

ADLI BİLİMLERDE DNA ANALİZLERİ

Yeşim DOĞAN ALAKOÇ

Ankara Üniversitesi, Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara, ydalakoc@gmail.com

ÖZET

DNA teknolojisi içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli bilimsel gelişmelerinden biri olarak her alanda günlük hayatımıza girmiştir. Özellikle tıp ve ziraat alanında yoğun olarak kullanılan bu teknoloji son yıllarda adli bilimler için de vazgeçilmez hale gelmiştir. Geçmişte bireyler arası farklılıkları gözönüne alınarak kimliklendirmede kullanılan kan grupları ve enzim analizlerinin yerini bugün polimorfizm açısından avantajları sebebi ile DNA polimorfizmleri almıştır. Günümüzde mahkemelerde de kabul gören ve adli alanda en güvenilir delillerden birisi kabul edilen DNA profillendirmesinin bugünkü aşamaya gelmesi elli yılı aşan araştırmaların sonucudur. Başlangıçta yüksek kalitede DNA örneğine ihtiyaç duyulan teknikler ile gerçekleştirildiğinden adli olaylar açısından kısıtlayıcı yönleri olan analizler PCR'in keşfi ile büyük ölçüde DNA'nın kalitesinden bağımsız hale gelmiş ve iz miktarda elde edilen delillere bile uygulanabilir hale gelmiştir. Bu gelişme olay yerinden elde edilen biyolojik delillerin önemini arttırmıştır. Bugün olay ile ilgili deliller üzerinde bulunan tek bir sağlam hücreden elde edilen DNA molekülü bile değerlendirilebilmekte ve mahkemeye %99.999 olasılık ile sonuç verilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Adli DNA Analizleri, Adli Bilimler, Polimorfizm, Kimliklendirme, Biyolojik Delil.

ABSTRACT

DNA technology, one of the most important scientific developments of this century, has entered our daily lives in all fields. Along with the intensive applications in medicine and agriculture, recently the technology has also become indispensable in forensic sciences. Formerly, taking into account that they differ between individuals, blood groups and enzymes were evaluated for personal identification. Nowadays, DNA polymorphism take

place of this applications, in consideration of the advantages in polymorphism rates. After fifty years of scientific research, today DNA polymorphism is accepted by the court as one of the most reliable evidences in crime scene. Although in the beginning the analysis on DNA polymorphism requiring high quality of DNA had some technical limitations, the invention of PCR technology has overcome this problem and made it possible to evaluate trace amounts of sample. This development have increased the importance of the biological evidences on the crime scene. Today, DNA molecule derived from a single cell found in a crime scene can be evaluated and can give a % 99.999 accurate result for the court.

Keywords: Forensic DNA analysis, Forensics, Polymorphism, Identification, Biological Evidence.

GİRİŞ

Hukuk sisteminin sorularına yanıt vermek amacı ile analiz yöntemleri ve bilgi birikimlerinden faydalanılan tüm bilim dallarının birlikteliği "**Adli Bilimler**" olarak adlandırılır [1]. Meydana geliş şekli ve ardında bıraktığı delillerin özelliklerine göre bir olgunun çözümlenmesinde çok sayıda farklı bilimdalı devreye girebilir. Amaç olay-olay yeri ve olaya karışan kişiler arasındaki bağlantının kurulmasıdır. Bu amaçla, Locart'ın "her temas bir iz bırakır" teorisi de göz önüne alınarak, olay yeri ve kişilerden elde edilen deliller değerlendirilir [2]. Önemli olan tüm delillerin anlattığı hikayenin birbirini desteklemesi ve bir bütünü tamamlayıcı olmasıdır. Bu bağlamda hiçbir delil diğerinden daha önemsiz değildir. Bunun yanında bazı deliller olay ile ilgili kanaat oluşmasına ve çerçevenin daraltılmasına destek olurken, öyle deliller vardır ki olay yeri ile kişiler arasındaki

ilişkinin kurulmasında %99.999 kesinlikte sonuç verir. Yıllar süren araştırmalar sonucunda kişiye özgü oldukları belirlenen ve farklı populasyonlarda sayısız çalışmaya konu olan parmakizi ve DNA profili de delil ile kişiler arasında direkt bağlantı kurulmasını sağlayan delillerdendir [3].

Her ne kadar tarih öncesi dönemlerden elde edilen tabletler üzerinde o dönemlerde yaşayan insanların bile parmakizi farklılıkları ile ilgili bilgiye sahip oldukları düşünülse de, kriminal olguların çözümlenmesinde parmakizi karşılaştırma yönteminin kullanılmaya başlanması 1800'lü yılları bulmuştur. DNA analizlerinin hukuki süreçleri aydınlatmak üzere kullanılması ise ancak yirmi beş yıl öncesine dayanmaktadır. DNA teknolojisinin bugün geldiği noktada tek bir hücreden elde edilecek sağlam bir DNA molekülü son derece değerli bilgiler sağlayabileceği için, olay ile ilgili olarak bulunan her türlü vücut sıvısı, deri döküntüsü ve kıl örneği büyük önem taşımaktadır. DNA profilinin çıkartılması bir olayın aydınlatılmasında önemlidir. Çünkü kişiye özgüdür, çok çeşitli örneklerden elde edilebildiği için olay yerinde kalmaması için önlem alınması son derece zordur ve sonuçlar yorum gerektirmeden objektif kriterlerle değerlendirilir [4].

Adli DNA Analizlerinin Tarihçesi

Biyolojik materyallerin kullanılması yoluyla bireylerin tanımlanması ile ilgili çalışmalar 1900'lü yılların başlarına dayanmaktadır. Dönemin başlarında adli bilimler için son derece önemli olan kimliklendirme sorununun çözümlenmesinde kan grup analizleri ve protein farklılıklarını tespit etmeye yönelik elektroforetik teknikler kullanılmıştır. DNA'nın işlevi ve yapısının aydınlatılmasını takiben bahsi geçen serolojik analizler yerini DNA polimorfizmlerinin ortaya çıkartılmasını hedefleyen DNA analizlerine bırakmıştır. Bilimadamlarının yıllar süren çalışmaları ile adli DNA analizleri bugün geldiği noktada mahkemelerce kabul gören en değerli deliller arasında yerini almıştır [5].

DNA molekülü üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar 1944 yılında Avery ve arkadaşları

kalıttan sorumlu hücresel elemanın DNA olduğunu açıklayan deneyleri ile hız kazanmıştır. 1953 yılında Watson ve Crick DNA'nın çift sarmal yapıda olduğunu ortaya koymuş ve böylece yapısal detayları aydınlatılan molekülün fonksiyonel özellikleri de daha iyi anlaşılmasına başlanmıştır. 1980'de David Botstein ve arkadaşları kişilerin DNA'ları üzerinde küçük farklılıkların olduğu bölgeler olduğunu tespit edip bu varyasyon tipini restriksiyon fragment uzunluk polimorfizmi (RFLP) olarak adlandırmışlardır. Adli DNA analizlerinin hız kazanmasına sebep olan gelişme ise 1984'de İngiliz bilim adamı Alec Jeffreys'in hastalıklar üzerinde genetik çalışmalar yaparken RFLP teknolojisini kişilerin tanımlanmasında kullanılabileceğini keşfetmesidir. "DNA Parmakizi" olarak adlandırılan bu yeni teknik ilk olarak 1985 yılında İngiltere'de bir suç olayının araştırılmasında kullanılmıştır. Bu olayda elde edilen başarının ardından adli DNA profillendirmesi olay, olay yeri ve kişiler arasında doğru bağlantı kurabilen bir yöntem olarak son yirmi yıllık döneme damgasını vurmuş ve bilim adamları, hukukçular, kolluk güçleri için temel araştırma yöntemlerinden biri haline gelmiştir [6]. 1986'da Kary Mullis'e kimya dalında Nobel Ödülü kazandıran PCR (polimeraz zincir reaksiyonu) tekniğinin keşfi tüm moleküler genetik çalışmalarının yanında adli DNA analizlerinin de çehresini değiştirmiştir. Bugün artık PCR aracılığı ile tek bir hücreden bir kişiye ait kimliklendirme bilgisini elde etmek mümkün hale gelmiş ve tüm suç laboratuvarlarında PCR temelli teknikler kullanılmaya başlanmıştır [7].

DNA Parmakizi Tekniğinin Bilimsel Temeli

Gen "kalıtımın fiziksel ve fonksiyonel bir birimi" ya da "DNA'nın fonksiyonel bir protein için bilgi taşıyan en küçük segmenti" olarak tanımlanabilir. İnsan genomu tahmini olarak 50.000–100.000 geni kodlayan 3 milyon baz çiftinden oluşmaktadır [8]. Belli bir canlıda protein kodlayan bölgelerin büyük çoğunluğu için sadece tek bir gen formu söz konusudur. Bu da fonksiyonel proteinleri kodlayan birçok genin mutasyon toleransı olmamasından kaynaklanır. Bazı genler ise mutasyon toleransları daha yüksek olduğundan

populasyonda birden fazla formda bulunurlar. Bu farklı formlara o genin allelleri denir [9]. Tek bir genetik lokus çok sayıda farklı allele sahip olabilir. Bu varyasyon “genetik polimorfizm” olarak adlandırılır. Her bir birey tek bir gen için biri anne ve biri babadan kalıtılan iki allelden daha fazlasına sahip olamaz. Ancak bir populasyonda herhangi bir gen bölgesi için çok sayıda allel bulunur ve kriminal DNA profillendirmesinin temeli de bu gerçeğe dayanır [10].

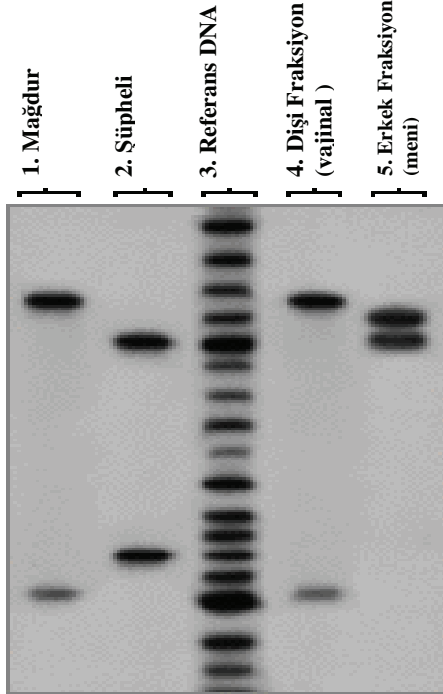
Adli DNA analizleri aracılığı ile kimliklendirme yönteminin temelinde de dünyada tek yumurta ikizleri dışında tüm bireylerin DNA’larının eşsiz olduğu gerçeği yatar. DNA bir organizmanın gelişimi ve fonksiyonları için gerekli tüm bilgileri taşıyan molekül olduğundan aslında bu molekülün %99,5’lik bölümü tüm insanlarda aynıdır [11]. Kişisel farklılıkların tespitinde kullanılan polimorfizmi taşıyan kısım ise sadece DNA’nın %0,5’lik bölümüdür. Bu açıdan da adli bilimleri ilgilendiren DNA’nın işte bu % 0,5’lik kısmıdır. Çoğunlukla bu kısımdaki farklılıklar kişilerin fiziksel görünümüne

yansımaz ve tespit edilebilmeleri için bu bölgelere yönelik analizler gerekir.

Polimorfizmin tespit edilmesi aşamasında moleküler biyoloji tekniklerinin kullanıldığı adli DNA analizlerinin sonuçlarını yorumlarken de genetik ve istatistik bilimlerinin temel yöntemlerinden faydalanılır. DNA’nın fiziksel delilleri değerlendirmedeki önemi ve kısıtlayıcı yönlerini anlayabilmek için bu üç disipline ait bilgilerin özümsemesi önemlidir [12].

DNA parmakizi analizi nedir?

DNA’nın belli bölgelerindeki polimorfizmlere dayanarak DNA üzerindeki bireysel farklılıkların tespit edildiği yönteme “DNA Parmakizi analizi” denir. Günümüzde kısa ardışık tekrar dizileri (STR)’ndeki tekrar sayılarındaki bireysel farklılıklar tespit edilerek belirlenir. Belirlenen profil bir jel ortamında yürütüldüğünde jel üzerinde barkod niteliğinde bireye özgü bantlar olarak görüntülenmesi mümkün hale gelir (şekil 1).



Şekil 1. Bir tecavüz olgusunda kadından elde edilen vajinal sıvı içerisinde ayrı ayrı izole edilen diş ve erkek fraksiyonlara ait DNA profili ile mağdur ve şüpheliye ait DNA profilinin karşılaştırılması; 1. sırada görülen mağdur’a ait DNA profili ile 4. sırada görülen vajinal diş fraksiyon profili aynı iken 2. Sırada görülen şüpheli DNA profili ve 5. Sırada görülen erkek fraksiyon DNA profili farklıdır. Bu durumda tecavüz ile ilgili olarak elde edilen meni örneğinin söz konusu şüpheliye ait olmadığı tespit edilmiştir.

DNA Parmakizi tekniğinden Faydalanılan Olaylar;

DNA parmakizi tekniği, kimliklendirme gerektiren ya da bir delil ile bir kişi arasında direkt bağlantının arandığı olayların tamamında kullanılabilir. Bunlar;

Bir polimorfizm gözlenen gen bölgesinde kişinin taşıdığı özelliklerin yarısı anne yarısı da babadan geldiği için “**babalık ve/veya annelik tespiti davaları**” ile “**göçmenlik davalarında**” [13], olay yerinde bulunan herhangi bir biyolojik delilin belli bir kişiye ait olup olmadığının belirlenmesi için “**kriminal olgularda**” (cinayet, tecavüz, gasp, hırsızlık vb) [14], Bir bireye ait kalıntılar ile muhtemel aile bireylerinin DNA’sı kıyaslanarak kimliklendirme gerçekleştirilebildiği için “**felaket kurbanlarının kimliklendirilmesi**” ve “**kayıp kişilerin kimliklendirilmesi**” davalarında, [15,16], Arkeolojik kalıntılardan elde edilen tarihi örnekler ile günümüzde yaşayan bireyler arasındaki akrabalık ilişkilerinin ortaya konulması amacı ile “**antropolojik çalışmalarda**” [17], Adli DNA analiz teknikleri türler arasındaki farklılıkları ortaya koyabilmek için de kullanılabilirdiğinden “**Vahşi yaşamda korumaya alınan ve farklı bölgelere transferi yasaklanan canlıların tespitinde**” kullanılabilir [18].

Biyolojik Delil Laboratuvara Geldikten Sonra Nasıl Bir Yol İzler?

Bir olay yerinde bulunan her hangi bir fiziksel delil, olayın çözümlenmesi ve kişiler ile olay arasında bağlantı kurulabilmesi için değerli bilgiler sağlayabileceğinden doğru şekilde dökümanite edilmesi, toplanması ve özelliklerine uygun koşullarda saklanması ve vakit geçirmeden ilgili laboratuvara ulaştırılması son derece önemlidir. Söz konusu olan biyolojik deliller olduğunda, bunların çevresel şartlar (ısı, mikroorganizmaların varlığı, güneş ışınları vb) ile bozulma olasılıkları çok yüksek olduğundan kurallar daha da katılaşır. Biyolojik delillerin değerlendirmeye alınacağı DNA laboratuvarının elemanları ne kadar tecrübeli ve yetenekli ve laboratuvarında kullanılan teknoloji ne kadar iyi olursa olsun olay yerinden kurallara uyularak toplanmamış ve laboratuvara doğru şartlarda ulaştırılmamış bir delilden sonuç alınması mümkün değildir [19, 20]. Genellikle olay yeri inceleme ekiplerinin olay yerine gelmesine ve delilleri bulmasına

kadar geçen süre bile birçok biyolojik delilin zarar görmesi için yeterlidir. Bu sebeple adli DNA laboratuvarlarında çalışan uzmanlar degrade DNA örnekleri ile analiz yapma konusunda deneyim kazanmak durumundadır [21].

Deliller laboratuvara geldikten sonra;

1. **Kayıt altına alınır;** olay yerinde kayıt altına alınan ve numaralandırılan deliller laboratuvarında tek tek açılıp kontrol edilir ve üzerinde bulunan biyolojik deliller işaretlenir.

2. **Leke tanımlama-ön inceleme-serolojik testler;** deliller üzerinde bulunan lekelerin vücut sıvıları olduğunun tespiti için kimyasal testler gerçekleştirilir.

3. **Orijin belirlenmesi;** örneklerin vücut sıvısı oldukları anlaşıldıktan sonra orijinleri tespit edilir.

4. **DNA eldesi;** insana ait olduğu belirlenen örnekten DNA elde edilir. Bir adli DNA analizi laboratuvarında yapılacak çalışma ne olursa olsun en önemli aşama incelenecek biyolojik materyalden DNA molekülünün sağlıklı bir şekilde elde edilmesidir. Adli DNA analizlerini klinik branşlarda gerçekleştirilen moleküler genetik çalışmalarından ayıran en önemli özellik üzerinde çalışma yapılacak biyolojik materyalin durumudur. Klinik çalışmalarda kişilerden alınan taze doku örneklerinden gerçekleştirilen analiz, adli çalışmalarda çoğunlukla bozuk, uzun süre beklemiş biyolojik örneklerden elde edilen az miktarda DNA ile gerçekleştirilmek zorundadır

5. **DNA parmakizi analizinin çıkartılması ve referans örnekler ile kıyaslanıp yorumlanması;** DNA elde edilip kalite ve miktar açısından değerlendirildikten sonra olayla ilgili sorunun cevaplandırılmasına yönelik olarak DNA profili çıkartılır. Olay yerinden elde edilen biyolojik materyal’in profili ile aynı yöntem kullanılarak elde edilen olayla ilgili şahıslara ait profil karşılaştırılır ve sonuçların yorumlandığı bir rapor haline getirilir.

Günümüzde olay yerinde bulunan delillerin özellikleri, olayın meydana geliş şekli ve olay ile ilgili soruların soruların özelliklerine göre elde edilen DNA üzerinde hangi analizin gerçekleştirileceğine karar verilmektedir. Bir biyolojik delil üzerinde

bireysel farklılıkları ortaya koymak üzere yapılacak analizler otozomal STR analizleri, Y STR analizleri, X STR analizleri ve mitokondriyal DNA değişken bölgelerinin sekanslanması olabilir.

STR Analizleri

İnsan genomu farklı uzunluklarda ardışık tekrar eden DNA sekansları içerir ve bu bölgelerdeki tekrar sayıları bireyler arasında farklılıklar gösterir. Tekrar sekansları uzunluklarına göre farklı isimler alırlar. Adli DNA analizlerinde yaygın bir kullanıma sahip olan 2-6 bç'lik uzunlukta tekrar birimleri içeren "Kısa Ardışık Tekrarlardır (STR)". Zarar görmüş DNA örneklerinden bile çalışmayı kolay hale getirmeleri açısından büyük avantaj sağlayan STR bölgeleri genomda hemen hemen bütün kromozomların üzerinde bulunur. STR bölgelerindeki tekrar sayısının bireyden bireye farklılık göstermesi ve düşük mutasyon oranına sahip olması kimliklendirme çalışmalarında STR'ları genetik işaretleyici olarak ön plana çıkarmıştır [22]. Bir biyolojik delilin bir bireye ait olduğunu söyleyebilmek için o delilden elde edilen DNA ile referans örnekten elde edilen DNA'nın 13 STR bölgesi açısından uyumlu olması esası aranır. Çalışılan STR bölgesinin sayısı arttıkça örnekten elde edilen sonucun yüzdesi de o kadar artar. Çünkü iki bireyde aynı allellerin olma olasılığı çalışılan bölge sayısı arttıkça azalacaktır. Yapılan istatistik çalışmaları sonucunda 13 farklı STR bölgesinin analizlenmesi sonucunda iki farklı bireyin DNA parmakizinin birbirinin aynı olması olasılığı milyarda bir olarak gösterilmektedir. Bu sebeple günümüzde hemen hemen tüm ülkelerde yaygın olarak kullanılan CODIS veri tabanına bu 13 gen bölgesi dahil edilmiştir. Günümüzde bu 13 gen bölgesini de içinde barındıran 16 farklı STR bölgesini tek bir reaksiyonda iz miktarda DNA kullanılarak analiz edilmesini sağlayan sistemler kullanılmaktadır. Bu sayede analizlerde iş ve zaman tasarrufu sağlanabildiği gibi farklı DNA'ların birbirlerine bulaşma (kontaminasyon) riski de azaltılmıştır [23].

Y STR Analizleri

Otozomal STR bölgelerinden farklı olarak sadece erkeklerde bulunan Y kromozomu üzerindeki kısa tekrar bölgeleri de son yıllarda adli DNA analizlerinde kullanım alanı bulmuştur. Y kromozomunun otozomal genler taşıyan küçük bir parçası dışında kalan bölgeleri mayozda rekombinasyona girmez ve bu sebeple Y STR'lar birbirleri ile bağlı haplotipler olarak kalıtılır. Bu da kuşaklar boyunca baba tarafından tüm erkek akrabalarda Y STR profilinin aynı olması ile sonuçlanır. Bu özellikleri sebebi ile Y STR sistemleri antropolojik çalışmalarda, geniş ailelerde soy ağacı çıkartılmasında ve babaya ulaşılamadığı durumlarda babalık testlerinde büyük avantajlar sağlar.

Y STR analizinin bir kullanım alanı da erkek ve dişi örneklerin karışık olarak bulunduğu tecavüz vakalarıdır. Tecavüz sonrası mağdureden alınan vajinal svap örneklerinde bulunan erkek ve dişiye ait hücreler özel bir ekstraksiyon yöntemi ile ayrılır ve dişi fraksiyon ile erkek fraksiyondan bağımsız olarak DNA elde edilir. Ancak bu yöntem az sayıda erkek hücresinin varlığında başarılı sonuçlar vermez ve tecavüz gerçekleştiği halde erkeğe ait profilin çıkartılmasında sorunlar yaşanabilir. Y STR'ların kriminal alanda bireysel tanımlama için kullanıldığının keşfedilmesi sonrasında bu karışık örnekler Y STR analizine tabi tutulmaya başlanmış ve karışım içerisinde az miktarda erkek hücre olduğunda bile profil çıkartılabilmesini sağlamıştır [24]. Sağladığı avantajlar sebebi ile son yıllarda yoğun kullanım alanı bulan Y STR analizlerinin popülasyonlar arasında değişkenliklerini ve kimliklendirmede ayırım gücünü gösteren çok sayıda çalışma yapılmıştır [25,26].

X STR Analizleri

Yakın zamana kadar rutin olarak kullanılmayan X STR analizleri otozomal STR ve Y STR analizlerine göre daha sınırlı bir kullanım alanına sahiptir. Ancak büyük anne torun ilişkisinin ortaya konulması ve çocuğun kız olduğu ve anneden örnek alınmanın mümkün olmadığı babalık testleri gibi bazı spesifik durumlarda yararlı bilgiler sağlamaktadır [27, 28].

Mt DNA Sekanslaması

Mitokondri, sitoplazmada bulunan oksidatif fosforilasyon gibi kritik bazı metabolik süreçlerin ev sahipliğini yapan hücrenin enerji kaynağı olarak adlandırılan çift membranlı bir organeldir. Hücreye enerji sağlama görevi nedeni ile farklı doku tiplerinde farklı sayılarda olduğu gibi kendini eşleştirerek ihtiyaç durumunda sayısını da arttırabilir. Bu sebeple hücrenin normal bölünme döngüsünden bağımsız bir bölünme döngüsü ve kendine ait 16.569 baz çifti uzunlukta dairesel bir DNA'sı vardır. Bu DNA molekülünün üzerinde solunum ve enerji metabolizması ile ilgili proteinlerin kodlandığı genler ile birlikte yüksek derecede polimorfizm gösteren kodlanmayan bir D loop bölgesi bulunmaktadır. Adli DNA analizleri de bu bölge içerisinde yer alan ve polimorfizmlerin daha da yoğun olarak gözlemlendiği HVRI ve HVRII adındaki iki hiperdeğişken bölgeye odaklanır [29-31].

Yaygın olarak kullanılmasına ve ayırım gücünün yüksek olmasına rağmen nükleer genom üzerinde gerçekleştirilen STR analizlerinin cevap veremediği bazı durumlar vardır. Nükleer genom üzerinde analiz gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı aşağıda sıralanan durumlarda mitokondriyal DNA analizleri olayın çözümlenmesinde önemli katkılar sağlar;

1. İleri derecede bozulmuş, uygun olmayan çevresel koşullarda uzun süre beklemiş olan biyolojik materyallerden nükleer DNA elde edilmesi mümkün olmayabilir. Nükleer DNA uzun ve lineer yapıdadır. Bu sebeple de son derece kırılğandır. Mt DNA ise küçük ve dairesel yapıdadır ve doku tipine göre de sayısı bir hücrede yüzlerce olabilir. Bu nedenle uzun süre uygun olmayan koşullarda kalan örneklerde tek başına olan kırılğın DNA zarar görmüş olsa bile çok sayıda dayanıklı mtDNA örneklerinden birkaç tanesinin sağlam kalma olasılığı yüksektir. Bu nedenle, yangın ve patlama içeren olgularda, delillerin eski ve bozulmuş olduğu durumlarda ve antropolojik çalışmalarda mt DNA'dan sonuç alma yüzdesi de çok daha yüksektir [32,33].

2. Adli DNA çalışmaları yapan laboratuvarların çaresiz kaldığı bir diğer durum

da önemli bir suçun aydınlatılmasında tek delilin olay yerinden elde edilen köksüz kıllar olduğu olaylardır. Geleneksel DNA analizlerine hiçbir şekilde cevap vermeyen köksüz kıllarda, morfolojik benzerlikler ile fikir yürütmek güvenilir bir sonuç vermez. İşte bu gibi durumlarda mitokondriyal DNA analizleri Adli DNA çalışmaları için vazgeçilmez bir önem kazanır [34].

3. Mt DNA'yı kimliklendirme çalışmaları için önemli kılan diğer bir özellik de maternal olarak kalıtılmasıdır. Birinci derece akrabaları ile mukayeselenilmesi imkânı tanımayacak kadar eski bir kalıntı kimlik tespiti için anne tarafından herhangi bir akraba ile kıyaslanarak yorumlanabilir. Ayrıca mtDNA sadece anneden çocuğa aktarıldığı için annesel soyun sorgulandığı olgularda değerli bilgiler sağlanması mümkündür.

Her ne kadar Mt DNA analizleri değerli bilgiler sağlasa da özellikle çalışılan örneklerin durumu ve analizin teknik güçlükleri nedeniyle gerçekleştirilmesi geleneksel adli DNA analizlerinden daha zordur. Bir bireyde mutasyon hızı nedeniyle farklı mt DNA tiplerinin bir arada bulunma olasılığı (heteroplazmi) olduğundan bu analizlerin sonuçlarının değerlendirilmesi uzmanlık ve deneyim gerektirmektedir. Bu sebeple günümüzde mt DNA analizi gerçekleştiren adli DNA laboratuvarlarının sayısı sınırlıdır.

Gelecekte adli DNA analizleri

Son yirmi yılda büyük bir hızla gelişen adli DNA analizlerinde önümüzdeki yıllarda gerçekleştirilecek bazı değişiklikleri öngörmek mümkündür. Bugün yaygın olarak kullanılmakta olan 13 STR bölgesini içeren CODIS veri tabanı ile ilgili bir değişiklik olması gerekli görülmemektedir. Daha gelişmiş sistemler bulunması halinde bile bugünkü istatistik ve populasyon genetiği bilgilerimizin ışığında 13 STR bölgesi kimliklendirme amaçlı olarak son derece güvenilir sonuçlar vermektedir.

Günümüzde ziraat ve tıp alanlarında kullanımı her geçen gün yaygınlaşan SNP analizlerinin STR analizleri ile birlikte adli DNA analizlerinde de kullanılacağı düşünülmektedir. Bu şekilde günümüzde kullanılan tekniklerde ayırım yapılması

mümkün olmayan tek yumurta ikizlerinde de ayırım yapılabilecek bir takım farklılıkların bulunması mümkün olacaktır.

Gelecekte evcil ve yabancı diğer canlı türleri üzerinde gerçekleştirilen adli DNA analizlerinin yaygınlaşması da söz konusudur. Bugün kediler ile ilgili bir veri tabanı oluşmaya başlamıştır.

Adli DNA analizleri açısından beklenen en önemli değişikliklerden birisi olay yerinde taşınabilir, veri tabanları ile

bağlantı kurulabilen minimize edilmiş cihazlar ile örneklerin analiz edilebilmesidir. Bu şekilde örneklerin laboratuvara ulaştırılması aşamasında karşılaşılan güçlükler bertaraf edilebildiği gibi hızlı bir şekilde sonuç alınacağından haksız yere şüpheli durumuna düşen insanların bekleme süreleri de kısaltılacak ve olguların çözülmesi hız kazanacaktır [35].

KAYNAKLAR

1. Eckert WG. Introduction to the forensic sciences. In "Introduction to Forensic Sciences" Ed. Eckert WG. CRC Press, New York, 1992, p. 1–10.
2. Horswell J, Fowler C. Associative evidence - the Locard exchange principle. In "The practice of Crime Scene Investigation" Ed. Horswell J. CRC Press, 2004, p:45–57.
3. Jeffreys AJ. Individual specific "fingerprints of Human DNA. Nature. 1985;316, 76–79.
4. Benecke M. DNA typing in forensic medicine and in criminal investigations: a current survey. Naturwissenschaften. 1997; 84, 181–188.
5. Duncan GT., Tracey ML. Serology and DNA Typing. In "Introduction to Forensic Sciences" Ed. Eckert WG. CRC Press. New York. 1992; p. 233–294.
6. Witkowski JA. Milestones in The Development of DNA Technology. In "Forensic DNA Technology" Ed. Farley MA and Harrington JJ. Lewis Publishers. 1991; p. 10–17.
7. Sensabaugh GF., Beroldingen CV. The Polymerase Chain Reaction: An Application to The Analysis of Biological Evidence. In "Forensic DNA Technology" Ed. Farley MA and Harrington JJ. Lewis Publishers. 1991; p. 66–78.
8. Başaran N. Tıbbi Genetik. Nobel ve Tıp yayınevi. 1999; p. 59–76.
9. Akar N. Klinik Moleküler Patoloji'ye Giriş. Antıp AŞ Yayınları. Ankara, 1999; s. 262
10. Kahn R. An Introduction to DNA Structure and Genome Organization. In "Forensic DNA Technology" Ed. Farley MA and Harrington JJ. Lewis Publishers. 1991; p. 25–38.
11. Özçelik T. DNA Polimorfizmi ve Tıbbi Önemi. Hacettepe Tıp Dergisi. 1996;27(1):72–76.
12. Özçelik T. Adli Amaçlı DNA Analizleri. Hacettepe Tıp Dergisi. 1996;27(2):50-52).
13. Tracey M. Short Tandem Repeat-Based Identification of Individuals and Parents. Croatian Medical Journal. 2001;42(3):233–238.
14. Gill P., Jeffreys AJ., Werrett DJ. Forensic Applications of DNA Fingerprints. Nature. 1985; 318, 577–579.
15. Bilge Y, Kedici PS, Alakoç YD, Ulküer KU, Ilkyaz YY. The identification of a dismembered human body: a multidisciplinary approach. Forensic Sci Int. 2003 Nov 26;137(2-3):141-6.
16. Prinz M, Carracedo A, Mayr WR, Morling N, Parsons TJ, Sajantila A, Scheithauer R, Schmitter H, Schneider PM. DNA Commission of the International Society for Forensic Genetics (ISFG): recommendations regarding the role of forensic genetics for disaster victim identification (DVI). Forensic Sci Int Genet. 2007;1(1):3–12.

17. Gerstenberger J, Hummel S, Schultes T, Häck B, Herrmann B. Reconstruction of a historical genealogy by means of STR analysis and Y-haplotyping of ancient DNA. *Eur J Hum Genet.* 1999;7(4):469–77.
18. Finkeldey R, Leinemann L, Gailing O. Molecular genetic tools to infer the origin of forest plants and wood. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2010;85(5):1251–8.
19. Lee HC., Ladd C. Preservation and Collection of Biological Evidence. *Croatian Medical Journal.* 2001; 42(3): 225–228.
20. Lee HC., Ladd C., Scherczinger CA., Bourke MT. Forensic Applications of DNA Typing. Part II: Collection and Preservation of DNA Evidence. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology.* 1998;19(1):10–18.
21. Alaeddini R, Walsh SJ, Abbas A. Forensic implications of genetic analyses from degraded DNA-a review. *Forensic Sci Int Genet.* 2010;4(3):148–57.
22. Jobling MA., Gill P. Encoded Evidence: DNA in Forensic Analysis. *Nature Reviews.* 2004; Volume 5.
23. Butler JM. Short tandem repeat typing technologies used in human identity testing. *BioTechniques* 2007; 43(4).
24. Prinz M, Boll K, Baum H, Shaler B. Multiplexing of Y chromosome specific STRs and performance for mixed samples. *Forensic Sci Int.* 1997;14;85(3):209–18.
25. Alakoc YD, Gokcumen O, Tug A, Gultekin T, Gulec E, Schurr TG. Y-chromosome and autosomal STR diversity in four proximate settlements in Central Anatolia. *Forensic Sci Int Genet.* 2010 (basım aşamasında).
26. de Knijff P, Kayser M, Caglià A, Corach D, Fretwell N, Gehrig C, Graziosi G, Heidorn F, Herrmann S, Herzog B, Hidding M, Honda K, Jobling M, Krawczak M, Leim K, Meuser S, Meyer E, Oesterreich W, Pandya A, Parson W, Penacino G, Perez-Lezaun A, Piccinini A, Prinz M, Roewer L, et al. Chromosome Y microsatellites: population genetic and evolutionary aspects. *Int J Legal Med.* 1997;110(3):134–49.
27. Son JY, Lee YS, Choung CM, Lee SD. Polymorphism of nine X chromosomal STR loci in Koreans. *Int J Legal Med.* 2002;116(6):317-21
28. Hering S, Kuhlisch E, Szibor R. Development of the X-linked tetrameric microsatellite marker HumDXS6789 for forensic purposes. *Forensic Sci Int.* 2001;119(1):42–6.
29. Budowle B., Wilson MR., DiZinno JA., Stauffer C., Fasano MA., Holland MM., Monson KL. Mitochondrial DNA regions HVI and HV II population data. *For Sci Int* 1999; 12: 23–35.
30. Baasner A., Schafer C., Junge A., Madea B., Polymorphic sites in human mtDNA control region sequences. population data and maternal inheritance. *Forensic Sci Int* 1998;98(3): 169–78.
31. Rousselet F., Mangin P. Mitochondrial DNA Polymorphisms: a study of 50 French Caucasian individuals and application to forensic casework. *Int. J. Legal Med.* 1998; 111:292–298.
32. Holland MM, Fisher DL, Mitchell LG, Rodriguez C, canik Jj, Merrill Cr, Weedn VW. Mitochondrial DNA sequence analysis of human skeletal remains from the Vietnam war. *J Forensic Sci.* 1993;38: 542–553.
33. Lutz S., Weisser HJ., Heizmann J., Pollak S., MtDNA as a tool for identification of human remains *Int.J. Legal Med.* 1996;109:205–209.
34. Wilson, MR., DiZinno, JA., Polanskey, D., Replogle, j., Budowle, B. Validation of mitochondrial DNA sequencing for forensic casework analysis. *Int J Legal Med.* 1995; 108(2): 68–74.
35. National Institute of Justice. Predictions of the Research and Development Working Group. The Future of Forensic DNA testing. U.S. Department of Justice Office of Justice Programs. 2000; p 26–28.