

تشخیص حذف‌های ناشناخته‌های ژن‌های آلفا-گلوبین در ناقلين آلفا-تالاسمی با استفاده از روش Real-time PCR

سمیه جمالی^۱، رضا مهدیان^۲، مینا حیات‌نوسعید^۳، صادق باباشاه^۴، فرشته میریمی^۵، مرتضی کریمی‌پور^۶، بهناز زربخش^۷، فائزه رحیمی‌نژاد^۸، سیروس زینلی^{*}

- ۱- کارشناس، گروه پزشکی مولکولی، انتیتو پاستور ایران، تهران، ایران
- ۲- استادیار، گروه پزشکی مولکولی، انتیتو پاستور ایران، تهران، ایران
- ۳- کارشناس ارشد، گروه پزشکی مولکولی، انتیتو پاستور ایران، تهران، ایران
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ژنتیک، واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۵- پژوهش عمومی، گروه پزشکی مولکولی، انتیتو پاستور ایران، تهران، ایران
- ۶- دکترای دامپژشکی، گروه پزشکی مولکولی، انتیتو پاستور ایران، تهران، ایران
- ۷- کارشناس، مرکز تحقیقات ژنتیک انسانی کوثر، انتیتو پاستور ایران، تهران، ایران
- ۸- دانشیار، گروه ژنتیک، مرکز تحقیقات ژنتیک انسانی کوثر، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۸۷/۱۲/۲۱ پذیرش مقاله: ۸۷/۱۱/۶

چکیده

هدف: آلفا-تالاسمی یکی از شایع‌ترین اختلالات هموگلوبین در جهان محسوب می‌شود و در اکثر موارد در نتیجه ایجاد حذف در یک یا هر دو ژن آلفا-گلوبین اتفاق می‌افتد. حذف‌های ناشناخته شده آلفا-گلوبین مانند حذف‌های ۴/۲، ۲۰/۵، ۲۳/۷ کیلوبازی و Med PCR را می‌توان با روش چندگانه تشخیص داد. با این وجود تعدادی از حذف‌های ناشناخته در این ژن وجود دارند که با استفاده از روش‌هایی مانند روش فوق و همچنین روش تعیین توالی قابل تشخیص نخواهند بود. در این تحقیق از روش Real-time PCR به منظور تشخیص وجود یا عدم وجود حذف‌های ناشناخته استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: روش Real-time PCR مبتنی بر استفاده از رنگ سایبرگرین I به منظور تکثیر ژن‌های a_1 ، a_2 و همچنین ژن مرجع CLCN7 انجام پذیرفت و آنالیز داده‌ها با استفاده از روش مقایسه‌ای چرخه آستانه برای تعیین میزان ژنی انجام شد.

نتایج: نتایج به دست آمده با استفاده از روش مقایسه‌ای چرخه آستانه نسبت $16/90\pm 0.0$ را برای افراد نرمال و نسبت $15/32\pm 0.0$ را برای افراد ناقل حذف هتروزیگوت در ژن‌های a_1 و a_2 گلوبین نشان می‌دهد. همچنین آنالیز منحنی ذوب اختصاصی تکثیر ژن‌های مورد نظر را تأیید کرد.

نتیجه‌گیری: روش Real-time PCR روشنی ساده، سریع و مطمئن بوده و می‌توان از آن برای شناسایی حذف‌های ناشناخته در ناقلين آلفا-تالاسمی استفاده نمود.

کلیدواژگان: آلفا-تالاسمی، Real-time PCR، چرخه آستانه

* نشانی مکاتبه: گروه انگل شناسی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۱۵-۳۳۱
Email: jalousian_f@yahoo.com

معمول ایجاد کننده آلفا-تالاسمی، حذف‌های α_1 - α_2 ^{4,2} و α_1 - α_2 ^{3,7} α_1 - α_2 ^{20,5} α_1 - α_2 ^{SEA} هستند. با استفاده از روش Gap PCR چندگانه (Multiplex Gap PCR) امکان تعیین حذف‌های مختلف در یک واکنش منفرد وجود دارد. جهش‌های نقطه‌ای را نیز می‌توان از طریق روش ARMS (Amplification Refractory Mutation System) یا روش‌های مشابه و همچنین تعیین توالی مستقیم DNA شناسایی نمود [۵-۷].

در زمینه تشخیص مولکولی آلفا-تالاسمی موارد متعددی ناشی از وجود حذف‌های ناشناخته در ژن آلفا-گلوبین گزارش شده است که به علت عدم مشخص بودن دامنه حذف، با استفاده از روش Gap PCR قابل شناسایی نیستند. روش Real-time PCR به عنوان روشی مناسب در زمینه بررسی تعداد نسخه‌های ژنی در مورد حذف‌های ناشناخته در خوشه ژنی آلفا-گلوبین قابل بررسی است. اساس این سیستم مبتنی بر سنجش کمی نسخه‌های ژنی در طول مرحله تصاعدی از واکنش PCR از طریق سنجش میزان نشر نور فلورسانس است. در این سیستم تشخیصی یک رنگ فلورسانست طی واکنش تکثیر، متناسب با میزان محصولات هر چرخه آزاد شده و میزان نشر نور فلورسانس توسط نمایانگر شناسایی و ثبت می‌شود [۸].

در تحقیق حاضر، سیستم Real-time PCR برای آنالیز ژن‌های آلفا-گلوبین با استفاده از رنگ فلورسانست سایبرگرین (SYBR Green-I) I توسعه و بهینه‌سازی یافت و بررسی تعداد نسخه‌های ژنی در ژن‌های α_1 و α_2 در ناقلین‌های آلفا-تالاسمی با استفاده از روش مقایسه‌ای چرخه آستانه (Threshold cycle: C_T) که به روش $\Delta\Delta C_T$ ² نیز موسوم است، بررسی شد. آستانه نشان‌دهنده میزانی از محصول است که در آن همه نمونه‌ها به صورت تصاعدی تکثیر می‌یابند و C_T چرخه‌ای است که در آن افزایش معنی‌داری در علامت فلورسانست در طول مرحله تکثیر تصاعدی PCR مشاهده می‌شود. بدیهی است C_T به طور معکوس با مقدار اولیه DNA ژنومی متناسب است [۹, ۸].

۱- مقدمه

تالاسمی (Thalassemia) یکی از شایع‌ترین اختلالات ارثی در سنتز هموگلوبین است که با فقدان یا کاهش سنتز زنجیره‌های گلوبین همراه است. این بیماری در ۶۰ کشور جهان و با فراوانی بیشتر در مناطق مدیترانه، خاورمیانه، شبه قاره هند، آسیای جنوب شرقی و غرب آفریقا شیوع دارد [۱]. کشور ایران نیز از جمله کشورهای قرار گرفته روی کمریند تالاسمی در سطح جهان محسوب می‌شود؛ بنابراین تشخیص پیش از تولد این بیماری از اولویت‌های بهداشتی در ایران بهمنظور جلوگیری از تولد نوزادان مبتلا است و از سال ۱۳۷۶ به اجرا در آمده است [۲, ۳].

هرگاه سنتز زنجیره‌های آلفا یا بتا-گلوبین دچار اشکال شود، تعادل مقداری زنجیره‌های آلفا و بتا-گلوبین به هم خورده و با توجه به مقدار کاهش تولید از هر یک از این دو ژن، آثار فوتیپی متفاوتی مشاهده می‌شود. در مقابل در صورت ایجاد نقص در ژن بتا-گلوبین، رابطه درصدی زنجیره‌های بتا و دلتا-گلوبین تغییر کرده و باعث افزایش سطح هموگلوبین A2 (Haemoglobin Adult-2: HbA2) در ژن بتا-گلوبین می‌شود. چنین پدیده‌ای با کاهش محصول زنجیره‌ی آلفا-گلوبین اتفاق نمی‌افتد؛ یعنی در ناقلین آلفا-تالاسمی سطح HbA2 در حد طبیعی است. این در حالی است که اختلالات ژنتیکی در تولید زنجیره بتا-گلوبین، ساختن هر دو نوع هموگلوبین HbA و هموگلوبین جنینی (Haemoglobin Fetal: HbF) را مختل می‌کند. زنجیره‌های آلفا-گلوبین تجمع نیافته که در اثر عدم تعادل در سنتز زنجیره‌های آلفا-گلوبین و زنجیره فاقد آلفا-گلوبین ایجاد می‌شوند، به صورت ذرات متر acum (Inclusion) رسوب می‌کنند. این چنین ذرات حاوی زنجیره‌های آلفا-گلوبین به پیش‌سازه‌ای اریتروئید در مغز استخوان و طحال آسیب رسانده و سبب خون‌سازی غیرمُؤثرخواهد شد [۱, ۴].

برخلاف بتا-تالاسمی که اکثرًا از جهش‌های نقطه‌ای ایجاد می‌شود، اکثر جهش‌های آلفا-تالاسمی ناشی از وقوع حذف در یک یا هر دو ژن آلفا-گلوبین هستند. شایع‌ترین حذف‌های

جدول ۱ شاخص‌های خون‌شناسی در افراد مطالعه شده

HbF*** (درصد)	HbA2** (درصد)	MCH (پیکوگرم)	MCV (فمتولیتر)	Hb (دسمی‌لیتر/گرم)	RBC* (میکرولیتر/ $\times 10^6$)	تعداد	نمونه
۱/۰۳±۰/۴۵	۲/۹±۰/۸۵	۲۹/۳۶±۰/۹۷	۸۷/۸۹±۱/۹۴	۱۳/۴±۱/۰۶	۴/۵۶±۰/۳۵	۱۵	نرمال
۰/۳۳±۰/۱۱	۲/۲۶±۰/۵۵	۲۰/۹۵±۰/۰۵	۶۹/۵±۱/۶	۱۲/۴۸±۰/۹۹	۷/۲۰±۰/۶۵	۴	هتروزیگوت حذف
۰/۵۲±۰/۲۶	۲/۱۴±۰/۲۴	۲۰/۷۴±۱/۱۲	۶۹/۰۵±۱/۸	۱۳/۵۲±۱/۴۷	۷/۵۲±۰/۴۳	۴	هتروزیگوت حذف ۵/۲۰ کیلویازی
۰/۳۵±۰/۲۱	۲/۴±۰/۱۴	۲۵/۶۵±۰/۳۵	۷۷/۵±۳/۱۱	۱۳/۹۵±۱/۲	۵/۴۵±۰/۳۵	۱	هتروزیگوت حذف ۲/۴ کیلویازی
۰/۴۴±۰/۱۸	۲/۴۶±۰/۲۷	۲۵/۳۱±۱/۱۲	۷۹/۳۲±۳/۳۱	۱۳/۲۲±۱/۱۸	۵/۲۷±۰/۵۶	۸	هتروزیگوت حذف ۳/۷ کیلویازی
۰/۳۲±۰/۰۸	۲/۰۸±۰/۷۱	۲۱/۴۲±۲/۸۴	۷۰/۹۲±۱/۸۷	۱۲/۹۲±۲/۲۸	۷/۲۴±۰/۷۶	۳	هموزیگوت حذف ۲/۷ کیلویازی
۰/۳۶±۰/۱	۲/۰۰±۰/۳۲	۲۰/۴۳±۱/۰۶	۷۰/۰۵±۳/۲	۱۳/۳۱±۱/۶۷	۵/۶۴±۰/۹۵	۶۰	موارد مشکوک به وقوع حذف

RBC*: سلول قرمز خونی؛ HbA2**: (α2γ2)؛ HbF***: (α2β2)

مقادیر ذکر شده در جدول نمایانگر میانگین ± انحراف از معیار (mean ± SD) است.

جدول ۲ توالی آغازگرهای الیکترونکلئوتیدی به کار گرفته شده در Real-time PCR

آغازگر	توالی آغازگر	موقعیت آغازگر بر روی ژن	طول قطعه تکبیری (جفت‌باز)
α_1 - F	۵'-ACGCCTCCCTGGACAAAGTTC-3'	III	۱۳۹
	۵'-GGGTACGGGTGCAGGAAGG-3'	آگزون	
α_1 - R	۵'-ACGCCTCCCTGGACAAAGTTC-3'	III	۱۳۸
	۵'-AGGGCCGGTGCAAGGAG-3'	آگزون	
α_2 - R	۵'-CTCTTAGGCCAGGCCTTGTG-3'	I	۱۲۸
	۵'-ACCGTGCTCAGCGCTATGC-3'	ایترون	
CLCN7- F	۵'-ACCGTGCTCAGCGCTATGC-3'	I	
	۵'-ACCCTTACGGCCAGGCCTTGTG-3'	ایترون	

۲-۲ Gap PCR چندگانه

روش Gap PCR چندگانه برای شناسایی حذف‌های شناخته شده آلفا-تالاسمی (α -thalassemia) با استفاده از آغازگرهای (Primers) (Tan) و همکارانش [۷] انجام پذیرفت. مخلوط واکنشی به حجم ۲۵ میکرولیتر شامل ۳/۵ میکرولیتر DNA ژنومی با غلظت ۲۰۰ نانوگرم، ۰/۳ میکرولیتر از مخلوط آغازگرهای، ۰/۳ واحد از آنزیم *Taq* پلیمراز و ۲۱ میکرولیتر بافر PCR تهیه شد. واسرتستگی اولیه (Initial Denaturation) در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه صورت پذیرفت، سپس برنامه تکثیر زیر برای ۳۵ چرخه انجام یافت: ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱ دقیقه، ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه و ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۲ دقیقه. همچنین واکنش برای مدت ۷ دقیقه در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد ادامه یافت و در انتهای در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهدارشده شد. محصولات PCR روى ژل آگاراز ۰/۸ درصد با آیدیوم بروماید (Ethidium bromide) (Ethidium bromide) (Rnگامیزی شده و با استفاده از اشعه ماورای بنفس مشاهده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲ انتخاب ناقلین و استخراج DNA ژنومی

تعداد ۶۰ فرد مشکوک به ناقل حذف آلفا-تالاسمی (MCH<۲۷ پیکوگرم، MCV>۸۰ فمتولیتر طبیعی یا بیش از ۳/۵ درصد، HbF طبیعی یا بالا و رد قرق آهن) و همچنین ۱۵ ناقل قطعی آلفا-تالاسمی که به کلینیک ویژه تشخیص پیش از تولد انسیتیو پاستور ایران و آزمایشگاه ژنتیک پزشکی دکتر زینلی در مرکز تحقیقات ژنتیک انسانی کوثر مراجعه کرده بودند بعد از تکمیل فرم رضایت‌نامه وارد مطالعه شدند. شاخص‌های خون‌شناسی افراد بررسی شده در این مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. استخراج DNA از گلبول‌های سفید خون محیطی و با استفاده از روش نمک اشباع (Salting out) [۱۰] انجام و غلظت و کیفیت آن توسط آپکتروفتوомتر NanoDrop® ND-1000 در طول موج‌های ۲۶۰ و ۲۸۰ نانومتر سنجیده شد. نمونه‌هایی که نسبت A2۶۰/A2۸۰ در آن‌ها بیش از ۱/۵ بود، برای آنالیز کمی انتخاب شدند.

پس از محاسبه کارایی بهمنظور استفاده از روش $T^{2-\Delta\Delta C}$ ، این بار روش Real-time PCR روی ژن‌های α_1 و α_2 گلوبین و ژن مرجع CLCN7 در مورد نمونه‌های مشکوک به حذف انجام شد. پس از اتمام واکنش تکثیر، برای هر واکنش PCR یک نمودار رسم و سپس براساس آن C_T تعیین شد. در ادامه پس از تفاضل میانگین C_T ژن هدف برای هر دو نمونه طبیعی و آزمون از میانگین C_T ژن مرجع، شاخص ΔC_T در نمونه طبیعی و نمونه آزمون محاسبه و از تفاضل دو ΔC_T مربوط به نمونه طبیعی و نمونه آزمون، فاکتوری تحت عنوان $\Delta\Delta C_T$ مطابق فرمول زیر به دست آمد:

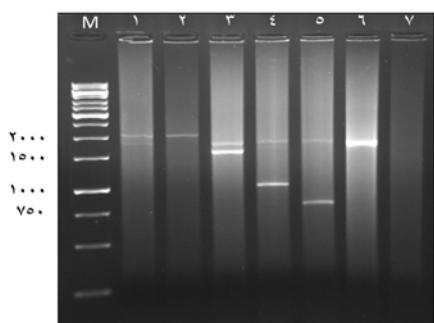
$$\Delta\Delta C_T = [mC_{T_{\text{CLCN7}}} - mC_{T_{\alpha}}] - [mC_{T_{\text{آزمون}}} - mC_{T_{\text{نرمال}}}]$$

در نهایت تعداد نسخ ژن‌های هدف α_1 و α_2 گلوبین با استفاده از فرمول $T^{2-\Delta\Delta C}$ مشخص شد [۱۲، ۱۱]. آنالیز داده‌های فوق با استفاده از نرم‌افزارهای SDS نسخه ۱/۲/۳ (Microsoft corp) Excel 2007، (Applied Biosystems, UK) و SPSS نسخه ۱۶ (Chicago, IL, USA) (انجام پذیرفت).

۳- نتایج

۱-۳ چندگانه Gap PCR

روش PCR چندگانه امکان شناسایی حذف‌های شناخته شده را بهصورت همزمان و در یک واکنش فراهم می‌سازد. با استفاده از این روش وجود حذف‌های شناخته شده α_1 - α_2 ، α_1 - α_3 ، α_2 - α_3 ، در ۲۰ فرد کنترل شناسایی شد (شکل ۱).



شکل ۱ شناسایی حذف‌های شناخته شده توسط PCR چندگانه؛ ستون M: شانگر ۱ کیلوبازی، ستون ۱: هتروزیگوت حذف ۳/۷ کیلوبازی (۲۰۲۲ و ۱۸۰۰ جفت‌بازی)، ستون ۲: هموزیگوت حذف ۳/۷ کیلوبازی (۲۰۲۲ جفت‌بازی)، ستون ۳: هتروزیگوت حذف ۴/۲ کیلوبازی (۱۶۲۸ و ۱۸۰۰ جفت‌بازی)، ستون ۴: هتروزیگوت حذف ۲۰/۵ کیلوبازی (۱۰۰۷ و ۱۸۰۰ جفت‌بازی)، ستون ۵: هتروزیگوت حذف Med (۸۰۷ و ۱۸۰۰ جفت‌بازی)، ستون ۶: نرمال (۱۸۰۰ جفت‌بازی)، ستون ۷: فاقد DNA الگو.

۳-۲ مخلوط واکنش و برنامه

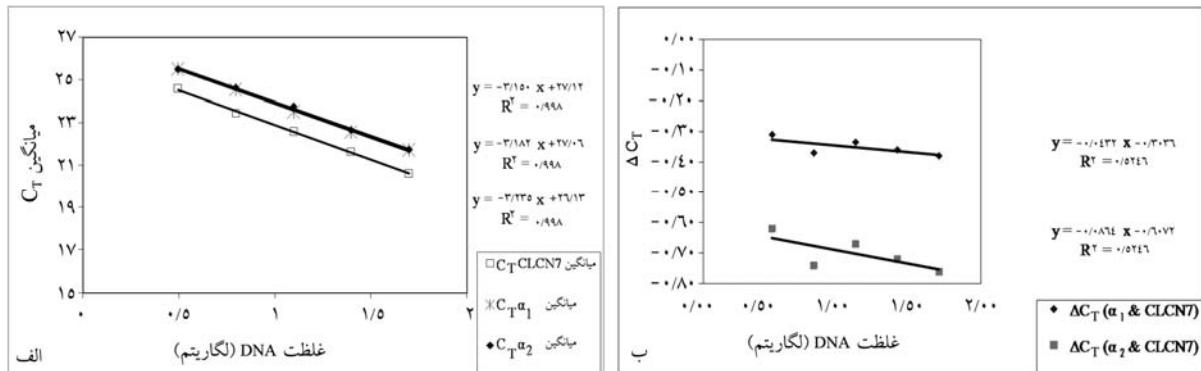
آغازگرهای الیگونوکلتوتیدی برای ژن‌های α_1 ، α_2 و همچنین ژن CLCN7 بهعنوان ژن مرجع با استفاده از نرم‌افزار Primer Express (Applied Biosystems, Foster City, CA) نسخه ۳/۰ طراحی و توالی آن‌ها در پایگاه اطلاعاتی NCBI/BLAST تأیید شد. توالی آغازگرهای به کار گرفته شده در این مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای هر واکنش مخلوطی به حجم ۲۵ میکرولیتر مشتمل از ۱/۵ میکرولیتر SYBR Green Master Mix (Applied Biosystems, UK) ۵ پیکومول از هر آغازگر، ۶/۵ میکرولیتر آب و ۵ نانوگرم DNA ژنومی تهیه شد. واکنش‌های هر نمونه DNA برای هر سه ژن، سه سری و به صورت همزمان انجام و میانگین (C_T)‌های به دست آمده برای هر ژن محاسبه شد. برای انجام ABI 7300 Sequence Real-time PCR (Applied Biosystems, Foster City, CA) Detection Systems از برنامه زیر استفاده شد: مرحله شروع در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد بهمنظور واسرتست‌سازی اولیه DNA الگو در چرخه اول در مدت ۱۰ دقیقه انجام و سپس دو برنامه دمایی زیر در ۴۰ چرخه تکرار شد: ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ ثانیه و ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ دقیقه. هر مرحله تکثیری کامل، توسط یک مرحله تفکیک به صورت ۹۵ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۱۵ ثانیه، ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ ثانیه، ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۱۵ ثانیه بهمنظور آنالیز منحنی ذوب همراه شد.

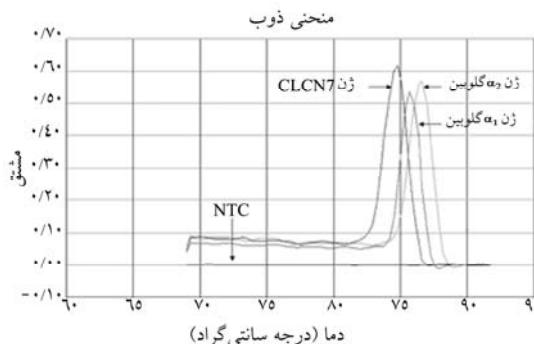
۴-۲ آنالیز اطلاعات با استفاده از روش $T^{2-\Delta\Delta C}$

در ابتدا بهمنظور تعیین کارایی تکثیر ژن‌های α_1 و α_2 گلوبین و ژن مرجع CLCN7، بهصورت همزمان سری رقت از DNA طبیعی (از ۵۰ تا ۳/۱۳ نانوگرم در میکرولیتر) تهیه شد و پس از انجام Real-time PCR، نمودار استاندارد برای هر قطعه ژنی ترسیم شد. محاسبه کارایی PCR برای هر سه ژن با تعیین شیب (Slope) نمودار استاندارد و با استفاده از فرمول کارایی (Efficiency) محاسبه شد:

$$E = \left[\frac{1}{10} \right]^{(\text{شیب})}$$



شکل ۲ مراحل بهینه‌سازی Real-time PCR: a) منحنی استاندارد بر پایه سری رقت‌ها از DNA فرد نرمال برای ژن‌های α_1 و α_2 گلووین و CLCN7 به‌منظور محاسبه کارایی؛ b) ارزیابی همزمان شاخص‌های ΔC_T برای CLCN7 و $\alpha_2/\alpha_1/CLCN7$ برای DNA ژنومی؛ معادله خطوط بـه ترتیب $y = -0.147x - 0.0736$ و $y = -0.186x - 0.0747$ است. همگی خطوط دارای شیب کمتر از ۰/۱ هستند که یک شرط لازم در استفاده از روش C_T در سنجش‌های Real-time PCR محسوب می‌شود.



شکل ۳ آنالیز منحنی ذوب برای ژن‌های α_1 و α_2 گلووین و ژن مرجع CLCN7؛ هریک از قله‌ها نمایانگر دمای ذوب یک محصول PCR است.

۳-۳- شناسایی حذف‌های ژنی آلفا-گلووین توسط Real-time PCR

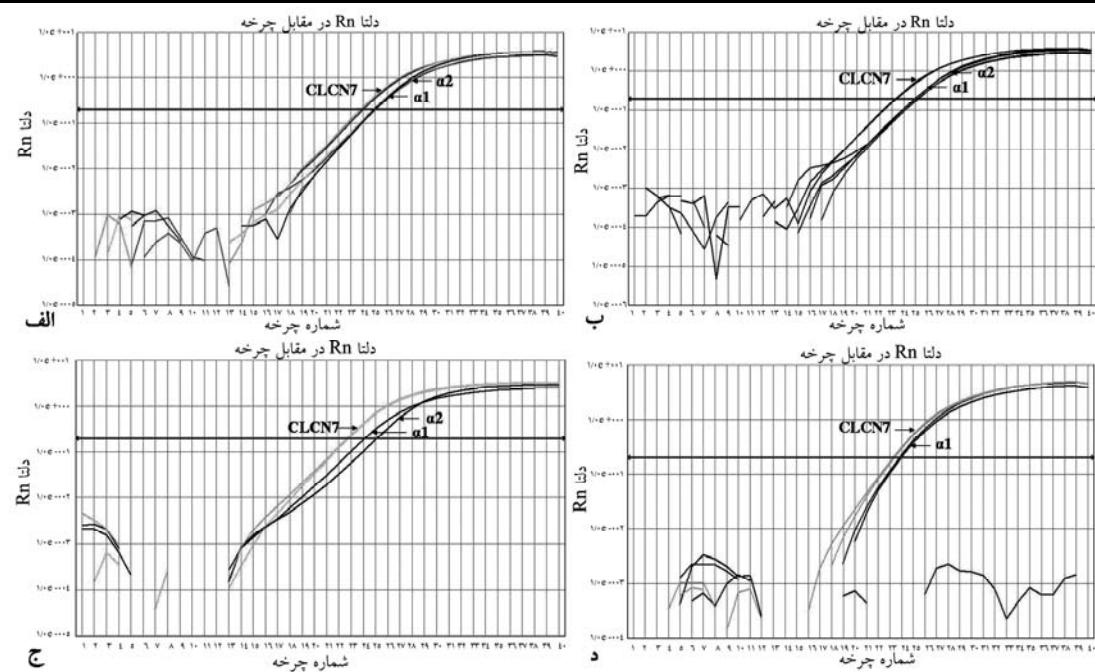
با انجام Real-time PCR برای ژن‌های α_1 و α_2 و CLCN7 در ۶۰ فرد مشکوک به حذف در ژن‌های آلفا-گلووین که هیچ کدام از حذف‌های شناخته شده برای آن‌ها شناسایی نشده بود، وجود حذف در ۴۰ نفر بدون هیچ اطلاعی از سرحدات دقیق حذف شناسایی شد. از این تعداد ۱۰ فرد دارای حذف در ژن α_1 و α_2 به صورت همزمان، و ۲۵ فرد دارای حذف در ژن α_2 به صورت هتروزیگوت و ۵ فرد دارای حذف در ژن α_1 به صورت هموزیگوت هستند. همچنین وجود حذف در تمامی ۱۵ نمونه افراد کنترل حذف که وجود حذف شناخته شده در آن‌ها توسط Real-time PCR چندگانه شناسایی شده بود، توسط Gap PCR تأیید شد که نشانه دقت و حساسیت این روش کمی است.

همان‌گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود منحنی‌های

۲-۳- کارایی تکثیر در Real-time PCR

رسم منحنی استاندارد بر پایه سری رقت‌ها از نمونه DNA نرمال برای ژن‌های α_1 و α_2 گلووین و ژن مرجع CLCN7 کارایی PCR را برای هر سه ژن تقریباً برابر دانست. شیب به دست آمده از منحنی‌های تکثیر ژن‌های α_1 و α_2 و CLCN7 به ترتیب $-3/15$ ، $-3/23$ و $-0/99$ همبستگی (R^2) برای ژن‌های مذکور معادل $0/99$ است که نشانه وجود هماهنگی بین تغییرات غلظت DNA و اختلاف C_T است (شکل ۲ a).

همچنین سازگاری و هماهنگی تمامی واکنش‌های PCR به واسطه دامنه وسیعی از غلظت‌های DNA الگوی طبیعی (از ۵۰ تا $3/13$ نانوگرم در میکرولیتر) با رسم نموداری بر مبنای شاخص‌های ΔC_T ژن‌های آلفا-گلووین و CLCN7 در مقابل لگاریتم غلظت DNA ارزیابی شد. شیب $-0/1$ که این نمودار پس از تعديل شدن ژن هدف توسط ژن مرجع CLCN7 نیز صحت ارزیابی نسبی و روش مقایسه‌ای C_T را می‌رساند (شکل ۲ b). همچنین به واسطه تغییرات دمایی که در آنالیز منحنی ذوب (Melting curve) صورت می‌پذیرد، هر قطعه DNA دو رشته‌ای موجود در محصول براساس طول و محتوای بازه‌ای GC در دمای ذوب اختصاصی خود، تک رشته‌ای شده و این تغییر حالت توسط سیستم به صورت یک قله (Peak) نمایش داده می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، وجود تنها یک قله مرتبط با هر ژن، نشانه عدم وجود مواردی چون محصول غیراختصاصی و آغازگر دائمی است.

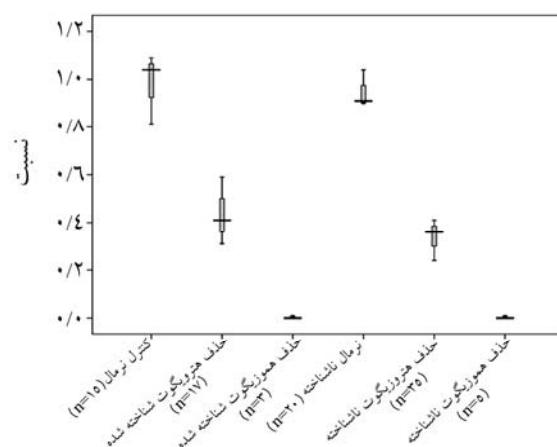


شکل ۴: منحنی تکثیر DNA برای ژن‌های α_1 و α_2 و ژن مرجع CLCN7 در چرخه ۲۴ وارد مرحله تصاعدی تکثیر شده است؛ ب: منحنی تکثیر DNA برای ژن‌های α_1 و α_2 در چرخه ۲۵ و ژن مرجع CLCN7 در چرخه ۲۳ وارد مرحله تصاعدی تکثیر شده است؛ ج: منحنی تکثیر DNA برای ژن α_1 در چرخه ۲۴ و ژن α_2 در چرخه ۲۵ و ژن مرجع CLCN7 در چرخه ۲۳ وارد مرحله تصاعدی تکثیر شده است؛ د: منحنی تکثیر DNA برای ژن α_1 در چرخه ۲۴ و ژن α_2 در چرخه ۲۵ و ژن مرجع CLCN7 در چرخه ۲۳ وارد مرحله تصاعدی تکثیر شده است. واکنش تکثیر ژن α_2 در فرد هموژیگوت رخ نداده است.

۴- بحث

در مسیر غربالگری تالاسمی قبل از ازدواج و شناسایی جهش‌ها، تعداد زیادی از مراجعین به آزمایشگاه‌های ژنتیک، به صورت موارد مشکوک یا نامشخص باقی می‌مانند. این افراد MCH (Mean Corpuscular Volume) MCV (Mean Cell Volume) و HbA2 (Mean Cell Haemoglobin) هستند. در اکثر موارد این افراد سطح HbA2 طبیعی یا نزدیک آستانه هستند ($3/5$ درصد یا کمتر) که تعیین وضعیت این افراد از اهمیت زیادی برخوردار است. دلایل قرار گرفتن این افراد در گروه موارد مشکوک به چند دلیل است؛ ابتدا این که فرد ممکن است دارای جهش خفیف باشد که در دسته ناقلین خاموش طبقه‌بندی می‌شود. وقوع حذف در ژن بتا و دلتا-گلوبین یا جهش در ژن دلتا-گلوبین می‌توانند از عوامل دیگر ایجاد سطح HbA2 طبیعی باشند. علت دیگر را می‌توان به دلیل همزمانی وجود آلفا و بتا-تالاسمی در فرد دانست. همچنین وقوع حذف در خوشه ژنی بتا-گلوبین که ناحیه

مرتبط با تکثیر ژن‌های α_1 و α_2 در فرد ناقل حذف به علت فقدان یک نسخه از ژن هدف، یک چرخه دیرتر از منحنی منتظر در فرد سالم به آستانه رسیده‌اند. محاسبه نسبت $\Delta\Delta C_T^{-2}$ که در واقع میزان نسبی ژن را در نمونه ناشناخته نسبت به نمونه طبیعی تعیین می‌نماید، نسبت $0/90 \pm 0/16$ را برای افراد سالم و نسبت $0/82 \pm 0/15$ را برای افراد ناقل حذف هتروژیگوت در ژن‌های α_1 و α_2 گلوبین نشان داد (شکل ۵).



شکل ۵ مقایسه نسبت‌های به دست آمده در گروه‌های مختلف

گاما-گلوبین را نیز در گیر کرده باشد یا حتی ارائه نتایج اشتباہ در آزمایش‌های خون‌شناختی (Cell Blood Count: CBC) و تعیین دقیق سطح HbA2 یا فقر آهن می‌توانند از دلایل دیگر قلمداد شوند [۱۳، ۱۴]. بنابراین می‌بایست با استفاده از روش‌های متعدد ناقل آلفا یا بتا-تالاسمی بودن افراد مشکوک را مشخص نمود. در صورتی که اختلال وجود حذف داده شود، باید با به کارگیری روش‌های توین وجود حذف در ژن‌های آلفا یا بتا-گلوبین را مشخص و سپس با به کارگیری روش‌های مولکولی دامنه حذف را تشخیص داده و در ادامه برای آن‌ها روش‌های تشخیص سریع و دقیق راه‌اندازی نمود.

آنچه در آنالیز Real-time PCR و استفاده از روش مقایسه‌ای C_T حائز اهمیت است این است که درستی و دقت تعیین تعداد نسخه‌های ژنی با میزان کارایی تکثیر ژن‌های هدف و ژن مرجع دارای ارتباط مستقیم است. بنابراین شب منحنی استاندارد رسم شده برای هر ژن و ضریب همبستگی (R^2) خط رسم شده براساس رقت‌های متوالی DNA، باید در محدوده قابل پذیرش (شب منحنی $3/1$ -تا $3/6$ و $95/90 > R^2 > 0$) بوده و در ژن‌های مورد بررسی تا حد امکان یکسان باشند [۲۱، ۱۲].

در تحقیق حاضر تمامی موارد ناقل قطعی که وجود حذف شناخته شده در آن‌ها توسط PCR Gap چندگانه شناختی شده بود، با روش Real-time PCR به درستی تشخیص داده شدند که این می‌تواند تأییدی بر صحت نتایج حاصل شده برای موارد ناشناخته باشد. مطالعه حاضر نشان داد که این روش می‌تواند برای تعیین وضعیت نهایی موارد مشکوک به حذف آلفا-تالاسمی کاملاً کارساز باشد.

۵- تشکر و قدردانی

نویسنده‌گان مراتب تشکر و قدردانی خود را نسبت به کلیه بیماران و خانواده‌های محترم آن‌ها و نیز تمامی همکاران بخش پژوهشکی مولکولی انتیتو پاستور ایران و مرکز تحقیقات ژنتیک انسانی کوثر اعلام می‌دارند. این طرح با پشتیبانی مالی انتیتو پاستور ایران (طرح شماره ۴۴۱) و نیز صندوق حمایت از پژوهشگران انجام شد.

گاما-گلوبین را نیز در گیر کرده باشد یا حتی ارائه نتایج اشتباہ در آزمایش‌های خون‌شناختی (Cell Blood Count: CBC) و تعیین دقیق سطح HbA2 یا فقر آهن می‌توانند از دلایل دیگر قلمداد شوند [۱۳، ۱۴]. بنابراین می‌بایست با استفاده از روش‌های متعدد ناقل آلفا یا بتا-تالاسمی بودن افراد مشکوک را مشخص نمود. در صورتی که اختلال وجود حذف داده شود، باید با به کارگیری روش‌های توین وجود حذف در ژن‌های آلفا یا بتا-گلوبین را مشخص و سپس با به کارگیری روش‌های مولکولی دامنه حذف را تشخیص داده و در ادامه برای آن‌ها روش‌های تشخیص سریع و دقیق راه‌اندازی نمود.

روش Real-time PCR در شناختی بازآرایی‌های ژنی در مورد بیماری‌های متعددی همچون نشانگان ویلیام-برن (Williams-Beuren syndrome) [۱۵]، نشانگان آنجلمن (Angelman syndrome) [۱۶] و بیماری پائیزائوس-مرزباقر (Pelizaeus-Merzbacher) [۱۷] استفاده شده است. همچنین استفاده از این روش در مورد شناختی تعدادی از حذف‌های شناخته شده آلفا-تالاسمی نیز گزارش شده است [۱۸] که البته روش Gap PCR چندگانه به عنوان روشی مناسب و سریع برای شناختی حذف‌های شناخته شده آلفا-تالاسمی نیز قادر به شناخته شده آلفا-تالاسمی نیز گزارش شده است. بدیهی است این روش توانایی شناختی حذف‌هایی با دامنه نامشخص را ندارد. اخیراً روش کمی تکثیر وابسته به اتصال شناستگرهای چندگانه (Multiplex Ligation-dependent Probe Amplification: MLPA) از کاربرد وسیعی در زمینه تشخیص حذف و مضاعف شدگی ژنی برخوردار شده است. در این روش توانایی تکثیر تعداد زیادی از جایگاه‌ها توسط یک جفت آغازگر وجود دارد [۱۹]. البته جداسازی محصولات تکثیر شده توسط الکتروفورز موئین توسط دستگاه توالی‌یابی و صرف زمان و هزینه زیاد و همچنین دقت کمتر نسبت به آنچه که در آنالیز Real-time PCR وجود دارد از نقاط ضعف روش MLPA محسوب می‌شود.

استفاده از رنگ‌های متصل‌شونده به DNA همچون سایبرگرین

۶- منابع

- [1] Weatherall DJ, Clegg JB, Gibbons R. The thalassaemia syndromes. 4th ed. Oxford, Malden, MA: Blackwell Science, 2001; p:484-525.
- [2] Abolghasemi H, Amid A, Zeinali S, Radfar MH, Eshghi P, Rahiminejad MS, Ehsani MA, Najmabadi H, Akbari MT, Afrasiabi A, Akhavan-Niaki H, Hoorfar H. Thalassemia in Iran: epidemiology, prevention, and management. *J Pediatr Hematol Oncol* 2007; 29(4): 233-8.
- [3] Samavat A, Modell B. Iranian national thalassaemia screening programme. *BMJ* 2004; 329(7475): 1134-7.
- [4] Harteveld CL, Yavarian M, Zorai A, Quakkelaar ED, van Delft P, Giordano PC. Molecular spectrum of alpha-thalassemia in the Iranian population of Hormozgan: three novel point mutation defects. *Am J Hematol* 2003; 74(2): 99-103.
- [5] Clark BE, Thein SL. Molecular diagnosis of haemoglobin disorders. *Clin Lab Haematol* 2004; 26(3): 159-76.
- [6] Old JM. Screening and genetic diagnosis of haemoglobin disorders. *Blood Rev* 2003; 17(1): 43-53.
- [7] Tan AS, Quah TC, Low PS, Chong SS. A rapid and reliable 7-deletion multiplex polymerase chain reaction assay for alpha-thalassemia. *Blood* 2001; 98(1): 250-1.
- [8] Ruiz-Ponte C, Carracedo A, Barros F. Duplication and deletion analysis by fluorescent real-time PCR-based genotyping. *Clin Chim Acta* 2006; 363(1-2): 138-46.
- [9] Pfaffl MW. A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic Acids Res* 2001; 29(9): e45.
- [10] Miller SA, Dykes DD, Polesky HF. A simple salting out procedure for extracting DNA from human nucleated cells. *Nucleic Acids Res* 1988; 16(3): 1215.
- [11] Livak KJ, Schmittgen TD. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) Method. *Methods* 2001; 25(4): 402-8.
- [12] Vaerman JL, Saussay P, Ingariola I. Evaluation of real-time PCR data. *J Biol Regul Homeost Agents* 2004; 18(2): 212-4.
- [13] Eram SM, Azimifar B, Abolghasemi H, Foulady P, Lotfi V, Masrouri M, Hosseini M, Abdolhosseini A, Zeinali S. The IVS-II-1 (G-->a) beta0-thalassemia mutation in cis with HbA2-Troodos [delta116(G18)Arg-->Cys (CGC-->TGC)] causes a complex prenatal diagnosis in an Iranian family. *Hemoglobin* 2005; 29(4): 289-92.
- [14] Zeinali S, Mohammad Eram S, Azimifar SB, Lotfi V, Foulady P, Masrouri M. First report on the co-inheritance of (beta) IVS I-1 (G-->T) Thalassemia with the (gamma) CD85 [Phe-->Ser (F1) (TTT-->TCT)] HbA2 Etiology in Iran. *Haematologica* 2006; 91(6 Suppl): ECR15.
- [15] Schubert C, Laccone F. Williams-Beuren syndrome: determination of deletion size using quantitative real-time PCR. *Int J Mol Med* 2006; 18(5): 799-806.
- [16] Raca G, Buiting K, Das S. Deletion analysis of the imprinting center region in patients with Angelman syndrome and Prader-Willi syndrome

- by real-time quantitative PCR. *Genet Test* 2004; 8(4): 387-94.
- [17] Mikesová E, Baránková L, Sakmaryová I, Tatarková I, Seeman P. Quantitative multiplex real-time PCR for detection of PLP1 gene duplications in Pelizaeus-Merzbacher patients. *Genet Test* 2006; 10(3): 215-20.
- [18] Liu J, Yan M, Wang Z, Wang L, Zhou Y, Xiao B. Molecular diagnosis of alpha-thalassemia by combining real-time PCR with SYBR GreenI and dissociation curve analysis. *Transl Res* 2006; 148(1): 6-12.
- [19] Harteveld CL, Voskamp A, Phylipsen M, Akkermans N, den Dunnen JT, White SJ, Giordano PC. Nine unknown rearrangements in 16p13.3 and 11p15.4 causing alpha- and beta-thalassaemia characterised by high resolution multiplex ligation-dependent probe amplification. *J Med Genet* 2005; 42(12): 922-31.
- [20] Ponchel F, Toomes C, Bransfield K, Leong FT, Douglas SH, Field SL, Bell SM, Combaret V, Puisieux A, Mighell AJ, Robinson PA, Inglehearn CF, Isaacs JD, Markham AF. Real-time PCR based on SYBR-Green I fluorescence: an alternative to the TaqMan assay for a relative quantification of gene rearrangements, gene amplifications and micro gene deletions. *BMC Biotechnol* 2003; 3: 18.
- [21] Yuan JS, Reed A, Chen F, Stewart CN Jr. Statistical analysis of real-time PCR data. *BMC Bioinformatics* 2006; 7: 85.