انگشت نگاری ژنتیکی

● دکتر شهرام نعمتی
دکترای علوم آزمایشگاهی، دکترای تخصصی (PhD) ژنتیک پزشکی
shahnemati@yahoo.com

❑ چکیده

استفاده از روش انگشت نگاری ژنتیکی در قرن بیستم تحول عظیمی درحل مناقشات مرتبط با تعیین هویت افراد چه در حوزه موضوعات خانوادگی و یا مسائل جنایی، ایجاد نموده است. DNA موجود در سلول‌های هر یک از ما علیرغم اینکه در بیش از ۹۹/۵ درصد با ژنوم سایر افراد گونه Homo Sapience (گونه‌ای که تمامی انسان‌های مدرن از آن انشقاق یافته‌اند) مشابه بوده ولی کمتر از ۰/۵ درصد آن در بین افراد، منحصر به فرد می‌باشد. در روش انگشت نگاری ژنتیک بر اساس این فرض و با استفاده از توالی‌های خاص که به نام توالی‌های تکرار شونده نامیده شده و در هر فرد به شکل انحصاری وجود دارد، هویت افراد با دقت بسیار بالا قابل ارزیابی می‌باشد. البته بایستی توجه نمود که در این روش نتایج به دست آمده بر اساس احتمال وقوع آن‌ها به شکل تصادفی، تفسیر می‌شوند. برای مثال احتمال اینکه دو فرد به شکل تصادفی حاوی محتوای ژنومی کاملا یکسان باشند یک در ۵۹۴/۱ تریلیون برآورد شده است (که البته غیر ممکن تفسیر خواهد شد). مقدار خط برش (CUT OFF) این احتمالات که در دادگاه نیز قابل استناد باشد، توسط دولت‌ها تعیین می‌گردد. در مطالعه مروری حاضر پس از شرح مختصر در خصوص تاریخچه ابداع این روش، به توضیح در مورد انواع مارکرها و کاربرد آن‌ها در موضوعات مرتبط خواهیم پرداخت.

کلمات کلیدی: انگشت نگاری ژنتیکی، توالی‌های تکرار شونده، مارکرهای ژنتیکی در پزشکی جنایی

❑ مقدمه

انگشت نگاری ژنتیکی[1] روشی است که در آن بر اساس تفاوت‌های ژنتیکی بین فردی [2]، هویت افراد ارزیابی می‌گردد. اساس این تست بر این فرض استوار است که ساختار ژنوم در بین افراد در کمتر از ۰/۵ درصد باهم متفاوت می‌باشد و از این شاخصه به جهت ارزیابی هویت افراد استفاده می‌شود. به طور کلی تغییرات در ژنوم در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند.

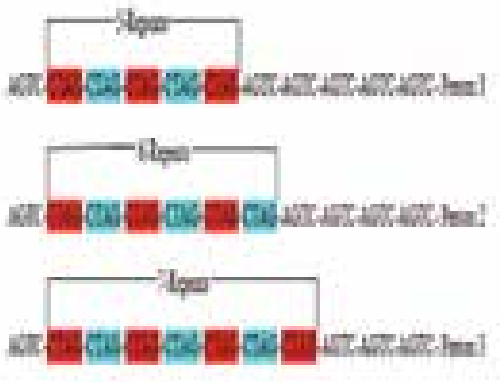
۱- تغییراتی که در آن محتوای DNA تغییر نمی‌کند، مانند جابجایی‌های متعادل[3] بین کروموزوم‌ها که طی آن بخش‌هایی از کروموزوم‌ها بدون هیچ کم و کاستی بین هم جا به جا می‌شوند. این نوع تغییرات معمولاً آثار بیماری‌زایی ندارند.

۲- تغییرات در تعداد بازها و یا توالی‌های خاص ژنوم[4]. بدین معنی که این تغییرات (جهش‌ها) می‌تواند باعث جایگزینی، حذف و یا اضافه شدن یک باز با باز دیگر و یا افزایش و کاهش تعداد توالی‌های تکراری در سطح ژنوم گردد. توالی‌های تکراری بخش‌های از ژنوم می‌باشند که در

1- DNA fingerprinting
2- DNA variants
3- Balanced translocation
4- Copy number of a nucleotide or DNA sequence

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]

آن بازها با الگویی (واحدهای) معین به دفعات پشت سر هم تکرار می‌شوند[5] ولی تعداد دفعات این تکرارها در افراد مختلف یکسان نیست. واحدهای تکرار شونده می‌توانند از یک باز تا بیش از ۱۰۰ باز متغیر باشند. تکرارهای متشکل از واحدهای کمتر از ۱۰ باز تحت عنوان میکرو ساتلیت[6] نامیده که غالباً از واحدهای ۱، ۲ و یا ۴ بازی تشکیل یافته و تکرارهای متشکل از واحدهای ۱۰ تا ۵۰ بازی در گروه مینی ساتلیت[7] قرار می‌گیرند. از تکرارهای میکروساتلیت که به نام STRPs[8] نیز نامیده می‌شوند در تکنیک انگشت نگاری ژنتیک به جهت ارزیابی هویت فرد استفاده می‌گردد. (Nwawuba SU 2020a)شکل ۱.



شکل ۱. STRs تترانوکلئوتیدی با تکراری‌های متفاوت در یک لوکوس (جایگاه معین) و در سه فرد (فرد اول، دوم و سوم که به ترتیب ۵، ۶ و ۷ تکرار می‌باشد.) برگرفته از مقاله ردیف سوم بخش ژورنال‌ها همین مقاله Nwawuba SU et al. 2020 .

❑ ۱. تاریخچه

در ابتدا استفاده از انگشت نگاری ژنتیکی به جهت ارزیابی هویت افراد در کشور انگلستان توسط یک متخصص ژنتیک به نام Alec Jeffreys انجام گردید. وی در سال ۱۹۸۴ به هنگام مطالعه بر روی ژن میوگلوبین انسان متوجه وجود یک تکرار ۳۳ بازی در اینترون ۱ این ژن گردید که دفعات تکرار آن در گونه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. در ادامه مشخص شد که این تکرارها در افراد مختلف یک گونه (انسان) نیز منحصر به فرد بوده و در خانواده بر اساس اصول مندل منتقل می‌گردد (از والدین به فرزندان). اولین بار در سال ۱۹۸۵ از ارزیابی DNA برای حل مناقشه‌ای در مورد تعیین هویت فردی که قصد داشت به شکل غیر قانونی به کشور انگلستان وارد شود، استفاده گردید. (۱)

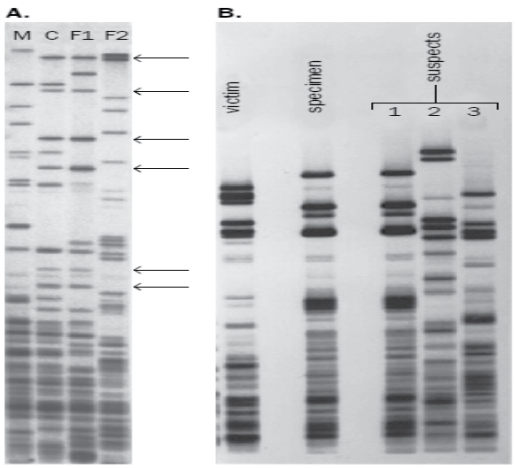
❑ ۲. روش‌ها

۲-۱. روش‌های نخستین: روش تعیین هویت ژنتیکی در زمان ارائه، مبتنی بر روش ساترن بلات بود. در این روش DNA ی ژنومی با آنزیم‌های محدود کننده [9] که قابلیت برش DNA در مناطق خاص را دارد، مجاور می‌شود. سپس نمونه حاوی قطعات DNA ی جدا شده که اندازه‌های متفاوتی دارند و تحت نام RFLP[10] نامیده می‌شوند، را درون چاهک‌های ژل قرار داده، الکتروفورز می‌شوند. قطعات DNA بر اساس سایز و بار الکتریکی از هم جدا می‌شوند. سپس باندهای ایجاد شده را به یک غشا با جنس نیتروسلولز و یا نایلونی منتقل نموده که به این عمل لکه گذاری [11] گفته می‌شود. در ادامه غشا را به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه قرار داده و در نهایت رشته‌های جدا شده در سطح غشا با رشته‌های DNA ی نشاندار شده با مواد رادیو اکتیو (یا سایر نشانگرها) که توالی آن معلوم بوده و پروب نامیده می‌شوند مجاور می‌گردند. پروب بر اساس قانون جفت شدن بازها (قانون چارگوف) به قطعه DNA ی که بر روی غشا قرار داشته و بایستی توالی آن تعیین شود، متصل شده و

5- Repeated DNA sequence
6- Microsatellites
7- Minisatellites
8- Short tandem repeat polymorphisms
9- Restriction enzyme
10- Restriction fragment length polymorphism
11- Blotting

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]

در ادامه توسط اتورادیوگرافی تصویر باندها بر روی فیلم ایکس ری ظاهر می‌گردد. شکل ۲.



شکل ۲. اتورادیوگرام در روش انگشت نگاری ژنتیکی (A) حل چالش مرتبط با رد ابوت paternity انگشت نگاری ژنتیکی مربوط به مادر (M) فرزندش (C) و دو پدر احتمالی F1 وF2 باندهای مربوط به فرزند یا از مادر کسب شده و یا از پدر. با مقایسه این باندها انطباق آن‌ها را با F1 متوجه می‌شویم. (B) حل چالش مرتبط با تحقیقات جنایی. نمونه‌ها از DNA ی قربانی (victim) از محل وقوع جنایت (specimen) و از سه مظنون (suspects) تهیه شده است. با مقایسه باندها، انطباق باندهای نمونه اخذ شده از صحنه جرم با مظنون ۱ دیده می‌شود. بر گرفته از Strachan T& Read A [2019] Human molecular genetics5th edn.

هر چند این روش به دلیل تکرارپذیری، مفید بودن اطلاعات به دست آمده[12] و دقت بالا، باعث ایجاد تحولات شگرفی در حوزه تحقیقات جنایی و فامیلی گردید، به طوری که احتمال یکسان شدن پروفایل دو فرد غیر منسوب در اروپا به شکل تصادفی با پروب ۶- ۳۳ (پروبی که در آن سکانس ۳۳ بازی ۶ بار تکرار شده است)

۳×۱۰^{-۱۱} و با اضافه شدن پروب ۱۵-۳۳ (پروبی که در آن سکانس ۳۳ بازی ۱۵ بار تکرار شده است).

۵×۱۰^{-۱۹} محاسبه گردیده، ولی محدویت های آن باعث گردید تا این روش با روش‌های جدید جایگزین گردد.

۲-۱-۱. محدویت های روش ساترن بلات

۲-۱-۱-۱. این روش نیازمند مقادیر بالای نمونه به جهت آنالیز می‌باشد: ۰/۵ تا ۵ میکروگرم DNA، ۶۰ میکرولیتر خون و ۵ میکرولیتر مایع منی. علاوه براین مراحل انجام تکنیک طولانی بوده و نیازمند مهارت بالا می‌باشد.

۲-۱-۱-۲. در این روش پروفایل‌های فردی ایجاد شده به شکل مقایسه‌ای، نه ژنتیکی، با پروفایل مرجع مورد قیاس قرار می‌گیرند. در این نوع ارزیابی محل قرار گیری و شدت باند با یکدیگر مقایسه می‌شوند. (شکل ۱) و در انتها احتمال رخداد تصادفی انطباق پروفایل مورد بررسی با پروفایل مرجع تعیین می‌گردد. برای مثال وقتی در بررسی‌های جنایی پروفایل یکی از مظنونین با نمونه به دست آمده از صحنه جرم منطبق باشد دو حالت را می‌توان تصور نمود. ۱- فرد مظنون همان مجرم است. ۲- این پروفایل مربوط به یکی از افراد جامعه است که به شکل تصادفی ترکیب باندهای آن با پروفایل نمونه به دست آمده از صحنه جرم یکی می‌باشد.

در حقیقت نتایج نهایتاً به شکل میزان احتمالات اعلام می‌گردد و البته داشتن یک احتمال بسیار پایین که خط برش[13] آن در هر جامعه به شکل اختیاری تعین شده و البته بایستی مورد تأیید مراجع قضایی نیز بوده و به واسطه آن بتوان فرد مظنون را با اطمینان بالا محکوم نمود، ضروری می‌باشد. لذا هر چقدر احتمال تصادفی بودن انطباق پروفایل مورد ارزیابی (مظنون) با پروفایل به دست آمده از صحنه جرم کمتر باشد،

12- Informative
13- Cut off

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]

احتمال اینکه فرد مظنون به درستی همان مجرم باشد، بیشتر خواهـد بود. برای این منظـور در انتخاب نوع مارکرها یا همان واریانـت ها و یا پلی مورفیسـم ها (رجوع شـود به روش‌های نوین) بایستی دو شاخص اصلی مورد توجه قرار گیرد. ۱- مارکر بایستی از تنوع و اشکال متفاوتی برخوردار باشد. به عبارت دیگر بایسـتی هتروزیگوسیته[14] بالایی (آلل های زیاد) داشته باشد تا به واسطه آن جمعیت‌های یک جامعه تفکیک و شناسایی شوند.

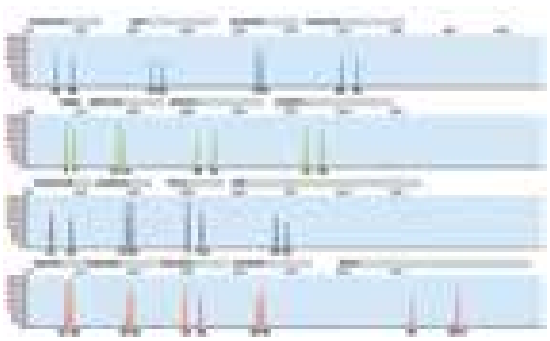
۲- فرکانس و فراوانی ایـن مارکرها در جمعیت مورد مطالعه بایستی پایین باشد. هر چقدر فراوانی آلل یک مارکر یا پلی‌مورفیسم کمتر باشد احتمال اینکه به شـکل تصادفی در یک فرد از آحاد جامعه وجود داشته باشد و با پروفایل نمونه بدست آمده از صحنه جرم یکسـان باشد، کمتر خواهد بود و بر عکس. در این ارتباط از فرمول ریاضی ساده‌ای اسـتفاده می‌شود. p^n که در آن p فراوانی آلل مارکر و یا باندها و n تعداد مارکر ها (در روش‌های نوین) و یا باندهای (روش سـاترن) است که به جهت تعیین پروفایل به کار گرفته شده‌اند. برای مثال اگر در روش ساترن تعداد ۱۰ باند مورد بررسی قرار می‌گیرد و فراوانی هر باند در جامعه به شکل میانگین ۰/۲ تعیین گردد، احتمال اینکه پروفایل به دسـت آمده به شکل تصادفی متعلق به یکی از افراد نرمال جمعیت بوده (نه الزاماً مجرم) کمتر از 10^{-7} خواهد بود. هر چقدر تعداد مارکرها (باندها در روش ساترن) بیشتر و فراوانی آن‌ها کمتر باشد این احتمال پایین‌تر بوده و قدرت آن در تعیین مجرم واقعی بالاتر خواهد بود.

۳- باندهای به دست آمده در روش ساترن بلات تنها به شکل یک به یک و در کنار هم مقایسه می‌شوند و در چنین شرایطی روش مشخصی به جهت تشکیل پایگاه داده‌ها[15] وجود نداشته که بتوان به کمک آن پروفایل باندهای به دست آمده از نمونه مورد نظر (متهم) را با پروفایل‌های موجود در پایگاه داده ها مقایسـه نمود. در تحقیقـات جنایی این امر باعث محدودیت‌های جدی در شناسایی صحیح منشـأ نمونه‌های به دست آمده از صحنه جرم خواهد شد. (۲)

۲-۲. روش‌های نوین

۲-۲-۱ مارکرهای STRs : به دلیل محدویت هایی که در روش ساترن وجود داشـت، امروزه روش رایج در تعیین هویت (جنایی و یا فامیلی) مبتنی بر PCR می‌باشـد. در این روش به جای استفاده از مارکرهای RFLP از STRPs استفاده می‌گردد که اولاً چنـد آللی بوده و به دلیل انـدازه کوچک‌تر به راحتی حتی در مورد DNA های خرد شده با روش PCR قابل تکثیر می‌باشند. چنانچه پیشتر نیز به آن اشاره شد STRPs به شدت پلی مورفیک (چند آللی) بوده، در طول ژنوم توزیع شـده و از واحدهای کمتـر از ۱۰ (۶-۲) بازی تشـکیل یافته و در آن‌ها امکان عدم تکثیر آلل بـه هنگام انجام PCR یا ADO[16] دیده نشده و یا به میزان کمی می‌باشد.

در عمل برای هر یک از مارکرها مورد استفاده که توالی آن‌ها معلوم می‌باشـد یک جفت پرایمر طراحی می‌شـود. این عمل بـه گونه‌ای صورت می‌گیرد تا طول محصولات به دسـت آمده از واکنش زنجیرهای(PCR) یکسـان نباشـد. علاوه بر این از ترکیب رنگ‌های متفاوت فلورسانسی استفاده شده و آن‌ها را با پیوند کووالانسی به انتهای '۵ هر یک از جفت پرایمر ها متصل می‌نمایند. در ادامه به جهت جداسـازی و آشکارسازی قطعات تکثیر یافته از الکتروفورزیس کاپیلاری استفاده می‌شود. قطعات بر اساس اندازه و بارالکتریکی از هم تفکیک می‌شوند. شکل ۳.



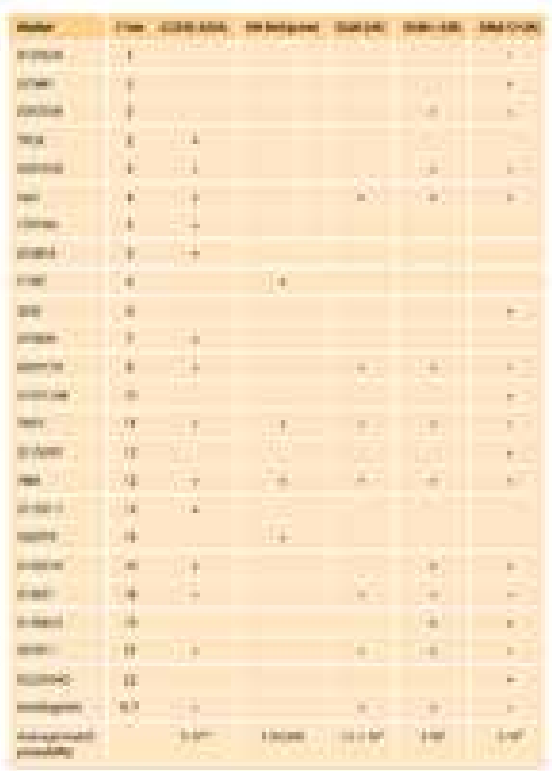
شکل ۳. پروفایل DNA حاصل از مارکرهای DNA17UK اعداد زیر هر یک از اشکال مربوط به تعداد تکرارها می‌باشد. (برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود.) بر گرفته از

Strachan T& Read A [2019] Human molecular genetics5th edn.

14- Heterozygosity
15- Databases
16- Allelic dropout

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]

به لحاظ تاریخچه اولین ترکیب STRs به کار گرفته شده در انگلستان در سال ۱۹۹۴ کیت‌های حاوی ۴ مارکر که از ۸ آلل (هر کدام از یک والد) تشکیل یافته و قدرت افتراق پایینی نیز داشته، تشکیل یافته که به نام UK first panel شناخته می‌شوند. به دنبال آن در سال ۱۹۹۵ ترکیب دوم به نام SGM[۱۷] با ۶ مارکر (۱۲ آلل) و مارکر کروموزوم‌های جنسی X و Y یعنی آمیلوجنین[۱۸] که یک کپی از آن بر روی کروموزوم‌های جنسی وجود داشته ولی به دلیل اندازه متفاوت در الکتروفورز در جایگاه‌های متفاوت قرار می‌گیرند، معرفی گردید. از ژن‌های کروموزوم جنسی به جهت تعیین جنسیت استفاده می‌گردد. در ادامه در سال ۱۹۹۹ ترکیب SGMplus با ده مارکر (۲۰ آلل) و مارکرهای کروموزوم جنسی معرفی گردید. نهایتاً ترکیب DNA17UK با ۱۶ مارکر (۳۲ آلل) و مارکرهای کروموزوم جنسی، تولید گردید. علاوه بر این در ایالات متحده آمریکا ترکیبی دیگری از مارکرها طراحی شده که پروفایل‌های مرتبط با آن در پایگاه داده‌های CODIS[۱۹]، که توسط FBI[۲۰] تشکیل شده است، بایگانی شده و قابل دسترس می‌باشد. مارکرهای STRs به شکل قراردادی با فرمت خاصی نوشته می‌شوند. برای مثال مارکر D3S1358 بدین ترتیب رمزگشایی می‌شود: حرف D مخفف DNA، عدد ۳ شماره کروموزومی است که مارکر بر روی آن قرار دارد، حرف S مخفف STR بوده و شماره ۱۳۵۸ شماره اختصاصی این STR می‌باشد. (Nwawuba SU 2020b) شکل ۳، جدول ۱.



جدول ۱. انواع مارکرهای STR مورد استفاده در پایگاه داده‌های پلیس جنایی ایالات متحده و انگلستان بر گرفته از Strachan T& Read A [2019] Human molecular genetics5th edn.

17- Second Generation Multiplex
18- Amelogenin
19- Combined DNA Index System
20- Federal Bureau of Investigation

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]

لازم به ذکر اســت که در طی ســال‌ها در هر کشــور بر اساس سیاست‌های تعیین شــده پایگاه‌های داده‌ها مرتبط با DNA یا NDNAD[21] تشــکیل یافته است. برای اولین بار این نوع پایگاه‌ها توســط کشور انگلستان در سال ۱۹۹۵ راه اندازی گردید که در آن‌ها اطلاعات پروفایل‌های ژنتیکی افراد که بر اســاس مجموعه مارکرهای توضیح داده شــده تعین شده‌اند، نگهداری می‌شوند. سیاست‌های اتخاذ شده به جهت بایگانی این پروفایل‌ها در کشورهای مختلف متفاوت می‌باشــد. در ایالات متحده در ســال ۲۰۱۸ پایگاه DNA ملی شــامل اطلاعات مربوط به پروفایــل ۱۳۴۱۳۰۲۹ از مجرمین، ۸۶۴۱۲۸ پروفایــل مربوط به افرادی که مرتکب جنایت شــده‌اند و ۳۱۷۴۰۱۳ پروفایل دستگیر شدگان را نگهداری می‌نمایند. هدف از این کار امکان مقایســه سریع DNA به دست آمده از صحنه جرم، با پروفایل‌های بایگانی شده می‌باشد.

۲-۲-۲. مارکرهای مرتبط با نسب[22]

از آنجایــی که از این مارکرها به جهــت ردیابی ارتباط فی‌مابین اشــخاص در لاین مــادری و یا پدری اســتفاده می‌گردد، به این نام خوانده می‌شوند. با این وجود استفاده از آن‌ها فقط به این نوع مطالعات محدود نشده و در تحقیقات جنایی نیز از آن استفاده می‌شود. در دو گروه قرار می‌گیرند.

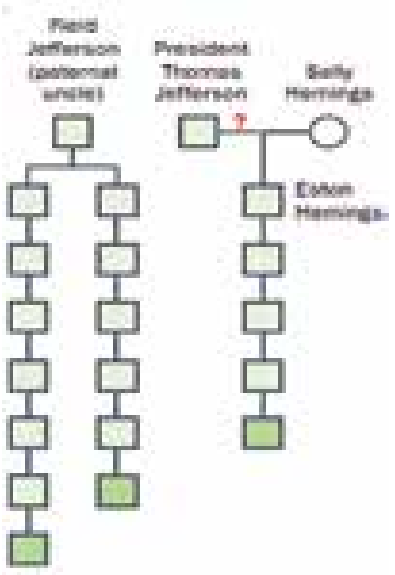
۲-۲-۲-۱. مارکرهای کروموزوم Y. هاپلوتیپ های کرومــوزوم Y را که بتوان به جهت تهیــه پروفایل ژنتیکی در نظــر گرفت را می‌توان در قالب مجموعه‌ای از مارکرهای STRs و SNP [23] تعریف نمود. نکته مهم اینکه به دلیل عدم تبادل ژنی کروموزوم Y با X در قالب کراسینگ-آور (به جز در نواحی معدودی در انتهای این کروموزوم‌ها که تحت نام سودواتوزومال[24] نامیده می‌شوند) تغییرات در کروموزوم Y محــدود به جهش‌های با فرکانس پایین می‌باشــد. لذا یک هاپلوتیپ معین از مارکرهای کروموزوم Y در یک شــخص را می‌توان در کلیه منســوبین مذکــر وی پیدا نمود. از این ویژگی در تحقیقات جنایی و مطالعات خویشاوندی و تعیین هویت افراد در بلایا و مصیبت‌ها استفاده می‌گردد.

(Calacal GC 2005) عــلاوه بر این از این مارکرها در مواردی که حجم نمونه در دسترس بسیار محدود می‌باشد، اســتفاده می گردد. مثــلاً در تحقیقات جنایــی در تعیین هویت عامل یا عاملین تجاوزی که در آن انزال منی صورت نگرفتــه ویا فرد متجاوز وازکتومی نموده اســت و همچنین در بررســی بقایای زیر ناخن و حتی آثار تماس بر پوست و یا لوازم قربانی نیز مورد اســتفاده قــرار می‌گیرد. نکته قابل توجه اینکه در تحقیقات جنائی صرف یافتن مارکر مشــابه (منظور مارکری که بر روی DNA باقیمانده در صحنه جرم وجود داشته است) بر روی کروموزوم Y مظنون دلیل مجرم بودن آن شخص نخواهد بود (چرا که این مارکر می‌تواند بر روی کروموزوم Y تمامی مردانی که در یک لاین قرار دارد وجود داشته باشــد) ولی نبود آن می‌تواند مظنون را تبرئه نماید. همیــن اصل در تحقیقات و مطالعات خویشــاوندی صدق می‌کند. مثال بارز آن شناسایی نسب پدری نواده زنی (ســالی همینگز[25]) که به عنوان خدمتکار در خانه توماس جفرسون[26] (سومین رئیس جمهور آمریکا) زندگی می‌کرد، می‌باشد. مطالعات انجام شده حاکی از یکسان بودن پروفایل ژنتیکــی موجود بر روی کروموزوم Y توماس جفرســون و فرزند این زن (استون همینگز) می‌باشد. با این اطلاعات به تنهایی نمی‌توان نتیجه گرفت که توماس جفرسون پدر و یا جد این شــخص و یا سایر نوادگان سالی همینگز باشد. چرا که این مارکر در کلیه افراد ذکور خاندان جفرســون مشابه می‌باشد. لذا پدر این فرد می‌تواند یکی از منسوبین توماس جفرســون (رییس جمهور آمریکا) باشــد. البته با بررســی

21- National DNA database
22- Lineage markers
23- Single nucleotide polymorphism
24- Pseudoautosomal regions
25- Sally Hemings
26- Thomas jefferson

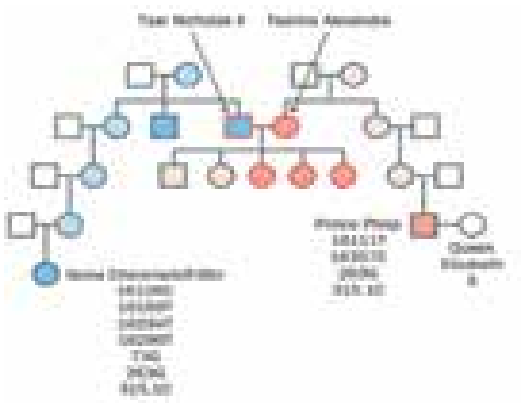
[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]

تکمیلی می‌توان وضعیت پرونده‌های مشـــابه را روشن نمود. مثلاً اینکه زمان تولد فرزند ســـالی همینگز مقارن با حضور کدامیک از اعضای خاندان جفرســـون در آن ناحیه بوده و یا سایر موارد دیگر. شکل ۴.



شکل ۴. هاپلوتایپ های موجود بر روی کروموزوم Y توماس جفرسون رییس جمهور آمریکا که توسط 11 STRs 7 SNP و یک میکروساتلیت تعیین شده بود، علاوه بر استون همینگز بر روی افراد ذکوری که در قالب مربع‌های پررنگ نمایش داده شده‌اند، شناسائی گردید. بر گرفته از Strachan T& Read A [2019] Human molecular genetics5th edn.

۲-۲-۲-۲. اســـتفاده از واریانـــت هـــای DNA میتوکندری[۲۷]: مشـــابه هاپلوتیپ های کرمـــوزوم Y که تمامـــاً از پدر بـــه فرزندان ذکور خانـــواده منتقل می‌گردد، منشـــأ میتوکندری منتقله به کلیه فرزندان در نســـل بعد، میتوکنـــدری های گامت مادر می‌باشـــد. میتوکندری های اسپرم وارد سلول تخم می‌شـــوند ولی به شکل برنامه‌ریزی شـــده تجزیه می‌شـــوند. به دلیـــل عدم وجـــود نوترکیبی (کراسینگ آور) ژنوم میتوکندری های مادر (به جز مواردی معدود که به علت جهش‌های جدید باعث ایجاد واریانت‌های متفاوت می‌گـــردد) عیناً به فرزندان منتقـــل می‌گردد. لذا بررسی DNA ی میتوکندریایی روشی مؤثر به جهت تعیین منســـوبین لاین مادری بوده و از آنجایی که سلول‌ها حاوی تعداد زیادی میتوکندری می‌باشند، ژنوتایپینگ mt-DNA در مواردی که مقادیر نمونه بسیار اندک بوده و یا DNA آن تجزیه شده است (بقایای انسانی مربوط به هزاره‌های قبل) بســـیار کاربردی خواهد بود. مثال مشخص آن تعیین هویت بقایای یافت شـــده مربوط به نیکولاس دوم تزار روســـیه و خانواده وی می‌باشد. (Coble MD 2009) شکل ۵.



شکل ۵. با استفاده از واریانت های mt-DNA بقایای اسکلتی، خانواده نیکولاس دوم، تزار روسیه، که در سال ۱۹۱۷ توسط بلشویک‌ها کشته شدند، شناسائی شدند. اجساد اعضای این خانواده (چهار دختر و یک پسربه رنگ قرمز) در سال ۱۹۹۱ پس از نبش قبر مورد بررسی قرار گرفتند. بر گرفته از Strachan T& Read A [2019] Human molecular genetics5th edn.

❑ ۳- کاربردها

همانطور که در بالا نیز به آن اشـــاره شد از روش انگشت نگاری ژنتیکی به شـــکل گســـترده‌ای در چهار حوزه اصلی

27- Mitochondrial DNA(mt-DNA)

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]

مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱- تحقیقات جنایی

۲- بررسی رابطه فرزند- والدی، که در دو حوزه paternity و maternity انجام می‌گیرد. همانند آزمایش‌های مرتبط با تحقیقات جنایی در این نوع تست‌ها نیز می‌توان از کیت‌های مشابه (با مارکرهای تعیین شده در جدول ۱) استفاده نمود. نکته‌ای که بایستی به آن توجه داشت این است که همانند آزمایش‌های تحقیقات جنایی در این نوع بررسی‌ها نیز تعیین والدین فرزند به شکل صددرصد نبوده ولی رد آن قطعی می‌باشد. از طرف دیگر بر خلاف آزمایش‌های حوزه جنایی در این نوع، احتمال وقوع جهش نو را در نسل بعد (فرزند) بایستی در نظر داشت. بدین معنی که باند و یا ستونی در پروفایل فرزند دیده شود که در والد مورد ارزیابی وجود ندارد که این امر می‌تواند به دلیل جهش‌های جدید[۲۸] در جرم لاین[۲۹] و یا مراحل بعد از آن ایجاد شده باشد. این امر به خصوص در مارکرهای D18S51 و SE33 (جدول ۱) دیده می‌شود. البته نرخ جهش برای هر آللی (مارکری) تعیین شده است که می‌توان در محاسبه احتمالات از آن استفاده گردد. با این حال به شکل کلی چنین در نظر گرفته می‌شود که یک عدم انطباق در باند یا ستون‌های منحنی حاصل از کاپیلاری الکتروفورزیس به خصوص هنگامی که عدم تطابق به دلیل تنها یک واحد تکرار شونده باشد، نمی‌تواند منجر به رد والد بودن فرد گردد.

۳- تعیین شجره نامه[۳۰] و ارتباط‌های خویشاوندی

۴- بررسی چگونگی تکامل انسان[۳۱] و خواستگاه پیدایش آن

❑ نتیجه گیری

استفاده از انگشت نگاری ژنتیکی همچنان یک روش مهم و دقیق به جهت ارزیابی هویت افراد در حوزه‌های متنوعی از جمله تحقیقات جنایی، ارتباطات خویشاوندی، مناقشات خانوادگی و تعیین ارتباط فرزند-والدی، بلایای طبیعی همچون سیل و زلزله، حوادث و سوانح مانند سقوط هواپیما، جنگ و سایر موارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. استقرار یک پایگاه داده‌های ملی در هر کشور که در آن اطلاعات مربوط به پروفایل ژنتیکی افراد که دایره وسعت آن توسط سیاست‌های دولت تعیین خواهد شد (که می‌تواند جنایت کاران، مجرمین و حتی دستگیر شدگان به هر علتی را شامل شود) نقش بسیار مهمی در رسیدگی سریع به پرونده‌ها را خواهد داشت. از طرف دیگر همگام با گسترش روز افزون علوم، امکان استفاده از مارکرهای مناسب و حتی بومی شده در کنار بهره‌گیری از روش‌های نوین تعین توالی یا NGS[۳۲] افق روشنی را در خصوص افزایش سرعت و دقت نتایج به دنبال خواهد داشت.

References:

Books:

1- E Giardina, DNA Fingerprinting. In: Stanley Maloy, Kelly Hughes editors. Brenner's Encyclopedia of Genetics.2nd edition, volume2, Netherlands: Elsevier.2013. p.356-359.

2- Strachan T, Read A Genetic testing in healthcare and the law. Human molecular genetics. 5th edition. US: CRC press.2019. P. 657-664.

Journals:

2005 Identification of exhumed remains of fire tragedy victims using conventional methods and autosomal/Y-chromosomal short tandem repeat DNA profiling. Am J Forensic Med Pathol 26:285–291. Calacal GC, Delfin FC, Tan MM, Roewer L, Magtanong DL, Lara MC, Rd F,De Ungria MC.

2009 Mystery solved: the identification of the two missing Romanov children using DNA analysis. PLoS One 4. Coble MD, Loreille OM, Wadhams MJ, Edson SM, Maynard K, Meyer CE,Niederstätter H, Berger C, Berger B, Falsetti AB, Gill P, Parson W, Finelli LN.

2020 Key DNA profiling markers for identification: A mini review. Pharm Pharmacol Int J 8(6):337–343. Nwawuba SU, 1 Momoh SM, 2 Nwokolo CC,3 Ojo OG,1 Ajayi JO,1 Irabor IM,1 Oboh BO1.

2020 Forensic DNA Profiling: Autosomal Short Tandem Repeat as a Prominent Marker in Crime Investigation. Malay J Med Sci 27(4):22–35. Nwawuba SU, Mohammed KA, Adams TB, et al.

28- New mutation

29- Germ line

30- Genealogy

31 Human evolution

32- Next generation sequencing

[Downloaded from labdiagnosis.ir on 2026-06-03]