بیانیه نیاز تفصیلی

۱. حوزه‌ی کاربری:	☐ معدن ☒ کشاورزی و امنیت غذایی ☐ سلامت ☐ حمل و نقل ☐ آب ☐ انرژی ☐ مسکن و اسکان ☐ نفت و گاز و پتروشیمی ☐ ICT ☐ دفاعی
۲. عنوان نیاز/ فرصت:	**بهینه سازی تخمیر زیرسطحی ضایعات خرما برای تولید آنزیم سلولاز با پایداری حرارتی بالا ویژه صنایع خوراک دام ایران**
۳. مشکلات و نواقص موجود و دلیل بروز مشکل:	در ایران ضایعات خرما به دلیل حجم بالای تولید در مناطق خرماخیز عمدتاً بدون استفاده یا به‌صورت دورریختنی مدیریت می‌شوند، در حالی که این ضایعات حاوی زیست‌توده سلولزی غنی و بالقوه‌ای برای تولید آنزیم‌های سلولاز هستند. فرآیندهای موجود برای تولید سلولاز عمدتاً وارداتی بوده و پایداری حرارتی کافی برای کاربرد در خوراک دام و طیور را ندارند، در نتیجه استفاده صنعتی از آن‌ها محدود است. کمبود روش‌های بهینه‌سازی تخمیر زیرسطحی برای ضایعات خرما باعث کاهش بازده و ناپایداری فعالیت آنزیمی می‌شود و فقدان استانداردسازی شرایط بحرانی مانند رطوبت، دما، pH و نسبت زیست‌توده، تغییرات کیفی و کمی در محصول نهایی ایجاد می‌کند. تجهیزات و زیرساخت‌های صنعتی مناسب برای مقیاس‌بندی تولید سلولاز با ضایعات خرما محدود است و عدم دانش فنی کافی درباره استفاده از زیست‌توده‌های بومی، مانع بهره‌برداری کامل از پتانسیل موجود می‌شود. علاوه بر این، کنترل فرآیند و پیشگیری از آلودگی میکروبی در تخمیر زیرسطحی صنعتی چالش‌برانگیز است و عدم هماهنگی بین تولیدکنندگان ضایعات، واحدهای تحقیق و توسعه و صنایع خوراک دام، زنجیره ارزش کامل و پایدار را مختل می‌کند. هزینه بالای واردات آنزیم و نوسانات ارزی نیز انگیزه تولید بومی را افزایش داده، اما اجرای صنعتی آن هنوز محدود و غیربهینه است. در نتیجه، ترکیب این عوامل موجب شده که تولید آنزیم سلولاز با پایداری حرارتی بالا از ضایعات خرما، هنوز در سطح صنعتی در ایران عملیاتی نشده و جای خالی تحقیقات و توسعه کاربردی در این حوزه محسوس باشد. انتخاب ضایعات خرما در این پروژه صرفاً با هدف استفاده از یک ماده‌ی دورریز انجام نشده، بلکه مبتنی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و ساختاری منحصربه‌فرد این زیست‌توده است. ضایعات خرما حاوی مقادیر قابل توجهی کربوهیدرات‌های پیچیده (سلولز و همی‌سلولز)، قندهای محلول، مواد معدنی و ترکیبات فنولی هستند که آن‌ها را به بستری مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌های سلولاززا تبدیل می‌کند.از نظر فنی، وجود قندهای ساده در کنار فیبرهای ساختاری، موجب تحریک رشد اولیه میکروارگانیسم و القای تولید آنزیم‌های هیدرولیتیک می‌شود. علاوه بر این، فراوانی ضایعات خرما در ایران، به‌ویژه در استان‌های جنوبی، امکان تأمین پایدار و کم‌هزینه بستر تخمیر را فراهم کرده و وابستگی به منابع وارداتی را کاهش می‌دهد.بنابراین، انتخاب ضایعات خرما دارای پشتوانه علمی (ترکیب شیمیایی مناسب)، فنی (قابلیت تخمیرپذیری بالا) و اقتصادی (دسترس‌پذیری و قیمت پایین) است. افزایش پایداری حرارتی آنزیم سلولاز با هدف حفظ فعالیت آنزیمی در شرایط فرآوری خوراک دام انجام می‌شود. در صنایع خوراک دام، مراحل تولید پلت و اکستروژن معمولاً در دماهای بالا انجام می‌گیرد که موجب غیرفعال شدن بسیاری از آنزیم‌های تجاری می‌شود.آنزیم سلولاز با پایداری حرارتی بالا قادر است فعالیت خود را در دماهای بالاتر حفظ کرده و پس از فرآوری نیز در دستگاه گوارش دام مؤثر باقی بماند. این ویژگی منجر به بهبود تجزیه فیبر، افزایش قابلیت هضم خوراک، کاهش ضریب تبدیل غذایی و در نهایت افزایش بهره‌وری اقتصادی صنعت دام می‌شود. منبع تولید آنزیم، به‌ویژه نوع سویه میکروبی و بستر تخمیر، نقش تعیین‌کننده‌ای در ساختار فضایی، نوع پیوندها و پایداری پروتئین آنزیمی دارد. میکروارگانیسم‌هایی که در شرایط تنش‌زا (مانند حضور ترکیبات فنولی یا فیبرهای پیچیده) رشد می‌کنند، معمولاً آنزیم‌هایی با ساختار مقاوم‌تر و پایداری حرارتی بالاتر تولید می‌کنند.بستر ضایعات خرما با دارا بودن ترکیبات القاکننده، می‌تواند باعث بیان آنزیم‌هایی با پایداری ساختاری بیشتر شود. همچنین، انتخاب سویه‌های بومی سازگار با شرایط اقلیمی ایران، احتمال تولید آنزیم‌هایی با تحمل دمایی بالاتر را افزایش می‌دهد.
۴. الزامات کلیدی و حیاتی مربوط به نیاز	۱. دسترسی پایدار به زیست‌توده ضایعات خرما: تأمین منظم و حجم کافی ضایعات خرما (میوه، هسته، تفاله، و بقایای نخل) برای تولید مستمر آنزیم و تضمین تداوم فرآیند تخمیر. ۲. تجهیزات و زیرساخت‌های مناسب تخمیر صنعتی: فراهم بودن مخازن یا بسترهای تخمیر زیرسطحی با کنترل دقیق دما، رطوبت، pH و هوادهی برای حصول بازده بهینه و کیفیت بالای آنزیم. ۳. دانش فنی تولید سلولاز با پایداری حرارتی بالا: انتخاب سویه‌های میکروبی مناسب و بهینه‌سازی شرایط تخمیر به گونه‌ای که آنزیم تولیدی مقاوم به دما و قابل استفاده در فرآوری خوراک دام باشد.

بیانیه نیاز تفصیلی

	۴. کیفیت و استاندارد محصول نهایی: تضمین فعالیت آنزیمی ثابت، فاقد آلودگی میکروبی و با مشخصات فنی مورد نیاز صنایع خوراک دام و مطابق استانداردهای داخلی و بین‌المللی. ۵. زنجیره توزیع و بازار مصرف پایدار: ایجاد ارتباط با تولیدکنندگان خوراک دام و طیور، تأمین نیاز واقعی بازار و تضمین تجاری‌سازی محصول به صورت مستمر و اقتصادی.
۵. محدودیت ها و قیود	۱. محدودیت تامین ماده اولیه: حجم و دسترسی به ضایعات خرما ممکن است فصلی و منطقه‌ای باشد و کیفیت زیست‌توده نیز می‌تواند بسته به نوع و درجه خرما متفاوت باشد. ۲. محدودیت‌های فناوری و تجهیزات: فقدان تجهیزات صنعتی استاندارد برای تخمیر زیرسطحی و کنترل دقیق پارامترهای فرآیند (دما، رطوبت، pH) می‌تواند بر بازده و کیفیت آنزیم تولیدی تاثیرگذار باشد. ۳. محدودیت‌های اقتصادی و مالی: هزینه اولیه سرمایه‌گذاری برای راه‌اندازی خط تولید، نگهداری تجهیزات و فرآوری آنزیم، به ویژه در مقیاس صنعتی، ممکن است به‌عنوان یک قید اقتصادی محدودیت ایجاد کند و نیازمند توجیه اقتصادی دقیق باشد.
۶. راه حل فعلی	در حال حاضر و در نبود روش پیشنهادی این پروژه، صنایع خوراک دام عمدتاً از آنزیم‌های سلولاز وارداتی یا ترکیبات آنزیمی عمومی استفاده می‌کنند که اغلب پایداری حرارتی پایینی دارند و در فرآیند تولید خوراک، بخش قابل توجهی از فعالیت خود را از دست می‌دهند.در برخی موارد، تولیدکنندگان به‌جای استفاده از آنزیم، از کاهش اندازه ذرات خوراک، استفاده از مواد شیمیایی یا افزایش زمان فرآوری برای بهبود هضم فیبر استفاده می‌کنند که این روش‌ها یا هزینه‌بر هستند یا بازده زیستی پایینی دارند.همچنین، در تولید محدود داخلی، از بسترهایی مانند سبوس گندم یا تفاله‌های کشاورزی رایج استفاده می‌شود که به دلیل ترکیب شیمیایی یکنواخت و نبود القای مناسب، منجر به تولید آنزیم با پایداری حرارتی مطلوب نمی‌شوند.پروژه حاضر، با ارائه یک بستر تخمیری هدفمند و بهینه‌سازی شرایط، این خلأ فنی را برطرف می‌کند.
۷. برنامه ها، پروژه ها و اقدامات مرتبط	پژوهش‌های متعددی بر تولید آنزیم سلولاز از ضایعات کشاورزی مانند کاه گندم، باگاس نیشکر و ضایعات میوه‌ها با استفاده از تخمیر زیرسطحی انجام شده است که بر کاهش هزینه تولید و افزایش بازده آنزیمی تأکید دارند. برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از بسترهای غنی از ترکیبات القاکننده می‌تواند پایداری حرارتی آنزیم را بهبود بخشد.در ایران نیز تحقیقات متعددی بر تولید سلولاز از ضایعات کشاورزی انجام شده، اما اغلب این پژوهش‌ها بر بازده تولید تمرکز داشته و موضوع پایداری حرارتی و کاربرد صنعتی در خوراک دام کمتر مورد توجه قرار گرفته است.این پروژه با تمرکز همزمان بر انتخاب بستر مناسب، بهینه‌سازی تخمیر زیرسطحی و افزایش پایداری حرارتی آنزیم، نسبت به پژوهش‌های پیشین رویکرد کاربردی‌تر و صنعتی‌تری دارد. در سطح جهانی و منطقه‌ای، پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که ضایعات خرما و دیگر بخش‌های درخت Phoenix dactylifera می‌توانند به‌عنوان زیست‌توده کارآمد برای تولید آنزیم‌های سلولاز مورد استفاده قرار گیرند و با پیش‌تیمار مناسب، هم بازده تولید و هم پایداری حرارتی آنزیم‌ها قابل بهبود است: ۱. تولید سلولاز پایدار حرارتی از ضایعات برگ نخل (Paenibacillus alvei)Mostafa و همکاران گزارش کردند که با بستر ضایعات برگ نخل پس از تیمار قلیایی می‌توان سویه‌های میکروبی ترموفیل ایزوله کرد که آنزیم سلولاز با فعالیت و پایداری حرارتی خوب (۴۰–۷۰ C°) تولید می‌کنند. این آنزیم در شرایط بالاتر از ۴۰ C° و محدوده pH گسترده نیز فعال است که نشان‌دهنده توان بالقوه برای کاربردهای صنعتی است. [1] ۲. بهینه‌سازی هیدرولیز و تخمیر ضایعات خرما به قند و اسید لاکتیکمطالعه‌ای دیگر نشان داده است که پسماندهای سلولزی نخل پس از پیش‌تیمار قلیایی می‌توانند با آنزیم‌های سلولاز تجاری هیدرولیز شوند تا قندهای قابل تخمیر با بازده بالا تولید کنند، که این روش می‌تواند قابلیت استفاده از ضایعات خرما به‌عنوان بستر تخمیر در مقیاس صنعتی را تأیید کند. [2] ۳. تولید و بهینه‌سازی سلولاز از دانه‌های ضایعات خرما (Cellulomonas uda)در پژوهشی دیگر، ضایعات دانه خرما به‌عنوان زیست‌توده برای تولید سلولاز با عملکرد بالا مورد استفاده قرار گرفت و با بهینه‌سازی

[1] https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8114780/
[2] https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4822781/

بیانیه نیاز تفصیلی

	پارامترهای فرآیند، فعالیت آنزیمی به طور چشمگیری افزایش یافت؛ همچنین این آنزیم در دمای ۵۰ C° تا مدت طولانی فعالیت خود را حفظ کرده است. [۳]
۸. محصول/ راه حل پیشنهادی	**محصول نهایی پیشنهادی، آنزیم سلولاز با پایداری حرارتی بالا است که از طریق تخمیر زیرسطحی ضایعات خرما تولید می‌شود. این آنزیم قادر است ساختار سلولزی خوراک دام و طیور را تجزیه کرده و هضم فیبر را بهبود بخشد، که منجر به افزایش بهره‌وری تغذیه‌ای و کاهش هزینه‌های خوراک می‌شود. ضایعات خرما، شامل میوه‌های درجه دوم، تفاله و هسته‌ها، و همچنین بقایای نخل، به‌عنوان زیست‌توده اولیه استفاده می‌شوند و با توجه به محتوای بالای سلولز و هِمی‌سلولز، منبع مناسبی برای تخمیر بیولوژیک فراهم می‌کنند.** **راه حل پیشنهادی بر تخمیر زیرسطحی کنترل‌شده متمرکز است که در آن شرایط بحرانی مانند دما، رطوبت، pH و نسبت زیست‌توده به میکروب بهینه‌سازی می‌شوند. این کنترل دقیق باعث افزایش بازده تولید آنزیم و پایداری حرارتی آن می‌شود. سویه‌های میکروبی انتخاب‌شده، مقاوم به دما و قادر به تولید آنزیم با فعالیت بالا هستند، که قابلیت استفاده صنعتی در خوراک دام را فراهم می‌کند.** **فرآیند شامل مراحل آماده‌سازی زیست‌توده، استریل‌سازی یا ضدعفونی، بارگذاری میکروب، تخمیر، برداشت آنزیم و خالص‌سازی محدود است. پس از تولید آزمایشی، آنزیم تولیدی تحت ارزیابی فعالیت بیوشیمیایی، پایداری حرارتی و مقاومت به شرایط فرآوری خوراک قرار می‌گیرد. نتایج اولیه نشان می‌دهد که با استفاده از این روش، بازده تولید سلولاز قابل مقایسه با نمونه‌های وارداتی و با هزینه پایین‌تر حاصل می‌شود.** **مزیت اقتصادی راه حل پیشنهادی شامل کاهش واردات آنزیم، ایجاد ارزش افزوده برای ضایعات خرما، کاهش هزینه خوراک دام و افزایش سودآوری صنایع مرتبط است. از منظر زیست‌محیطی، استفاده از ضایعات جلوگیری از تخریب محیط زیست و تولید آلاینده را کاهش می‌دهد. این روش قابلیت مقیاس‌پذیری دارد و می‌تواند در کارخانه‌های خوراک دام و صنایع بیوتکنولوژی به شکل پایدار اجرا شود.** **راه حل پیشنهادی همچنین امکان انتخاب و بهینه‌سازی سویه‌های بومی را فراهم می‌کند که علاوه بر کاهش هزینه‌ها، سازگار با شرایط اقلیمی و زیستی ایران هستند. اجرای فرآیند در مقیاس نیمه‌صنعتی امکان ارزیابی اقتصادی و عملیاتی آن را فراهم می‌کند و به تدریج می‌توان به تولید صنعتی با ظرفیت بالا دست یافت.** **در نهایت، ترکیب زیست‌توده در دسترس، تخمیر کنترل‌شده، سویه‌های مقاوم و کاربرد مستقیم در خوراک دام، این پروژه را به راه حل علمی، اقتصادی و پایدار برای صنایع دام و طیور ایران تبدیل کرده است. این محصول نه تنها پاسخگوی نیاز فوری بازار به آنزیم سلولاز با پایداری حرارتی بالا است، بلکه مسیر توسعه تولید بومی و کاهش وابستگی به واردات را نیز هموار می‌کند.**
۹. نحوه حمایت بهره‌بردار از حل مسئله	☒ سرمایه‌گذاری برای توسعه محصول ☒ بازاریابی و فروش محصول ☐ تسهیل فروش محصول (از طریق وضع مقررات و ...) ☒ قرارداد خرید تضمینی محصول ☒ قرار دادن در لیست تأمین‌کنندگان (Vendor List) و تعامل مانند سایر تأمین‌کنندگان ☐ سایر: .....
۱۰. کلمات کلیدی	**انزیم سلولاز،ضایعات خرما، خوراک دام،صنایع بیوتکنولوژی.**

[3] https://khazna.ku.ac.ae/en/publications/production-and-optimization-of-high-grade-cellulase-from-waste-da