

## تولید کاروتنوئید از آب پنیر توسط مخمر قرمز رنگ ردوترولا آکنیوروم، جداسازی شده از شیرۀ درختان توس طالقان

ایرج نحوی، محسن واعظ و گیتی امتیازی<sup>۱</sup>

### چکیده

کاروتنوئیدها از مهم ترین و رایج ترین رنگیزه های طبیعی هستند، که وظایف بیولوژیک مهمی را در موجودات زنده برعهده دارند، و هم چنین، رنگ مشخص و جذابی را به بسیاری از حیوانات پرورشی می بخشد. در دهه اخیر استفاده از کاروتنوئیدهای با منشأ میکروبی، به علت دارا بودن مزایایی چون طبیعی و مقرون به صرفه بودن آنها، مورد توجه پژوهشگران واقع شده است. در این بین، مخمرهای تولید کننده کاروتنوئید با توانایی مصرف لاکتوز به ندرت جداسازی شده اند، و اطلاعات کمی در زمینه تولید کاروتنوئیدهای مخمری با استفاده از سویستراهای حاوی لاکتوز، از جمله آب پنیر گزارش شده است. در این تحقیق یک سویه از مخمر قرمز رنگ مولد کاروتنوئید به نام ردوترولا آکنیوروم از شیرۀ درختان توس منطقه ماسه چال طالقان جداسازی گردید و توسط آزمون های میکروسکوپی، ماکروسکوپی و بیوشیمیایی شناسایی شد.

نتایج نشان داد که مخمر جداسازی شده توانایی مصرف لاکتوز و تولید کاروتنوئید را تماماً دارا می باشد. ارزیابی شرایط مطلوب کشت مقادیر ماکزیم بیوماس و کاروتنوئید را به ترتیب معادل  $9/9 \text{ g/lit}$  و  $290 \mu\text{g/g}$  برآورد نمود. ضمناً آنالیز شیمیایی عصاره کاروتنوئیدی استخراج شده از این مخمر، مؤید حضور بتاکاروتن، ترولین و ترولورودین، به عنوان کاروتنوئیدهای اصلی تولید شده بود. با توجه به این که آب پنیر یکی از فراورده های جانبی صنایع پنیر سازی کشور است، و متأسفانه در حال حاضر اکثراً به هدر می رود و باعث آلودگی محیط زیست می شود، استفاده از این ماده در تولید مواد با ارزشی چون کاروتنوئیدها می تواند از اهمیت شایانی برخوردار باشد.

واژه های کلیدی: کاروتنوئید، ردوترولا آکنیوروم، آب پنیر

### مقدمه

ترولین<sup>۴</sup> و ترولورودین<sup>۵</sup> اجزای اصلی این رنگیزه ها در این گروه از مخمرها می باشند (۷)، که به عنوان پیش ماده ویتامین A و نیز یک رنگ خوراکی طبیعی در صنایع غذایی و دارویی اهمیت

تشکیل رنگیزه های کاروتنوئیدی یکی از خصوصیات جنس ردوترولا<sup>۲</sup> است (۳ و ۱۴). بتاکاروتن<sup>۳</sup> همراه با دو کاروتنوئید

۱. به ترتیب استادیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

2. *Rhodotorula* 3. Beta carotene 4. Torulene 5. Torularhodin



داخل سلولی بودند، برای بهینه‌سازی میزان تولید، اقدام به بهینه نمودن بیوماس تولیدی توسط مخمر مورد استفاده گردید، و اثر عوامل مختلف، شامل غلظت قند لاکتوز و سولفات آمونیوم محیط کشت آب پنیر، دما، pH، سرعت هوادهی و زمان کشت در سه تکرار انجام پذیرفت.

### نتایج

جداسازی و شناسایی میکروفلور مخمری تولید کننده کاروتنوئید شیرۀ درختان توس در این تحقیق دو گونه مخمر کاروتنوئیدی شامل ردوترولا آکنیوروم و اسپوریوبولوس رویینتی<sup>۳</sup> با ظاهر کلنی کاملاً متفاوت جداسازی گردید (جدول ۱)، که با استفاده از کلید شناسایی موجود و چند تست تکمیلی، گونه‌های مذکور شناخته شد (جدول ۲). در نهایت، گونه اول به لحاظ دارا بودن خصوصیت دیگر، یعنی توانایی مصرف قند لاکتوز، به عنوان سویه برتر انتخاب و در مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

### تجزیه شیمیایی کاروتنوئیدهای استخراجی

طیف جذبی عصاره سلولی استخراج شده از مخمر ردوترولا آکنیوروم (شکل ۱) نشان‌دهنده حضور رنگیزه‌های کاروتنوئیدی در این گونه جداسازی شده بود، و تجزیه شیمیایی TLC، حضور سه ترکیب اصلی بتا کاروتن، ترولین و ترولورودین را با توجه به گزارش‌های قبلی در این جنس تأیید می‌نمود (جدول ۳).

### بررسی اثر غلظت قند لاکتوز و سولفات آمونیوم

با بررسی چهار غلظت از قند لاکتوز در محیط کشت آب پنیر، میزان ۷۵ g/l آن، تولید بیوماس مخمری بالاتر و به تبع آن کاروتنوئید بیشتر، به ازای هر لیتر محیط کشت می‌نمود (شکل ۲).

هم‌چنین، غلظت دو گرم در لیتر از سولفات آمونیوم، به عنوان تأمین کننده منبع نیتروژن، مناسب‌تر دیده شد (شکل ۳).

$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ،  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ،  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ،  $\text{H}_2\text{O}$  ۰/۰۰۷۵ گرم،  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ،  $\text{H}_2\text{O}$  ۰/۰۰۵ گرم و  $\text{H}_3\text{BO}_3$  اضافه گردیده است. پس از آماده سازی، محیط فوق به میزان ۵۰ ml در ارلن‌های ۲۵۰ میلی لیتری تقسیم و استریل گردید (۱۹).

### شکست سلول‌های مخمری و استخراج کاروتنوئیدها

از آن‌جا که کاروتنوئیدهای تولید شده توسط مخمر ترکیبات داخل سلولی می‌باشند، برای استخراج آنها روش‌های مختلفی از شکست سلولی، شامل استفاده از هم‌زن برقی و ذرات شیشه به قطر ۰/۵ mm (۳ و ۴)، استفاده از دستگاه هموژنیزه کننده ساخت شرکت IKA (۳)، استفاده از دستگاه اولتراسونیک و استفاده از حلال دی‌متیل سولفوکساید (DMSO) به شکل داغ (۳ و ۱۸) مورد مطالعه قرار گرفت، که روش اخیر به سبب کارایی بالا، سرعت عمل و سادگی برای آزمون‌های بعدی آنالیز انتخاب شد. بعد از شکست سلول‌های مخمری، کاروتنوئیدهای تولید شده توسط حلال پترولیم اتر استخراج و مقدار آن محاسبه گردید (۳، ۴، ۷ و ۱۰).

### آنالیز شیمیایی ترکیبات کاروتنوئیدی تولیدی

کاروتنوئیدهای استخراج شده توسط پترولیم اتر، از نظر طیف جذبی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر پیشرفته<sup>۱</sup> در دامنه طول موج ۴۰۰-۶۰۰ نانومتر مورد آنالیز قرار گرفت. به منظور شناسایی کامل تر اجزای تشکیل دهنده عصاره کاروتنوئیدی استخراج شده، از تکنیک کروماتوگرافی نازک لایه<sup>۲</sup> روی صفحاتی از جنس سیلیکاژل خنثی و منیزیم اکسید و حلال پترولیم اتر و استن به نسبت (۱۰:۱) استفاده و با تفکیک باندهای به دست آمده از هر یک، نوع کاروتنوئیدهای تولید شده شناسایی اولیه گردید.

### بررسی اثر پارامترهای محیط کشت بر تولید کاروتنوئید

از آن‌جا که کاروتنوئیدهای تولید شده توسط مخمرها ترکیبات

1. Specord S

2. Thin Layer Chromatography

3. *Sporidiobolus ruinenii*

جدول ۱. مورفولوژی مخمرهای جداسازی و شناسایی شده

نام مخمر	رنگ کلنی	اندازه کلنی* (mm)	سطح کلنی	اطراف کلنی
ردوترولا آکتیوروم	قرمز رنگ	۱-۳	محدب	صاف
اسپوریدیوبولوس رویینتی	قرمز کم رنگ	۱-۴	آتش فشانی	دنداندار

\*: بعد از ۵ روز در ۲۲°C روی محیط YM آگار

جدول ۲. نتایج تست‌های شناسایی مخمرهای جداسازی شده

نام تست	نام مخمر	ردوترولا آکتیوروم	اسپوریدیوبولوس رویینتی
مصرف هوازی قند د-گزیلوز		+	+
مصرف هوازی قند مالتوز		+	+
مصرف هوازی قند لاکتوز		+	-
مصرف هوازی قند د-مانیتول		+	+
مصرف نیترات		+	+
مصرف اتیل آمین		-	-
رشد در غياب ویتامین بیوتین		+	+
رشد در غياب ویتامین PABA		+	+
رشد در دمای ۲۵°C		+	+
رشد در دمای ۳۰°C		-	-
رشد در دمای ۳۷°C		-	-
رشد در حضور ۱/۰٪ سیکلو هگزامید		-	W <sup>1</sup>
تشکیل نشاسته خارج سلولی		+	-
تولید رشته یا فیلامنت		-	+
تولید هیف کاذب		-	+
تولید بالیستوسپور		-	+

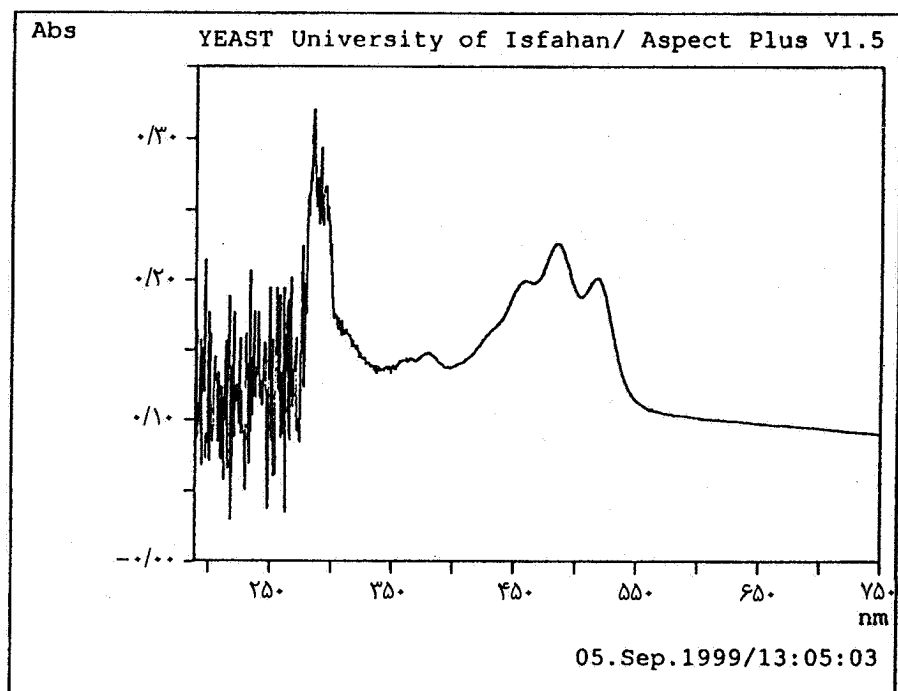
۱. ضعیف

بررسی اثر pH، دما و سرعت هوادهی

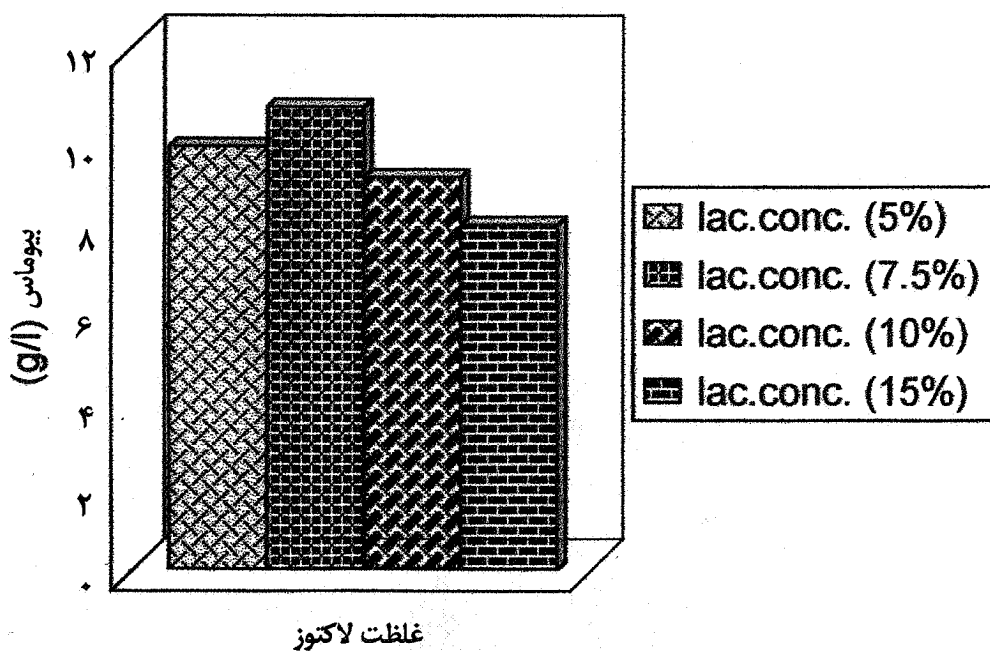
بالاترین بیوماس تولیدی توسط مخمر در pH=۵/۵ حاصل گردید (شکل ۴). هر چند که مخمر در حد وسیعی از pH قادر به رشد بود، اما در pH کمتر از سه رشد محسوسی قابل مشاهده

نبود.

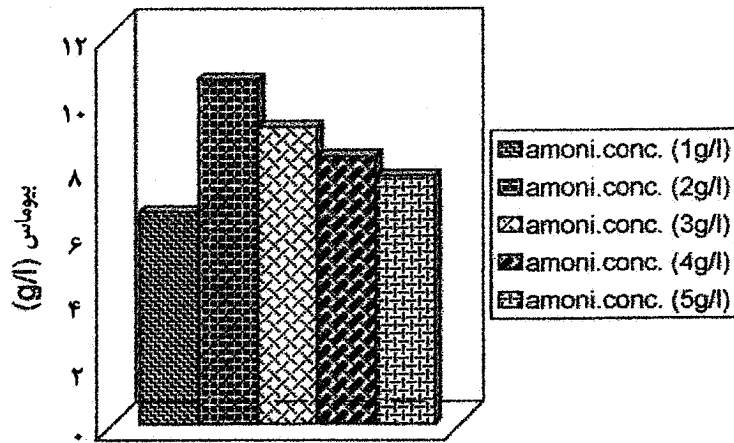
مناسب‌ترین دمای رشد مخمر جداسازی شده در ۲۲°C تعیین گردید (شکل ۵)، و مشخص شد که رشد مخمر فوق در دمای بالاتر از ۲۸°C به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.



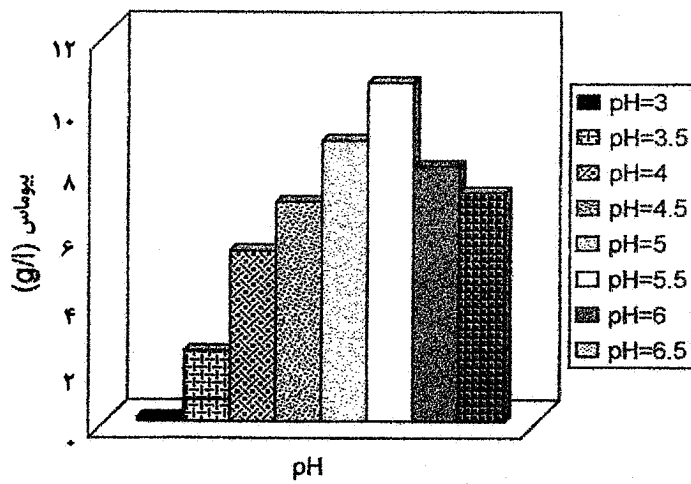
شکل ۱. طیف جذبی عصاره کاروتنوئیدی استخراج شده از ردوترولا آکنیوروم در حلال پترولیوم اتر



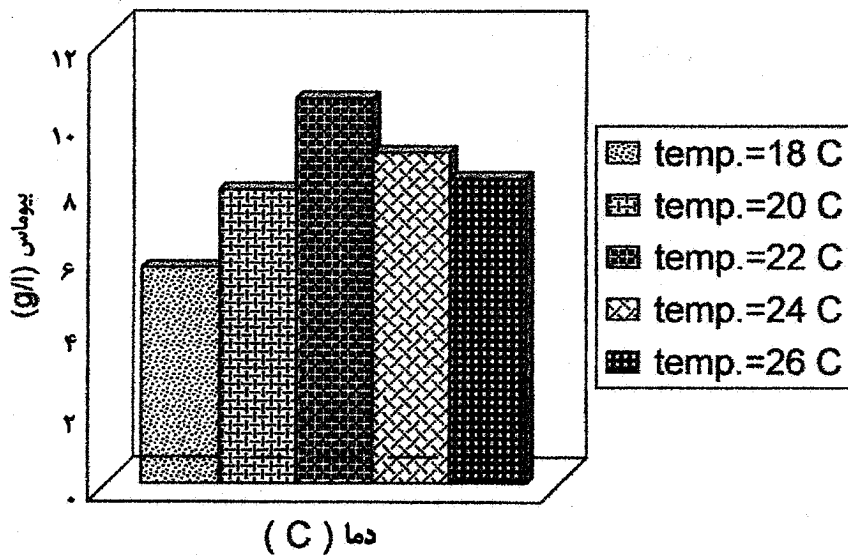
شکل ۲. اثر غلظت قند لاکتوز آب پنیر بر بیوماس تولید شده توسط مخمر



شکل ۳. اثر غلظت سولفات آمونیوم بر بیوماس تولید شده توسط مخمر  
غلظت سولفات آمونیوم



شکل ۴. اثر pH بر بیوماس تولید شده توسط مخمر



شکل ۵. اثر دما بر بیوماس تولید شده توسط مخمر

جدول ۳. ترکیبات کاروتنوئیدی شناسایی شده در عصاره استخراج شده از سلول‌های مخمری، توسط حلال پترولیوم اتر با استفاده از تکنیک TLC

نام کاروتنوئید	$\lambda_{max}$
بتا - کاروتن	۴۵۲
ترولین	۴۸۵
ترولورودین	۵۱۵

جدول ۴. مقایسه میزان تولید کاروتنوئید توسط مخمرهای لاکتوز مثبت با سویه برتر جداسازی شده

مطالعه انجام شده	منبع ۷ و ۸	منبع ۲۰	تحقیق حاضر
کاروتنوئید کل تولیدی	۲۶۸ $\mu\text{g/g}$	۸۶/۸ $\mu\text{g/g}$	۲۹۰ $\mu\text{g/g}$
مخمر مورد استفاده	<i>R. glutinis</i>	<i>R. lactosa</i>	<i>R. acheniorum</i>

آکنیوروم، جدا شده از شیرۀ درختان توس منطقه طالقان، علاوه بر توانایی تولید نسبتاً زیاد کاروتنوئید، قادر است قند لاکتوز را نیز مصرف کند. این در حالی است که گزارش‌های کمی در زمینه مخمرهای کاروتنوئیدی لاکتوز مثبت و کاربرد صنعتی آنها وجود دارد.

سویه جداسازی شده اخیر، در مقایسه با سویه‌های مخمری به کار گرفته شده توسط سایر پژوهشگران، از تولید کاروتنوئید نسبتاً بیشتری برخوردار است (جدول ۴).

در نهایت، بعد از بهینه سازی شرایط محیط کشت آب پنیر (غلظت لاکتوز ۷۵ و سولفات آمونیوم دو گرم در لیتر، pH=۵/۵، دمای ۲۲°C و سرعت هوا دهی ۲۵۰ دور در دقیقه)، میزان تولید کاروتنوئید ۲۸۷۱ میکروگرم در لیتر (شکل ۸ج)، معادل ۲۹۰ میکروگرم در گرم (شکل ۸ب) و بیوماس ۹/۹ گرم در لیتر (شکل ۸الف) در مدت ۵ روز به دست آمد، و بازده تولید بیوماس بر مبنای مصرف قند لاکتوز به حداکثر ۶۳/۱۲٪ رسید.

سعی بر آن است که در پژوهش‌های آینده میکروفلور مخمری درختان توس سایر مناطق کشور از نظر حضور سویه‌های دیگری چون قافیا ردوزیما<sup>۱</sup>، تولید کننده کاروتنوئید

از آن جا که مخمر ردوترولا آکنیوروم یک مخمر غیر تخمیری است، هوادهی اثر مهمی بر رشد و تولید کاروتنوئید آن دارد. از طرفی، چون مقدار هوادهی محیط کشت با سرعت تکان خوردن آن بر حسب دور در دقیقه رابطه مستقیم دارد، اقدام به تعیین میزان آن گردید، و برای ۵۰ ml محیط کشت در ظروف ۲۵۰ میلی لیتری مقدار ۲۵۰ دور در دقیقه مناسب به نظر رسید (شکل ۶). هم چنین، مشخص گردید که در سرعت‌های فراتر از این مقدار، به علت ایجاد نیروی تنش بر میکروارگانیسم، میزان رشد کاهش می‌یابد.

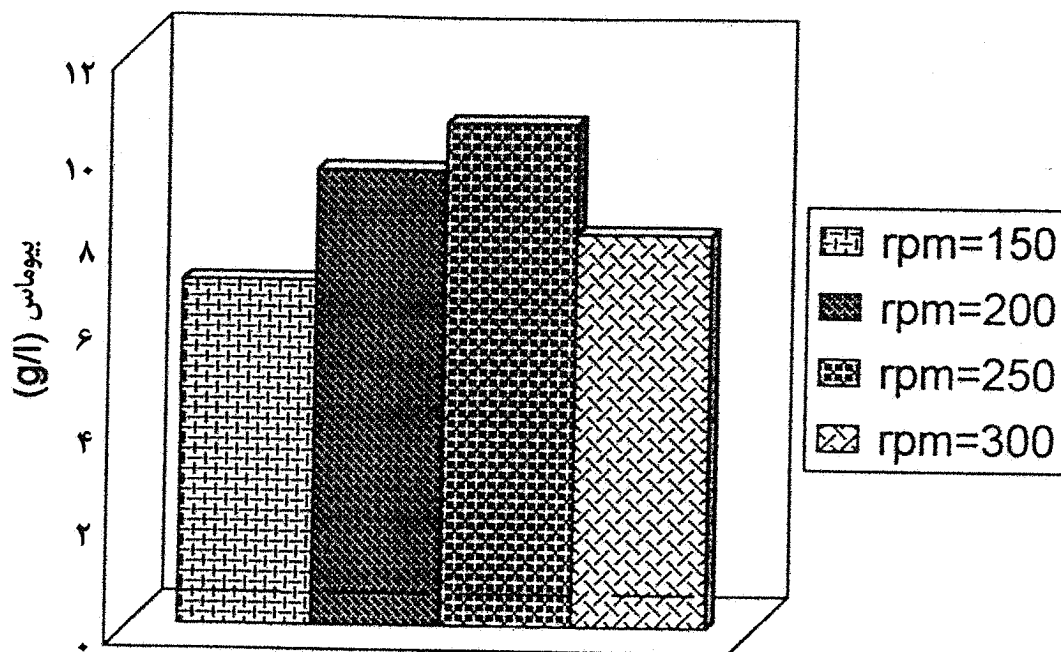
#### بررسی اثر مدت زمان کشت

آزمایش‌ها نشان داد که حداکثر بیوماس تولیدی توسط این مخمر در روز چهارم به دست می‌آید (شکل ۷)، و به دنبال آن کاهش جزئی در مقدار بیوماس (شکل ۸الف) و افزایش تدریجی در کاروتنوئید سلول، باعث می‌شود که کاروتنوئید تولید شده در محیط کشت در روز پنجم حداکثر مقدار خود را دارا باشد (شکل ۸ب و ۸ج).

#### بحث و نتیجه گیری

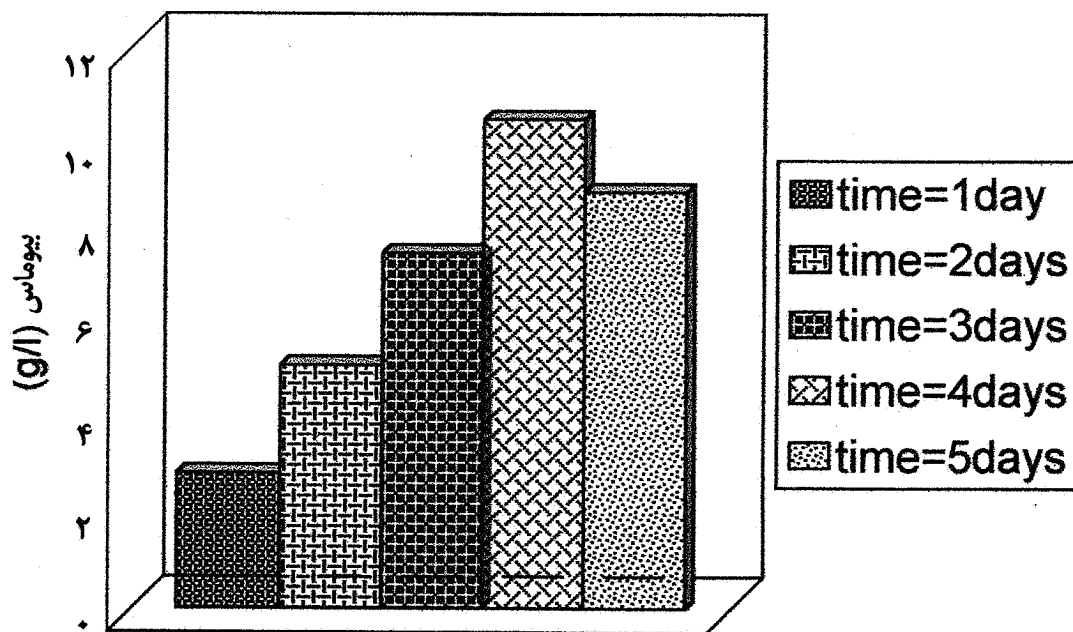
در تحقیق حاضر مشخص شد که مخمر قرمز رنگ ردوترولا

1. *Phaffia rhodozyma*



دور در دقیقه

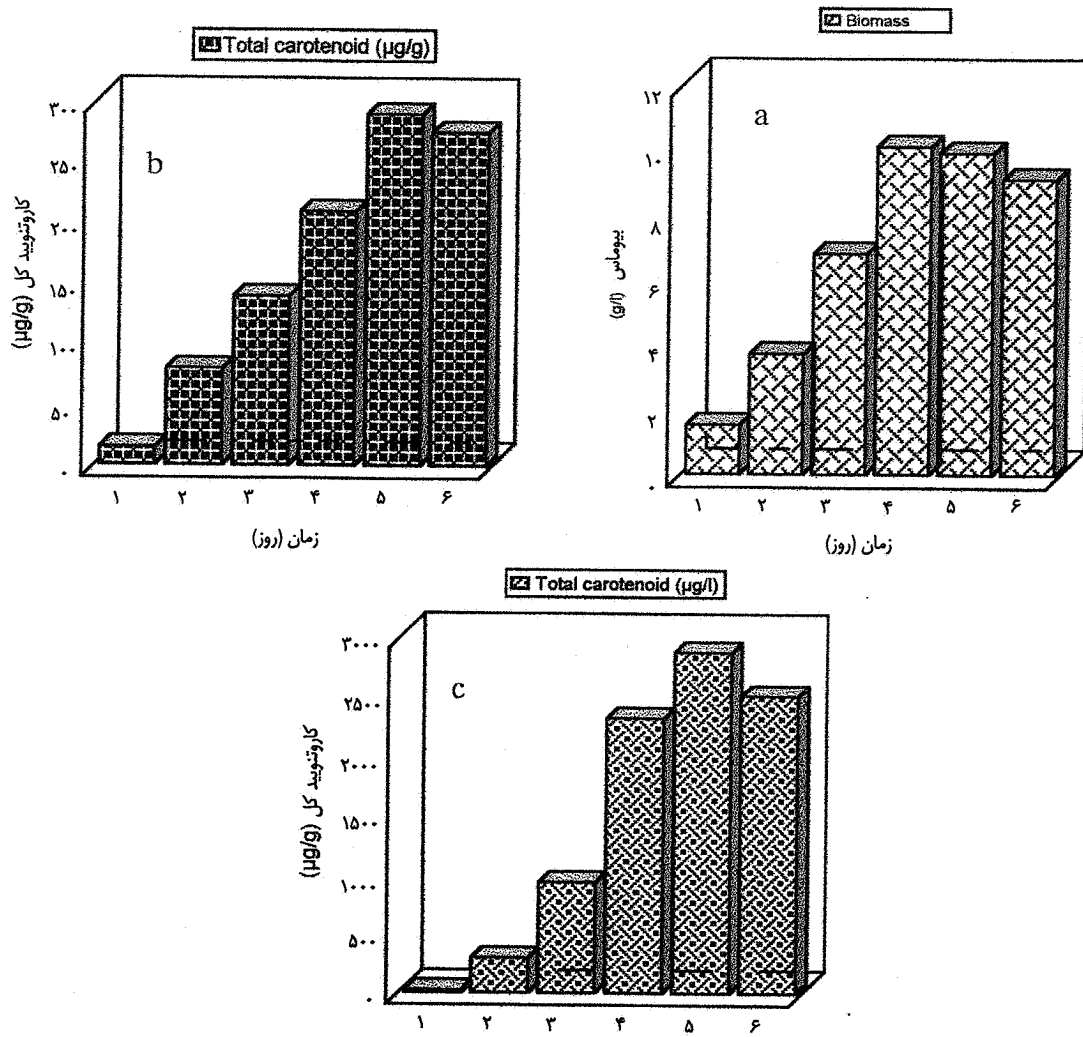
شکل ۶. اثر سرعت هوادهی بر بیوماس تولید شده توسط مخمر



زمان

شکل ۷. اثر مدت زمان کشت بر بیوماس تولید شده توسط مخمر





شکل ۸. نتیجه نهایی بعد از بهینه‌سازی پارامترهای محیط کشت مخمر در مدت شش روز

الف) نمودار بیوماس تولیدی (g/l)      ب) نمودار کاروتنوئید تولیدی (µg/g)      ج) نمودار کاروتنوئید تولیدی (µg/l)

آستاگزانتین، که از مناطق دیگری از دنیا گزارش شده است (۲) و (۹)، مورد بررسی قرار گیرد.

آقای نادری ریاست محترم جهاد سازندگی طالقان به خاطر کمک در شناسایی منطقه تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### سپاسگزاری

بدین وسیله از آقایان مهندس سید علی خانی و مهندس گرشاسبی از اداره آبخیزی جهاد سازندگی شهرستان ساوجبلاغ و

## منابع مورد استفاده

۱. نحوی، ا. و ز. صهبائی. ۱۳۷۷. بررسی تولید پروتئین تک یاخته (SCP) از آب پنیر. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان ۱ و ۲: ۲۹-۴۴.
۲. نحوی، ا. و م. واعظ. ۱۳۷۸. تولید آستاگزانتین از منابع میکروبی و کاربرد آن در پرورش ماهی. مجله آبی پروری ۲۶: ۵۷-۶۱.
۳. واعظ، م. ۱۳۷۸. جداسازی و شناسایی مخمرهای تولید کننده کاروتنوئید و کاربرد آنها در صنعت. پایان نامه کارشناسی ارشد زیست شناسی، دانشگاه اصفهان.
4. An, G. H., D. B. Schuman and E. A. Johnson. 1989. Isolation of *Phaffia rhodozyma* mutants with increased astaxanthin content. *Appl. and Environ. Microbiol.* 55: 116-124.
5. Barnett, J. A., R. W. Payne and D. Yarrow. 1983. *Yeasts: Characteristics and Identification*. Frist edition, Cambrige Univ. Press, Cambrige.
6. Ershova, Y. A., A. Dmitrovsky, O. Polulyakh, O. Podoprigova and V. Bykhovky. 1992. Enzymatic conversion of torulene and torularhodin to retinal. *Prikladnaya Biokhimiya Mikrobiologia* 28: 680-684.
7. Frengova, G., E. Simova, K. Paulova, D. Beshkova and D. Grigorova. 1994. Formation of carotenoids by *Rhodotorula glutinis* in whey ultrafiltrate. *Biotech. and Bioeng.* 44: 888-894.
8. Frengova, G., E. Simova and D. Beshkova. 1997. Caroteno-protein and exopolysaccharide production by co-cultures of *Rhodotorula glutinis* and *Lactobacillus helveticus*. *J. Indust. Microbiol. and Biotech.* 18: 272-277.
9. Golubev, W. I. 1995. Perfect state of *Rhodomycetes dendrorhous* (*Phaffia rhodozyma*). *Yeast* 11: 101-110.
10. Haard, N. F. 1988. Astaxanthin formation by the yeast *Phaffia rhodozyma* on molasses. *Biotech. Letters* 10: 609-614.
11. Hayman, G. T., B. M. Mannarelli and T. D. Leathers. 1995. Production of carotenoids by *Phaffia rhodozyma* grown on media composed od corn wet-milling co-products. *J. Indust. Microbiol.* 14: 389-395.
12. Kurtzman, C. P. and J. W. Fell. 1998. *The Yeasts: A Taxonomic Study*. Fourth edition, Elsevier, Amsterdam.
13. Margalith, P. Z. 1992. The carotenoid pigments. *In: Pigment Microbiology*. First edition, pp. 32-76, Chapman and Hall, London.
14. Matelli, I., N. O. da Silva and D. Pomeroy. 1990. Production of  $\beta$ -carotene by a *Rhodotorula* strain grown on sugar-cane juice. *Biotech. Letters* 12: 207-208.
15. Meyer, P. S. and J. C. Du Preez. 1994. Astaxanthin production by a *Phaffia rhodozyma* mutant on grape juice. *World J. Microbiol. and Biotech.* 10: 178-183.
16. Miller, M. W., M. Yoneyama and M. Soneda. 1976. *Phaffia* a new yeast genus in the *Deuteromycotina* (*Blastomycetes*). *Internat. J. Systematic Bacteriol.* 26: 286-291.
17. Okagbue, R. N. and M. J. Lewis. 1984. Use of alfalfa residual juice as a substrate for propagation of the red yeast *Phaffia rhodozyma*. *Appl. Microbiol. and Biotech.* 20: 33-39.
18. Sedmak, J. J., D. K. Weerasinghe and S. O. Jolly. 1990. Extraction and quantitation of astaxanthin from *Phaffia rhodozyma*. *Biotech. Techniques* 4: 107-112.
19. Willetts, A. and U. Ugald. 1987. The production of single cell protein from whey. *Biotech. Letters* 9: 795-800.
20. Zalashko, M. V. 1990. *Biotechnology of Milk Whey Processing*. Science Press, Moscow.