

## توجه به پتانسیل‌های اقتصادی بیوتکنولوژی به‌عنوان یک فناوری استراتژیک

محمد آهنگرزاده رضایی

عضو گروه بیوتکنولوژی شبکه تحلیل‌گران تکنولوژی ایران (ایتان)

تهران، خیابان کارگر شمالی، کوچه شهید اکبری، پلاک ۸، طبقه سوم، گروه بیوتکنولوژی،

صندوق پستی ۱۶۸۸-۱۳۴۴۵

[rezace51@yahoo.com](mailto:rezace51@yahoo.com)

### چکیده:

بیوتکنولوژی از جمله فناوری‌های نوین و استراتژیک است که در جهان امروز به‌عنوان یک ابزار مناسب و قدرتمند برای دستیابی به توسعه پایدار به‌شمار می‌آید. از این رو در حال حاضر برخی از کشورهای جهان، سرمایه‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های درازمدتی را برای بهره‌گیری از پتانسیل‌های بی‌شمار آن انجام داده‌اند. برای مثال، دولت کره جنوبی سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ را به ترتیب تحت عنوان "سال بیوتکنولوژی" و "سال نانو-بیوتکنولوژی" نامگذاری کرده و قرار است برطبق یک برنامه‌ریزی ملی تا سال ۲۰۱۰ مبلغی در حدود ۲ میلیارد دلار در این صنعت سرمایه‌گذاری کند. اهمیت موضوع بیوتکنولوژی در اقتصاد کشورهای در حال توسعه باعث گردیده که دولتمردان بسیاری از این کشورها نیز به سرمایه‌گذاری در صنعت بیوتکنولوژی روی آورند. حتی برخی کشورهای آفریقایی که از محروم‌ترین کشورهای جهان هستند، طرح‌ها و برنامه‌هایی را برای استفاده از این فناوری تدوین نموده‌اند. سودآوری صنعت بیوتکنولوژی در جهان، ارقام نجومی را نشان می‌دهد. براساس آخرین آمارها، ارزش بازار جهانی محصولات بیوتکنولوژی در سال ۲۰۰۳ میلادی حدود ۳۰۰ میلیارد دلار است. همچنین پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۱۰ به بیش از ۷۰۰ میلیارد افزایش یابد. نکته مهم در مورد این فناوری، ماهیت چند رشته‌ای آن است. به‌عبارت دیگر، بیوتکنولوژی در بسیاری از عرصه‌های پزشکی، صنعت، کشاورزی، محیط‌زیست و غیره کاربرد دارد. از این رو توجه به هر جنبه مزایا و فرصت‌های خاصی را به دنبال خواهد داشت. برای مثال حوزه بیوتکنولوژی پزشکی پتانسیل‌های بسیار بالایی را به‌عنوان یکی از عوامل توسعه، پیشرفت و خودکفایی اقتصادی کشورهای در حال توسعه نظیر ایران دارا می‌باشد. بر اساس آمار موجود بازار جهانی داروهای نو ترکیب حاصل از بیوتکنولوژی در سال ۲۰۰۲ معادل ۳۴ میلیارد دلار بوده است که تا سال ۲۰۱۰ به بیش از ۵۷ میلیارد دلار خواهد رسید. با توجه به مطالب عنوان شده به روشنی می‌توان دریافت که توجه به جایگاه بیوتکنولوژی در برنامه‌ریزی‌های استراتژیک کشور، به‌عنوان یکی از روزآمدترین فناوری‌های عصر حاضر، می‌تواند چشم‌انداز نویدبخشی را برای توسعه پایدار و همه‌جانبه ملی ترسیم کند.

**واژگان کلیدی:** بیوتکنولوژی، فناوری، پتانسیل‌های اقتصادی

### بازار جهانی صنعت بیوتکنولوژی و اهمیت سرمایه‌گذاری در آن

بسیاری از صاحب‌نظران معتقدند سده بیست و یکم، قرن حاکمیت و شکوفایی بیوتکنولوژی بوده و آن را عامل دومین انقلاب سبز در آینده به حساب می‌آورند. این تکنولوژی که به سبب ماهیت چندرشته‌ای آن در تمام عرصه‌های زندگی بشر حضوری پر رنگ داشته و به‌عنوان یک های‌تک (High Tech) از جمله فناوری‌های استراتژیک به‌شمار می‌رود، ابزار بسیار قدرتمندی است که توسط کشورهای صنعتی و برخی کشورهای در حال توسعه به‌منظور بهره‌گیری مناسب‌تر از امکانات طبیعی محدود و حل بسیاری از معضلات گذشته بکار می‌رود. امروزه، سودآوری صنعت بیوتکنولوژی در جهان ارقام نجومی را نشان می‌دهد. این فناوری با وارد شدن در عرصه‌های پزشکی، کشاورزی، دام و آبزیان، صنایع گوناگون، محیط‌زیست و غیره، بازار جهانی بسیار عظیمی را برای کشورهای صاحب آن فناوری فراهم کرده است. بر

اساس آخرین آمارها، ارزش بازار جهانی محصولات گوناگون حاصل از فناوری زیستی در سال ۲۰۰۳ میلادی به حدود ۳۰۰ میلیارد دلار رسیده است. این در حالی است که براساس پیش‌بینی‌های قبلی این رقم ۵۰ میلیارد دلار تخمین زده می‌شد. البته متخصصان حدس می‌زنند با چنین روندی، بازار محصولات بیوتکنولوژی در سال ۲۰۱۰ از سقف ۷۰۰ میلیارد دلار هم فراتر رود. بر اساس بررسی‌های انجام شده، ارزش بازار محصولات بیوتکنولوژی اتحادیه اروپا در سال ۲۰۲۵ به بیش از ۲۷۸ میلیارد دلار خواهد رسید. ضمناً بر طبق آمار ارائه شده توسط مؤسسه Frost & Sullivan، ارزش تجاری بازار بیوتکنولوژی در هفت کشور مطرح آسیایی، شامل ژاپن، هند، چین، کره جنوبی، تایوان، سنگاپور و مالزی در سال ۲۰۰۲ معادل ۲۲/۶۶ میلیارد دلار بوده است. بنابراین عجیب نیست که در حال حاضر، علاوه بر کشورهای مرفی و توسعه یافته، بسیاری از کشورهای فقیر دنیا نیز برای بهره‌گیری از قابلیت‌های عظیم این فناوری بسیج شده و همه امکانات خود را بکار گرفته‌اند.

به‌عنوان مثال، براساس اطلاعات موجود، دولت کوبا از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۰، حدود ۳/۵ میلیارد دلار در زمینه بیوتکنولوژی سرمایه‌گذاری کرده است. پیشبرد برنامه‌های بیوتکنولوژی در این کشور آنقدر اهمیت دارد که در خلال سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۶ که سال‌های بحران اقتصادی این کشور بود نیز سالانه ۵۰ میلیون دلار در بیوتکنولوژی سرمایه‌گذاری شده است. هند از دیگر کشورهای جهان سومی است که در سایه توجه ویژه به امر تحقیق و توسعه در زمینه بیوتکنولوژی، امروزه سهم قابل توجهی از بازار محصولات بیوتکنولوژی خصوصاً داروها و پروتئین‌های نو ترکیب را به خود اختصاص داده است. بودجه بیوتکنولوژی هند در برنامه پنج‌ساله ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ بالغ بر ۲۰۰ میلیون دلار بوده است. این کشور هزینه‌های تحقیق و توسعه بیوتکنولوژی را از ۱۳ میلیون دلار در سال ۱۹۸۸ به ۲۸ میلیون دلار در سال ۱۹۹۴ افزایش داد. ضمناً دولت این کشور بودجه‌ای معادل ۲۵۵ میلیون دلار در برنامه پنج ساله ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ برای تحقیق و تولید در این فناوری تخصیص داده بود. از سوی دیگر، دولت کره جنوبی که در حال حاضر از جمله کشورهای مطرح در عرصه فناوری زیستی به‌شمار می‌رود به سبب اهمیت استراتژیک بیوتکنولوژی در عرصه اقتصاد جهانی، سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ را به ترتیب تحت عنوان "سال بیوتکنولوژی" و "سال نانو-بیوتکنولوژی" نامگذاری کرده است. دولت کره در سال ۲۰۰۳ رقمی برابر ۵۰۰ میلیون دلار برای توسعه صنعت بیوتکنولوژی در این کشور هزینه کرده و قرار است این بودجه در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۲/۱ میلیارد دلار افزایش یابد.

### ابعاد اقتصادی بیوتکنولوژی در حوزه پزشکی و داروسازی

استفاده از فناوری DNA نو ترکیب همانند تمامی عرصه‌های علوم زیستی، دانش پزشکی و داروسازی را نیز با انقلاب عظیمی مواجه ساخته است. به کمک این تکنولوژی، امروزه بسیاری از ترکیبات دارویی، واکسن‌ها و پروتئین‌های گوناگون به مقدار زیاد، هزینه‌ای اندک اما ارزش افزوده بسیار بالا تولید می‌شوند. با توجه به این که محصولات دارویی نو ترکیب تولید شده به روش‌های بیوتکنولوژی، مشابه پروتئین‌های طبیعی بدن انسان هستند نه تنها موجب بروز پاسخ‌های ایمنی ناخواسته و مضر در بدن فرد گیرنده نمی‌شوند بلکه در مقایسه با محصولات مشابه که از منابع غیرانسانی (عمدتاً از بدن حیوانات) تهیه شده‌اند، بسیار مطمئن‌تر، خالص‌تر و بی‌خطرتر هستند. در حال حاضر با استفاده از روش‌های بیوتکنولوژی، بیش از سیصد فرآورده دارویی نو ترکیب در دنیا ساخته می‌شود و حداقل ۲۰۰ داروی پروتئینی نو ترکیب نیز مراحل مختلف آزمایشی خود را می‌گذرانند که بر اساس پیش‌بینی‌ها حداقل ۷۰ مورد از این ترکیبات تا سال ۲۰۰۶ میلادی وارد بازار مصرف جهانی خواهند شد. بر اساس آمارهای موجود، بازار جهانی داروهای تولید شده با فناوری زیستی در سال ۲۰۰۲ میلادی رقمی معادل ۳۴ میلیارد دلار را در برمی‌گیرد. ارزش محصولات دارویی نو ترکیب که با استفاده از روش‌های جدید فناوری زیستی تولید می‌شوند با شتاب فزاینده‌ای رو به رشد بوده و تصور می‌شود در سال ۲۰۱۰ میلادی بازار جهانی فرآورده‌های دارویی نو ترکیب از مرز ۵۷ میلیارد دلار هم فراتر رود. نکته جالب اینجاست که بسیاری از محصولات بیوتکنولوژی پزشکی و دارویی علیرغم حجم تولید جهانی کم (حتی در حد چند کیلوگرم)، از ارزش افزوده بسیار بالایی برخوردار بوده و گاه در زمره گرانبهاترین محصولات بیوتکنولوژی جهان قرار دارند. به‌عنوان مثال، کل تولید جهانی هورمون اریترپوئیتین در سال ۲۰۰۰ که در درمان کم‌خونی‌های مزمن استفاده می‌شود تنها ۱۰ کیلوگرم بود، اما بهای هر کیلوگرم آن ۵۰۰ میلیون یورو بوده و به همین علت سرمایه‌گذاری برای تولید آن از ارزش بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. بازار جهانی این فرآورده نو ترکیب در

سال ۲۰۰۲ مبلغ ۵/۹ میلیارد دلار بوده است. هورمون انسولین نوترکیب، نمونه دیگری از محصولات ارزشمند بیوتکنولوژی پزشکی است که سالانه میلیون‌ها دوز از آن توسط بیماران دیابتی در سراسر جهان مصرف می‌شود. ارزش بازار جهانی هورمون انسولین در سال ۲۰۰۲ معادل ۴/۵ میلیارد دلار بوده است اما پیش‌بینی می‌شود این رقم در سال ۲۰۰۷ میلادی به ۷/۹ میلیارد دلار برسد. میزان فروش جهانی این فرآورده‌ها در سال ۲۰۱۰ از مرز ۱۵ میلیارد دلار فراتر رود. یکی دیگر از مهم‌ترین دستاوردهای بیوتکنولوژی در عرصه پزشکی، تولید واکسن‌های نوترکیب بوده است که از آن جمله واکسن هپاتیت B (HBV) را می‌توان نام برد. میزان فروش جهانی این ترکیب در سال ۲۰۰۱ حدود ۸۰۰ میلیون دلار بوده اما در حال حاضر به بیش از یک میلیارد دلار افزایش یافته است. بخش مهم دیگری از محصولات بیوتکنولوژی پزشکی را کیت‌های تشخیصی تشکیل می‌دهند. حجم بازار این فرآورده‌ها، نشان دهنده اهمیت شایان توجه آنها در میان سایر محصولات نوترکیب می‌باشد. به طوری که آمارها نشان می‌دهند، میزان فروش سالیانه انواع مختلف این کیت‌ها تنها در امریکا چیزی معادل ۹۰۰ میلیون تا ۳ میلیارد دلار و رقم آن در سایر کشورهای توسعه یافته در حدود ۱۱-۳/۳ میلیارد دلار می‌باشد.

### ابعاد اقتصادی بیوتکنولوژی در حوزه کشاورزی

امروزه فناوری زیستی در عرصه‌های گوناگون کشاورزی کاربرد بسیار گسترده‌ای پیدا کرده است. تولید گیاهان و جانوران تغییر ژنتیک یافته (GMOs) از جمله مهم‌ترین دستاوردهای این فناوری در علوم و شاخه‌های مختلف کشاورزی است که موجب افزایش کمیت و کیفیت محصولات تولیدی شده است. سطح زیر کشت محصولات زراعی GMO جهان در سال ۲۰۰۲ معادل ۵۸/۷ میلیون هکتار بود که در مقایسه با سال ۱۹۹۶ سی و پنج برابر شده است. این میزان از رشد، نشان دهنده یکی از مهم‌ترین تأثیرات یک تکنولوژی جدید در زمینه کشاورزی است. در میان کشورهای دنیا آمریکا با ۶۸ درصد تولیدات، بیشترین رشد را در زمینه تولید محصولات GMO به خود اختصاص داده است. کشورهای آرژانتین (۲۳ درصد)، کانادا (۶ درصد) و چین (۴ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. از نظر نوع محصولات نیز، در حال حاضر بیش از ۵۱ درصد سویا، ۲۰ درصد پنبه، ۱۲ درصد کانولا (کلزا) و ۹ درصد ذرت کل دنیا با استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی تولید می‌شوند. بنابراین، ابعاد اقتصادی بیوتکنولوژی در حوزه کشاورزی نیز بسیار چشمگیر می‌باشد. برای مثال، بازار جهانی محصولات بیوتکنولوژی کشاورزی در سال ۲۰۰۲ به بیش از ۵ میلیارد دلار رسید. همچنین بر اساس گزارش منتشر شده توسط ISAAA، ارزش بازار جهانی بذره‌های ترانس ژنیک در سال ۲۰۰۲ برابر با ۴ میلیارد دلار بود. پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۱۰ به ۲۰ میلیارد دلار نیز برسد. اهمیت اقتصادی حوزه بیوتکنولوژی کشاورزی به حدی است که در حال حاضر سالانه بیش از ۴/۴ میلیارد دلار صرف "تحقیق و توسعه" (R&D) در زمینه تولید محصولات کشاورزی ترانس ژنیک می‌شود. در این بخش نیز کشور آمریکا بیشترین سهم را به خود اختصاص داده و کشورهای چین و هند به ترتیب در رتبه‌های بعدی سرمایه‌گذاری قرار دارند.

با توجه به مطالب فوق‌الذکر، کاربرد بیوتکنولوژی در کشاورزی به‌خصوص برای کشورهای در حال توسعه که با کمبود منابع و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی مواجه هستند، چشم‌انداز روشن و بسیار امیدوارکننده‌ای ترسیم نموده است. نتایج مطالعه‌ای که در سال ۱۹۸۵ صورت گرفت، نشان دهنده آن است که، تأثیر بیوتکنولوژی بر کشاورزی کشورهای در حال توسعه، در سال ۲۰۰۸ احساس خواهد شد. بر این اساس پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۲۵، حدود یک میلیارد و ششصد میلیون نفر در جهان از طریق غلات تغییر ژنتیک یافته تغذیه خواهند نمود. بکارگیری بیوتکنولوژی در عرصه کشاورزی امکاناتی را فراهم می‌آورد که از طریق روش‌های سنتی قابل دسترسی نیستند. برای مثال، سود حاصل از کشت پنبه مقاوم به آفت (Bt Cotton) در کشور چین (این محصول با استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک تولید شده و به علت مقاومت طبیعی در برابر کرم ساقه‌خوار پنبه نیاز به سم‌پاشی ندارد) تنها در سال ۲۰۰۱ مبلغی معادل ۷۵۰ میلیون دلار بوده است. لذا استفاده از این فناوری در کشاورزی، می‌تواند مزایای زیادی همچون بهره‌وری بیشتر از منابع موجود، تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد جهان، حفاظت از محیط‌زیست و کمک به روش‌های سنتی "به‌نژادی" را در بر داشته باشد. به‌طور کلی، استفاده از بیوتکنولوژی در کنار روش‌های سنتی کشاورزی، باعث تسریع در دستیابی به اهداف "به‌نژادی" و تأمین احتیاجات کمی و کیفی بشر در آینده خواهد بود.

## ابعاد اقتصادی بیوتکنولوژی در صنایع مختلف

دامنه کاربرد فناوری زیستی در صنایع گوناگون بسیار گسترده است. امروزه کمتر صنعتی را می‌توان یافت که برای تولید، بهینه‌سازی و افزایش راندمان محصول و یا حذف آلاینده‌های محیطی خود از این تکنولوژی مدرن استفاده نکند. به‌عنوان مثال، صنایع دارویی، غذایی، آنزیمی، نساجی، معدن، نفت و سایر صنایع مرتبط با آنها به نوعی از امکانات و دستاوردهای بیوتکنولوژی در جهت اهداف خود بهره می‌جویند. بنابراین با توجه به متنوع بودن بازار صنایع یاد شده، اهمیت اقتصادی و سودآوری کلان فناوری زیستی در این حوزه نیز به خوبی مشخص می‌گردد. برای مثال، پیش‌بینی می‌شود درآمد صنایع بیوتکنولوژی جهان که در سال ۲۰۰۰ معادل ۲۵ میلیارد دلار بود، در سال ۲۰۰۵ به چهل و چهار میلیارد و سیصد میلیون دلار و در سال ۲۰۱۰ با رشدی معادل ۱۴ درصد، به هشتاد و هشت میلیارد دلار بالغ گردد. در زیر به سود اقتصادی حاصل از بکارگیری بیوتکنولوژی در برخی از صنایع اشاره می‌شود:

## صنایع تخمیری

صنایع تخمیری که طیف وسیعی از حوزه‌های مرتبط با میکروارگانیسم‌ها و بیوتکنولوژی را در برمی‌گیرند از قدیمی‌ترین شاخه‌های فناوری زیستی به‌شمار می‌آیند. الکل‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها، اسیدهای آلی، آنزیم‌ها و بسیاری از ترکیبات مورد استفاده در صنایع غذایی، دارویی و غیره بخشی از محصولات با ارزش تولید شده در این صنعت را تشکیل می‌دهند.

آنزیم‌هایی نظیر پروتئازها، آمیلازها، لیپازها و غیره که مصرف بسیار زیادی در صنایع مختلف دارند از جمله مهم‌ترین تولیدات بیوتکنولوژی صنعتی به‌شمار می‌روند. ارزش بازار جهانی آنزیم‌های صنعتی میکروبی که بخش عمده آن (بیش از ۵۰ درصد) توسط شرکت دانمارکی Novo Nordisk A/S تولید و عرضه می‌شود، سالانه حدود ۱/۸ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. همچنین درحال حاضر، میزان فروش جهانی آنزیم‌های مورد استفاده در صنعت نساجی حدود ۱۲۵ میلیون یورو و ارزش آنزیم‌های مورد استفاده در صنعت چوب و کاغذ بیش از ۱۰ میلیون یورو می‌باشد، که از رشد سالانه‌ای معدل ۲۵ درصد برخوردار است. تولید ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و بیوپلیمرها از دیگر عرصه‌های سودآور بیوتکنولوژی صنعتی می‌باشد. آمارها نشان می‌دهد در سال ۱۹۹۶ ارزش اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و بیوپلیمرهای تولیدی دنیا به ترتیب ۲، ۲/۴ و ۰/۵ میلیارد دلار بوده است.

درحال حاضر، ارزش محصولات تولیدی اتحادیه اروپا در زمینه بیوتکنولوژی غذایی (محصولات غذایی تخمیری، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و غیره) بیش از ۲۵ میلیارد دلار برآورد شده است.

تولید اغلب آنتی‌بیوتیک‌ها نیز با استفاده از روش‌های تخمیری و بیوتکنولوژیک صورت می‌گیرد که به سبب کاربرد بسیار گسترده در درمان عفونت‌ها، از اهمیت و ارزش اقتصادی بالایی برخوردار هستند. براساس گزارش مؤسسه Frost & Sullivan، در سال ۲۰۰۲ درآمد آمریکا از تولید و فروش آنتی‌بیوتیک‌ها به بیش از ۷/۹۷ میلیارد دلار رسیده است که در میان محصولات حاصل از بیوتکنولوژی جایگاه مهمی را به خود اختصاص می‌دهد.

## تولید بیومس

یکی از منابع اصلی تولید محصولات بیوتکنولوژی، بیومس (Biomass) میکروبی است. بیومس، در واقع به توده‌ای از سلول‌های میکروبی اطلاق می‌گردد که به‌منظور استفاده از کل پیکره سلول‌ها (به‌عنوان پروتئین تک یاخته یا SCP)، تولید متابولیت‌های میکروبی خاص و یا انجام یک فرآیند بیولوژیک، تکثیر می‌شوند. براساس پیش‌بینی مؤسسه Royal Dutch Shell، در نیمه اول قرن بیست و یکم، بیش از ۳۰ درصد نیاز جهانی به سوخت‌ها و ترکیبات بیولوژیک گوناگون با ارزش حدود ۱۵۰ میلیارد دلار، به کمک بیومس میکروبی تولید خواهد شد. برای مثال، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۰۵ میلادی بیش از ۱۰ درصد کل آفت‌کش‌های جهان با ارزشی معادل ۴ میلیارد دلار توسط صنایع بیوتکنولوژی تولید شود. درحال حاضر، بازار جهانی آفت‌کش‌های بیولوژیک، رقمی حدود ۵۰۰ میلیون دلار را به‌خود اختصاص داده است.

یکی از مهم‌ترین انواع آفت‌کش‌های بیولوژیک جهان، بیومس حاصل از نوعی باکتری موسوم به *Bacillus thuringiensis* است. ارزش فروش سالیانه این باکتری در آمریکای شمالی حدود ۴۰ میلیون دلار و در اتحادیه اروپا حدود ۱۰۲ میلیون دلار برآورد شده است. طعم دهنده‌ها (flavour enhancers) که کاربرد وسیعی در صنایع غذایی و دارویی دارند، از دیگر محصولات بیوتکنولوژی صنعتی هستند که با استفاده از بیومس میکروبی تولید می‌شوند، ارزش بازار جهانی این فرآورده‌ها در سال ۲۰۰۰ در حدود ۱/۱ میلیارد دلار بوده است.

## تولید انرژی

بیوتکنولوژی در عرصه تولید انرژی نیز سهم بسزایی دارد. در حال حاضر بسیاری از کشورهای جهان بخش زیادی از انرژی مورد نیاز برای تولید برق، مصارف خانگی و حمل و نقل خود را از سوخت‌های بیولوژیک (Biofuels) تأمین می‌کنند. "بیوگاز" و "بیواتانل" نمونه‌هایی از این سوخت‌های بیولوژیک هستند که با استفاده از فرآیندهای زیستی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند. این سوخت‌ها به علت آلوده نکردن محیط‌زیست و تجدیدپذیر بودن منابع تولیدکننده آن‌ها در مقایسه با سوخت‌های فسیلی از برتری زیادی برخوردار هستند. نکته مهم‌تر، اهمیت اقتصادی تولید و مصرف سوخت‌های بیولوژیک برای کشورهای در حال توسعه است. بر اساس آمارهای موجود، هزینه تمام شده هر لیتر از سوخت‌های فسیلی برای کشورهای توسعه یافته و صنعتی حدود ۲۲ سنت می‌باشد، در حالی که این مقدار برای اغلب کشورهای در حال توسعه بیش از یک دلار برای هر لیتر است. بنابراین، با توجه به این که اغلب کشورهای در حال توسعه، منابع ارزان و فراوان سلولزی (نظیر ضایعات کشاورزی) را در اختیار دارند، می‌توانند با تولید و مصرف بیواتانل و دیگر سوخت‌های بیولوژیک، ضمن حفاظت از محیط‌زیست، از منابع ارزان‌تر انرژی نیز برخوردار شوند. به همین علت در حال حاضر بسیاری از کشورهای جهان درصددند تا بخش عمده‌ای از انرژی مورد نیاز خود را از این طریق تأمین نمایند. بر اساس آمارهای موجود، در طی سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ میزان انرژی تولید شده در جهان با استفاده از منابع Biogas به ترتیب حدود ۵ و ۶ گیگاوات ساعت و ارزش درآمد حاصل از آن به ترتیب ۲۷۰ و ۲۹۰ میلیون دلار بوده است. همچنین پیش بینی می‌شود در سال ۲۰۰۸ حداقل ۸/۵ گیگاوات ساعت انرژی با ارزشی معادل ۴۳۰ میلیون دلار با استفاده از بیوگاز تولید شود. در زمینه Bioethanol نیز آمارها حاکی از توجه جهانی به تولید و مصرف این سوخت طبیعی در مقایسه با سوخت‌های فسیلی است. پتانسیل جهانی برای تولید بیواتانل بیش از ۲ میلیارد تن برآورد شده است. اما در حال حاضر، حجم تولید سالیانه بیواتانل دنیا حدود ۱۷ میلیون تن است که این مقدار در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۱۸/۵ میلیون تن افزایش خواهد یافت. در این میان کشور برزیل با تولید سالانه حدود ۱۳ میلیارد لیتر بیواتانل (با استفاده از نیشکر) و مصرف ۱۲/۴ میلیارد لیتر رتبه اول را از نظر تولید و مصرف بیواتانل دارا می‌باشد. آمریکا نیز با تولید سالیانه ۵/۵ میلیارد لیتر (با استفاده از ذرت) مقام دوم دنیا را در اختیار دارد.

## صنایع استخراج کانی‌های معدنی و نفت

صنایع فرآوری و استخراج کانی‌های معدنی، از دیگر حوزه‌های مهم و کاربردی بیوتکنولوژی صنعتی به‌شمار می‌روند. امروزه بکارگیری روش‌های "فروشویی" یا Bioleaching، امکان استخراج کانی‌های ارزشمند و کمیاب از سنگ‌های معدنی با درجه خلوص کم، که با روش‌های رایج استخراج و فرآوری قابل بازیافت نبوده یا مقرون به صرفه نمی‌باشد، را فراهم ساخته است. استفاده از روش مذکور که در آن از باکتری‌های ویژه‌ای مثل "تیوباسیلوس فرواکسیدانس" استفاده می‌شود، علاوه بر افزایش دادن خلوص سنگ معدنی، موجب کم شدن هزینه‌های استخراج و تخلیص می‌گردد. برای مثال، در سال ۱۹۸۵ عایدات کشور آمریکا از استخراج زیستی دو فلز مس و اورانیوم به ترتیب ۳۵۰ و ۲۰ میلیون دلار بوده است. در سال ۲۰۰۰ ارزش فلزات استخراج شده دنیا با استفاده از فناوری زیستی به بیش از ۹۰ میلیارد دلار رسید. در حال حاضر نیز ۲۵ درصد مس دنیا با ارزش سالیانه بیش از یک میلیارد دلار از طریق پردازش زیستی سنگ‌های معدنی تولید می‌شود. اما نکته مهم آن است که ارزش و اهمیت اقتصادی بکارگیری روش‌های Bioleaching برای کشورهای در حال توسعه بیش از کشورهای دیگر است چراکه اولاً بخش اعظم معادن و کانی‌های ارزشمند دنیا در این کشورها واقع شده است. به عنوان مثال، بیش از ۵۰ درصد مس و بخش اعظم طلای جهان در

کشورهای مذکور تولید می‌شود. ثانیاً استفاده از این فناوری بسیار به صرفه بوده و هزینه‌های گزاف انتقال سنگ معدن و بکارگیری تجهیزات و روش‌های شیمیایی پرهزینه را به دنبال ندارد.

امروزه صنعت نفت نیز از پتانسیل‌های بی‌شمار بیوتکنولوژی، برای افزایش استخراج نفت و سولفورزادایی از نفت خام و مشتقات آن استفاده می‌کند. برای مثال، با استفاده از میکروارگانسیم‌ها یا محصولات تولیدی آنها (Biosurfactant) می‌توان بسیاری از چاه‌های نفتی به ظاهر تخلیه شده را بار دیگر مورد بهره‌برداری قرار داد. بررسی‌ها نشان داده که روش‌های رایج استخراج نفت، در بهترین شرایط فقط ۲۰ تا ۳۰ درصد از ذخیره نفتی چاه را خارج می‌کنند. بنابراین بخش اعظم (حدود ۷۰ درصد) ذخیره چاه بدون استفاده ترک می‌شود. این بخش از نفت که اصطلاحاً نفت ثالثیه نامیده می‌شود، با استفاده از میکروپها و بیوسورفاکتانت‌های تولیدی آنها قابل استخراج می‌باشد. بکارگیری روش‌های زیستی (MEOR) در مقایسه با روش‌های شیمیایی سنتی، نه تنها موجب افزایش راندمان تولید می‌شود بلکه هزینه کمتری را نیز در پی دارد. برای مثال، کاربرد این روش با توجه به نوع میکروپ، نفت خام و شرایط مخزن از ۱ تا ۸ دلار به ازای هر بشکه نفت در نوسان است. در حالی که این رقم با استفاده از روش‌های افزایش شیمیایی و پلیمری بین ۵ تا ۱۰ دلار برای هر بشکه در نوسان بوده و کاربرد پلیمرهای گران‌تر تا ۱۲ دلار به ازای هر بشکه نیز هزینه در پی دارد. مقایسه این هزینه‌ها نشان می‌دهد که در آینده نزدیک، روش میکروبی با سایر روش‌های ازدیاد برداشت، قابل رقابت خواهد بود. در حال حاضر، از روش میکروبی در برخی مخازن نفتی آمریکا، روسیه، چین، مکزیک و ونزوئلا استفاده می‌شود.

از این رو اهمیت استفاده از فناوری زیستی، در صنعت نفت به ویژه برای کشورهای نظیر ایران بیش از پیش روشن می‌شود. بدیهی است با بهره‌گیری از پتانسیل‌های این فناوری، نه تنها بسیاری از چاه‌های نفتی متروک دوباره به چرخه تولید بازگشته و در نتیجه افزایش استخراج، سود اقتصادی کلانی عاید کشور می‌شود بلکه به علت افزایش عمر چاه‌های موجود، هزینه سنگین اکتشاف و استخراج منابع نفتی جدید کاهش یافته و نسل‌های آینده نیز امکان استفاده از این ثروت الهی را خواهند یافت.

## صنایع جانبی

صنایع تولیدکننده محیط‌های کشت و لوازم جانبی مورد استفاده در فرآیندهای بیوتکنولوژی نیز از سودآوری و ارزش اقتصادی بالایی برخوردار می‌باشند. برای مثال، عایدات کشور آمریکا در سال ۱۹۹۹ از فروش محیط‌های کشت مورد استفاده در فناوری زیستی، بیش از ۱۶۷/۶ میلیون دلار برآورد شده است. ضمناً در سال ۲۰۰۰ ارزش بازارهای اروپا و آسیا برای این محصولات بیش از ۴۵۰ میلیون دلار بوده است.

با توجه به مطالب و آمار ارائه شده در مقاله حاضر که تنها به انعکاس گوشه‌ای از توانمندی‌ها و پتانسیل‌های کلان اقتصادی صنعت بیوتکنولوژی پرداخته است، به روشنی می‌توان اهمیت بالای توجه به این فناوری کلیدی را دریافت. همان‌گونه که بسیاری از کشورهای پیش‌تاز در عرصه این تکنولوژی مدرن با برنامه‌ریزی‌های کوتاه یا بلندمدت و حجم عظیم سرمایه‌گذاری‌ها در این عرصه توانسته‌اند سهم بزرگی از تولید و بازار فروش محصولات زیستی را به خود اختصاص دهند، لازم است تا در کشور ما نیز با توجه به منابع مادی و انسانی، از یک سو و نیاز کشور به واردات چند میلیون دلاری محصولات حاصل از بیوتکنولوژی از سوی دیگر، توجه عاجلی به برنامه‌ریزی در این عرصه صورت گیرد.

## منابع:

۱. آهنگرزاده رضایی، محمد، بیوتکنولوژی در اقتصاد جهانی، روزنامه انتخاب، شماره ۱۳۰۰، صفحه ۷، آبان ۱۳۸۲.
۲. آهنگرزاده رضایی، محمد، نگرشی بر بازار جهانی و اهمیت پروتئین‌های دارویی نو ترکیب، شبکه تحلیلگران تکنولوژی ایران، ۱۳۸۲ (در دست انتشار).
۳. آهنگرزاده رضایی، محمد، کاربرد بیوسورفکتانت‌ها در افزایش بازیافت نفت، نظرات دکتر ابراهیمی‌پور، شبکه تحلیلگران تکنولوژی ایران، اردیبهشت ۱۳۸۲.
۴. مجله دارو و فناوری، معاونت علوم زیستی دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری، شماره ۲، آبان ۱۳۸۱.
۵. حامدی، جواد، نگاهی به وضعیت میکروبیولوژی کاربردی در ایران و جهان، مجموعه مقالات کارگاه آموزشی شناخت و رفع مشکلات آموزشی زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، تیر ماه ۱۳۸۲.
۶. میردریکوند، محمد، اهمیت بیوتکنولوژی گیاهی و حوزه‌های مختلف کاربرد آن، شبکه تحلیلگران تکنولوژی ایران، شهریور ۱۳۸۱.
7. Clive J., Executive summary: Global review of commercialized transgenic crops, ISAAA, Nov. 6, 2003.
8. Juma C. and Konde V., Industrial biotechnology and international trade: opportunities for developing countries, C.I.D, Harvard University, 2002.
9. David K., Environmental and Industrial Biotechnology in Developing Countries, Electronic Journal of Biotechnology, Vol.4, Issue 3, 2001.
10. Acevedo F., Present and future of bioleaching in developing countries, Electronic Journal of Biotechnology, Vol.5, Issue 2, 2002.
11. Kim A., Suleiman M. and Jaworski J., Biotechnology and Cleaner Production in Canada, Life Sciences Branch, Industry Canada, pp. 1-96, 2000.
12. Rajan M., World Markets for Biogas and Geothermal Power Plants, Business Communications Com., RE-12 Renewable Bulk Power Sources, June 2003.
13. Palma Revillion J.P. et al., Production of yeast extract from whey using *Kluyveromyces marxianus*, Braz. arch. biol. technol. 46(1), 2003.
14. Ramakrishnan A., Asian Biotech- a reality check, Frost & Sullivan, 2003.