

ارزیابی ایمنی‌زایی پلاسמיד کدکننده ژن کامل راپتری-۲ توکسوپلازما گوندی در موش‌های BALB/c

کامی حسینیان خسروشاهی^۱، فاطمه غفاری‌فر^{۲*}، زهره شریفی^۳، ساشیلا دسوزا^۴، عبدالحسین دلیمی^۵

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه انگل‌شناسی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه انگل‌شناسی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات، سازمان انتقال خون ایران، تهران، ایران

۴- استاد، مرکز تحقیقات توکسوپلازما، انستیتو پاستور بلژیک، بروکسل، بلژیک

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

دریافت مقاله: ۸۸/۰۷/۱۴

پذیرش مقاله: ۸۸/۱۱/۱۸

چکیده

هدف: توکسوپلازما گوندی یک انگل تک‌یاخته‌ای داخل سلولی است که موجب بیماری توکسوپلاسموزیس در انسان و حیوان می‌شود. در سال‌های اخیر پیشرفت چشمگیری در زمینه شناخت کاندیدهای مناسب واکسن که باعث القای پاسخ‌های ایمنی مؤثر می‌شود، صورت گرفته است.

در این مطالعه، از ژن کامل راپتری-۲ توکسوپلازما گوندی برای ساخت DNA واکسن استفاده شد و در نهایت پاسخ‌های ایمنی ناشی از این ژن در مقایسه با گروه‌های کنترل ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها: ایمنی‌زایی موش‌های BALB/c سه‌بار و به‌صورت عضلانی (به فاصله سه هفته) توسط pc-ROP2 (به‌عنوان گروه شاهد) و pc DNA3 و فسفات بافر سالین (به‌عنوان گروه‌های کنترل) انجام پذیرفت. بعد از انجام ایمونیزاسیون، پاسخ‌های ایمنی ناشی از آن به کمک اندازه‌گیری سطح آنتی‌بادی و سطح سیتوکین‌ها ارزیابی شد.

نتایج: نتایج حاصل از اندازه‌گیری سیتوکین‌های اینترفرون گاما و اینترفرون ۴ نشان‌دهنده مقادیر بالای اینترفرون گاما و مقادیر پایین اینترفرون ۴ در گروه‌های واکسینه شده با pc-ROP2 در مقایسه با گروه‌های کنترل بود. این نتایج نشان می‌دهد که پاسخ ایمنی سلولی Th1 در موش‌هایی که با pc-ROP2 واکسینه شده‌اند در مقایسه با موش‌های گروه‌های کنترل که با پلاسמיד خالی pc-DNA3 و فسفات بافر سالین واکسینه شده‌اند، به شدت تحریک شده است.

اندازه‌گیری آنتی‌بادی کل IgG اختلاف معنی‌دار را بین گروه‌های مورد و کنترل تأیید کرد ($P < 0.05$). همچنین میزان بقای موش‌ها در گروه‌های مورد و کنترل بعد از انجام چالش ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان بقای موش‌هایی که با پلاسמיד pc-ROP2 ایمن‌سازی شدند، با گروه‌های کنترل اختلاف معنی‌دار دارند ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که pc-ROP2 به‌عنوان DNA واکسن در القای پاسخ‌های ایمنی هم‌وزن و سلولی مؤثر بوده و همچنین در افزایش طول عمر موش‌ها در برابر توکسوپلاسموزیس تا اندازه‌ای مفید است.

کلیدواژگان: توکسوپلازما گوندی، DNA واکسن، ژن کامل راپتری-۲

*نشانی مکاتبه: تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی، گروه انگل‌شناسی، کدپستی: ۱۴۱۱۷۱۳۱۱۶

Email: ghafarif@modares.ac.ir

۱- مقدمه

توکسوپلازما گوندی (*Toxoplasma gondii*)، عامل توکسوپلازموzis (Toxoplasmosis)، می‌تواند همه موجودات خونگرم از جمله انسان‌ها را مبتلا سازد. این انگل شیوع جهانی داشته و تقریباً $\frac{1}{3}$ مردم جهان سرم مثبت هستند [۱].

در اکثر افراد سالم، توکسوپلازموzis علامتی ندارد اما در افرادی که دچار نقص سیستم ایمنی هستند مانند افراد مبتلا به ویروس ایدز (Acquired Immunodeficiency Syndrome: AIDS) [۲] یا افرادی که تحت عمل پیوند عضو قرار گرفته‌اند و داروهای سرکوب‌کننده سیستم ایمنی مصرف نموده‌اند [۳] باعث عوارض شدید و گاه کشنده می‌شود [۴]. در خانم‌های باردار، توکسوپلازما گوندی می‌تواند منجر به عوارض شدید چشمی یا عصبی در جنین شود و حتی باعث سقط جنین نیز می‌شود [۵، ۶].

توکسوپلازموzis باعث سقط جنین در حیوانات مزرعه مانند گوسفند و خوک و غیره می‌شود؛ بنابراین این تک‌یاخته باعث ضررهای اقتصادی قابل توجهی در صنعت دامپروری می‌شود [۷، ۸]. عوارض شدید و کشنده توکسوپلازموzis در انسان‌ها و حیوانات، محققین را بر آن داشته که مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای را برای ساخت و توسعه واکسن‌های مؤثر علیه این بیماری انجام دهند.

یک واکسن مؤثر علیه توکسوپلازما گوندی واکسنی است که بتواند از عوارض شدید و کشنده این انگل در جنین و افراد مبتلا به ضعف سیستم ایمنی جلوگیری کرده و همچنین باعث کاهش ضررهای اقتصادی شود [۹].

DNA واکسن یک موضوع جدیدی است که مطالعات گسترده‌ای روی آن انجام شده و در حال انجام است و همچنین DNA واکسن در مقایسه با واکسن‌های پروتئینی توانایی بیشتری برای القا و تحریک همه مسیرهای ایمنی به‌ویژه ایمنی سلولی (Cytotoxic T-cell) دارد [۱۰].

در توکسوپلازموzis، پاسخ حفاظتی توسط ایمنی سلولی

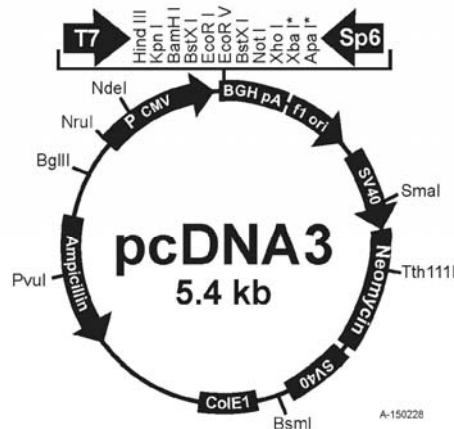
که شامل لنفوسیت‌های T، از نوع CD_4^+ و CD_8^+ است، ایجاد می‌شود؛ بنابراین پلاسמיד کدکننده ژنی که بتواند هر دو نوع لنفوسیت‌های T یعنی CD_4^+ و CD_8^+ را فعال نماید، می‌تواند کاندیدای خوبی برای تهیه DNA واکسن بر علیه توکسوپلازما گوندی باشد [۱۱].

همانند سایر ارگانیسم‌های تک‌سلولی، توکسوپلازما گوندی از آنتی‌ژن‌های ایمونوژنیک فراوانی تشکیل شده است [۱۲، ۱۳]. آنتی‌ژن‌های دفعی - ترشحی از بهترین فرم‌های آنتی‌ژنی برای تحریک پاسخ ایمنی سلولی است به‌همین دلیل این آنتی‌ژن‌ها، کاندیدای مناسبی برای تهیه واکسن علیه پلاسمازموzis است.

پروتئین راپتری-۲ (Rhoptry protein-2: ROP2) یکی از مهم‌ترین آنتی‌ژن‌های دفعی - ترشحی است که جزء خانواده ROPها بوده و در هر سه مرحله چرخه زندگی انگل توکسوپلازما گوندی بیان می‌شود [۱۴-۱۶].

مطالعات نشان داده است که حذف ROP2 باعث اختلالاتی در خود انگل و در فرایند هجوم انگل به میزبان مانند اختلال در روند تکاملی ROP، اختلال در تقسیم سیتوپلاسم سلولی (Cytokinesis)، کاهش ارتباط بین غشا واکوئل پارازیتوفورس (Parasitophorous vacuole) انگل و میتوکندری سلول میزبان، کاهش توانایی هجومی انگل به میزبان و کاهش قدرت بیماری‌زایی انگل در موش‌ها می‌شود [۱۶].

ژن کامل ROP2 که یک پروتئین ۶۴ کیلودالتونی را بیان می‌کند، باعث القای پاسخ‌های همورال که شامل تولید IgA، IgM و IgG است، می‌شود [۱۷]. همچنین مطالعات نشان داده است که پروتئین ROP2 به‌وسیله کلون‌های سلولی لنفوسیت T انسانی شناخته شده و باعث تولید و افزایش سطح اینترفرون گاما (Interferon gamma: IFN- γ) می‌شود [۱۸]. سه عدد از مهم‌ترین اپی‌توپ‌های ROP2 که توسط کلون‌های لنفوسیت T شناخته می‌شود، شامل واحدهای ۱۹۵ تا ۲۱۴، واحدهای ۳۹۱ تا ۴۰۸ و واحدهای ۴۹۹ تا ۵۲۹ است [۱۹]. همه این خصوصیات ROP2 آن را به‌عنوان یک کاندیدای مناسب برای



شکل ۱ نقشه ژنتیکی پلاسمید یوکاریوت بیانی pcDNA3

ساختن واکسن‌هایی مطرح کرده که این واکسن‌ها بر پایه DNA بوده و در این واکسن‌ها از پلاسمیدهای کدکننده آنتی‌ژن‌های پروتئینی استفاده می‌شود و همچنین این واکسن‌ها نسل جدید و مؤثری از واکسن است که بر علیه انگل‌های داخل سلولی ساخته می‌شود [۲۰-۲۲].

با توجه به این مطالب و همچنین چون ایمنی‌زایی با DNA باعث القای پاسخ‌های ایمنی حفاظتی می‌شود، در این تحقیق توانایی پلاسمید کدکننده ژن کامل ROP2 در القای پاسخ‌های ایمنی سلولی و همورال و ایجاد اثر حفاظتی در موش‌ها بعد از چالش با سویه کشنده RH توکسوپلازما گوندی ارزیابی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ساخت پلاسمید نو ترکیب

ژن کامل ROP2 که یک پروتئین ۶۴ کیلودالتونی را بیان می‌کند، در داخل پلاسمید pc-DNA3 (Invitrogen, USA) (شکل ۱) کلون و در نهایت بیان شده است [۲۳].

به‌طور خلاصه، ابتدا یک جفت آغازگر (Primer) الیگونوکلوئیدی برای ژن کامل ROP2 به شرح زیر طراحی شد:

ROP2 آغازگر جلویی 5'-ATT AAG CTT ATG GAA AAC TGT GCG TCG GTC AG-3'

ROP2 آغازگر برگشتی 5'-ATT GAA TTC TCA TGC CGG TTC TCC ATC AG -3'

آغازگر جلویی (Forward primer) دارای ۳۲ نوکلئوتید با جایگاه شناسایی برش آنزیمی HindIII و کدون شروع ATG است و آغازگر برگشتی (Reverse primer) دارای ۲۹ نوکلئوتید با جایگاه شناسایی برش آنزیم EcoRI است. (جایگاه‌های برش آنزیمی روی هر دو آغازگر با خط کشیدن مشخص شده‌اند).

ژن کامل ROP2 از روی DNA توکسوپلازما گوندی سویه RH توسط PCR (Polymerase Chain Reaction) تکثیر شد و سپس محصولات PCR توسط آنزیم‌ها برش خورد و قطعه کامل ژن ROP2 که در حدود ۱۶۸۶ جفت‌باز است در داخل ناقل pTZ 57RT کلون شد. سپس پلاسمید نو ترکیب pcDNA3-ROP2 به کمک pT-ROP2 و pc-DNA3 ساخته شد.

پلاسمید نو ترکیب بیانی pcDNA3-ROP2 به درون سلول‌های CHO (Chinese Hamster Ovary) ترانسفکت شد و بیان پروتئین ژن کامل ROP2 درون سلول‌های CHO توسط SDS-PAGE و وسترن بلات (Western blot) تأیید شد [۲۳].

پس از تأیید پلاسمیدهای نو ترکیب بیانی توسط توالی‌یابی نوکلئوتیدی، همه آن‌ها به داخل باکتری اشرشیاکلی (*Escherichia coli*) سویه TG1 ترانسفورم شد و انبوه‌سازی پلاسمید نو ترکیب صورت گرفت. در نهایت برای استخراج و خالص‌سازی پلاسمید نو ترکیب pc-ROP2 از باکتری‌ها از کیت استخراج (Qiagen, Germany) استفاده شد و این عمل مطابق برنامه کیت انجام پذیرفت. بعد از انجام خالص‌سازی و استخراج، غلظت پلاسمیدهای به‌دست آمده توسط

لوری (Lowry) مشخص شد [۲۴].

اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۲۶۰ و ۲۸۰ سنجیده و نسبت جذب نوری (Optical Density: OD) ۲۶۰/۲۸۰ برای آن‌ها محاسبه شد و این نسبت بین ۱/۸ تا ۲ بود.

۲-۴- ایمن‌سازی و چالش

۳۳ عدد موش BALB/c ماده (۶-۸ هفته‌ای) به‌صورت تصادفی در سه گروه تقسیم شدند (۱۱ موش در هر گروه). تزریق موش‌های هر گروه بدین‌صورت انجام شد که ابتدا برای هر تزریق مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از ماده تزریقی (که متشکل از ۵۰ میکروگرم از پلاسمید در ۱۰۰ میکرولیتر PBS استریل بود) درون سرنگ کشیده شد و سپس محل تلقیح با الکل ضد عفونی شد و تزریق به آرامی در هر دو ران راست و چپ پای موش (هر عضله حداکثر ۵۰ میکرولیتر) در عضله چهار سر ران (Quadriceps) انجام شد [۲۵].

تزریقات گروه‌های یک و دو به‌عنوان گروه‌های کنترل به‌ترتیب توسط PBS و پلاسمید خالی pc-DNA3 انجام شد ولی موش‌های گروه سه به‌عنوان گروه مورد توسط (۵۰ میکروگرم) پلاسمید نوترکیب pc-ROP2 ایمن‌سازی شدند. ایمن‌سازی در ۳ نوبت و به فاصله سه هفته در روزهای صفر و ۲۱ و ۴۲ به همان ترتیبی که در بالا شرح داده شد، صورت پذیرفت.

برای جمع‌آوری سرم موش‌ها به‌منظور اندازه‌گیری تیتراژ آنتی‌بادی کل از ۵ سر از موش‌های هر گروه به‌صورت تصادفی در روزهای ۴۲ (قبل ایمن‌سازی سوم) و ۶۳ خونگیری انجام شد. بدین‌ترتیب که خونگیری از گوشه چشم با استفاده از پیپت پاستور استریل انجام شد و خون‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری و بعد به‌مدت ۱۰ دقیقه در دور ۵۰۰۰ در دقیقه سانتریفوژ و در نهایت سرم خون موش‌ها جمع‌آوری و در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

۴ هفته بعد از آخرین ایمن‌سازی (در روز ۷۰)، ۵ موش از هر گروه به‌طور تصادفی انتخاب شده و عمل استخراج لنفوسیت از طحال آن‌ها تحت شرایط کاملاً استریل انجام پذیرفت. عمل چالش نیز بعد از روز ۷۰ روی ۶ موش باقی‌مانده از هر گروه توسط ۱۰^۴ تاکی‌زوئیت سویه RH انگل

۲-۲- موش‌ها

موش‌های BALB/c ماده ۶-۸ هفته‌ای از مؤسسه تحقیقات واکسن و سرم‌سازی رازی خریداری و تحت شرایط استاندارد از لحاظ آب و غذا نگهداری شدند.

۲-۳- انگل

تاکی‌زوئیت‌های (Tachyzoites) انگل توکسوپلازما گوندی (سویه RH) از آزمایشگاه انگل‌شناسی دانشکده پزشکی ساختمان شماره ۲ دانشگاه تربیت مدرس تهیه شد. نگهداری تاکی‌زوئیت‌ها به‌وسیله آلوده کردن مکرر و سریالی موش‌های BALB/c به‌صورت داخل صفاقی میسر شد؛ بدین‌ترتیب که بعد از چند روز از آلوده کردن موش‌ها (۳-۵ روز)، تاکی‌زوئیت‌های فعال و تازه از مایع صفاقی موش کشیده شده و به موش‌های جدید تزریق شد.

برای تهیه آنتی‌ژن‌های مورد نیاز برای روش الایزا (Enzyme Linked Immunosorbent assay: ELISA) و اندازه‌گیری سیتوکین‌ها (Cytokines) بدین‌ترتیب اقدام شد که ابتدا تاکی‌زوئیت‌های انگل از صفاق موش استخراج و سانتریفوژ شد سپس رسوب در فسفات بافر سالین (Phosphate Bufferd Saline: PBS) حل شده و مجدداً سانتریفوژ شد (شستشو با PBS دو تا سه بار صورت پذیرفت) بعد از شستشو، عمل انجماد (Freezing) و ذوب کردن (Thawing) برای آزادسازی آنتی‌ژن‌های انگل صورت پذیرفت و این عمل حدود ۱۰-۱۲ بار تکرار شد. در نهایت بعد از انجام سانتریفوژ، مایع رویی به‌دست آمده توسط فیلتر ۰/۲ میکرو میلی‌متر (Nalge company, USA) فیلتره شده و غلظت پروتئین حاصل که همان آنتی‌ژن انگلی است، توسط روش

۵۰ میکرولیتر محلول متوقف‌کننده یعنی اسید سولفوریک ۲ مولار به هر چاهک اضافه شد و میزان OD در طول موج ۴۵۰ نانومتر با دستگاه قرائت‌گر ELISA (ELISA Reader) خوانده شد.

۶-۲- سنجش سیتوکین‌ها

ایمنی سلولی با اندازه‌گیری اینترلوکین ۴ (Interleukin 4: IL-4) و IFN- γ بررسی شد. ۴ هفته بعد از آخرین تلقیح (در روز ۷۰) ۵ موش از هر گروه به‌طور تصادفی انتخاب و عمل استخراج لنفوسیت از طحال آن‌ها تحت شرایط کاملاً استریل انجام شد. بعد از تهیه سوسپانسیون لنفوسیتی [۲۷] از هر موش، ۵۰۰ میکرولیتر از آن در ۲ چاهک از پلیت ۲۴ خانه کشت داده شد. سپس سلول‌های هر دو چاهک توسط آنتی‌ژن انگل تحریک شد (به هر چاهک ۵۰ میکروگرم از آنتی‌ژن افزوده شد) و حجم سوسپانسیون هر چاهک با FBS (Fetal Bovin Serum) ۱۰ درصد + RPMI (Roswell Park Memorial Institute) به ۱ میلی‌لیتر رسانده شد و پلیت‌ها به مدت ۴۸ یا ۷۲ ساعت در انکوباتور ۳۷ درجه سانتی‌گراد دارای ۵ درصد CO₂ انکوبه شد. پس از این مدت، سوپروبی سلول‌ها به آرامی جمع‌آوری و در ویال اپندورف جمع شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. در نهایت محلول رویی در مقادیر ۳۰۰ میکرولیتری در ویال‌ها تقسیم شد و از این ویال‌ها برای اندازه‌گیری سیتوکین‌های استفاده شد.

برای بررسی وجود سیتوکین‌های IL-4 و IFN- γ در سوپ سلولی لنفوسیت‌های طحالی موش‌های هر گروه از کیت طبق دستورالعمل کیت اقدام شد و در ضمن همه نمونه‌ها به‌صورت سه‌تایی آزمایش شد تا از مقادیر به‌دست آمده از سنجش سیتوکین‌ها اطمینان حاصل شود.

توکسوپلازما گوندی به‌صورت داخل صفاقی انجام و متعاقب آن میزان بقای موش‌های هر گروه (برحسب روز) ثبت شد.

۲-۵- بررسی ایمنی همورال

برای اندازه‌گیری سطح آنتی‌بادی IgG کل ضد توکسوپلازما گوندی از روش ELISA استفاده شد [۲۶] که به‌طور خلاصه به شرح زیر است:

کلیه سرم‌های گرفته شده از موش‌های ایمن شده و گروه‌های کنترل با غلظت ۲۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر از آنتی‌ژن و رقت ۱:۱۰ از سرم در این آزمون بررسی شد. ابتدا غلظت ۲۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر از آنتی‌ژن (حل شده در بافر کربنات-بی‌کربنات) در پلیت ۹۶ خانه پوشش (Coat) شد (۱۰۰ میکرولیتر در هر چاهک) و این پلیت به‌صورت شبانه در ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد؛ سپس پلیت با بافر TBST (Tris Buffered Saline with Tween) (تریس + کلرور سدیم + توئین ۲۰)، سه بار شستشو داده شد در مرحله بعد ۲۰۰ میکرولیتر از محلول بلوکر (Blocker Solution) (شیر خشک ۳ درصد در TBST) به همه چاهک‌ها اضافه شد و پلیت به مدت ۲ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. بعد از انجام سه بار شستشوی مجدد با TBST، ۱۰۰ میکرولیتر سرم موش که با بلوکر رقیق شده بود، در رقت ۱:۱۰ به پلیت اضافه و پلیت مذکور ۲ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. سپس مجدداً پلیت با TBST سه بار شستشو شد و ۱۰۰ میکرولیتر آنتی‌موس (Anti mouse) کونژوگه با پراکسیداز (تهیه شده از شرکت امینسان) با رقت ۱:۳۰۰۰ به آن اضافه شد و برای ۲ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. شستشوی نهایی ۵ بار با TBST انجام پذیرفت و ۱۰۰ میکرولیتر سوبسترای TMB (Tetramethylbenzidine) آماده به هر چاهک (در تاریکی) اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه انکوبه شد (در این مرحله باید پلیت در فویل پیچیده شود و از نور دور باشد). در انتهای کار برای توقف واکنش،

۷-۲- ارزیابی آماری نتایج حاصل از آزمایش

چالش با سویه RH و ایمنی همورال و سلولی

برای ارزیابی نتایج حاصل از زمان بقای موش‌ها بعد از چالش و همچنین نتایج حاصل از سنجش IgG کل و IL-4 و IFN- γ از روش آماری غیرپارامتریک من‌ویتنی (Mann-whitney) و کروسکال-والیس (Kruskal-wallis) استفاده شد (نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶) و گروه‌های کنترل و مورد با هم مقایسه و در نهایت نمودار نتایج نیز به کمک نرم‌افزار Excel رسم شد.

۳- نتایج

۳-۱- نتایج ساخت و بیان پلاسمید نو ترکیب

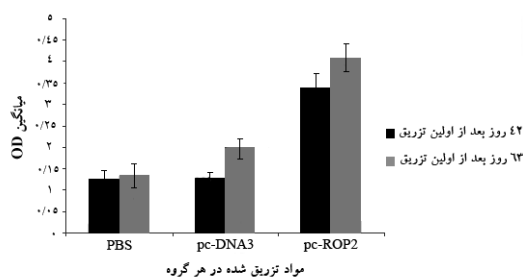
نتایج مربوط به ساخت و بیان پلاسمید pc-ROP2 قبلاً ارایه شده است [۲۳].

۳-۲- نتایج بررسی ایمنی همورال

سرم موش‌های گروه‌های کنترل و مورد در روزهای ۴۲ و ۶۳ جمع‌آوری و برای بررسی میزان آنتی‌بادی IgG کل به روش ELISA استفاده شد. همان‌طور که در نمودار ۱ نمایش داده شده است، بیشترین مقدار میانگین OD در نوبت اول و دوم خونگیری مربوط به گروه pc-ROP2 (نوبت اول: 0.338 ± 0.339 (میانگین $\pm$ انحراف معیار) و در نوبت دوم:

0.409 ± 0.335) است و بین این گروه و گروه‌های کنترل (PBS): نوبت اول 0.125 ± 0.207 (میانگین $\pm$ انحراف معیار) و نوبت دوم: 0.133 ± 0.272 ، pc-DNA3: نوبت اول: 0.127 ± 0.142 (میانگین $\pm$ انحراف معیار) و نوبت دوم: 0.196 ± 0.237) اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$).

همچنین با توجه به نمودار ۱ این نتیجه حاصل می‌شود که میزان سطح آنتی‌بادی متعاقب واکسن‌های یادآوری و تقویت‌کننده، افزایش یافته است.



نمودار ۱ نمودار ستونی میانگین OD سطح کل IgG در سرم موش‌های تحت مطالعه در دو نوبت خونگیری

۳-۳- نتایج سنجش سیتوکین‌ها

میزان سیتوکین‌های IL-4 و IFN- γ موجود در سوپانسیون لنفوسیتی تهیه شده از طحال موش‌های هر گروه در نمودار ۲ نشان داده شده است. همچنین در جداول ۱ و ۲ به ترتیب مقادیر میانگین $\pm$ انحراف معیار، IL-4 و IFN- γ ارایه شده است.

جدول ۱ مقایسه میانگین مقدار IL-4 در گروه‌های مختلف

شماره	گروه‌های تحت مطالعه	انحراف معیار $\pm$ میانگین OD	اختلاف معنی‌دار آماری
۱	PBS	14.33 ± 2.5166	(۲)*
۲	pc-DNA3	25.00 ± 3.7416	(۱)*
۳	pc-ROP2	19.60 ± 3.8470	-

* طبق آزمون من‌ویتنی با گروه‌های داخل پرانتز اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) وجود دارد.

جدول ۲ مقایسه میانگین مقدار IFN- γ در گروه‌های مختلف

شماره	گروه‌های تحت مطالعه	انحراف معیار $\pm$ میانگین OD	اختلاف معنی‌دار آماری
۱	PBS	$71/00 \pm 2/6457$	$^{*}(3, 2)$
۲	pc-DNA3	$104/00 \pm 12/9099$	$^{*}(3, 1)$
۳	pc-ROP2	$355/60 \pm 10/8535$	$^{*}(2, 1)$

* طبق آزمون من‌ویتنی با گروه‌های داخل پرانتز اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0/05$) وجود دارد.

۶ موش وجود داشت) با 10^4 تاکی‌زوئیت به‌صورت داخل صفاقی (۴ هفته بعد از آخرین ایمن‌سازی) چالش شدند. نمودار ۳، نمودار درصد بقای موش‌های گروه‌های مختلف بعد از چالش است و در جدول ۳ درصد بقا و تعداد روزهای زندگی موش‌های گروه‌های مختلف پس از چالش با 1×10^4 تاکی‌زوئیت زنده توکسوپلازما گوندی سویه RH نشان داده شده است.

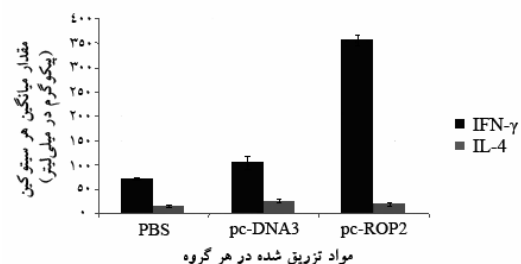
از نمودار ۳ و جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که زمان بقای موش‌های گروه واکسینه شده با pc-ROP2 بیشتر از گروه‌های کنترل است و بین این‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0/05$)؛ پس پلاسمید نوترکیب pc-ROP2 قادر به ایجاد یک حمایت نسبی بر علیه سویه کشنده RH توکسوپلازما گوندی است.

جدول ۳ درصد بقا و تعداد روزهای زندگی موش‌های گروه‌های مختلف پس از چالش با 1×10^4 تاکی‌زوئیت زنده توکسوپلازما گوندی سویه RH

روز	گروه		
	pcROP2	pcDNA3	PBS
۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳	۱۰۰	۸۳/۳۳	۶۶/۶۶
۴	۱۰۰	۶۶/۶۶	۳۳/۳۳
۵	۶۶/۶۶	۰	۰
۶	۱۶/۶۶	۰	۰
۷	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۰

با توجه به نمودار ۲ و جدول ۱ و ۲ بیشترین میانگین مقدار IFN- γ در گروه مورد یعنی pc-ROP2 و کمترین مقدار IL-4 در گروه کنترل PBS مشاهده می‌شود و همچنین بین گروه مورد و گروه‌های کنترل از نظر مقدار IFN- γ اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0/05$)؛ به عبارت دیگر، پلاسمید نوترکیب pc-ROP2 قادر به تحریک و فعال‌سازی پاسخ ایمنی سلولی از نوع Th1 (T helper) است.

از نظر مقدار IL-4، فقط بین دو گروه کنترل PBS و pc-DNA3 اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0/05$) و مقدار IL-4 در گروه مورد pc-ROP2 بسیار پایین و در حد گروه کنترل PBS است که این خود تأیید دیگری بر فعال شدن پاسخ ایمنی سلولی از نوع Th1 است.

نمودار ۲ نمودار ستونی میانگین IFN- γ و IL-4 در گروه‌های مختلف

۳-۴- نتایج چالش با سویه RH و بررسی طول عمر موش‌ها

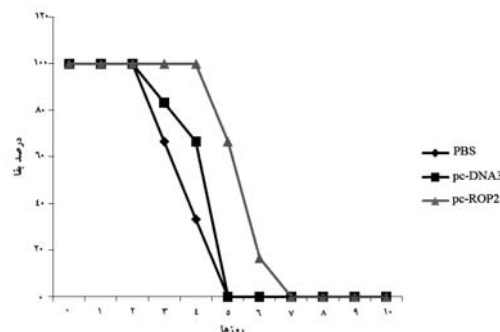
برای بررسی طول عمر موش‌ها بعد از چالش، از سویه RH توکسوپلازما گوندی استفاده شد و موش‌ها (در هر گروه

را با سطح پایین میزان بیان پروتئین در داخل سلول میزبان مرتبط می‌دانند [۳۳]. در نهایت اگر مقدار کافی از پلاسمید نوترکیب به موش‌ها تزریق شود، سطح آنتی‌بادی‌ها و سیتوکین‌ها به‌طور چشمگیری در بدن آن‌ها بالا خواهد رفت [۳۳]. نتایج تحقیق فاجادو (Fachado) و همکاران [۳۴] نیز تأییدی دیگر بر علت استفاده ۵۰ میکروگرمی پلاسمید نوترکیب در این تحقیق است.

نتایج بررسی میزان آنتی‌بادی IgG و سیتوکین‌ها در این تحقیق نشان داد که پلاسمید نوترکیب pc-ROP2 قادر به القای پاسخ‌های ایمنی همورال و سلولی است و در مقایسه با گروه‌های کنترل اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.05$) و همچنین بررسی طول عمر موش‌ها بعد از چالش با تاکی‌زوئیت توکسوپلازما گوندی سویه RH (نمودار ۳) نشان داد که pc-ROP2 در مقایسه با گروه‌های کنترل باعث افزایش نسبی طول عمر موش‌ها می‌شود ($P < 0.05$). نتایج این تحقیق در راستای نتایجی است که لیوا (Leyva) و همکاران [۳۳] به‌دست آورده‌اند. آن‌ها نشان دادند که واکسیناسیون ۳ سویه مختلف از موش‌ها با pc-ROP2 قادر به القای پاسخ ایمنی همورال است.

همچنین هریون (Herion) و ساودرا (Saavedra) (۱۹۹۱) [۱۸] و ساودرا (۱۹۹۱) و همکاران [۱۴] نشان دادند که پروتئین ROP2 به‌وسیله کلون‌های لنفوسیت T شناخته شده و از این طریق باعث القای پاسخ ایمنی سلولی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق بیانگر آن است که ژن کامل ROP2 کاندیدای مناسبی برای تهیه DNA واکسن به‌منظور ارتقای پاسخ‌های ایمنی همورال و سلولی بر علیه توکسوپلازما سوزیز است. همچنین برای به‌دست آوردن پاسخ‌های ایمنی قوی‌تر و طول عمر بیشتر موش‌ها می‌توان از این ژن به همراه یک یا چند ژن مؤثر دیگر از توکسوپلازما به‌صورت کوکتل (Cocktail) یا الحاقی (Fusion) استفاده نمود. از این رو در آینده این تیم تحقیقاتی روی توانایی DNA کوکتل حاوی پلاسمید کدکننده ژن کامل ROP2 و پلاسمید کدکننده آنتی‌ژن سطحی اصلی ۱ (Major Surface Antigen 1: SAG1) در القای پاسخ‌های ایمنی همورال و سلولی و ایجاد اثر حفاظتی علیه



نمودار ۳: نمودار درصد بقای موش‌های گروه‌های مختلف بعد از چالش با 1×10^4 تاکی‌زوئیت زنده توکسوپلازما گوندی سویه RH

۴- بحث

DNA واکسن‌ها قادر به حفاظت از حیوانات و انسان‌ها در مقابل میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا و به‌ویژه انگل‌های داخل سلولی است [۲۸].

DNA واکسن‌ها امروزه بسیار مورد توجه محققین است که از دلایل مهم آن ساخت آسان، قیمت ارزان [۲۸] و توانایی آن‌ها در تولید پاسخ ایمنی طولانی مدت است [۲۹].

ایمونیزاسیون با DNA واکسن (که قادر به بیان یک یا چند ژن تعبیه شده در آن باشد) باعث القای پاسخ‌های اختصاصی ایمنی سلولی و همورال شده [۳۰] و به‌طور ویژه در فعال کردن لنفوسیت‌های T سیتوتوکسیک از طریق مکانیسم وابسته به IL-12 و IFN- γ مفید است [۳۱، ۳۲]. در این تحقیق، پلاسمید نوترکیب pc-ROP2 به‌عنوان DNA واکسن ساخته و قدرت ایمونی‌زایی و توانایی اثر حفاظتی آن بررسی و آزمایش شد. نتایج تحقیق نشان داد که ایمونی‌زایی موش‌های BALB/c با ۵۰ میکروگرم از pc-ROP2 قادر به القای یک پاسخ حفاظتی نسبی بر علیه سویه کشنده (سویه RH) توکسوپلازما گوندی است. با وجود این که محققین نشان داده‌اند که در موش مقدار ۱ میکروگرم از DNA پلاسمید نوترکیب برای القای پاسخ ایمنی کافی است، ولی برای داشتن یک پاسخ ایمنی مؤثر و مفید در بیشتر حیوانات، حداقل ۵۰ میکروگرم از پلاسمید نوترکیب باید تزریق شود. محققین این افزایش در مقدار پلاسمید مورد استفاده

توکسوپلاسموزیز، مطالعاتی انجام خواهند داد.

ویروس‌شناسی سازمان انتقال خون تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین از آقای دکتر صدرایی مدیر محترم گروه انگل‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس و خانم قاسمی‌نیکو کارشناس محترم گروه انگل‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس سپاسگزاری می‌گردد.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان به این وسیله از پرسنل محترم بخش تحقیقات

۶- منابع

- [1] Dunn D, Wallon M, Peyron F, Petersen E, Peckham C, Gilbert R. Mother-to-child transmission of toxoplasmosis: risk estimates for clinical counselling. *Lancet* 1999; 353(9167): 1829-33.
- [2] Luft BJ, Remington JS. Toxoplasmic encephalitis in AIDS. *Clin Infect Dis* 1992; 15(2): 211-22.
- [3] Machado CM, Boas LS, Canto CL, Andrade Júnior HF, Castelli J, Bohringer P, Ostronoff M, Dulley F, Pannuti CS. Disseminated toxoplasmosis after BMT--report of a case. *Bone Marrow Transplant* 1992; 10(5): 475-8.
- [4] Petersen E, Pollak A, Reiter-Owona I. Recent trends in research on congenital toxoplasmosis. *Int J Parasitol* 2001; 31(2): 115-44.
- [5] Cook GC. Toxoplasma gondii infection: a potential danger to the unborn fetus and AIDS sufferer. *Q J Med* 1990; 74(273): 3-19.
- [6] Dodds EM. Toxoplasmosis. *Curr Opin Ophthalmol* 2006; 17(6): 557-61.
- [7] Dubey JP, Hill DE, Jones JL, Hightower AW, Kirkland E, Roberts JM, Marcet PL, Lehmann T, Vianna MC, Miska K, Sreekumar C, Kwok OC, Shen SK, Gamble HR. Prevalence of viable Toxoplasma gondii in beef, chicken, and pork from retail meat stores in the United States: risk assessment to consumers. *J Parasitol* 2005; 91(5): 1082-93.
- [8] Meerburg BG, Van Riel JW, Cornelissen JB, Kijlstra A, Mul MF. Cats and goat whey associated with Toxoplasma gondii infection in pigs. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2006; 6(3): 266-74.
- [9] Haumont M, Delhay L, Garcia L, Jurado M, Mazzu P, Daminet V, Verlant V, Bollen A, Biemans R, Jacquet A. Protective immunity against congenital toxoplasmosis with recombinant SAG1 protein in a guinea pig model. *Infect Immun* 2000; 68(9): 4948-53.
- [10] Stevenson FK, Rosenberg W. DNA vaccination: a potential weapon against infection and cancer. *Vox Sang* 2001; 80(1): 12-8.
- [11] Denkers EY, Gazzinelli RT. Regulation and function of T-cell-mediated immunity during Toxoplasma gondii infection. *Clin Microbiol Rev* 1998; 11(4): 569-88.
- [12] Cesbron MF, Dubremetz JF, Sher A. The immunobiology of toxoplasmosis. *Res Immunol* 1993; 144(1): 7-79.
- [13] Saavedra R, Becerril MA, Dubeaux C, Lippens R, De Vos MJ, Hérion P, Bollen A. Epitopes recognized by human T lymphocytes in the ROP2 protein antigen of Toxoplasma gondii. *Infect Immun* 1996; 64(9): 3858-62.
- [14] Saavedra R, de Meuter F, Decourt JL, Hérion P. Human T cell clone identifies a potentially protective 54-kDa protein antigen of Toxoplasma

- gondii* cloned and expressed in *Escherichia coli*. *J Immunol* 1991; 147(6): 1975-82.
- [15] Hérion P, Hernández-Pando R, Dubremetz JF, Saavedra R. Subcellular localization of the 54-kDa antigen of *Toxoplasma gondii*. *J Parasitol* 1993; 79(2): 216-22.
- [16] Sadak A, Taghy Z, Fortier B, Dubremetz JF. Characterization of a family of rhoptry proteins of *Toxoplasma gondii*. *Mol Biochem Parasitol* 1998; 29(2-3): 203-11.
- [17] Martin V, Arcavi M, Santillan G, Amendoeira MR, De Souza Neves E, Griemberg G, Guarnera E, Garberi JC, Angel SO. Detection of human *Toxoplasma*-specific immunoglobulins A, M, and G with a recombinant *Toxoplasma gondii* rop2 protein. *Clin Diagn Lab Immunol* 1998; 5(5): 627-31.
- [18] Saavedra R, Hérion P. Human T-cell clones against *Toxoplasma gondii*: production of interferon-gamma, interleukin-2, and strain cross-reactivity. *Parasitol Res* 1991; 77(5): 379-85.
- [19] Jacquet A, Daminet V, Haumont M, Garcia L, Chaudoir S, Bollen A, Biemans R. Expression of a recombinant *Toxoplasma gondii* ROP2 fragment as a fusion protein in bacteria circumvents insolubility and proteolytic degradation. *Protein Expr Purif* 1999; 17(3): 392-400.
- [20] Xu D, Liew FY. Protection against leishmaniasis by injection of DNA encoding a major surface glycoprotein, gp63, of *L. major*. *Immunology* 1995; 84(2): 173-6.
- [21] Dupré L, Poulain-Godefroy O, Ban E, Ivanoff N, Mekranfar M, Schacht AM, Capron A, Riveau G. Intradermal immunization of rats with plasmid DNA encoding *Schistosoma mansoni* 28 kDa glutathione S-transferase. *Parasite Immunol* 1997; 19(11): 505-13.
- [22] Alberti E, Acosta A, Sarmiento ME, Hidalgo C, Vidal T, Fachado A, Fonte L, Izquierdo L, Infante JF, Finlay CM, Sierra G. Specific cellular and humoral immune response in Balb/c mice immunised with an expression genomic library of *Trypanosoma cruzi*. *Vaccine* 1998; 16(6): 608-12.
- [23] Hosseini K, Khosroshahi K, Ghaffari F, Sharifi Z, Dalimi A. Expression of complete rhoptry protein 2 (ROP2) gene of *Toxoplasma gondii* in eukaryotic cell. *African J Biotech* 2008; 7(24): 4432-6.
- [24] Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem* 1951; 93(1): 265-75.
- [25] Sasaki S, Takeshita F, Xin KQ, Ishii N, Okuda K. Adjuvant formulations and delivery systems for DNA vaccines. *Methods* 2003; 31(3): 234-54.
- [26] Crowther JR. ELISA, Theory and practice. Humana Press, New Jersey, 1995; p: 110-156.
- [27] Xue M, He S, Cui Y, Yao Y, Wang H. Evaluation of the immune response elicited by multi-antigenic DNA vaccine expressing SAG1, ROP2 and GRA2 against *Toxoplasma gondii*. *Parasitol Int* 2008; 57(4): 424-9.
- [28] Bunnell BA, Morgan RA. Gene therapy for infectious diseases. *Clin Microbiol Rev* 1998; 11(1): 42-56.
- [29] Gurunathan S, Wu CY, Freidag BL, Seder RA. DNA vaccines: a key for inducing long-term cellular immunity. *Curr Opin Immunol* 2000; 12(4): 442-7.

- [30] Robinson HL. Nucleic acid vaccines: an overview. *Vaccine* 1997; 15(8): 785-7.
- [31] Stacey KJ, Blackwell JM. Immunostimulatory DNA as an adjuvant in vaccination against *Leishmania major*. *Infect Immunol* 1999; 67(8): 3719-26.
- [32] Kowalczyk DW, Ertl HC. Immune responses to DNA vaccines. *Cell Mol Life Sci* 1999; 55(5): 751-70.
- [33] Leyva R, Hérion P, Saavedra R. Genetic immunization with plasmid DNA coding for the ROP2 protein of *Toxoplasma gondii*. *Parasitol Res* 2001; 87(1): 70-9.
- [34] Fachado A, Rodriguez A, Angel SO, Pinto DC, Vila I, Acosta A, Amendoeira RR, Lannes-Vieira J. Protective effect of a naked DNA vaccine cocktail against lethal toxoplasmosis in mice. *Vaccine* 2003; 21(13-14): 1327-35.