

ارزیابی قدرت مهاجمی سویه ضعیف شده شیگلا دیسانتری تیپ ۱ به عنوان کاندید تولید واکسن

احمد رضا صالحی چالشتی^{۱*}؛ مجتبی سعادت^{۱*}؛ یاسر احسنی آرائی^۱؛ عباس بهادر^۲؛ مصطفی حسینی^۱؛ مهدی حصارکی^۱؛ محمد درودیان^۴

۱. گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران
۲. مرکز تحقیقات سلولی مولکولی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، ایران
۳. گروه میکروبیولوژی پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران
۴. دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان، واحد تهران مرکزی، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ماه ۹۰ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۹۱

چکیده

هدف: شناسایی نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* در باکتری شیگلا دیسانتری تیپ ۱ و ارزیابی قدرت مهاجمی سویه زنده ضعیف شده حاصل از حذف نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* در کوچکچه هندی هدف مطالعه حاضر است.

مواد و روش‌ها: با استفاده از آزمون‌های بیوشیمیایی، آنتی‌بادی و واکنش زنجیره‌ای پلیمرز، گونه و سروتیپ شیگلای جدا شده از بیمار مشخص و نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* شناسایی شد. سویه شیگلای تخفیف حدت یافته از طریق حذف نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* تولید و از طریق آزمون‌های اشاره شده تأیید شد. عدم حضور ژن *ipaD* به وسیله واکنش زنجیره‌ای پلیمرز در مقایسه با سویه وحشی مورد آزمایش قرار گرفت. رقت‌های مختلف از باکتری کشت شده ایجاد و تعداد کلونی‌ها برای هر کدام شمارش شد. رقت خاصی از کشت که برای آزمون ورم ملتحمه چشم مناسب است تولید شد. از ۶ کوچکچه هندی استفاده شد که به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم‌بندی شدند. ارزیابی توانایی مهاجمی سویه تولید شده به وسیله آزمایش ایجاد ورم ملتحمه بروی کوچکچه هندی بررسی شد.

یافته‌ها: سویه شیگلا دیسانتری تیپ ۱ حاصل به وسیله آزمایش سرولوژیکی و PCR تأیید شد. عدم حضور ژن *ipaD* در سویه یاد شده نیز به تأیید رسید. نتایج آزمایش ایجاد ورم ملتحمه نشان داد که این سویه قدرت مهاجم به سلول‌های میزبان را از دست داده است.

نتیجه‌گیری: نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* نقش مهمی در مهاجم باکتری شیگلا دارد و حذف ژن مذکور قدرت مهاجمی باکتری را کاهش می‌دهد. شیگلا دیسانتری تخفیف حدت یافته زنده که ژن *ipaD* آن حذف شده باشد، می‌تواند کاندید مناسبی برای تولید واکسن علیه شیگلوزیس باشد.

کلیدواژه‌ها: شیگلا دیسانتری تیپ ۱، تخفیف حدت یافته، ورم ملتحمه چشم، کوچکچه هندی، کاندید واکسن

مقدمه

از روده کوچک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و علایمی از قبیل اسهال آبکی به همراه مقادیر مختلفی از خون و مخاط، تب، حالت تهوع، استفراغ، گرفتگی و درد شکمی را بروز می‌دهد [۳ و ۴]. در بین گونه‌های شیگلا، شیگلا دیسانتری تیپ ۱ علاوه بر علایم فوق، باعث تشنج، ناهنجاری سیستم اعصاب مرکزی و بیماری سندرم همولیتیک اورمیک (Hemolytic Uremic Syndrome: HUS) نیز می‌شود [۱]. شیگلا از نظر ژنتیکی بسیار شبیه اشریشیاکلی بوده و گاهی حتی از آن به عنوان اشریشیاکلی بیماری‌زا یاد می‌کنند [۵]. تقریباً ۹۹٪

شیگلا دیسانتری تیپ ۱ باکتری گرم منفی، بی‌هوازی اختیاری، بدون اسپور و جزء خانواده انتروباکتریاسه است [۱]. شیگلا دیسانتری یکی از عوامل بیماری شیگلوزیس است. شیگلوزیس یک بیماری عفونی است که در شرایط بحران‌های اجتماعی و مناطق گرمسیری به سرعت همه‌گیر می‌شود. این همه‌گیری ناشی از پایین آمدن سطح بهداشت عمومی جامعه و عدم دسترسی به آب و غذای سالم است [۲]. این بیماری بخشی

* آدرس مکاتبه: گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران
E-mail: saadati_m@yahoo.com

[۳] (سیل، زلزله، سونامی و...) که ایجاد شرایط بهداشتی مطلوب امکان پذیر نیست [۱۲ و ۱۳]، این بیماری به سرعت گسترش یافته و همه گیر می شود [۱۴ و ۱۵]. کنترل اسهال خونی شیگلایی اغلب از طریق درمان های آنتی بیوتیکی صورت می گیرد که مورد توصیه سازمان بهداشت جهانی (WHO) نیست؛ قیمت بالای آنتی بیوتیک ها، در دسترس نبودن آن ها در کشورهای کمتر توسعه یافته و ظهور سویه های شیگلای مقاوم به یوتیک از دلایل اصلی این امر است. به همین دلایل توصیه سازمان بهداشت جهانی، اتخاذ راهبردهای غیر آنتی بیوتیکی علیه شیگلوزیس است [۱۶]. یکی از این راهبردها تولید واکسن علیه شیگلوزیس است که به علت نداشتن مشکلات مربوط به درمان های آنتی بیوتیکی بسیار مورد توجه است [۶]. واکسن ها اغلب مبتنی بر سویه باکتریایی است و به علت متفاوت بودن همه گیری سویه های مختلف در کشورهای متفاوت تولید واکسن های بومی برای هر منطقه توصیه می شود. شیگلا سونئی، شیگلا فلکسنری و شیگلا دیسانتری به ترتیب شایع ترین سویه های ایران هستند [۱۷]. بنابراین سویه های یاد شده در الویت تولید واکسن هستند. راهکارهای متفاوتی برای تولید واکسن وجود دارد، اما در بین این راهکارها تولید واکسن های تخفیف حدت یافته از نظر ایمنی زایی و قدرت پاسخ های ایمنی تولید شده سودمندتر از بقیه است [۱۸].

از جمله روش هایی که اولین بار برای ایجاد تخفیف حدت در باکتری های بیماری زا مورد استفاده قرار گرفت، پاساژهای متوالی و جهش زایی با مواد شیمیایی بود. روش های اولیه فاقد اختصاصیت بود و به همین دلیل توسط روش های پیشرفته تر مهندسی ژنتیک و نو ترکیبی هومولوگ که اساس آن ها حذف هدفمند ژن های بیماری زا است، جایگزین شد [۱۹]. این روش ها امکان تولید سویه های ضعیف شده به شکل کاملاً هدفمند را فراهم می کند [۲۰ و ۲۱].

در مطالعه حاضر از سویه شیگلا دیسانتری تیپ ۱ که با استفاده از روش Red recombineering λ نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* آن حذف شده بود استفاده شد. این انتخاب با توجه به اهمیت ژن *ipaD* در تهاجم شیگلا به سلول های روده انجام شد. برای ارزیابی قدرت تهاجم سویه زنده ضعیف شده تولید شده از روش بررسی ایجاد ورم ملتحمه چشم در چشم کوچک هندی استفاده شد. این روش یکی از روش های سریع و مناسب برای ارزیابی قدرت تهاجم باکتری ها است و روش

عفونت های شیگلا در مناطق در حال توسعه رخ می دهد و سالانه حدود ۱/۱ میلیون نفر از مبتلایان به شیگلوزیس می میرند که ۶۰٪ آن ها را کودکان زیر ۵ سال تشکیل می دهند [۷ و ۶].

شیگلا پس از ورود به بدن میزبان، راست روده و کولون در دستگاه گوارش را مورد تهاجم قرار می دهد و حتی قادر است این تهاجم را به سلول های پوششی غیر فاگوسیتی نیز گسترش دهد؛ این فرایند از طریق پروتئین هایی انجام می گیرد که در تمام سویه های بیماری زا به شدت حفاظت شده است. این پروتئین ها توسط یک پلاسمید بزرگ ۱۸۶ کیلوبازی کد می شود و به عنوان پلاسمید تهاجمی یا پلاسمید بیماری زا شناخته می شود [۸ و ۹]. پس از ورود باکتری به بدن میزبان، در تماس با سلول های اپی تلیال روده قرار می گیرند و از طریق سیستم ترشحی نوع سوم (TTSS: Type three secretion system) شروع به ترشح فاکتورهای تهاجمی می کنند. از جمله فاکتورهای تهاجمی تولید شده می توان به پروتئین های IpaA, B, C, D اشاره کرد. IpaA در دیپلمریزاسیون اکتین در سلول میزبان نقش دارد [۱۰]. IpaB یک پروتئین ۶۲ کیلودالتونی را کد می کند که پس از القا شدن به وسیله IpaD به سطح سلول فراخوانی می شود و بعد از تشکیل کمپلکس با IpaC یک منفذ را در غشای سلول میزبان ایجاد می کند. IpaC یک پروتئین ۴۳ کیلودالتونی را کد می کند که در مجموع با پروتئین های IpaB و IpaA به شکل یک کمپلکس با غشای سلول میزبان برهمکنش نموده و سیگنال های سلولی را به صورت cascade (آبشاری) به منظور ورود باکتری از طریق اندوزوم تحریک می کند. IpaD یک پروتئین ۳۷ کیلودالتونی را کد می کند که این پروتئین با عملکرد خود موجب به کارگیری IpaB روی سطح باکتری و آغاز فرایند تهاجم می شود. به علاوه IpaD نقش خود چارپرونی نیز دارد [۱۱]. هر باکتری درون یک واکوئل اندوسیتوزی بلعیده می شود و موجب پاره شدن واکوئل و در نتیجه رها شدن باکتری درون سیتوپلاسم سلول پوششی می شود. باکتری در سیتوپلاسم سلول پوششی تکثیر می شود و شروع به مهاجرت سلول به سلول و تخریب جدار روده می کند و در نهایت منجر به اسهال خونی می شود [۱۰ و ۱۱].

جلوگیری از شیگلوزیس با استفاده از رعایت نکات بهداشتی امکان پذیر است. در مناطقی که سطح بهداشت عمومی پایین است یا در شرایط خاص و بحران های اجتماعی

جدول ۱. توالی پرایمرهای مورد استفاده

کاربری	توالی	نام پرایمر
شناسایی ژن <i>stxA</i>	5' CTCGACTGCAAAGACGTATG 3' 5' TCAGGCAGGACACTACTCAA 3'	stxF stxR
شناسایی نسخه پلازمیدی از ژن <i>ipaD</i>	5' TCATGAATTCAGAACAACAAATCAG 35' 5' TCTTAAGCTTTAAAGTATATGAACTAACG 35'	IpaDF IpaDR

آماده‌سازی DNA باکتری و واکنش زنجیرهای پلیمران

باکتری شیگلا دیسانتری تیپ ۱ وحشی و نمونه تخفیف حدت یافته، در محیط TSB مایع کشت داده شد و به مدت ۱۸ ساعت در گرم خانه شیکر دار با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد گرمادهی شد. ژنوم باکتری با استفاده از کیت تخلیص ژنومی AccuPrep (کره جنوبی، BioNEER) طبق دستورالعمل شرکت سازنده استخراج شد، DNA حاصل به‌عنوان الگو در واکنش PCR، برای هر دو ژن *stxA* و *ipaD* استفاده شد. سپس توسط PCR وجود ژن زیر واحد A شیگلا توکسین و عدم حضور ژن *ipaD* در نمونه تخفیف حدت یافته، تأیید شد (شکل ۱). برنامه تکثیر ژن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲. نتایج آزمون‌های حساسیت‌های آنتی‌بیوتیکی

باکتری / آنتی‌بیوتیک	آمپی‌سیلین	کلرامفنیکل	تتراسیکلین	کانامایسین
سویه وحشی	S	S	R	R
سویه تخفیف حدت یافته	S	S	R	R

R: مقاوم به آنتی‌بیوتیک، S: حساس به آنتی‌بیوتیک

جدول ۳. برنامه PCR مورد استفاده برای تکثیر ژن *stxA* و ژن *ipaD*

برنامه تکثیر ژن <i>stxA</i>		برنامه تکثیر ژن <i>ipaD</i>	
۹۵°C	۵ دقیقه	۹۵°C	۱ مرتبه
۹۴°C	۱ دقیقه	۹۴°C	۵ دقیقه
۵۷°C	۳۰ ثانیه	۵۷°C	۳۲ مرتبه
۷۲°C	۴۰ ثانیه	۷۲°C	۲۵ ثانیه
۷۲°C	۵ دقیقه	۷۲°C	۳ دقیقه
۴°C	۴ دقیقه	۴°C	۵ دقیقه

بسیار پر کاربردی است که در مطالعات مختلف استفاده می‌شود [۲۲].

مواد و روش‌ها

محیط‌های کشت

کشت سلول‌ها روی محیط کشت مک کانکی و محیط کشت TSB مایع انجام گرفت. سویه شیگلای موجود به‌وسیله آزمایش‌های آنتی‌بادی پلی‌کلونال (شرکت بهار افشان) تأیید شد و با استفاده از کشت در محیط سالمونلا - شیگلا آگار، در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد کشت و به مدت ۱۶ ساعت گرمادهی شدند. سپس باکتری توسط آزمون‌های بیوشیمیایی مک کانکی، هکتون، زاپلوز لایزین دکربوکسیلاز، اورنیتین دکربوکسیلاز، آزمون تخمیر قند آرابینوز، TSI، ONPG و تولید اندول شناسایی شد.

حذف ژن و انجام آزمون‌های آنتی‌بیوتیکی

با استفاده از روش lambda red recombineering اقدام به حذف نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* از سویه شیگلا دیسانتری موجود شد که در منابع دیگر [۱۹] تشریح شده است. پس از انجام حذف ژن اقدام به انجام آزمون‌های آنتی‌بیوتیکی شد. با استفاده از دیسک‌های آنتی‌بیوتیکی کلرامفنیکل، آمپی‌سیلین، کانامایسین و تتراسیکلین میزان حساسیت سویه هدف و شاهد بررسی شد. این آزمون برای تأیید درستی مراحل حذف ژن نیز کاربرد دارد.

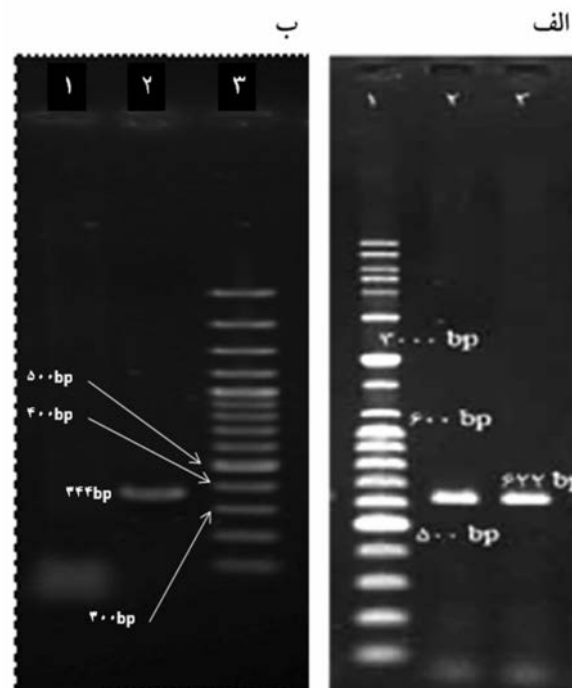
طراحی آغازگر

به‌منظور شناسایی سروتیپ شیگلا سویه وحشی و شیگلای تخفیف حدت یافته، با توجه به اطلاعات موجود در بانک ژنی، پرایمر اختصاصی برای ژن *stxA* طراحی شد که محصول حاصل از تکثیر به‌وسیله این پرایمرها ۶۲۲ جفت باز است. این ژن تنها در شیگلا دیسانتری تیپ ۱ حضور دارد. برای تأیید عدم حضور نسخه پلازمیدی ژن *ipaD* پرایمر اختصاصی برای ژن مذکور طراحی شد. محصول حاصل از تکثیر به‌وسیله این پرایمرها ۳۴۴ جفت باز است. (جدول ۱)

محیط کشت LB استریل بودند ریخته و مجدد ورتکس شدند. این فرآیند تا ۵ بار دیگر تکرار شد. در انتها از هر ۷ لوله ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و در ۷ محیط کشت جامد LB با رعایت نکات استریل کشت داده شد و هر پلیت با شماره گذاری کامل مشخص شد. (برای سویه وحشی و سویه ضعیف شده این مراحل عیناً انجام شد) پلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. با شمارش تعداد کلونی‌های رشد کرده روی محیط‌های جامد و محاسبه ضریب رقیق سازی باکتری، مقدار CFU مورد نیاز محاسبه شد. برای انجام آزمون سرنی مقدار CFU 10^6 از باکتری شیگلا در نظر گرفته شد. مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت LB مایع استریل تهیه و شیگلا دیسانتری وحشی (جداسازی شده از بیمار) در آن تلقیح شد. برای سویه ضعیف شده نیز همین عمل تکرار شد. با رسیدن مقدار جذب نوری (۶۰۰nm) به ۰/۵، غلظتی از باکتری‌ها تهیه شد که هر ۲۵ میکرولیتر آن حاوی 10^6 CFU باکتری باشد. در انتها در چشم هر ۳ خوکچه هندی گروه آزمایش ۲۵ میکرولیتر از نمونه باکتری ضعیف شده (با غلظت مشخص) و در چشم هر ۳ خوکچه گروه کنترل هم ۲۵ میکرولیتر از سویه وحشی ریخته شد و سپس حیوانات به مدت ۴۸ ساعت کنترل شدند و تغییرات ایجاد شده در آن‌ها ثبت شد.

یافته‌ها

سویه سلول‌های دریافت شده به وسیله آزمون‌های بیوشیمیایی تأیید شد. برای اطمینان از زیرگروه باکتری نیاز به تأیید از طریق انجام PCR برای ژن *stxA* است. حضور ژن زیر واحد A شیگلا توکسین (*stxA*) با انجام روش PCR و الکتروفورز روی ژل آگارز ۱/۵٪ مشخص شد. حضور باند ۶۲۲ جفت بازی نشان‌دهنده این موضوع است (شکل ۱ الف)؛ این ژن تنها در شیگلا دیسانتری تیپ ۱ حضور دارد و حضور آن تأکید بیشتری بر نتایج آزمون‌های بیوشیمیایی است. سپس حضور ژن *ipad* در سویه وحشی مهاجم و عدم حضور آن در سویه تخفیف حدت یافته بررسی شد. نتایج انجام PCR برای نسخه پلازمیدی ژن *ipad* نشان‌دهنده درستی حذف ژن مذکور در سویه تخفیف حدت یافته موجود بود به نحوی که نتایج تکثیر ژن *ipad* در سویه وحشی مثبت و در سویه تخفیف حدت یافته منفی بود (شکل ۱ ب). نتایج آزمون‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی نشان‌دهنده مقاومت بیشتر سویه‌ها به آنتی‌بیوتیک‌های متداول بود و اثبات شد که سویه تخفیف حدت



شکل ۱. محصولات تکثیر (PCR) ژن‌های *stxA* و *ipad* روی ژل آگارز ۱،۵ درصد
 الف- چاهک ۱: نشانگر DNA، چاهک ۲: حضور ژن *stxA* در سویه وحشی، چاهک ۳: حضور ژن *stxA* در سویه تخفیف حدت یافته که نشان‌دهنده سروتیپ ۱ از شیگلا دیسانتری است.
 ب- چاهک ۱: عدم حضور نسخه پلازمیدی ژن *ipad* در سویه تخفیف حدت یافته، چاهک ۲: حضور ژن *ipad* در سویه وحشی گرفته شده از بیمار، چاهک ۳: نشانگر DNA

انجام آزمون سرنی در خوکچه هندی

برای ارزیابی قدرت تهاجمی سویه تولید شده از چالش با خوکچه و آزمون ورم ملتحمه چشم استفاده شد. تعداد ۶ سرخوکچه هندی برای این مرحله از مطالعات در نظر گرفته شدند. ۳ عدد در گروه کنترل و ۳ عدد در گروه آزمایش قرار گرفتند. برای انجام چالش، آزمون کیفی سرنی در نظر گرفته شد و لازم بود که سوش شیگلایی وحشی که در فاز تهاجمی قرار دارد از بیمار تهیه و برای تست سرنی استفاده شود. سوش وحشی و سویه ضعیف شده هر کدام، در ۵ میلی‌لیتر محیط LB مایع کشت داده شدند، با رسیدن OD مناسب (OD₆₀₀ = 0.5)، به منظور محاسبه مقدار CFU باکتری، مقدار ۱ میلی‌لیتر از نمونه‌ها (با رعایت تمامی نکات استریل) برداشته شد و در ۹ میلی‌لیتر محیط کشت استریل ریخته و خوب ورتکس شدند (نسبت ۱/۱۰). از نمونه‌های حاصل ۱ میلی‌لیتر برداشته و در لوله‌های دیگر که حاوی ۹ میلی‌لیتر

از خود نشان می‌دهند. بیش از ۹۰٪ سویه‌های شیگلایی موجود در ایران به یک یا بیش از یک آنتی بیوتیک مقاوم هستند و حدود ۸۷٪ نیز به چند آنتی بیوتیک مقاوم هستند [۲۴]؛ این امر دلیلی بر ضرورت تغییر در راهکار مقابله با این بیماری و کاهش استفاده از آنتی بیوتیک‌ها برای مقابله با این بیماری و تلاش در راستای تولید واکسن برای مقابله با شیگلوزیس در ایران است. تا کنون تلاش‌های بسیار زیادی برای تولید یک واکسن ایمن و مؤثر علیه عامل بیماری اسهال خونی شیگلایی در جهان صورت گرفته است که به نتیجه نهایی و دلخواه منتهی نشده است. دلایل این امر عبارتست از عدم تحریک مناسب ایمنی مخاطی، ایمن نبودن در کودکان، پیچیده بودن روند تولید واکسن و گران بودن بعضی از واکسن‌های تولید شده و عدم صدور مجوز برای استفاده در حجم وسیع و عمومی. موارد یاد شده گاهی منجر به محدود شدن این واکسن‌ها به یک کشور خاص و یک گروه سنی خاصی می‌شود. یکی از مهمترین راهکارهای تولید واکسن علیه شیگلوزیس تولید واکسن‌های زنده مهاجم و تخفیف حدت یافته است زیرا این واکسن‌ها علاوه بر داشتن مصرف خوراکی، توانایی بالایی در تحریک سیستم ایمنی مخاطی و فعال کردن شدید سیستم ایمنی دارد [۲۵].

محققان در سال ۱۹۸۴ سویه جهش یافته *T32-Istrati* را با استفاده از روش پاساژ متوالی در شیگلا فلکسنری *2a* ایجاد نمودند. این کاندید واکسنی بعد از ۳۲ مرتبه کشت متوالی در محیط نوترینت آگار جداسازی و از نظر ایجاد ورم ملتحمه در چشم خوکچه هندی (آزمون سرنی) منفی گزارش شد [۲۶]. این سویه در سال ۱۹۹۰ از لحاظ فنوتیپی و ژنوتیپی ارزیابی شد. ارزیابی‌ها نشانگر حذف سه لکوس (*invA*) و *mxIA* و *virG JpaABCD* در پلاسمید مهاجمی شیگلا بود [۲۷ و ۲۸]. همچنین کاندید واکسنی شیگلا فلکسنری *2a* وابسته به استریپتومایسین (*Smd*) نیز با روشی مشابه ساخت *T32-Istrati* در سال ۱۹۷۲ ایجاد شد. روش پاساژ متوالی معایبی همچون عدم اختصاصیت، برگشت پذیری به نوع وحشی و ناپایداری ژنتیکی را دارد؛ بنابراین روش مناسبی برای ایجاد جهش اختصاصی و هدفمند در باکتری نیست [۲۶].

امروزه با پیشرفت روش‌های مهندسی ژنتیک از روش‌های گوناگونی به منظور ایجاد جهش و گسستگی در ژن‌ها استفاده می‌شود که اغلب بر مبنای غیر فعال کردن ژن‌ها از طریق دخول کاست ژنی یا حذف ژن است [۲۹]. یوشیکاوا (Yoshikawa) و همکاران در سال ۱۹۹۵ با ایجاد دو جهش در ژن‌های *virG* و *thyA* توانستند سویه تخفیف حدت یافته شیگلا فلکسنری *2a* را

یافته موجود نسبت به آنتی بیوتیک‌های آمپی سیلین و کلرامفنیکل حساس است (این امر نشان‌دهنده کامل بودن مراحل حذف ژن *ipad* است) که در جدول ۲ آمده است.

برای ارزیابی قدرت مهاجمی سویه تخفیف حدت یافته تولید شده، آزمون سرنی در خوکچه هندی انجام شد. خوکچه‌هایی که در چشم آن‌ها باکتری شیگلا دیسانتری تیپ ۱ وحشی (بر گرفته از نمونه‌های بالینی) ریخته شده بود، همگی ورم ملتحمه چشم را بروز دادند و خوکچه‌هایی که تحت اثر سویه تخفیف حدت یافته (تولید شده به واسطه حذف نسخه پلاسمیدی ژن *ipad*) قرار گرفتند ورم ملتحمه چشم را بروز ندادند. این امر نشان‌دهنده از دست دادن قدرت مهاجم در شیگلا دیسانتری تخفیف حدت یافته است. این در حالی است که نمونه‌های کنترل که از نمونه‌های بالینی به دست آمده‌اند، هنوز قدرت مهاجم خود را حفظ کرده و بیماری‌زا هستند (شکل ۲).



شکل ۲. بررسی قدرت مهاجم سویه زنده ضعیف شده تولید شده در نتیجه حذف نسخه پلاسمیدی ژن *ipad* از باکتری شیگلا الف- نمونه‌ای از خوکچه‌هایی که به وسیله سویه وحشی آزمون شده بودند که بروز ورم ملتحمه چشم را نشان می‌دهند. ب- نمونه‌ای از خوکچه‌هایی که به وسیله سویه زنده ضعیف شده آزمون شده بودند که ورم ملتحمه چشم را بروز ندادند.

بمٹ و نتیجه‌گیری

با توجه به نرخ بروز نسبتاً بالای شیگلوزیس در مناطق گرمسیری کشورهای در حال توسعه و همه‌گیری سریع آن در شرایط بحران‌های اجتماعی نیاز به مقابله با این بیماری بسیار جدی است [۱۵]. باکتری شیگلا حتی در دوزهای بسیار پایین نیز قابلیت ایجاد اسهال خونی را داراست [۲۳]. بروز سویه‌های شیگلایی مقاوم به آنتی بیوتیک نیز عاملی است تا مقابله با این بیماری را دشوارتر از پیش به نظر برسد. در ایران شیگلا سونئی و شیگلا دیسانتری سویه‌هایی از شیگلا هستند که مقاومت دارویی بالایی را

ایمنی‌زایی مربوط به سویه‌های تولید شده نیز مناسب بودن سویه‌های تولید شده با این روش را برای تولید واکسن تأیید می‌کند [۱۹ و ۳۵].

با توجه به نتایج بالینی سویه‌های واکسنی تولید شده به‌نظر می‌رسد علاوه بر ژن *virG* که نقش مهمی در تهاجم شیگلا دارد [۳۶]، ژن *ipaD* هم کاندید مناسبی برای حذف و تولید واکسن زنده ضعیف شده باشد، چرا که حذف این ژن تهاجم و گسترش بین سلولی باکتری شیگلا را به شدت کاهش می‌دهد. علاوه بر این؛ شناسایی پروتئین IpaD توسط آنتی‌بادی‌ها تهاجم شیگلا را سرکوب می‌نماید [۳۵]. این پروتئین در نوک ساختار سوزن مانند مسئول تهاجم شیگلا است [۳۷ و ۳۸] و نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری ماشین تهاجمی شیگلا دارد [۳۹] و اجازه به کارگیری سایر پروتئین‌ها روی غشای سلول هدف را فراهم می‌کند [۳۹ و ۴۰]؛ بنابراین بررسی خصوصیات تهاجمی سویه‌ای از شیگلا که فاقد ژن یاد شده باشد، می‌تواند بسیار امیدوارکننده باشد.

نسخه پلاسمیدی ژن *ipaD* به دلیل بیان همزمان با ژن‌های دیگر مسئول در تهاجم شیگلا که روی پلاسمید تهاجمی حضور دارند، نقش بسیار حیاتی در تهاجم باکتری دارد. نتایج ارزیابی قدرت تهاجمی سویه زنده ضعیف شده حاصل از حذف این ژن نیز تأییدکننده این مطلب است. سویه مورد بررسی در مطالعه حاضر به دلیل نداشتن قدرت تهاجمی و عدم توانایی در تولید ورم ملتحمه چشم در خوکچه هندی می‌تواند انتخاب مناسبی برای تولید واکسن علیه شیگلوزیس باشد.

تشکر و قدرانی

مطالعه حاضر با حمایت کامل مادی و معنوی دانشگاه جامع امام حسین (ع) انجام گرفته است. از دکتر رضا رؤفیان و دکتر مجتبی صفاری نیز به خاطر کمک‌های بی دریغشان سپاسگزاریم.

References

1. Kotloff KL, Winickoff JP, Ivanoff B, Clemens JD, Swerdlow DL, Sansonetti PJ, et al. Global burden of Shigella infections: implications for vaccine development and implementation of control strategies. Bull World Health Organ 1999; 77: 651-66.
2. Bhimma R, Rollins NC, Coovadia HM, Adhikari M. Post-dysenteric hemolytic uremic syndrome in

با استفاده از ترانسپوزون *Tn10* و فاژ P1 ایجاد کنند [۳۰] که عدم ایجاد التهاب و حفاظت در برابر شیگلا از نتایج آن در مدل حیوانی خوکچه هندی بود [۳۱]. نتایج بالینی سویه واکسنی CVD1203 (*ΔvirG, ΔaroA*) هم که توسط نورجیا و همکاران (Noriega) در سال ۱۹۹۴ ساخته شده بود، در خوکچه هندی و انسان در دوز متوسط (در حدود 10^6 CFU) نشان از تحمل‌پذیری بالای آن داشت؛ اما در دوزهای بالاتر (در حدود 10^8 تا 10^9 CFU) بخشی از دریافت‌کنندگان به سویه واکسنی واکنش منفی نشان دادند [۲۵]. همچنین نتایج بالینی سویه‌های تولید شده نظیر CVD1204 (*ΔguaBA*)، CVD1205 (*virG*)، CVD1207 (*ΔΔguaBA, Δset, Δsen, ΔguaBA, ΔvirG*)، CVD1208 (*Δset, Δsen, ΔguaBA*) نشان داد که حذف و غیر فعال نمودن ژن‌های متابولیکی و توکسینی منجر به تحمل‌پذیری و ایمنی‌زایی بالایی در انسان می‌شود [۲۵]. لونا و همکاران (Launay) در سال ۲۰۰۸ سویه کاندید واکسنی SC599 را از سویه شیگلا دیسانتری تیپ ۱ حامل جهش حذفی در ژن‌های *entF, virG, fes* (ژن مسئول بیوسنتز انتروکلین)، *fehA* (گیرنده دریافت‌کننده انتروکلین) و *fes* (مسئول رها سازی Fe^{3+}) و *stx* ساختند. نتایج بالینی این سویه در داوطلبان انسانی ایمنی محافظتی مناسبی را از خود نشان داد [۳۲].

در سال ۲۰۰۶ توسط رنلو و همکاران (Ranallo) سویه‌های جهش‌یافته‌ای در ژن‌های *msbB1, msbB2, sen, set1, Aasd* و *ipa H9/8* و *uhP T* در شیگلا فلکسنری *WRSf2 2a* [۱۹]، ژن‌های *virG* و *stxAB* در شیگلا دیسانتری تیپ ۱ (*WRSd1*) و جهش‌هایی در ژن‌های *ipaB* و *sen, virG* در شیگلا سونتی (*WRSs*) ایجاد کردند. روش به کار گرفته شده به منظور ایجاد این سویه‌ها روش نو ترکیبی لامبدا رد (λ -Red Recombineering) بود، که روش بسیار کارآمدی است [۳۳-۳۵]. نتایج این تحقیق کارایی این روش را در باکتری شیگلا نشان داد. بررسی‌های

children during an epidemic of Shigella dysentery in Kwazulu/Natal. Pediatr Nephrol 1997; 11: 560-4.

3. Cook GC. Effect of global warming on the distribution of parasitic and other infectious diseases: a review. J R Soc Med 1992; 85: 688-91.
4. Banish LD, Sims R, Sack D, Montali RJ, Phillips L Jr, Bush M. Prevalence of shigellosis and other enteric

- pathogens in a zoologic collection of primates. *J Am Vet Med Assoc* 1993; 203: 126-32.
5. Lai V, Wang L, Reeves PR. Escherichia coli clone Sonnei (*Shigella sonnei*) had a chromosomal O-antigen gene cluster prior to gaining its current plasmid-borne O-antigen genes. *J Bacteriol* 1998; 180: 2983-6.
 6. Girard MP, Steele D, Chaignat CL, Kieny MP. A review of vaccine research and development: human enteric infections. *Vaccine* 2006; 24: 2732-50.
 7. Bennish ML. Potentially lethal complications of shigellosis. *Rev Infect Dis* 1991; 13: S319-24.
 8. Venkatesan MM, Buysse JM, Kopecko DJ. Characterization of invasion plasmid antigen genes (ipaBCD) from *Shigella flexneri*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1988; 85: 9317-21.
 9. Venkatesan MM, Goldberg MB, Rose DJ, Grotbeck EJ, Burland V, Blattner FR. Complete DNA sequence and analysis of the large virulence plasmid of *Shigella flexneri*. *Infect Immun* 2001; 69: 3271-85.
 10. Bourdet-Sicard R, Rüdiger M, Jockusch BM, Gounon P, Sansonetti PJ, Nhieu GT. Binding of the *Shigella* protein IpaA to vinculin induces F-actin depolymerization. *EMBO J* 1999; 18: 5853-62.
 11. Espina M, Olive AJ, Kenjale R, Moore DS, Ausar SF, Kaminski RW, et al. IpaD localizes to the tip of the type III secretion system needle of *Shigella flexneri*. *Infect Immun* 2006; 74: 4391-400.
 12. Robbins ML, Parr LW, Hann WD. Coliform-*Shigella* antagonism in fecal cultures among isolates from residents of two Egyptian villages. *Am J Epidemiol* 1958; 68: 6-12.
 13. Scrimshaw NS, Guzmán MA, Kevany JJ, Ascoli W, Bruch HA, Gordon JE. Studies of diarrheal disease in Central America: IV. Demographic distributions of acute diarrheal disease in two rural populations of the Guatemalan highlands. *Am J Trop Med Hygiene* 1962; 11: 401-9.
 14. Chung JSH, Shek KC, Yau HH, CW Kam. Emergency physicians in tsunami relief: a discussion of tsunami-related health conditions and necessary preparations. *Hong Kong J Emerg Med* 2005; 12: 252-60.
 15. Greenberg JH, Schmidt EA, Bell FS Jr. A common source epidemic of shigellosis. *Public Health Rep* 1966; 81: 1019-24.
 16. Oaks EV, Turbyfill KR. Development and evaluation of a *Shigella flexneri* 2a and *S. sonnei* bivalent invasin complex (Invaplex) vaccine. *Vaccine* 2006; 24: 2290-301.
 17. Ranjbar R, Aleo A, Giammanco GM, Dionisi AM, Sadeghifard N, Mamma C. Genetic relatedness among isolates of *Shigella sonnei* carrying class 2 integrons in Tehran, Iran, 2002-2003. *BMC Infect Dis* 2007; 7: 62.
 18. Lindberg AA, Kärnell A, Stocker BA, Katakura S, Sweiha H, Reinholt FP. Development of an auxotrophic oral live *Shigella flexneri* vaccine. *Vaccine* 1988; 6: 146-50.
 19. Ranallo RT, Barnoy S, Thakkar S, Urick T, Venkatesan MM. Developing live *Shigella* vaccines using Red recombineering. *FEMS Immunol Med Microbiol* 2006; 47: 462-9.
 20. Murphy KC. Use of bacteriophage lambda recombination functions to promote gene replacement in *Escherichia coli*. *J Bacteriol* 1998; 180: 2063-71.
 21. Zhang Y, Buchholz F, Muyrers JP, Stewart AF. A new logic for DNA engineering using recombination in *Escherichia coli*. *Nat Genet* 1998; 20: 123-8.
 22. Mackel DC, Langlet LF, Venice LA. The use of the guinea-pig conjunctiva as an experimental as a model for the study of virulence of shigella organisms. *Am J Epidemiol* 1961; 73: 219-23.
 23. Freter R., Experimental enteric *Shigella* and *Vibrio* infections in mice and guinea pigs. *J Exp Med* 1956; 104: 411.
 24. MoezArdalan K, Zali MR, Dallal MM, Hemami MR, Salmanzadeh-Ahrabi S. Prevalence and pattern of antimicrobial resistance of *Shigella* species among patients with acute diarrhoea in Karaj, Tehran, Iran. *J*

- Health Popul Nutr 2003; 21: 96-102.
25. Kotloff KL, Pasetti MF, Barry EM, Nataro JP, Wasserman SS, Sztein MB, et al. Deletion in the Shigella enterotoxin genes further attenuates Shigella flexneri 2a bearing guanine auxotrophy in a phase 1 trial of CVD 1204 and CVD 1208. *J Infect Dis* 2004; 190: 1745-54.
 26. Jennison AV, Verma NK. Shigella flexneri infection: pathogenesis and vaccine development. *FEMS Microbiol Rev* 2004; 28: 43-58.
 27. Venkatesan MM, Hartman AB, Newland JW, Ivanova VS, Hale TL, McDonough M, et al. Construction, characterization, and animal testing of WRSd1, a Shigella dysenteriae 1 vaccine. *Infect Immun* 2002; 70: 2950-8.
 28. Venkatesan M, Fernandez-Prada C, Buysse JM, Formal SB, Hale TL. Virulence phenotype and genetic characteristics of the T32-ISTRATI Shigella flexneri 2a vaccine strain. *Vaccine* 1991; 9: 358-63.
 29. Lesic B, Rahme LG. Use of the lambda Red recombinase system to rapidly generate mutants in Pseudomonas aeruginosa. *BMC Mol Biol* 2008; 9: 20.
 30. Yoshikawa M, Sasakawa C, Okada N, Takasaka M, Nakayama M, Yoshikawa Y, et al. Construction and evaluation of a virG thyA double mutant of Shigella flexneri 2a as a candidate live-attenuated oral vaccine. *Vaccine* 1995; 13: 1436-40.
 31. Hartman AB, Venkatesan MM. Construction of a stable attenuated Shigella sonnei Delta virG vaccine strain, WRSS1, and protective efficacy and immunogenicity in the guinea pig keratoconjunctivitis model. *Infect Immun* 1998; 66: 4572-6.
 32. Launay O, Sadorge C, Jolly N, Poirier B, Béchet S, van der Vliet D, et al. Safety and immunogenicity of SC599, an oral live attenuated Shigella dysenteriae type-1 vaccine in healthy volunteers: results of a Phase 2, randomized, double-blind placebo-controlled trial. *Vaccine* 2009; 27: 1184-91.
 33. Serra-Moreno R, Acosta S, Hernalsteens JP, Jofre J, Muniesa M. Use of the lambda Red recombinase system to produce recombinant prophages carrying antibiotic resistance genes. *BMC Mol Biol* 2006; 7: 31.
 34. Noriega FR, Wang JY, Losonsky G, Maneval DR, Hone DM, Levine MM. Construction and characterization of attenuated delta aroA delta virG Shigella flexneri 2a strain CVD 1203, a prototype live oral vaccine. *Infect Immun* 1994; 62: 5168-72.
 35. Germani Y, Philippe J. Sansonetti. Live-Attenuated Shigella Vaccines. Is Encouraging Good Enough?. *Replicating Vaccines* 2011: 99-117.
 36. Fontaine A, Arondel J, Sansonetti PJ. Construction and evaluation of live attenuated vaccine strains of Shigella flexneri and Shigella dysenteriae 1. *Res Microbiol* 1990; 141: 907-12.
 37. Cornelis GR. The type III secretion injectisome. *Nat Rev Microbiol* 2006; 4: 811-25.
 38. Skoudy A, Mounier J, Aruffo A, Ohayon H, Gounon P, Sansonetti P, et al. CD44 binds to the Shigella IpaB protein and participates in bacterial invasion of epithelial cells. *Cell Microbiol* 2000; 2: 19-33.
 39. Picking WL, Nishioka H, Hearn PD, Baxter MA, Harrington AT, Blocker A, et al. IpaD of Shigella flexneri is independently required for regulation of Ipa protein secretion and efficient insertion of IpaB and IpaC into host membranes. *Infect Immun* 2005; 73: 1432-40.
 40. Blocker A, Jouihri N, Larquet E, Gounon P, Ebel F, Parsot C, et al. Structure and composition of the Shigella flexneri 'needle complex', a part of its type III secretion. *Mol Microbiol* 2001; 39: 652-63.