

## Farklı Yapıdaki Organik Patlayıcı Maddelerin LC-MS-MS ile Belirlenmesi

Nilgün Şen<sup>1,\*</sup>, Uğur Üzek<sup>2</sup>, Çağdaş Aksoy<sup>3</sup>, Taner Bora<sup>2</sup>, Orhan Atakol<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Polis Akademisi, Adli Bilimler Enstitüsü, 06570, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Ankara Kriminal Polis Lab.Müd., Kimyasal İnc.Böl, 06830, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>Diyarbakır Polis Lab.Müd., Kimyasal İnc.Böl, 21070, Diyarbakır, Türkiye

<sup>4</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 06100, Ankara, Türkiye

\*Yazışılan yazar e-posta: nilgunsen2001@yahoo.com

Alınış: 12 Ocak 2015, Kabul: 2 Mayıs 2015

**Özet:** Terör olaylarında kullanılan patlayıcı maddeler ve bu maddelerin analizi adli bilimlerde büyük önem taşımaktadır. Patlayıcı maddelerin başarılı bir şekilde analizi soruşturmayı aydınlatma açısından ve kişilerin yargılanması açısından önemlidir. Patlama olaylarında; patlamadan ele geçirilen orijinal haldeki patlayıcı maddelerin analizlerinin yansırı patlama sonrası bulgularda patlamadan kalan patlayıcı madde kalıntılarının tespiti olayın büyüklüğüne göre oldukça güçtür. Patlayıcı düzeneklerini patlamadan imha etmenin yanında bu düzenekleri hazırlayan veya bu patlayıcılarla temas eden kişilerin tespiti de büyük önem arz etmektedir. Yapılan çalışma ile patlama sonucu çok düşük miktarda olduğu değerlendirilen organik patlayıcı madde kalıntıları ve gerçek patlama olayından alınan farklı özellikteki bulguların LC-MS-MS cihazı ile tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** LC-MS-MS, Patlayıcı, TNT, Patlayıcı Kalıntıları

## Identification of Organic Explosives Which have Different Structures by LC-MS-MS

**Abstract:** The explosives used in terrorist incidents and analysis of these materials is of great importance in forensic science. Analysis of explosives successful in terms of investigation and prosecution of persons in terms of lighting is important. Explosion in the events; explosion of explosives seized analyzes Plus, the original state after the explosion explosive remnants of findings in the detection of residues according to the size of the event is quite difficult. Besides destroying the explosive device explosion while preparing this mechanism or the detection of explosives in contact with people who are also of great importance. Studies of the explosion, which is considered very low amount of organic explosives explosion event condition and the actual findings with different characteristics from the LC-MS-MS instrument was determined by.

**Keywords:** LC-MS-MS, Explosives, TNT, Explosive Residues

### 1. Giriş

Düzenek haline getirilmiş patlayıcılar, terör örgütlerine daha az kişi ile eylem yapılabilme, daha büyük hasar verebilme ve kaçma imkânı sağlaması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bomba düzenekleri kimi zaman bir araç kimi zaman ise yol kenarına gizlenen LPG tüpleri içerisinde uzaktan kumanda düzenekleri yardımıyla patlatılabilmektedir. Bunun yanında üzerlerine yerleştirdikleri patlayıcı düzenekleri ile intihar bombacıları da örgütlerin başvurduğu yöntemlerden biridir.

Adli bilimlerde patlama olayları soruşturmalarında olay yeri inceleme, patlama sonrası oluşan fiziksel bulguların incelenmesi (toprak, metal, şüphelilerden alınan kıyafetler, ahşap cisimler, cam parçaları vs.), bulguların kimyasal analizleri büyük önem taşımaktadır. Patlama sonrası oluşan bulgular eser düzeydeki patlayıcılar (yüzeyde fiziksel olarak görülmeyen miktarlarda bulunan organik patlayıcılar  $<1\mu\text{g}$ ) ve patlayıcı kalıntıları (fiziksel olarak görülebilen büyüklükte) olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Patlayıcı soruşturmalarını doğru olarak aydınlatması bakımından patlama sonrası olay yeri incelemesi sonucunda elde edilen bulgularda eser düzeydeki ve kalıntı düzeydeki organik patlayıcıların belirlenmesi analitik ve adli kimyada kritik önem taşımaktadır. Ayrıca analitik sonuçlar işlemlerde delil olarak kullanılır [1].

Organik patlayıcı madde kalıntılarının tanımlanmasında çoğunlukla gaz kromatografi (GC) cihazına bağlı olarak termal enerji analizörü (TEA) [1],elektron capture (ECD) [1,2], azot fosfor (NPD) [3] veya kütle dedektörü (MS) [1,4,5], ve sıvı kromatografisi (LC) cihazına bağlı olarak ultravioye (UV) [1,6] veya kütle (MS) [1,6] dedektörü kullanılır.

Patlayıcıları diğer girişimlerden ve ortamdaki safsızlıklardan ayırmada, patlayıcıların kararsızlıklarından ve polaritelerinden dolayı en sık seçilen teknik LC'dir. Çevresel örnekler ve patlama sonrası artıklar gibi kompleks matrisler içinde eser düzeylerde patlayıcı analizleri için LC-MS etkili bir kombine tekniktir. Çünkü bu bileşimi ile LC-MS yüksek duyarlılıkla yüksek bir kesinliğe sahiptir. MS-MS tekniği kullanılarak pozitif belirleme hatası fiilen elimine edilir [7]. Patlayıcı bileşikler düşük buhar basıncına sahip olmalarına rağmen, GC cihazının inlet (giriş) kısmında yüksek sıcaklıkta maddelerin kimyasal yapıları kolaylıkla bozulabilme eğilimine sahiptir. Bu yüzden LC-MS polar ve ısıya dayanıksız maddelerin analizi için uygundur [8]. LC-MS cihazında patlayıcı madde kalıntı analizinde patlayıcının türünün özelliklerine göre (termal değişkenlik, polarlık, uçuculuk) atmosferik basınçta kimyasal iyonizasyon (APCI) ve elektrosprey iyonizasyon (ESI) olmak üzere iki farklı iyon kaynağı kullanılmaktadır [9].

Patlama sonrası olay yeri bulgularında patlayıcı madde kalıntıları özellikle bomba düzeneği parçalarında, patlama çukurundaki materyallerde, patlamanın olduğu yere yakın yüzeylerde (intihar bombacılarının kıyafetleri, araç patlamalarında araç parçaları) ve özellikle ısı yalıtımlı ve gözenekli yüzeylerde bulunur [7]. Literatürde organik ve inorganik patlayıcı madde kalıntı analizlerinde kullanılan analitik metotlar, avantajları ve dezavantajları hassasiyet değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Patlayıcı Madde Kalıntı Analizinde Kullanılan Analitik Metotlar [10, 11-12]

Analitik Metot	Hedef Patlayıcılar	Tespit sınırı	Avantajları	Dezavantajları
TLC	Organik <sup>a</sup>	µg- µg <	Basit, ucuz, hızlı	Ayırım sınırlı
GC-ECD	Azot içeren bileşikler <sup>b</sup>	pg	Yüksek hassasiyet	Hidrokarbonların duyarlı uçucu analitleri gerekir
GC-TEA	Nitro içeren bileşikler <sup>c</sup>	pg	Hassas seçici nitro bileşikler	Pahalı uçucu nitro bileşikler
HPLC-UV veya DA	Organik <sup>a</sup>	ng	Hassas	Düşük seçicilik
IR	Organik <sup>a</sup> , İnorganik <sup>d</sup>	µg	Organik, İnorganik bileşiklerin karakteristik spektrumları	Analizden önce kalıntı ayrıştırma
MS	Organik <sup>a</sup> , İnorganik <sup>d</sup>	pg-ng	Hassasiyet , Seçicilik Hızlı ve güvenilir	
GC-MS	Organik <sup>a</sup> (düş.kay. nok) Plastikleştiriciler <sup>e</sup> stabilizatörler <sup>f</sup>	pg-ng	Hassasiyet ,Seçicilik Hızlı ve güvenilir	Uçuculuk sınırlı
LC-MS	Organik <sup>a</sup>	pg-ng	Uçucu olmayan bileşikler	HPLC ve MS arasındaki arayüzü
SEM-EDX	İnorganik <sup>d</sup>	pg-ng	İnorganik organik maddeler	Pahalı,uzman operatör gerektirir.

<sup>a</sup> Organik patlayıcılar: DNT, TNT, EGDN, NG, PETN, NC, RDX, HMX, TATP, HMTD

<sup>b</sup> Azot içeren patlayıcılar: DNT, TNT, pikrik asit, EGDN, NG ,PETN, NC, nitrat tuzları

<sup>c</sup> Nitro içeren patlayıcılar : DNT, TNT, pikrik asit, EGDN, NG ,PETN, NC,RDX,HMX, nitrat tuzları, kara barut

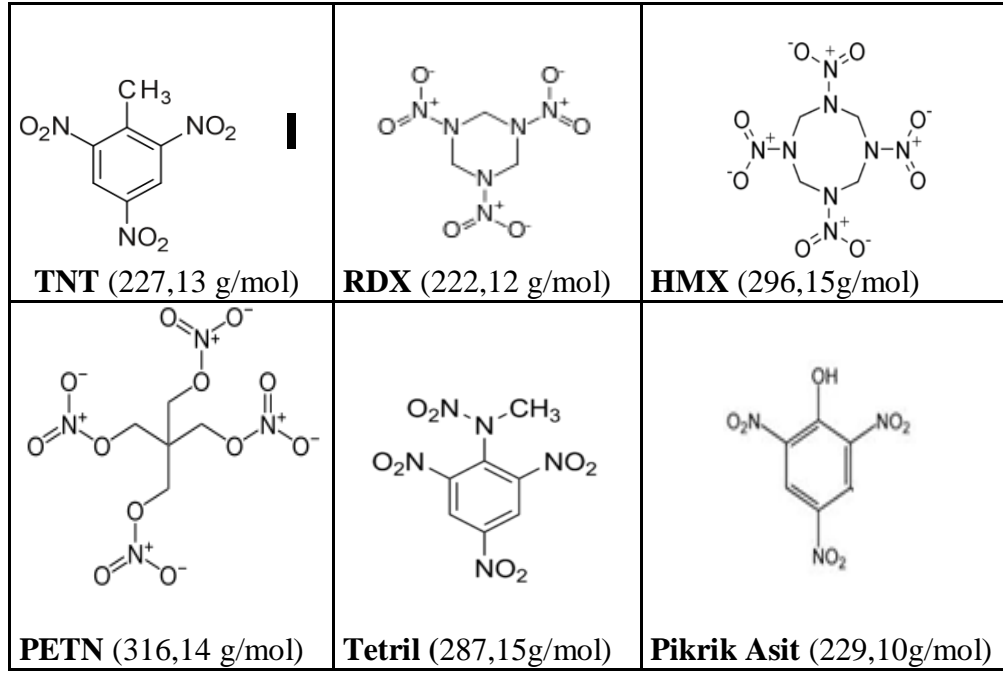
<sup>d</sup> İnorganik patlayıcılar: nitrat ve klorat tuzları

<sup>e</sup> Plastikleştiriciler: fitalat ve sebakat esterleri

<sup>f</sup> Stabilizatörler: difenilamin (DPA), etil centralite (EC)

Yayınlanan birkaç çalışmada patlayıcı artıklarının toplanması için örnekleme prosedürleri verilmiştir. Laboratuvara gönderilebilecek büyüklükteki patlama sonrası artıkların gaz sızdırmaz şekilde paketlenmesi gereklidir. Çok büyük boyutu ile göndermede problem oluşturacak bulgular üzerinden bir organik çözücü (i.e. aseton, metanol) ile ve bir de saf su ile swap alınır, swap almada pamuk veya gazlı bez kullanılır. Bulgular ve organik çözücü ile alınan swaplar organik çözücü ile etkileştirilir. Organik ekstrakt kuruluğa yakın buharlaştırılarak elde edilen deriştirilmiş örnek analiz edilir.

Bu çalışmanın amacı; yüksek olasılıkla kullanılan önemli patlayıcı maddeler için LC-MS-MS metodu geliştirip, patlama sonrası bulgularda patlayıcı maddeyi tanımlamaktır. HMX (siklotetrametilentetranitramin) , RDX (siklo trimetilen-trinitramin), TNT (2-metil-1,3,5-trinitrobenzen), Pikrik Asit (2,4,6-trinitrofenol), Tetril (2,4,6-trinitro fenil-metilnitramin) ve PETN (Pentaeritritol tetranitrat) hedef bileşikler olarak seçilmiştir. Şekil 1’de hedef bileşiklerinin kimyasal yapıları görülmektedir.



Şekil 1. Hedef Bileşiklerin kimyasal yapıları, molekül ağırlıkları (g/mol)

TNT genellikle askeri ve ticari uygulamalar için kullanılan bir nitroaromatik bileşiktir. TNT şoka ve sürtünmeye daha az duyarlı olduğundan dolayı özel bir öneme sahiptir ve beklenmedik patlama riski azdır. Yüksek patlama gücü, yüksek kimyasal kararlılık ve düşük duyarlılığı sebebiyle güvenli patlayıcıdır. Çeşitli patlayıcı bileşikler ile TNT’ye eklenerek ikili patlayıcılar elde edilir [13,14].

Cyclonite, Hegzogen ve C4 olarak bilinen RDX bir nitramin bileşiğidir, RDX yüksek güçlü bir askeri patlayıcı olarak değerlendirilir. RDX göreceli olarak duyarsızdır. TNT’den daha düşük olmakla birlikte yüksek kimyasal stabiliteye sahiptir ve yine TNT’den daha büyük bir patlama gücüne sahiptir. RDX genellikle C4 ve Semtex olarak adlandırılan plastik patlayıcı karışımlarda diğer patlayıcılar, plastikleştiriciler ve desensitizer ile birlikte kullanılır. PETN nitrat esterleri grubuna dahildir. Penta ve Pentrite olarak adlandırılan PETN şoka ve sürtünmeye TNT’den çok daha duyarlıdır ve asla tek başına bir blooster olarak kullanılmaz. PETN öncelikle kapsüllerde, füyelerde, ve fitillerde temel patlayıcı olarak kullanılır ve patlayıcı karışımların bileşiminde bulunur. HMX yüksek kararlılık ve düşük duyarlılık sayesinde öne çıkar ve yüksek patlama gücü ile tek başına ve karışımlarda

kullanılır. Tetril ve pikrik asit patlama güçleri itibariyle TNT'ye benzeyen birer nitroaromatik bileşiktir [15].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. LC-MS-MS'in Çalışma Koşulları

Numunelerdeki patlayıcı maddelerinin derişimlerini hesaplamak için Shimadzu marka LC/MS-8040 model Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometresi kullanıldı. Cihazın çalışma koşulları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo2.** LC-MS/MS Parametreleri

HPLC Parametreleri		MS/MS Parametreleri	
<b>Kolon</b>	Inertsil ODS-4, 100×2 ,1mm, 3um	<b>Arayüzey</b>	
<b>Hareketli Faz A</b>	Sulu Amonyum Asetat (5 mM)	<b>Kuru Gaz Akış Hızı</b> 15 L/dk	
<b>Hareketli Faz B</b>	Metanol Amonyum Asetat (5mM)	<b>Spreyleme Gaz Akış Hızı</b> 3 L/dk	
<b>Fırın Sıcaklığı</b>	40°C	<b>Isı Blok Sıcaklığı</b> 400°C	
<b>Enjeksiyon Hacmi</b>	10uL	<b>DI Sıcaklığı</b> 250°C	
<b>Akış Hızı</b>	0,3mL/min	<b>İyonlaşma Modu</b> Negatif	
		<b>ESI Voltajı</b> 3,5 Kv	
Gradient Program			
	Modül	Action	Değer
	Pumps	Pump B Conc.	95
8	Pumps	Pump B Conc.	95
8,01	Pumps	Pump B Conc.	5

### 2.2. Kimyasal Maddeler ve Ekipman

Çalışmada kullanılan patlayıcı madde standartları yüksek saflık düzeyine sahip ve asetonitril çözeltileri şeklinde temin edildi (Dr. Ehrenstorfer). Çözücü bileşiminde metanol ve saf su (Merck-HPLC grade) ile hareketli fazda bunlara ek olarak amonyum asetat (Merck) kullanıldı. Numune alma işlemlerinde kullanılan pamuk bölgesel bir süper marketten temin edildi ve metanol ile yıkanarak ön temizleme işlemi yapıldı. Patlayıcı madde karışımları; yaklaşık olarak hesaplanan miktarlarda alınarak standart patlayıcı madde çözeltilerinden hazırlandı ve hepsi -4°C'de saklandı.

### 2.3. Yöntem ve Ekstraksiyon Prosedürü

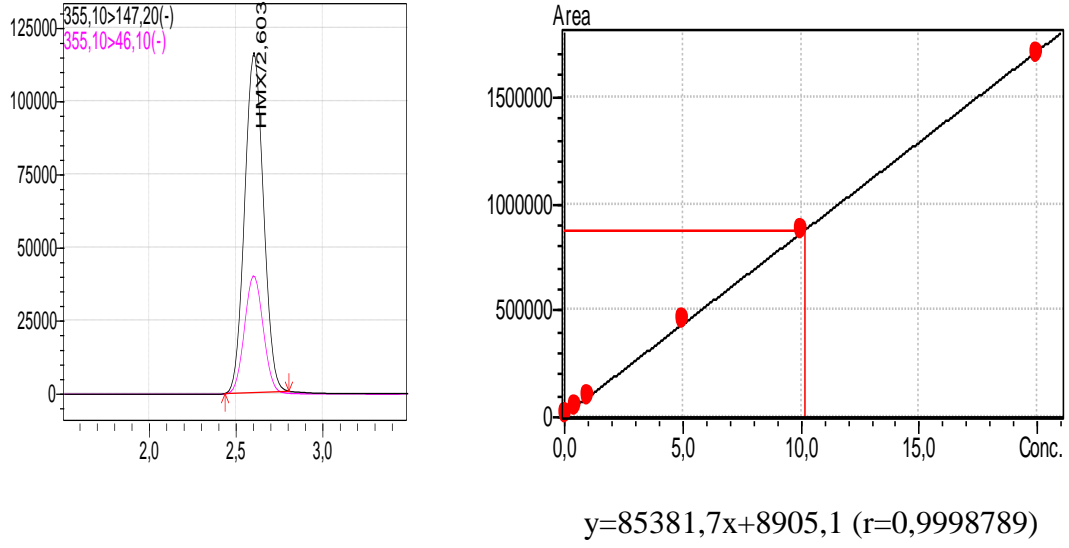
LC-MS-MS ile patlayıcı madde analizine yönelik kolon seçimi, hareketli faz seçimi ve bileşimi, analizin izokritik-gradient olması, bütün standartların MS-MS analizi için iyonlaşma modu ve enerji seçenekleri değerlendirilerek optimum şartlarında bir metot oluşturuldu. Literatürden patlayıcı maddelerin MRM çiftleri araştırıldı. Patlayıcı madde standartları uygun derişimlerde (0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10 ve 20 ppb) metanol-su karışımında hazırlanıp analizi gerçekleştirildi. Kalibrasyon doğruları, MRM iyonlarının optimum olduğu şartlarda elde edildi. Gerçek olayda laboratuvara gönderilen patlama sonrası bulgular, svaplar ve svap almak için kullanılan pamuk numunesi; metanol ile ekstrakte edildi. Ekstrakt çözücüsü uçurularak deriştirildi. Elde edilen derişik numunelere su eklendi ve LC-MS-MS’de oluşturulan metot ile analiz edilerek patlayıcı maddenin türü belirlendi.

### 3. Bulgular

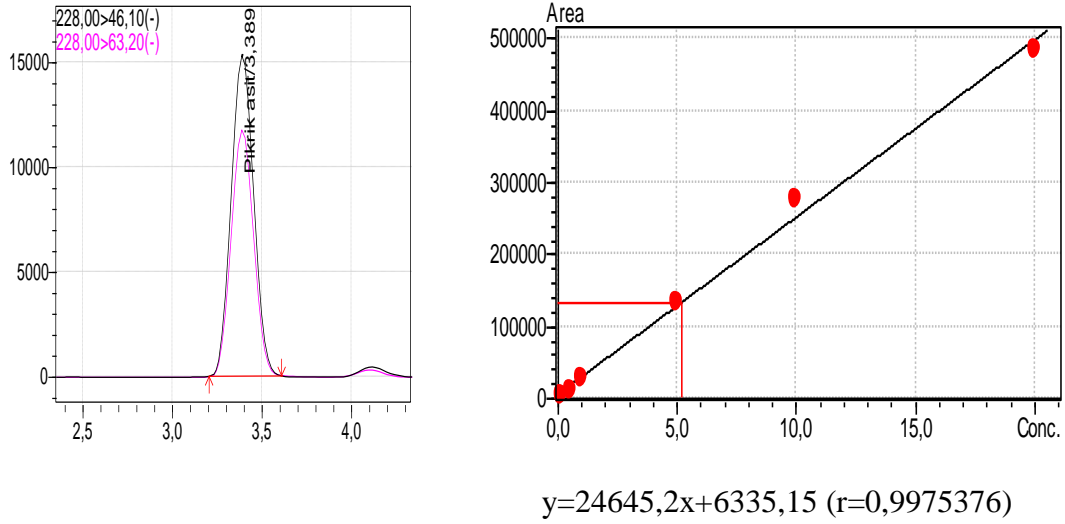
LC optimizasyonu gradient elüsyon şeklinde metanol-su karışımı olarak belirlendi. En ideal amonyum asetat derişimi 5 mM olarak belirlendi ve her iki hareketli faz bileşenine eklendi. Çalışılan her bir patlayıcı madde için elde edilen alıkonma süreleri (Retention time) ve MRM çiftleri ile referans MRM çiftleri Tablo 3’de verilmiştir. Analiz için hazırlanan numuneler için en uygun çözücü bileşimi 50/50 metanol:su olarak belirlendi. Analizler sonucu elde edilen MRM çifti (referans MRM çifti ile birlikte) kromatogramları, kalibrasyon denklemleri ve regression sabiti (coefficient (r) for calibration curve) Şekil 2, 3, 4, 5, 6 ve 7’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Standart Patlayıcı maddeler için yöntemde belirtilen parametreleri kullanarak Shimadzu LC-MS-MS ile elde edilen alıkonma süresi (retention time; RT) ve MRM çiftleri.

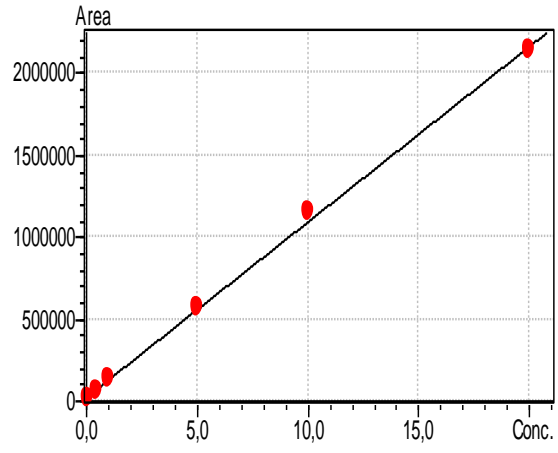
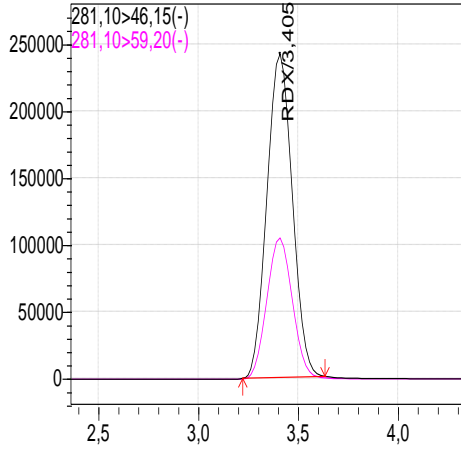
	HMX	Pikrik asit	RDX	Tetryl	TNT	PETN
RT (min.)	2,593	3,385	3,341	4,100	4,252	4,563
MRM 1	355,1/147,2	228/46,1	281,1/46,15	318,1/46,1	225,8/46,1	375/62,1
MRM2	355,1/46,1	228/63,2	281,1/59,2	318,1/196,1	225,8/196,1	375/46,1



Şekil 2. HMX numunelerinin LC-MS-MS Analiz sonuçları, optimize edilmiş MRM çifti (referans MRM çifti ile birlikte) kromatogramları, kalibrasyon denklemleri ve regression sabiti (coefficient (r) for calibration curve).

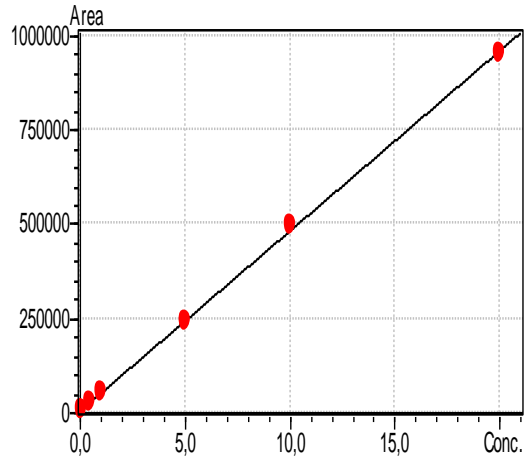
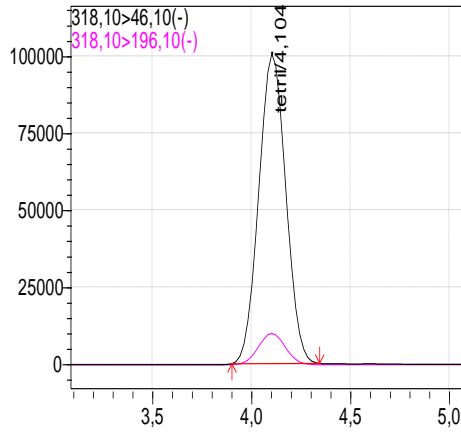


Şekil 3. Pikrik Asit numunelerinin LC-MS-MS Analiz sonuçları, optimize edilmiş MRM çifti (referans MRM çifti ile birlikte) kromatogramları, kalibrasyon denklemleri ve regression sabiti



$$y=107215x+23519,9 (r=0,9991618)$$

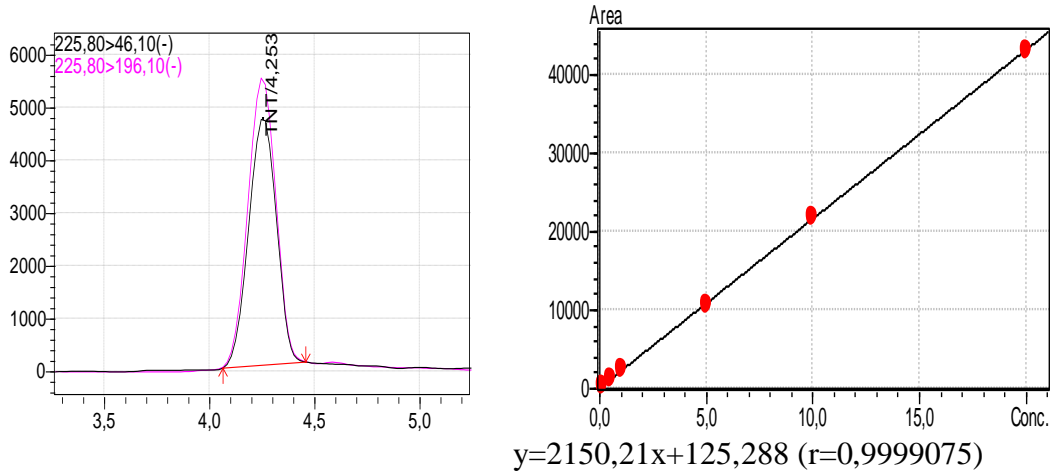
Şekil 4. RDX numunelerinin LC-MS-MS Analiz sonuçları, optimize edilmiş MRM çifti (referans MRM çifti ile birlikte) kromatogramları, kalibrasyon denklemi ve regression sabiti



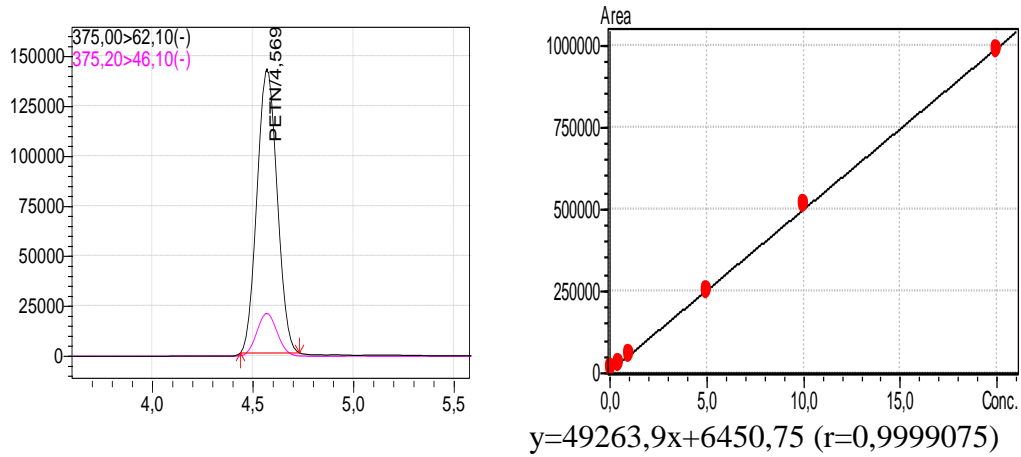
$$y=47782,4x+5789,1 (r=0,9998331)$$

Şekil 5. Tetrix numunelerinin LC-MS-MS Analiz sonuçları, optimize edilmiş MRM çifti (referans MRM çifti ile birlikte) kromatogramları, kalibrasyon denklemi ve regression sabiti



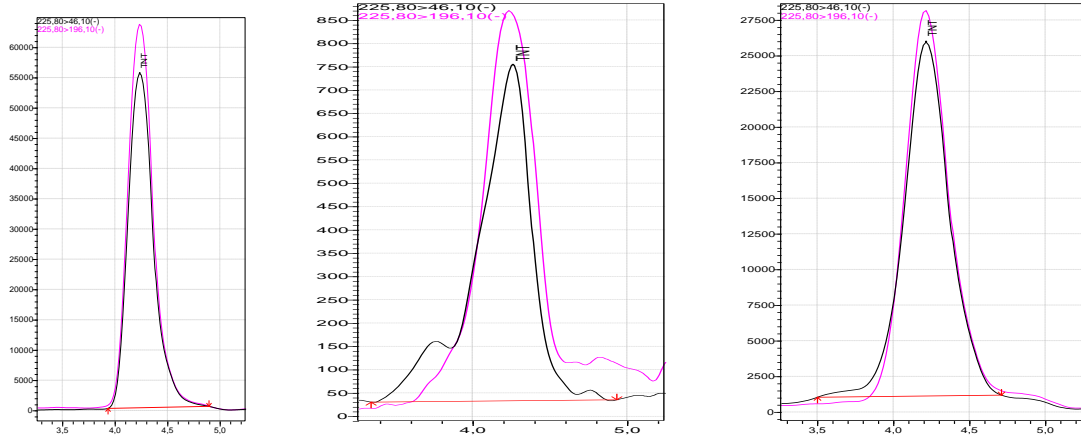


Şekil 6. TNT numunelerinin LC-MS-MS Analiz sonuçları, optimize edilmiş MRM çifti (referans MRM çifti ile birlikte) kromatogramları, kalibrasyon denklemi ve regression sabiti



Şekil 7. PETN numunelerinin LC-MS-MS Analiz sonuçları, optimize edilmiş MRM çifti (referans MRM çifti ile birlikte) kromatogramları, kalibrasyon denklemi ve regression sabiti

Oluşturulan LC-MS-MS metodu ile gerçek numune analizi yapıldı. Patlama sonrası olay yerinde tespit edilen kaşkol, tavan döşemesi, metal parçaları, ayakkabılar, giysi vs. kalıntıları incelendi. Ayrıca olay yerinde laboratuvara gönderilemeyecek kadar büyük madde parçaları üzerinden alınan svaplar da analiz edildi. Kaşkol ve svapların kromatogramları Şekil 8’de verildi. Analizler sonucu söz konusu bulgularda TNT kalıntıları olduğu görüldü. Kaşkolun en yüksek derişimle TNT kalıntısı ihtiva eden bulgu olduğu belirlendi LC/MS-MS analizi sonucu elde edilen tüm sonuçlar grafik halinde Şekil 8’de gösterilmektedir.

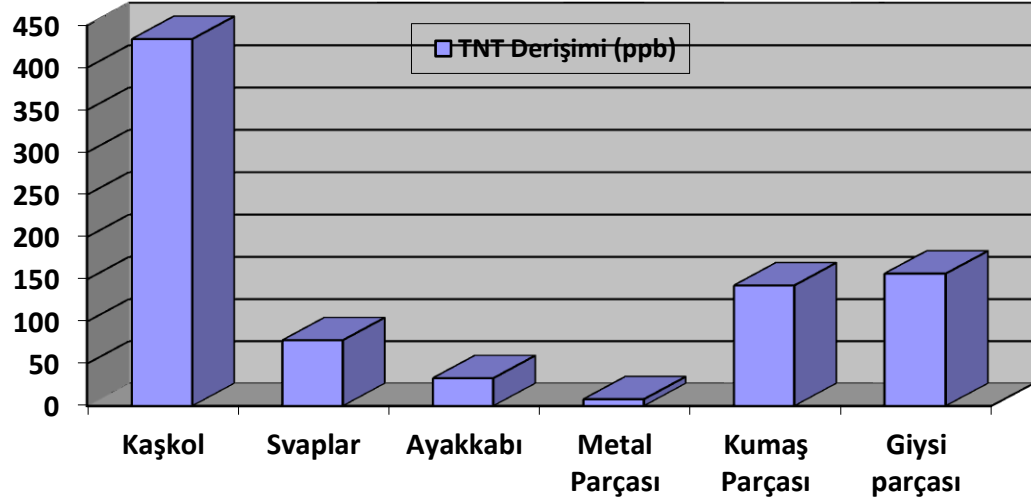


Şekil 8. Kaşkol, metal parçası ve svapların LC kromatogramları (sırasıyla).

#### 4. Sonuç ve Tartışma

LC/MS-MS kullanılarak patlayıcı madde kalıntıları analizleri için metot geliştirildi ve bu metoda göre gerçek olaylara ait numuneler analiz edildi. LC-MS-MS metodunun literatürde GC-MS'ye göre yaklaşık 1000 kat daha seyreklik numuneleri analiz edebileceği belirtilmektedir [16]. Oluşturulan metotta en düşük kalibrasyon noktası olan 0,1 ppb (0,1 pg/ul, gözlenebilme sınırı pg ve hatta bazı uygulamalarda fg) olarak belirlenmiştir. GC-MS ve HPLC-UV gibi (gözlenebilme sınırı ng düzeyi) diğer kromatografik yöntemlere göre bu değer yaklaşık olarak 1000 kat daha seyreklik olduğu görülmektedir. Oluşturulan kalibrasyon doğrusu ve r değeri incelendiğinde metodun rahatlıkla eser düzeyde patlayıcı madde analizinde kullanılabilceği açıktır.

LC/MS-MS ile elde edilen MRM değerleri literatür ile uyumludur (Tablo 3). Bu çalışmada kullanılan patlayıcı maddeler literatüre benzer şekilde negatif iyonlaşmış ve benzer şekilde analiz değerleri (collision enerji vs.) elde edilmiştir. Gerçek olayda alınan bulgular bu metotta analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre kumaş parçaları (özellikle kaşkol parçaları) ve tavan döşeme parçalarında patlayıcı madde kalıntılarının metallere ve svaplara göre daha yüksek derişimde olduğu görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Gerçek olayda bulguların analizi sonucu elde edilen TNT derişimleri (ppb).

Patlama merkezine yakınlık olarak incelendiğinde söz konusu bulguların ve svapların yaklaşık 10 m<sup>2</sup>’lik bir alandan alındığı değerlendirilirse; bulguların ve svapların patlamaya maruz kalma oranları çok büyük fark içermeyecektir. Patlamaya aynı ölçüde maruz kalan bulgularda bulunabilecek patlayıcı madde kalıntı miktarı bulgunun ısıl iletkenliği ve gözenekliliğine göre değişecektir. Patlayıcı maddeler kimyasal özellikleri gereği ısıyla kolay bozunur veya bozunmasa da kolay buharlaşır. Isıl iletkenliği yüksek olan metalik malzemeler üzerinde patlayıcı madde kalıntısı kalma olasılığı, ısıl iletkenliği daha düşük olan kumaş vb. malzemelere göre daha azdır. Aynı şekilde metallerin yüzeyi kumaşlara göre daha az gözenekli olduğuna göre; yine patlayıcı madde kalıntısı kalma olasılığı daha azdır.

## 5. Kaynaklar

- [1] Yinon J., Zitrin S., 1993. Modern methods and applications in analysis of explosives, *John Wiley & Sons*, New York, p. 163-188.
- [2] Furton K.G., Almirall .JR., Bi M., Wang J., Wu L., 2000. Optimization of solid-phase microextraction (SPME) for the recovery of explosives from aqueous and post-explosion debris followed by gas and liquid chromatographic analysis, *Journal of Forensic Sciences*, 45 (4): 857-864.
- [3] Battle R., Carlsson H., Tollback P., Colmsjo A., Crescenzi C., 2003. Enhanced detection of nitroaromatic explosive vapors combining solid-phase extraction-air sampling, supercritical fluid extraction, and large-volume injection-GC, *Anal Chem*, 75: 3137-3144.
- [4] Yinon J., 1996. Trace analysis of explosives in water by gas chromatography}mass spectrometry with a temperature-programmed injector, *Journal of Chromatography A*, 742: 205-209.
- [5] Sigman M.E., Ma C.-Y, Ilgner R.H., 2001. Performance Evaluation of an In-Injection Port Thermal desorption/Gas Chromatographic/Negative Ion Chemical Ionization Mass Spectrometric Method for Trace Explosive Vapor Analysis, *Anal. Chem.*, 73: 792-798.
- [6] Yinon J., 2004. Advances in forensic applications of mass spectrometry. *CRC Press*, NW, p. 231-274
- [7] Perret D., Marchese S., Gentili A., Curini R., Terracciano A., Bafile E., Romolo F., 2008. LC-MS-MS Determination of Stabilizers and Explosives Residues in Hand-Swabs, *Chromatographia*, 68: 517-524.

- [8] Michelle W., Marleen L., Nele S., Maria M.R.F., Ernst A.B., Robert A.A.M., Gert D.B., 2006. Recent applications of liquid chromatography–mass spectrometry in forensic science, *Journal of Chroma.* 1130: 3–15.
- [9] Gapeev A., Sigman M., Yinon J., 2003. Liquid chromatography / mass spectrometric analysis of explosives, *Mass Spectrom.* 17: 943–948.
- [10] Saferstein R., 2004. Criminalistics: An Introduction to Forensic Science, *Pearson Education Inc*, New Jersey, USA, p. 480.
- [11] Palenik S., Siegel J.A., Saukko P.J., Knupfer G.C., 2000. Microchemistry in Encyclopaedia of Forensic Science, *Academic Press*, UK, p. 1111–1116.
- [12] Tamiri T., Siegel J.A., Saukko P.J., Knupfer G.C., 2000. Explosives /Analysis in Encyclopaedia of Forensic Science, *Academic Press*, UK, p. 729–745.
- [13] Meyer R., Homburg J.A., 2007. Explosives, *Wiley-VCH & Co. KGaA*, Weinheim, p. 18-22.
- [14] Urbanski T., 1964, Chemistry and Technology of Explosives, Pergamon Press, Oxford, p. 265.
- [15] Jenkins T.F., Leggett D.C., Miyares P.H., Alsh M.E., Ranney T.A., Cragin J.H., 2001. Trace chemical sensing of explosives, *Talanta*, 54: 501–513.
- [16] Kolla P., Hohenstatt P., 1993. Stability of explosives traces on different supports, *Forensic Science International*, 60: 127-137.

Uğur ÜZEK e-posta: ugur.uzek@kpl.gov.tr  
Çagdaş AKSOY e-posta: cagdas.aksoy@egm.gov.tr  
Taner BORA e-posta: taner.bora@kpl.gov.tr  
OrhanATAKOL e-posta: orhan.atakol@science.ankara.edu.tr