

## بیان توالی بهینه شده ژن زیرواحد اصلی فاکتور کلونیزاسیون I اشریشیا کولی انتروتوکسیژنیک (ETEC)

زهرا احصایی<sup>۱</sup>، جعفر سلیمیان<sup>۲\*</sup>، شهرام نظریان<sup>۳</sup>، میثم منصوری<sup>۴</sup>، جعفر امانی<sup>۵</sup>، راضیه خالصی<sup>۱</sup>، سیدمحمد مؤذنی<sup>۵</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم زیستی، دانشکده علوم، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه علوم زیستی، دانشکده علوم، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم زیستی، دانشکده علوم، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران

۴- دانشجوی دکتری تخصصی، مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کاربردی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

۵- استاد، گروه ایمونولوژی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۸۹/۰۶/۱۶

پذیرش مقاله: ۸۹/۰۹/۰۹

### چکیده

**هدف:** اشریشیا کولی انتروتوکسیژنیک به عنوان مهم‌ترین عامل اسهال و مرگ و میر در کودکان در کشورهای در حال توسعه شناخته شده است. این باکتری سالانه موجب مرگ ۳۰۰ تا ۵۰۰ هزار کودک زیر ۵ سال می‌شود. به دلیل درمان مشکل و شیوع زیاد آن، طراحی یک واکسن مؤثر علیه این ارگانیسم از اهداف سازمان بهداشت جهانی است. پروتئین CfaB به عنوان زیرواحد اصلی فیمبریه، نقش مهمی در اتصال باکتری به سلول‌های پوششی روده دارد و آنتی‌بادی‌های تولید شده علیه این پروتئین می‌توانند از اتصال باکتری به سطح بافت پوششی جلوگیری کند. از این رو این مولکول به تنهایی یا با سایر عوامل حدت‌زا در طراحی واکسن علیه این ارگانیسم مورد توجه بسیاری از محققین است. در این مطالعه، بیان فاکتور کلونیزاسیون B با هدف مطالعه ایمونوژنیسیته این پروتئین به عنوان جزئی از کاندیدای واکسن انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** ژن *cfaB* با روش PCR، تکثیر و در ناقل pET28a همسانه‌سازی و بیان آن بررسی شد. با توجه به عدم بیان این ژن به علت وجود کدون‌های نادر، ژن *cfaB* با استفاده از کدون‌های متداول در اشریشیا کولی بهینه‌سازی و مجدداً در ناقل pET28a همسانه‌سازی و بیان شد.

**نتایج:** حضور باند ۲۰ کیلو دالتونی در ژل SDS-PAGE، بیان پروتئین CfaB را نشان می‌داد که با روش ایمنو بلات با آنتی‌بادی anti-His tag و آنتی‌بادی ضد CfaB، تأیید و با ستون کروماتوگرافی تمایلی نیکل تخلیص شد.

**نتیجه‌گیری:** بهینه‌سازی کدون و بیان در میزبان‌های هترولوگ یک روش مفید در تولید پروتئین‌های نو ترکیب به مقدار زیاد است.

**کلیدواژگان:** اشریشیا کولی انتروتوکسیژنیک، فاکتور کلونیزاسیون نوع I، بیان

### ۱- مقدمه

بیماری‌های التهابی مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه، علت مرگ و میر حدود ۶۰ درصد کودکان زیر ۴ سال است [۱]. اسهال التهابی حاد، دومین عامل رایج مرگ در کودکان در کشورهای در حال توسعه است. اشریشیا کولی انتروتوکسیژنیک

\*نشانی مکاتبه: تهران، دانشگاه امام حسین (ع)، دانشکده علوم، گروه علوم زیستی، کدپستی: ۱۶۹۸۷۱۵۸۶۱

(Enterotoxigenic *Escherichia coli*: ETEC) رایج ترین عامل اسهال التهابی در این کشورهاست و منجر به حدود ۲۰ درصد همه موارد اسهالی کودکان این مناطق و حدود ۷۰ درصد اسهال مسافران می شود [۲]. این باکتری همچنین در مواقع بلایای طبیعی همانند سیل و زلزله شیوع پیدا می کند و سلامت افراد را به خطر می اندازد [۳]. شواهدی دال بر وجود پیدایش ایمنی اکتسابی علیه ETEC بعد از عفونت طبیعی وجود دارد؛ بنابراین امکان طراحی یک واکسن مؤثر علیه این ارگانیسم امکان پذیر است. توسعه واکسن مؤثر علیه ETEC به منظور کنترل بیماری یکی از اولویت های تحقیقاتی سازمان بهداشت جهانی (World Health Organization: WHO) است [۴].

عوامل حدت زای اختصاصی مانند انتروتوکسین ها (Enterotoxins) و فاکتورهای کلونیزاسیون (Colonization Factors: CF) ETEC را از سایر سویه های اشریشیاکولی مولد اسهال متمایز می کند. باکتری ETEC بعد از اتصال و کلونیزه شدن در بافت پوششی (Epithelium) روده کوچک، با ترشح انتروتوکسین مقاوم یا حساس به حرارت باعث ترشح مایعات و الکترولیت ها از این سلول ها و اسهال می شود [۵]. اصطلاح CF و آنتی ژن فاکتور کلونیزاسیون (CF Antigen: CFA) برای سویه های مختلف ETEC کاربرد دارد و به مولکول های چسبنده ای اشاره می کند که موجب کلونیزاسیون ارگانیسم در روده میزبان می شود [۶]. بیش از ۲۵ نوع CF در سویه های ETEC انسانی شناسایی شده است. در میان این عوامل کلونیزاسیون، CFA/I اولین و رایج ترین CF شناسایی شده است. سویه های بیان کننده CFA/I در مناطق اندمیک آمریکای جنوبی و آسیا، گسترده هستند [۷]. ژن این فیمبریه (Fimberia) و توکسین مقاوم به حرارت روی پلاسמיד NTP113 قرار گرفته است [۸، ۹]. بیان ۴ ژن *cfaABCE* در اپرون CFA/I برای مونتاژ فیمبریه ضروری است. این فیمبریه از بیش از هزار کپی از زیرواحد اصلی پیلین (Pilin) (CfaB) و یک یا چند کپی از زیرواحد فرعی چسبنده (CfaE) تشکیل شده است [۱۰]. مطالعات اخیر به طور واضح نشان داده است

که زیرواحد CfaB به عنوان زیرواحد اصلی CFA/I نقش مهمی در اتصال باکتری به سلول های پوششی روده دارد. این زیرواحد به عنوان شاخص آنتی ژنی فیمبریه محسوب می شود. زیرواحد CfaB پروتئین اتصالی است که به طور اختصاصی به شماری از توالی های کربوهیدراتی موجود در گلیکولیپیدها و گلیکوپروتئین های روده کوچک انسان متصل می شود. سیالوگلیکوپروتئین ها (Sialoglycoproteins) و گانگلیوزید GM2 (Ganglioside GM2) پذیرنده اتصالی به این پروتئین ها معرفی شده اند [۱۱]. به دلیل این که اتصال ETEC به سلول های روده ای برای ایجاد بیماری ضروری است؛ جلوگیری از اتصال باکتری می تواند بیماری اسهال ناشی از ETEC را کنترل نماید. آنتی بادی علیه CF می تواند مانع از چسبیدن اولیه این باکتری به میزبان شود. واکسن های حاوی CF در حیوانات آزمایشگاهی مؤثر بوده و در کارآزمایی بالینی در حال ارزیابی است. آنتی بادی های اختصاصی علیه CfaB از اتصال CFA/I به پذیرنده گانگلیوزیدی مشابه موجود روی اریتروسیت ها ممانعت می کند [۱۲]. همچنین نشان داده شده است که آنتی بادی مونوکلونال (Monoclonal) علیه این پروتئین از اتصال سلول های بیان کننده CFA/I به سلول های روده انسان جلوگیری می نماید [۱۳].

اطلاعات به دست آمده نشان می دهد که مولکول CfaB کاندیدی مناسب برای طراحی واکسن علیه ETEC است. پتانسیل استفاده از فاکتورهای چسبنده فیمبریه ای به عنوان واکسن، توجه بیشتری را به مطالعه این پروتئین ها جلب کرده است [۱۲]. در این تحقیق همسانه سازی و بیان ژن *cfaB* در ناقل بیانی pET28a، به منظور تولید پروتئین نو ترکیب بررسی می شود.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- تخلیص ژنوم و واکنش زنجیره ای پلیمرز (PCR)

باکتری ETEC از آزمایشگاه رفرانس، بیمارستان بوعلی تهیه و سپس ژنوم این باکتری با روش CTAB-NaCl و سپس (Cetyltrimethyl ammonium bromide) تخلیص شد [۱۳].

گالاکتوپیرانوزید (X-Gal) و آمپی‌سیلین (Ampicillin) (غلظت ۸۰ میکروگرم در هر میلی‌لیتر) کشت داده شدند [۱۴]. برای تأیید همسانه‌سازی ژن *cfaB*، از کلونی‌های سفید رنگ، کشت داده و با استفاده از آغازگرهای اختصاصی، کلونی-PCR انجام شد. سپس از کلونی‌های مثبت، پلاسمیدهای نوترکیب تخلیص و واکنش هضم آنزیمی با آنزیم‌های *XhoI* و *HindIII* به مدت ۶ ساعت انجام شد. تمامی این مراحل با استفاده از روش‌های استاندارد انجام شد [۱۴].

### ۲-۳- زیرهمسانه‌سازی ژن *cfaB* در ناقل بیان *pET28a*

برای زیرهمسانه‌سازی، ابتدا واکنش هضم آنزیمی روی پلاسمید نوترکیب (pTZ57R/T-*cfaB*) و همچنین پلاسمید بیانی *pET28a*، با آنزیم‌های محدودالتر *XhoI* و *HindIII* به مدت ۶ ساعت در دمای ۳۷ درجه انجام گرفت. محصول PCR و ناقل *pET28a* برش خورده با کمک کیت تخلیص محصول PCR (Bioneer) تخلیص شد. واکنش الحاق در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ ساعت انجام و با روش شوک حرارتی به میزبان اشریشیا کولی سویه BL21DE3pLysS انتقال یافت. دو نوع واکنش هضم آنزیمی برای برش پلاسمیدهای نوترکیب طراحی شد. یکی از واکنش‌ها با آنزیم‌هایی انجام شد که محل برش آن‌ها در آغازگرها قرار داده شده بود. واکنش هضم آنزیمی دیگری با آنزیم *EcoRI* صورت گرفت که دارای یک جایگاه برش بر روی ناقل *pET28a* و یک جایگاه برش بر روی قطعه ژنی *cfaB* است. در نهایت برای اطمینان از صحت ترادف ژن، پلاسمید *pET28a-cfaB* تخلیص و برای تعیین ترادف به شرکت (China) Shine Gene ارسال شد.

### ۲-۴- بررسی بیان سازه ژنی *pET28a-cfaB*

برای بررسی بیان ژن هدف، بهینه‌سازی بیان برای ۳ کمیت،

توالی ژن *cfaB* از بانک ژن (شماره دسترسی: M55661) استخراج و براساس آن، آغازگر پیشرو و برگشت طراحی شد. آغازگر پیشرو دارای جایگاه برش آنزیم *HindIII* و ترادف 5'-TGTGCAGTGAGTGCTAAGCTTGTAGAG-3' و آغازگر برگشت واجد جایگاه برش آنزیم *XhoI* و ترادف 5'-AATACTCGAGTCAGGATCCCAAAGTC-3' بود. آغازگرهای طراحی شده توسط شرکت Bioneer سنتز شد.

### ۲-۲- همسانه‌سازی ژن *cfaB* در ناقل *pTZ57R/T*

برای این منظور، ابتدا واکنش PCR با آنزیم پلیمرز با خاصیت غلط‌گیری بالا (High Fidelity) (شرکت Fermentas) در شرایط غلظت ۴ میلی‌مولار کلرید منیزیم و ۰/۴ پیکومول از هر آغازگر، ۰/۲ میلی‌مولار dNTP و ۵۰ نانوگرم از ژنوم استخراج شده ETEC در دمای اتصال ۵۷ درجه سانتی‌گراد بهینه‌سازی شد. مراحل PCR شامل یک مرحله واسرشته شدن ابتدایی در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه، ۳۰ چرخه شامل مرحله واسرشته شدن ابتدایی در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵۰ ثانیه، اتصال آغازگرها به رشته الگو در دمای ۵۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵۰ ثانیه، تکثیر قطعه مورد نظر در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه و در پایان یک مرحله تکثیر نهایی در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه بود. در نهایت برای تأیید محصول PCR، هضم آنزیمی *EcoRI* انجام شد.

محصول PCR با استفاده از کیت تخلیص DNA از ژل (Bioneer) خالص‌سازی و واکنش الحاق با آنزیم T4 لیگاز برای محصول PCR و ناقل *pTZ57R/T* به مدت ۸ ساعت در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بعد از انجام همسانه‌سازی، پلاسمید نوترکیب حاصل با روش شوک حرارتی به سلول‌های مستعد اشریشیا کولی سویه DH5α انتقال داده شد و باکتری‌ها روی پلیت لوریا برتونی (LB) (Luria Bertani) آگار حاوی ایزوپروپیل تیوگالاکتوپیرانوزید (Isopropyl β-D-1-thiogalactopyranoside: IPTG) و برومو-کلرو ایندول

## ۶-۲- بررسی بیان ژن بهینه‌سازی

ناقل نوترکیب pET28a-*cfaB* به میزبان بیانی BL21DE3pLysS انتقال یافت. برای القای بیان پروتئین نوترکیب، پس از رشد باکتری در محیط LB مایع، IPTG با غلظت نهایی ۱ میلی‌مولار به مدت ۳ ساعت اضافه شد.

## ۷-۲- بررسی محلول بودن پروتئین بیانی یا

### تجمع پروتئین به شکل اجسام تجمعی (Inclusion Bodies)

با توجه به بیان بالای ژن بهینه‌سازی شده، آزمایشی برای بررسی محلول بودن پروتئین نوترکیب بیانی در سلول باکتری انجام شد. ابتدا رسوب سلولی حاصل از بیان در بافر A (حاوی ایمیدازول (Imidazole) ۱۰ میلی‌مولار، کلرید سدیم ۳۰۰ میلی‌مولار، سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۵۰ میلی‌مولار) همگن و پس از سونیکاسیون (قدرت ۷۰ درصد و پالس ۰/۷۵) و شکسته شدن سلول‌ها، نمونه‌ها سانتریفوژ و محلول رویی جمع‌آوری شد (نمونه ۱). بافر B (بافر حاوی اوره ۸ مولار، تریس-HCl ۱۰ میلی‌مولار، سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار) به رسوب حاصل از مرحله قبل اضافه و پس از ۴۵ دقیقه نگهداری در دمای اتاق سانتریفوژ شد (نمونه ۲). در ادامه رسوب حاصل از مرحله قبل به مدت ۴۵ دقیقه با بافر B مجاور و محلول رویی مانند مراحل بالا جداسازی شد (نمونه ۳). هر ۳ نمونه روی ژل ۱۲ درصد الکتروفورز شد [۱۶].

## ۸-۲- تخلیص پروتئین از ستون نیکل - نیتریلوتری

### استیک اسید

ابتدا بیان ژن در مقیاس بالاتر (۱۰۰ میلی‌لیتر) صورت گرفت. به ازای رسوب سلولی حاصل از هر ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت، ۵ میلی‌لیتر بافر B اضافه و یکنواخت شد. به رسوب حاصل از ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت دیگر از بیان

غلظت IPTG، زمان و دمای القای بیان صورت گرفت. ابتدا در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳ ساعت، غلظت‌های مختلف IPTG (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌مولار) بررسی شد. سپس در غلظت یک میلی‌مولار IPTG و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، زمان القا (۲، ۳، ۵، ۷، ۱۲، ۱۸ ساعت) بررسی شد. بررسی بیان پروتئین نوترکیب در غلظت یک میلی‌مولار IPTG در دماهای (۲۵، ۳۰، ۳۷ درجه سانتی‌گراد) صورت گرفت. همچنین با توجه به گزارش بیان ژن نوترکیب CF در محیط کشت CF حاوی کازوآمینواسید ۱ درصد، عصاره مخمر ۰/۱۵ درصد،  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (۰/۰۵ درصد)،  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  (۰/۰۰۵ درصد) و محیط کشت سوپر برات (Super Broth Medium) (حاوی عصاره مخمر ۲ درصد، کلرید سدیم ۰/۵ درصد، تریپتون ۳/۲ درصد) [۱۵] نیز برای بیان پلاسمید pET28a-*cfaB* استفاده شد.

همچنین به منظور بیان، پلاسمید pET28a-*cfaB* به میزبان اشریشیا کولی سویه روزتا (Rosetta) انتقال یافت. این سویه دارای پلاسمید کد کننده tRNA کدون‌های نادر است. پس از رشد این باکتری روی محیط انتخابی، شرایط بیان پروتئین برای این میزبان با استفاده از القا کننده IPTG فراهم شد. پس از جمع‌آوری سلول‌ها، سونیکاسیون (قدرت ۷۰ درصد و پالس ۰/۷۵) انجام شد.

## ۵-۲- بهینه‌سازی کدون‌های ژن *cfaB*

با مشاهده عدم بیان ژن *cfaB* در شرایط مختلف بیانی، توالی ژن *cfaB* از لحاظ وجود کدون‌های نادر و درصد AT و GC توسط نرم‌افزارهای بیوانفورماتیکی تجزیه و تحلیل شد. با کمک الگوریتم اِپتیم ژن (OptimumGene™) محتوای GC و پایداری mRNA بررسی شد. به منظور بیان بهینه پروتئین *CfaB*، ساختار این ژن با استفاده از بیشترین کدون‌های استفاده شده در میزبان اشریشیاکولی بهینه‌سازی شد. این ساختار پس از تأیید توسط شرکت Shine Gene (China) سنتز و توالی ژن *cfaB* بهینه‌سازی شده در بانک ژن ثبت شد.

PBST (Phosphate Buffer Saline Tween-20) (بافر PBS با ۵ درصد توئین-۲۰) حاوی ۵ درصد شیر خشک در دمای اتاق به مدت ۲ ساعت پوشانده شد. غشا در بین هر مرحله، با بافر PBST سه بار شستشو شد. ابتدا غشا با آنتی‌بادی Anti-His Tag با رقت ۱:۸۰۰۰ یا آنتی‌بادی Anti-CfaB با رقت ۱:۱۰۰۰ در بافر PBST در دمای اتاق مجاور شد. پس از آن، آنتی‌بادی کانژوگه با پراکسیداز از رقت ۱:۴۰۰۰ استفاده شد. در نهایت، برای آشکارسازی از ۱۰ میلی‌لیتر بافر آشکارساز (تریس ۵۰ میلی‌مولار حاوی ۶ میلی‌گرم دی‌آمینو بنزئیدین و ۱۰ میکرولیتر آب اکسیژنه) استفاده شد. واکنش با آب مقطر متوقف شد [۱۶].

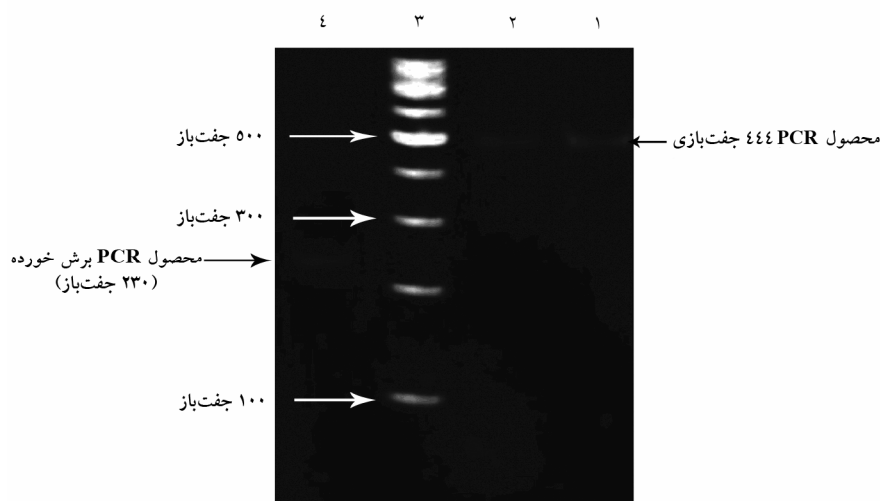
### ۳- نتایج

ژن کد کننده زیرواحد اصلی آنتی‌ژن CF (CfaB) بدون ترادف کد کننده علامت پپتید (Peptide Signal) با استفاده از آغازگرهای پیشرو و برگشت تکثیر شد. محصول PCR روی ژل با اندازه ۴۴۴ نوکلئوتید مشاهده شد. پس از هضم آنزیمی محصول با آنزیم *EcoRI*، قطعات ۲۱۶ و ۲۲۸ نوکلئوتید حاصل شد که به دلیل نزدیکی اندازه آن‌ها به یکدیگر روی ژل به صورت تک باند دیده می‌شود (شکل ۱).

پروتئین نوترکیب ۵ میلی‌لیتر بافر A (حاوی ایمیدازول ۱۰ میلی‌مولار، کلرید سدیم ۳۰۰ میلی‌مولار، سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۵۰ میلی‌مولار) اضافه و نمونه‌ها به فواصل ۲۰ دقیقه و به مدت یک ساعت سونیکیت شد. تخلیص پروتئین با ستون کروماتوگرافی تمایلی Ni-NTA و روش غیر واسرشت انجام گرفت. نمونه‌های قبل و بعد از القای IPTG و همچنین نمونه‌های تخلیص شده پس از تعیین غلظت پروتئین به روش برادفورد (Bradford)، روی ژل ۱۲ درصد الکتروفورز شد [۱۶].

### ۲-۹- تأیید پروتئین نوترکیب

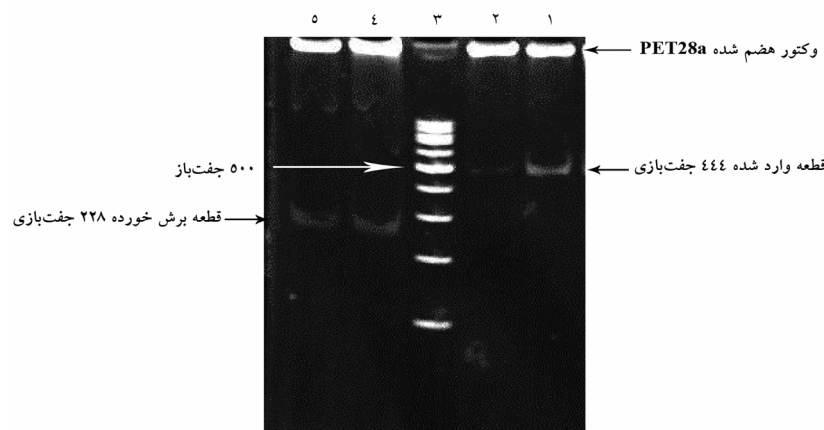
برای تأیید پروتئین نوترکیب بیان شده از روش ایمونوبلات (Immunoblot) با آنتی‌بادی پلی‌کلونال Anti- (Polyclonal) His Tag و آنتی‌بادی Anti-CfaB استفاده شد. پس از تفکیک باندهای پروتئینی با الکتروفورز (Sodium SDS-PAGE (Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis)) این باندها با کمک سیستم وسترن بلاتینگ (Western Blotting) (Biorad, USA) و بافر انتقال (گالیسین ۳۹ میلی‌مولار، تریس ۴۸ میلی‌مولار، SDS ۰/۳۷ درصد و متانول ۲۰ درصد) روی کاغذ نیتروسلولز منتقل شد. کاغذ نیتروسلولز با استفاده از بافر



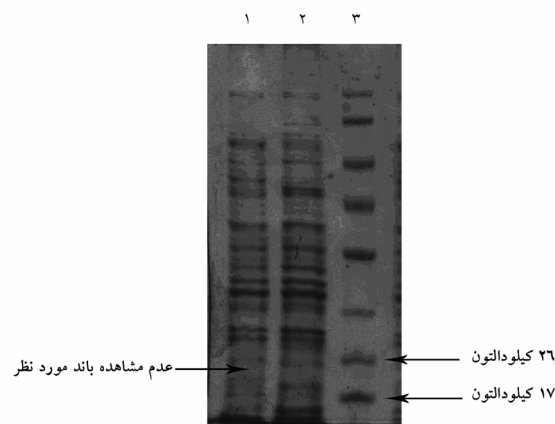
شکل ۱ تأیید محصول PCR ژن *cfaB* باکتری ETEC با استفاده از هضم آنزیمی (*EcoRI*) (ستون ۱ و ۲) محصول PCR (۴۴۴ جفت‌باز، ستون ۳) نردبان DNA (۱۰۰ جفت‌باز، ستون ۴) قطعه حاصل از هضم آنزیمی محصول (۲۳۰ جفت‌باز)

ژن مورد نظر در ناقل PTZ57R/T همسانه سازی شد و به میزبان اشریشیا کولی DH5 $\alpha$  انتقال یافت. برای تأیید همسانه سازی ژن *cfaB*، با استفاده از آغازگرهای اختصاصی، کلونی - PCR انجام شد. برش آنزیمی پلاسمیدهای نوترکیب pTZ57R/T حاصل از الحاق، روی ژل الکتروفورز برده شد و وجود قطعه ۴۴۴ نوکلئوتید تأیید شد (شکل ارایه نشده است و همانند شکل ۲ است). پس از آن ژن *cfaB* با آنزیم های *Hind*III و *Xho*I برش و در ناقل بیانی pET28a زیرهمسانه سازی شد و به میزبان

اشریشیا کولی سویه BL21DE3plysS انتقال داده شد. دو نوع واکنش هضم آنزیمی برای برش پلاسمید حاصل طراحی شد. یکی از واکنش ها با آنزیم های *Xho*I و *Hind*III انجام و ژن هدف با اندازه ۴۴۴ نوکلئوتید مشاهده شد. واکنش هضم آنزیمی دیگری با آنزیم *Eco*RI که دارای یک جایگاه برش روی ناقل pET28a و یک جایگاه برش روی قطعه ژنی *cfaB* است، انجام و قطعه ای با طول حدود ۲۳۰ نوکلئوتید روی ژل مشاهده شد (شکل ۲). همچنین صحت ورود محصول نوترکیب در ناقل و عدم تغییرات نوکلئوتید در آن با تعیین توالی DNA تأیید شد.

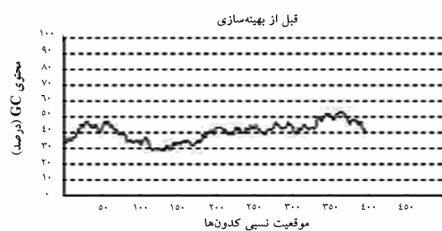


شکل ۲ تجزیه و تحلیل ناقل PET28a حاوی قطعه مورد نظر با استفاده از هضم آنزیمی؛ ستون ۱ و ۲ ژن هدف (۴۴۴ جفت باز) و ناقل هضم شده PET28a با آنزیم های *Hind*III و *Xho*I (ستون ۳) نردبان DNA ۱۰۰ جفت بازی، ستون ۴ و ۵ قطعه ۲۲۸ جفت بازی و ناقل هضم شده حاصل از برش با آنزیم *Eco*RI



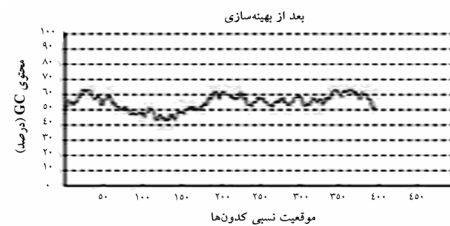
شکل ۳ بررسی بیان پروتئین طبیعی نوترکیب؛ ستون ۱ نمونه های بعد از القا، ستون ۲ نمونه قبل از القا (کنترل)، ستون ۳ نشانگر اندازه پروتئین

نوترکیب دست یافت. برای بهبود بیان پروتئین نوترکیب براساس کدون‌های رایج در اشریشیا کولی ترادف این ژن و درصد GC تغییر داده شد. نمودار ۱ و ۲، نتیجه حاصل از تغییر درصد GC و تغییر کدون‌ها را قبل و بعد از بهینه‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودارهای ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، میزان GC از ۵۴/۴۰ درصد به ۷۷/۵۴ درصد افزایش داشت و درصد کدون‌های متداول (با فراوانی بیش از ۶۰ درصد) در توالی جدید افزایش یافت. همچنین میزان سازگاری کدون‌ها در میزان اشریشیا کولی بررسی شد و پس از بهینه‌سازی، شاخص سازگاری کدون از ۰/۶ به ۰/۹ افزایش نشان داد (نمودار ۳). توالی پروتئین حاصل، با پروتئین طبیعی همخوانی داشت. در نهایت این ژن سستیک با شماره دسترسی GU355642 در بانک ژن به ثبت رسید.

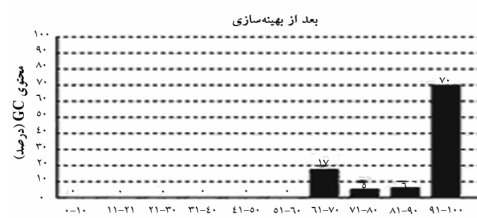
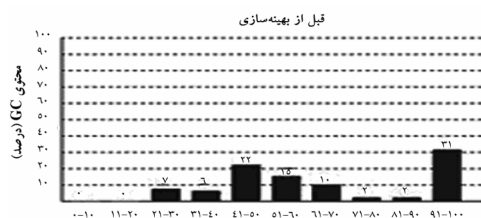


به‌منظور بیان پروتئین نوترکیب، القای بیان پروتئین در دما و مدت زمان‌های مختلف و تحت تأثیر غلظت‌های متفاوت IPTG بررسی شد. همچنین بیان ژن مورد نظر در محیط کشت پیشنهاد شده برای بیان این ژن نظیر سوپر برات و محیط CF صورت گرفت و از باکتری روزتا به‌منظور افزایش تولید پروتئین‌های نوترکیب استفاده شد. نتایج الکتروفورز SDS-PAGE بیانگر عدم بیان پروتئین نوترکیب بود (شکل ۳).

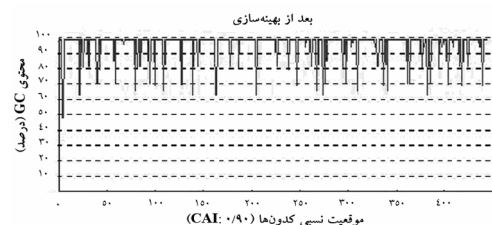
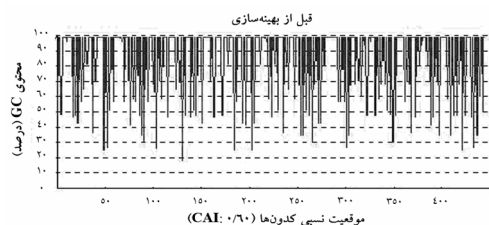
توالی ژن *cfbA* از لحاظ وجود کدون‌های نادر و درصد AT و GC توسط نرم‌افزارهای بیوانفورماتیکی تجزیه و تحلیل شد. با بررسی توالی این ژن، این نتیجه حاصل شد که کدون‌های نادر پشت سر هم در توالی این ژن وجود دارد که با تعویض بعضی از کدون‌ها و حفظ توالی اسید آمینه می‌توان به تولید این پروتئین



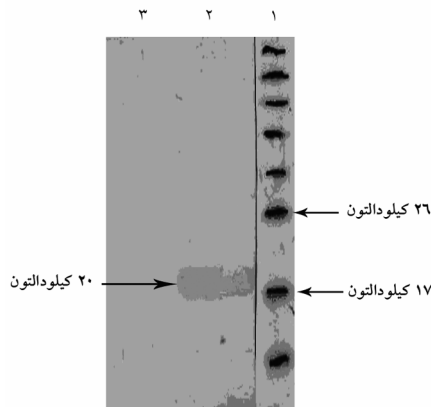
نمودار ۱ متوسط درصد GC در طول توالی؛ متوسط درصد GC قبل از بهینه‌سازی برابر با ۵۴/۴۰، متوسط درصد GC بعد از بهینه‌سازی برابر با ۷۷/۵۰



نمودار ۲ درصد توزیع کدون‌ها در طول توالی؛ برای کدون‌هایی که بالاترین فراوانی را دارند ارزش ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود. بعد از بهینه‌سازی ۷۰ درصد کدون‌ها را کدون‌های با فراوانی ۱۰۰ تشکیل می‌دهد.



نمودار ۳ شاخص سازگاری کدون (Codon Adaptation Index: CAI)؛ نشان دهنده میزان سازگاری کدون‌های ژن خارجی با کدون‌های میزبان. مقدار این شاخص بیش از ۰/۹ در توالی نشان دهنده سطح بالای بیان ژن، CAI مربوط به ژن *cfbA* قبل از بهینه‌سازی ۰/۶، CAI بعد از بهینه‌سازی ۰/۹

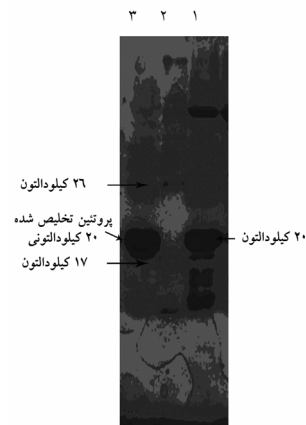


شکل ۵ تأیید پروتئین نوترکیب CfaB از طریق ایمونوبلات با anti CfaB: ردیف ۱) نشانگر پروتئینی SM0671، ردیف ۲) نمونه پروتئین نوترکیب بیان شده، ردیف ۳) نمونه القا نشده (کنترل منفی)

#### ۴- بحث

باکتری ETEC یکی از مشکلات سلامت در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود [۱۳]. اولین و مهم‌ترین مرحله در ایجاد عفونت توسط ETEC، کلونیزه شدن آن‌ها در روده کوچک میزبان به کمک CF است. اکثریت سویه‌های ETEC بیماری‌زا و به‌طور خاص سویه‌های مولد توکسین حساس و مقاوم به حرارت، واجد این CF هستند. برای کنترل و جلوگیری از بیماری اسهال ناشی از ETEC، ممانعت از اتصال باکتری به سلول‌های پوششی ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین در طراحی واکسن علیه ETEC بایستی آنتی‌ژن‌های CF مورد توجه قرار گیرد؛ زیرا علاوه بر ممانعت از اتصال باکتری به سلول هدف، به لحاظ این‌که این ترکیبات روی اکثر سویه‌های بیماری‌زا قرار دارد می‌تواند حفاظت وسیع‌الطیف علیه سوش‌های مختلف باکتری ایجاد کند [۲]. مولکول CfaB به‌عنوان زیرواحد اصلی CF نوع I، یکی از ساختارهای سطحی است که در تعامل فیمبریه باکتری با پذیرنده روی سلول هدف نقش بسیار مهمی دارد و به‌طور اختصاصی به این پذیرنده‌ها متصل می‌شود: از این رو کاندیدای مناسبی برای تولید واکسن است. مطالعات گذشته‌نگر نشان می‌دهد CF نوع I و CfaB

پس از سنتز ژن و همسانه‌سازی آن در ناقل pET28a، تحت القای IPTG در مدت زمان ۳ ساعت و دمای ۳۷ درجه، بیان پروتئین نوترکیب بررسی شد. نمونه‌ها بعد از القا در ناحیه ۲۰ کیلوالتون دارای باندی قوی بودند. در حالی که نمونه قبل از القا دارای این باند نیستند (شکل ۴، ستون ۱). با استفاده از بافرهای لیز کننده فاقد اوره و واسرشت کننده حاوی اوره، جایگاه پروتئین نوترکیب و محلول بودن یا تجمع آن در اجسام تجمعی بررسی شد. پروتئین در نمونه حاصل از بافر A (حاوی ایمیدازول ۱۰ میلی‌مولار) و هم بافر B (حاوی اوره ۸ مولار) مشاهده شد. وجود پروتئین در بافر A نشان از محلول بودن پروتئین است و وجود آن در بافر B نشان دهنده بیان بالای پروتئین و تشکیل اجسام تجمعی است. پس از انجام کروماتوگرافی با ستون Ni-NTA، نمونه‌های خروجی ستون جمع‌آوری شد. پروتئین نوترکیب با درجه خلوص بالایی (بالتر از ۹۰ درصد) در بافر E مشاهده شد (شکل ۴، ستون ۳). محصول پروتئین نوترکیب با کمک روش ایمونوبلات با آنتی‌بادی Anti CfaB و Anti-His Tag شناسایی شد که نتیجه حاصل از ایمونوبلات با Anti CfaB در شکل ۵ به نمایش در آمده است.



شکل ۴ الکتروفورز PAGE نمونه بیان شده بعد از القای IPTG و تخلیص پروتئین با استفاده از ستون نیکل (Ni-NTA) تحت شرایط طبیعی؛ ردیف ۱) نمونه بیان شده ژن *cfaB* بهینه‌سازی شده، پروتئین با وزن مولکولی ۲۰ کیلوالتون، ردیف ۲) نشانگر پروتئینی SM0671، ردیف ۳) پروتئین تخلیص شده CfaB با وزن مولکولی ۲۰ کیلوالتون

به‌عنوان زیرواحد اصلی آن مورد توجه تحقیقات مختلف در زمینه تهیه واکسن علیه ETEC بوده است [۱۱]. در این مطالعه با مورد توجه قرار دادن استراتژی تولید یکی از کاندیداهای واکسن، روند انجام کار با دو رویکرد اساسی صورت پذیرفت: همسانه‌سازی و بررسی بیان ژن زیرواحد اصلی آنتی‌ژن CF (CfaB) و رویکرد دوم تهیه ژن CfaB از راه سنتز به‌منظور تغییر کدون‌های این ژن با کدون‌های متداول در میزبان اشریشیا کولی. در اولین رویکرد به‌منظور همسانه‌سازی ژن طبیعی *cfaB*، برای تکثیر قطعه ژنی از آنزیم پلیمراز با خاصیت غلط‌گیری بالا (مخلوطی از دو آنزیم Taq پلیمراز و یک آنزیم با خاصیت غلط‌گیری) (Fermentas) استفاده شد. لازم به ذکر است که این آنزیم دارای صحت بالا (۴ برابر آنزیم Taq به تنهایی) و کارایی زیاد است و همچنین قطعه تکثیر شده دارای دنباله A خواهد بود که همسانه‌سازی مستقیم آن را در ناقل pTZ57R/T امکان‌پذیر می‌کند. در تحقیق حاضر پس از طی مراحل زیرهمسانه‌سازی در ناقل بیانی (pET28a)، این نتیجه به‌دست آمد که بیان پروتئین نوترکیب CfaB با وارد کردن توالی طبیعی این ژن در سیستم بیانی (pET28a) امکان‌پذیر نیست. دما و ترکیب محیط کشت عوامل مهمی در بهینه‌سازی بیان پروتئین نوترکیب هستند. از این‌رو در این مطالعه به‌منظور بهینه‌سازی بیان پروتئین نوترکیب CfaB در ناقل بیانی pET28a، بیان توالی طبیعی این ژن در سه محیط کشت (سوپر برات، LB و محیط CF) و دماهای مختلف و میزبان‌های مختلف (BL21DE3pLysS روزتا) بررسی شد. در مطالعه لی (Li) و همکاران در سال ۲۰۰۸ به‌منظور بیان پروتئین نوترکیب CfaB از محیط سوپر برات استفاده شد و به‌نظر می‌رسد با توجه به این‌که این محیط کشت نسبت به محیط LB، تریپتون و عصاره مخمری بیشتری دارد، برای تولید مطلوب پروتئین‌های نوترکیب کاربرد دارد [۱۷]. فیور (Favre) و همکاران (سال ۲۰۰۶) پروتئین نوترکیب CF را در محیط کشت CF تولید کردند [۱۵]. این احتمال وجود دارد که این امر به دلیل وجود املاح در ترکیب این محیط کشت باشد که

به‌صورت تنظیم‌کننده‌هایی برای رونویسی از ژن مزبور عمل می‌کند و باعث بیان پروتئین نوترکیب به‌صورت مطلوب شده است. هر چند در مطالعه حاضر با وجود به‌کارگیری این محیط‌های کشت باز هم بیان مطلوبی به‌دست نیامد. ابتدا به‌منظور بیان پروتئین نوترکیب CfaB از سلول میزبان اشریشیاکولی سویه BL21DE3pLysS، استفاده شد. این میزبان به دلیل عدم وجود پروتئین‌های سلولی و کاهش فعالیت پروتئازی روی محصول برای تولید پروتئین‌های نوترکیب مناسب است، اما در این میزبان نتیجه مطلوب حاصل نشد. به دلیل این‌که میزبان روزتا (واجد پلاسمید کدکننده tRNA مربوط به کدون‌های کمیاب) بیان پروتئین‌های دارای کدون‌های کمیاب را افزایش می‌دهد [۱۸] و از طرفی توالی طبیعی ژن *cfaB* دارای کدون‌های کمیاب به‌صورت پشت سر هم است، این احتمال وجود داشت که با انتقال ناقل نوترکیب به این سویه، پروتئین مورد نظر بیان شود. ولی با وجود تغییرات صورت گرفته در شرایط بیان در این مطالعه، بیان این پروتئین روی ژل مشاهده نشد.

مطلب دیگری که مد نظر قرار گرفت نوع ناقل و پیش‌برنده (Promoter) آن برای بیان این ژن در مطالعه حاضر بود. در سال ۲۰۰۴، مولکول CfaB (اسیدهای آمینه ۲۴-۱۷۰) در ناقل pMAL-p2، تحت کنترل پیش‌برنده tac همسانه‌سازی شد. این پروتئین به‌صورت الحاق با MBP (Maltose Binding Protein) در میزبان BL21 تولید شد. با توجه به این‌که یکی از راه‌کارهای افزایش بیان پروتئین‌ها، الحاق ژن‌های آن‌ها با ژن‌های با بیان بالا و تولید پروتئین‌های الحاقی است، به‌نظر می‌رسد الحاق شدن CfaB با MBP باعث بیان این پروتئین شده است [۱۹، ۲۰]. همچنین ژن *cfaB* در سال ۲۰۰۸، همراه با اتصال دهنده (Asp-Asn-Lys-Glu) به‌صورت الحاق با ژن *cfaE* در pET24a همسانه‌سازی شد و پس از تولید پروتئین به‌منظور بررسی ساختار، کریستالوگرافی شد [۱۷]. لازم به ذکر است بیان این ژن در ناقل pET24a گزارش شده است. این ناقل از نظر پیش‌برنده و ساختار بسیار شبیه pET28a است با

این تفاوت که فاصله میان ناحیه همسانه‌سازی ژن تا پیشبرنده در pET24a بسیار کم است که به علت عدم وجود توالی جایگاه اتصال به ریبوزوم (Ribosome Binding Site) و توالی His Tag است [۱۸]. این تفاوت‌ها این ناقل را برای رونویسی مناسب می‌سازد، بدین مفهوم که برای بیان ژن در این ناقل، بایستی عناصر تنظیمی در توالی آن اضافه شود. بنابراین با توجه به عدم موفقیت در مطالعه حاضر در بیان این ژن در pET28a، به نظر می‌رسد با توجه به خصوصیات ژن و ناقل pET24a، از عناصر تنظیمی دیگر و شاید بهینه‌سازی کدون‌های نادر استفاده شده باشد که در این بررسی به آن‌ها اشاره نشده است.

از آن‌جا که کدون‌های کد کننده اسیدهای آمینه ژن *cfaB* غنی از بازهای آدنین و تیمین و کدون‌های نادر است، به نظر می‌رسد استراتژی اول یعنی بیان این ژن در pET28a امکان‌پذیر نیست. یکی از این روش‌ها برای حل این مشکل، تغییر کدون‌های کمیاب با کدون‌های متداول در اشریشیا کولی است [۲۱]. از این رو دومین رویکرد تحقیق حاضر، بهینه‌سازی کدون‌ها و سنتز توالی بهینه شده *cfaB* به منظور افزایش تولید پروتئین نوترکیب بود. در این تحقیق، توالی این ژن با کمک الگوریتم اپتیم ژن براساس کدون‌های متداول در اشریشیا کولی، بهینه‌سازی شد. همان‌طور که در بخش نتایج ذکر شد، این تغییرات باعث افزایش محتوای GC این ژن و نیمه‌عمر mRNA شد. تاکنون در مطالعات انجام گرفته روی ژن *cfaB*، تغییر در کدون‌های توالی کد کننده به منظور بیان بهینه پروتئین

نوترکیب گزارش نشده است. پس از سنتز توالی بهینه‌سازی شده و همسانه‌سازی آن در ناقل بیانی (pET28a)، تولید پروتئین نوترکیب CfaB آزمایش و این نتیجه حاصل شد که تغییرات ایجاد شده باعث بیان این ژن در سطح بالایی می‌شود. در این تحقیق به منظور بیان ژن مورد نظر از سیستم بیانی pET28a استفاده شد. تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر بیان این ژن در ناقل pET28a وجود ندارد. ناقل بیانی pET با داشتن پیشبرنده قوی T7 قادر به بیان توالی‌های ژنی بعد از خود است و این ناقل بعد از بیان پروتئین نوترکیب به انتهای آمین آن پروتئین نشانگر 6HisTag و یک پروتئین تقریباً ۴ کیلودالتونی اضافه می‌کند. نشانگر 6HisTag برای تخلیص پروتئین نوترکیب بیان شده با انجام روش کروماتوگرافی میل ترکیبی کاربرد دارد. محصول نوترکیب با این نشانگر تمایلی، به‌خوبی خالص می‌شود و این نشانگر تأثیری در ایمنی‌زایی پروتئین مورد نظر ندارد.

بهینه‌سازی کدون و بیان در میزبان‌های هترولوگ یک روش مفید در تولید پروتئین‌های نوترکیب به مقدار زیاد است. پروتئین CfaB به‌عنوان یک مولکول ایمونوژن می‌تواند به‌عنوان یکی از اجزای مهم در تولید واکسن علیه عفونت ETEC مطرح باشد.

## ۵- تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از راهنمایی و زحمات جناب آقای دکتر سلمانیان تقدیر و تشکر می‌شود.

## ۶- منابع

- [1] Qadri F, Svennerholm AM, Faruque AS, Sack RB. Enterotoxigenic *Escherichia coli* in developing countries: epidemiology, microbiology, clinical features, treatment, and prevention. Clin Microbiol Rev 2005; 18(3): 465-83.
- [2] Svennerholm AM, Tobias J. Vaccines against enterotoxigenic *Escherichia coli*. Expert Rev Vaccines 2008; 7(6): 795-804.
- [3] Wenneras C, Erling V. Prevalence of enterotoxigenic *Escherichia coli*-associated diarrhoea and carrier state in the developing world. J Health Popul Nutr 2004; 22(4): 370-82.
- [4] Enterotoxigenic *Escherichia coli*: advances in technical and laboratory aspects of research

- and development of vaccines. *Wkly Epidemiol Rec* 2008; 83(10): 92-5.
- [5] Fleckenstein JM, Hardwidge PR, Munson GP, Rasko DA, Sommerfelt H, Steinsland H. Molecular mechanisms of enterotoxigenic *Escherichia coli* infection. *Microbes Infect* 2010; 12(2): 89-98.
- [6] Wolf MK. Occurrence, distribution, and associations of O and H serogroups, colonization factor antigens, and toxins of enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Clin Microbiol Rev* 1997; 10(4): 569-84.
- [7] Nicklasson M. Studies on the Expression and Regulation of Enterotoxins and Colonization Factors in Enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC). Institute of Biomedicine, Department of Microbiology and Immunology, Göteborg University, Printed at Vasastadens Bokbinderi AB, Göteborg, Sweden, 2008.
- [8] Rudin A, Svennerholm AM. Colonization factor antigens (CFAs) of enterotoxigenic *Escherichia coli* can prime and boost immune responses against heterologous CFAs. *Microb Pathog* 1994; 16(2): 131-9.
- [9] Evans DG, Evans DJ Jr, Clegg S, Pauley JA. Purification and characterization of the CFA/I antigen of enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Infect Immun* 1979; 25(2): 738-48.
- [10] Mu XQ, Savarino SJ, Bullitt E. The three-dimensional structure of CFA/I adhesion pili: traveler's diarrhea bacteria hang on by a spring. *J Mol Biol* 2008; 376(3): 614-20.
- [11] Jansson L, Tobias J, Lebens M, Svennerholm AM, Teneberg S. The major subunit, CfaB, of colonization factor antigen i from enterotoxigenic *Escherichia coli* is a glycol-sphingolipid binding protein. *Infect Immun* 2006; 74(6): 3488-97.
- [12] Walker RI, Steele D, Aguado T; Ad Hoc ETEC Technical Expert Committee. Analysis of strategies to successfully vaccinate infants in developing countries against enterotoxigenic *E. coli* (ETEC) disease. *Vaccine* 2007; 25(14): 2545-66.
- [13] Steinsland H, Valentiner-Branth P, Gjessing HK, Aaby P, Molbak K, Sommerfelt H. Protection from natural infections with enterotoxigenic *Escherichia coli*: longitudinal study. *Lancet* 2003; 362(9380): 286-91.
- [14] Sambrook J, Russell DW. Molecular cloning laborator manual. NewYork: CSHL Press, 2001; Chapter 1, p: 1, 31; Chapter 15, p: 15, 20.
- [15] Favre D, Lüdi S, Stoffel M, Frey J, Horn MP, Dietrich G, Spreng S, Viret JF. Expression of enterotoxigenic *Escherichia coli* colonization factors in *Vibrio cholerae*. *Vaccine* 2006; 24(20): 4354-68.
- [16] Bollage DM, Michel DR, Edeststein SJ. Protein method. New York: Wiley-Liss, 1996; p: 45-55, 143-160.
- [17] Li YF, Poole S, Rasulova F, McVeigh AL, Savarino SJ, Xia D. Crystallization and preliminary X-ray diffraction analyses of several forms of the CfaB major subunit of enterotoxigenic *Escherichia coli* CFA/I fimbriae. *Acta Crystallogr Sect F Struct Biol Cryst Commun* 2009; 65(Pt 3): 242-7.
- [18] Catalog: pET system manual (Novagen). 10<sup>th</sup> edition, 2002. [www.novagen.com]
- [19] Anantha RP, McVeigh AL, Lee LH, Agnew

- MK, Cassels FJ, Scott DA, Whittam TS, Savarino SJ. Evolutionary and functional relationships of colonization factor antigen i and other class 5 adhesive fimbriae of enterotoxigenic *Escherichia coli*. Infect Immun 2004; 72(12): 7190-201.
- [20] Sorensen HP, Mortensen KK. Advanced genetic strategies for recombinant protein expression in *Escherichia coli*. J Biotechnol 2005; 115(2): 113-28.
- [21] Nishikubo T, Nakagawa N, Kuramitsu S, Masui R. Improved heterologous gene expression in *Escherichia coli* by optimization of the AT-content of codons immediately downstream of the initiation codon. J Biotechnol 2005; 120(4): 341-6.