

Evaluation of the Presence and Time-Variable Expression Levels of *rpoS*, *relA* and *mazF* Genes during Biofilm Formation in *Staphylococcus epidermidis*

Saeid Kheirjou¹, Farzaneh Hosseini^{1*}, Framarz Masjedan Jazi^{1,2}, Elham Siasi Torbati¹

1. Department of Microbiology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Department of Microbiology, School of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received: February 02, 2022; Accepted: September 26, 2022

Abstract

Background and Aim: *Staphylococcus epidermidis* is an opportunistic pathogen that is involved in the development of infections associated with the use of implants and medical devices. Biofilm formation is one of the most important virulence factors of this microorganism, which vastly depends on various factors, including different proteins. In the present study, the expression levels of three proteins including *rpoS*, *relA* and *mazF* at different time intervals during the course of biofilm formation in *Staphylococcus epidermidis* were investigated.

Methods: In the present case-control study PCR assay was used to detect *rpoS*, *relA* and *mazF* genes in *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228. Biofilm production was investigated by the microtiter plate (MTP) method. Real-time PCR was used to determine the expression levels of studied genes after 2, 8, and 24 h during the course of biofilm formation. Data were analyzed using GraphPad Prism 8 statistical software (GraphPad Software, Inc.). One-way analysis of variance was used to evaluate the mean expression changes of the studied genes, and P-value < 0.05 was considered significant.

Results: *Staphylococcus epidermidis* contained all the studied genes and had a strong biofilm formation power. The studied genes showed different expression levels at different time intervals during biofilm formation by real-time PCR method. Expression levels of *rpoS* gene were the highest at 24 h (6.7 ± 0.252) ($p < 0.001$), whereas *mazF* gene showed the highest expression level at 8 h (6 ± 0.208) ($p < 0.001$) during the course of biofilm formation. In addition, the expression level of *relA* gene peaked at 2h (3.9 ± 0.361) ($p < 0.001$) and then progressively decreased at 8 (1.7 ± 0.265) and 24h (1.2 ± 0.153) ($p < 0.05$). The results of the comparison of *rpoS* gene expression changes compared to *relA* gene (2.667 ± 1.175) and also *mazF* gene (0.2333 ± 1.175) using Dunnett's multiple comparisons test was not significant ($p > 0.05$).

Conclusion: Our results suggest the importance of *rpoS*, *relA*, and *mazF* proteins in establishing and developing the biofilm structure in the studied strain. In addition, our results showed the important role of *rpoS* protein during biofilm formation and the importance of *relA* protein at the beginning of biofilm formation stages.

Keywords: *Staphylococcus epidermidis*; biofilm formation; Real-time PCR

Please cite this article as: Kheirjou S, Hosseini F, Masjedan Jazi F, Siasi Torbati E. Evaluation of the Presence and Time-Variable Expression Levels of *rpoS*, *relA* and *mazF* Genes during Biofilm Formation in *Staphylococcus epidermidis*. *Pejouhesh dar Pezeshki*. 2023;47(1):62-69.

*Corresponding Author: Farzaneh Hosseini; Email: Farzaneh953@yahoo.com

بررسی حضور و سطح بیان ژن های *relA*، *rpoS* و *mazF* در طول تشکیل بیوفیلم در بازه های زمانی مختلف در استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس

سعید خیرجو^۱، فرزانه حسینی^{۱*}، فرامرز مسجدیان جزی^{۱،۲}، الهام سیاسی تربتی^۱

۱- گروه میکروبیولوژی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- گروه میکروبیولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۴

خلاصه

سابقه و هدف: استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس پاتوژنی فرصت طلب است که در ایجاد عفونت های مرتبط با استفاده از ایمپلنت ها و وسایل پزشکی نقش دارد. تشکیل بیوفیلم از جمله مهم ترین فاکتورهای بیماری زایی این میکروارگانیسم محسوب می شود که تا حد زیادی به عوامل مختلفی از جمله پروتئین های مختلف بستگی دارد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی سطح بیان سه پروتئین *relA*، *rpoS* و *mazF* در استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس در فواصل زمانی مختلف در طول دوره تشکیل بیوفیلم انجام شد.

روش کار: در مطالعه مورد شاهدهی حاضر حضور ژن های *relA*، *rpoS* و *mazF* با استفاده از روش PCR در سویه استاندارد استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس ATCC 12228 بررسی شد. میزان تولید بیوفیلم به روش میکروتیتراپلیت (MTP) بررسی شد. سطح بیان ژن های مورد مطالعه پس از ۲، ۸ و ۲۴ ساعت در طول دوره تشکیل بیوفیلم با استفاده از تکنیک Real-time PCR سنجش شد. داده ها با استفاده از نرم افزار آماری GraphPad Prism 8 (GraphPad Software, Inc) تجزیه و تحلیل شدند. آزمون واریانس یک طرفه برای بررسی میانگین تغییرات بیان ژن های مورد مطالعه استفاده شد و $P\text{-value} < 0.05$ معنادار در نظر گرفته شد.

یافته ها: سویه استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس واجد تمام ژن های مد نظر بود و دارای قدرت تشکیل بیوفیلم قوی بود. ژن های مورد مطالعه سطوح بیان متفاوتی را در فواصل زمانی مختلف در طول تشکیل بیوفیلم با روش Real-time PCR نشان دادند. سطح بیان *rpoS* در ۲۴ ساعت بالاترین میزان بود ($6/7 \pm 0.252$) ($p < 0.001$). در حالی که ژن *mazF* بالاترین سطح بیان را در ۸ ساعت (6 ± 0.208) ($p < 0.001$) در طول دوره تشکیل بیوفیلم نشان داد. علاوه بر این، سطح بیان ژن *relA* در ۲ ساعت ($3/9 \pm 0.361$) ($p < 0.001$) به اوج خود رسید و سپس در ساعت ۸ ($1/7 \pm 0.265$) و ۲۴ ($1/2 \pm 0.153$) به تدریج کاهش یافت ($p < 0.05$). همچنین نتایج مقایسه میزان تغییرات بیان ژن *rpoS* نسبت به ژن *relA* ($2/667 \pm 1/175$) و همچنین ژن *mazF* ($0/2333 \pm 1/175$) با استفاده از Dunnett's multiple comparisons test معنادار نبود ($p > 0.05$).

نتیجه گیری: نتایج ما اهمیت پروتئین های *relA*، *rpoS* و *mazF* را در ایجاد و توسعه ساختار بیوفیلم در سویه مورد بررسی نشان می دهد. علاوه بر این، نتایج ما نقش مهم پروتئین *rpoS* را در طول تشکیل بیوفیلم و اهمیت پروتئین *relA* را در آغاز مراحل تشکیل بیوفیلم نشان داد.

واژگان کلیدی: تشکیل بیوفیلم؛ Real-time PCR؛ استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس

به این مقاله، به صورت زیر استناد کنید:

Kheirjou S, Hosseini F, Masjedian Jazi F, Siasi Torbati E. Evaluation of the Presence and Time-Variable Expression Levels of *rpoS*, *relA* and *mazF* Genes during Biofilm Formation in *Staphylococcus epidermidis*. Pejouhesh dar Pezeshki. 2023;47(1):62-69.

*نویسنده مسئول مکاتبات: فرزانه حسینی؛ آدرس پست الکترونیکی: Farzaneh953@yahoo.com

مقدمه

استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس کوکسی گرم مثبت، فلور نرمال پوست بدن انسان مخصوصاً در زیر بغل، کشاله ران، بین انگشتان پا و روی صورت می‌باشد. این باکتری همچنین قادر به استقرار در سطح غشاهای مخاطی نظیر بینی و بخش فوقانی دستگاه تنفس نیز می‌باشد (۱). در طی دهه‌های اخیر، به ویژه با گسترش استفاده از وسایل پزشکی تعبیه شونده در بدن، این باکتری بعنوان پاتوژن بیمارستانی غالب، ظهور کرده و سومین عامل عفونت بیمارستانی می‌باشد. این باکتری همچنین از عفونت‌هایی نظیر عفونت زخم، خون، مجاری ادرار، اندوکاردیت، باکتری، پنومونی، پوست و بافت نرم جدا شده است و قادر به ایجاد استئومیلیت، مننژیت، عفونت داخل چشم و گوش میانی نیز می‌باشد (۲). مهمترین خصوصیت این باکتری در ایجاد بیماری زایی، توانایی این ارگانیسم در تولید بیوفیلیم می‌باشد (۲). توسعه‌ی بیوفیلیم باعث مقاومت باکتری نسبت به درمان‌های آنتی‌بیوتیکی شده و می‌تواند منجر به بروز مشکلات حاد در این زمینه شود. در محیط‌های بیمارستانی بیوفیلیم میکروبی روی سطوح مختلف به عنوان یک مخزن انتقال عفونت مطرح می‌شوند (۴-۲).

مکانیسم‌هایی مانند بکارگیری ژن‌های دخیل در پاسخ به استرس (SOS response)، سیگما فاکتور S، آلامون‌هایی مانند ppGpp و یا سیستم‌هایی مانند سیستم های توکسین آنتی‌توکسین، که در شرایط استرس توکسین آزاد شده و فعالیت‌های حیاتی باکتری مانند ترجمه و همانند سازی را مهار می‌کند، باعث ایجاد حالت پرسپست در باکتری می‌شوند (۷-۵). امروزه مشخص شده که سلول‌های پایدار در ساختار بیوفیلیم وجود دارند و به طور کلی مسئول ماندگاری باکتری و ایجاد عفونت‌های مزمن و عود مکرر عفونت‌ها علی‌رغم درمان‌های ضد میکروبی هستند (۸). نقش پروتئین *rpoS* به عنوان عامل دخیل در ایجاد پاسخ به استرس در تشکیل بیوفیلیم در باکتری‌هایی مانند *شریشیا کلی* (۹) و *سودوموناس آئروژینوزا* (۱۰) مورد

بررسی قرار گرفته است. اما تاکنون به نقش این پروتئین در تشکیل بیوفیلیم در *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* پرداخته نشده است.

عامل دیگری که با تشکیل بیوفیلیم باکتریایی مرتبط است، سیستم‌های توکسین آنتی‌توکسین (TA) است (۸). نشان داده شده است که سیستم‌های TA رمزگذاری شده کروموزومی با رویدادهای سلولی مختلف مانند مرگ برنامه ریزی شده سلولی، تشکیل بیوفیلیم، ایجاد سلول پایدار در حضور آنتی‌بیوتیک‌ها و تثبیت DNA ژنومی مرتبط هستند (۱۱، ۱۲). *mazEF* یکی از سیستم‌های TA کدگذاری شده کروموزومی در باکتری‌ها است و چندین مطالعه نقش فیزیولوژیکی مهم همولوگ‌های *mazF* را نشان داده‌اند (۱۳). با توجه به اهمیت بیوفیلیم و نقش عوامل دخیل در تشکیل آن و همچنین ایجاد حالت پایدار در سوبه‌های *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* و با توجه به اینکه تنها مطالعات انگشت شماری (۱۵، ۱۴) در مورد نقش برخی از این پروتئین‌ها در *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* انجام شده است، مطالعه حاضر با هدف بررسی سطح بیان ژن‌های کدکننده پروتئین‌های *rpoS*، *relA* و *mazF* در طول تشکیل بیوفیلیم در بازه‌های زمانی مختلف در *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* انجام شد.

روش کار

تهیه‌ی سوبه مورد مطالعه:

در مطالعه مورد شاهدهی حاضر از سوبه‌ی استاندارد *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* ATCC 12228 تهیه شده از بانک میکروبی دانشگاه علوم پزشکی ایران استفاده شد.

طراحی پرایمر، استخراج DNA و انجام PCR:

استخراج DNA ژنومیک با استفاده از کیت استخراج DNA (Roche, Germany) صورت گرفت. حضور ژن‌های *relA*، *rpoS* و *mazF* با استفاده از پرایمرهای اختصاصی که در مطالعه حاضر با استفاده از نرم افزارهای الیگو ۷ (oligo 7.60) و پرایمر ۳ (Primer 3 Web) (جدول ۱) طراحی گردید، مورد بررسی قرار گرفت. واکنش PCR در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر (مخلوط

۱ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، مرحله طولیل شدن رشته هدف به مدت ۲۵ ثانیه در ۷۲ درجه سانتی‌گراد و مرحله طولیل شدن نهایی به مدت ۵ دقیقه در ۷۲ درجه سانتی‌گراد انجام شد. محصول PCR پس از الکتروفورز بر روی ژل آگارز ۱ درصد، مورد ارزیابی قرار گرفت (۱۶).

واکنش ۱۲/۵ میکرولیتر مستر میکس (Ampliqon Co., Denmark)، ۱ میکرولیتر از هر پرایمر و ۱ میکرولیتر DNA باکتری و بقیه آب مقطر استریل) در طی ۳۵ سیکل، شامل: مرحله اولیه باز شدن دو رشته DNA به مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد، مرحله باز شدن دو رشته DNA ۱ دقیقه در ۹۵ درجه سانتی‌گراد، مرحله اتصال پرایمرها به مدت

جدول ۱- توالی‌های پرایمرهای طراحی شده.

Genes	Primer sequence (5' → 3')	PS*	Tm (°C)
<i>rpoS</i>	F ACTGTCTTGCAGCTTCTTGT	100 bp	59
	R AGCCAAAAAGAGACTGGTGAA		
<i>relA</i>	F CCTTTAGCACATCGTCTCGGA	131 bp	60
	R GCTTCGCGTTCACTACGTTT		
<i>mazF</i>	F GCGGATTTATCACCAGTTCAAGG	149 bp	60
	R ACGTGGGTTGGTATTTTCGC		
<i>16srRNA</i>	F CGAACACGTGCTTTGCTTGA	152 bp	60
	R CCCATACCTGGTCCAACCTCA		

*Product Size

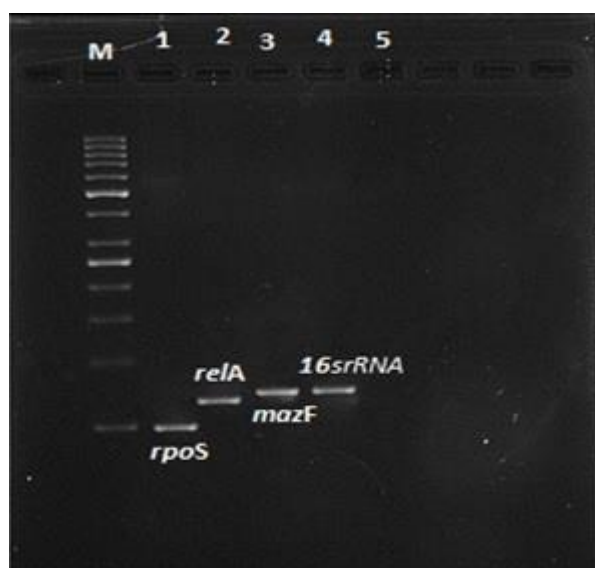
پلیت توسط آب شست‌وشو داده شد، در ادامه ۱۰۰ میکرولیتر اتانول ۹۵٪ به چاهک‌ها افزوده و جذب نوری در ۵۷۰ نانومتر توسط دستگاه خوانشگر الایزا (ELISA reader, Oraganon Teknika, هلند) ثبت شد. تولید بیوفیلیم نمونه‌ها با توجه جذب نوری نمونه‌ی کنترل منفی (TSB حاوی ۱٪ گلوکز) تفسیر گردید (۱۴).

بررسی بیان ژن‌های مورد مطالعه:

به کمک کیت استخراج RNA (Roche, Germany) و طبق پروتکل شرکت سازنده RNA سویه /استافیلوکوکوس /پیدرمیدیس همزمان در شرایط تشکیل بیوفیلیم با استفاده از کیت Roche استخراج شد. سپس سنتز cDNA با استفاده از کیت تاکارا (Takara, Tokyo, JaPan) انجام شد. از پرایمرهای ذکر شده در جدول ۱ برای تکثیر ژن‌های *mazF* و *relA*، *RpoS* استفاده شد. ژن *16SrRNA* به عنوان کنترل داخلی استفاده شد. واکنش Real Time PCR به صورت ۱۲ دقیقه در دمای ۹۵

سنجش میزان تولید بیوفیلیم به روش میکروتیتروپلیت (MTP):

برای انجام این آزمایش ابتدا نمونه‌ها در محیط جامد کشت داده و به مدت ۲۴ ساعت انکوبه گردید، سپس کلنی‌های تک رشد کرده بر روی محیط جامد به ۵ میلی‌لیتر محیط مایع TSB حاوی ۱٪ گلوکز تلقیح شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه گردید. سپس کدورت را به نیم مک فارلند رسانده و از سوسپانسیون تهیه شده ۲۰۰ میکرولیتر داخل چاهک‌های میکروپلیت ریخته و به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه گردید، سپس فازرویی هر چاهک را بیرون ریخته و چاهک‌ها را سه مرتبه با سرم فیزیولوژی استریل، شست‌وشو داده شد. در مرحله بعد پلیت‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک گردید. سپس رنگ‌آمیزی با رنگ کریستال ویوله به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد، رنگ موجود در چاهک‌ها بیرون ریخته شد و



شکل ۱- الکتروفورز محصولات ژن های مورد مطالعه باکتری
استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس

M: مارکر (100 bp)، چاهک شماره ۱: ژن *rpoS* (100 bp)، چاهک
شماره ۲: ژن *relA* (131 bp)، چاهک شماره ۳: ژن *mazF*
(149 bp)، چاهک شماره ۴: ژن *16srRNA* (152 bp)، NTC:
کنترل منفی.

یافته های حاصل از تشکیل بیوفیلم با استفاده از روش میکروتیتر پلیت:

آزمون کمی تولید بیوفیلم برای باکتری سه بار تکرار شد. جذب
نوری در ۵۷۰ نانومتر توسط دستگاه الیزا ریدر قرائت شد. تولید
بیوفیلم با توجه جذب نوری نمونه ی کنترل منفی (TSB حاوی
۱ درصد گلوکز) تفسیر گردید. تفسیر نتایج روش میکروتیتر پلیت
نشان داد که سویه مورد مطالعه با جذب نوری ۳/۵ قادر به تولید
بیوفیلم قوی بود.

یافته های حاصل از بیان ژن های مورد مطالعه در بیوفیلم:

نتایج حاصل از تکنیک Real-time PCR بر روی ساختار
بیوفیلم باکتری نشان داد که بیان ژن *rpoS* در ساعت های ۲، ۸
و ۲۴ پس از تشکیل بیوفیلم نسبت به نمونه ی کنترل به ترتیب
(0.321 ± 0.034)، (0.47 ± 0.100) و (0.252 ± 0.067) فولد
افزایش یافته است ($p < 0.001$)، که نشان می دهد این ژن
ممکن است نقش مهمی در تشکیل بیوفیلم باکتری

درجه ی سانتی گراد در مرحله اول و سپس ۴۰ سیکل در دمای
۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ ثانیه و ۶۰ درجه ی سانتی گراد
به مدت ۴۵ ثانیه با استفاده از دستگاه Gene thermal Rotor-
cycler (Corbett Life Sciences, Sydney, Australia) انجام
گردید. برای محاسبه میزان بیان نسبی ژن ها، آنالیز داده ها و رسم
نمودارهای مربوطه از نرم افزار GraphPad Prism 8 (GraphPad
Software, Inc) استفاده شد. نوع روش استفاده شده در این
مطالعه برای Real-time PCR نسبی (Relative) و از رنگ
سایبرگرین (Ampliqon Co, Denmark) به عنوان شناساگر
استفاده گردید. نتایج به روش $CT\Delta\Delta$ یا روش لیواک (Livak
method) آنالیز شد. هر تست ۳ بار بصورت مستقل انجام شد
(۱۷).

آنالیز آماری:

داده ها با استفاده از نرم افزار آماری GraphPad Prism 8
(GraphPad Software, Inc) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.
آزمون واریانس یک طرفه برای بررسی میانگین تغییرات بیان
ژن های مورد مطالعه نسبت به نمونه ی کنترل در حضور ژن
کنترل داخلی *16srRNA* استفاده گردید و $P\text{-value} < 0.05$
معنادار در نظر گرفته شد. بررسی آماری POST Hoc برای
بررسی ارتباط بین میزان بیان ژن های مورد بررسی با یکدیگر
مورد استفاده قرار گرفت.

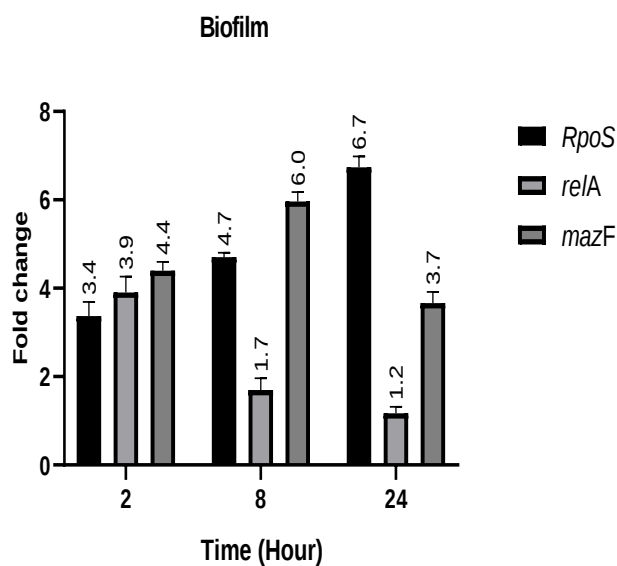
یافته ها

یافته های حاصل از PCR:

برای تأیید حضور ژن های مورد مطالعه در باکتری
استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس تکنیک PCR انجام شد، سویه ی
مورد مطالعه واجد تمام ژن های مد نظر بود، عکس ژل
الکتروفورز ژن های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده
است.

چشمگیری داشتند. بنابراین ممکن است این ژن‌ها در تولید بیوفیلم این باکتری نقش داشته باشند. در یک مطالعه که توسط شیوایی و همکاران در سال ۲۰۱۹ بر روی بیان ژن‌های مختلف انجام شد، گزارش کردند که ژن‌های مختلفی در زمان‌های مختلف تشکیل بیوفیلم باکتری *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* نقش دارند، آن‌ها نشان دادند که ژن *mazF* در ساعت‌های مختلف تشکیل بیوفیلم بیان می‌شود ولی بیان آن در ساعت‌های اولیه بیشتر است، همچنین در ادامه گزارش کردند که ژن‌های *altE* و *sdrH* نیز در تشکیل و توسعه بیوفیلم این باکتری نقش دارد (۱۴)، از این رو با نتایج مطالعه‌ی پیش رو مطابقت دارد. در سال ۲۰۱۷ kato و همکاران نشان دادند که در *استافیلوکوکوس اورئوس* حذف لوکوس ژنی *mazF* باعث افزایش تشکیل بیوفیلم از مسیر وابسته به *ica* می‌شود، آن‌ها گزارش کردند که احتمالاً مسیر وابسته به لوکوس ژنی *ica* با تداخل با فعالیت *mazF* در تشکیل بیوفیلم نقش دارد (۱۸)، نتایج مطالعه فوق و مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد، مسیرهای تشکیل بیوفیلم و فعالیت *mazF* ممکن است در گونه‌ی *اورئوس* و *اپیدرمیدیس* متفاوت باشد. بر اساس مطالعات سیستم *mazEF* با ایجاد مرگ سلولی برنامه‌ریزی شده در تشکیل و پایداری ساختار بیوفیلم در باکتری‌ها موثر است (۱۹). بیان ژن *rpoS* نیز در ساختار بیوفیلم در این مطالعه افزایش چشمگیری داشت. ژن *rpoS* که در باکتری‌های گرم منفی بخصوص بعنوان تنظیم‌کننده‌ی حیاتی در فاز سکون و پاسخ در شرایط استرس شناخته می‌شود و باعث فعال شدن ژن‌های زیادی می‌شود، در باکتری *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* کمتر بررسی شده و در این مطالعه هم در شرایط تشکیل بیوفیلم مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان دهنده افزایش بیان این ژن در طول تشکیل بیوفیلم بود؛ به طوری که در ساعت‌های ۲، ۸ و ۲۴ پس از تشکیل بیوفیلم نسبت به نمونه‌ی کنترل به ترتیب ۳/۴، ۴/۷ و ۶/۷ فولد افزایش یافته است که نشان می‌دهد این ژن ممکن است نقش مهمی در پیشرفت تشکیل بیوفیلم باکتری *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* داشته باشد. همچنین ژن *relA* پس از ۲ ساعت در بالاترین

استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس داشته باشد، همچنین بیان ژن *relA* پس از ۲ ساعت افزایش 0.361 ± 0.009 فولدی را نشان داد ($p < 0.001$) ولی در ساعت‌های ۸ و ۲۴ بیان آن به 0.265 ± 0.001 و 0.153 ± 0.001 فولد رسید ($p < 0.05$). که این نتایج نشان می‌دهد که این ژن ممکن است در آغاز تشکیل بیوفیلم نقش داشته باشد. بیان ژن *mazF* نیز نسبت به نمونه‌ی کنترل افزایش را نشان داد ولی بیان آن در ساعت ۸ (0.208 ± 0.006) بیشتر از ساعت‌های ۲ (0.200 ± 0.004) و ۲۴ ساعت (0.252 ± 0.003) بود ($p < 0.001$) (نمودار ۱). همچنین نتایج مقایسه میزان تغییرات بیان ژن *rpoS* نسبت به ژن *relA* (1.175 ± 0.002) و همچنین ژن *mazF* (1.175 ± 0.002) با استفاده از Dunnett's multiple comparisons test معنادار نبود ($p > 0.05$).



نمودار ۱- نمودار سنجش بیان ژن‌های مورد مطالعه در بیوفیلم باکتری *استافیلوکوکوس اپیدرمیدیس* نسبت به نمونه‌ی کنترل ($P < 0.001$).

بحث

در مطالعه حاضر نتایج بررسی بیان ژن‌های مورد مطالعه نشان داد که بیان ژن‌های *rpoS* و ژن *mazF* نسبت به ژن *relA* در زمان تشکیل بیوفیلم نسبت به نمونه‌ی کنترل افزایش

ملاحظات اخلاقی

از آنجایی که در این پژوهش از اطلاعات بیماران استفاده نشده است، ملاحظات اخلاقی رعایت شده است و با سازمان یا شرکتی رابطه کاری نداشتیم و تعارض منافع وجود ندارد.

تعارض منافع

نویسندگان، تعارض منافی را گزارش نکرده‌اند.

میزان بیان خود قرار داشت. ولی در ساعت‌های ۸ و ۲۴ پس از تشکیل بیوفیلیم، بیان آن کاهش یافت، که این نتایج نشان می‌دهد که این ژن ممکن است در آغاز تشکیل بیوفیلیم نقش داشته باشد. با این حال مطالعات بیشتری برای بررسی نقش این ژن‌ها در تشکیل بیوفیلیم مورد نیاز است. تشکیل بیوفیلیم شامل مراحل مختلفی مانند اتصال، تشکیل میکروکلونی و بلوغ بیوفیلیم است، اینکه در هر مرحله چه ژن‌هایی و چه مکانیسم‌های نقش دارند دقیق مشخص نشده است و دیتای این مقاله نیز تغییر در بیان ژن‌های مورد مطالعه در ساعت‌های مختلف را نشان می‌دهد و ممکن است شبکه‌ای از ژن‌ها با هم در این فرایندها همکاری کنند و به طور مثال جدیداً نقش ژن *mazF* که در این مطالعه بررسی شده در تشکیل مراحل مختلف بیوفیلیم نشان داده شده است. از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به محدود بودن نمونه‌های مورد بررسی اشاره کرد به طوری که در این مطالعه تنها یک سویه استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. اما از جمله مزایای تحقیق حاضر و استفاده از سویه استاندارد فراهم بودن امکان بررسی بیان ژن‌ها در ساعات مختلف در طول تشکیل بیوفیلیم بود.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج حاصل از مطالعه حاضر حضور پروتئین‌های مورد بررسی در ایجاد و توسعه ساختار بیوفیلیم می‌تواند موثر باشد. علاوه بر این، نتایج ما نقش مهم پروتئین *rpoS* را در طول تشکیل بیوفیلیم، و اهمیت پروتئین *relA* را در آغاز مراحل تشکیل بیوفیلیم نشان داد. همچنین توصیه می‌شود مطالعات تحلیلی از نوع هم‌گروهی و یا تجربی انجام شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات گرانقدر همکاران آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشگاه علوم پزشکی ایران کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

1. Sabaté Brescó M, Harris LG, Thompson K, Stanic B, Morgenstern M, O'Mahony L, et al. Pathogenic mechanisms and host interactions in *Staphylococcus epidermidis* device-related infection. *Frontiers in microbiology*. 2017;8:1401.
2. Yannuzzi NA, Patel NA, Relhan N, Tran KD, Si N, Albin TA, et al. Clinical features, antibiotic susceptibilities, and treatment outcomes of endophthalmitis caused by *Staphylococcus epidermidis*. *Ophthalmology Retina*. 2018;2(5):396-400.
3. Rubini D, Hari BNV, Nithyanand P. Chitosan coated catheters alleviates mixed species biofilms of *Staphylococcus epidermidis* and *Candida albicans*. *Carbohydrate Polymers*. 2021;252:117192.
4. Rajabi S, Shivaee A, Khosravi MA, Eshaghi M, Shahbazi S, Hosseini F. Evaluation of multidrug efflux pump expression in clinical isolates of *Staphylococcus aureus*. *Gene Reports*. 2020;18:100537.
5. Wilmaerts D, Windels EM, Verstraeten N, Michiels J. General mechanisms leading to persister formation and awakening. *Trends in Genetics*. 2019;35(6):401-11.
6. Maisonneuve E, Gerdes K. Molecular mechanisms underlying bacterial persisters. *Cell*. 2014;157(3):539-48.
7. Lewis K. Persister cells, dormancy and infectious disease. *Nature Reviews Microbiology*. 2007;5(1):48-56.
8. Wen Y, Behiels E, Devreese B. Toxin–Antitoxin systems: their role in persistence, biofilm formation, and pathogenicity. *Pathogens and disease*. 2014;70(3):240-9.
9. Schembri MA, Kjærgaard K, Klemm P. Global gene expression in *Escherichia coli* biofilms. *Molecular microbiology*. 2003;48(1):253-67.
10. Whiteley M, Banger MG, Bumgarner RE, Parsek MR, Teitzel GM, Lory S, et al. Gene expression in *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Nature*. 2001;413(6858):860-4.
11. Lobato-Márquez D, Díaz-Orejas R, Garcia-del Portillo F. Toxin-antitoxins and bacterial virulence. *FEMS microbiology reviews*. 2016;40(5):592-609.
12. Shabazi S, Shivaee A, Nasiri M, Mirshekar M, Sabzi S, Saria OK. Zinc oxide nanoparticles impact the expression of the genes involved in toxin–antitoxin systems in multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii*. *Journal of Basic Microbiology*. 2022.
13. Engelberg-Kulka H, Hazan R, Amitai S. mazEF: a chromosomal toxin-antitoxin module that triggers programmed cell death in bacteria. *Journal of cell science*. 2005;118(19):4327-32.
14. Shivaee A, Mohammadzadeh R, Shahbazi S, Pardakhtchi E, Ohadi E, Kalani BS. Time-variable expression levels of *mazF*, *atlE*, *sdrH*, and *bap* genes during biofilm formation in *Staphylococcus epidermidis*. *Acta microbiologica et immunologica Hungarica*. 2019;66(4):499-508.
15. Kim Y, Wang X, Ma Q, Zhang X-S, Wood TK. Toxin-antitoxin systems in *Escherichia coli* influence biofilm formation through YjgK (TabA) and fimbriae. *Journal of bacteriology*. 2009;191(4):1258-67.
16. Shivaee A, Mohammadzadeh R, Shahbazi S, Pardakhtchi E, Ohadi E, Kalani BS. Time-variable expression levels of *mazF*, *atlE*, *sdrH*, and *bap* genes during biofilm formation in *Staphylococcus epidermidis*. *Acta Microbiol Immunol Hung*. 2019;66(4):499-508.
17. Livak KJ, Schmittgen TD. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method. *methods*. 2001;25(4):402-8.
18. Kato F, Yabuno Y, Yamaguchi Y, Sugai M, Inouye M. Deletion of *mazF* increases *Staphylococcus aureus* biofilm formation in an *ica*-dependent manner. *Pathogens and disease*. 2017;75(5).
19. Kolodkin-Gal I, Hazan R, Gaathon A, Carmeli S, Engelberg-Kulka H. A linear pentapeptide is a quorum-sensing factor required for mazEF-mediated cell death in *Escherichia coli*. *Science (New York, NY)*. 2007;318(5850):652-5.