

## تولید اگزوپلی ساکارید توسط *Bacillus pasteurii* و بررسی خواص ضدباکتریایی و ضداکسیدانی آن

لایق کریمی، مجتبی تاران\*، مهدی ذبیحی

دانشکده علوم پایه، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

### چکیده

**سابقه و هدف:** اگزوپلی ساکاریدها بیوپلی مرهایی هستند که توسط میکروارگانیسم‌ها به محیط اطراف ترشح می‌شوند. هدف از این تحقیق تعیین شرایط برای تولید حداکثری اگزوپلی ساکارید توسط باکتری *Bacillus pasteurii* و بررسی خواص ضدباکتریایی و ضداکسیدانی آن بود.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه بر اساس روش تاگوچی و توسط نرم‌افزار Qulitek-4 برای تولید اگزوپلی ساکارید آزمایش طراحی شد. سپس از اگزوپلی ساکارید تولید شده غلظت‌های مختلفی تهیه و به‌منظور بررسی خواص ضدباکتریایی به اثر آن بر روی باکتری‌های استافیلوکوکوس ارئوس و اشریشیاکلی پرداخته شد. به‌منظور بررسی فعالیت ضداکسیدانی ۴ غلظت از اگزوپلی ساکارید تهیه و توسط سه روش مهار فعالیت رادیکالی DPPH، رادیکالی سوپراکسیدانی و رادیکال هیدروکسیل اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** بهترین شرایط برای بیش‌ترین میزان تولید اگزوپلی ساکارید پس از گذشتن ۴۸ ساعت از کشت باکتری با میزان غلظت نمک ۰/۵ میلی گرم بر میلی لیتر و ساکارز ۱ میلی گرم بر میلی لیتر بود. نتایج حاصل از فعالیت ضدباکتریایی نشان داد که بیش‌ترین هاله عدم رشد مربوط به غلظت ۴۰۰ µg/ml بود. نتایج فعالیت ضداکسیدانی در هر سه روش به کار گرفته شده در این مطالعه نشان داد که در غلظت ۱۰۰۰ g/ml از اگزوپلی ساکارید بیش‌ترین فعالیت مهار وجود دارد.

**نتیجه‌گیری:** با تعیین چند عامل کلیدی می‌توان بیش‌ترین میزان اگزوپلی ساکارید توسط باکتری باسیلوس پاستوری را تولید و به‌منظور فعالیت ضدباکتریایی و ضداکسیدانی از آن استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** اگزوپلی ساکارید، *Bacillus pasteurii*، ضدباکتریایی، ضداکسیدانی

### مقدمه

یک لایه لزج خارجی که سبب چسبندگی به دیگر سلول‌ها، تعامل‌های سلول-سلول (یکی از ویژگی‌های گونه‌های بیماری‌زا)، به شکل یک کپسول یا گلیکوکالیکس متصل به دیواره سلولی که سبب محافظت در برابر شرایط نامطلوب گردد و یا سبب پایداری مکانیکی دیواره سلولی، کنترل انتشار مولکول‌ها به سلول و خروج سایر متابولیت‌ها، تشکیل یک ماده ذخیره کننده انرژی و یا در برخی از میکروارگانیسم‌ها، پلی-ساکاریدها، نقشی آنزیمی پیدا می‌کنند (لیزازهای پلی-ساکاریدی) که سبب تجزیه پلی‌مرهای قندی به مونومرها شوند (۶). مهم‌ترین پلی‌ساکاریدهای تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها شامل: زانتان، ژلان، آلژینات، کوردلان، پلوان و بیوپولی‌مرهای کم‌تر صنعتی یا کم‌تر مورد مطالعه نظیر لوان، آلترنان، دکستران میکروبی، پلی‌ساکاریدهای

پلی‌ساکاریدها مولکول‌هایی با وزن مولکولی بالا هستند که از واحدهای قندی کوچک‌تری به نام مونوساکاریدها ساخته می‌شوند و از طریق پیوند گلیکوزیدی بهم متصل هستند (۹). نقش پلی‌ساکاریدها در سلول‌های باکتریایی می‌تواند به‌صورت

### نویسنده مسئول:

دانشگاه رازی، دانشکده علوم پایه، گروه میکروبیولوژی  
پست الکترونیکی: Mehdi.zabihi.1368@gmail.com  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۳۰  
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۲۹

هتروپلی مرهای قندی خنثی، اورونیک اسید، قندهای غیر معمول یا ترکیبهای قند - پروتئین را تولید می کنند. برخی از اگزوپلی ساکاریدی های تولید شده توسط باسیلوس دارای فعالیت های امولسیون، فلوکلانت های زیستی، توانایی حذف فلزات سنگین و یا فعالیت های دارویی هستند (۱۳). هدف از این مطالعه تعیین چند عامل کلیدی برای تولید اگزوپلی - ساکارید توسط سویه *B.pasteuri* و بررسی اثرهای زیستی از جمله فعالیت ضدباکتریایی و ضداکسیدانی آن بود.

## مواد و روش ها:

### تهیه سویه باکتری و محیط کشت

به منظور تولید اگزوپلی ساکاریدها، سویه باکتری *Bacillus pasteurii* PTCC 1645 از سازمان پژوهش های علمی - صنعتی ایران خریداری و تهیه گردید. باکتری پس از تهیه، بر روی محیط کشت نوترینت آگار حاوی ۲۰٪ اوره کشت داده شد و در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه گذاری گردید. محیط کشت بر اساس روش لیو (Liu) و همکاران با اندکی تغییرهایی که شامل ۰/۰۵ گرم عصاره گوشت، ۰/۱۲۵ گرم  $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ ، ۰/۱۲۵ گرم  $NH_4^+SO_4^{5-}$ ، ۰/۰۱ گرم  $Na_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ ، ۰/۰۲۵ گرم  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ، ۰/۱۰۰ گرم  $(NH_4)_2SO_4$ ، ۵۰ میلی لیتر آب مقطر، تهیه شد (pH=۷) (۱۳).

### تولید اگزوپلی ساکارید و طراحی آزمایش

برای تولید اگزوپلی ساکارید توسط سویه باکتری باسیلوس باستوری آزمایش های مختلفی توسط نرم افزار Qualitek-4 و با استفاده از روش تاگوچی طراحی شد. تاگوچی مجموعه ای از جداول را به عنوان جدول آرایه های متعامد تهیه می کند که بر اساس مراحل و وضعیت های مختلف آزمایش ها است. در این تحقیق برای ۳ عامل در ۳ سطح، تاگوچی ۹ مرحله آزمایش را در قالب جدول (جدول شماره ۲) پیشنهاد می کند که در ستون به نوع عامل موردنظر و ردیف ها به سطوح هر یک از عوامل اشاره دارد. در این تحقیق ۳ عامل زمان (در سه سطح ۲۴-۴۸-۷۲ ساعت)، غلظت ساکارز (در سه سطح ۱ گرم - ۱/۵ گرم - ۲ گرم) و غلظت نمک (در سه سطح ۰/۰۵ گرم - ۰/۱ گرم - ۰/۱۵ گرم) به عنوان متغیر جهت بررسی بهترین شرایط برای تولید اگزوپلی ساکارید از باکتری *B.pasteuri* تعیین شد (جدول شماره ۱). محیط کشت تهیه

باکتری های اسید لاکتیک پلی ساکاریدهای قارچی مانند زایموزان و... هستند که از نظر خصوصیت های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی با هم متفاوت بوده و در برنامه های کاربردی تجاری و صنعتی مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند. در مقایسه با پلی ساکاریدهای جدا شده از منابع گیاهی که برای اهداف مشابه نیز استفاده می شوند، پلی ساکاریدهای میکروبی دارای مزایای بهتری مانند: پروسه های تولید در مقیاس بزرگ یا در فضا و زمان تولید نسبتاً محدود، به خوبی قابل کنترل است، ویژگی های شیمیایی پایداری دارند و میزان در دسترس بودن منابع در بازار زیاد است (۱۷).

پلی ساکاریدهای میکروبی به دو شکل تولید می شوند، پلی - ساکاریدهای کپسولی<sup>۱</sup> و اگزوپلی ساکاریدها<sup>۲</sup>. اگزوپلی ساکاریدهای (EPS) میکروبی پلی مرهای محلول و نامحلولی هستند که توسط میکروارگانیسم ها به محیط اطراف ترشح می شوند (۱۹). اگزوپلی ساکاریدها در بخش های مختلفی نظیر مواد غذایی و دارویی به کار برده می شوند. به علت ویژگی های فیزیکی و رئولوژیکی موجود در ساختار اگزوپلی ساکاریدها، به طور گسترده ای در صنایع غذایی به عنوان یک ماده دارای ویسکوزیته، پایدار کننده، ژله ای و یا عامل امولسیون کاربرد دارد (۴-۱۰). براساس مطالعه های جدید اگزوپلی ساکاریدی های تولید شده توسط باکتری ها، به عنوان فلوکلانت های زیستی، جذب کننده های زیستی، عامل حذف فلزات سنگین، عامل دارویی و... شناخته می شود (۲۱). در سال های اخیر توجه به کاربردهای بیولوژیکی اگزوپلی ساکاریدی های به دلیل فعالیت ضدتوموری، ضدویروسی، ضدالتهابی و تحریک کننده سیستم ایمنی بسیار زیاد شده است (۲). در سال های اخیر پلی - ساکاریدها از باکتری ها، مخمرها، قارچ ها و گیاهان گزارش شده اند که دارای فعالیت های ضداکسیدانی اند و می توانند به عنوان ضداکسیدان های طبیعی مورد استفاده قرار گیرند (۲۳). باسیلوس ها یک گروه مهم از باکتری ها است که مزایای متعددی نسبت به سایر باکتری ها دارد که شامل رشد آسان، حفظ و نگهداری بهتر است که آن را برای کارهای تولیدات صنعتی مناسب نموده است. تعداد زیادی از سویه های باسیلوس نشان داده اند که به هیچ وجه بیماری زا نیستند و علاوه بر این اگزوپلی ساکاریدهای تولید شده توسط این باکتری ها دارای طیف وسیعی از فعالیت های بیولوژیکی و ویژگی های تکنیکی نیز هستند (۸). گونه باسیلوس و سویه - های آن اگزوپلی ساکاریدی های نوع لاوان  $\beta$ -1,3-Glucan و

<sup>1</sup> Capsule polysaccharides

<sup>2</sup> Exopolysaccharides

تغییر، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی-گراد قرار داده شدند تا از باکتری جدا گردند. سپس به منظور خالص سازی هر دو نمونه اگزوپلی ساکاریدی های متصل به سلول و ترشح شده به داخل محیط کشت نمونه‌ها در دستگاه سانتریفیوژ ۴ درجه سانتی-گراد به مدت ۱۰ دقیقه و در دور rpm ۱۰۰۰۰، سانتریفیوژ شدند (۷). مایع رویی جداسازی شده و رسوب دور ریخته شد. جهت رسوب اگزوپلی ساکاریدی به هر کدام از نمونه‌ها ۱ حجم اتانول ۹۶٪ اضافه و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴ درجه نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه و با دور rpm ۶۰۰۰ سانتریفیوژ گردید، مایع رویی دور ریخته شده و رسوب پس از خشک شدن وزن گردید (۲۲).

### آنالیز FT-IR

Fourier transform infrared spectroscopy روشی است که اطلاعاتی در مورد نحوه ارتعاش و حرکت مولکول‌ها به ما می‌دهد، از این رو به عنوان یک تکنیک مهم برای شناسایی خصوصیت‌های یک ماده به کار می‌رود. در این پژوهش عمده ترین گروه‌های ساختاری و عاملی اگزوپلی ساکاریدی به وسیله اسپکتروسکوپی با استفاده از روش KBr آنالیز شد. نمونه‌های اگزوپلی ساکاریدی در داخل پلیت‌های KBr با نسبت ۱:۱۰۰ قرار داده شدند. نمونه‌ها در دستگاه FT-IR (Bruker) Tensor 27 ساخت کشور آلمان در ناحیه فرکانس  $400\text{ cm}^{-1}$  تا  $4000\text{ cm}^{-1}$  قرار داده شدند و نتایج به صورت نمودار و پیک مورد بررسی قرار گرفت (۲۰).

### بررسی فعالیت ضد باکتریایی

برای بررسی فعالیت ضد میکروبی و باکتریایی، ۴ غلظت مختلف ( $100\text{--}200\text{--}300\text{--}400\text{ }\mu\text{g/ml}$ ) از اگزوپلی ساکارید تهیه شد و بعد از استریل کردن به مدت ۲۴ ساعت به دیسک‌های خالی منتقل شدند، سپس این دیسک‌ها به پلیت‌هایی که باکتری‌های اشریشیاکلی (*E. coli* ATCC 25922) از گرم منفی‌ها و استافیلوکوکوس ارئوس (*S. aureus* ATCC 43300) از گرم مثبت‌ها به صورت چمنی کشت داده و اضافه شدند. با کمک محلول نیم مک‌فارلند رقت مناسب از کشت ۲۴ ساعته از باکتری‌ها تهیه و سپس بر روی محیط کشت مولر- هینتون آگار کشت داده شدند. پلیت‌ها به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی-گراد نگهداری شدند، سپس هاله عدم رشد باکتری‌ها اندازه گیری شد. نتایج حاصله، با

شده و به ۹ ارلن ۲۵۰ ml اضافه و سپس در دمای  $121^{\circ}\text{C}$  و فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه اتوکلاو گردید، سپس ۲۰٪ اوره به وسیله فیلترهای ۰/۲ میکرونی به محیط کشت اضافه شد. پس از اتوکلاو کردن، در شرایط به طور کامل استریل، به هر کدام از ارلن‌ها به وسیله لوپ، باکتری‌ها اضافه و سپس ارلن‌ها در انکوباتور شیکردار، در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  و چرخش rpm ۱۲۰ گرمخانه گذاری شدند. نمونه برداری از ارلن‌ها پس از گذشتن زمان‌های ۲۴ - ۴۸ - ۷۲ ساعت انجام و نتایج گزارش گردید (۱۸).

جدول ۱- عوامل و سطوح مورد بررسی

| عامل        | سطح ۱ | سطح ۲ | سطح ۳ |
|-------------|-------|-------|-------|
| زمان (ساعت) | ۲۴    | ۴۸    | ۷۲    |
| ساکارز      | ۱     | ۱/۵   | ۲     |
| غلظت نمک    | ۰/۰۵  | ۰/۱   | ۰/۱۵  |

جدول ۲- نه آزمایش طراحی شده مطابق روش تاگوچی

| شماره ارلن<br>(۲۵۰ ml) | زمان (ساعت) |    |    | غلظت ساکارز |     | غلظت نمک |      |
|------------------------|-------------|----|----|-------------|-----|----------|------|
|                        | ۲۴          | ۴۸ | ۷۲ | ۱           | ۱/۵ | ۰/۱      | ۰/۱۵ |
| ۱                      | ۲۴          |    |    | ۱           |     | ۰/۱۵     |      |
| ۲                      | ۲۴          |    |    | ۱/۵         |     | ۰/۱      |      |
| ۳                      | ۲۴          |    |    | ۲           |     | ۰/۰۵     |      |
| ۴                      | ۴۸          |    |    | ۱           |     | ۰/۰۵     |      |
| ۵                      | ۴۸          |    |    | ۱/۵         |     | ۰/۱۵     |      |
| ۶                      | ۴۸          |    |    | ۲           |     | ۰/۱      |      |
| ۷                      | ۷۲          |    |    | ۱           |     | ۰/۱      |      |
| ۸                      | ۷۲          |    |    | ۱/۵         |     | ۰/۱۵     |      |
| ۹                      | ۷۲          |    |    | ۲           |     | ۰/۰۵     |      |

### استخراج و خالص سازی اگزوپلی ساکاریدی‌های متصل به سلول و اگزوپلی ساکاریدی‌های که توسط باکتری به محیط کشت ترشح می‌شوند

برای جداسازی اگزوپلی ساکاریدی‌های متصل به باکتری بر اساس روش Garcîagaribay and Marshall با اندکی

$\Delta A_1$  تفاوت مقدار جذب در هر ۳۰ ثانیه برای غلظت‌های مختلف نمونه است.  $\Delta A_0$  تفاوت مقدار جذب در هر ۳۰ ثانیه بدون نمونه است (۵).

انجام مهار فعالیت رادیکال هیدروکسیل نیز بر اساس روش Fang و همکاران انجام شد که یک مخلوط واکنش حاوی ۰/۲ میلی‌لیتر brilliant green (۰/۴۵ mM)، ۰/۵ میلی‌لیتر  $\text{FeSO}_4$  (۰/۵ mM)، ۰/۵ میلی‌لیتر  $\text{H}_2\text{O}_2$  (۳.۰%w/v) و ۰/۵ میلی‌لیتر از رقت‌های مختلف اگزوپلیساکارید ( $\mu\text{g/ml}$  ۲۰۰-۱۰۰۰-۸۰۰-۴۰۰) در لوله‌های آزمایش پوشیده شده در فویل آلومینیومی قرار داده شدند و در ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه انکوبه و سپس به مدت ۵ دقیقه در ۴۰۰g سانتریفوژ شد و جذب در ۶۲۴ نانومتر اندازه‌گیری گردید. مهار فعالیت رادیکال هیدروکسیل توسط معادله زیر تعیین شد

$$\text{Hydroxyl RSA \%} = [(A_0 - A_1) / (A - A_1)] * 100$$

$A_0$  جذب نوری محلول با غلظت‌های مختلف نمونه است.  $A_1$  جذب نوری محلول در غیاب نمونه است.  $A$  جذب نوری محلول در غیاب سیستم نمونه‌ها و  $\text{H}_2\text{O}_2$  است (۵).

### آنالیز آماری

به‌منظور دستیابی به نتایج آماری دقیق‌تر داده‌ها به‌صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار بیان شدند. در صورتی‌که آنالیز یک طرفه واریانس (آنووا) از مدل خطی عمومی یک تفاوت معنادار داشته باشد سطح معنادار  $p < ۰/۰۵$  مورد توجه است و همه آنالیزهای آماری با استفاده نرم‌افزار آماری SPSS ورژن ۱۶ انجام شدند.

### یافته‌ها

#### نتایج نهایی تولید اگزوپلیساکارید

پس از نمونه‌برداری از ارلن‌ها، میزان تولید اگزوپلیساکارید تولید شده مورد آزمایش، مورد بررسی قرار گرفت و در جدول شماره یک به نمایش در آمده است. بر اساس این نتایج، ارلن شماره ۴ پس از گذشت ۴۸ ساعت بیش‌ترین مقدار اگزوپلیساکاریدی را تولید نمود که میزان آن ۳۰/۶۶ گرم / لیتر بود.

آنتی‌بیوتیک‌های تتراسایکلین و وانکومایسین با غلظت ( $\mu\text{g}$  ۳۰۰) مقایسه و ارزیابی شد (۱۲).

### بررسی فعالیت ضد اکسیدانی

به‌منظور بررسی فعالیت ضد اکسیدانی ۴ غلظت از اگزوپلیساکارید ( $\mu\text{g/ml}$  ۲۰۰-۴۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰) تهیه گردید و بر اساس روش Fang و همکاران مهار فعالیت رادیکالی DPPH، مهار فعالیت رادیکالی سوپراکسیدانی و مهار فعالیت رادیکال هیدروکسیل اندازه‌گیری و نتایج با آسکوربیک اسید (ویتامین C) مقایسه شد.

مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH به‌وسیله اگزوپلیساکاریدی بر اساس روش فانگ Fang و همکاران انجام شد که به‌طور مختصر به‌صورت زیر است. ۰/۵ میلی‌لیتر از غلظت‌های مختلف اگزوپلیساکارید ( $\mu\text{g/ml}$  ۲۰۰-۴۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰) با ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اتانولی DPPH اضافه و به‌طور کامل مخلوط شدند، سپس در لوله‌های آزمایشی که با فویل آلومینیومی پوشیده شده بود ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس در طول موج ۵۱۷ نانومتر جذب آن گرفته شد. مهار فعالیت‌های رادیکالی (RSA) DPPH با توجه به فرمول زیر محاسبه گردید:

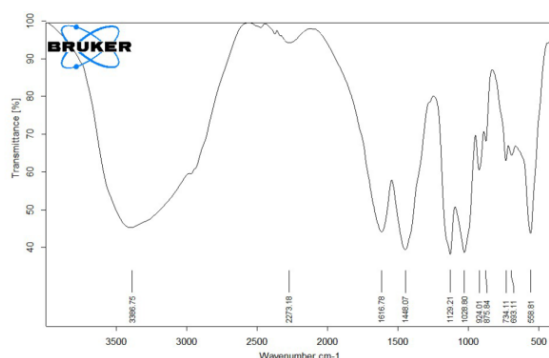
$$\text{DPPH RSA \%} = [(A_0 - A_1) / A_0] * 100$$

$A_1$  جذب نوری محلول با غلظت‌های مختلف نمونه است.  $A_0$  جذب نوری محلول DPPH بدون نمونه است (۵).

مهار فعالیت رادیکالی سوپراکسیدانی با کمی تغییر به‌صورت زیر انجام شد. بر انجام این روش ۰/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات (50 mM, pH 8.34) با ۰/۴ میلی‌لیتر از رقت‌های مختلف اگزوپلیساکارید ( $\mu\text{g/ml}$  ۲۰۰-۴۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰) مخلوط و به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت، سپس ۰/۱ میلی‌لیتر پیروکالول (۳ mM) از پیش گرم شده را در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اضافه و محلول مخلوط را سپس در جذب ۳۲۵ نانومتر به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت. مهار فعالیت رادیکال آنیون سوپراکسید با توجه به فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{Superoxide anion RSA \%} = [(\Delta A_0 - \Delta A_1) / \Delta A_0] * 100$$

وجود پیک‌ها نشان دهنده پلی‌ساکاریدی بودن و خالص بودن ماده سنتز شده هست. وجود پیک پهن ناحیه  $3396/75\text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده گروه‌های هیدروکسل O-H است. همچنین وجود پیک در ناحیه  $2273/18\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه‌های C-H است. وجود پیک در ناحیه  $1616/78\text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده وجود C=O و گروه‌های کربوکسیل در این ترکیب است. پیک در ناحیه  $1460/02\text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده وجود گروه‌های  $\text{COO}^-$  است و همچنین پیک در ناحیه  $1129/21\text{ cm}^{-1}$  تا  $900\text{ cm}^{-1}$  نشان دهنده وجود گروه‌های C-O و C-O-C است (۲۰).



شکل ۱- آنالیز FT-IR پلی ساکارید تولید شده

### بررسی فعالیت آنتی‌باکتریایی

به منظور بررسی فعالیت آنتی‌باکتریایی ۴ غلظت مختلف ( $400\text{ }\mu\text{g/ml}$  -  $300\text{ }\mu\text{g/ml}$  -  $200\text{ }\mu\text{g/ml}$  -  $100\text{ }\mu\text{g/ml}$ ) از اگزوپلی ساکارید تهیه شد و میزان تأثیر آنتی باکتریال آن بر دو سویه از باکتری‌های استافیلوکوکوس ارئوس و اشیریشیالکی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن با آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین و وانکومایسین با غلظت ( $300\text{ }\mu\text{g/ml}$ ) مقایسه و در جدول شماره ۶ به نمایش در آمد. در هر دو باکتری بیشترین قطر هاله عدم رشد مربوط به غلظت  $400\text{ }\mu\text{g/ml}$  بود. برای باکتری اشیریشیالکی بیشترین قطر هاله عدم رشد تشکیل شده ۱۶ میلی‌متر بود که کمابیش برابر با آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین (۱۷ میلی‌متر) است. برای باکتری استافیلوکوکوس ارئوس بیشترین هاله عدم رشد تشکیل شده ۱۸ میلی‌متر بود که برابر با هاله عدم رشد تشکیل شده در اثر آنتی‌بیوتیک وانکومایسین (۱۸ میلی‌متر) است. به طور کلی با افزایش غلظت اگزوپلی ساکارید میزان تأثیر فعالیت آنتی‌باکتریال آن نیز افزایش پیدا کرده است. در این مطالعه میزان تأثیر غلظت اگزوپلی ساکارید در مقدار  $100\text{ }\mu\text{g/ml}$  کم‌تر از بقیه غلظت‌ها است ولی در سایر غلظت‌ها تفاوت معناداری وجود ندارد ( $P < 0.05$ ).

جدول ۳- نتایج نهایی تولید اگزوپلی ساکارید توسط باکتری *B. pasteurii*

| شماره آزمایش | میزان تولید (g/ml) |
|--------------|--------------------|
| ۱            | ۱۲/۶۶              |
| ۲            | ۱۷/۳۳              |
| ۳            | ۱۳/۳۳              |
| ۴            | ۳۰/۶۶              |
| ۵            | ۱۲                 |
| ۶            | ۱۰/۶۶              |
| ۷            | ۶/۶۶               |
| ۸            | ۵/۳۳               |
| ۹            | ۶/۶۶               |

### تأثیر هریک از عوامل و سطوح آن‌ها برای تولید اگزوپلی ساکارید

تأثیر هر یک از سطوح و عامل‌های مختلف بر تولید اگزوپلی ساکارید در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- اثر سطوح مختلف عوامل بر تولید اگزوپلی ساکارید

| عامل     | سطح ۱  | سطح ۲  | سطح ۳  | سطح ۱ - سطح ۲ |
|----------|--------|--------|--------|---------------|
| زمان     | ۱۴/۴۳۹ | ۱۷/۷۷۳ | ۶/۲۱۶  | ۳/۳۳۳         |
| ساکارز   | ۱۶/۶۵۹ | ۱۱/۵۵۳ | ۱۰/۲۱۶ | -۵/۱۰۶        |
| غلظت نمک | ۱۸/۲۱۶ | ۹/۵۵   | ۱۰/۶۶۳ | -۸/۶۶۶        |

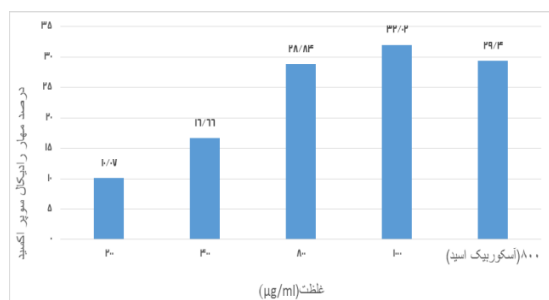
بر اساس نتایج به دست آمده از جدول شماره ۴ بهترین سطوح مناسب برای تولید اگزوپلی ساکارید در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. بر اساس این جدول بیشترین سهم مربوط به عامل غلظت نمک با مقدار  $5/406$  که در سطح ۱ قرار دارد. همچنین کمترین سهم مربوط به عامل ساکارز با میزان  $3/849$  می‌باشد که در سطح ۱ قرار گرفته است. مطابق این جدول برای عامل زمان با سهم  $4/963$  بهترین حالت سطح ۲ هست.

جدول ۵- تعیین سطوح مناسب برای تولید اگزوپلی ساکارید

| عامل     | سطح | سهم   |
|----------|-----|-------|
| زمان     | ۲   | ۴/۹۶۳ |
| ساکاروز  | ۱   | ۳/۸۴۹ |
| غلظت نمک | ۱   | ۵/۴۰۶ |

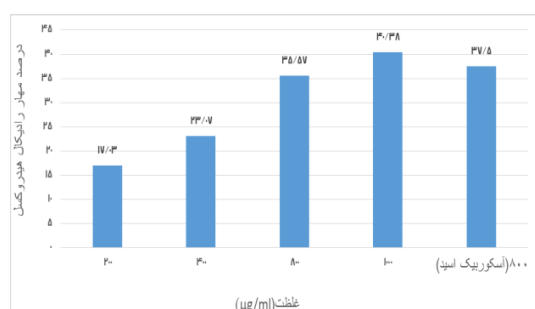
### نتایج حاصل از آنالیز FT-IR

شکل شماره ۱ نتیجه FT-IR برای نمونه سنتز شده را که از فرکانس  $4000\text{ cm}^{-1}$  -  $400\text{ cm}^{-1}$  در بر می‌گیرد نشان می‌دهد،



شکل ۳: درصد مهار رادیکال سوپراکسید اگزوپلی ساکارید تولید شده توسط سویه *B. pasteurii* مقادیر به صورت میانگین  $\pm$  انحراف از معیار بوده و تفاوت میانگین ها در سطح معنی  $P < 0.05$  دار در نظر گرفته شده است.

رادیکال هیدروکسیل اکسیدانی قوی است و کمابیش می تواند با تمام مولکول های زیستی واکنش نشان دهد (۳). مهار فعالیت رادیکال هیدروکسیل به وسیله اگزوپلی ساکاریدی جدا شده از باکتری *B. pasteurii* بر اساس نمودار ۴ است که در آن درصد مهار فعالیت این رادیکال در غلظت  $1000 \mu\text{g/ml}$  (۴۰/۳۸٪) از غلظت  $800 \mu\text{g/ml}$  آسکوربیک اسید (۳۷/۵٪) اندکی بیش تر بود.



شکل ۴- درصد مهار رادیکال هیدروکسیل اگزوپلی ساکارید تولید شده توسط سویه *B. pasteurii* مقادیر به صورت میانگین  $\pm$  انحراف از معیار بوده و تفاوت میانگین ها در سطح معنی  $P < 0.05$  دار در نظر گرفته شده است.

## بحث

در سال های اخیر پیشرفت های بسیاری در زمینه استفاده از مواد پلی مری حاصل شده است. در میان انواع پلی مرها، اگزوپلی ساکاریدها به دلیل ویژگی های مطلوبی که دارند از اهمیت بالایی برخوردار هستند. به تازگی استفاده از میکروارگانیسم ها برای تولید اگزوپلی ساکاریدها به دلیل کارایی بهتر هم چون خواص ضدسرطانی و ضد میکروبی در مقایسه با اگزوپلی ساکاریدهای جانداران و گیاهان در حال افزایش است (۱۴). به همین منظور در این تحقیق برای حداکثری اگزوپلی-

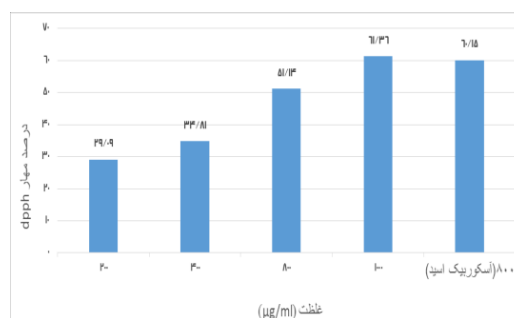
جدول ۶- تأثیر غلظت های مختلف بر عدم رشد باکتری ها

| غلظت اگزوپلی- ساکارید $\mu\text{g/ml}$ | <i>E. coli</i> ATCC 25922<br>قطر هاله عدم رشد (میلی متر) | <i>S. aureus</i> ATCC 43300<br>قطر هاله عدم رشد (میلی متر) |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 100                                    | $10.8 \pm 0.3$                                           | $11.2 \pm 0.3$                                             |
| 200                                    | $14.1 \pm 0.4$                                           | $15.7 \pm 0.3$                                             |
| 300                                    | $15.5 \pm 0.5$                                           | $16.2 \pm 0.8$                                             |
| 400                                    | $16.5 \pm 0.6$                                           | $18.5 \pm 0.1$                                             |
| تترا سایکلین                           | $17.7 \pm 0.3$                                           | -                                                          |
| وانکومایسین                            | -                                                        | $18.7 \pm 0.5$                                             |

مقادیر به صورت میانگین  $\pm$  انحراف از معیار بوده و تفاوت میانگین ها در سطح معنی  $P < 0.05$  دار در نظر گرفته شده است.

## بررسی فعالیت ضد اکسیدانی

رادیکال DPPH روشی برای سنجش فعالیت ضد اکسیدانی، ضد اکسیدان ها است (۲۴). به طور خلاصه فعالیت ضد اکسیدانی اگزوپلی ساکاریدی جدا شده از باکتری *B. pasteurii* به صورت نمودار ۲ است. بیش ترین میزان مهار فعالیت آنتی اکسیدانی در غلظت  $1000 \mu\text{g/ml}$  (۶۱/۳۶٪) بود که کمابیش برابر با غلظت  $800 \mu\text{g/ml}$  از آسکوربیک اسید (۶۰/۱۵٪) است.



شکل ۲- درصد مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH اگزوپلی ساکارید تولید شده توسط سویه *B. pasteurii* مقادیر به صورت میانگین  $\pm$  انحراف از معیار بوده و تفاوت میانگین ها در سطح معنی  $P < 0.05$  دار در نظر گرفته شده است.

در بین تمام رادیکال های آزاد موجود برای ترکیب های زیستی، رادیکال آزاد سوپراکسید خطرناک ترین نوع است (۳). بیش ترین میزان فعالیت مهاری رادیکال سوپراکسید توسط اگزوپلی ساکارید جدا شده از سویه باکتری *B. pasteurii* مربوط به غلظت  $1000 \mu\text{g/ml}$  (۳۲/۰۲٪) است (نمودار ۳) که در مقایسه با میزان فعالیت مهاری غلظت  $800 \mu\text{g/ml}$  آسکوربیک اسید (۲۹/۴۰٪) اندکی بیش تر است.



ساکارید با استفاده از باکتری *B.pasteuri* PTCC 1645 آزمایش طراحی شد و سپس ویژگی های زیستی این بیوپلیمر بررسی گردید. میزان تولید اگزوپلی ساکارید بسته شرایط و ترکیب محیط کشت و همچنین شرایط گرما گذاری می تواند متفاوت باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق افزودن ساکارز به محیط کشت با غلظت ۱ میلی گرم بر میلی لیتر و نمک ۰/۰۵ میلی گرم در میلی لیتر و پس از گذشت مدت زمان ۴۸ ساعت باعث تولید  $30/66 \text{ g/L}$  اگزوپلی ساکارید شد. با توجه به این که باکتری ها از مواد آلی مانند ساکارز به عنوان منبع کربن استفاده می کنند افزودن آن باعث افزایش تولید حداکثری در میزان اگزوپلی ساکارید می گردد. در نتایج مشابهی که در سال ۱۹۹۷ توسط Li و همکارانش جهت بهینه سازی تولید اگزوپلی ساکاریدی از باکتری *Bacillus polymyxa* صورت گرفت بیشترین میزان تولید اگزوپلی ساکارید  $54 \text{ g/L}$  تولید شد و آن ها در تحقیق خود دریافتند که افزایش غلظت ساکارز بیشترین میزان تولید اگزوپلی ساکارید را در پی دارد (۱۵). با توجه به این که باکتری ها برای فعالیت حداکثری خود به مقداری نمک نیاز دارند افزودن مقدار کمی نمک به محیط کشت باعث افزایش تولید اگزوپلی ساکارید می گردد البته باید این نکته را در نظر گرفت که افزایش بیش از حد نمک باعث از بین رفتن باکتری می شود (۱۳). باکتری ها تولید خود را به طور معمول در انتهای فاز لگاریتمی و مراحل آخر رشد خود تکمیل می کنند بر همین اساس بعد از گذشت ۴۸ ساعت و نزدیک به انتهای فاز لگاریتمی باکتری حداکثر تولید اگزوپلی ساکارید را داشته است. در مطالعه های مشابهی که توسط Moreno و همکارانش در سال ۱۹۹۹ صورت گرفته است نشان داده شده که تولید اگزوپلی ساکاریدی در بیش تر باکتری ها پس از توقف رشد، افزایش می یابد (۱۶). این مسئله تأیید می نماید که تولید اگزوپلی ساکاریدی بعد از فاز لگاریتمی صورت می گیرد، زمانی که باکتری وارد فاز سکون (۴۸ ساعت بعد از کشت) می شود. در این تحقیق میزان هاله عدم رشد ایجاد شده مطابق نتایج به دست آمده که برای غلظت های مختلف نشان داده شده است بیشترین هاله عدم رشد مربوط به غلظت  $400 \mu\text{g/ml}$  هست که برای استافیلوکوکوس ارئوس ۱۸ میلی متر و برای اشیریشیاکلی ۱۶ میلی متر بود. در این تحقیق از آنتی بیوتیک های تتراسایکلین و وانکومایسین ( $300 \mu\text{g}$ ) به عنوان شاهد استفاده شد که میزان هاله عدم رشد تشکیل شده برای اشیریشیاکلی ۱۷ میلی متر است که برابر غلظت  $400 \mu\text{g/ml}$  است و برای استافیلوکوکوس ارئوس ۱۸ میلی متر بود.

Shengjie و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با بررسی فعالیت ضدباکتریایی غلظت های مختلف اگزوپلی ساکاریدهای جدا شده از باکتری های *Bifidobacterium* و *Lactobacillus* بر روی باکتری های بیماری زای اشیریشیاکلی و استافیلوکوکوس ارئوس اثر مهاری این اگزوپلی ساکاریدها را بررسی نمودند و نشان دادند که بیشترین هاله عدم تشکیل شده برای غلظت ۳۰۰ میکروگرم/ میلی لیتر است که برابر  $15/67$  میلی متر برای اشیریشیاکلی و ۱۶ میلی متر برای استافیلوکوکوس ارئوس بود (۱۱).

میزان فعالیت مهاری که برای بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی توسط سه روش مهار فعالیت رادیکالی DPPH، مهار فعالیت رادیکالی سوپراکسید و مهار فعالیت رادیکال هیدروکسیل اگزوپلی ساکارید تولید شده در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت نشان داد که با افزایش میزان غلظت فعالیت مهاری افزایش یافته است به طوری که برای غلظت ۲۰۰ میکروگرم/ میلی لیتر میزان فعالیت مهاری بسیار پایین بوده و با افزایش غلظت اگزوپلی ساکارید به ۱۰۰۰ میکروگرم/ میلی لیتر میزان فعالیت مهاری نیز افزایش یافته است. در مطالعه های مشابهی که توسط آقای Wang و همکارانش انجام داده اند ثابت کردند که با افزایش غلظت های مختلف اگزوپلی ساکارید درصد مهار فعالیت آنتی اکسیدانی نیز افزایش می یابد که این نتایج با این مطالعه به طور کامل همخوانی دارد (۲۰). Shengjie و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با بررسی فعالیت مهاری غلظت های مختلف اگزوپلی ساکارید جدا شده از باکتری های *Bifidobacterium* و *Lactobacillus* نشان دادند که با افزایش غلظت اگزوپلی ساکارید میزان فعالیت مهاری نیز افزایش می یابد همچنین نشان داده شد که نوع اگزوپلی ساکارید تولید شده توسط گونه های مختلف باکتریایی میزان فعالیت مهاری متفاوتی را از خود نشان می دهند (۱۱). هم چنین طی تحقیقی که توسط Abdhul در سال ۲۰۱۴ بر روی اگزوپلی ساکارید تولید شده توسط باکتری انتروکوکوس صورت گرفت نشان داده شد که با افزایش میزان غلظت اگزوپلی ساکارید میزان مهار رادیکالی نیز افزایش می یابد (۱). فعالیت ضد اکسیدانی اگزوپلی ساکاریدها ممکن است تحت تأثیر ترکیب های مونوساکاریدها، وزن مولکولی یا روش های خالص سازی آنها باشد برای مثال تحقیق ها ثابت کرده است که اگزوپلی ساکاریدهای با وزن مولکولی پایین تر اثر ضد اکسیدانی بالاتری نسبت به اگزوپلی ساکاریدهای با وزن مولکولی بالا دارند (۲۰).

## نتیجه گیری

در این مطالعه برای تولید بیشترین میزان اگزوپلیساکارید به دست آمده از سویه باکتری *B.pasteuri* چند عامل کلیدی در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد افزایش ساکارز به عنوان منبع کربن و افزودن مقدار کمی نمک باعث تولید اگزوپلی- ساکارید در انتهای فاز لگاریتمی می شود. سپس به بررسی خواص آنتی باکتریال و آنتی اکسیدانی اگزوپلی ساکارید پرداخته شد و نتایج به دست آمده نشان داد که از این اگزوپلی ساکارید می توان به عنوان مواد ضدباکتریال و ضد اکسیدان در موارد به- خصوص سی اس- استفاده نمود.



## منابع

1. Abdhul K, Ganesh M, Shanmughapriya S, Kanagavel M, Anbarasu K, Natarajaseenivasan K. Antioxidant activity of exopolysaccharide from probiotic strain *Enterococcus faecium* (BDU7) from Ngari. *Int J Biol Macromol*. 2014; 70: 450-454.
2. Arena A, Maugeri TL, Pavone B, Iannello D, Gugliandolo C, Bisignano G. Antiviral and immunoregulatory effect of a novel exopolysaccharide from a marine thermotolerant *Bacillus licheniformis*. *Int Immunopharmacol*. 2006; 6(1): 8-13.
3. Borgio JF, Bency BJ, Ramesh S, Amuthan M. Exopolysaccharide production by *Bacillus subtilis* NCIM 2063, *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 2862 and *Streptococcus mutans* MTCC 1943 using batch culture in different media. *Afric J Biotechnol*. 2009; 8(20).
4. Degeest B, De Vuyst L. Indication that the nitrogen source influences both amount and size of exopolysaccharides produced by *Streptococcus thermophilus* LY03 and modelling of the bacterial growth and exopolysaccharide production in a complex medium. *Appl Environ Microbiol*. 1999; 65(7): 2863-2870.
5. Fang Y, Liu S, Lu M, Jiao Y, Wang S. A novel method for promoting antioxidant exopolysaccharides production of *Bacillus licheniformis*. *Carbohydr Polym*. 2013; 92(2): 1172-1176.
6. Freitas F, Alves VD, Reis MA. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. *Trends Biotechnol*. 2011; 29(8): 388-398.
7. Garcia-Garibay M, Marshall VM. Polymer production by *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *J Appl Microbiol*. 1991; 70(4): 325-328.
8. Han Y, Liu E, Liu L, Zhang B, Wang Y, Gui M, Wu R, Li P. Rheological, emulsifying and thermostability properties of two exopolysaccharides produced by *Bacillus amyloliquefaciens* LPL061. *Carbohydr Polym*. 2015; 115: 230-237.
9. Hussain A, Zia KM, Tabasum S, Noreen A, Ali M, Iqbal R, Zuber M. Blends and composites of exopolysaccharides; properties and applications: A review. *Int J Biol Macromol*. 2017; 94: 10-27.
10. Laws A, Gu Y, Marshall V. Biosynthesis, characterisation, and design of bacterial exopolysaccharides from lactic acid bacteria. *Biotechnol Adv*. 2001; 19(8): 597-625.
11. Li S, Huang R, Shah NP, Tao X, Xiong Y, Wei H. Antioxidant and antibacterial activities of exopolysaccharides from *Bifidobacterium bifidum* WBIN03 and *Lactobacillus plantarum* R315. *J dairy Sci*. 2014; 97(12): 7334-7343.
12. Li S, Shah NP. Antioxidant and antibacterial activities of sulphated polysaccharides from *Pleurotus eryngii* and *Streptococcus thermophilus* ASCC 1275. *Food Chem*. 2014; 165: 262-270.
13. Liu C, Lu J, Lu L, Liu Y, Wang F, Xiao M. Isolation, structural characterization and immunological activity of an exopolysaccharide produced by *Bacillus licheniformis* 8-37-0-1. *Bioresour Technol*. 2010; 101(14): 5528-5533.
14. Mahdhi A, Leban N, Chakroun I, Chaouch MA, Hafsa J, Fdhila K, Mahdouini K, Majdoub H. Extracellular polysaccharide derived from potential probiotic strain with antioxidant and antibacterial activities as a prebiotic agent to control pathogenic bacterial biofilm formation. *Microb Pathogen*. 2017.
15. Manca MC, Lama L, Improta R, Esposito E, Gambacorta A, Nicolaus B. Chemical composition of two exopolysaccharides from *Bacillus thermoantarcticus*. *Appl Environ microbiol*. 1996; 62(9): 3265-3269.
16. Moreno J, Vargas-García C, Lopez MJ, Sánchez-Serrano G. Growth and exopolysaccharide production by *Azotobacter vinelandii* in media containing phenolic acids. *J appl microbiol*. 1999; 86(3): 439-445.
17. Reshetnikov SV, Tan KK. Higher Basidiomycota as a source of antitumor and immunostimulating polysaccharides. *Int J Med Mush*. 2001; 3(4): 61-94.
18. Salehghamari E, Amoozegar MA. Optimization of lipase production in *Salinivibrio* sp. SA2 by Taguchi design. *Nova Biol Rep*. 2017; 3 (4): 288-294. [Full text in Persian]

19. Suresh Kumar A, Mody K, Jha B. Bacterial exopolysaccharides—a perception. J basic Microbiol. 2007; 47(2): 103-117.
20. Wang J, Zhao X, Yang Y, Zhao A, Yang Z. Characterization and bioactivities of an exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* YW32. Int J Biol Macromol. 2015; 74: 119-126.
21. Wang Y, Ahmed Z, Feng W, Li C, Song S. Physicochemical properties of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus kefiranofaciens* ZW3 isolated from Tibet kefir. Int J Biol Macromol. 2008; 43(3): 283-288.
22. Xu R, Shen Q, Ding X, Gao W, Li P. Chemical characterization and antioxidant activity of an exopolysaccharide fraction isolated from *Bifidobacterium animalis* RH. Eur Food Res Technol. 2011; 232(2): 231-240.
23. Yin JY, Nie SP, Zhou C, Wan Y, Xie MY. Chemical characteristics and antioxidant activities of polysaccharide purified from the seeds of *Plantago asiatica* L. J Sci Food Agric. 2010; 90(2): 210-217.
24. Zheng Y, Ye ZL, Fang XL, Li YH, Cai WM. Production and characteristics of a bioflocculant produced by *Bacillus* sp. F19. Bioresour Technol. 2008; 99(16): 7686-7691