

Atış sayısı arttıkça el üzerinde kalan atış artışı da artar mı? 9x19 mm parabellum fişek örneği

Does the gunshot residue left on the hand increase as the number of shots increases?
9x19 mm parabellum bullet example

Tuba Karadağ Özdemir¹
0009-0006-8147-3935

Mihriban Dilan Kılıç¹
0009-0004-7242-7641

Murat Yayla¹
0000-0003-3683-945X

Selda Mercan^{1*}
0000-0002-0431-6972

ÖZET

Amaç: Bu çalışmada, Makine Kimya Endüstrisi yapımı 9x19 mm Parabellum tabanca mermileri kullanılarak, atış sayısı ile atış yapan elde kalan ateşli silah atış artışı (ASAA) miktarı arasındaki ilişkinin araştırılması amaçlandı.

Yöntem: Atışlar, 9x19mm Parabellum tipi mermi ve Sarsılmaz Armalite AR-24 marka tabanca kullanılarak kapalı atış poligonunda yapıldı. Sağ el, sol el ve çift el tutuşlu olacak şekilde tek atış, çift atış ve üçlü atış olarak tasarlanan atışların her biri üçer kez tekrar edildi. Sb, Ba ve Pb konsantrasyonları ICP-MS ile analiz edildi, atış sayısı ile ASAA konsantrasyonları arasındaki ilişki, çoklu regresyon analizi kullanılarak değerlendirildi.

Bulgular: Atış yapan ellerin dışından ve içinden alınan toplam 72 numunenin tümünde Sb, Ba ve Pb tespit edildiği ve atış sayısı arttıkça ASAA miktarının arttığı görüldü, ancak ikili (Sb ve Ba) ve üçlü (Sb, Ba ve Pb) regresyon modeli oluşturularak yapılan çoklu regresyon analizine göre atış sayısı ile ASAA miktarları arasında anlamlı bir ilişki bulunmadı [F<5.14 (ikili model için); 5.43 (üçlü model için)]. Tabancanın kovan atma boşluğunun sağ tarafta olması nedeniyle, tüm atışlarda sağ elin dış yüzeyinden alınan ASAA miktarının iç yüzeyinden alınana göre yüksek olduğu tespit edildi.

Sonuç: Bu çalışma, atış sayısı arttıkça el üzerinde biriken ASAA'nın da arttığını göstermiş olsa da, atış yapılan ortam şartlarının, atış yapılan tabanca ve mermi tipinin, atış artışı toplama zamanının/yönteminin ve kullanılan analiz yönteminin bu sonuçlar üzerinde etkili olan faktörler arasında olduğu unutulmamalıdır. Ancak yine de atış sayısına bağlı olarak artan ASAA miktarının bilirsizlik uygulamalarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atış Artışı, Balistik, İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi, 9x19 mm Parabellum Fişek

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to investigate the relationship between the number of shots and the amount of gunshot residue (GSR) left in the firing hand using 9x19 mm Parabellum pistol bullets produced by the Mechanical and Chemical Industry.

Method: The shots were fired in an indoor shooting range using 9x19mm Parabellum-type bullets and Sarsılmaz Armalite AR-24 pistol. The shots were designed as single shot, double shot, and triple shot with right hand, left hand, and double hand grip, each shot was repeated three times. Sb, Ba, and Pb concentrations were analyzed by ICP-MS, and the relationship between the number of shots and GSR concentrations was evaluated using multiple regression analysis.

Results: Sb, Ba, and Pb were detected in all 72 samples taken from back and palm sampling areas of the shooting hands, and GSR concentrations increased as the number of shots increased; however, according to multiple regression analysis using binary (Sb and Ba) and triple (Sb, Ba and Pb) regression models, there was no significant relationship between the number of shots and GSR concentrations [F<5.14 (for binary model); 5.43 (for triple model)]. Since the ejection port of the pistol was on the right side, the amount of GSR taken from the back area of the right hand was higher than the palm surface in all shots.

Conclusion: Although this study has shown that the amount of GSR deposited on the hand increases with the number of shots, it should be kept in mind that the ambient conditions, the type of pistol and bullet fired, the time/method of sample collection and the analysis method used are among the factors that affect these results. However, it is still considered that the GSR amount increasing with the number of shots fired will be useful in expert witness applications.

Keywords: Gunshot residue, ballistic, inductively coupled plasma-mass spectrometry, 9x19 mm Parabellum bullet

Cite as: Karadağ Özdemir T, Kılıç MD, Yayla M, Mercan S. Atış sayısı arttıkça el üzerinde kalan atış artışı da artar mı? 9x19 mm parabellum fişek örneği. J For Med 2024;38(1):27-36

Received: 15.11.2023 • Accepted: 15.01.2024

Corresponding Author: Selda Mercan, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü Fen Bilimleri Anabilim Dalı
Büyükkçekmece 34500, İstanbul, Türkiye

E-mail: mercans@iuc.edu.tr

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü Fen Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye



Turkish Journal of Forensic Medicine is licensed
under a Creative Commons Attribution 4.0
International License.

GİRİŞ

Ateşli silahlar günümüze kadar birçok değişim geçirerek modern otomatik silahlara dönüşmüştür. Her geçen gün üretilen farklı model silahlar ve mühimmat; balistik uzmanlarını yeni araştırmaları takip etmeye, mümkün olduğu kadar geniş bir silah ve mermi verisine sahip olmaya zorlamaktadır (1). Adli balistik, ateşli silahlar ve mühimmat (mermi, kovan, itici gaz ve astar) çalışmalarını içeren bir kriminalistik alt alanını temsil etmekle birlikte, temel amacı, şüpheliyi mühimmat aracılığıyla, olayda kullanılan ateşli silah ile bağdaştırmak olan bir alandır (2). Federal Soruşturma Bürosu kaynakları bir yılda ortalama 2 milyon suç bildirmiş olup, bu suçlardan 582.000'i ateşli silahların yer aldığı suçlardır ve %86'sı tabanca tipi ateşli silahla gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle kriminal laboratuvarlarda en sık incelenen bulgular ateşli silahların kullanıldığı olaylara ait delillerdir (3). Ateşli silahların karıştığı bir olayın araştırılmasında özellikle ateşli silah atış artıklarının (ASAA) araştırılması oldukça önemlidir, zira atış artıkları ve nitelikleri, olayda kullanılan ateşli silahın türü, fişegin çeşidi, atış mesafesi ve atış yönü, soruşturmacıya ipuçları sunar (4). Olayın cinayet, kaza ya da intihar olup olmadığı bu konuların etraflıca araştırılması sonucunda ortaya çıkartılabilir (5). Bu nedenle ASAA, olay yeri incelemeleri için önemli bir delil, kriminal laboratuvarlar için ise sürekli araştırılması ve hakkında çalışmalar yapılması gereken bir konudur. Antimon (Sb), baryum (Ba) ve kurşun (Pb) elementleri, ateşli silah ateşlendikten sonra açığa çıkan inorganik kalıntılarda bulunan ana ASAA belirteçlerdir ve kriminal laboratuvarlar rutin olarak bu inorganik elementleri tanımlamaya çalışmaktadır (6). Atış yapan kişinin tespit edilmesi için birçok çalışma yürütülmüş ve giysiden (7-11), hedef yüzey ve atış mesafesinden (12-15), atış yapılan elden alınan numunelerin (11), (16-19) çeşitli yöntemlerle analizi gerçekleştirilmiştir. Ancak atış sayısı ile atış artığı miktarı arasındaki ilişkinin kullanılan mühimmata göre göstereceği farklılığı ortaya koyan sınırlı sayıda araştırma yapılmıştır (20-23).

Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak, ülkemizde ilk kez Makine Kimya Endüstrisi (MKE) tarafından üretilen 9x19 mm Parabellum fişekleri kullanılarak yapılan atışlarda el üzerinde kalan atış artıklarının (Sb, Ba ve Pb) atış sayısına bağlı değişimi-

nin İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile tespit edilmesi amaçlanmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, İstanbul'da özel bir kapalı atış poligonunda, çıplak elle yapılan atışlardan sonra ellerden toplanan atış artığı örneklerinde Sb, Ba ve Pb analizi ICP-MS sistemi ile gerçekleştirildi.

Atışların planlanması ve örnek toplama yöntemi

Atış yapılan Sarsılmaz Armalite AR-24 marka, 9x19mm (Parabellum tipi) T1102-15BH00466 seri numaralı yarı otomatik tabanca, atışların yapıldığı poligonda temin edilmiş olup, bu tabancaya ait teknik özellikler şöyledir; 9x19 mm çap, 360 m/s namlu çıkış hızı, 119 mm namlu uzunluğu, 209 mm tabanca uzunluğu, 1085 g ağırlığı, 15 şarjör kapasitesi, 100 m etkili menzil, 2015 üretim yılı, 6-6 yiv-set sayısı, çift hareketli mekanizma, 142 mm yükseklik, 32 mm genişlik ve yarı otomatik ateşleme türü.

MKE yapımı 9x19mm Parabellum tipi mermi kullanılarak yapılan atışlar, her bir atış türü 3 kez tekrarlanacak şekilde sağ el kullanılarak tek atış, ardışık iki atış ve ardışık üç atış yapılacak şekilde planlandı. Aynı atış sıralaması sol el ve çift el kullanılarak da gerçekleştirildi. Çalışmada toplam 27 adet atış yapıldı ve 54 adet mermi kullanıldı. Ateşli silahla yapılan atışlar, özel bir kapalı atış poligonunda 35x7x3 m'lik boyutlara sahip bir odada, 22°C ortam sıcaklığında gerçekleştirildi. Ateşli silahlar, atış yolundaki hedefe yatay doğrultuda hedef alınarak yapıldı. Tüm atışlarda silahın namlu ucundan ateş edilen atış hedefine olan uzaklık 5 metre olarak belirlendi. Atış yapılmadan önce atış yapılacak elin iç ve dış yüzeyi %2'lik HNO₃ çözeltisi ile temizlendi. Her atış sonrasında ASAA numunesi alındıktan sonra atış yapılacak elin yüzeyi ve silah dış yüzeyi temizlenip, sonrasında yeni atışlar yapıldı. ASAA numuneleri bir yüzeyi beyaz renkli bez, diğer yüzeyi yapışkan özellikte, 5x5 cm boyutunda kriminal plasterler kullanılarak yapıldı.

Her atış sonrası atış yapılan elin iç ve dış yüzeyinden ayrı ayrı olacak şekilde, yapışkan plasterin yapışkanlık özelliği bitinceye dek numune toplandı. Numune alındıktan sonra yapışkan plasterler ayrı falkon tüplere, yapışmayacak ve yapışkan yüzeyler

dışa gelecek şekilde helezon biçiminde kıvrılmış şekilde dikey olarak yerleştirildi. Kirlilik kontrolü için, temizlenen elin iç ve dış yüzeyinden alınan numuneler analiz edildi, ayrıca plasterden kaynaklanabilecek girişimi tespit etmek için boş plaster örneği analiz edilerek sonuçlar değerlendirildi.

Çalışmada kullanılan kimyasallar ve ekipman

Bu çalışmada gerekli tüm reaktifler ve kimyasallar analitik saflıkta kullanıldı. Örnek hazırlama ve analiz süresince kullanılmak üzere yüksek saflıkta nitrik asit (HNO₃) [%65 (v/v)] Merck Suprapur®'dan (Merck, Darmstadt, Almanya) temin edildi. Referans standart olarak yüksek saflıktaki Sb, Ba ve Pb (%2 HNO₃ içinde 1000 µg/mL) çözeltileri High-Purity Standards, Charleston, SC'den satın alındı. İndiyum (In) ve Galyum (Ga) (1000 mg/mL) iç standart (İS) (Absolute Standards, Inc., Hamden, CT, ABD) olarak kullanıldı. Tüm analitik ölçümler, plazma gazı olarak argon (>%99.999 saflık, Habas, Türkiye) kullanılarak yapıldı. İnorganik elementlerin tespiti için Thermo Scientific X Serisi-II İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) (Thermo Fisher Scientific, Bremen, Almanya) ve CETAC (Omaha, Neb., ABD) Oto-Sampler Model ASX 520 otomatik örnekleyici kullanıldı. ICP-MS sisteminin analiz parametreleri Tablo 1'de gösterildiği gibidir.

Miktar tayini için 0.1-150 ng/mL aralığında %2'lik HNO₃ içerisinde Sb, Ba ve Pb kalibrasyon çözeltileri hazırlandı, tüm kalibrasyon çözeltilerine ve numunelere nihai konsantrasyonu 20 ng/mL olacak şekilde İS eklendi ve tüm analizler üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirildi. Veri toplama ve değerlendirme işlemi PlasmaLab yazılımı ile yapıldı.

Örnek hazırlama ve analiz

Atış sonrası kriminal plaster ile toplanan ve falkon tüplerde muhafaza edilen numunelere 10 mL %7'lik HNO₃ çözeltisi ilave edildi, orbital çalkalayıcıda 160 rpm devirde 16 saat boyunca çalkalanıp, 70°C'de ultrasonik su banyosunda 1 saat boyunca bekletildi. Her bir örnekten 100 µL alınarak, içerisine nihai konsantrasyonu 20 ng/mL olacak şekilde İS ilave edildi ve %2'lik HNO₃ çözeltisi ile 10 mL'ye tamamlanıp ICP-MS sistemi ile ¹²¹Sb, ¹³⁷Ba ve ²⁰⁸Pb izotoplarının analiz işlemi gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar seyreltme faktörü dikkate alınarak (100 kat) hesaplandı ve her bir numuneden elde edilen bulgular µg/swap şek-

Tablo 1. ICP-MS sisteminin analiz parametreleri

Parametre	Özellik
Radyo Frekans Gücü	1350 W
Argon Gazı Akış Oranları	0.88
Plazma Toplaması	13
Auxiliary	0.8
Lens 1 Voltajı	-1420
Lens 2 Voltajı	-86.3
Lens 3 Voltajı	-197.6
Bekleme Süresi	0.6 ms
Örnek Alım Oranı	45 sn.
İzotoplar	¹²¹ Sb
	¹³⁷ Ba
	²⁰⁸ Pb

linde karşılaştırıldı. Her çalışma seti içerisinde ASAA numunesi olmayan kriminal plasterin de (kör örnek) analizi gerçekleştirildi. Her atış öncesi temizlenmiş olan elden alınan ASAA numuneleri de aynı örnek hazırlama yöntemi ile hazırlanarak analiz edildi.

Yöntemin geçerlilik çalışmaları için, tespit ve tayin limiti (sırasıyla LOD ve LOQ) belirlemek üzere içerisinde yalnızca İS olan 10 ayrı %2 HNO₃ çözeltisi hazırlandı. On defa tekrar edilen analizden her bir analit için elde edilen standart sapmanın (SD) 3 katı yöntemin LOD değeri, 10 katı ise LOQ değeri olarak belirlendi. Yöntem geçerliliğinin izlenmesi için boş kriminal plasterin içerisine Sb ve Ba elementleri için 5 ve 10, Pb elementi için ise 50 ve 100 ng/mL konsantrasyonlarda standart madde karışımı eklendi ve her bir konsantrasyon için 3 ayrı numune hazırlandı. Elde edilen sonuçların gerçek değere yakınlığı % geri kazanım olarak hesaplanırken, her bir geri kazanım basamağının 3 tekrarından elde edilen bağıl standart sapma (%RSD) ise yöntemin tekrar edilebilirliğini değerlendirmek üzere kullanıldı. Her bir konsantrasyonun ortalama, standart sapma (SD) ve %RSD değerleri hesaplandı. Atış sayısı ile ASAA parametreleri arasındaki ilişki, çoklu regresyon analizi kullanılarak değerlendirildi. Tüm istatistiksel hesaplamalar Microsoft Office, Excel programı kullanılarak gerçekleştirildi.

BULGULAR

Yöntemin performans değerlendirmesi

Kantitatif analizi yapılan Sb, Ba ve Pb için belirlenen çalışma aralığı, kalibrasyon eğrilerinin korelasyon

Tablo 2. Yöntemin performans parametreleri [çalışma aralığı, korelasyon katsayısı (R²), LOD ve LOQ değerleri, %geri kazanım, %RSD]

Element	Çalışma Aralığı (ng/mL)	R ²	LOD (ng/mL)	LOQ (ng/mL)	Geri Kazanım (%) ±%RSD (n=3)	
					5.00 (ng/mL)	10.00 (ng/mL)
¹²¹ Sb	0.2-150	> 0.999	0.01	0.03	85.78 ± 1.07	90.80 ± 1.05
¹³⁷ Ba	0.1-150	> 0.999	0.06	0.20	81.93 ± 2.69	91.22 ± 0.81
²⁰⁸ Pb	0.1-150	> 0.999	0.04	0.13	81.97 ± 1.84*	83.31 ± 3.35**

Pb için *50.00 ve **100.00 ng mL⁻¹ konsantrasyonlarında standart eklendi.

Tablo 3. Sağ el, sol el ve çift el tutuşlu yapılan atışların ASAA sonuçları; µg/swap (±SD) (n=3)

Atış Sayısı	1 atış	2 atış	3 atış	1 atış	2 atış	3 atış
Tek El	sağ el dış			sağ el iç		
¹²¹ Sb	0.71 (±0.27)	0.91 (±0.19)	1.06 (±0.60)	0.23 (±0.08)	0.41 (±0.14)	0.48 (±0.40)
¹³⁷ Ba	2.23 (±1.25)	2.62 (±1.31)	4.01 (±2.94)	0.55 (±0.24)	0.90 (±0.33)	1.25 (±1.20)
²⁰⁸ Pb	10.90 (±4.63)	12.27 (±1.47)	12.50 (±2.00)	9.11 (±3.99)	9.12 (±1.42)	9.28 (±0.99)
Tek El	sol el dış			sol el iç		
¹²¹ Sb	0.52 (±0.02)	0.55 (±0.02)	2.18 (±0.07)	0.26 (±0.01)	0.41 (±0.01)	0.60 (±0.02)
¹³⁷ Ba	1.37 (±0.03)	1.51 (±0.01)	7.25 (±0.15)	0.67 (±0.03)	1.91 (±0.03)	9.28 (±0.02)
²⁰⁸ Pb	10.93 (±0.02)	15.56 (±0.24)	30.59 (±0.37)	12.48 (±0.03)	13.72 (±0.04)	19.20 (±0.12)
Çift El	sağ el dış			el sağ el iç		
¹²¹ Sb	0.43 (±0.06)	1.03 (±0.01)	1.64 (±0.01)	0.71 (±0.01)	0.75 (±0.04)	1.76 (±0.02)
¹³⁷ Ba	1.10 (±0.03)	2.27 (±0.04)	4.97 (±0.21)	1.24 (±0.01)	1.45 (±0.03)	3.48 (±0.05)
²⁰⁸ Pb	11.00 (±0.30)	19.49 (±0.18)	20.38 (±0.30)	20.19 (±0.01)	20.54 (±0.42)	44.32 (±0.24)
Çift El	sol el dış			sol el iç		
¹²¹ Sb	0.08 (±0.03)	0.29 (±0.01)	0.29 (±0.01)	0.24 (±0.03)	0.36 (±0.04)	0.38 (±0.04)
¹³⁷ Ba	0.19 (±0.01)	0.63 (±0.01)	0.69 (±0.22)	0.42 (±0.01)	0.61 (±0.01)	0.78 (±0.17)
²⁰⁸ Pb	4.17 (±0.10)	9.59 (±0.20)	11.91 (±0.15)	11.51 (±0.33)	14.69 (±0.23)	16.22 (±0.06)

SD: standart sapma

katsayısı (R²), % geri kazanım, %RSD, LOD ve LOQ değerleri Tablo 2'de gösterildiği gibidir. Her üç element için de elde edilen kalibrasyon eğrileri R²>0.999 olarak elde edildi. Her element için iki farklı konsantrasyonda yürütülen geri kazanım çalışmalarında sonuçların kabul edilebilir sınır değerler arasında (%81.93-91.22) olduğu ve tekrar edilebilirliğin de ≤3.35 %RSD ile yüksek performansa sahip olduğu görüldü.

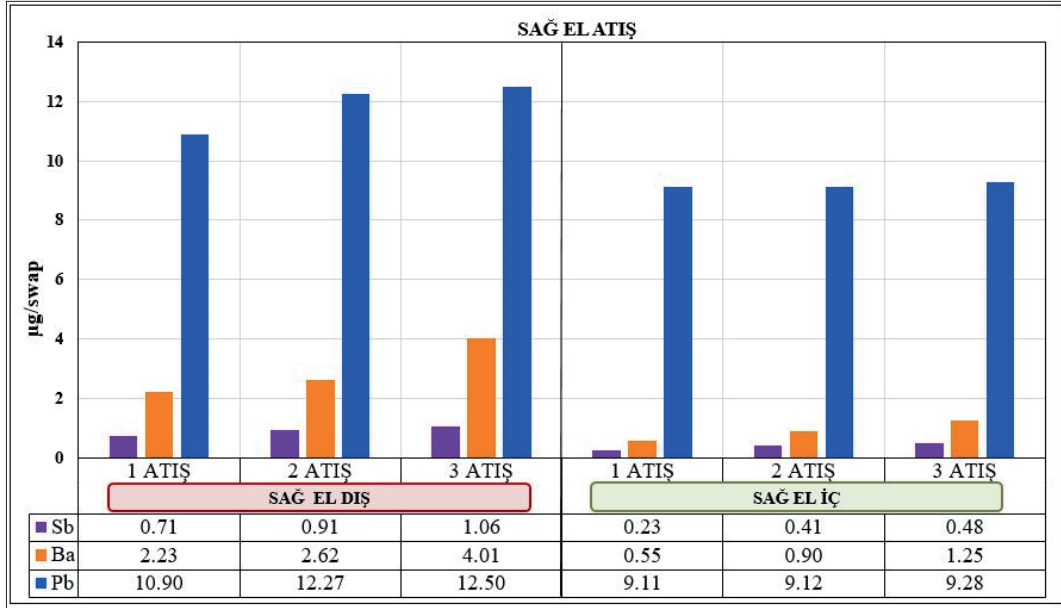
On farklı kör örnek çözeltisinin analizinden elde edilen LOQ değerleri Sb, Ba ve Pb elementleri için sırasıyla 0.03, 0.20 ve 0.13 ng/mL olarak bulundu.

ASAA numunelerindeki Sb, Ba ve Pb konsantrasyonları

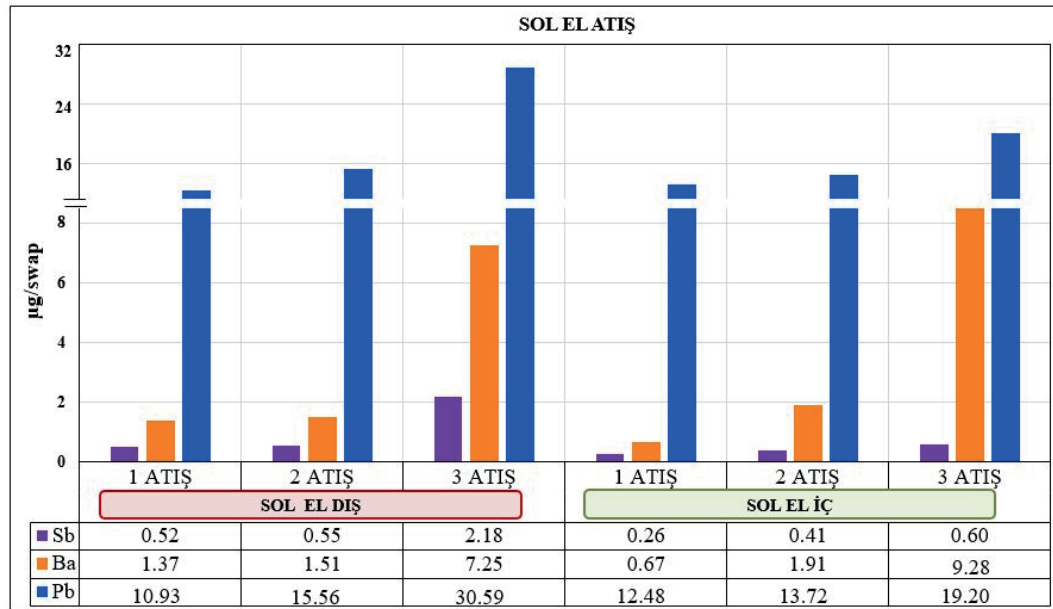
Bu çalışmada, MKE yapımı 9×19 mm Parabellum tipi tabanca mermileri kullanılarak, sağ el, sol el ve çift el tutuşlu tek atış, ardışık çift atış ve ardışık üçlü atışlar sonucunda toplanan atış artıklarının (n=72) ICP-MS

sistemi ile analizi gerçekleştirildi. Analiz öncesinde kriminal plasterden gelebilecek kirliliklere karşı, boş plaster örneği 3 tekrarlı olacak şekilde analiz edildi ve analiz sonucunda Sb, Ba ve Pb konsantrasyonları sırasıyla 0.003, 0.040 ve 4.120 µg/swap bulundu. Her atış öncesi temizlenen elden alınan ASAA örneklerinin sonuçları da boş plaster ile uyumlu bulundu. Analizi gerçekleştirilen Sb, Ba ve Pb konsantrasyonlarına ait bulgular Tablo 3'te gösterilmektedir.

Sağ el ile yapılan atışlar sonucunda, atış yapan sağ elin hem dış hem de iç kısımlarından elde edilen ASAA'nın miktarı ile atış sayısı arasında Sb ve Ba için doğrusal bir ilişki olduğu görüldü. Kurşun için, sağ elin dış ve iç kısımlarındaki atış sayısına bağlı olarak bulunan Pb konsantrasyonları birbirine benzerlik gösterdi. Şekil 1'de de görüldüğü gibi, atış yapan sağ elin iç yüzeyindeki atış artığı miktarı, elin dış yüzeyindeki atış artığı miktarına göre daha az miktarda tespit edildi.



Şekil 1. Sağ el ardışık atışlar sonrasında sağ elin dış ve iç kısmından toplanan atış artığı konsantrasyonlarının grafiği

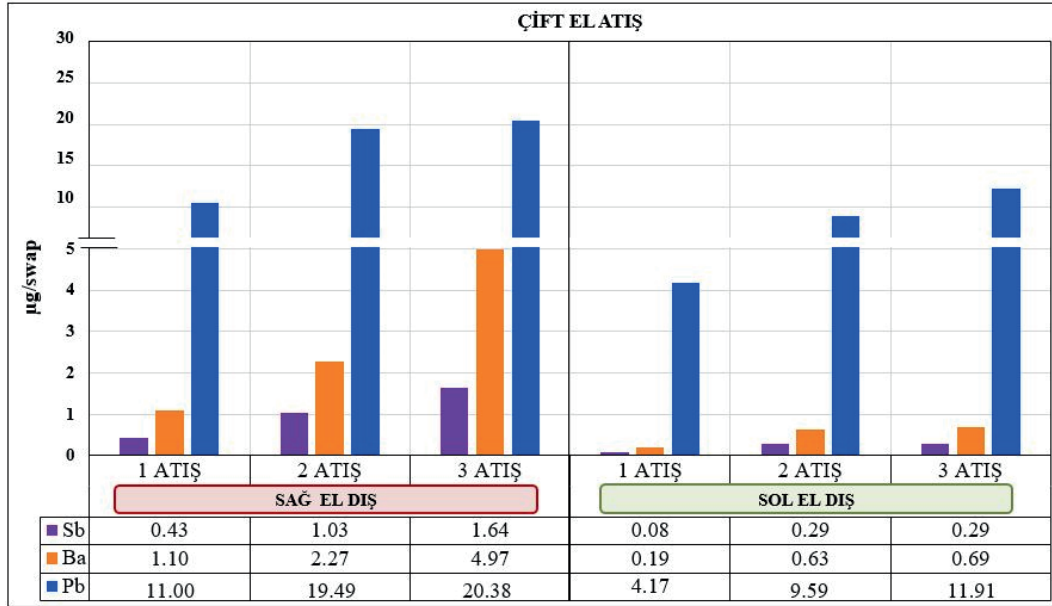


Şekil 2. Sol el ardışık atışlar sonrasında sol elin dış ve iç kısmından toplanan atış artığı konsantrasyonlarının grafiği

Sol el ile yapılan atışlarda atış yapan elin dış yüzeyinde Sb, Ba ve Pb konsantrasyonları değerlendirildiğinde, Sb ve Ba için, tek ve çift atış arasında net bir ayırım görülmezken, çift ve üç ardışık atış arasında net bir ayırım görüldü (Şekil 2). Kurşun konsantrasyonları atış sayısına bağlı olarak incelendiğinde, atış sayısı arttıkça Pb miktarının da net bir artış gösterdiği gözlemlendi. Sol elin iç yüzeyindeki ASAA miktarlarına bakıldığında Sb, Ba ve Pb miktarları için atışlar arasında lineer bir artış olduğu görüldü. Atış sayısı

arttıkça özellikle Sb ve Ba konsantrasyonlarının da arttığı görülürken, Pb miktarında atış sayısına bağlı artışın süreklilik göstermediği, tek ve çift atış arası Pb miktarının birbirine benzer olduğu tespit edildi.

Çift el ile yapılan atış sonuçları incelendiğinde, atış sayıları arttıkça sağ elin dış ve iç kısmındaki ASAA miktarının da arttığı gözlemlendi. Ancak sağ elin iç kısmından alınan örneklerden elde edilen sonuçlara bakıldığında, tek ve çift atışlarda tüm elementlerin



Şekil 3. Çift el ardışık atışlar sonrasında sağ ve sol elin dış kısmından toplanan atış artığı konsantrasyonlarının grafiği

konsantrasyonu birbirine benzerlik gösterirken, çift ve üçlü ardışık atışlar arasındaki konsantrasyonun daha ayırt edilebilir olduğu görüldü. Çift el ile yapılan atışlar sonrasında, sol elin dış ve iç kısımlarından alınan örnekler değerlendirildiğinde, tek ve çift atışlar arasında dikkate değer bir ayırım yapılırken, çift ve üçlü ardışık atışlar arasında elementler arasında fark oluşmadığı görüldü. Ayrıca Şekil 3'te de görüldüğü üzere, çift el kullanılarak gerçekleştirilen atışlarda el bir bütün olarak değerlendirildiğinde, sağ el (iç ve dış) üzerinde, sol ele (iç ve dış) göre daha fazla ASAA miktarı gözlemlendi.

Elde edilen bulguların bütününe bakıldığında istatistiksel değerlendirmede üç elementin birlikte değişiminin ve iki elementin (Sb ile Ba) birlikte değişiminin anlamlılığı üzerine iki farklı regresyon modeli kuruldu. Çalışma bulgularına uygulanan çoklu regresyon analizinde, regresyon modellerinin genel anlamlılığının sınındığı F değeri Sb ve Ba arasındaki ilişki için F kritik değeri 5.14'e göre, Sb, Ba ve Pb'nin birlikte değerlendirilmesinden elde edilen ilişki için ise F kritik değeri 5.41'e göre değerlendirildi. Ancak iki farklı regresyon modelinde de anlamlı bir ilişki olmadığı görülerek, iki değişkenli (Sb ve Ba) F değeri, 5.14 F kritik değerinden ve üç değişkenli (Sb, Ba ve Pb) F değeri, 5.41 F kritik değerinden küçük olduğundan aralarında anlamlı bir ilişki bulunamadı.

TARTIŞMA

Ateşleme sırasında, gaz veya katı aerosol fazında önemli miktarda üretilen organik ve inorganik atış artığı mermi çekirdeği ile birlikte dışarı atılmaktadır. Gaz halindeki atıkların bir kısmı katılaşıp atış artıklarını meydana getirmektedir. Meydana gelen atış artıklarının bir kısmı inorganik elementlerden (Sb, Ba ve Pb) oluşmaktadır (24). Bu atış artıkları, ateşli silah ile işlenmiş suçlarda olayın açığa çıkarılabilmesi için yetkili kişilere önemli bilgiler sağlamaktadır (23). Ateşli silahlar ve atış artıkları ile ilgili birçok çalışma bulunmasına rağmen, silahtan kaç kere atış yapıldığının tespitine dair ulusal ve uluslararası çalışmalar sınırlıdır (20–23). Bu eksiklikten yola çıkarak, ülkemizde MKE tarafından üretilen 9×19 mm Parabellum fişekler ile yapılan seri atışlar (tek atış, çift atış ve üçlü atış) sonrasında atış yapan el (sağ el, sol el ve çift el) üzerinde kalan ASAA miktarları ICP-MS sistemi kullanılarak, kapalı bir atış poligonunda, kontrollü ortam şartlarında analiz edildi.

Numuneler toplanmadan önce, kullanılan kriminal plasterden kaynaklanabilecek kirlilikleri izlemek için, atış artığı içermeyen boş plasterler aynı örnek hazırlama yöntemi uygulanarak analiz edildi. Sonuçlara bakıldığında, her ne kadar Pb elementi boş plasterde Sb ve Ba'a göre yüksek miktarda bulunsa da, tespit edilen bu değerlerin atış artığı tayininde

herhangi bir girişim yaratmayacak seviyede olduğuna karar verildi. Atış öncesi temizlenen elden alınan numuneler de boş plaster ile benzer konsantrasyonlarda ASAA içerdiğinden, elden gelebilecek herhangi bir girişim de dışlandı.

Kirlilik kontrolü gerçekleştirildikten sonra, atış sonrası her iki elden alınan numune sonuçları incelendi. Sadece sağ el kullanılarak yapılan atışlarda sağ elin dış ve iç kısmında bulunan atış artıkları karşılaştırıldığında, sağ elin dış kısmında iç kısmına göre daha yüksek miktarda atış artığı tespit edildi. Bu sonucun, kullanılan tabancanın kovan atma boşluğu sağ tarafta bulunduğundan, beklenen bir sonuç olduğu kanaatine varıldı.

Sadece sol elin kullanıldığı ardışık atışlar arasında sağ ele göre ASAA miktarları daha düşük gözlemlense de, tek ve çift atışlar arasında ayırım yapılamazken, çift ve üçlü atışlar arasında ayırım yapılabilmektedir. Ayrıca sol el ile yapılan bir atışta çoklu atış yapılmış olabileceği hakkında yorum yapılabilsede, çoklu regresyon analizinde anlamlı bir ilişki bulunmadığından, bu yorumlamanın tek başına güvenilir olamayacağı düşünülmektedir.

Çift el ile yapılan atışlar sonucunda el bütün olarak değerlendirildiğinde, aynı sağ el ile yapılan atışlarda olduğu gibi, ASAA konsantrasyonu sağ dış kısımda, sağ iç kısma göre her atış için yüksek bulundu. Bu farkın, tabanca ateşlendikten sonra ASAA'larının bir kısmının namlunun ucundan, bir kısmının da kovan atma boşluğundan çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan Sarsılmaz AR-24 marka tabancanın kovan atma boşluğu, namlunun sağ tarafında bulunmaktadır. Buradan yola çıkarak, tabancanın kovan atma boşluğu sağ tarafta olduğu için silahı tutan elin sağ kısmında daha fazla miktarda ASAA bulunması beklenmektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, sağ elin dış yüzeyinde ASAA'ların daha fazla miktarda birikme beklentisi ile sonuçların uyumlu olduğu görüldü.

Atış sayısına bağlı olarak el üzerinde biriken ASAA konsantrasyonu hakkında yapılan sınırlı sayıdaki çalışma, gerçekleştirdiğimiz çalışma ile karşılaştırıldı. Ayrıca çalışmalarında atış sayısına bağlı ASAA miktarı arasındaki ilişkiyi çoklu regresyon analizi ile inceleyen çalışmalar da tartışıldı.

Çoklu regresyon analizi, bir bağımlı değişken ve iki veya daha fazla bağımsız değişkenin arasındaki ilişkinin sayısal olarak incelenmesinde kullanılır. Bu analiz sonucunda bağımsız değişkenler yardımı ile bağımlı değişkenin tahmini gerçekleştirilir. Değişkenler arasındaki ilişki, doğrusal olabileceği gibi doğrusal olmayan bir ilişkiyi de gösterebilmektedir (25,26). Çalışmamızdaki bağımsız değişkenler Sb, Ba ve Pb konsantrasyonları iken, bağımlı değişken ise atış sayısıdır.

Vanini vd. (2014), 0.38 kalibre fişek kullanarak çift el ile 1, 3 ve 5 atış gerçekleştirdikten sonra sağ ve sol olmak üzere elin dört farklı (dış, iç, baş-ışaret parmağı avuç dışı ve baş-ışaret parmağı avuç içi) bölgesinden ASAA toplamış, numuneleri İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) sistemi kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, atış sayısına bağlı olarak ASAA miktarının el üzerinde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, dört bölge değerlendirildiğinde dış, baş-ışaret parmağı avuç dışı ve baş-ışaret parmağı avuç içinde ASAA miktarları yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Her iki el ayrı ayrı incelendiğinde ise, sağ el üzerindeki Pb miktarı sol ele göre belirgin şekilde yüksek bulunsada, Sb ve Ba miktarları benzer bulunmuştur (20). Bizim de çift el ile gerçekleştirdiğimiz atışlarda, sağ eldeki ASAA miktarının sol eldeki ASAA miktarına göre yüksek bulunduğu, bu sonuçların Vanini vd. (2014) çalışması ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak, çoklu regresyon analizi kullanılarak gerçekleştirdiğimiz çalışma sonucunda atışlar arası düşük korelasyon bulunurken, Vanini vd. (2014) atışları arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Bunun sebebinin atış sayısına, tekrar sayısına ve numune toplama yöntemlerinden kaynaklanabilecek farklılıklara bağlı olduğu düşünülmektedir.

Vanini vd. (2015) gerçekleştirdikleri başka bir çalışmada, farklı fişekler kullanarak atış sayısı ile (1, 3, 5, 7 ve 10 atış) ASAA konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Atışlar sağ ve sol el ayrı ayrı kullanılarak gerçekleştirdikten sonra ellerden toplanan swapların analizi ICP-OES sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, her bir fişek için Sb, Ba ve Pb konsantrasyonları bazı atışlar arasında benzerlik gösterse de çalışma genel olarak incelendiğinde atış sayısının arttıkça elde biriken ASAA miktarının da arttığını gözlemlenmiştir. Ayrıca çalış-

malarında sağ ve sol elde biriken ASAA miktarlarına bakıldığında, her üç fişek için de ASAA'nın sağ elde daha çok biriktiği tespit edilmiştir (21). Çalışmamız, Vanini vd. (2015) yaptığı çalışma ile karşılaştırıldığında her ne kadar farklı örnek hazırlama teknikleri kullanılsa da sonuçların benzer olduğu ve atış sayısı arttıkça el üzerinde biriken ASAA miktarının arttığı sonucuna varılmaktadır.

Kara (2018), grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrometresi kullanarak gerçekleştirdiği çalışmada, bizim çalışmamızdan farklı olarak ateşli silahın namlusunda biriken ASAA'ları incelemiş, 9 mm Parabellum tipi (farklı markalar) fişekler kullanarak 1-10 arasında atış gerçekleştirmiş, namlu içerisinde kalan Sb, Ba ve Pb miktarlarının atış sayısına bağlı olarak namlu içerisinde biriktiği sonucuna varmıştır (22). Gerçekleştirdiğimiz çalışmada aynı tip olan ancak farklı üretici (MKE) tarafından üretilen fişek kullanıldı ve atış sayısına bağlı olarak el üzerinde biriken ASAA miktarı incelendi. El, namlu içerisine göre daha korunaksız bir ortamda bulunduğu için, gerçekleştirdiğimiz çalışmaların çoğunda atış sayısına bağlı olarak, bazı atışlar arası (ör. 1-2 atış, 2-3 atış) benzerlik göstermekle birlikte, genel olarak atışlar arasında artış gözlemlendi. Her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmasa da atış sayısı ile el üzerinde biriken ASAA miktarları arasında bir ilişki bulunmuştur. Bu iki çalışmanın farklı bulgular elde etmesinin nedeninin atış artığının namlu içerisinde kalma süresinin daha uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yayla M. (2022), çalışmasında en fazla 5 atış gerçekleştirecek şekilde el üzerinde kalan ASAA miktarlarını ICP-MS sistemi ile analiz etmiş, çoklu regresyon analizinden elde ettiği verilere dayanarak Sb, Ba ve Pb miktarları arasında en iyi korelasyon katsayısını Sb ve Ba arasında bulmuştur. Hesaplamalarına bu iki bağımsız değişken ile devam ettiğinde, atış sayısına bağlı olarak elde edilen ASAA veri setleri doğrultusunda oluşturulan çoklu regresyon modeli ile atış sayısının ASAA konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiğini belirlemiştir (23). Çalışmamızda, çoklu regresyon modeli kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda 3 atışın korelasyon göstermediği belirlendi. Yayla M. (2022)'nin çalışması ile karşılaştırıldığında veri setimizin az olmasından kaynaklı (atış sayısı, atış tekrar sayısı vb.) iyi bir korelasyon sağlanamadığı düşünülmektedir.

Sonuçlarımız ve yapılan diğer çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde her ne kadar farklı mermi, silah, örnek hazırlama ve analiz yöntemleri kullanılsa da atış sayısı arttıkça el üzerinde biriken atış artığının arttığı gözlemlenmiş, ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

SONUÇ

İstanbul ilinin kapalı bir atış poligonunda kontrollü şekilde gerçekleştirilen atışlar sonrasında el üzerinden (n=72 swap) toplanan atış artığı konsantrasyonlarının tespiti, İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi sistemi kullanılarak gerçekleştirildi. Sağ el, sol el ve çift el kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, atış sayısı arttıkça el üzerinde biriken atış artığının da artış gösterdiği görüldü. Atış sayısı ile ASAA parametreleri arasındaki ilişki, çoklu regresyon analizi ile incelendiğinde ise atışlar arasında anlamlı bir ilişki olmadığı gözlemlendi.

Atış sayısı ile ASAA miktarı arasındaki ilişkiyi değerlendiren bu araştırmada öne çıkan sonuçlardan biri de örnek toplamak için kullanılan plasterin özellikle Pb elementi açısından girişim yaratma olasılığıdır. Bu bulgu yanlış pozitif bulgu değerlendirmesinden sakınmak üzere kullanılan ekipmanın Sb, Ba ve Pb bakımından kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bir diğer önemli husus ise, kullanılan tabancanın kovan atma yönünün ASAA miktarına olan etkisidir. Boş kovan çıkışının sağ yönde olduğu bir tabanca ile yapılan bu çalışmada, sağ el ve çift el ile yapılan tüm atışlarda, sağ elin dış yüzeyinden alınan numunelerdeki ASAA'nın sağ el iç yüzeyinden alınan numunelerden daha yüksek olduğu ve çift el tutuşlu atışlarda en düşük ASAA konsantrasyonlarının sol el dış yüzeyinde bulunduğu sonucuna varıldı.

Buradaki sonuçlar göz önüne alındığında, her bir atışta meydana gelen yanma ve atış artığı salma işleminin birbirine benzerlik göstermeyebileceği ve kendine özgü olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca, atış artığının toplandığı plasterin seçimi, atış artığı toplama yöntemi, numune toplama zamanı, atış yapılan ortamdaki kirlilik riski, atış yapılan ortamdaki hava durumu (rüzgâr, sıcaklık vb.), seçilen analiz yönteminin hassasiyeti ve geçerlilik parametreleri, ASAA analizlerini doğrudan etkileyen diğer parametreler-

dir. Bu nedenle, ASAA çalışmalarında ve uzman kişiler tarafından yapılan analizlerde bu parametreler göz ardı edilmemelidir.

Teşekkür

Bu araştırma İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FYL-2018-29485 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Balistik alanının duayeni merhum Prof. Dr. H. Bülent Üner anısına...

Etik Kurul Onayı: Bu çalışmada Etik Kurul izni gerektirecek bir biyolojik materyal ile veya insan üzerinde çalışılmamıştır..

Finans: Bu çalışma için hiç bir kurum veya kuruluşun finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

1. Üner HB, Çakır İ. Adli Balistik. Ankara: Arıkan Yayınları; 2007.
2. Wallace JS. Chemical Analysis of Firearms, Ammunition, and Gunshot Residue, Second. Londra: CRC Press; 2018.
3. Sarıbey AY, İnan A, Tarımcı Ç. Kurusıkı tabancaların tadilat yöntemleri ve yasal durumları. Adli Bilim Derg 2007;6(2):68–73.
4. Wenz HW, Lichtenberg WJ, Katterwe H. Surface analysis and surface measuring techniques in firearm offences. Fresenius. J Anal Chem 1991;341(3-4):155–65. <https://doi.org/10.1007/BF00321540>
5. Yüksel B, Şen N, Ögüncü GI, Erdoğan A. Elemental profiling of toxic and modern primers using ICP-MS, SEM-EDS, and XPS: an application in firearm discharge residue investigation. Aust J Forensic Sci 2023;55(4):529–46. <https://doi.org/10.1080/00450618.2022.2043436>
6. Vanini G, Souza MO, Carneiro MTWD, Filgueiras PR, Bruns RE, Romão W. Multivariate optimisation of ICP OES instrumental parameters for Pb/Ba/Sb measurement in gunshot residues. Microchem J 2015;120:58–63. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.01.003>
7. Berendes A, Neimke D, Schumacher R, Barth M. A versatile technique for the investigation of gunshot residue patterns on fabrics and other surfaces: m-XRF. J Forensic Sci 2006;51(5):1085–90. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00225.x>
8. Brazeau J, Wong RK. Analysis of gunshot residues on human tissues and clothing by X-ray microfluorescence. J Forensic Sci 1997;42(3):424–8. <https://doi.org/10.1520/JFS14142J>
9. Andrasko J, Pettersson S. A simple method for collection of gunshot residues from clothing. J Forensic Sci Soc 1991;31(3):321–30. [https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(91\)73164-2](https://doi.org/10.1016/S0015-7368(91)73164-2)
10. Halim MIA, Ahmad U, Chong H-Y, Abdullah MK. Analysis of gunshot residue deposited on cotton cloth target at close range shooting distances. Malaysian J Forensic Sci 2010;1(1). <https://doi.org/10.1109/CSSR.2010.5773720>
11. Brozek-Mucha Z. Chemical and morphological study of gunshot residue persisting on the shooter by means of scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry. Microsc Microanal 2011;17(6):972–82. <https://doi.org/10.1017/S1431927611012141>
12. Santos A, Ramos P, Fernandes L, Magalhães T, Almeida A, Sousa A. Firing distance estimation based on the analysis of GSR distribution on the target surface using ICP-MS -an experimental study with a 7.65 mm × 17 mm Browning pistol (0.32 ACP). Forensic Sci Int 2015;247(1):62–8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.12.006>
13. Rijnders MR, Stamouli A, Bolck A. Comparison of GSR composition occurring at different locations around the firing position. J Forensic Sci 2010;55(3):616–23. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01292.x>
14. Santos A, Magalhães T, Vieira DN, Almeida AA, Sousa AV. Firing distance estimation through the analysis of the gunshot residue deposit pattern around the bullet entrance hole by inductively coupled plasma-mass spectrometry: an experimental study. Am J Forensic Med Pathol 2007;28(1):24–30. <https://doi.org/10.1097/01.paf.0000233631.40170.d4>
15. Halim MIA, Ahmad U, Chong H-Y, Jasmani H. Analysis of gunshot residue deposited on cloth target. In: International Conference on Science and Social Research, 2010; p. 1212–7. <https://doi.org/10.1109/CSSR.2010.5773720>
16. Can M, Üner H, Koç S, Tok M, Toprak S, Dışbudak M. MKE kurumu yapımı tabanca mermileri ile yapılan atışlarda el üzerinde kalan atış artıklarının alevsiz atomik absorpsiyon spektrofotometri yöntemi ile tespiti. Adli Tıp Bülteni 2005;10(1):5–14. <https://doi.org/10.17986/blm.2005101570>
17. Krishnan SS. Detection of gunshot residue on the hands by neutron activation and atomic absorption analysis. J Forensic Sci 1974;19(4):789–97. <https://doi.org/10.1520/JFS10469J>
18. Dockery CR, Rosenberg MB. Determining the lifetime of detectable amounts of gunshot residue on the hands of a shooter using laser-induced breakdown spectroscopy. Appl Spectrosc 2008;62(11):1238–41. <https://doi.org/10.1366/000370208786401473>
19. Dockery CR, Goode SR. Laser-induced breakdown spectroscopy for the detection of gunshot residues on the hands of a shooter. Appl Opt 2003;42(30):6153–8. <https://doi.org/10.1364/AO.42.006153>
20. Vanini G, Souza RM, Destefani CA, Merlo BB, Piorotti TM, de Castro EVR, Carneiro MTWD, Romão W. Analysis of gunshot residues produced by 0.38 caliber handguns using inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP OES). Microchem J 2014;115:106–12. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2014.03.003>
21. G. Vanini, Destefani CA, Merlo BB, Carneiro MTWD, Filgueiras PR, Poppi RJ, Romão W. Forensic ballistics by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy: quantification of gunshot residues and prediction of the number of shots using different firearms. Microchem J 2015;118:19–25. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2014.07.016>
22. Kara İ. Atış sayısına bağlı olarak namluda biriken atış artığının atomik absorpsiyon spektrometre yöntemi ile kantitatif analizi. Karadeniz Chem Sci Technol 2018;2(3):7–11.
23. Yayla M. Ateşli silah atış artığının atış sayısı ve farklı mermi çekirdeklerine bağlı nicel değişiminin araştırılması. Hitit Üniversitesi; Yüksek lisans tezi, 2022.

24. Costa RA, Motta LC, Destefani CA, Rodrigues RRT, do Espírito Santo KS, Aquije GMFV, Boldrini R, Athayde GPB, Carneiro MTWD, Romão W. Gunshot residues (GSR) analysis of clean range ammunition using SEM/EDX, colorimetric test and ICP-MS: a comparative approach between the analytical techniques. *Microchem J* 2016;129:339–47. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.07.017>
25. Karabulut R, Şeker K. Belirlenmiş değişkenlerin vergi gelirleri üzerindeki etkisi: çoklu doğrusal regresyon analizi. *Suleyman Demirel Univ J Fac Econ Adm Sci* 2018;23(3):1049–70.
26. Zaman T. Çoklu doğrusal regresyon analizinde çakı tahmin yöntemi ve test problemlerine katkılar. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi*; 2017.