



UOT 343.1. Cinayət mühakimə icraatı S. 152-158

VASİF QASIMOV

Naxçıvan Muxtar Respublikası Ədliyyə Nazirliyinin
Məhkəmə Ekspertizası Mərkəzinin Ballistik və trasoloji
ekspertizalar bölməsinin aparıcı ekspert vəzifəsi üzrə stajoru
E-mail: turksoyvasif723@gmail.com
DOI: <https://doi.org/10.64498/FZUH1449>

PARTLAYIŞDAN SONRA QALAN PİYADA ƏLEYHİNƏ MİNASININ QALIQLARININ AŞKAR EDİLMƏSİ VƏ ONLARIN ANALİZİ

Açar sözlər: PMN (piyada əleyhinə mina), TNT, detonasiya, termal parçalanma, piroliz, reaksiya kinetika, qaz xromatoqrafiyası-kütlə spektrometriyası, infraqırmızı spektroskopiya, aktivləşmə enerjisi, bakelit, kimyəvi ekspertiza

Keywords: PMN (anti-personnel mine), TNT, detonation, thermal decomposition, pyrolysis, reaction kinetics, gas chromatography-mass spectrometry, infrared spectroscopy, activation energy, bakelite, chemical forensics

Anahtar kelimeler: PMN (anti-personel mayını), TNT, detonasyon, termal parçalanma, piroliz, reaksiyon kinetiği, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi, kızılötesi spektroskopisi, aktivasyon enerjisi, bakalit, kimyasal ekspertiz

Ключевые слова: ПМН (противопехотная мина нажимная), ТНТ, детонация, термическое разложение, пиролиз, кинетика реакции, газовая хромато-масс-спектрометрия, инфракрасная спектроскопия, энергия активации, бакелит, химическая экспертиза

Partlayış, maddənin fiziki və ya kimyəvi çevrilməsi nəticəsində çox qısa müddət ərzində böyük həcmdə enerjinin ayrılması ilə xarakterizə olunan son dərəcə sürətli prosesdir. Bu hadisə zamanı potensial enerji ani olaraq kinetik enerjiyə, istilik enerjisinə və işıq enerjisinə çevrilir. Ən geniş yayılmış partlayış növü kimyəvi partlayışdır ki, bu da ekzotermik reaksiya nəticəsində baş verir. Belə reaksiyalarda bərk və ya maye halında olan partlayıcı maddə saniyənin milyonda bir hissəsi ərzində yüksək temperatura malik nəhəng həcmdə qaza çevrilir. Bu qazın sürətli genişlənməsi ətraf mühitə dağıdıcı təsir göstərən zərbə dalğası yaradır.

Kimyəvi partlayışlar təsir mexanizminə görə iki əsas qrupa bölünür: yanma (deflaqrasiya) və detonasiya. Deflaqrasiya zamanı enerjinin yayılma sürəti səs sürətindən aşağı olur və proses əsasən istilik ötürmə ilə irəliləyir. Detonasiya isə maddə daxilində səs sürətini aşan bir zərbə dalğası şəklində yayılır və bu, daha güclü dağıdıcı effekt yaradır. Məsələn, minalarda baş verən partlayış detonasiya xarakterlidir. Bu növ partlayışın əsas dağıdıcı amilləri yüksək təzyiqli zərbə dalğası, intensiv istilik şüalanması, sürətlə uçan fragmentlər və zəhərli qazların əmələ gəlməsidir. Partlayışın fiziki mahiyyəti ondan ibarətdir ki, maddənin daxili enerjisi xarici mühitin müqavimətini dəf edərək maksimum

həcmə çatmağa çalışan genişlənən qaz baloncucu formasında azad olur. Bu baxımdan partlayışı, məhdud fəzada qısamüddətli, idarəolunmaz enerji boşalması kimi təyin etmək olar. Məhz bu qeyri-tarazlıq halı onun dağıdıcı gücünün əsas səbəbidir. Bəs bu dağıdıcı gücün arxasında hansı kimyəvi reaksiya dayanır? Buna misal olaraq PMN markalı piyada əleyhinə minaya nəzər yetirək.

PMN markalı piyada əleyhinə minanın partlayışı kimyəvi, sürətli, ekzotermik, böyük miqdarda qaz əmələ gətirən bir reaksiyadır. Yaranan mexaniki dağıntılar, fragmentasiya, deformasiyalar bunların hamısı ikinci dərəcəli hadisələrdir. Əsl səbəb molekulyar səviyyədə baş verən kimyəvi bağların qırılması və yenidən qurulmasıdır. Laboratoriya tədqiqatları və praktikada aparılan analizlərə əsaslanaraq, PMN minasının tərkibindəki TNT-nin detonasiyasının kimyəvi mexanizmini, bu prosesin minanın hər bir hissəsinə termal təsirini və hadisə yerində bu kimyəvi izlərin necə aşkarlanıb təhlil edilməli olduğunu ətraflı şəkildə izah etmək lazımdır.

PMN minası yalnız mühəndislik baxımından hazırlanmış bir konstruksiya deyil, həm də mürəkkəb kimyəvi sistemdir. Onun əsas partlayıcı maddəsi TNT (trinitrotoluol) olub, tərkibində bir metil qrupu (CH₃) və üç nitro qrupu (NO₂) daşıyan toluol



törəməsidir. TNT molekulunun quruluşu aromatik (benzol) halqadan, bir metil qrupundan və üç nitro qrupundan ibarətdir.

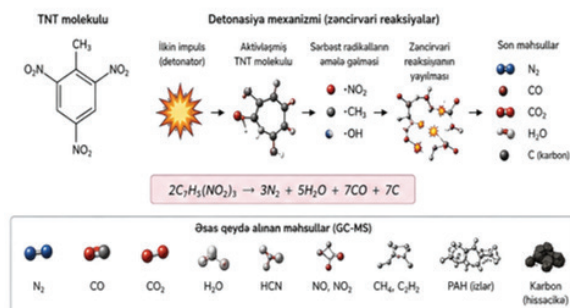
TNT-nin partlayıcı xüsusiyyətlərini məhz nitro qrupları təmin edir. Bu qruplar molekulun tərkibində oksigen ehtiyatı yaradır, karbon və hidrogen atomları isə yanacaq funksiyasını yerinə yetirir. Nəticədə, partlayış reaksiyasının baş verməsi üçün zəruri olan həm oksidləşdirici, həm də yanacaq komponentləri eyni molekul daxilində mövcud olur. Buna görə də TNT xarici oksigen mənbəyindən asılı olmadan sürətlə parçalanaraq böyük həcmdə qaz və istilik enerjisi əmələ gətirə bilər. Məhz bu xüsusiyyət onu yüksək effektiv partlayıcı maddəyə çevirir.

Partlayış prosesinə kimyəvi kinetika baxımından yanaşdıqda, TNT-nin detonasiyası saniyənin milyonda bir hissəsi ərzində baş verən zəncirvari reaksiyadır. İlk impuls kapsul-detonatorun partlaması bir neçə TNT molekulunun aktivləşməsinə səbəb olur. Bu aktivləşmiş molekul parçalanaraq sərbəst radikallar əmələ gətirir. Sərbəst radikallar məsələn, metil radikalı (CH_3), nitro radikalı (NO_2), fenoksil radikalı son dərəcə reaktivdirlər və qonşu TNT molekulaları ilə reaksiyaya girərək onların da parçalanmasına səbəb olurlar. Beləliklə, zəncirvari reaksiya çox sürətlə bütün TNT kütləsinə yayılır. Bu prosesin sürəti Arrhenius tənliyi ilə ifadə edilir: $k = A \cdot \exp(-E_a/RT)$. Burada k -reaksiyanın sürət sabiti, A -pre-eksponensial amil, E_a - aktivləşmə enerjisi, R -universal qaz sabiti, T -isə mütləq temperaturdur. TNT-nin detonasiyası zamanı temperatur çox yüksək olduğu üçün (800-900 °C) eksponensial amil böyük olur və reaksiya praktiki olaraq ani baş verir. TNT üçün bu dəyər təxminən 150-170 kJ/mol civarındadır. Bu nisbətən aşağı aktivləşmə enerjisi TNT-nin nisbətən həssas olmasını izah edir.

Detonasiya reaksiyasının ümumi tənliyi: $2\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3 \rightarrow 3\text{N}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + 7\text{CO} + 7\text{C}$. Lakin bu tənlik ideal şərait üçün doğrudur. Real şəraitdə, xüsusilə PMN minası kimi qapalı bir korpus daxilində detonasiya baş verdikdə, reaksiya məhsulları daha mürəkkəb olur. Qaz xromatoqrafiyası-kütlə spektrometriyası (GC-MS) ilə apardığımız analizlərdə detonasiya məhsulları arasında azot (N_2), su buxarı (H_2O), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), hidrogen siyanid (HCN), azot oksidləri (NO , NO_2), müxtəlif kiçik karbohidrogenlər (metan, asetilen, etilen) və hətta polisiklik aromatik karbohidrogenlərin (PAH) izləri aşkar edilir.

Partlayış zamanı əmələ gələn HCN və NO_2 qazları yüksək toksikliyə malik olduqları üçün insan

sağlamlığı üçün ciddi təhlükə yaradır. Reaksiya nəticəsində yaranan sərbəst karbon isə xırda hissəciklər şəklində qara tüstü kimi ətrafa yayılır. Bu hissəciklərin ölçüsü bir neçə yüz nanometr səviyyəsində olduğundan, onlar havada uzun müddət asılı vəziyyətdə qala bilər.



Ən maraqlı suallardan biri odur ki: TNT-nin parçalanması molekulyar səviyyədə necə baş verir?

Bu mexanizmi tədqiq etmək üçün kvant kimyası hesablamalarından da istifadə etmək olar. TNT molekulundakı ən zəif bağlar nitro qruplarının aromatik halqaya birləşdiyi C- NO_2 bağlarıdır. Bu bağların dissosiasiya enerjisi təxminən 250-300 kJ/mol təşkil edir. İlk termal təsir (kapsulun alışıması) nəticəsində bu bağlar qırılır və NO_2 radikalları ayrılır. Ayrılan nitro radikalları daha sonra digər TNT molekulaları ilə reaksiyaya girir. Bundan əlavə, metil qrupunun (CH_3) parçalanması da baş verir. Nəticədə aromatik halqa parçalanaraq daha kiçik molekulalara, o cümlədən asetilen, etilen və butadienə çevrilir. Sonrakı mərhələdə isə bu aralıq məhsullar oksidləşərək əsasən karbonmonoksit (CO), karbon qazı (CO_2), su buxarı (H_2O) və azot (N_2) əmələ gətirir. Bu çevrilmələrin hamısı son dərəcə qısa müddətdə - mikrosaniyələr (10^{-6} saniyə) ərzində baş verir və yalnız xüsusi reaksiya kameralarında aparılan yüksək sürətli eksperimental müşahidələr vasitəsilə izlənilə bilər.

PMN minasının müxtəlif hissələrinin bu kimyəvi fırtınadan necə təsirləndiyinə baxdıqda, hissələrdən biri bakelit korpusdur. Bakelit fenol-formaldehid qatranı üçölçülü şəbəkə quruluşuna malik bir polimerdir. Onun monomerləri fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) və formaldehid (CH_2O)-dir. Termoqrammetrik analiz (TGA) ilə bakelitin təxminən 350-400°C-də parçalanmağa başladığını, 500°C-dən yuxarı isə sürətli pirolizə uğradığı müəyyən edilir. Lakin PMN partlayışında temperatur 800-900 °C olduğu üçün bakelit saniyənin mində biri ərzində qızır və birbaşa kömürləşir. Piroliz zamanı bakelitdən su buxarı, fenol, kresol, ksilenol, formaldehid, metan, karbon monoksit kimi uçucu məhsullar ayrılır.



Geriye isə yüksək karbonlu, qrafitəbənzər bir qalıq qalır. Bu qalıq çox kövrək olur və şok dalğasının təsiri ilə asanlıqla kiçik fraqmentlərə parçalanır. Bu fraqmentlərin səthini infraqırmızı spektroskopiya (FTIR) ilə tədqiq etdikdə, yandırılmamış bakelitdə xarakterik OH (hidroksil) və CH₂ (metilen) udma zolaqlarını, həmçinin aromatik halqaya xas olan 1600 sm⁻¹ civarında zolaqları müşahidə edilir. Lakin karbonlaşmış fraqmentlərdə bu zolaqlar xeyli zəifləyir, əvəzində C=C, C=O və C-O bağlarına aid yeni zolaqlar görünür. Bəzi hallarda karbonlaşmış səthdə CH₂, CH₃ qruplarının qalıq izlərinə də rast gəlinir ki, bu da natamam pirolizi göstərir.

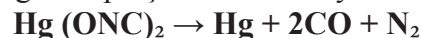
Komponent	İlkin material	Yüksək temperaturda dəyişiklik	Əsas məhsullar / izlər	Qalıq izlər
Bakelit korpusu		350-500 °C Piroliz və karbonlaşma	H ₂ O, Fenol, Kresol, CO, CO ₂	
Rezin təzyiq lövhəsi		400-600 °C Depolimerləşmə, piroliz	Stirol, Butadien, Etilbenzol	
Metal hissələr (vurucu, yay, sənəc)	Fe-C ərintisi	>500 °C Oksidləşmə	Fe ₃ O ₄ , Fe ₂ O ₃	
Kapsul-detonator	Hg(ONC) ₂ , Pb(N ₃) ₂ , Pb(C ₆ H ₅ N ₃ O ₈) ₂ , Tetrasen	Çox yüksək Ani parçalanma	Hg, Pb, N ₂ , CO, H ₂ O	

Rezin təzyiq lövhəsinə kimyəvi baxış daha mürəkkəbdir. PMN-nin təzyiq lövhəsi adətən stirol-butadien kauçuku (SBR) və ya təbii kauçukdan hazırlanır. Bu polimerlərin tərkibində ikiqat bağlar (C=C) olur ki, bu da vulkanizasiya zamanı kükürdlə çarpaz bağlanmaya imkan verir. Yüksək temperaturda rezin ərimir, əksinə, depolimerləşir və pirolizə uğrayır. Piroliz-QÇKƏ (Py-GC/MS) analizində rezindən ayrılan başlıca məhsulların stirol, butadien, izopren, etilbenzol, vinilsikloheksen, həmçinin müxtəlif aromatik birləşmələr (benzol, toluol) olduğu müəyyən edilir. Bu maddələrin çoxu uçuucu olduğu üçün rezin lövhənin böyük bir hissəsi qaz halında ətrafa yayılır. Qalan qalıq isə əsasən karbondan ibarət olan kövrək bir kütlədir. Hadisə yerində bu qalıqları tapmaq çətindir, lakin bəzən onlar çöküntü şəklində partlayış mərkəzinə yaxın ərazilərdə toplanır.

Metal hissələr vurucu, yay vəancaq əsasən poladdan, yəni dəmir-karbon ərintisindən hazırlanır. Yüksək temperaturda poladın səthində oksidləşmə baş verir. Bu oksid təbəqəsinin qalınlığını və tərkibini rentgen fotoelektron spektroskopiyası (XPS) ilə ölçüldükdə, 300°C-də səthdə əsasən Fe₃O₄ (maqnetit) əmələ gəlir. Bu, qara rəngli oksiddir. 500°C-dən yuxarı isə Fe₂O₃ (hematit) qırmızımtıl-qəhvəyi oksid üstünlük təşkil edir. Lakin PMN partlayışında yüksək temperatur çox qısamüddətli olduğu üçün oksid təbəqəsi nazik olur (bir neçə yüz

nanometr) və rəngi adətən sarıdan maviyə qədər dəyişir, bu, nazik təbəqə interferensiyası ilə əlaqədardır. Bundan əlavə, poladda olan karbon da yüksək temperaturda dəmir ilə reaksiyaya girərək sementit (Fe₃C) əmələ gətirə bilər. Lakin belə yüksək temperaturda karbon daha çox oksidləşərək CO və CO₂-yə çevrilir. Əgər metal səthində xlorid ionları varsa (məsələn, torpaq mühitindən), yüksək temperatur korroziyanı sürətləndirə bilər, bu da əlavə analitik əlamətdir.

Kapsul-detonator isə tamamilə fərqlidir. Onun tərkibində birinci dərəcəli partlayıcı maddə olur: ən çox cıvə fulminat (Hg(ONC)₂), qurğuşun azid (Pb(N₃)₂), qurğuşun stiftat (C₆H₃N₃O₈Pb) və ya tetrasen (C₂H₄N₁₀O) ilə qarışdırılır. Bu maddələr mexaniki təsirə son dərəcə həssasdır və detonasiya sürətləri yüksəkdir. Onların parçalanma mexanizmləri fərqlidir. Məsələn, cıvə fulminatı qızdırıldıqda aşağıdakı parçalanma reaksiyası baş verir:



Bu reaksiya nəticəsində elementar cıvə (Hg), karbonmonoksid (CO) və azot (N₂) əmələ gəlir. Elementar cıvə yüksək toksikliyə malikdir və buxar halında insan sağlamlığı üçün ciddi təhlükə yaradır. Hadisə yerindən götürülmüş torpaq nümunələrində cıvənin miqdarının normadan yüksək olması bəzi hallarda tərkibində cıvə fulminatı olan kapsulun tətbiq edildiyini göstərə bilər. Bununla belə, belə nəticə yalnız digər kriminalistik və kimyəvi sübutlarla birlikdə qiymətləndirildikdə etibarlı hesab oluna bilər.

Qurğuşun azid isə: Pb(N₃)₂ → Pb + 3N₂. Burada elementar qurğuşun ayrılır. Qurğuşun ağır metal olduğu üçün torpağın üst qatında qalır və asanlıqla aşkar edilə bilər. Bu metalları atom udma spektroskopiyası (AAS) və induktiv birləşmiş plazma kütlə spektrometriyası (ICP-MS) ilə təyin etmək mümkündür. Bu üsullar milyardda bir (ppb) həssaslığa malikdir.

İndi isə ən vacib praktiki suala cavab: hadisə yerində bu kimyəvi izləri necə toplamalı, necə təhlil etməli?

Birincisi, partlayış mərkəzindən və ətrafından torpaq, su, hava nümunələri götürülür. Torpaq nümunələri müxtəlif dərinliklərdən (0-5 sm, 5-10 sm, 10-20 sm) və müxtəlif məsafələrdən (mərkəzdən 1 m, 5 m, 10 m) götürülməlidir. Hər bir nümunə ayrıca şüşə qaba və ya PTFE (teflon) torbalara qoyulur, etikətlənir və soyuq vəziyyətdə (4°C) laboratoriyaya daşınır. Hava nümunələri üçün xüsusi adsorbent borucuqlardan (məsələn, Tenax TA) istifadə olunur. Su nümunələri isə tünd şüşə butulkalarda, konser-



vant əlavə edilərək saxlanılır.

Laboratoriyaya çatdırıldıqdan sonra nümunələr bir neçə ardıcıl mərhələdə təhlil edilir. Birinci mərhələdə uçucu üzvi birləşmələrin (VOC) analizi aparılır. Bu məqsədlə nümunə qapalı sistemdə təxminən 90°C temperaturda 30 dəqiqə qızdırılır, daha sonra isə baş boşluğu (headspace) qaz xromatoqrafiyası-kütlə spektrometriyası (GC-MS) üsulu ilə təhlil edilir. Bu analiz vasitəsilə benzol, toluol, etilbenzol, ksilenlər (BTEX), stirol, fenol, kresollar, eləcə də metan, etan, etilen və asetilen kimi aşağı molekullu karbohidrogenlər müəyyən edilə bilər. Nümunədə stirol və butadienin aşkar olunması rezin materialların termiki parçalanmasının izlərinə, fenol və kresolların müəyyən edilməsi isə bakelit tərkibli materialların mövcudluğuna işarə edə bilər.

İkinci mərhələdə yarımuçucu və qeyri-uçucu üzvi birləşmələrin təhlili həyata keçirilir. Bunun üçün nümunədən diklormetan və ya asetonitril kimi uyğun həlledicilər vasitəsilə ekstraksiya aparılır. Ekstraksiya prosesi ultrasəs vannasında və ya Soxhlet aparatında yerinə yetirilə bilər. Sonra alınmış ekstrakt həlledicinin bir hissəsi buxarlandırılmaqla qatılaşdırılır və qaz xromatoqrafiyası-kütlə spektrometriyası (GC-MS) və ya yüksək effektiv maye xromatoqrafiyası (HPLC) üsulları ilə təhlil edilir.

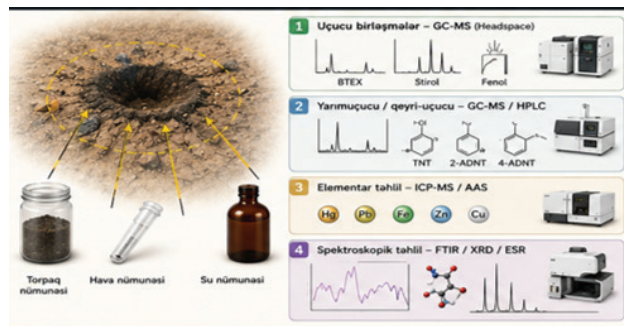
HPLC üsulu vasitəsilə natamam partlayış hallarında qalıq TNT-ni, eləcə də onun parçalanma məhsullarını və transformasiya törəmələrini, o cümlədən 2-amino-4,6-dinitrotoluol, 4-amino-2,6-dinitrotoluol və 2,4-diamino-6-nitrotoluolu müəyyən etmək mümkündür.

Üçüncü mərhələdə elementar tərkib təhlil edilir. Bu məqsədlə torpaq nümunəsi, adətən, “çar suyu”nda (aqua regia, $\text{HCl}_3 = 3:1$) həll edilir, sonra isə induktiv əlaqəli plazma-kütlə spektrometriyası (ICP-MS) və ya atom-absorbsion spektrometriya (AAS) üsulları ilə cıvə (Hg), qurğuşun (Pb), dəmir (Fe), sink (Zn), mis (Cu) və xrom (Cr) kimi elementlərin miqdarı müəyyən edilir. Torpaq nümunəsində cıvənin konsentrasiyasının fon səviyyəsini əhəmiyyətli dərəcədə üstələməsi bəzi hallarda tərkibində cıvə fulminatı olan kapsulun istifadə edildiyini göstərə bilər. Lakin bu nəticə yalnız digər kriminalistik və analitik sübutlarla birlikdə qiymətləndirildikdə etibarlı hesab olunur.

Dördüncü mərhələdə spektroskopik təhlil aparılır. Bunun üçün quru nümunə kalium bromid (KBr) ilə homogen şəkildə qarışdırılaraq tablet hazırlanır və Furiye çevirməli infraqırmızı spektroskopiya (FTIR) üsulu ilə 400–4000 sm^{-1} dalğa ədədi dia-

pazonunda spektr qeydə alınır.

Partlayış məhsullarına xas olan udma zolaqları CO (təxminən 2100 sm^{-1}), NO (təxminən 1850 sm^{-1}), aromatik halqalar (1600, 1500 sm^{-1}), karbonil (1700-1750 sm^{-1}) maddənin tərkibi haqqında dəyərli məlumatları verir.



Tutaq ki, partlayış mərkəzindən götürülmüş torpaq nümunəsində yüksək miqdarda fenol (bakelit) və stirol (rezin) aşkar edilib, eyni zamanda cıvə konsentrasiyası normaldan 50 dəfə yüksəkdir. Bu PMN minasının istifadə edildiyini, kapsulun cıvə fulminatlı olduğunu, korpusun bakelit, təzyiq lövhəsinin isə stirol-butadien rezindən hazırlandığını söyləməyə əsas verir. Əgər torpaqda qurğuşun miqdarı yüksəkdirsə, lakin cıvə yoxdursa, bu, qurğuşun azıdlı və ya qurğuşun stifnatlı kapsulun göstəricisidir. Əgər heç bir ağır metal aşkar edilmirsə, lakin üzvi maddələr (fenol, kresol, stirol) var və TNT metabolitləri də tapılırsa, kapsulun tetrasen və ya başqa birinci dərəcəli partlayıcı maddədən olduğu ehtimal edilə bilər. Lakin tetrasenin tərkibində metal olmadığı üçün onu aşkar etmək çətindir. Bu zaman daha çox sərbəst radikalların izlərinə (ESR spektroskopiya ilə) baxmaq lazım gəlir.

Partlayış nəticəsində əmələ gələn qazların tərkibinin operativ qiymətləndirilməsi üçün portativ qaz analizatorlarından da istifadə olunur. Bu cihazlar müxtəlif iş prinsiplərinə əsaslanan elektrokimyəvi sensorlar, katalitik sensorlar (catalytic bead), fotioionizasiya detektorları (PID) və digər qaz sensorları ilə təchiz oluna bilər. Onların köməyi ilə karbonmonoksid (CO), karbon qazı (CO₂), hidrogen sulfid (H₂S), hidrogen sianid (HCN), azot dioksid (NO₂) və kükürd dioksid (SO₂) kimi qazların konsentrasiyasını real vaxt rejimində müəyyən etmək mümkündür.

Məsələn, hidrogen sianidin (HCN) aşkar edilməsi TNT-nin natamam parçalanması və ya natamam oksidləşməsi nəticəsində zəhərli aralıq məhsulların əmələ gəldiyini göstərə bilər. Bu isə partlayışın oksigenin məhdud olduğu şəraitdə baş verdiyinə dair mühüm analitik göstəricilərdən biri hesab olunur.



PMN minası nümunəsində həmçinin materialların kimyəvi dayanıqlığı da nəzərə alınır. Bakelit nisbətən kimyəvi cəhətdən davamlıdır, turşulara, qələvilərə, həlledicilərə yaxşı dözüür. Lakin konsentrasiya sulfat turşusu və ya qələvilər onu hidroliz edə bilər. Rezin isə günəş işığında (UV) və ozonda sürətlə köhnəlir, çatlayır və elastikliyi itirir. PMN minasının uzun müddət saxlanması zamanı rezində bu cür dəyişikliklər baş verə bilər ki, bu da onun işləmə mexanizminə təsir edir.

Nəzəri baxımdan termodinamik və kinetik modellər də qurulur. TNT-nin detonasiyası üçün Gibbs sərbəst enerjisinin dəyişməsi (ΔG) çox mənfidir

və təxminən -5000 kJ/mol. Bu, reaksiyanın hansı istiqamətdə gedəcəyini, tarazlıq vəziyyətini müəyyən edir. Lakin detonasiya tarazlıq prosesi deyil və o, qeyri-tarazlıq şəraitində, çox yüksək sürətlə baş verir. Buna görə də reaksiya mexanizmini öyrənmək üçün keçid vəziyyəti nəzəriyyəsindən və kvant kimyası hesablamalarından (məsələn, DFT sıxlıq funksionalı nəzəriyyəsi) istifadə edilir. Bu hesablamalar TNT molekulunun hansı bağlarının ilk olaraq qırıldığını, hansı aralıq məhsulların əmələ gəldiyini, aktivləşmə enerjisinin qiymətini dəqiqləşdirməyə kömək edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Swinton, R. J., & Bergeron, D. (2004). Evaluation of a Silent Killer, the PMN Anti-Personnel Blast Mine.
2. Jane's Information Group (1998). Jane's Mines and Mine Clearance.
3. Yallop, H. J. (1980). Explosion Investigation. Forensic Science Society.
4. Beveridge, A. (1998). Forensic Investigation of Explosions. Taylor & Francis.
5. Meyer, R., Köhler, J., & Homburg, A. (2007). Explosives (6th ed.). Wiley-VCH.
6. Yinon, J. (1999). Forensic and Environmental Detection of Explosives. John Wiley & Sons.
7. National Institute of Justice (2005). A Guide for the Selection and Use of Explosives Detectors and Explosives Evidence Collection.
8. Johnson, G. R., & Cook, W. H. (1983). A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures.
9. Meyers, M. A. (1994). Dynamic Behavior of Materials. John Wiley & Sons.
10. Zeldovich, Ya. B., & Raizer, Yu. P. (2002). Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena. Dover Publications.
11. Oxley, J. C., Smith, J. L., Resende, E., & Pearce, E. (2003). Quantification and aging of the post-blast residue of TNT landmines. Journal of Forensic Sciences, 48(4), 742-753. DOI: 10.1520/jfs2002404
12. Lott, P. F., & Hurst, G. B. (2005). Systematic analysis of post-blast organic traces in soil, application of color tests, TLC, GC-MS, and ITMS. Journal of Chromatography A.
13. Stauffer, E., & Lentini, J. J. (2003). Headspace-GC/MS detection of TATP traces in post-explosion debris. Forensic Science International.
14. Wong, H.-W., & Broadbelt, L. J. (2015). Quantitative determination of species production from phenol-formaldehyde resin pyrolysis. Polymer Degradation and Stability, 112, 122-131.
15. Pacheco-Londoño, L. C., et al. (2021). Chemical detection of explosives in soil for locating buried landmines. SPIE Proceedings.
16. Zhang, Y., et al. (2016). Thermal decomposition and kinetic evaluation of decanted 2,4,6-trinitrotoluene (TNT). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
17. V. V. Serio, et al. (2009). Pyrolysis of phenol-formaldehyde resin: experiments and modeling. Advanced Fuel Research, 201, 81-92.
18. S. Singh, et al. (2015). Novel Approaches to Forensic Explosives Recovery, Storage and Analysis. Forensic Science International

X Ü L A S Ə

Məqalədə PMN markalı piyada əleyhinə minanın partlayışı kimyaçı baxışından təhlil edilir. Partlayış əsasən TNT-nin detonasiyası nəticəsində baş verən sürətli, ekzotermik zəncirvari radikal reaksiyadır. Reaksiya nəticəsində CO, CO₂, HCN, NO₂, his kimi zəhərli qazlar və bərk qalıqlar əmələ gəlir. Minanın bakelit korpusu pirolizlə karbonlaşaraq kövrək fraqmentlərə parçalanır; rezin təzyiq lövhəsi depolimerləşərək qaz-



lara çevrilir; metal hissələr oksidləşərək rəng dəyişir; kapsulun tərkibindəki cıvə və ya qurğuşun kimi ağır metallar torpaqda qalır. Hadisə yerindən nümunələrin düzgün götürülməsi, GC-MS, HPLC, AAS, ICP-MS, FTIR kimi analitik üsullarla təhlili partlayıcı qurğunun tipini, mənşəyini və partlayış şəraitini müəyyən etməyə imkan verir. Kimyəvi analiz mexaniki deformasiya təhlili ilə müqayisədə daha dəqiq və etibarlı nəticələr təqdim edir.

DETECTION AND ANALYSIS OF POST-DETONATION RESIDUES OF THE PMN ANTI-PERSONNEL MINE

VASİF GASIMOV

*Trainee for the position of Leading Expert in
the Ballistics and trasology expertise division of
the Forensic Science Center of the Ministry of Justice of
the Nakhchivan Autonomous Republic*

S U M M A R Y

The article analyzes the explosion of a PMN-type anti-personnel mine from a chemist's perspective. The explosion is primarily a rapid, exothermic chain radical reaction resulting from the detonation of TNT. The reaction produces toxic gases such as CO, CO₂, HCN, NO₂, soot, and solid residues. The bakelite casing undergoes pyrolysis, carbonizes, and fragments into brittle pieces; the rubber pressure plate depolymerizes and turns into gases; metal parts oxidize and change color; heavy metals such as mercury or lead from the detonator capsule remain in the soil. Proper sampling from the explosion site and analysis using GC-MS, HPLC, AAS, ICP-MS, FTIR, and other analytical methods allow determination of the type, origin, and conditions of the explosive device. Chemical analysis provides more accurate and reliable results compared to mechanical deformation analysis.

PATLAMA SONRASI PMN ANTI-PERSONEL MAYINININ KALINTILARININ TESPİTİ VE ANALİZİ

VASİF GASIMOV

*Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti Adalet Bakanlığı
Adli Uzmanlık Merkezinin Balistik ve trasolojik
incelemeler bölümünde baş uzman stajyeri*

Ö Z E T

Makalede, PMN tipi anti-personel mayının patlaması bir kimyager bakış açısıyla analiz edilmektedir. Patlama, temelde TNT'nin detonasyonu sonucu meydana gelen hızlı, ekzotermik zincir radikal reaksiyondur. Reaksiyon sonucunda CO, CO₂, HCN, NO₂, is gibi zehirli gazlar ve katı kalıntılar oluşur. Mayının bakalit gövdesi piroliz ile karbonlaşarak gevrek parçalara ayrılır; lastik basınç plakası depolimerleşerek gazlara dönüşür; metal parçalar oksitlenerek renk değiştirir; kapsül içindeki cıva veya kurşun gibi ağır metaller toprakta kalır. Olay yerinden uygun şekilde numune alınması ve GC-MS, HPLC, AAS, ICP-MS, FTIR gibi analitik yöntemlerle analiz, patlayıcı cihazın tipini, kökenini ve patlama koşullarını belirlemeye olanak tanır. Kimyasal analiz, mekanik deformasyon analizine kıyasla daha doğru ve güvenilir sonuçlar sunar.



ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ОСТАТКОВ ПРОТИВОПЕХОТНОЙ МИНЫ ПМН ПОСЛЕ ВЗРЫВА

ВАСИФ ГАСЫМОВ

*Стажёр на должности ведущего
эксперта отдела баллистических и
трасологических экспертиз Центра Судебной
Экспертизы Министерства Юстиции
Нахичеванской Автономной Республики*

Р Е З Ю М Е

В статье анализируется взрыв противопехотной мины типа ПМН с точки зрения химика. Взрыв представляет собой быструю экзотермическую цепную радикальную реакцию, возникающую в результате детонации ТНТ. В результате реакции образуются токсичные газы (CO , CO_2 , HCN , NO_2 , сажа) и твёрдые остатки. Бакелитовый корпус мины пиролизуется, обугливается и распадается на хрупкие фрагменты; резиновая нажимная пластина деполимеризуется и превращается в газы; металлические детали окисляются и меняют цвет; тяжёлые металлы (ртуть или свинец) из капсюля-детонатора остаются в почве. Правильный отбор проб с места происшествия и анализ с помощью ГХ-МС, ВЭЖХ, ААС, ИСП-МС, ИК-спектроскопии и других методов позволяют определить тип, происхождение и условия взрыва. Химический анализ даёт более точные и надёжные результаты по сравнению с анализом механических деформаций.

*Rəyçi: Ballistik və trasoloji ekspertizalar ekspertizalar
şöbəsinin rəisi Hacıbala Hacıyev
Təqdim edən: V. Qasimov
Daxil olma tarixi: 12.03.2026
Təkrar işlənmə tarixi: göndərilməyib.
Çapa imzalanma tarixi: 12.05.2026*