرژی و خدمات- باعث افزایش درآمد و تضمین مشاغل با کیفیت بالا در تمام بخش های این زنجیره

یکپارچه‌سازی فرایندها برای استفاده از ملاس، پساب‌ها و جریان‌های جانبی صنایع غذایی و کشاورزی، ضمن کاهش ضایعات، امکان تولید هم‌زمان انرژی زیستی، مواد زیست‌پایه و خوراک دام را فراهم می‌کند. همچنین، استفاده از خمیرمایه تر به جای خمیرمایه خشک برای تولید مشتقات آن که قیمت تمام‌شده‌ی مشتقات را کاهش می‌دهد.

۳. تقویت تحقیق، توسعه و استقرار فناوری (RD&D) سرمایه‌گذاری هدفمند در ارتقای سوپیه‌ها، بهینه‌سازی فرایندهای تخمیر، فناوری‌های پایین‌دستی و توسعه محصولات نوین، برای ارتقای سطح آمادگی فناوری و تجاری‌سازی ضروری است.

۴. توسعه زیست‌بوم نوآوری و همکاری‌های صنعتی-دانشگاهی

ایجاد کنسرسیوم‌های فناورانه میان صنعت، دانشگاه و شرکت‌های دانش‌بنیان می‌تواند انتقال دانش، بومی‌سازی فناوری و توسعه محصولات پیشرفته را تسریع کند.

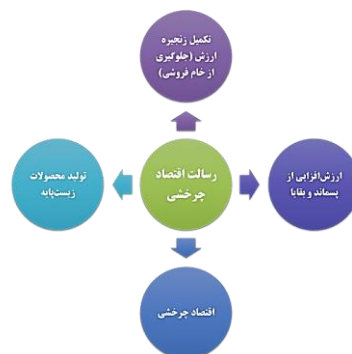
۵. سیاست‌گذاری حمایتی و مشوق‌های اقتصادی حمایت‌های هدفمند شامل تسهیلات سرمایه‌گذاری، مشوق‌های صادراتی، استانداردسازی محصولات زیست‌پایه و سیاست‌های کاهش پسماند صنعتی، زمینه‌گذار به اقتصاد زیستی چرخشی را فراهم می‌کند.

۶. توسعه بازار و راهبرد صادراتی با توجه به موقعیت منطقه‌ای کشور، توسعه بازار مشتقات مخمر و محصولات زیست‌پایه می‌تواند ارزآوری و نفوذ در بازارهای همسایه را افزایش دهد.

در مجموع، گذار از تولید سنتی خمیرمایه به مدل پالایشگاه زیستی مخمر، نه تنها موجب افزایش ارزش‌افزوده و رقابت‌پذیری صنعتی می‌شود، بلکه با کاهش اثرات زیست‌محیطی، ارتقای بهره‌وری منابع و ایجاد فرصت‌های نوآوری، نقشی تعیین‌کننده در تحقق اقتصاد زیستی چرخشی و توسعه پایدار ایفا خواهد کرد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از دانشگاه تربیت مدرس و شرکت پیشگامان زنجیره ارزش زیستی برای فراهم کردن امکانات مورد نیاز کمال تشکر را دارند.



شکل ۱۱ رسالت اقتصاد چرخشی

انعطاف‌پذیری متابولیسمی، قابلیت استفاده از منابع قندی متنوع و توانایی تولید طیف گسترده‌ای از ترکیبات با ارزش‌افزوده، این میکروارگانیسم را به محور اصلی پالایشگاه‌های زیستی مدرن تبدیل کرده است. تجربه شرکت‌های پیشروی جهانی نشان می‌دهد که گذار از تولید تک‌محصولی به رویکرد پالایشگاه زیستی و توسعه سبد محصولات متنوع و متوازن، عامل کلیدی پایداری اقتصادی، تاب‌آوری صنعتی و رقابت‌پذیری جهانی است.

در ایران، با وجود ظرفیت تولید قابل‌توجه و جایگاه منطقه‌ای در تولید خمیرمایه، زنجیره ارزش این صنعت به‌طور کامل توسعه نیافته و تمرکز عمدتاً بر محصولات پایه و فراوری‌های اولیه باقی مانده است. این وضعیت سبب از دست رفتن فرصت‌های ارزش‌افزوده، وابستگی به واردات برخی ترکیبات زیستی و بهره‌برداری ناکامل از جریان‌های جانبی تولید می‌شود. توسعه پالایشگاه زیستی مخمر می‌تواند با تبدیل ضایعات و جریان‌های جانبی به محصولات زیست‌پایه، کاهش پسماند و افزایش بهره‌وری منابع، صنعت را به سمت اقتصاد زیستی چرخشی هدایت کند.

بر این اساس، پیشنهاد‌های راهبردی زیر ارائه می‌شود:

۱. تکمیل زنجیره ارزش و تنوع‌بخشی محصول توسعه تولید مشتقات با ارزش‌افزوده بالا مانند عصاره مخمر تخصصی، بتاگلوکان، مانان الیگوساکارید، مکمل‌های معدنی زیستی و مخمرهای غنی‌شده، و ترکیبات زیست‌فعال می‌تواند سودآوری و مزیت رقابتی را افزایش دهد.

۲. استقرار پالایشگاه زیستی مخمر در واحدهای تولیدی

۵- منابع

- [1] Steensels, J. and K.J. Verstrepen, *Taming wild yeast: potential of conventional and nonconventional yeasts in industrial fermentations*. Annual Review of Microbiology, 2014. 68: p. 61–80.
- [2] Walker, G.M., *Bioethanol: science and technology of fuel alcohol*. Ventus Publishing, 2010.
- [3] Parapouli, M., et al., *Saccharomyces cerevisiae and its industrial applications*. AIMS Microbiol, 2020. 6 (1): p. 1–31.
- [4] Maicas, S., *The Role of Yeasts in Fermentation Processes*. Microorganisms, 2020. 8 (8).
- [5] *Carbon Dioxide as Fermentation Byproduct, Applications And Usage*. Available from: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/carbon-dioxide-as-fermentation-byproduct-applications-and-usage/>.
- [6] Tao, Z., et al., *Yeast Extract: Characteristics, Production, Applications and Future Perspectives*. J Microbiol Biotechnol, 2023. 33 (2): p. 151–166.
- [7] Lipke, P.N. and R. Ovalle, *Cell wall architecture in yeast: new structure and new challenges*. J Bacteriol, 1998. 180 (15): p. 3735–40.
- [8] Gonzalez-Perez, D., E. Garcia-Ruiz, and M. Alcalde, *Saccharomyces cerevisiae in directed evolution: An efficient tool to improve enzymes*. Bioeng Bugs, 2012. 3 (3): p. 172–7.
- [9] Fleet, G.H., *Yeasts in dairy products*. Journal of Applied Bacteriology, 1990. 68 (3): p. 199–211.
- [10] Krings, U. and R.G. Berger, *Biotechnological production of flavours and fragrances*. Appl Microbiol Biotechnol, 1998. 49 (1): p. 1–8.
- [11] Verstrepen, K., et al., *Flavor-Active Esters: Adding Fruitiness to Beer*. Journal of bioscience and bioengineering, 2003. 96: p. 110–8.
- [12] *Yeast & Ferment Essence*. Available from: <https://en.angelyeast.com/upload/files/2019/12/9a470c894a160f3d.pdf>.
- [13] Hutzler, M., et al., *A new hypothesis for the origin of the lager yeast Saccharomyces pastorianus*. FEMS Yeast Res, 2023. 23.
- [14] Naumov, G., et al., *Saccharomyces bayanus var. uvarum in Tokaj wine-making of Slovakia and Hungary*. Applied microbiology and biotechnology, 2002. 59: p. 727–30.
- [15] Reina-Posso, D. and F.A. Gonzales-Zubiate *Expanding Horizons: The Untapped Potential of Kluyveromyces marxianus in Biotechnological Applications*. Fermentation, 2025. 11, 98 DOI: 10.3390/fermentation 11011020098 .
- [16] Cernak, P., et al., *Engineering Kluyveromyces marxianus as a Robust Synthetic Biology Platform Host*. mBio, 2018. 9 (5).
- [17] Perpetuini, G., et al., *Unlocking the potential of Kluyveromyces marxianus in the definition of aroma composition of cheeses*. Frontiers in Microbiology, 2024. Volume 15 - 2024.
- [18] Khlebodarova, T.M., et al. *Komagataella phaffii as a Platform for Heterologous Expression of Enzymes Used for Industry*. Microorganisms, 2024. 12, 346 DOI: 10.3390/microorganisms12020346.
- [19] Xie, D., et al., *Omega-3 production by fermentation of Yarrowia lipolytica: From fed-batch to continuous*. Biotechnol Bioeng, 2017. 114 (4): p. 798–812.
- [20] Qin, J., et al., *Metabolic Engineering of Yarrowia lipolytica for Conversion of Waste Cooking Oil into Omega-3 Eicosapentaenoic Acid*. ACS Engineering Au, 2025. 5 (2): p. 128–139.
- [21] Cambon, E., et al., *A new Yarrowia lipolytica expression system: An efficient tool for rapid and reliable kinetic analysis of improved enzymes*. Enzyme and Microbial Technology, 2010. 47 (3): p. 91–96.
- [22] Ritala, A., et al., *Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016*. Frontiers in Microbiology, 2017. Volume 8 - 2017.
- [23] Bekatorou, A., C. Psarianos, and A. Koutinas, *Production of Food Grade Yeasts*. Food Technology and Biotechnology, 2006. 44.
- [24] Kelesidis, T. and C. Pothoulakis, *Efficacy and safety of the probiotic Saccharomyces boulardii for the prevention and therapy of gastrointestinal disorders*. Therap Adv Gastroenterol, 2012. 5 (2): p. 111–25.

- [25] Pei, R., et al., *Physiological and transcriptomic analyses revealed the change of main flavor substance of Zygosaccharomyces rouxii under salt treatment*. Front Nutr, 2022. 9: p. 990380.
- [26] Escott, C., et al. *Zygosaccharomyces rouxii: Control Strategies and Applications in Food and Winemaking*. Fermentation, 2018. 4, 69 DOI: 10.3390/fermentation4030069.
- [27] Loira, I., et al. *Schizosaccharomyces pombe: A Promising Biotechnology for Modulating Wine Composition*. Fermentation, 2018. 4, 70 DOI: 10.3390/fermentation4030070.
- [28] گزارش تحلیل کارگزاری رضوی تیرماه ۱۴۰۲.
- [29] خمیر مایه رضوی: Available from: <https://razaviyeast.com/search/Product>.
- [30] ایران ملاس: Available from: <https://fariman.com/>.
- [31] خمیرمایه خوزستان: Available from: <https://khuzestanyeast.com/>.
- [32] خمیرمایه و الکل رازی: Available from: <https://www.ya-razi.com/>.
- [33] *Baker's Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/baking-yeast.html>.
- [34] *Prime Instant Dry Yeast (High Sugar)*. Available from: <https://abmauri.com.my/product/prime-instant-dry-yeast-high-sugar>.
- [35] *Mauri Fermipan Instant Yeast (High Sugar)*. Available from: <https://abmauri.com.my/product/pinnacle-gold-instant-dry-yeast-high-sugar>.
- [36] *Mauri Compressed Yeast (Low Sugar)*. Available from: <https://abmauri.com.my/product/compressed-yeast-low-sugar>.
- [37] *Mauri Compressed Yeast (High Sugar)*. Available from: <https://abmauri.com.my/product/compressed-yeast-high-sugar>.
- [38] *Mauripan Instant Dry Yeast (Low Sugar)*. Available from: <https://abmauri.com.my/product/mauripan-instant-dry-yeast-low-sugar>.
- [39] *Mauripan Instant Dry Yeast (High Sugar)*. Available from: <https://abmauri.com.my/product/mauripan-instant-dry-yeast-high-sugar>.
- [40] *Mauripan Instant Dry Yeast*. Available from: <https://abmauri.com.my/product/mauripan-instant-dry-yeast-11gm>.
- [41] *Saf-Instant® Red*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/saf-instant-red>.
- [42] *Saf-Instant® Premium High Power*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/saf-instant-premium-high-power>.
- [43] *Saf-Instant® Green*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/saf-instant-green>.
- [44] *Saf-Instant® Gold*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/saf-instant-gold>.
- [45] *Saf Yeast for Mix*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/saf-yeast-for-mix>.
- [46] *Saf Pro® Relax Series*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/saf-pro-relax-series>.
- [47] *Saf Pro® Relax 40 Organic*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/saf-pro-relax-40-organic>.
- [48] *Red Star® Platinum® Instant Dry Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-platinum-instant-dry-yeast>.
- [49] *Red Star® Organic Instant Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-organic-instant-yeast>.
- [50] *Red Star® Organic Block Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-organic-block-yeast>.
- [51] *Red Star® Extended Shelf Life (ESL) Block Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-block-yeast-esl>.
- [52] *Red Star® Crumbled Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-crumbled-yeast>.
- [53] *Red Star® Cool Smart Crumbled Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-cool-smart-crumbled-yeast>.
- [54] *Red Star® Block Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-block-yeast>.
- [55] *Red Star® All-Natural Active Dry Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-all-natural-active-dry-yeast>.
- [56] *Red Star® Active Dry Yeast*. Available from: <https://lesaffrebaking.com/product/red-star-active-dry-yeast>.

- [57] *Angel GSH05/05-S*. Available from: <https://en.angelyeast.com/utills/euro.html>.
- [58] *Angel Semi-Dry Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/semi-dry-yeast.html>.
- [59] *Angel Super Yeast (2 in 1)*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/super-2-in-1-instant-dry-yeast-sugar-tolerant.html>.
- [60] *Angel Pizza Instant Dry Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/pizza-instant-dry-yeast.html>.
- [61] *Angel Naan Instant Dry Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/naan-instant-dry-yeast.html>.
- [62] *AngelYeast Active Dry Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/active-dry-yeast.html>.
- [63] *AngelYeast Fresh Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/fresh-yeast.html>.
- [64] *AngelYeast Instant Dry Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/instant-dry-yeast.html>.
- [65] *LAL[^]FERM*. Available from: <https://www.lallemandbaking.com/en/global/brands/lalferm>.
- [66] *Instaferm®*. Available from: <https://www.lallemandbaking.com/en/global/brands/instaferm>.
- [67] *Alcoholic Beverages & Biofuels*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/distilled-spirits-and-biofuels.html>.
- [68] *Lallemand Biofuels & Distilled Spirits (LBDS)*. Available from: <https://www.lbds.com/>.
- [69] *leaf by lesaffre*. Available from: https://www.lesaffre.com/activities/industrial-biotechnologies/fuel-ethanol-renewable-chemicals/?_gl=1*178brpo*_up*MQ..*_ga*MTI2NTM2Mzc3OC4xNzc3MzE5ODk1*_ga_GTL9K2RL4H*cze3NzEzMTk4OTUkbzEkZzAkdDE3NzEzMTk4OTUkajYwJGwwJGg0MTgwODAyNTI.
- [70] *Fermentis by lesaffre*. Available from: https://www.lesaffre.com/activities/food-taste-pleasure/fermented-beverages/?_gl=1*178brpo*_up*MQ..*_ga*MTI2NTM2Mzc3OC4xNzc3MzE5ODk1*_ga_GTL9K2RL4H*cze3NzEzMTk4OTUkbzEkZzAkdDE3NzEzMTk4OTUkajYwJGwwJGg0MTgwODAyNTI.
- [71] *biosolutio for ethanol production*. Available from: <https://www.novonesis.com/en/biosolutions/bioenergy/ethanol>.
- [72] *Ab biotek bioethanol*. Available from: <https://bioethanol.abbiotek.com/>.
- [73] *Evolva*. Available from: <https://www.evolva-flavor-fragrance.com/>.
- [74] *Sustainable natural vanillin production through yeast fermentation*. Available from: <https://www.europabio.org/sustainable-natural-vanillin-production-through-yeast-fermentation/>.
- [75] *Fermentation-Based Flavor Compounds: The Rise of Bio-Vanillin Alternatives*. Available from: <https://www.expertmarketresearch.com/feature-d-articles/bio-vanillin-alternatives-and-fermentation-trends>.
- [76] *Givaudan*. Available from: <https://www.givaudan.com/>.
- [77] *Isobionics®*. Available from: <https://www.isobionics.com/global/en>.
- [78] *Maxinvert®*. Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/processing/ingredient-processing/maxinvert.html.
- [79] *Megazyme*. Available from: <https://www.megazyme.com/invertase-fructofuranosidase-yeast>.
- [80] دی اکسید کربن خمیرمایه رازی. Available from: <https://www.ya-razi.com/products/carbon-dioxide/>.
- [81] *Granbio*. Available from: <https://www.granbio.com/en/>.
- [82] *Sweegen Reb M & Reb D Stevia Sweeteners*. Available from: <https://sweegen.com/portfolio/signature-stevia/>.
- [83] *Sinochem Innovation Stevia Extract Series*. Available from: <http://www.sinochemhealth.com/stevia/9386.html>.
- [84] *PureCircle Reb M*. Available from: <https://www.purecircle.com/na/en-us/purecircle-stevia-ingredients/breakthrough-ingredients.html>.
- [85] *GLG's Extensive Stevia Ingredient Portfolio*. Available from: <https://www.glglifetech.com/stevia/>.

- [86] *Stevia Sweeteners ADM*. Available from: https://www.glglifetech.com/wp-content/uploads/2016/07/GLGLifeTech_Stevia_TechnicalDataSheet_8.5x11_WEB_FINAL.pdf.
- [87] *RealSweet™ Reb M*. Available from: <https://amyris.com/ingredient/rebm>.
- [88] *EverSweet® + ClearFlo™*. Available from: <https://www.cargill.com/food-bev/na/sweeteners/eversweet-clearflo>.
- [89] *EverSweet®*. Available from: <https://www.cargill.com/food-bev/na/eversweet-sweetener>.
- [90] *Eversweet, Avansya*. Available from: <https://www.avansya.com/joint-venture-product>.
- [91] *DSM to introduce new generation sweetener AVANSYA™ Reb M*. Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/insights/insights/innovation/2018-07-12-dsm-to-introduce-new-generation-sweetener.html.
- [92] *Adonat Portfolio*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/brand/adonat/>.
- [93] تک ژن فارما. Available from: <https://takgene.com/product/takgene-pharma/>.
- [94] محصولات شرکت ویوان. Available from: <https://vivan-co.com/products/>.
- [95] شرکت فرابیوتیک. Available from: https://farabiotic.com/fa_ir/.
- [96] شرکت پارسی لاکت. Available from: <https://www.parsilact.com/>.
- [97] شرکت داروسازی زیست تخمیر. Available from: <https://zisttakhmir.com/>.
- [98] شرکت فن‌آوری زیستی طبیعت‌گرا (بایوران). Available from: <https://biorun.ir/%D8%AF%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%B1%D9%87-%D9%85%D8%A7/>.
- [99] شرکت دانش بنیان زیست درمان ماهان. Available from: <https://biodep.ir/%d8%af%d8%b1%d8%a8%d8%a7%d8%b1%d9%87-%d9%85%d8%a7/>.
- [100] *Probiotics for Animal*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/probiotics.html>.
- [101] *Select GH*. Available from: <https://www.alltech.com/SelectGH>.
- [102] *Bio-Mos*. Available from: <https://www.alltech.com/bio-mos>.
- [103] *Actigen*. Available from: <https://www.alltech.com/actigen>.
- [104] *Procreatin 7*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/procreatin7>.
- [105] *Actisaf® Sc 50 PET*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/actisaf-sc-50-pet>.
- [106] *Actisaf® Sc 48 Inst*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/actisaf-sc-48-inst>.
- [107] *Actisaf® Sc 47*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/actisaf>.
- [108] *Quatreflora*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/quatreflora>.
- [109] *Lynside®: Yeast for Human Health*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/brand/lynside>.
- [110] *Lynside® Pro SCB*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/s-boulardii>.
- [111] *ibSium*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/ibsium>.
- [112] *Oralis SB*. Available from: <https://lallemand-health-solutions.com/fr/oral-health/oralis-sb>.
- [113] *LEVUCCELL SC*. Available from: <https://www.lallemandanimalnutrition.com/en/europe/products/levucell-sc>.
- [114] *LEVUCCELL SB*. Available from: <https://www.lallemandanimalnutrition.com/en/europe/products/levucell-sb>.
- [115] *Angel Saccharomyces Cerevisiae Probiotic*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/angel-saccharomyces-cerevisiae-probiotics.html>.
- [116] *Angel Saccharomyces Boulardii, Yeast Probiotics Excellent at Anti-diarrhea*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/saccharomyces-boulardii.html>.
- [117] *Lallemand Animal, N. Growing yeast from trees –first successful scale-up of microbial feed ingredients from sustainable resources*. Available from: <https://lallemandanimalnutrition.com/en/europe/whats-new/growing-yeast-from-trees>.
- [118] *Lallemand. Product guide: Toravita & Bakon*. 2004; Available from: https://www.ingredientsnetwork.com/47/resourcefile/09/79/82/LEAFLET_TORAVITA_BAKON%204-21.pdf.
- [119] *Abelson, P.H., Biotechnology and Biological Frontiers*. 2019: Taylor & Francis.
- [120] *SylPro® Enhanced Torula*. Available from: https://arbiom.com/wp-content/uploads/2018/07/SylPro-fact-sheet_final.pdf.

- [121] *Yeast extract containing nucleotides (nucleic acids) "NUCLEAMINE™"*. Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/healthfoodmaterial/nucleamine>.
- [122] *About Yeast Extracts*. Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/yeastextract>.
- [123] *Natural Food Ingredients*. Available from: <https://www.kanegrade.com/wp-content/uploads/2020/02/kanegrade-brochure.pdf>.
- [124] گلنن پوراتوس. Available from: <https://www.golnanpuratos.com/fa>.
- [125] *Bread Improver*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-baking-ingredients/bread-improvers.html>.
- [126] *Functional Protein Ingredients*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/functional-protein-ingredients.html>.
- [127] *Noochy Crisp*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/noochy-crisp/>.
- [128] *Lynside® Nutritional Yeasts*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/lynside-nutritional-yeast>.
- [129] *BIO-ENGEVITA*. Available from: <https://organic.lallemmand.com/en/germany/products/bio-engevita>.
- [130] *Engevita® HiPro*. Available from: <https://bio-lallemmand.com/savory-ingredients/products/engevita-hipro/>.
- [131] *Engevita®*. Available from: <https://www.lallemmandbaking.com/en/global/brands/engevita>.
- [132] *AUXOFERM® Vitamin Yeast*. Available from: <https://www.ohly.com/en/health-nutrition/nutritional-yeast/auxoferm-vitamin-yeast>.
- [133] *AUXOFERM® Yeast Powder*. Available from: <https://www.ohly.com/en/health-nutrition/nutritional-yeast/auxoferm-yeast-powder/>.
- [134] *Angeocell*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-extract-savoury/angeocell.html>.
- [135] *Angel nutritional yeast powder (Organic yeast)*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/nutritional-yeast-powder.html>.
- [136] *Angel nutritional yeast flakes (Organic Yeast)*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/nutritional-yeast-flakes.html>.
- [137] *Organic Trace Element*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/organic-trace-element.html>.
- [138] *Selsaf 3000: Manage Oxidative Stress, dry yeast*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/selsaf-3000>.
- [139] *Lynside® Forte Se+*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/forte-se>.
- [140] *Lalmin® - Bio-Lallemmand*. Available from: <https://bio-lallemmand.com/health-ingredients/brand/lalmin>.
- [141] *A premium source of bioavailable selenium: ALKOSEL R397*. Available from: <https://www.lallemmandanimalnutrition.com/en/europe/products/alkosel-r397>.
- [142] *Selenium-enriched Yeast, a Natural Source of Organic Selenium and Selenomethionine*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/selenium-enriched-yeast.html>.
- [143] *AngelYeast Zinc-enriched Yeast*.; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/zinc-enriched-yeast.html>.
- [144] *Lalmin®*. Available from: <https://www.lallemmandbaking.com/en/global/brands/lalmin/>.
- [145] *Lalmin® mineral and vitamin yeast*. Available from: <https://bio-lallemmand.com/health-ingredients/brand/lalmin/>.
- [146] *Lalmin® products List*.; Available from: <https://bio-lallemmand.com/health-ingredients/wp-content/uploads/sites/3/2022/04/Product-List-Lalmin.pdf>.
- [147] *Lynside® Forte Zn 100K*.; Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/forte-zn/>.
- [148] *AngelYeast Chromium-enriched Yeast*.; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/zinc-enriched-yeast.html>.
- [149] *Angel Yeast Copper Yeast*.; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/copper-yeast.html>.
- [150] *Vitamin D-enriched Yeast As a Natural Vitamin D2 Source*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/vitamin-d-enriched-yeast.html>.

- [151] *Instaferm® VitaD®*. Available from: <https://www.lallemandbaking.com/en/global/brands/instafermvita/>.
- [152] *AngelYeast B-vitamins Yeast (B-Complex Yeast)*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/B-vitamins-yeast.html>.
- [153] *Lynside® Forte B.*; Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/forte-b/>.
- [154] *Romeo*. Available from: <https://agrauxine.com/en/produit/romeo/>.
- [155] محصولات شرکت سورن تک توس Available from: https://sorentt.ir/portfolio_page/.
- [156] عصاره مخمر تالی ژن پارس Available from: <https://taligene.com/product/%d8%b9%d8%b5%d8%a7%d8%b1%d9%87-%d9%85%d8%ae%d9%85%d8%b1/>.
- [157] محصولات مخمری بهان کیمیا آنزیم Available from: <https://kimiazyme.com/all-products>.
- [158] شرکت کاوشگر سپهر جوان Available from: <https://kavoshbiotech.ir/>.
- [159] *Prebiotics for Animal*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/prebiotics.html>.
- [160] *Mycotoxin Management*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/mycotoxin-management.html>.
- [161] *Animal Nutrition, Zabiotech*. Available from: <https://zabiotech.com/products/animal-nutritions>.
- [162] *Safwall*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/safwall>.
- [163] *Lynside*. Available from: <https://gnosisbytesaffre.com/ingredient/lynside-immunity-prebiotic>.
- [164] *Lyfe Portfolio*. Available from: <https://bio-lallemand.com/savory-ingredients/brand/lyfe>.
- [165] *OPTIWALL*. Available from: <https://www.lallemandanimalnutrition.com/en/asia/products/optiwall>.
- [166] *MYCOGUARD*. Available from: <https://www.lallemandanimalnutrition.com/en/asia/products/mycoguard>.
- [167] *AGRIMOS*. Available from: <https://www.lallemandanimalnutrition.com/en/asia/products/agrimos>.
- [168] *Ohly-GO Wall*. Available from: <https://www.ohly.com/en/animal-health/immune-support/ohly-go-wall>.
- [169] *Yeast Cell Walls, Angel Yeast*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/yeast-cell-wall.html>.
- [170] *BioBon, Yeast-based Mycotoxin Binder*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/biobon-mycotoxin-binder.html>.
- [171] *BioBon Profile*. Available from: <https://cms.angelyeast.com/angel-en/upload/files/2022/3/f1b1547fb306f55b.pdf>.
- [172] *Fubon Yeast Cell Wall Profile*. Available from: <https://cms.angelyeast.com/angel-en/upload/files/2023/7/d7edb967069fa4be.pdf>.
- [173] *Fubon Yeast Cell Wall*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/fubon-yeast-cell-wall.html>.
- [174] طعم دهنده غذایی ورناتک Available from: <https://vornatek.com/product/%D8%A7%D8%AF%D9%88%DB%8C%D9%87-%D8%AC%D8%A7%D8%AA>.
- [175] *Yeast Extract - Savoury*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-extract-savoury.html>.
- [176] تک ژن فید Available from: <https://takgene.com/product/takgene-feed/>.
- [177] *YEAST FRACTIONS*. Available from: <https://bio-lallemand.com/health-ingredients/brand/yeast-fractions>.
- [178] *NuPro*. Available from: <https://www.alltech.com/nupro>.
- [179] *Levabon® Aquagrow E*. Available from: <https://www.dsm.com/anh/products-and-services/products/eubiotics/levabon-aquagrow-e.html>.
- [180] *Levabon® Rumen E*. Available from: <https://www.biomin.net/index.php?id=97&L=7>.
- [181] *FNI 8 SERIES*. Available from: <https://bio-lallemand.com/fermentation-ingredients/brand/fni-8-series>.
- [182] *X-SEED® Nitroboost*. Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/x-seed-nitroboost>.
- [183] *Multi-sourced ideal peptide supplements*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/microbial-nutrition/peptone.html>.
- [184] *FUBON*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition.html>.
- [185] *GroPro Pet*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/gropro-pet-food.html>.
- [186] *GroPro*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/gropro.html>.

- [187] *Angel Yeast Peptide*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/a-multifunctional-peptide-angel-yeast-peptide.html>.
- [188] *PROVESTA® 201ND*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/provesta-201nd>.
- [189] *OHLY® STT/STV*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-sttstv>.
- [190] *OHLY® SAV-R-SWEET*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-sav-r-sweet>.
- [191] *OHLY® SAV-R-SEL*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-sav-r-sel>.
- [192] *OHLY® SAV-R-MEAT PBD*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-sav-r-meat-pbd>.
- [193] *OHLY® SAV-R-FULL*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-sav-r-full>.
- [194] *OHLY® KAT/KAV*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-katkav>.
- [195] *OHLY® FLAV-R-TIDE LS*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-flav-r-tide-ls>.
- [196] *OHLY® FLAV-R-OUND LS*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-flav-r-ound-ls>.
- [197] *OHLY® KTDD*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-ktdd>.
- [198] *OHLY® KTD*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-ktdd>.
- [199] *OHLY® FLAV-R-MAX*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-flav-r-max>.
- [200] *OHLY® FLAV-R-DARK MD*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-flav-r-dark-md>.
- [201] *OHLY® FLAV-R-BASE 19*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-flav-r-base-19>.
- [202] *OHLY® BFT*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-bft>.
- [203] *Angearom*. 2026; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-extract-savoury/flavor-ye.html>.
- [204] *Angeotide*. 2026; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-extract-savoury/strong-kokumi-taste-ye.html>.
- [205] *Angeoboost*. 2026; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-extract-savoury/strong-umami-taste-ye.html>.
- [206] *Angeoprime*. 2026; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/yeast-extract-savoury/basic-ye-ka-and-la-series.html>.
- [207] *Soluble Yeast Extract for Nutrition Enhancing of Natural Protein & Amino Acids*. 2026; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/yeast-extract.html>.
- [208] *AROMAWAY*. 2026; Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/foodmaterial/aromaway/>.
- [209] *AJIREX™ NH*. 2026; Available from: https://www.kohjinls.com/en/business/foodmaterial/ajirex_nh/.
- [210] *AJIREX*. 2026; Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/foodmaterial/ajirex/>.
- [211] *AJITOP*. 2026; Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/foodmaterial/ajitop/>.
- [212] *AROMILD™*. 2026; Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/foodmaterial/aromild/>.
- [213] *Springer Proteissimo™ 101*. 2026; Available from: <https://biospringer.com/en/natural-products/springer-proteissimo-101/>.
- [214] *Springer® Precursor*. 2026; Available from: <https://biospringer.com/en/natural-products/springer-precursor/>.
- [215] *Springer® Mask 10*. 2026; Available from: <https://biospringer.com/en/natural-products/springer-mask-101-2/>.
- [216] *Springer® Signature*. 2026; Available from: <https://biospringer.com/en/natural-products/springer-signature/>.
- [217] *Springer® Cocoon*. 2026; Available from: <https://biospringer.com/en/natural-products/springer-cocoon/>.
- [218] *Springer® Umami*. 2026; Available from: <https://biospringer.com/en/natural-products/springer-umami/>.
- [219] *Springer® Reveal*. 2026; Available from: <https://biospringer.com/en/natural-products/springer-reveal/>.

- [220] *Yesto-Seal*. 2026; Available from: <https://bio-lallemmand.com/health-ingredients/brand/whole-cell-yeast-yestoseal-yesto-seal/>.
- [221] *OHLY® CHET*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-chet/>.
- [222] *OHLY® BOT LS*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/ohly-bot-ls/>.
- [223] *PROVESTA® 512*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/product-repository/provesta-512/>.
- [224] *FNI 1 SERIES*. 2026; Available from: <https://bio-lallemmand.com/fermentation-ingredients/brand/fni-1-series/>.
- [225] *X-SEED® Classic Pure*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/bionutrients/biopharma/x-seed-classic-pure/>.
- [226] *X-SEED® KAF*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/bionutrients/biopharma/x-seed-kaf/>.
- [227] *X-SEED® Vitaboost*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/bionutrients/ingredients-and-biochemicals/x-seed-vitaboost/>.
- [228] *Yeast Extract-fermentation*. 2026; Available from: <https://en.angelyeast.com/products/microbial-nutrition/standard-yeast-extract.html>.
- [229] *The Multirome® product range*. 2026; Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/savory/culinary-solutions/multirome.html.
- [230] *The Maxarome® product range*. 2026; Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/savory/culinary-solutions/maxarome.html.
- [231] *ModuMax®*. 2026; Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/savory/culinary-solutions/modumax.html.
- [232] *The Gistex® product range*. 2026; Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/savory/culinary-solutions/gistex.html.
- [233] *The Maxavor® product range*. 2026; Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/savory/culinary-solutions/maxavor.html.
- [234] *The Maxagusto™ product range*. 2026; Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/savory/culinary-solutions/maxagusto.html.
- [235] *The MaxaGourmet product range*. 2026; Available from: https://www.dsm.com/food-beverage/en_US/ingredients/savory/culinary-solutions/maxagourmet.html.
- [236] *High nucleotide Yeast Extract*. 2026; Available from: <https://zabiotech.com/products/yeast-extracts>.
- [237] *Biosmart*. 2026; Available from: <https://agrauxine.com/en/produit/biosmart>.
- [238] *Smartfoil*. 2026; Available from: <https://agrauxine.com/en/produit/smartfoil>.
- [239] *Smartfoil PDF*. 2026; Available from: <https://biostimulants-agriculture.com/wp-content/uploads/2020/04/Leaflet-ENG.pdf>.
- [240] *Moka*. 2026; Available from: <https://agrauxine.com/en/produit/moka>.
- [241] *Prosaf®*. 2026; Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/prosaf>.
- [242] *Ohly-GO® Meaty*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/animal-health/palatability>.
- [243] *Ohly-GO® KTD*. 2026; Available from: <https://www.ohly.com/en/animal-health/palatability>.
- [244] *ProCel®*. 2026; Available from: <https://procelys.com/living-products/procelys>.
- [245] *LyCel®*. 2026; Available from: <https://procelys.com/living-products/lycel>.
- [246] *NuCel®*. 2026; Available from: <https://procelys.com/living-products/nucel>.
- [247] *Fermentation Nutrients-FNI 3 SERIES*. 2026; Available from: <https://bio-lallemmand.com/fermentation-ingredients/brand/fni-3-series/>.
- [248] *FNI 3 SERIES*. Available from: <https://bio-lallemmand.com/fermentation-ingredients/brand/fni-3-series/>.
- [249] *Toravita*. Available from: <https://bio-lallemmand.com/savory-ingredients/brand/toravita>.
- [250] *Lallemmand Cosmetics & Beauty*. Available from: <https://www.lallemmand.com/our-business/cosmetics-beauty>.
- [251] *YELA PROSECURE*. Available from: <https://www.lallemmandanimalnutrition.com/en/europe/products/yela-prosecure/>.
- [252] *X-SEED® KAF*. Available from: <https://www.ohly.com/en/bionutrients/biopharma/x-seed-kaf/>.
- [253] *X-SEED® KAT*. Available from: <https://www.ohly.com/en/bionutrients/ingredients-and-biochemicals/x-seed-kat/>.

- [254] *Yeast Powder-fermentation*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/microbial-nutrition/autolyzed-yeast-and-inactive-yeast.html>.
- [255] *Ab inbev*. Available from: <https://www.ab-inbev.com/>.
- [256] *Animal Nutrition*. Available from: <https://zabiotech.com/products/animal-nutritions/>.
- [257] *Ribonucleic acid – Free Acid (RNA)*. Available from: <https://zabiotech.com/products/rna/>.
- [258] *Business Areas - Kohjin Life Sciences*. Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/>.
- [259] *NUCLEAMINE*. Available from: <https://www.kohjinls.com/en/business/healthfoodmaterial/nucleamine>.
- [260] *Nucleosaf*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/nucleosaf>.
- [261] *X-SEED® Nucleo Advanced*. Available from: <https://www.ohly.com/en/bionutrients/cultures-and-probiotics/x-seed-nucleo-advanced/>.
- [262] *Ohly-GO® Nucleo*. Available from: <https://www.ohly.com/en/animal-health/growth-support/>.
- [263] *Angel Yeast RNA*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/yeast-rna.html>.
- [264] *Safmannan*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/safmannan>.
- [265] *Ohly-GO MOS*. Available from: <https://www.ohly.com/en/animal-health/immune-support/ohly-go-mos>.
- [266] *YeaMOS S*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/fubon-soluble-yeast-cell-wall.html>.
- [267] *Safglucan*. Available from: <https://phileo-lesaffre.com/en/safglucan>.
- [268] Duffus, J.H., C. Levi, and D.J. Manners, *Yeast Cell-Wall Glucans*, in *Advances in Microbial Physiology*. 1982, Academic Press. p. 151–181.
- [269] *M-Gard*. Available from: <https://biolallemmand.com/health-ingredients/brand/m-gard/>.
- [270] *M-Glucan*. Available from: <https://www.lallemmandanimalnutrition.com/en/asia/products/m-glucan/>.
- [271] *FIBOSEL*. Available from: <https://www.lallemmandanimalnutrition.com/en/asia/products/fibosel>.
- [272] *Ohly-GO® Glucan*. Available from: <https://www.ohly.com/en/animal-health/immune-support/ohly-go-glucan/>.
- [273] *YeaBeta*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/animal-nutrition/fubon-yeast-beta-glucan.html>.
- [274] *Angel Yeast Beta-glucan, Natural Ingredient for Immune Health*. Available from: <https://en.angelyeast.com/products/human-health/yeast-beta-glucan.html>.
- [275] *Application of Yeast Cell Wall on Aquaculture*. Available from: <https://en.angelyeast.com/blog/animal-nutrition/application-of-yeast-cell-wall-on-aquaculture.html>.
- [276] *New generation of organic selenium*. Available from: <https://orffa.com/publications/new-generation-of-organic-selenium/>.
- [277] *Natural yeast wall for encapsulation*. Available from: https://www.foodnavigator.com/Article/2002/07/31/Natural-yeast-wall-for-encapsulation?utm_source=copyright&utm_medium=OnSite&utm_campaign=copyright.
- [278] *Using Biological Antibacterial Agents to Control Microbial Pollution in Alcohol Production Process*. Available from: <https://en.angelyeast.com/blog/distilled-spirits-and-biofuels/using-biological-antibacterial-agents-to-control-microbial-pollution-in-alcohol-production-process.html>.

A Value Chain Analysis of the Yeast Industry and Its Derivatives in Iran and the Global Market

Atefe Reyhani¹, Erfan Davari^{1*}, Reza H. Sajedi^{2*}

1. Pishgaman zanjire arzesh zisti, Tehran, Iran

2. Department of Biochemistry, Faculty of Biological Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

sajedi_r@modares.ac.ir

Receipt: 2026/06/04

Accepted: 2026/06/16

Abstract

This integrated review study aimed to analyze the value chain of the yeast industry and its derivatives in Iran and the world, based on field data, semi-structured interviews, and secondary statistics over a period of four to five years. Qualitative and quantitative data were analyzed using thematic analysis and descriptive indicators, respectively and the validity of the results was confirmed through triple validation between interviews, industrial documents, and statistical data. Yeasts with high metabolic capacity are considered to be the main pillars of industrial biotechnology and are widely used in the production of food, animal feed additives, enzymes, vitamins, biological metabolites, and bioethanol. In the framework of the circular bioeconomy, yeast biorefinery is considered a strategic approach for maximizing the utilization of biomass and converting side streams into value-added products. Leading global companies such as Lesaffre, Lallemand, Angel Yeast and Associated British Foods have adopted this approach and developed a diverse portfolio of yeast-based products. Findings show that Iran, with a nominal capacity of about 45,000 tons and eight companies, has a regional position in yeast production; however, the domestic value chain is not complete and the focus is mainly on the basic product. The assessment of the level of technological readiness indicates the need to strengthen research, development and deployment of more advanced technologies. The development of a yeast biorefinery can play an important role in realizing a circular bioeconomy and sustainable development of the country by completing the value chain, increasing added value, reducing waste and promoting exports.

Keywords: yeast, circular bioeconomy; value chain; biorefinery; biometabolites; bioactive compounds; industrial innovation