# بهینه سازی تولید پروتیین تک یاخته[1] از آب پنیر تحت شرایط کشت غیرمداوم و مداوم

سید عباس شجاع‌السّاداتی*، محمدرضا رضایی** و بهنام رسولی**

گروه بیوتکنولوژی - بخش مهندس شیمی دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت مقاله: ۱۳۷۷/۵/۲۷ - دریافت نسخهٔ‌نهایی: ۱۳۷۷/۱۱/۲۱)

**چکیده** - در این تحقیق ابتدا میکروارگانیسم موردنظر جداسازی، خالص‌سازی و پس از ارزیابی براساس مقدار کاهش COD آب پنیر و تولید تودهٔ زیستی، انتخاب شد. جنس این میکروارگانیسم مخمر تریکوسپرون[2] تعیین شد. پس از بهینه‌سازی شرایط، دمای ۳۰ °C، pH = ۶ اولیه، میزان هوادهی v.v.m ۲ و دوربه‌هم‌زن ۸۰۰ دور در دقیقه به‌عنوان مناسبترین شرایط به‌دست آمد. تحت این شرایط شدت رشد ویژه[3]، $\mu$ = ۰/۵۹ $h^{-1}$ و زمان دو برابر شدن[4] تودهٔ زیستی ۱/۱۶ h محاسبه شد. با به‌کارگیری شرایط بهینه، میزان کاهش COD در ظرف مدت ۲۴ ساعت، ۵۲ درصد و تولید تودهٔ زیستی ۸/۷۳ $g\ L^{-1}$ به‌دست آمد.

تحت شرایط کشت مداوم دمای ۳۴ °C، دور به‌هم‌زن ۸۰۰ دور دردقیقه، میزان هوادهی v.v.m ۲، شدت رقیق‌سازی[5] ۰/۳۶-۰/۴۲ $h^{-1}$ و pH حین تخمیر ۴-۵ به‌عنوان بهترین شرایط به‌دست آمد. تحت این شرایط مقدار تودهٔ زیستی تولید شده $g^{-1}$ ۸/۱۷ L، درصد کاهش COD ۵۳/۲۱ و محصول‌دهی[6] ۳/۴ $g\ L^{-1}\ h^{-1}$ حاصل شد.

تودهٔ زیستی تولید شده از نظر میزان پروتیین، اسیدهای نوکلئیک، چربی، خاکستر و رطوبت مورد بررسی قرارگرفت. براساس نتایج به‌دست آمده پروتیین تک یاختهٔ حاصله از نظر ارزش تغذیه‌ای برای طیور و دام مناسب است.

# Optimization of Single Cell Protein Production from Cheese Whey under Batch and Continuous Cultivation

**S.A. Shojaosadati, M.R. Rezaei and B. Rasouli**

Biotechnology Group, Chemical Engineering Department, School of Engineering,

Tarbiat Modarres University

**ABSTRACT-** *In this research the microorganism was initially isolated and selected after evaluation based on COD reduction of cheese whey and biomass production. The selected microoganism was identified as Trichosporon sp. The cultivation conditions of the microorganism were optimized under batch: temperature; 30 °C; initial pH = 6; aeration speed= 2 v.v.m; and agitation rate: 800 rpm. Under these conditions, the specific growth rate and biomass doubling time were measured as 0.59 $h^{-1}$ and 1.16 h, respectively. The COD reduction and biomass production under optimized batch conditions after 24 hours were obtained as 52% and*

---

* دانشیار  ** کارشناس ارشد

**فهرست علائم**

| | | | |
|---|---|---|---|
| COD | میزان اکسیژن‌خواهی شیمیایی | D | شدت رقیق سازی، $\mu$ شدت رشد ویژه |
| v.v.m | حجم هوا به ازای حجم محیط کشت در دقیقه | BOD | اکسیژن خواهی بیولوژیکی |

***8.73 g $L^{-1}$, respectively. The optimized conditions under continuous cultivation were: temperature, 30°C; agitation rate, 800 rpm; aeration speed, 2 v.v.m; dilution rate, 0.42 $h^{-1}$; pH in fermentor, 4-5. Under these conditions the biomass production, COD reduction and productivity were obtained as: 8.17 g $L^{-1}$, 53.21%, and 3.4 g $L^{-1}$ $h^{-1}$ respectively.***

***The nutritional value of biomass was evaluated for crude protein, nucleic acid, fat, ash and moisture content. According to the results, the single cell protein obtained in this research is suitable and valuable for animal and poultry feed.***

## ۱ـ مقدمه

آب پنیر مایعی است زرد متمایل به سبز که پس از حذف چربی و کازئین شیر در طی فرایند پنیرسازی به‌دست می‌آید. آب پنیر دارای BOD بالا در حدود ۳۲۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ است[۱]. به همین دلیل و با توجه به حجم بسیار زیادی از این مایع که در کشورهای مختلف دنیا تولید می‌شود، باعث به‌وجود آمدن معضلات زیست محیطی شده است. بخش اعظم این مایع را آب تشکیل می‌دهد و مابقی آن شامل ۴/۹ درصد لاکتوز، ۰/۹ درصد پروتیین و ۰/۶ تا ۰/۷۵ درصد املاح است[۲].

روشهای مختلفی برای استفاده از آب پنیر وجود دارد، از قبیل: تغلیظ و پودر کردن، تولید لاکتوز به‌عنوان خوراک دام، تولید فراورده‌های تخمیری نظیر الکل، زیست پلیمرها [۳] وغیره.

تولید پروتیین تک یاخته از آب پنیر به‌عنوان پروتیین مکمل خوراک دام و طیور مورد توجه قرار گرفته است [۴و۵]. با توجه به اینکه آب پنیر از نظر منابع کربن و ازت غنی است، لذا از آن می‌توان به‌عنوان محیط کشت مناسب برای رشد میکروارگانیسم و به منظور تولید پروتیین افزودنی به خوراک دام و طیور به‌خوبی استفاده کرد [۶-۱۰]. با توجه به اینکه میکروارگانیسمهای موجود و در دسترس قادر به رشد در محیط کشت حاوی لاکتوز نیستند، لذا در این طرح تحقیقاتی ابتدا از پساب کارخانهٔ پنیر، میکروارگانیسم مناسب جداسازی و مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس شرایط کشت مداوم و غیرمداوم برای میکروارگانیسم انتخاب شده با توجه به میزان کاهش COD و همچنین تولید تودهٔ زیستی، مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نیاز شدید کشور به واردات پروتیین مکمل خوراک دام و طیور از یک‌طرف و از طرف دیگر حذف این پساب با بار آلودگی بالا از محیط زیست، امید می‌رود پس از ارزیابی و توجیه اقتصادی طرح، امکان انتقال به مرحلهٔ صنعتی فراهم شود. از جمله نکات قابل توجه در اجرای این تحقیقات که بدیع است، استفاده از مخمر تریکوسپورون است که از نظر ارزش غذایی و سلامتی مورد تأیید است.

## ۲ـ مواد و روشها

در این تحقیق از میکروارگانیسم جداسازی شده از محیط طبیعی ایران که از گونهٔ تریکوسپورون بود، استفاده شد. آب پنیر موردنیاز از شرکت صنایع شیر ایران تهیه و پس از آماده‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. سایر مواد شیمیایی و بیوشیمیایی موردنیاز از شرکتهای معتبر و با خلوص بالا تهیه شد.

تجهیزات و دستگاههای مورد استفاده، علاوه بر مواردی که به‌طور عمومی در آزمایشگاههای بیوتکنولوژی به‌کار گرفته می‌شوند عبارت‌اند از: دستگاه اولترافیلتراسیون[۷] نیمه صنعتی سارتریوس[۸]، سانتریفیوژ با سرعت بالا از نوع بِک‌من[۹]، دستگاه اسپکتروفتومتر UV۱۲۰۱ شیمادزو[۱۰] و فرمنتوریک لیتری نیوبراونزویک[۱۱].

## ۲-۱- محیطهای کشت

ترکیب شیمیایی محیط کشت غنی‌سازی (برحسب‌گرم برلیتر): D(+) لاکتوز: ۲۰، $(NH_4)_2SO_4$: ۱/۲، $NH_4H_2PO_4$: ۶/۱۲، عصارهٔ مخمر: ۰/۵، $K_2HPO_4$: ۱۰، $MgSO_4$: ۰/۲۵ و pH = ۴/۵. به منظور جداسازی و خالص‌سازی میکروارگانیسمهای مصرف‌کنندهٔ لاکتوز از سه محیط کشت به شرح زیر استفاده شد

۱ـ محیط کشت S: مواد تشکیل‌دهندهٔ این محیط کشت مانند محیط کشت غنی‌سازی است.

۲ـ محیط کشت P: (٪ ۱/۵) آگار + آب پنیر اولترافیلتر شده، pH = ۴/۵.

۳ـ محیط کشت N: آگار ٪ ۱/۵ + $(NH)_2SO_4$ (g/L) ۱/۵۹ + آب پنیر اولترافیلتر شده، pH = ۴/۵.

## ۲-۲- روش جداسازی مخمر

ابتدا از قسمتهای مختلف خروجی پساب چند کارگاه پنیرسازی نمونه‌برداری شد و پس از غنی‌سازی در محیط کشتهای مشخص، برابر روش معمول و با استفاده از محیطهای کشت‌اختصاصی جداسازی مخمرهاانجام گرفت[۱۱].

## ۲-۳- روش انتخاب بهترین میکروارگانیسم

هرکدام از کلنی‌های[12] جدا شده در محیط کشت حاوی آب پنیر اولترافیلتر شده در دمای ۳۰ °C با سرعت به‌هم‌زن ۲۵۰ دور در دقیقه و برای مدت ۲۴ ساعت کشت داده شد. سپس تولید تودهٔ زیستی و کاهش COD را برای هرکدام از مخمرها محاسبه کرده و بدین ترتیب مخمر با بیشترین کارایی، انتخاب و سپس شناسایی شد[۱۱].

## ۲-۴- روش اندازه‌گیری COD

برای اندازه‌گیری COD از روش آمپول[13] مورد استفاده در آزمایشگاه بیوتکنولوژی و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد[۱۱].

## ۲-۵- روش اندازه‌گیری غلظت لاکتوز

برای اندازه‌گیری غلظت لاکتوز از روش سوموگی ـ نلسون[14] [۱۲] استفاده شد. جزییات این روش در مرجع [۱۱] آورده شده‌است.

## ۲-۶- روش تهیه آب پنیر اولترافیلتر شده

به منظور تهیه آب پنیر اولترافیلتر شده از دستگاه اولترافیلتراسیون سارتریوس استفاده شد. بدین منظور حجم مشخصی از آب پنیر را از روی فیلتر با مانع ۱۰۰۰۰ عبور داده تا پروتیین از لاکتوز و سایر اجزای آب پنیر جدا شود. از مایع پشت فیلتر[15] حاوی لاکتوز و املاح برای تهیه محیط کشت استفاده شد.

## ۲-۷- روش اندازه‌گیری پروتیین خام، کربوهیدراتها، چربی، اسیدهای نوکلئیک و خاکستر

برای اندازه‌گیری ارزش تغذیه‌ای تودهٔ زیستی حاصله از روشهای استاندارد موجود و معمول استفاده شد [۱۱ و۱۲]. بدین منظور مقدار پروتیین خام با کربوهیدراتها، چربی یا اسیدهای نوکلئیک و خاکستر که از نظر ارزش تغذیه‌ای برای خوراک دام و طیور مهم‌اند، مورد ارزیابی کمی قرار گرفتند.

## ۲-۸- روش اندازه‌گیری تودهٔ زیستی

برای اندازه‌گیری تودهٔ زیستی از دستگاه اسپکترفتومتر در طول موج ۶۰۰ نانومتر یا روش شمارش سلولی با استفاده از میکروسکوپ استفاده شد [۱۱].

## ۲-۹- بهینه کردن شرایط کشت برای مخمر تریکوسپرون

برای بهینه کردن شرایط کشت غیرمداوم و مداوم علاوه بر آزمایشهای مربوط به کاهش COD و میزان تولید تودهٔ زیستی با روش اسپکترفتومتری از روش شمارش سلولی برای تعیین میزان تودهٔ زیستی و همچنین اندازه‌گیری لاکتوز نیز استفاده شد. در همهٔ آزمایشهای بهینه‌سازی دو عامل میزان کاهش COD و تولید تودهٔ زیستی تعیین‌کننده‌اند و به منظور رعایت دقت، همهٔ آزمایشها به صورت دوبار تکرار انجام شد.

## ۲-۱۰- بهینه کردن شرایط کشت مخمر در روش غیرمداوم

به‌منظور بهینه کردن شرایط کشت از روش مستقل در نظر گرفتن پارامترها که در این نوع آزمایشهای بیولوژیکی معمول است، استفاده شد [۱۳و۱۴]. برای بهینه‌سازی این پارامترها از فلاسک لرزان[16] و فرمانتور دولیتری استفاده شد.

جدول ۱ـ نتایج وزن تودهٔ زیستی خشک در مرحلهٔ گزینش نهایی میکروارگانیسم

| کد شناسایی مخمر | وزن بیومس خشک (g/L) | | | | میانگین | واریانس |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | کشت ۱ | کشت ۲ | کشت ۳ | کشت ۴ | | |
| Syt۱۱۱a | — | ۶/۲۶ | ۶/۵۱ | ۶/۴۲ | ۶/۳۹ | ۰/۱۰۶ |
| SyB۱۳۱۱b | — | ۵/۴۷ | ۵/۴۹ | ۵/۶۱ | ۵/۵۲ | ۰/۰۷۵ |
| SyT۱۱a | — | ۶/۱۰ | ۶/۱۸ | ۶/۲۵ | ۶/۱۷ | ۰/۰۷۵ |

جدول ۲ـ نتایج درصد کاهش COD در مرحلهٔ گزینش نهایی میکروارگانیسم

| کد شناسایی مخمر | میزان کاهش COD | | | | میانگین | واریانس |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | کشت ۱ | کشت ۲ | کشت ۳ | کشت ۴ | | |
| Syt۱۱۱a | ۴۹/۱۱ | ۴۷/۷۴ | ۴۶/۴۰ | ۴۴/۱۶ | ۴۶/۸۷ | ۲/۱۰ |
| SyB۱۳۱۱b | — | ۴۲/۱۶ | ۴۴/۷۶ | ۴۰/۵۶ | ۴۲/۴۹ | ۲/۱۲ |
| SyT۱۱a | ۴۱/۱۵ | ۴۷/۱۷ | ۴۲/۱۹ | ۴۳/۱۲ | ۴۳/۴۰ | ۲/۶۳ |

### ۲-۱۱- روش برقراری کشت مداوم و بهینه کردن شرایط

بدین منظور از فرمنتور آزمایشگاهی با حجم کاری[17] یک لیتر و مجهز به سیستمهای کنترل دما، دوربه‌هم‌زن و هوادهی استفاده شد. شمای کشت مداوم به‌کار گرفته شده در این تحقیقات در شکل (۱) نشان آورده شده است. به منظور بهینه‌سازی پارامترهای رشد مخمر در روش مداوم، پس از برقراری حالت پایدار، هر کدام از پارامترها به مدت ۷۵ ساعت تحت این شرایط مورد ارزیابی قرار گرفتند.

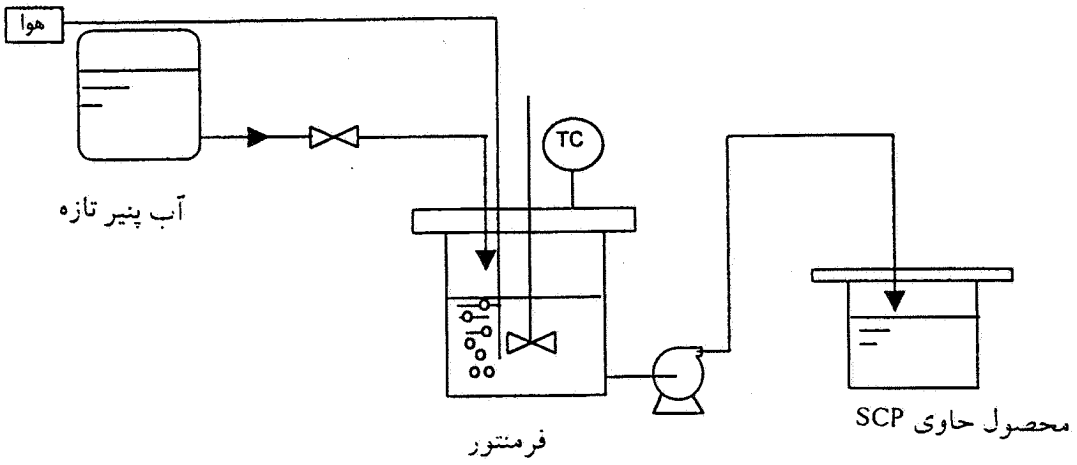
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- جداسازی و انتخاب میکروارگانیسمها

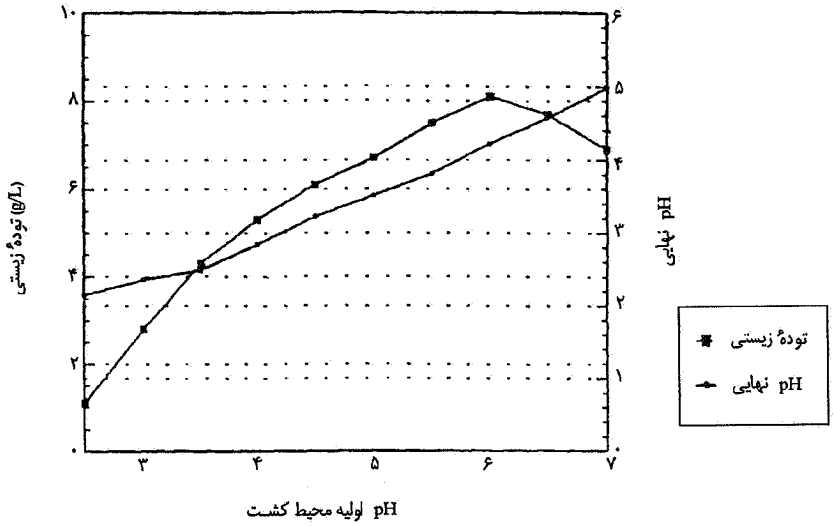
مجموعاً ۷۰ میکروارگانیسم با به‌کارگیری سه محیط کشت N,P,S از انواع مخمرها، ژئوتریکوم و باکتری دیپلوکوکوس از نمونه‌های پساب جداسازی شد. میزان رشد باکتری‌های دیپلوکوکوس در مقایسه با سایر میکروارگانیسمها ضعیفتر بود، به همین دلیل از بین این کلنی‌های جدا شده در گزینش اول ۴۷ کلنی انتخاب شد. در مرحلهٔ دوم هر کدام از کلنی‌های منتخب را مجدداً در سه محیط کشت به صورت غوطه‌ور[18] کشت داده و میزان کاهش COD و تولید تودهٔ زیستی اندازه‌گیری شد. در مرحلهٔ سوم تمامی کلنی‌هایی که قادر به کاهش بیش از ۳۰ درصد COD آب پنیر بودند مجدداً مورد آزمایش قرار گرفتند تا ضمن اطمینان از تکرارپذیری نتایج، گزینش بعدی صورت گیرد. در طی این آزمایشها مشخص شد که مخمرها دارای فعالیت به مراتب بیشتری نسبت به سایر میکروارگانیسمهای جدا شده، هستند. در مرحلهٔ چهارم تمامی کلنی‌هایی که قادر به کاهش بیش از ۳۵ درصد COD آب پنیر بودند مجدداً مورد آزمایش قرار گرفتند که از بین کلنی‌های موجود تنها ۸ مورد گزینش شدند و نهایتاً از بین ۸ کلنی، ۳ مورد که توانایی بهتری داشتند برای آزمایشهای بعدی انتخاب شدند. نتایج مربوط به این مخمرها در جداول (۱) و (۲) آورده شده است. با توجه به اینکه از بین این سه مخمر، با کد SyTIIIa از نظر میانگین تولید تودهٔ زیستی و کاهش COD برتری داشت، برای شناسایی و آزمایشهای بهینه‌سازی انتخاب شد. شناسایی این مخمر برابر روشهای معمول تا حد جنس انجام شد و برابر نتایج به‌دست آمده از جنس تریکوسپورون است.

### ۳-۲- pH

به منظور بهینه‌سازی pH سایر شرایط کشت ثابت نگه داشته شد و فقط مقدار pH تغییر داده شد. برای این آزمایش pH اولیه محیط کشت، در روش مداوم و غیرمداوم اندازه‌گیری شد، بدین ترتیب که pH محیط کشت قبل از تخمیر در محدودهٔ ۲/۵ تا ۷ تغییر داده شد و پس از تخمیر، کاهش COD و تولید تودهٔ زیستی و pH




**شکل ۱- شمای دستگاهی روش کشت مداوم**




**شکل ۲- تغییرات تودهٔ زیستی و pH نهایی محیط کشت با pH اولیه. دمای ۳۴°C، شدت رقیق سازی $۰/۴۲h^{-1}$، شدت هوادهی ۲v.v.m دور همزن ۸۰۰r.p.m**

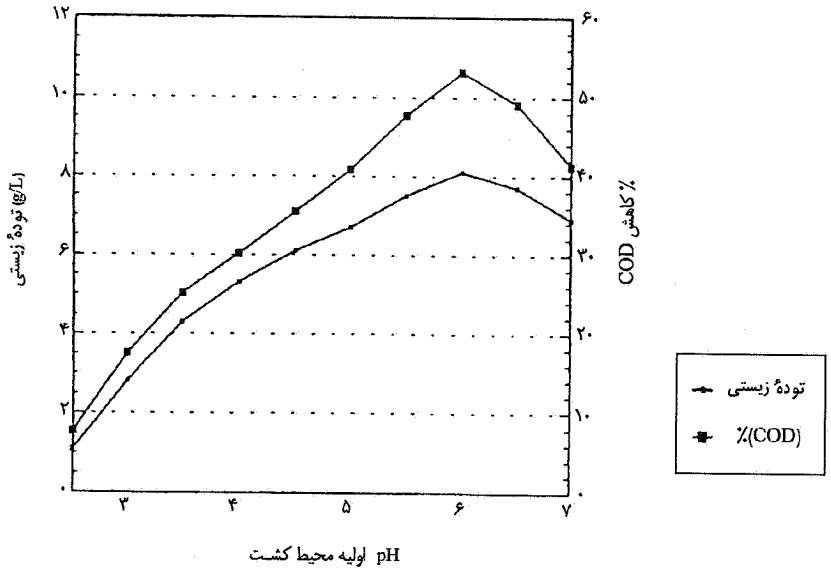
نهایی اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل در شکلهای (۲) و (۳) آورده شده است. براساس این نتایج بیشترین تولید تودهٔ زیستی و کاهش COD در pH = ۶ اولیه است و این کمیت با pH = ۴ ـ ۴/۴ در درون فرمنتور مطابقت دارد.

### ۳-۳- دما

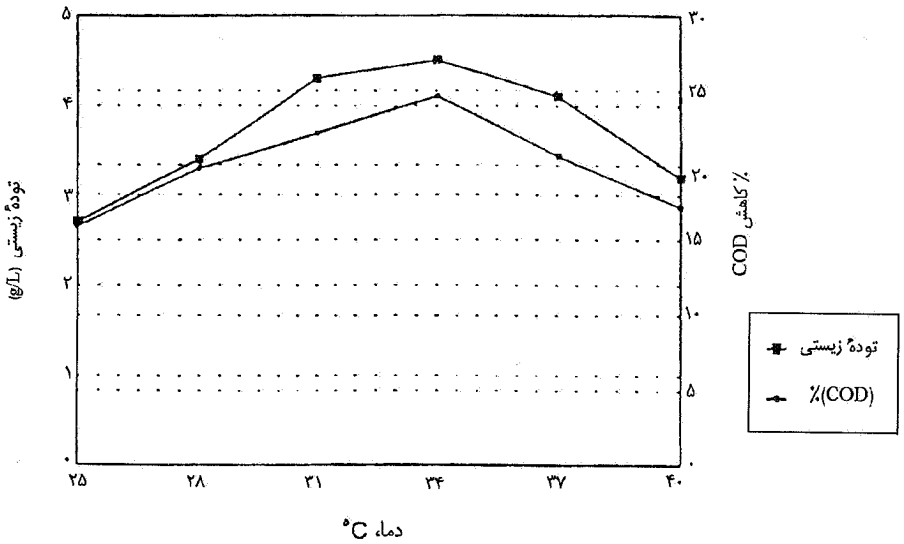
بدین منظور تغییرات میزان کاهش COD و تولید تودهٔ زیستی از دمای ۲۷ تا ۳۹ درجهٔ سانتیگراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در شکل (۴) نشان داده شده است. براساس این نتایج محدودهٔ ۳۱ تا ۳۵ درجهٔ سانتیگراد برای رشد مخمر تریکوسپورن مطلوب است. مسلماً به دلیل گرمازا بودن واکنش تولید تودهٔ زیستی در دمای بالاتر در مقیاس صنعتی اقتصادیتر است.

### ۳-۴- هوادهی

یکی از شرایط لازم برای رشد میکروارگانیسمها فراهم بودن اکسیژن موردنیاز آنهاست که باید به صورت محلول در دسترس آنها قرار گیرد. میزان اکسیژن محلول موردنیاز برای رشد میکروارگانیسمها را می‌توان با دمیدن هوا به درون محیط کشت و به‌هم‌زدن آن تأمین کرد. براساس نتایج به‌دست آمده، شکل (۵) در سیستم غیرمداوم و مداوم با افزایش شدت هوادهی تا مقدار ۲v.v.m




**شکل ۳- تغییرات تودهٔ زیستی و درصد کاهش COD با pH اولیه. دمای ۳۴°C، شدت رقیق سازی $۰/۴۲h^{-1}$، شدت هوادهی ۲v.v.m pH اولیه محیط کشت ۳/۵**

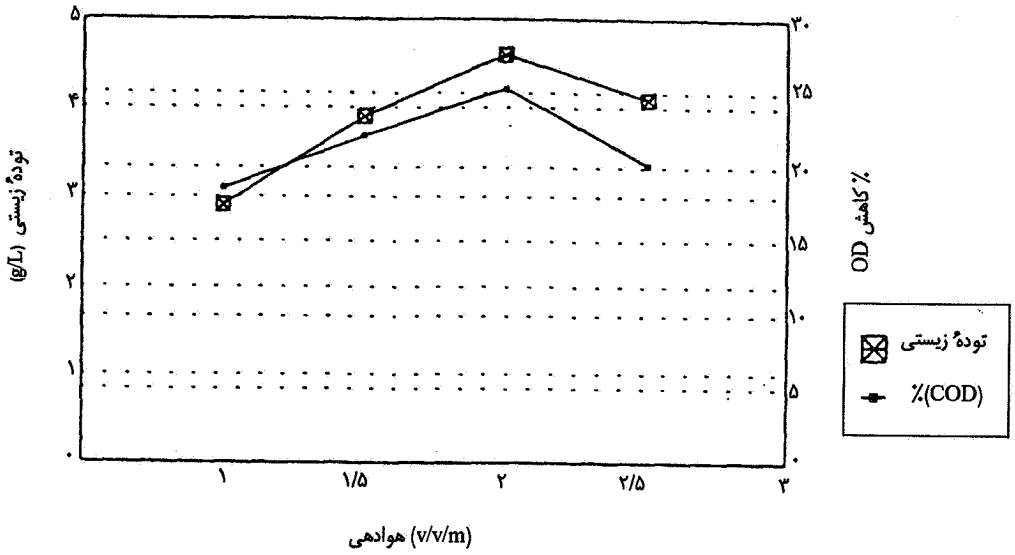



**شکل ۴- تغییرات تودهٔ زیستی و درصد کاهش COD با دما، شدت رقیق سازی $۰/۴۲h^{-1}$، شدت هوادهی ۲v.v.m دورهم‌زن ۸۰۰r.p.m، pH اولیه محیط کشت ۳/۵**

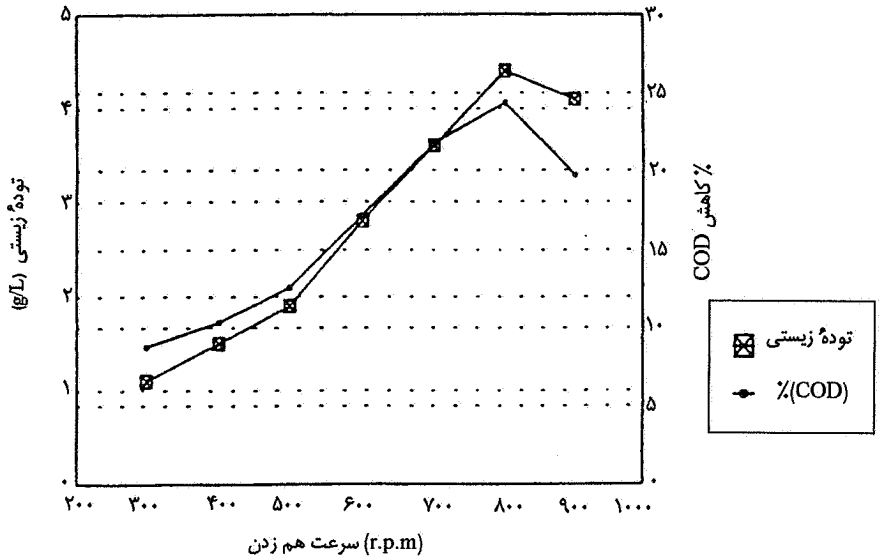
بازدهی افزایش یافته است که این امر به دلیل افزایش مقدار اکسیژن محلول و در نتیجه افزایش رشد مخمر بوده است. افزایش شدت هوادهی بیش از این مقدار باعث کاهش بازدهی شده است، این امر می‌تواند ناشی از افزایش کف و در نتیجه تخریب سلولهای مخمر باشد.

### ۳-۵- دوربه‌هم‌زن

به‌هم‌زدن محیط کشت علاوه بر یکنواخت کردن غلظت اجزای محیط کشت و در دسترس قرار دادن سوبسترا و کاهش اختلاف دما در محیط رشد میکروارگانیسمها از سه طریق باعث افزایش شدت انتقال اکسیژن بین دو فاز مایع و گاز می‌شود: ۱-کاهش قطر حبابهای




**شکل ۵- تغییرات تودهٔ زیستی و درصد کاهش COD با شدت هوادهی. دمای ۳۴°C، شدت رقیق سازی $۰/۴۲h^{-1}$، دور به‌هم‌زن ۸۰۰r.p.m، pH اولیه محیط کشت ۳/۵**

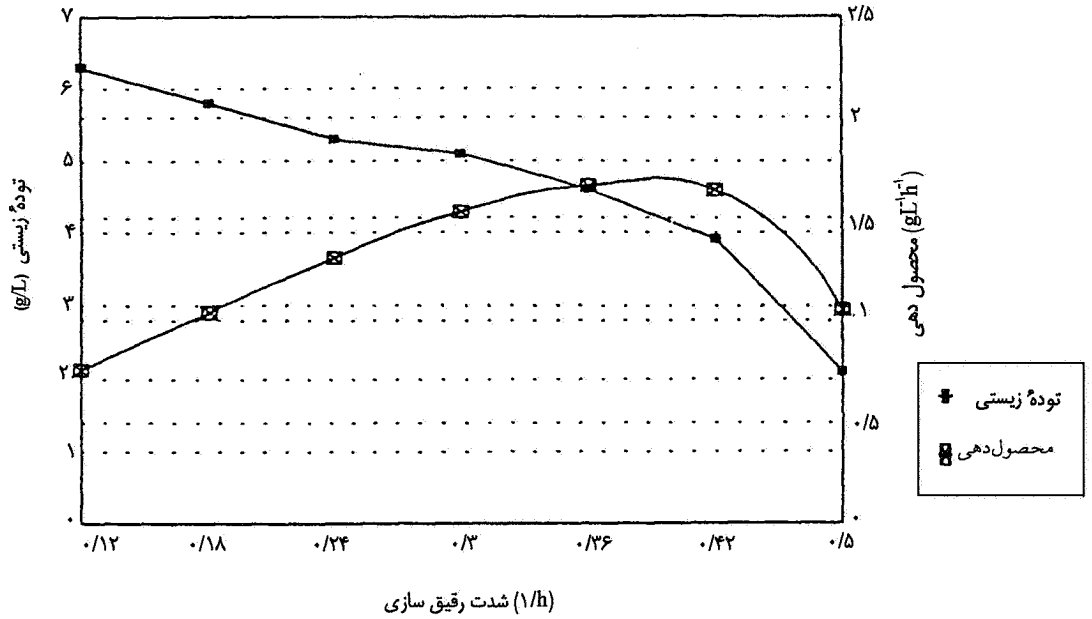



**شکل ۶- تغییرات تودهٔ زیستی و درصد کاهش COD با دور هم‌زن. دمای ۳۴°C، شدت رقیق سازی $۰/۴۲h^{-1}$، شدت هوادهی ۲v.v.m، pH اولیه محیط کشت ۳/۵**

هوا، ۲ـ افزایش زمان تماس بین دو فاز مایع و گاز، ۳ـ کاهش ضخامت لایه مایع ساکن روی حبابها. لذا با ثابت نگاه داشتن سایر شرایط دور به‌هم زن را در محدودهٔ ۳۰۰ تا ۹۰۰ دور در دقیقه مورد آزمایش قرار داده و نتایج به‌دست آمده در شکل (۶) آورده شده است. براساس این نتایج سرعت ۸۰۰ دور در دقیقه به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب شد. افزایش بیشتر دور به‌هم زن باعث اثرات نامطلوب فیزیکی و تخریب سلولها می‌شود.

### ۳-۶- شدت رقیق‌سازی

یکی از عوامل مهم در روش کشت مداوم، شدت رقیق‌سازی

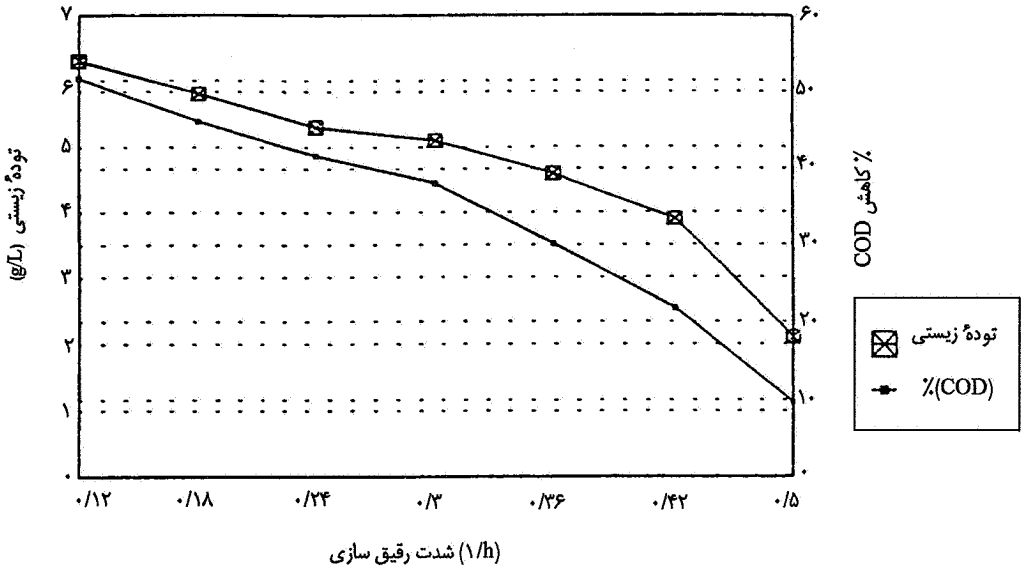



**شکل ۷- تغییرات تودهٔ زیستی و محصول دهی با شدت رقیق سازی. دمای ۳۴°C، شدت هوادهی ۲v.v.m،دور هم‌زن ۸۰۰r.p.m pH اولیه محیط کشت ۳/۵**

**جدول ۳ـ مقایسه کیفیت شیمیایی مخمر تریکوسپورون با چند قارچ مهم صنعتی [۱۵]**

| تحلیلها (٪) | مخمر تریکوسپورون | کاندیدا یوتیلیس | فوزاریوم گرامیناریوم | پسیلومیسس واریوتی |
|---|---|---|---|---|
| پروتیین خام (٪N×۶/۲۵) | ۵۲ | ۴۸ | ۵۴/۱ | ۵۵ |
| کربوهیدرات | ۲۱/۸ | — | — | — |
| چربی | ۰/۹ | ۱/۳۵ | ۱ | ۱ |
| اسیدهای نوکلئیک | ۸/۹ | — | — | — |
| خاکستر | ۸/۶ | ۱۱/۲ | ۶/۱ | ۵ |
| رطوبت | ۱/۸ | ۹ | ۵/۸ | ۴ |

است که میزان خوراک ورودی به فرمنتور را تنظیم می‌کند. برای بهینه‌سازی شدت رقیق‌سازی، ابتدا فرمنتور به صورت غیر مداوم راه‌اندازی شد و پس از اینکه میکروارگانیسم به انتهای فاز لگاریتمی رسید، کشت مداوم با شدت رقیق‌سازی $0/12h^{-1}$ برقرار شد. آنگاه با کنترل و ثابت نگه داشتن دما، دوربه‌هم‌زن، میزان هوادهی، مقدار خوراک ورودی و حجم کاری فرمنتور، حالت پایدار با کنترل جذب نوری محیط کشت و اندازه‌گیری pH نهایی محیط کشت جستجو شد. مقادیر شدت رقیق‌سازی در محدودهٔ $0/12h^{-1}$ تا $0/5h^{-1}$ مورد آزمایش قرار گرفت. براساس این نتایج، بیشترین محصول دهی در شدت رقیق‌سازی $0/42h^{-1}$ برابر $3/4gL^{-1}h^{-1}$ به‌دست آمد. شکلهای (۷) و (۸) این نتایج را نشان می‌دهد. با به‌کارگیری سینتیک و روابط مربوط به کشت مداوم، یا با رسم منحنی رشد و محاسبه شیب در شرایط کشت غیرمداوم مقادیر $\mu$ و $t_d$ محاسبه شد که به ترتیب برابرند با $0/59h^{-1}$ و $1/163h^{-1}$ [۱۱]. این




**شکل ۸- تغییرات تودهٔ زیستی و درصد کاهش XOΔ با شدت رقیق سازی. دمای ۳۴°C، شدت هوادهی ۲v.v.m، دور همزن ۸۰۰ $\rho.\pi.\mu$ pH اولیه محیط کشت ۳/۵**

مقادیر بیانگر آن است که مخمر تریکوسپورن دارای سرعت رشد مناسب بوده و دراشل صنعتی دارای بازدهی مناسب و قابل مقایسه با مخمر ساکارومیسیس سرویزیه[19] است، با این تفاوت که این مخمرها قادر به رشد بر روی محیط کشت حاوی لاکتوز است.

### ۳-۷- ارزش تغذیه‌ای SCP

SCP به‌دست آمده در شرایط بهینه در روش مداوم پس از جداسازی از محیط کشت و خشک کردن در دمای ۱۰۵°C از نظر مقدار پروتیین خام، چربی، اسیدهای نوکلئیک، خاکستر و رطوبت مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. نتایج در جدول (۳) در مقایسه با چند قارچ مهم و صنعتی آورده شده است. براساس این جدول مشخص می‌شود که مخمر تریکوسپورون به‌دست آمده تحت شرایط بهینه از نظر ارزش غذایی مناسب برخوردار است و لذا می‌توان پس از اتمام آزمایشهای بهداشتی و تغذیه‌ای از آن به‌عنوان مادهٔ مکمل خوراک دام و طیور استفاده کرد.


### قدردانی

ازحوزهٔ پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس که پشتیبانی مالی اجرایی این پروژه رابه‌عهده داشتند تشکر می‌شود.


### واژه‌نامه

1. single cell protein (SCP)
2. Trichosporon sp.
3. specific growth rate
4. doubling time
5. dilution rate
6. productivity
7. utrafiltration
8. Sartorious
9. Beckman
10. Simadzu
11. New Brunswick
12. colony
13. Ampoul
14. Somogy-Nelson
15. permeate
16. shake flask
17. working volume
18. submerge
19. Saccharomyces cerevisiae
20. Candida utilis
21. Fusarium graminearum
22. Paecilomy varioti

### مراجع


1. Jones, H. R., *Pollution Control in the Dairy Industry*, Noyes Data Corp., New Jersey, p.263, 1974.
2. Moebus, O. M., and Teaber, M., *General Aspects of Production of Biomass by Yeast Fermentation from Whey and Whey Permeate*, Elsevier sience Publishing CO., pp. 124-161, 1983.

3. Dalamini, A. M., and Peiris, P.S., "Biopolymer Production by a Klebsiella oxytoca Isolate Using Whey as Fermentation Substrate," *Biotechnology Letters*, Vol.V 90, No. 2, pp. 12-130, 1997.
4. Litchfield, J. H., "Production of Single-Cell Protein for Use in Food or Feed," In *Microbial Technology*, ed. Peppler H. J., and Perlaman D., Vol. 1, 2nd ed., pp. 93-155. Academic, New York, 1979.
5. Shojaosadati, S. A., Ghazali, M. N., "Single Cell Protein production from Methanol-Utilizing Bacteria in I. R. Iran," *Amirkabir*, Vol. 8, NO.30, pp. 33-41,1996.
6. Tahoun, M. K., El - Merheb, Z., Salam, A. and Youssef, A., "Biomass and Lipids from Lactose or Whey by Trichosporon beiglii, "*Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 24, pp. 358-360, 1987.
7. Barraquio, V. L., Silverio , Revilleza, R. P. and Fernadez, W.L., "Production of Protein - Rich Animal Feed Supplement from Cheese Whey," *Milchwissenschaft*, 36 (4), 1981.
8. El-Dien, H. N., and Halasz, A., "Attempts to Utilize Whey for the Production of Yeast Protein," *Acta Alimentaria*, Vol. ll (1), pp. 11-19, 1982.
9. Muller, L. L., "Yeast products from Whey, "*Process Biochemistry*, pp. 21-23, January 1969.
10. Mawson, A. J., "Yeast Biomass Production From Acid Whey Permeate, "*Biotechnology Letters*, Vol. 10 (7), pp. 503-508, 1988.
۱۱. شجاع‌الساداتی، سیدعباس.، "تولید SCP از آب پنیر،" گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، ص ۶۴-۸۱، بهار ۱۳۷۷.
12. AOAC, "*Official Methods of Analysis*," (13th ed.), Association Offficial Analytical Chemists, Washington, 1980.
13. Sandra, R. C. V., and Tauk, S. M.," Optimal Conditions For SCP Production by Mixed Cultures of *A. niger* and CR. Laurentll Grown in Sugar Cane Vinasse Medium," *Rev. Microbial, sto pallo*, 25(2), pp. 129-135, 1994.
14. Algur, O. F., and Gokalp, H. Y., "Same Fermentation Parameters Influencing Single Cell Protein Production by Rhizoppus arrizus and Actinomucor elegans," *J. Biology*, 15. pp. 190-197, 1991.
15. Olsen, J., and Allerman, K., *Microbial Biomass as a Protein Source*, *Basic Biotechnology*, Academic Press, London, pp. 225-307, 1987.