



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

## تحلیل مشخصه های صوتی شلیک گلوله

چکیده- این مقاله به تحلیل صداهای ایجاد شده از «شلیک گلوله»<sup>۱</sup> می پردازد و مطالب تئوری و عملی پیرامون این موضوع را بیان می کند. صداهای ضبط شده از شلیک گلوله در شناسایی<sup>۲</sup> و تجسس و نیز مسائل جنائی کاربرد فراوانی دارد. تحلیل صداهای شلیک می تواند اطلاعاتی همچون سرعت گلوله، تعیین مسیر حرکت گلوله، تخمین موقعیت شلیک کننده و تشخیص نوع اسلحه را بدهد. با این وجود صداهای دریافتی و ضبط شده هنگام شلیک گلوله خالص نیست و حاوی نویزهای زمینه ای همچون انعکاس صداهای شلیک و دیگر صداهای محیط پیرامون است و باعث کم شدن ضریب اطمینان در تخمین میگردد. این مقاله با ایجاد شرایط مناسب در ضبط صدای گلوله، به تحلیل و شرح مشخصه های اصلی و محدودیت های این روش می پردازد.

### I. مقدمه

جرم و جنایت، تروریسم و اقدامات نظامی با سلاح گرم، باعث افزایش روز افزون نگرانی ها میان مامورین امنیتی و نظامی و مردم شده است. در رابطه با خواص صوتی<sup>۳</sup> شلیک گلوله، تجهیزات و سیستم های مختلفی تجاری سازی شده و به بازار عرضه گردیده است. از این تجهیزات می توان در شناسایی مشخصه های صوتی گلوله، طبقه بندی و تشخیص نوع اسلحه، ردیابی فرد تیرانداز و شناسایی محل تیراندازی استفاده نمود. میزان دقت این تجهیزات در تخمین نوع اسلحه و مشخصه های شلیک به شواهد آکوستیکی موجود وابسته است. بررسی شواهد صوتی نیازمند داشتن درک کاملی از مشخصه های صوت ناشی از شلیک و تاثیر عوامل بیرونی نظیر انعکاس صوت، جذب، شکست صوت در برخورد با زمین و پیرامون و مواردی از این دست می باشد.

### A. «انفجار ضربه ای در دهانه لوله تفنگ»<sup>۴</sup>

در یک تفنگ معمولی با استفاده از مقدار مشخصی باروت، نیروی پرتابی ایجاد می شود که موجب خارج شدن گلوله از دهانه تفنگ می گردد. صدای انفجار حاصل از شلیک این تفنگ به تمام جهات انتشار می یابد. اما بیشتر انرژی

<sup>1</sup> Gunshot

<sup>2</sup> Detecting

<sup>3</sup> Acoustic

<sup>4</sup> Muzzle Blast

صوتی رها شده به سمتی می‌رود که دهانه تفنگ نشانه رفته است. به این موج انفجاری و انرژی صوتی رها شده از دهانه اسلحه «موج انفجار ضربه‌ای دهانه اسلحه» گفته می‌شود و زمان آن کمتر از 3 میلی ثانیه می‌باشد. برای اندازه‌گیری این امواج از واحد متر بر ثانیه استفاده می‌شود (به طور مثال 343 متر بر ثانیه در دمای 20 درجه). این امواج ضربه‌ای صوتی پس از رها شدن با سطح زمین، موانع موجود در اطراف، «شیبهای بادی و دمایی»<sup>5</sup> و جاذب های اتمسفری برخورد می‌کند. سیگنالهای صوتی ضبط شده در نزدیکی دهانه لوله تفنگ کاملاً خالص است، در حالی که سیگنالهای ضربه‌ای دریافت شده حاصل از شلیک در فاصله دورتر، نامفهوم است و این نشان می‌دهد که موارد پیرامونی و انعکاس امواج روی سیگنال اصلی تاثیر دارند.

برخی از سلاحهای کمری و تفنگها را می‌توان مجهز به صدا خفه‌کن<sup>6</sup> نمود. صدا خفه‌کن باعث کاهش صدای شلیک اسلحه می‌شود، شعله دهانه را مهار می‌کند، احتمال شناسایی شدن را کاهش می‌دهد و همچنین از آسیب رسیدن به گوش جلوگیری می‌کند. سیستمهایی که از روش مبتنی بر صدای ضربه‌ای دهانه تفنگ برای شناسایی استفاده می‌کنند، بایستی احتمال استفاده از صدا خفه‌کن را در نظر داشته باشند.

## **B. صداهای مکانیکی**

صداهای مکانیکی بوجود آمده هنگام کار با بعضی سلاحها را می‌توان در امور شناسایی بهره برد، مانند صدای ماشه<sup>7</sup>، مکانیزم گلنگدن<sup>8</sup>، خارج کردن خشاب خالی و قراردادن خشاب پر و شارژ کردن گلوله در خشاب. البته فعل و انفعالات مکانیکی در یک اسلحه بسیار کم صداتر از صدای شلیک گلوله می‌باشد؛ از این روی این روش تنها زمانی موثر است که بتوان میکروفن را نزدیک اسلحه نصب نمود. به طور مثال با نصب یک سیستم شنود نزدیک فرد شلیک کننده، می‌توان این گونه اطلاعات را کسب کرد.

## **C. سامانه ها و اسلحه های مافوق صوت<sup>9</sup>**

<sup>5</sup> Wind Gradient and Temperature Gradient

<sup>6</sup> Suppressor

<sup>7</sup> Trigger

<sup>8</sup> Hammer mechanism

<sup>9</sup> Supersonic

سومین منبع دریافت اطلاعات سیگنالهای اکوستیک اسلحه‌ها، هنگامی است که گلوله با سرعت مافوق صوت در حرکت به سمت هدف باشد. عبور گلوله با سرعت مافوق صوت از میان هوا باعث ایجاد «موج ضربه‌ای به صورت مخروطی شکل در پشت گلوله»<sup>۱۰</sup> می‌شود.

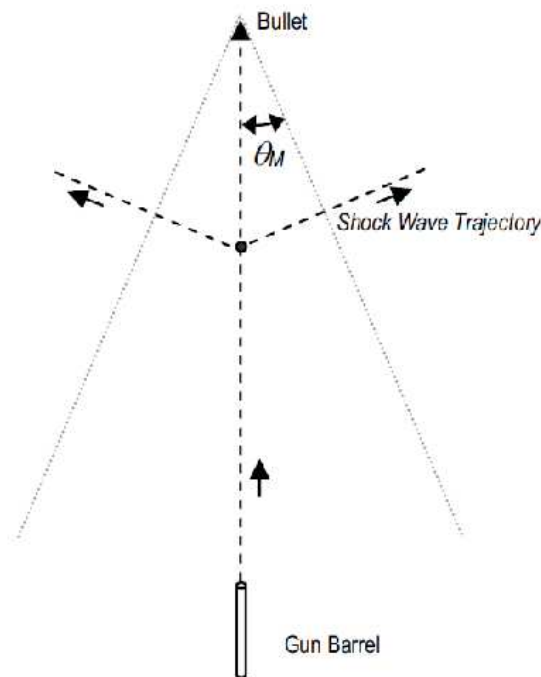
موج ضربه‌ای ایجاد شده در پشت گلوله به زاویه ماخ<sup>۱۱</sup> معروف است و مقدار آن با فرمول زیر به دست می‌آید.

$$\theta_M = \arcsin\left(\frac{1}{M}\right)$$

در فرمول فوق  $M$  عدد ماخ<sup>۱۲</sup> و برابر  $M=V/c$  می‌باشد.  $V$  سرعت گلوله و  $c$  سرعت صوت حاصله می‌باشد. سرعت صوت رابطه مستقیم با دمای هوا دارد و با افزایش دما، سرعت سیگنال صوتی نیز افزایش می‌یابد:

$$c = c_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

در فرمول فوق  $T$  دمای هوا بر مبنای درجه سلسیوس و  $c_0$  برابر 331 متر بر ثانیه در دمای صفر درجه می‌باشد. به ازای افزایش یک درجه دمای هوا، سرعت سیگنال به اندازه حدوداً 0/61 متر بر ثانیه افزایش می‌یابد.



<sup>10</sup> Shock wave

<sup>11</sup> Mach Angle

<sup>12</sup> Mach Number

شکل 1. هندسه‌ی موج شوک برای پرتابه فراصوت. زاویه‌ی ماخ  $\theta_M$  برای  $(V/c) \gg 1$  کوچک است و برای  $(V/c) \approx 11$  به 90 نزدیک است.

اگر سرعت گلوله به طور قابل توجهی از سرعت صوت بیشتر باشد، زاویه ماخ کم شده و موج ضربه‌ای تقریباً عمود بر مسیر حرکت گلوله انتشار می‌یابد. اگر گلوله نزدیک به سرعت صوت در حرکت باشد، زاویه ماخ به قائمه نزدیک شده و موج ضربه‌ای حاصل در پشت گلوله به صورت موازی مسیر حرکت گلوله منتشر می‌گردد

## D. ارتعاشات سطح<sup>۱۳</sup>

ارتعاشات اکوستیکی نیز می‌تواند در سطح زمین و یا سطوح سخت انتقال یابد. صدای شلیک اسلحه، انفجار توپ و صداهای شدید اینچینی باعث ایجاد سیگنالهای ارتعاشی می‌گردند که در سطح زمین و ده‌ها متر دورتر از محل شلیک قابل دریافت هستند. انتشار سیگنالهای اکوستیک در صخره‌ها و خاک، 5 برابر سریعتر از سرعت صدا در هوا است. نتیجتاً استفاده همزمان از ارتعاشات صوتی و سیگنالهای منتشر شده در فضا می‌تواند بسیار موثرتر باشد. به طور خلاصه سیگنالهای مطلوب صوتی که در امور شناسایی استفاده می‌شود عبارتند از صدای انفجار ضربه‌ای دهانه سلاح، امواج صوتی ضربه‌ای ناشی از حرکت مافوق صوت گلوله، صداهای مکانیکی اسلحه و ارتعاشات سطحی. برای دریافت مطلوب این سیگنالها بایستی سنسورها و میکروفن‌ها نزدیک محل شلیک و منبع تولید صدا نصب شوند.

## II. تحلیل صداهای ضبط شده هنگام شلیک گلوله

در این بخش مشخصات اکوستیکی یک اسلحه در حالت‌های مختلف اندازه‌گیری و مطابق با شکل‌های 2 تا 5 بررسی و تحلیل می‌شود. برای اندازه‌گیری از دو عدد میکروفن مدل (DPA 4003)، یک عدد پیش تقویت کننده مدل (HMA 5000) و یک دستگاه ضبط صدا با رزولوشن 16 بیت و نرخ نمونه‌گیری 48 کیلوهرتز استفاده شد. دو میکروفن در فاصله 30 سانتیمتری از هم و 1/6 متری از سطح زمین نصب شد.

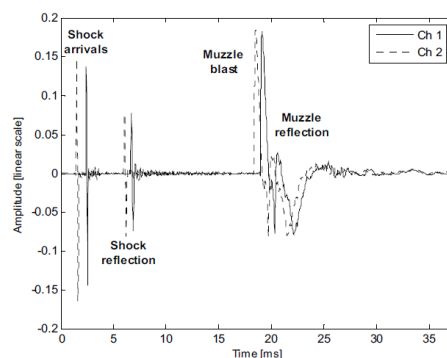
## A. مشخصه‌های صوتی اسلحه مورد آزمایش

شکل 2 منحنی اطلاعات صوتی اسلحه وینچستر مدل 308 را نشان می‌دهد که از فاصله حدوداً 9 متری به سمت میکروفن‌ها شلیک شده است. در این سلاح سرعت گلوله (V) 831 متر بر ثانیه، سرعت صوت (c) 328 متر بر ثانیه و دمای هوا 7- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. عدد ماخ  $M=2.54$  و زاویه ماخ 23/2 درجه می‌باشد.

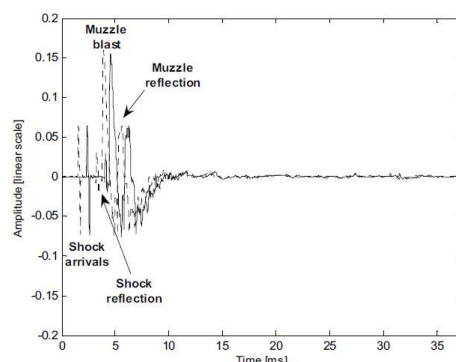
<sup>13</sup> Surface vibration

مطابق شکل 2 پس از شلیک ابتدا امواج صوتی ضربه‌ای پشت گلوله (shock wave) به میکروفن 2 و سپس با کمی تاخیر زمانی به میکروفن 1 می‌رسد. چون سرعت گلوله  $2/5$  برابر سرعت صوت است، سیگنال ضربه‌ای مخروطی حاصل از آن نیز زودتر از سایر سیگنالهای صوتی به میکروفن‌ها می‌رسد. سپس سیگنالهای بازتابی<sup>14</sup> (ناشی از برخورد سیگنالهای ضربه‌ای پشت گلوله با زمین) از سطح زمین به میکروفن‌ها می‌رسد. و در نهایت سیگنالهای صوتی حاصل از شلیک گلوله در دهانه لوله اسلحه (muzzle blast) و سیگنالهای انعکاسی آن به میکروفن‌ها می‌رسد.

شکل 3 منحنی آزمایش دوم را با همان اسلحه نشان می‌دهد. این بار اسلحه به صورت عمودی نسبت به دو میکروفن شلیک شد به طوری که گلوله از فاصله 8 متری میکروفن دوم عبور کند. چون فاصله محل شلیک و محل عبور گلوله نسبت به میکروفن‌ها اختلاف زیادی از هم ندارند، در نتیجه سیگنالهای دریافتی از طریق میکروفن‌ها نیز در منحنی به هم نزدیک است.



شکل 2. ثبت گلوله‌ی دو کاناله،  $M=2.54$ ، مسیر ناهموار به سوی میکروفن‌ها



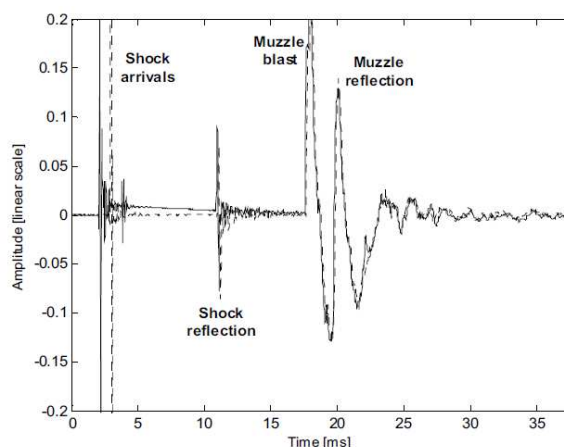
شکل 3. ثبت گلوله دو کاناله؛  $M=2.54$ ، مسیر عمودی، 8 متر انحراف

<sup>14</sup> Shock wave reflection

آزمایش سوم با همان اسلحه و مانند آزمایش دوم به صورت عمودی نسبت به دو میکروفن شلیک شد به طوری که گلوله این بار از فاصله کمتر از یک متری میکروفن اول عبور کرد. نتایج این آزمایش در منحنی شکل 4 نشان داده شده است.

همانطور که از منحنی شکل 4 مشخص است، سیگنالهای دریافتی از طریق میکروفن ها به علت نزدیک بودن به منبع صوت دارای دامنه بیشتر و واضح تر می باشند.

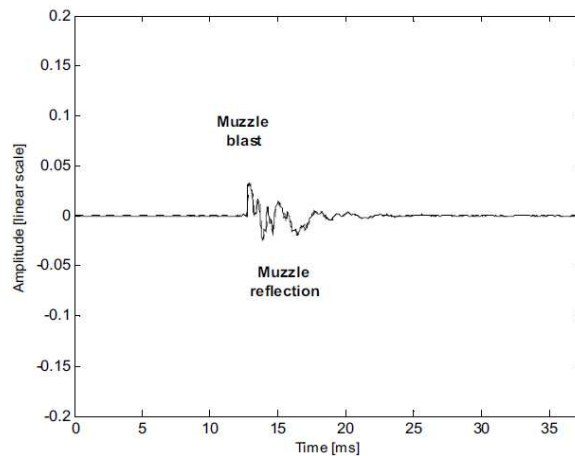
منحنی شکل 5 نتایج آزمایش چهارم را نشان می دهد. در این آزمایش اسلحه به هدفی دور از میکروفن ها شلیک شد. همانطور که ملاحظه می شود، سیگنالهای ضربه ای پشت گلوله توسط میکروفن ها دریافت نشده است و سیگنال صوتی دهانه اسلحه هم ضعیف و مبهم است.



شکل 4. ثبت گلوله دو کاناله،  $M=2.54$ ، مسیر عمودی کمتر از 1 متر انحراف

## B. مدل ساده هندسی

استفاده از یک مدل هندسی که در آن موقعیت شلیک کننده، محل عبور گلوله نسبت به میکروفن ها و سرعت و مسیر حرکت گلوله مشخص باشد، نتایج مثبتی را به همراه خواهد داشت. با اینکه در این آزمایش نرخ نمونه گیری از سیگنال، 48 کیلوهرتز (20/8 میکروثانیه) و قابل قبول بود، جهت دریافت و ضبط کامل و مناسب سیگنالها بهتر است از تجهیزات رکورد با نرخ نمونه گیری بالاتر استفاده شود.



شکل 5. ثبت شلیک گلوله دو کاناله،  $M=2.54$ ، مسیر مخالف (سر لوله تفنگ دورتر از میکروفون قرار گرفته است).

### III. تضعیف و بازتاب صوت

این بخش به طور خلاصه به عوامل فیزیکی و محیطی می پردازد که روی امواج تولید شده از شلیک گلوله تاثیر می گذارد. امواج حاصل از شلیک، مانند سایر امواج فیزیکی، هنگام انتشار انعکاس<sup>15</sup> می یابند؛ شکسته<sup>16</sup> می شوند؛ تحلیل می روند؛ جذب<sup>17</sup> می شوند و تغییر شکل می دهند.

در میکروفون و یا هر سنسور صوتی که نزدیک منبع صدا قرار دارد، ابتدا سیگنالهایی دریافت می شود که مستقیماً به سمت میکروفون می رود. بعد از آن سیگنالهای بازتابی و بخش شده در جهات دیگر به میکروفون می رسد. تجهیزات شناسایی و موقعیت یابی بایستی قابلیت تفکیک و تحلیل امواج خالص و اصلی با امواج ناخالص را داشته باشد. اگر این ویژگی در مشخصات دستگاه قید نشده باشد، بایستی میران کارایی و اطمینان به آن را تست نمود.

#### A. عوامل محیطی

موجی که از یک منبع صوت انتشار می یابد، در فاصله چندصد متری از منبع به خاطر شرایط جوی، برخورد با اجسام، موانع و سطح زمین دچار تغییرات زیادی می گردد. علاوه بر این شیبهای (گرادیانهای) بادی و دمایی و خاصیت جذب کنندگی اتمسفر هم روی موج تاثیر دارد. از آنجایی که شرایط محیطی از مکانی به مکان دیگر

<sup>15</sup> Reflection  
<sup>16</sup> Diffraction  
<sup>17</sup> Absorption



یکسان نیست، ارائه یک مدل ثابت و جامع برای محاسبه و تحلیل صوت نیز امکان پذیر نمی باشد. بنابراین لازم است که از مدل‌های تجربی در تحلیل رفتارهای محیطی برای صوت استفاده شود.

امواج در محدوده شنیداری را می توان با استفاده از معادلات خطی<sup>۱۸</sup> مدل سازی کرد، اما امواج حاصل از سرعت مافوق صوت گلوله رفتارهای غیرخطی<sup>۱۹</sup> از خود نشان می دهد. همچنین اثر نويز و سيگنالهای ديگر موجود در محیط، بایستی در معادلات و محاسبات لحاظ شود. امواج موجود در هوا به طور معمول از فرکانسهای زیر 10 هرتز الی 40 کیلوهرتز پراکنده هستند، یعنی از طول موج نزدیک به 34 متر (در فرکانسهای پایین) تا کمتر از یک سانتی متر (در فرکانسهای بالا) تغییر می کنند. این رنج وسیع طول موج در هوا بدین معنی است که تخمین درصد انحراف و جذب سیگنال به طور قابل ملاحظه ای به طیف منبع صوت بستگی دارد. دما و رطوبت نسبی می تواند در وضعیت سطوح صدا نقش مهمی داشته باشد. برف، باران و مه تاثیر چندانی در سطوح صوتی ندارند، اما به طور غیر مستقیم با ایجاد تغییرات دمایی، رطوبت و گرادیانهای بادی و دمایی، می توانند روی صوت تاثیر بگذارند. البته قطرات باران هم هنگام برخورد با زمین ایجاد نويز صوتی می نماید.

## **B. اثر باد**

جابجایی<sup>۲۰</sup> حجم هوا در اثر وزش باد موجب جابجایی موج در هوا می گردد. امواج ضربه ای دهانه اسلحه که به صورت کروی در فضا منتشر می شوند، هنگام وزش باد، بردارهای بادی جمع می گردد. امواج ضربه ای پشت گلوله نیز در هنگام وزش باد تغییر وضعیت می دهند. نتیجه اینکه اثر وزش باد روی امواج صوتی به صورت جابجایی موج می باشد.

## **C. اثر دما**

دمای هوا در اتمسفر به طور معمول یکنواخت<sup>۲۱</sup> نیست و باعث تغییرات متناوبی در امواج صوتی می شود (افزایش سرعت در هوای گرم و کاهش سرعت در هوای سرد). در طول روز به خصوص ایام تابستان دمای هوای نزدیک سطح زمین گرمتر از دمای سطح بالاتر است. این خاصیت دمایی باعث می شود که موج به سمت بالا خمیده شود. سرعت موج نیز در این وضعیت در سطح زمین زیاد و در ارتفاع کم می شود. و برعکس در زمستان و یا هنگام شب

<sup>18</sup> Linear

<sup>19</sup> Non-linear

<sup>20</sup> Moving

<sup>21</sup> Uniform

که دمای هوای سطح زمین کمی پایین تر از دمای هوای سطح بالاتر می شود، سیگنال صوتی به سمت پایین (سطح زمین) خمیده می شود. اثر همزمان گرادپانهای بادی و دمایی بر روی امواج صوتی می تواند روی تخمینها و محاسبات تاثیر منفی زیادی (در حدود 20 دسی بل و بیشتر) بگذارد.

#### **D. سطح زمین و موانع**

صداها حاصل از شلیک، هنگام انتشار در سطح زمین، با برخورد به موانع پراکنده، بازتابش و یا جذب می شوند و مقداری از انرژی خود را از دست می دهند. موانع صاف و صیقلی نسبت به موانع ناهموار مانند زمین صیقلی کاری، کمتر انرژی خود را از دست می دهند. امواج با فرکانس بالا (طول موج کم) نسبت به امواج با فرکانس پایین (طول موج زیاد) بیشتر تضعیف می شوند. اندازه گیری ها در مناطق جنگلی نشان می دهد که تضعیف و پراکندگی سیگنال صوتی در آن محیطها بیشتر است. همچنین قرار گرفتن مانع بین منبع صوت و سنسور دریافت سیگنال موجب بیشترین تضعیف در سیگنال صوتی است.

#### **E. اثر رطوبت**

«رطوبت نسبی»<sup>۲۲</sup> به علت داشتن «خواص گرمای مولکولی»<sup>۲۳</sup> باعث جذب انرژی صوتی می گردد. افزایش میزان رطوبت نسبی باعث تضعیف بیشتر موج می گردد. همچنین هر چه فرکانس صوت بیشتر باشد، تضعیف آن در محیط رطوبتی بیشتر است.

در مجموع باید خاطر نشان نمود که درجه اهمیت هر یک از موارد فوق به شرایط موجود بستگی دارد. به طور مثال برای یک منبع صوتی که سنسور آن در فاصله 25 متری قرار دارد، چون فاصله نزدیک است، متغیرهای محیطی می تواند لحاظ نشود و نادیده گرفته شود. درحالی که اگر فاصله زیاد می بود، این متغیرها و یا برخی از آنها در محاسبات لحاظ می شد.

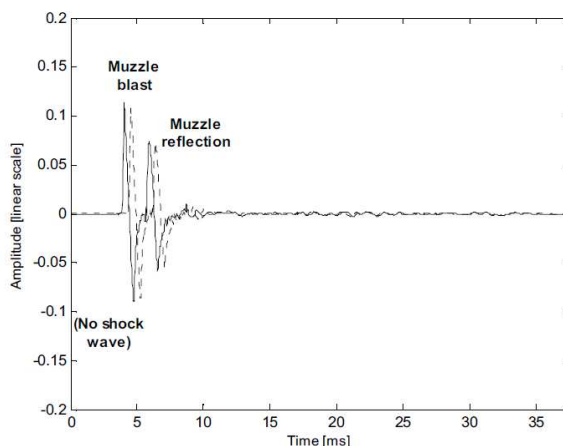
#### **IV. بررسی دیگر موارد کاربردی**

در یک اسلحه کمری و یا هر اسلحه ای با انرژی پرتابی پایین تر از سرعت صوت، فقط موج ضربه ای دهانه اسلحه (muzzle blast) ایجاد می شود (به علت پایین بودن سرعت گلوله، موج ضربه ای پشت گلوله (shock wave)

<sup>22</sup> Relative humidity

<sup>23</sup> Molecular thermal relaxation

ایجاد نمی شود). نتایج رکورد سیگنالهای یک اسلحه کمری (مانند HK USP، 40 smith، وسون، فدرال) در شکل 6 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، اسلحه فاقد امواج ضربه‌ای پشت گلوله است و نیز امواج ضربه‌ای دهانه تفنگ، از شدت و ماندگاری کمتری نسبت به اسلحه آزمایش شده در شکل‌های 2 تا 4 برخوردار است.



شکل 6. ثبت شلیک گلوله دو کاناله، پرتابه‌ی مادون صوت (انفجار دهانه‌ی لوله تفنگ و انعکاس؛ بدون موج

شوک)

از تفاوت اطلاعات به دست آمده از دو مدل اسلحه، می‌توان نتیجه گرفت که تحلیل این نوع سیگنالهای صوتی می‌تواند کاملاً در پرونده‌های جنائی و شناسایی اسلحه کاربرد داشته باشد. حتی ضبط وقایع از طریق تلفن پلیس (911) و یا هر دستگاه ضبط صوت معمولی می‌تواند کمک کننده باشد. البته کیفیت ضبط صوتهای معمولی چندان قابل اطمینان نیست. امواج ضربه‌ای تولید شده در پشت گلوله وقتی که خیلی دور و پراکنده می‌شوند، به علت نویزهای موجود در محیط، دیگر قابل شناسایی نیستند، مخصوصاً اگر محیط دارای موانع و تداخل امواج بی شمار باشد. در هر صورت این دو موج مهم که هنگام شلیک به وجود می‌آیند، با سایر امواج تداخل پیدا می‌کنند و ممکن است سیگنالهایی که دریافت می‌شود حاوی اطلاعات بیشتری از امواج پیرامون باشد تا اینکه اطلاعات مناسبی درباره اسلحه بدهد. هنوز یک سیستم کامل و جامع برای این منظور ارائه نگردیده است.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی