پژوهشی درباره

وسایل ایمنی و تسلیح

نوشته: علی احمدی

فهرست مطالب

دیباچه ۴

مقدمه ۵

فلسفه طراحی ایمنی وسایل ایمنی و تسلیح ۶

استاندارد MIL-STD-1316 ..... ۹

اصول کلیدی برای وسایل ایمنی و تسلیح ۱۱

زنجیره آتش ۱۳

آغازگر ولتاژ-پایین یا انرژی-پایین ۱۵

آغازگر ولتاژ-بالا یا انرژی-بالا ۱۶

زنجیره آتش مانع دار ۱۸

زنجیره آتش بدون مانع ۱۹

فیوز مسلح ۱۹

تاخیر تسلیح ۲۱

شکست تک نقطه ۲۲

شکستهای وضعیت مشترک ۲۳

ساخت افزار (firmware) ۲۴

محیطهای معتبر ۲۵

خنثی ۲۷

طراحی شکست ایمن ۳۰

مواد منفجره بوستر (تقویت کننده) و هادی ۳۰

ویژگیهای ایمنی ۳۲

ویژگی ایمنی مستقل ۳۶

سامانه ایمنی فیوز ۴۰

انواع سیگنالهای محیطی برای وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) ۴۳

تعریف فیوز ۵۲

سیر تاریخی و نسلهای گوناگون فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز) ۵۳

وضعیت سنجی فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز) ۵۷

روندهای علمی آماری و اقتصادی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح ۶۰

فناوری فیوز در اسناد راهبردی کشورها.....۶۹
متن کاوی مقالات پژوهشی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح با استفاده از نرم افزار VOSViewer.....۸۸
تحلیل ۱۰ مقاله اخیر فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح ۹۱
جمع بندی تحلیلی مقالات سالهای اخیر ۱۱۰
تحلیل ۱۰ ثبت اختراع اخیر فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح ۱۱۱
جمع بندی پژوهشی ثبت اختراعات سالهای اخیر در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوزها) ۱۲۱
مراجع.....۱۲۲

دیباچه

در این کتاب، پژوهشی در حوزه فناوری فیوزها و سازوکارهای ایمنی و تسلیح سرجنگیها و بمبها انجام شده است. در ابتدا، مفاهیم و ادبیات موضوع مورد بررسی قرار گرفته است. سیر تاریخی و نسلهای مختلف این فناوری ارایه شده و رویدادهای موثر بر توسعه فناوری مورد اشاره قرار گرفته است. سپس وضعیت محصولات فیوزها و سازوکارهای ایمنی و تسلیح در کشورهای مختلف جهان مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. انواع نمونه های خارجی به همراه کاربردهای آنها در جنگهای مختلف، مورد مطالعه قرار گرفته است. فیوزها و سازوکارهای ایمنی و تسلیح، اگرچه جزو تجهیزاتی هستند که دارای طبقه بندی نظامی بوده و رسما اطلاعات اندکی درباره آنها از سوی سازندگان ارایه شده است، ولیکن به دلیل حجم و گستردگی کاربرد آنها در جنگهای مختلف طی ۷۰ سال اخیر، و نیز عدم عملکرد تعداد قابل توجهی از آنها، عکسها، تصاویر، توضیحات و تحلیلهای نسبتا مفصلی درباره آنها در منابع وجود دارد.

سپس جایگاه این فناوری در اسناد راهبردی کشورهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. اگرچه اطلاعات اندکی در این زمینه وجود دارد، ولیکن از شواهد و کاربردهای این تسلیحات در نبردهای سالهای گذشته تا کنون، می توان روند توسعه آنها در آینده را نیز پیش بینی نمود. محتوای مقالات پژوهشی در این حوزه با استفاده از نرم افزار VOSViewer مورد مطالعه متن-کاوی قرار گرفته و نتیجه آن ارایه شده است. نتایج تحلیلهای آینده پژوهی مقالات و ثبت اختراع های اخیر نیز ارایه شده است. در پایان نیز نمودار زمانی فناوری و قابلیت ترسیم شده است. ضمن بیان فرصتها و تهدیدها در این حوزه، یکسری پیشنهادهای اجرایی و مطالعاتی نیز بیان خواهد شد.

اساسا نخستین کاربرد فناوری فیوزها و سازوکارهای ایمنی و تسلیح به زمان جنگ جهانی اول و حتی پیش از آن برمی گردد. طرفهای درگیر در جنگ به ویژه آلمانی ها و انگلیسی ها در جنگ جهانی اول از این فناوری بهره گرفته و با توجه به تاثیر مثبت آن در کاهش تلفات نیروهای خودی و جلوگیری از بروز حوادث ناخواسته و نیز تاثیر آن در افزایش اثربخشی مهمات، پس از جنگ، توسعه این فناوری در دستور کار کشورهای پیشرفته قرار گرفت. ابتدا فیوزهای بسیار ساده با ضامن ایمنی دستی توسعه داده شد تا به این ترتیب، ایمنی سلاح در فرآیندهای حمل و نقل، انبارداری و عملیات، افزایش یابد. در گام بعدی، توسعه فیوزهای پیچیده تر و پیشرفته تر با قابلیت ایمنی بالاتر، و نیز قابلیتهایی نظیر عملکرد زمانی یا تاخیری در دستور کار قرار گرفت. این فیوزها اگرچه عمدتا به صورت مکانیکی یا پیروتکنیکی عمل می کردند تاثیر چشمگیری در افزایش اثربخشی تسلیحات داشتند. به تدریج فیوزهای پیچیده تر از قبیل فیوزهای زمانی مکانیکی، فیوزهای ارتفاع سنج فشاری، فیوزهای ارتفاع سنج رادیویی و غیره نیز توسعه داده شدند.

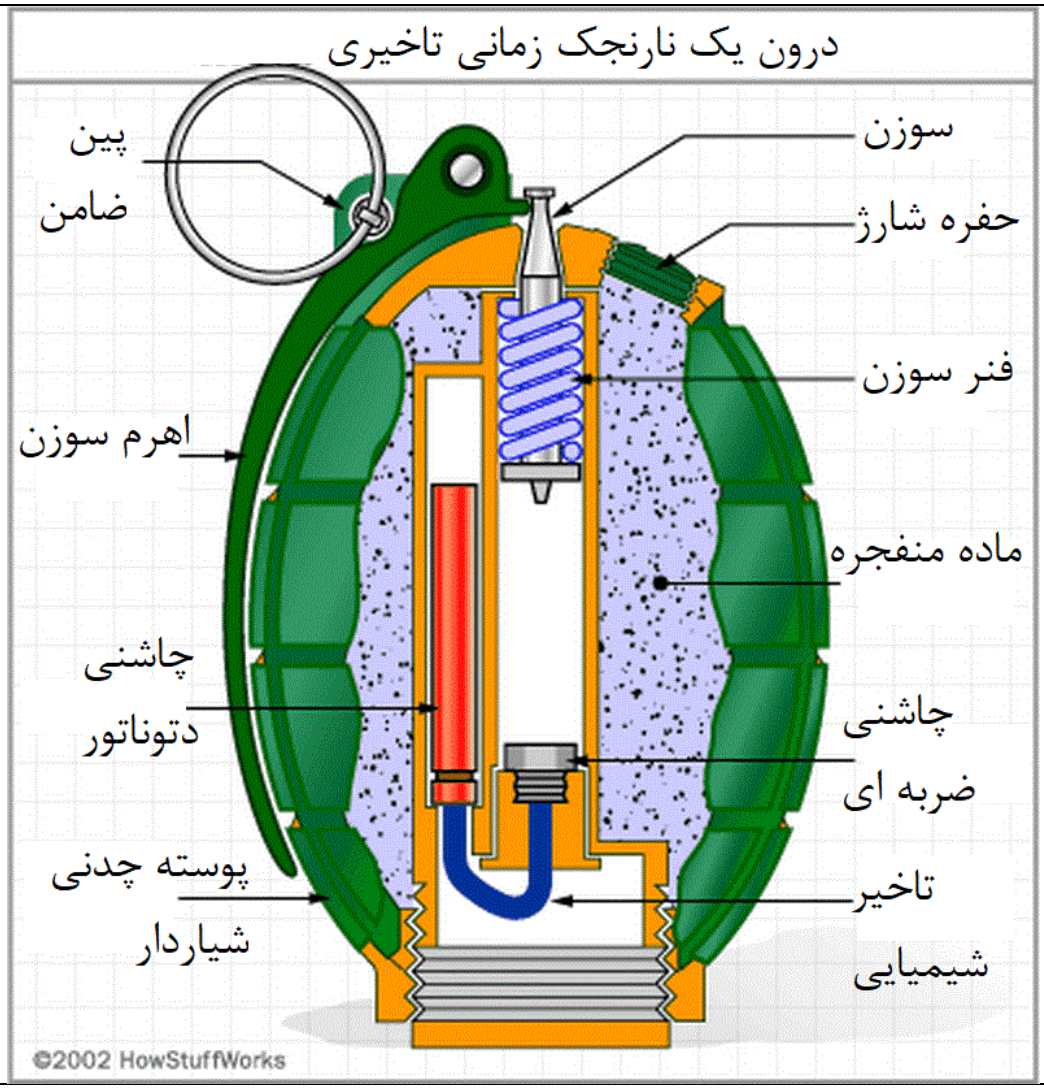
پس از آن، با توجه به حوادثی که در صحنه های نبرد یا مانور برای نفرات نیروهای خودی به وجود آمده بود، استانداردها و معیارهای طراحی، تولید و آزمون فیوزها نیز تکامل پیدا کرد. مفاهیمی چون استفاده از دو شرط ایمنی مستقل محیطی برای مسلح شدن فیوز، پرهیز از عوامل شکست مشترک در فیوزها، استفاده از سازوکارهای

خود-خنثی-ساز در فیوزها در شرایط عدم عملکرد سلاح یا خود-ترکان در شرایط انحراف سلاح از مسیر مورد نظر، همگی جزو مواردی بودند که به عنوان الزامات استاندارد در توسعه سازوکارهای ایمنی و تسلیح مورد توجه قرار گرفتند و در این کتاب به این مباحث پرداخته شده است.
با توسعه فناوریهای الکترومکانیک و الکترونیک، فیوزهای الکترومکانیکی و فیوزهای تمام الکترونیک یا اصطلاحا ESAD جز مراحل تکاملی فیوزها محسوب می شوند. جهش فناوری بعدی در این زمینه، استفاده از فناوریهای سامانه های میکرو الکترومکانیک (MEMS) در توسعه سازوکارهای ایمنی و تسلیح بود. استفاده از فناوریهای الکترونیکی و مِمز در فیوزها سبب شده ضمن هوشمند شدن فیوزها و چندمنظوره شدن آنها برای استفاده در تسلیحات مختلف یا افزایش قابلیتهای سلاح علیه اهداف گوناگون، وزن و قیمت تمام شده آنها نیز کاهش پیدا کند. فیوزهای مِمز و ESAD از حجم و ابعاد بسیار کوچکی برخوردار بوده و کاربرد ویژه ای در تسلیحات نوین و هوشمند پیدا کرده اند و کار توسعه بر روی آنها همچنان ادامه دارد.
با توسعه مهمات نقطه زن و هوشمند و کاهش تعداد مهمات شلیک شده علیه یک هدف، ضرورت افزایش قابلیت اطمینان عملکرد فیوزها بیش از پیش احساس می شود. از بررسی مقالات، و ثبت اختراعات می توان دریافت که برای دستیابی به فیوزهای با قابلیت اطمینان های ایمنی و عملکرد بالا، توسعه فناوریهایی مانند اجزای هدایت و کنترل کوچک شده و مینیاتوری، فیوزهای MEMS، استفاده از چاشنی های با جریان ایمنی بسیار بالا، بهره گیری هرچه بیشتر از فناوریهای الکترونیک و ریزپردازنده ها، افزایش طول عمر عملیاتی و انبارداری فیوزها و غیره، مورد توجه کشورهای توسعه یافته قرار گرفته است. به هر حال، باید توجه کرد که این تصور که فیوزهای مکانیکی در آینده جایگاهی در تسلیحات نظامی کشورها نداشته باشند، تصور صحیحی نیست. فیوزهای مکانیکی به عنوان تجهیزات انفجاری ساده و با قابلیت اطمینان ایمنی بالا به عنوان تجهیزاتی کارآمد و اثربخش، همچنان جایگاه خود را در نبردهای آینده حفظ خواهند کرد، با این تفاوت که از فناوریهای کوچک سازی، و یا با ترکیب سیستمهای الکترونیک بهره خواهند برد.

مقدمه

هدف از این کتاب، مستندسازی اصولی است که توسط طراحان فیوز در بخش تسلیحات مرکز جنگ افزارهای هوایی نیروی دریایی (NAWCWD)، واقع در دریاچه چین، در ایالت کالیفرنیا، به مدت بیش از ۳۰ سال در ایجاد وسایل ایمنی برای سرجنگی ها در موشکها و تسلیحات سقوط آزاد، به کار رفته است. با ادامه کاهش سرمایه گذاری در آزمایشگاه ها برای پروژه های توسعه وسایل ایمنی و تسلیح، برای مهندسین تازه کار در دریاچه چین به منظور آموزش اصول طراحی به صورت عملی، فرصت کمتری فراهم شده است. این اصول، یک شبه توسعه پیدا نکرده، بلکه مبتنی بر نتایج سالها تجربه است. روند کنونی وسایل ایمنی و تسلیح مکانیکی تا الکترونیکی، اهمیت

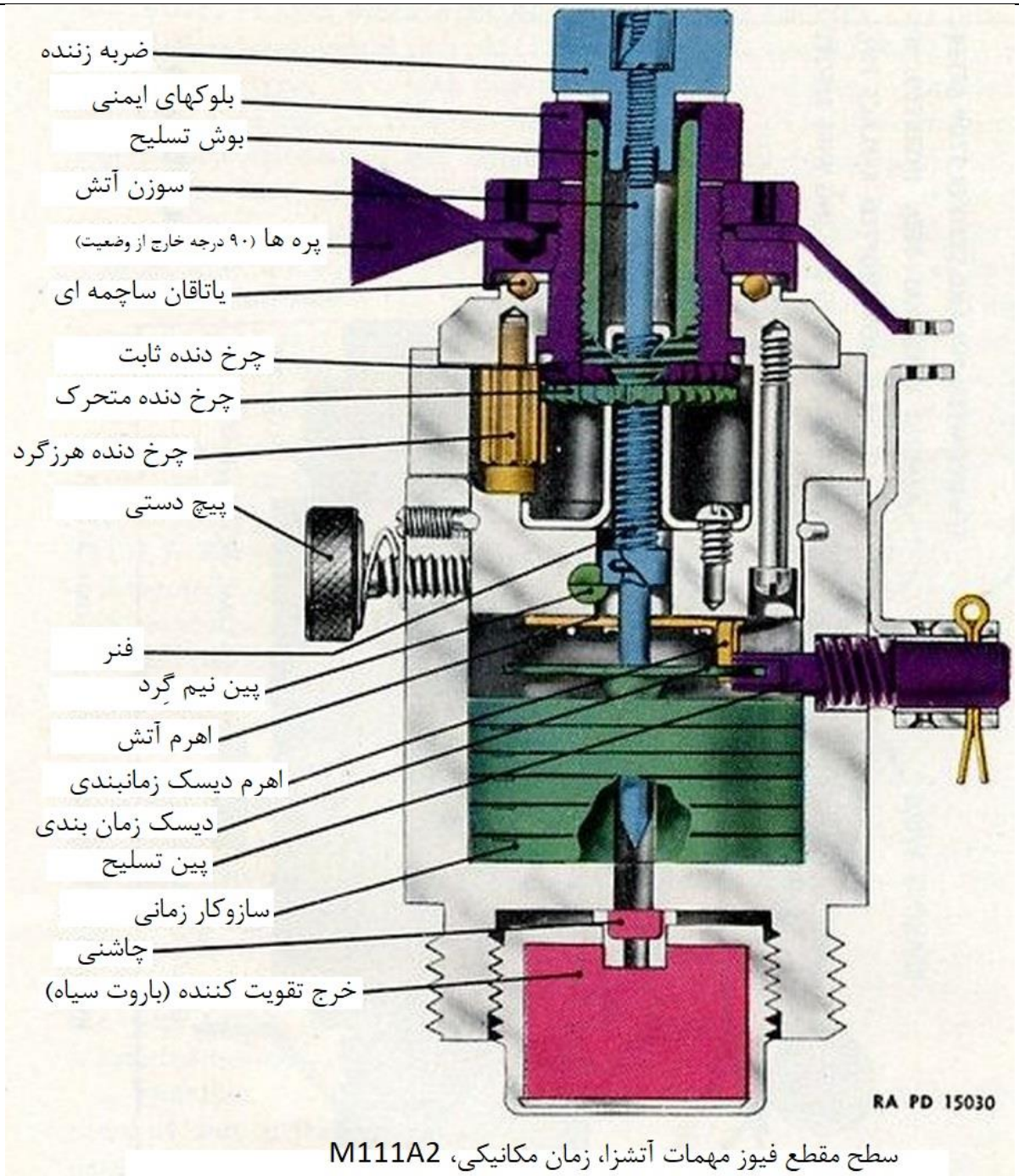
استفاده از اصول پایه برای توسعه روشی که ایمنی سامانه های جدید را تضمین کند، را دو چندان می کند. اگر نیاز واقعی برای بهبود ایمنی سامانه های تسلیحات انفجاری وجود نداشت، وسایل ایمنی و تسلیح هم وجود نداشت. بنابراین، تا حد زیادی، نقش مهندس وسایل ایمنی و تسلیح، حمایت از ایمنی است که باید این اصول را به درستی درک کرده، آنها را به کار گیرد، و در ارتباط با دیگر توابع طراحی، آنها را تبیین کند.



شکل ۱ تصویر یک نارنجک دستی از نوع زمانی تاخیری و ایمنی و تسلیح آن. سامانه ایمنی و تسلیح نارنجک، مشمول الزامات استاندارد MIL-STD-1316 نمی باشد.

فلسفه طراحی ایمنی وسایل ایمنی و تسلیح

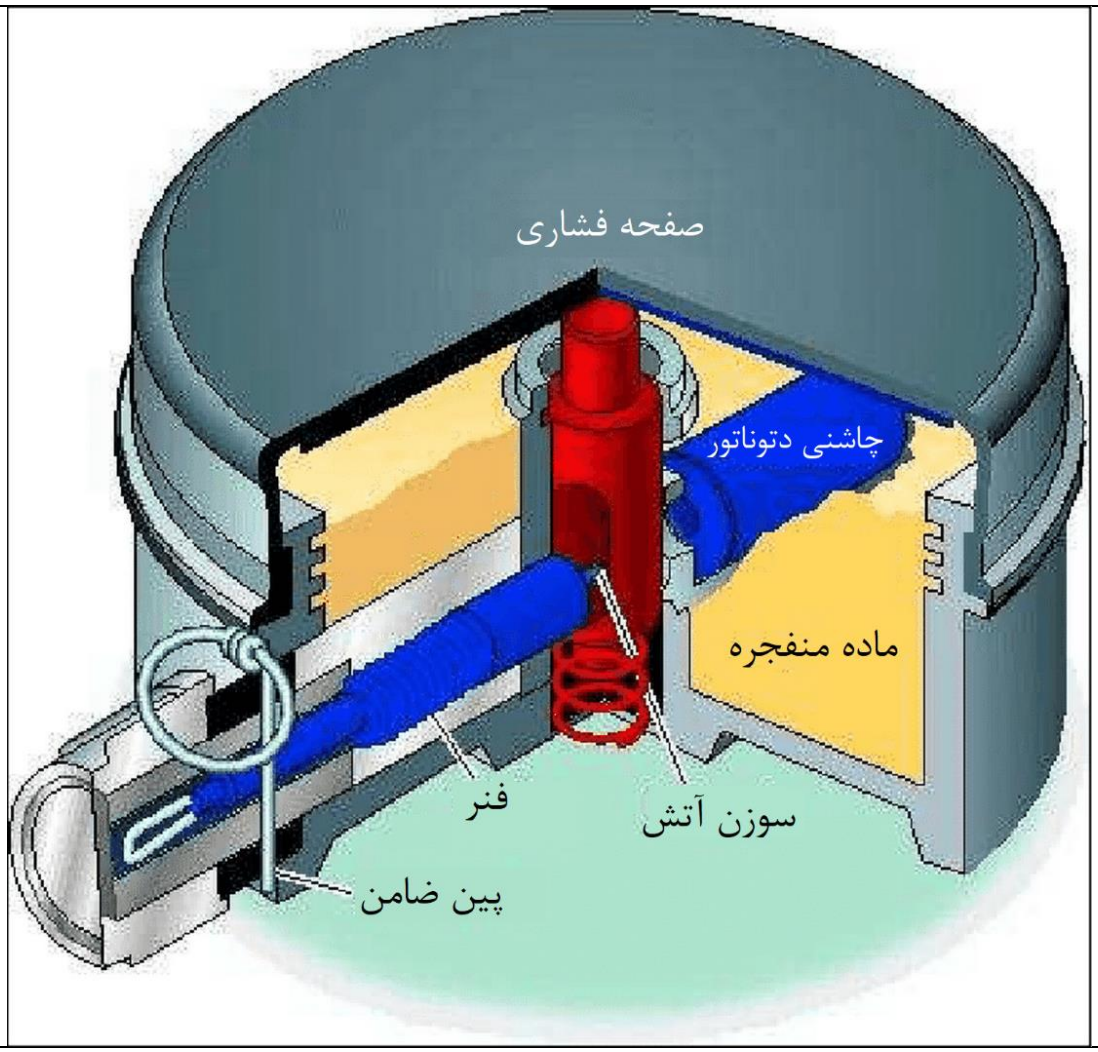
فلسفه زیربنا، در به کارگیری الزامات ایمنی طراحی وسایل ایمنی و تسلیح، بسیار محافظه کارانه است. این رویکرد با دو عامل تحمیل می شود:



شکل ۲ تصویر مقطع برش خورده فیوز مهمات آتشزا، از نوع زمانی مکانیکی، M111A2.

۱) پیامدهای بسیار شدید مربوط به شکستهای ایمنی؛

۲) دشواریها در تعیین این که چه نرخ شکست ایمنی – با اطمینان کافی – برای هر سامانه مشخص وجود دارد، در حالی که همه سناریوهای ممکن از تولید تا اصابت به هدف و نیز حوادث و صحنه نبرد را دربرگیرد.
منظر اخیر، پیامد طبیعی احتمالات بسیار اندکی است که برای شکستهای ایمنی، قابل پذیرش در نظر گرفته می شود – معمولا دو تا سه مرتبه کمتر از آنچه که برای شکستهای قابلیت اطمینان درنظر گرفته می شود. فعالیتهای طراحی عادی از منظر طراحی ایمنی، غالبا غیرقابل قبول می باشند.



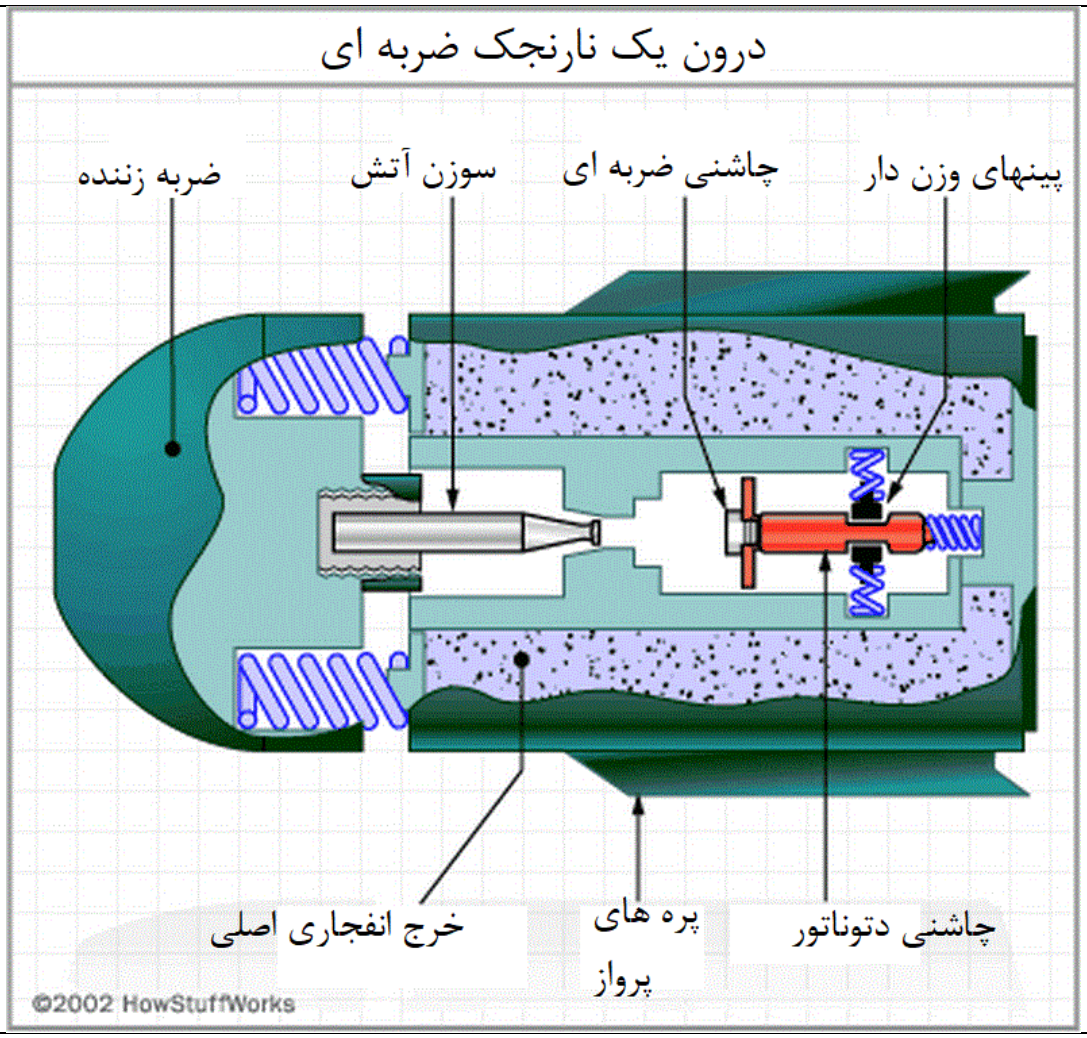
شکل ۳ تصویر طرحوار مقطع برش خورده مین ضدنفر و سامانه ایمنی و تسلیح آن.

این عوامل، منجر به رویکرد محافظه کارانه در توسعه و به کارگیری الزامات ایمنی شده است. از اینرو، به جای پذیرش یک روش مصلحتی که نمی توان ایمنی آن را اثبات کرد، این تصمیمات، مبتنی بر ایمن ترین روش کاربردی است. در فرآیند طراحی ایمنی، تصمیم گیری و نظم قابل توجهی مورد نیاز است. الزامات طراحی و راه حلهایی که برای کاربردی که شامل قیود الزامات عملکردی یا محدودیتهای محیطی است، قابل قبول است، ممکن

است در دیگر کاربردها قابل پذیرش نباشد. این واقعیت که ناسازگاریهایی در راه حلهای طراحی ایمنی قابل پذیرش از یک کاربرد تا کاربرد دیگر رخ می دهد، با فلسفه طراحی ایمنی محافظه کارانه، سازگار است. متاسفانه به کارگیری این فلسفه در محیط توسعه سلاح امروزی، دشوار است. هدف از این سند، شناسایی و شفاف سازی اصول طراحی ایمنی است که این فلسفه را همراهی می کند و به عنوان کمکی در کاربردهای آتی آنها به کار می رود.

استاندارد MIL-STD-1316

استاندارد MIL-STD-1316 [۱] الزامات طراحی ایمنی برای فیوزها و وسایل ایمنی و تسلیح که زیرسامانه های فیوزها هستند را توصیف می کند. اگرچه این استاندارد به موضوعات قابلیت اطمینان نمی پردازد. در حالی که استاندارد MIL-STD-1316 از عبارت فیوز در سرتاسر سند آن استفاده می کند، الزامات طراحی آن تنها درباره وسیله ایمنی و تسلیح به کار می رود، که در کاربردهایی که در آن، عملکرد تشخیص هدف، در وسیله ایمنی و تسلیح وجود دارد، همان فیوز می شود. الزامات ایمنی طراحی MIL-STD-1316 معمولا درباره عملکرد تشخیص هدف به کار نمی رود. به علاوه، استاندارد MIL-STD-1316 روشی که وسیله ایمنی و تسلیح باید طراحی شود را تحمیل نمی کند، اما مجموعه ای تکمیلی از الزامات طراحی کلی و خاص را ارایه می کند که باید از آنها پیروی کرد. در جایی که امکان دارد، الزامات کلی، انعطاف پذیری در رویکرد طراحی را امکان پذیر می کند، در حالی اطمینان لازم در بازنگری مناسب هر طرح را فراهم می کند. مثالی از آن، الزام برای تعیین نرخهای شکست سامانه ایمنی است که باید از طریق تحلیلهای ایمنی، پیش بینی شود. پیش از آغازش تعمدی توالی تسلیح، نرخ شکست سامانه ایمنی، نباید بیش از یک شکست برای پیشگیری از تسلیح یا عملکرد در یک میلیون حالت شود.



شکل ۴ تصویر یک نارنجک ضربه ای از نوع مسلح شونده با شتاب گریز از مرکز ناشی از دوران و سامانه ایمنی و تسلیح آن.

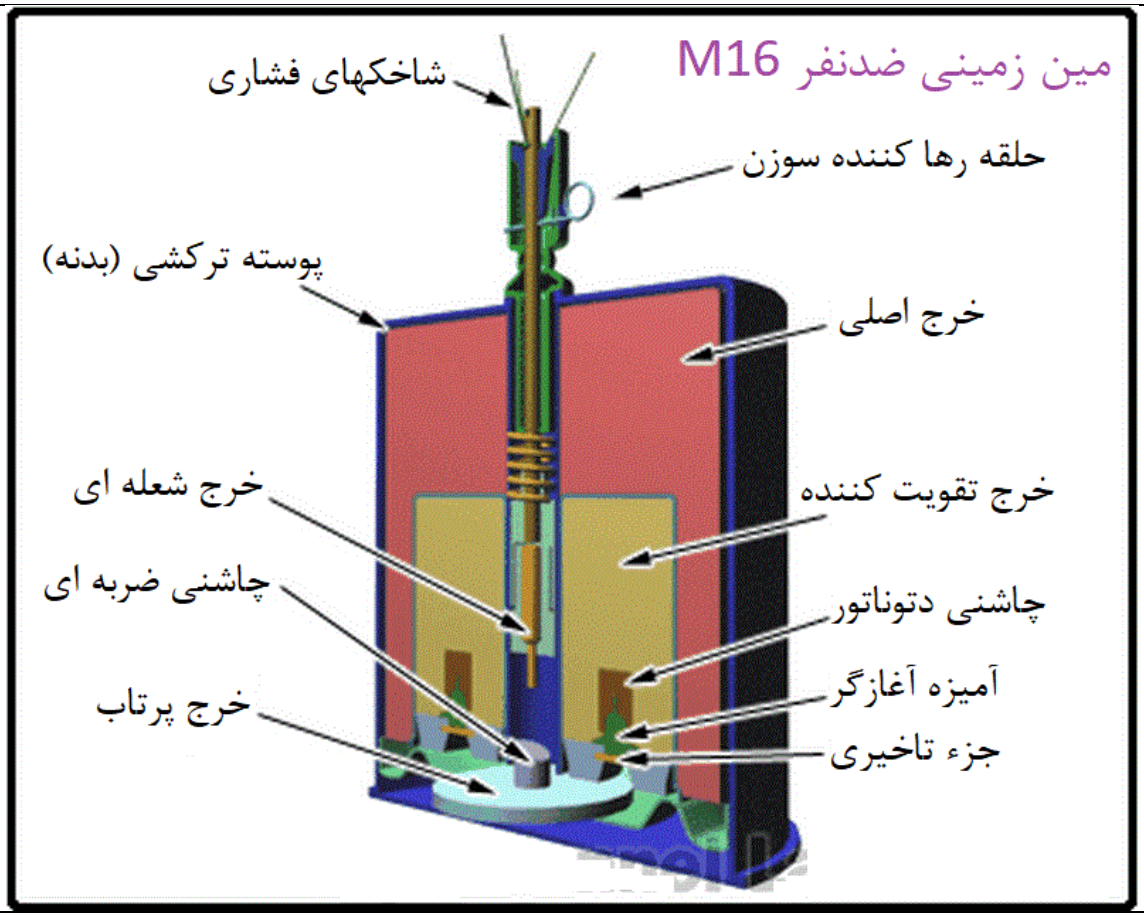
اگرچه این الزام که گستره کاربرد زیادی دارد، رویکرد طراحی را به همراه ندارد. زیرا با وجود این که برخی موضوعات در تعیین این که وسیله ای این معیار را برآورده می کند یا نمی کند، وجود دارد، اما مسایل دیگری را نیز باید مورد بررسی قرار داد تا اطمینان حاصل کرد که طراحی به اندازه کافی، ایمن است. الزامات ایمنی، مخصوص نواحی بحرانی ایمنی هستند. برای مثال، الزامات حساسیت ماده منفجره برای مواد منفجره هادی و بوستر، آن قدر مفصل اند که در استاندارد نظامی دیگری به آنها پرداخته می شود. این رویکرد مکمل، توازنی میان تحمیل الزامات طراحی ایمنی بنیادین و اعطای اختیار مورد نیاز به طراحان فیوز را فراهم می کند. این رویکرد صحیح، بیانگر سالها تجربه انباشته افراد در جامعه فیوزکاران است. از اینرو، هرگونه انحراف از این رویکرد باید با دقت و هوشیاری بسیار بالایی همراه باشد و باید تنها با اثبات صحه گذاری شده ایمنی روش جدید همراه باشد.

اصول کلیدی برای وسایل ایمنی و تسلیح

عبارات و تعاریف متداول زیر در طراحی وسیله ایمنی و تسلیح به کار می رود. علاوه بر این، ملاحظات کلیدی و اصول کاربردی نیز بیان شده است.

وسیله ایمنی و تسلیح

وسیله ایمنی و تسلیح، وسیله ای است که در فرآیندهای حمل و نقل، به کارگیری، و انبارداری، مانع از مسلح شدن بخش مهمات یک سلاح می شود. همچنین، این وسیله، پس از حس کردن برآورده شدن مجموعه ای از شرایط از پیش تعیین شده، در زمان مناسب، بخش مهمات سلاح را مسلح می کند. وسیله ایمنی و تسلیح منجر می شود که هنگامی که مهمات حس می کند که به هدف اصابت می کند، یا به مجاورت نزدیک آن می رسد، مواد شدیدالانفجار، منفجر می شود.

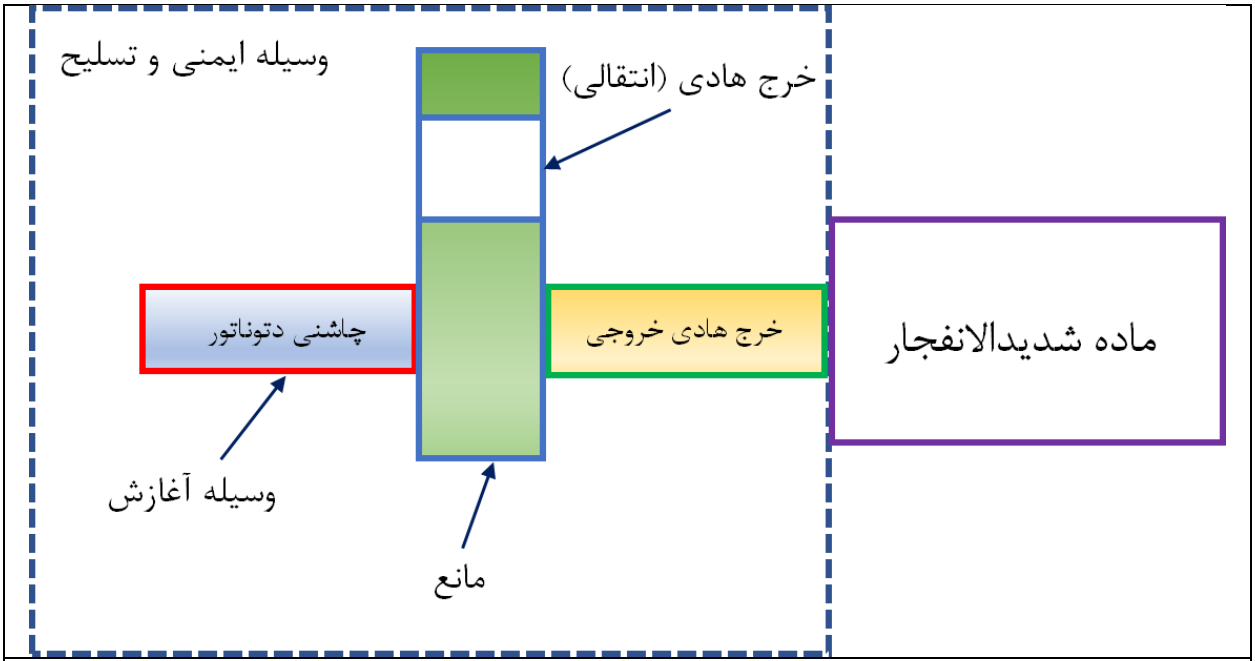


شکل ۵ تصویر طرحوار برش خورده مین زمینی ضدنفر M16 و سامانه ایمنی و تسلیح آن.

وسیله ایمنی و تسلیح گاهی دو الزام متناقض را ایجاب می کند که چالشهای طراحی ایجاد می کند که از این منظر با دیگر اجزای سامانه سلاح متفاوت است – نرخ شکست ایمنی بسیار پایین (بیش از 1e-6 نباشد) و مقدار قابلیت اطمینان بسیار بالا (تا ۰.۹۹۵ در سطح اطمینان ۹۰ درصد). معمولا، ایمن تر کردن وسیله ایمنی و تسلیح، قابلیت اطمینان آن را افزایش می دهد و بالعکس. علاوه بر این، الزامات ایمنی وسیله ایمنی و تسلیح، منحصر به فرد است، چرا که پیش از قرارگیری وسیله ایمنی و تسلیح بر روی بخش مهمات سلاح، به نحو کافی، ایمن بودن آن باید اثبات شود.

یک نکته کلیدی که باید هنگام کار با همه تجهیزات انفجاری به خاطر داشت آن است که مواد منفجره، ذاتا خطرناک اند. کارکرد وسیله ایمنی و تسلیح، کاهش خطرات مرتبط با آغازش مواد منفجره (تا سطح قابل قبول) است. این هدف با مجزا کردن تحریک آغازش از مواد منفجره ثانویه غیرحساس در زمانی که وسایل یا افرادی در محدوده خطر قرار دارند، تامین می شود. سطح قابل قبول خطر، آغازش ناخواسته انفجار در یک در میلیون حالت، تعیین شده است. تحریکهای آغازش می تواند گرما، نور، الکتریسیته ساکن، یا هر سازوکار دیگری که انرژی کافی برای آغازش مواد منفجره را منتقل کند، باشد. شکل ۶ مثالی از یک وسیله ایمنی و تسلیح را نشان می دهد که در آن، تحریک شوک آغازش، با چاشنی دتوناتور نسبتا حساس فراهم می شود. یک مانع مکانیکی، که در حالت ایمن بودن وسیله ایمنی و تسلیح، موج شوک انفجار را مسدود می کند، این مجزا کردن را ایجاد می کند.

اصل کلیدی دیگر در طراحی وسیله ایمنی و تسلیح آن است که این وسیله باید به عنوان یک قلم پیکربندی مجزا در نظر گرفته شود. دلایل متعددی برای این رویکرد وجود دارد. چالشهای طراحی مرتبط با الزامات متناقض، معمولا منجر به چندین مصالحه در راه حلهای طراحی می شود. به علاوه، توانایی برای یافتن راه حل مناسب، هنگامی که قیود مربوط به کارکردهای اضافی در نظر گرفته می شود، تقریبا به طور نمایی کاهش می یابد. این شرایط برای هرگونه طراحی که قیود زیادی داشته باشد، صادق است. همچنین، در نظر گرفتن دیگر کارکردها در طراحی، با کارکردهای وسیله ایمنی و تسلیح، آمیخته می شود که توجیه و نگه داشتن مراقبت مربوط به رویکرد محافظه کارانه را دشوار می کند.



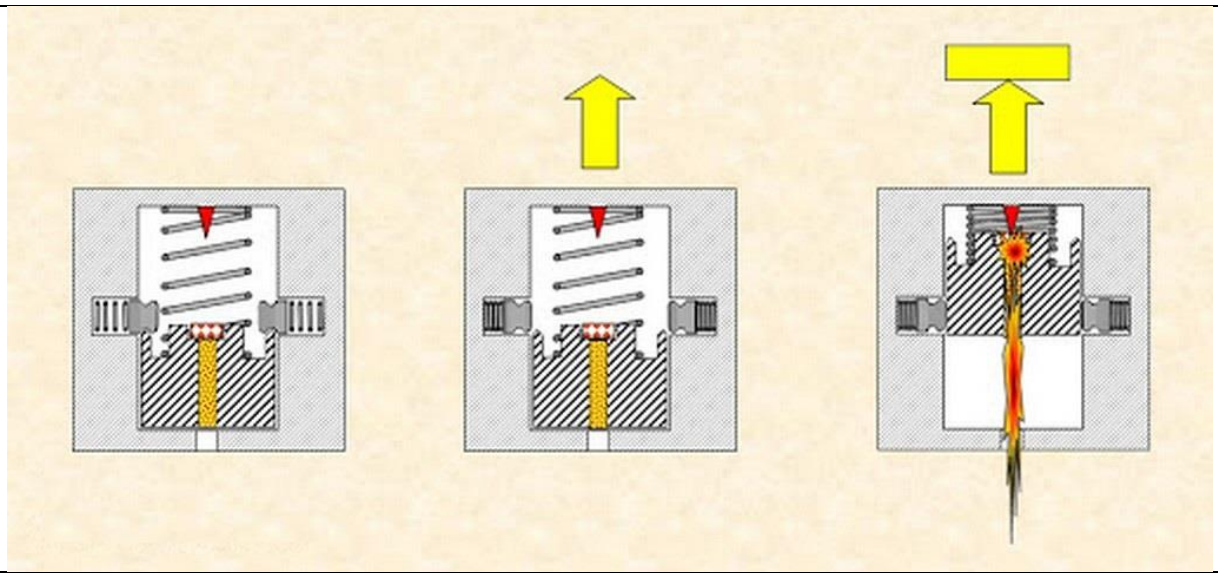
شکل ۶ وسیله ایمنی و تسلیح

زنجیره آتش

زنجیره آتش، زنجیره انفجار یا سوزش است که با نخستین جزء انفجاری آغاز می شود و به خرج اصلی منتهی می شود. به بیان دیگر، زنجیره آتش، بخشی از وسیله ایمنی و تسلیح است که موج انفجار را از حساس ترین جزء انفجاری (معمولا چاشنی دتوناتور) به غیرحساس ترین جزء انفجاری (معمولا سرجنگی) منتقل می کند. پرسش مهم این است:

«نخستین جزء انفجاری چیست؟»

برای یک وسیله ایمنی و تسلیح متداول با چاشنی دتوناتور سیم داغ، که با ماده منفجره اولیه، بسته بندی شده است، پاسخ، تقریبا ساده است – دتوناتور، نخستین جزء انفجاری است. این تشخیص، در صورتی که جزء آغازش برای زنجیره از بیش از یک مولفه تشکیل شده باشد، دشوارتر می شود. بنابراین، در تلاش برای ساده کردن این مساله برای همه کاربردها، حساس ترین جزء انرژی دار در زنجیره آتش، به عنوان نخستین جزء در زنجیره آتش، تعریف می شود. شکل ۶ یک زنجیره آتش را نشان می دهد. نخستین جزء انفجاری در این زنجیره، دتوناتور است. سایر اجزا در زنجیره، خرج هادی انتقالی (که هنگامی که وسیله ایمنی و تسلیح در وضعیت ایمن است، بیرون از خط همراستا است و هنگامی که وسیله ایمنی و تسلیح مسلح است، همراستا است)، خرج هادی خروجی، و مواد شدیدالانفجار، می باشند.

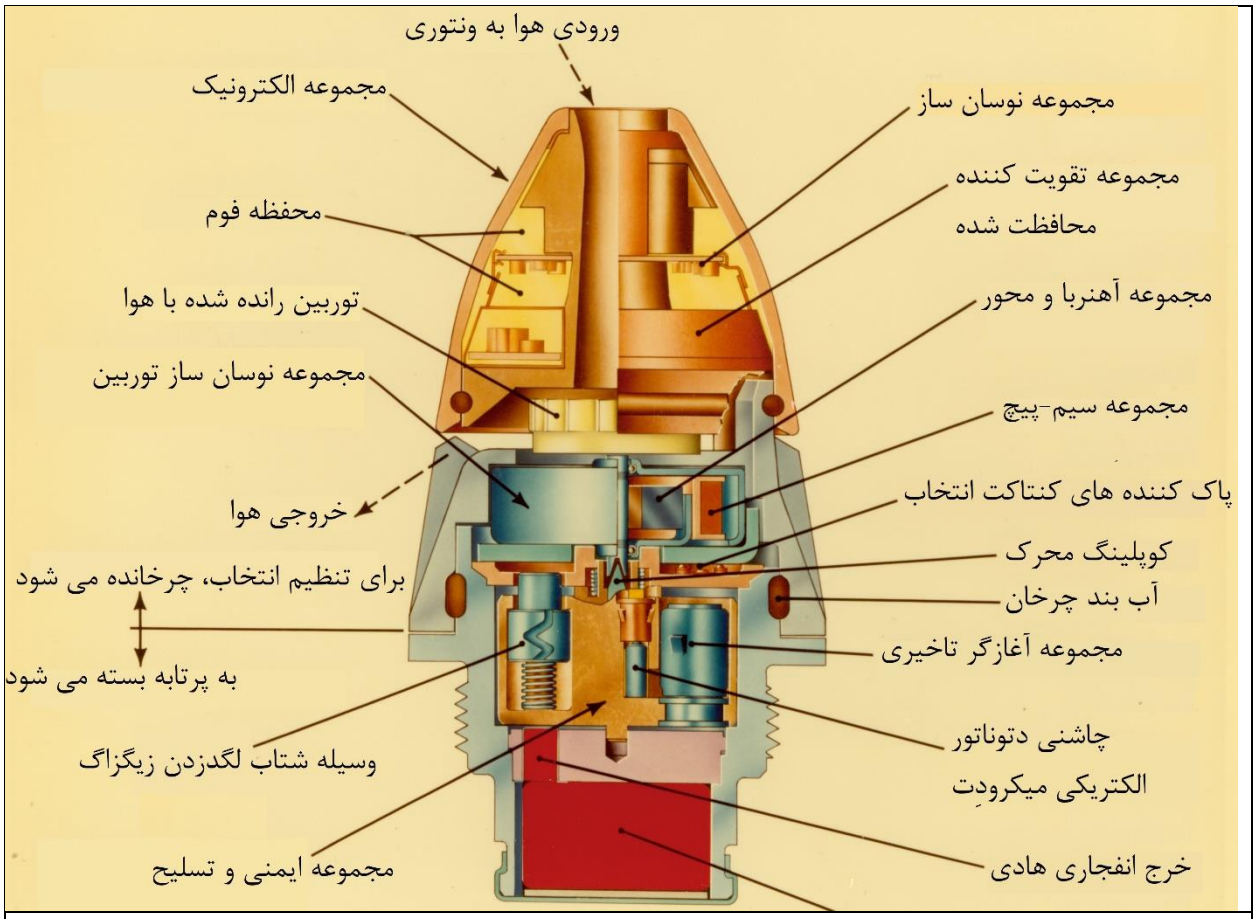


شکل ۷ مراحل گوناگون تسلیح و آتش یک زنجیره آتش مسلح شونده با شتاب گریز از مرکز

آغازگر، جزء یا اجزایی است که انرژی شلیک (الکتریکی، مکانیکی، یا اپتیکی) را به موج انفجار تبدیل می کند که انفجار یا سوزش زنجیره آتش را آغاز می کند. آغازگر، وسیله ای است که قادر است مستقیما منجر به عملکرد زنجیره آتش شود. در حالتی که تبدیل انرژی به لحاظ فیزیکی در مولفه ای متفاوت از جزء نخست رخ دهد، همه اجزای تبدیل انرژی، نخستین جزء انفجاری، و هر اتصالی میان آنها، به عنوان بخشی از آغازگر درنظر گرفته خواهد شد. نخستین جزء انفجاری زنجیره آتش، همواره به عنوان بخشی از آغازگر درنظر گرفته می شود. به بیان دیگر، تنها مسئولیت آغازگرها در وسیله ایمنی و تسلیح، تبدیل انرژی ورودی مناسب به آتش و آغاز تدریجی عملکرد افزایش انرژی است که منجر به عملکرد سرجنگی در سامانه سلاح خواهد شد. به بیان الزامات ایمنی، این تعریف، هنگام در نظر گرفتن الزامات برای حساسیت آغازگر، اهمیت پیدا می کند. نکته کلیدی آن است که اطمینان حاصل شود که الزام برای درجه بالایی از ایزولاسیون از آغازش ناخواسته زنجیره آتش، حفظ شود. در طرحهای زنجیره آتش بدون مانع، آغازگر – که تنها شامل اجزای آغازش بسیار غیرحساس است – ایزولاسیون از ورودیهای شلیک ناخواسته را فراهم می کند. اگر آغازگر حاوی اجزای حساسی باشد که بتواند منجر به آغازش زنجیره آتش شود، نوعی از مانع باید آنها را ایزوله کند. برای مثال، مواد منفجره، برای استفاده در سامانه های همراستا، باید مطابق با الزامات سخت گیرانه مواد منفجره ثانویه، ارزیابی شوند. در غیر این صورت، یک مانع مکانیکی باید آنها را ایزوله کند. حساسیت الکتریکی آغازگرهای مورد استفاده در سامانه های بدون مانع نیز باید الزامات سخت گیرانه غیرحساس بودن را برآورده کند. این پیش-نیازها منجر به دو نوع آغازگر می شود که باید شناسایی و درک شوند. نوع اول، آغازگر ولتاژ-پایین یا انرژی-پایین است؛ نوع دیگر، آغازگر ولتاژ-بالا یا انرژی-بالا است.

آغازگر ولتاژ-پایین یا انرژی-پایین

آغازگر ولتاژ-پایین یا انرژی-پایین با ولتاژی کمتر از ۵۰۰ ولت مستقیم، فعال می شود یا حاوی مواد منفجره اولیه است. یک مثال آن، دتوناتور سیم داغ است که از مواد منفجره اولیه مانند آزید سرب برای تولید موج انفجار بهره می گیرد. مثال دیگر، دیود لیزری ولتاژ-پایین است که در ولتاژهای کمتر از ۵۰۰ ولت مستقیم شروع به شکست می کند و در نتیجه، یک موج انفجار در زنجیره آتشی که بخشی از آن است، تولید می کند. نمونه آخر، یک چاشنی دتوناتور ضربه ای است که حاوی مواد منفجره اولیه حساس به ورودیهای ضربه می باشد. هنگامی که زنجیره شلیک (زنجیره آتش و آغازگر) از یک آغازگر ولتاژ-پایین یا انرژی-پایین بهره می گیرد، دست کم، یک مانع فیزیکی در زنجیره شلیک مورد نیاز می باشد. فرآیند تسلیح باید مانع را بردارد. اگر نخستین جزء انفجاری به گونه ای موقعیت دهی شود که ایمنی وابسته به وجود مانع باشد، طراحی باید شامل ابزار مثبتی برای جلوگیری از مونتاژ شدن وسیله ایمنی و تسلیح، بدون قرارگیری صحیح مانع، شود. اگر نخستین جزء انفجاری به گونه ای موقعیت دهی شود که حذف مانع، از انتقال خروجی انفجاری آن به زنجیره آتش، ممانعت کند، مانع منفرد، قابل قبول است. اثربخشی ممانعت پیش از آغازش توالی تسلیح، باید با آزمایش اثبات شده و به روش عددی تعیین شود.



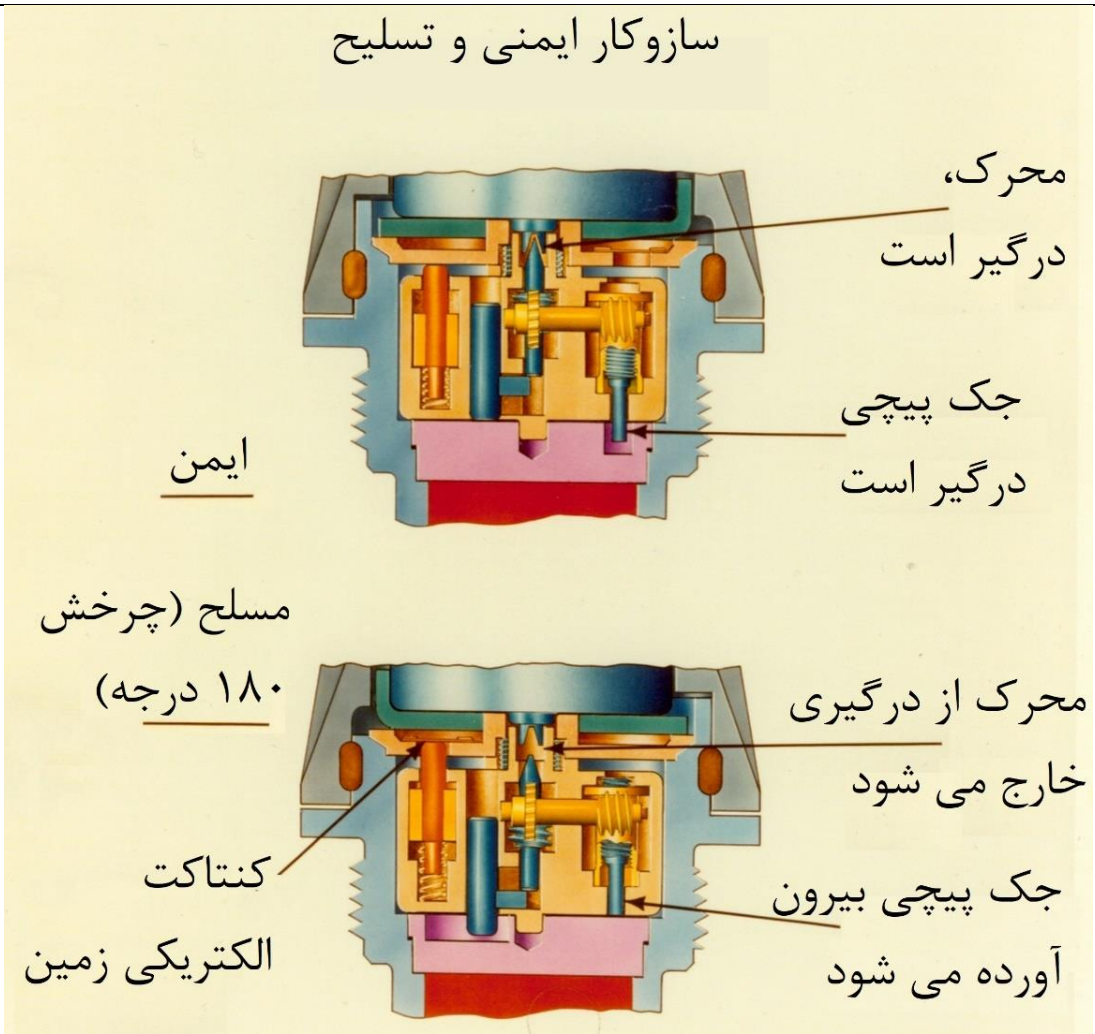
شکل ۸ تصویر طرحوار مقطع فیوز خمپاره M734

آغازگر ولتاژ-بالا یا انرژی-بالا

آغازگر ولتاژ-بالا یا انرژی-بالا را نمی توان با ولتاژی کوچکتر یا مساوی ۵۰۰ ولت مستقیم، فعال کرد و تنها حاوی مواد منفجره ثانویه تایید شده است. مثالهای آن، آغازگر غشای انفجاری (EFI) و لیزری با آستانه شکست ۵۰۰ ولت مستقیم یا بالاتر است.

هنگامی که زنجیره آتش از آغازگر ولتاژ-بالا یا انرژی-بالا بهره می گیرد، نیازی به هیچ مانع فیزیکی نمی باشد. البته، همه ورودیهای انرژی باید کنترل شود تا از تسلیح یا شلیک ناخواسته، پیشگیری شود. برای نیروی دریایی، راهنمای گروه بازبینی ایمنی انفجاری سامانه های تسلیحات (WSESRB) برای زنجیره های آتش بدون مانع، الزام می کند که دست کم دو مانع انرژی، که هر کدام با یک ویژگی ایمنی مستقل کنترل می شود، باید پیش از آنکه سلاح بخواهد شلیک شود، از تسلیح، پیشگیری کند. آغازگر، در فقدان یا ناشی از شکست استاتیک هر یک یا همه

موانع انرژی، نباید قابلیت فعال شدن داشته باشد (بخش ویژگیهای ایمنی را در بخشهای بعدی این کتاب و جدول ۱ را ببینید).



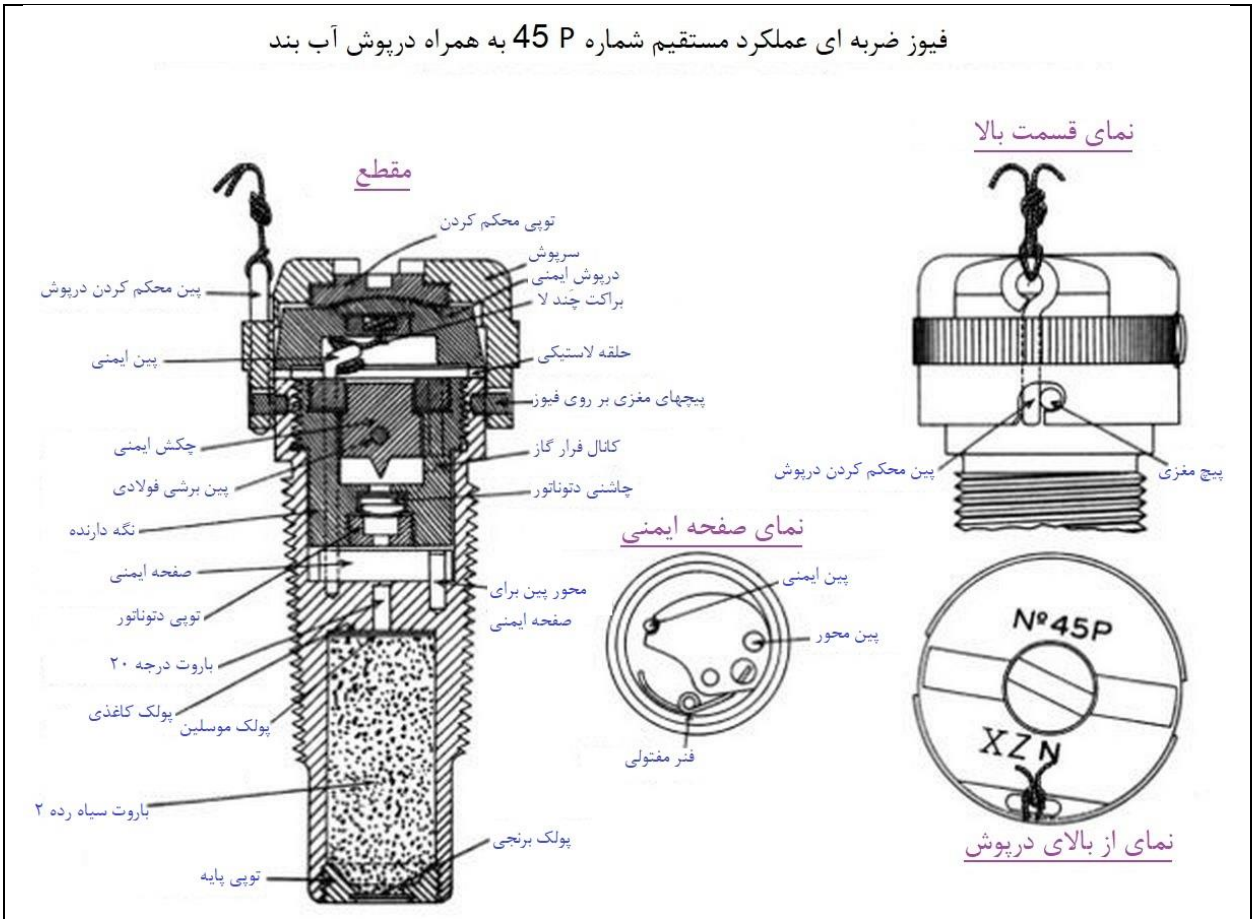
شکل ۹ تصویر طرحوار مقطع فیوز خمپاره M734 در دو حالت ایمن و مسلح

جدول ۱ حالتهای ترکیبی انواع ویژگی ایمنی برای وسایل ایمنی و تسلیح الکترونیکی

نوع ویژگی ایمنی	گزینه های ترکیب			
	A	B	C	D
ویژگی های ایمنی مکانیکی	2	1	0	0
ویژگی های ایمنی الکتریکی دینامیکی	0	1	2	1
ویژگی های ایمنی الکتریکی غیردینامیکی	0	0	0	2

زنجیره آتش مانع دار

زنجیره آتش مانع دار، زنجیره آتشی است که در آن تا پیش از تسلیح، مسیر انفجاری میان مواد منفجره اولیه و مواد منفجره هادی و بوستر به صورت عملکردی جدا شده است. نکته کلیدی آن است که اگر آغازگر بتواند با شرایط محیطی فعال شود، باید به صورت فیزیکی جدا شده و از اجزای با حساسیت کمتر یا انرژی بیشتر زنجیره آتش، ایزوله شود. به طور مثال، دتوناتور سیم داغ، به دو دلیل می تواند در معرض عملکرد ناخواسته قرار گیرد. نخست آنکه، الزام انرژی محرک عملکرد اندک است و در اغلب محیطها موجود است. دوم آنکه، مواد منفجره اولیه به کار رفته، حتی با عدم وجود محرک شلیک پرانرژی، نسبت به آغازش ناخواسته از طریق شوک، ورودی حرارتی، و غیره، آسیب پذیراند. به دلیل این عوامل، وسایل ایمنی و تسلیح از یک مانع میان دتوناتور سیم داغ و جزء بعدی در زنجیره آتش بهره می گیرند. این آرایش، حتی اگر دتوناتور هم عمل کند، مانع انتشار موج انفجار می شود.



شکل ۱۰ تصویر طرحوار مقطع فیوز ضربه ای 45 P

زنجیره آتش بدون مانع

زنجیره آتش بدون مانع، زنجیره آتشی است که در آن مسیر انفجار میان نخستین جزء انفجاری و همه دیگر اجزای انفجاری در زنجیره، به صورت عملکردی، بدون جدا شدن یا مانع، تثبیت شده است. این نوع زنجیره آتش، مستلزم آن است که برای هر جزء از زنجیره آتش، تنها از مواد منفجره ثانویه استفاده شود. در حالی که همه مواد منفجره به کار رفته در زنجیره های آتش بدون مانع، لازم است که از نوع مواد منفجره ثانویه تایید شده باشند و احتمال آغازش ناخواسته آنها بسیار نامحتمل است، سامانه ایمنی و تسلیح، اگر سازوکار آغازش آن به نحو مناسبی کنترل نشود، هنوز هم می تواند بسیار خطرناک باشد. از اینرو، از آنجا که این یک اصل کلیدی است، استاندارد MIL-STD-1316 مشخصا الزامات کنترل تسلیح فیوز را برای زنجیره های آتش بدون مانع، پوشش می دهد. اینکه زنجیره آتش مانع دار یا بدون مانع استفاده شود، پرسش کلیدی ایمنی نیست. پرسش شایسته، این است:

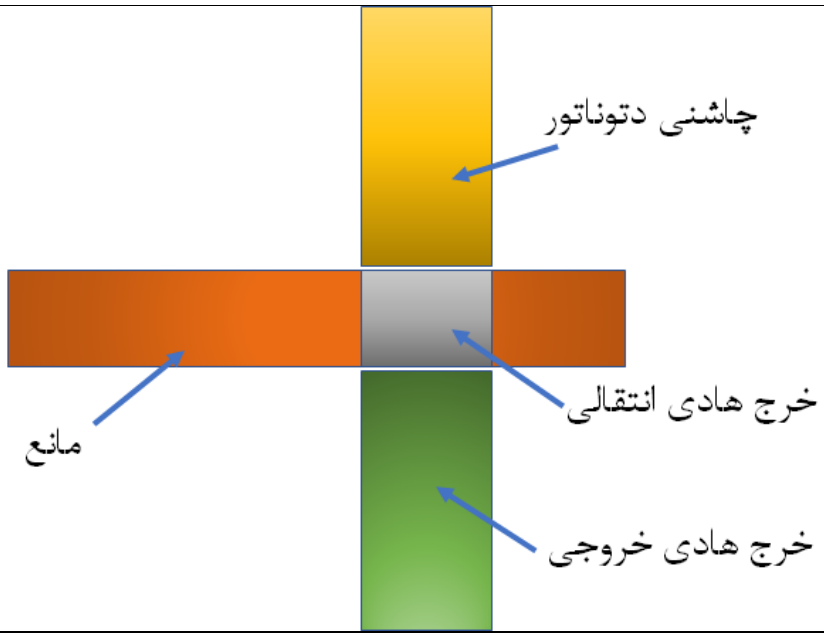
«آیا وسیله ایمنی و تسلیح می تواند در اثر تحریکهای محیطی طبیعی، به خطر ایمنی تبدیل شود؟»

در حال حاضر، همه کاربردهای سرجنگی های با زنجیره آتش بدون مانع، از چاشنی های EFI بهره می گیرند که تنها از مواد منفجره ثانویه استفاده می کنند و برای آغازش به یک پالس آتش خاص و منحصر به فرد نیاز دارند. این پالس آتش منحصر به فرد، هیچ اطمینانی ایجاد نمی کند که امکان آغازش ناخواسته آن برابر با احتمال آغازش ناخواسته مواد منفجره ثانویه است. توسعه های آتی ممکن است منجر به وسایلی شود که بدون پالس آتش منحصر به فرد، قادر به آغازش مواد منفجره ثانویه شود. در این حالت، ابزاری معادل ایزوله کردن پالس آتش از آغازگر، مورد نیاز خواهد بود.

فیوز مسلح

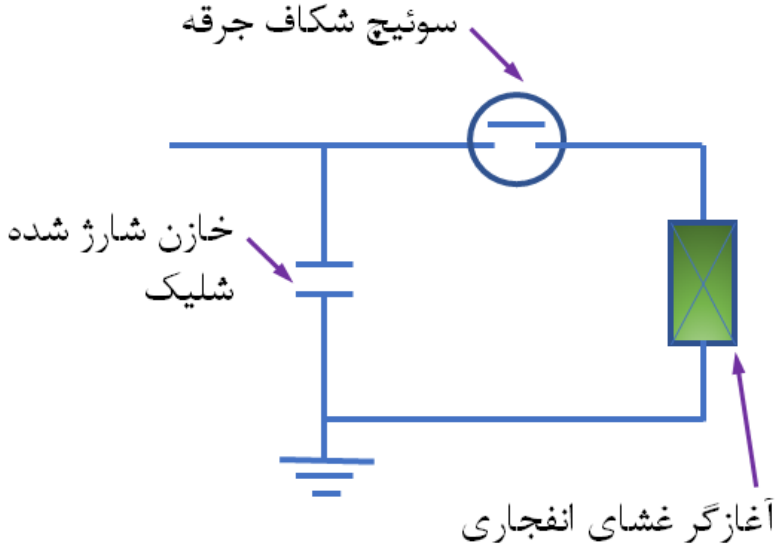
فیوز هنگامی مسلح درنظر گرفته می شود که هرگونه تحریک آتش، بتواند موجب عملکرد فیوز شود. به عنوان بخشی از فلسفه ایمنی محافظه کارانه، فیوزی که به طور ناخواسته مسلح شود، یک شکست سامانه ایمنی تلقی می شود، خواه زنجیره آتش فیوز، خروجی انفجاری تولید کند یا نکند.

شکل ۱۱ مثالی از زنجیره آتش مانع دار مسلح را نشان می دهد. نکته ای که لازم است به آن توجه شود این است که زنجیره آتش هنگامی مسلح است که مانع میان مواد منفجره اولیه (چاشنی دتوناتور) و دیگر اجزای انفجاری به اندازه کافی برداشته شود تا امکان انتشار موج انفجار به مواد منفجره ثانویه (خرج هادی انتقال و خرج هادی خروجی) را فراهم کند. هرگونه ورودی آتش با انرژی کافی، خواسته یا ناخواسته، که دتوناتور را فعال کند، منجر به خروجی از زنجیره آتش فیوز می شود.



شکل ۱۱ زنجیره آتش مانع دار مسلح

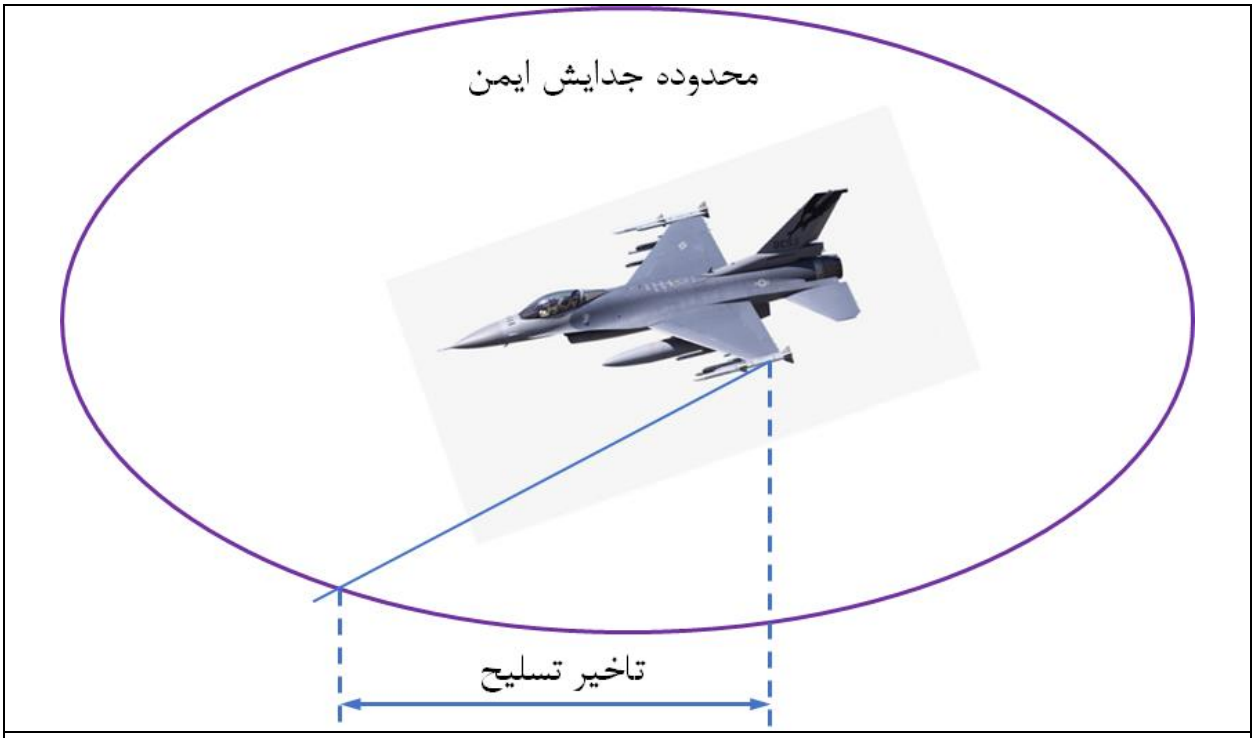
شکل ۱۲ یک زنجیره آتش بدون مانع مسلح را نشان می دهد. نکته کلیدی برای توجه، آن است که زنجیره آتش هنگامی مسلح است که خازن شلیک، شارژ بزرگ کافی برای آغازش چاشنی EFI با احتمال یک در میلیون (یا فراتر از ولتاژ کمینه بدون شلیک) را داشته باشد. این وضعیت، معادل برداشتن مانع در یک نمونه زنجیره آتش مانع دار است. هرگونه تحریکی، خواسته یا ناخواسته، که سوئیچ شکاف جرقه را فعال کند، منجر به فعال شدن خروجی از زنجیره آتش فیوز می شود.



شکل ۱۲ زنجیره آتش بدون مانع مسلح

تاخیر تسلیح

زمان طی شده یا مسافت پیموده شده توسط سلاح، از شلیک تا تسلیح، تاخیر تسلیح نامیده می شود. این یک الزام است که همه وسایل ایمنی و تسلیح باید دارای تاخیر تسلیح باشند که همانگونه که در شکل ۱۳ نشان داده شده، از زمانی که سلاح، تعمدا شلیک می شود آغاز شده و پس از آنکه سلاح، حجمی از فضای فرضی که به عنوان محدوده ایمن جدایش نامیده می شود را ترک می کند، پایان می یابد. محدوده ایمن جدایش، حجمی از فضا در نزدیکی سکوی شلیک است که در آن، خطر ناشی از انفجار ناخواسته سرجنگی، محیط ناامنی را برای سکوی پرتاب و نفرات ایجاد می کند. در اینجا، هدف، جلوگیری از تبدیل شدن موج انفجار و ترکشهای ناشی از سلاح عمل کرده به خطر غیرقابل قبول برای سکوی پرتاب و نفرات است. در برخی از کاربردها لازم است مصالحه ای برای این محدوده انجام شود تا بین خطر بالقوه مواجهه با هدف بر روی سکوی شلیک تا خطر ایجاد شده از سلاح منفجر شده، در حالی که هنوز در محدوده جدایش ایمن قرار دارد، تعادلی ایجاد شود.



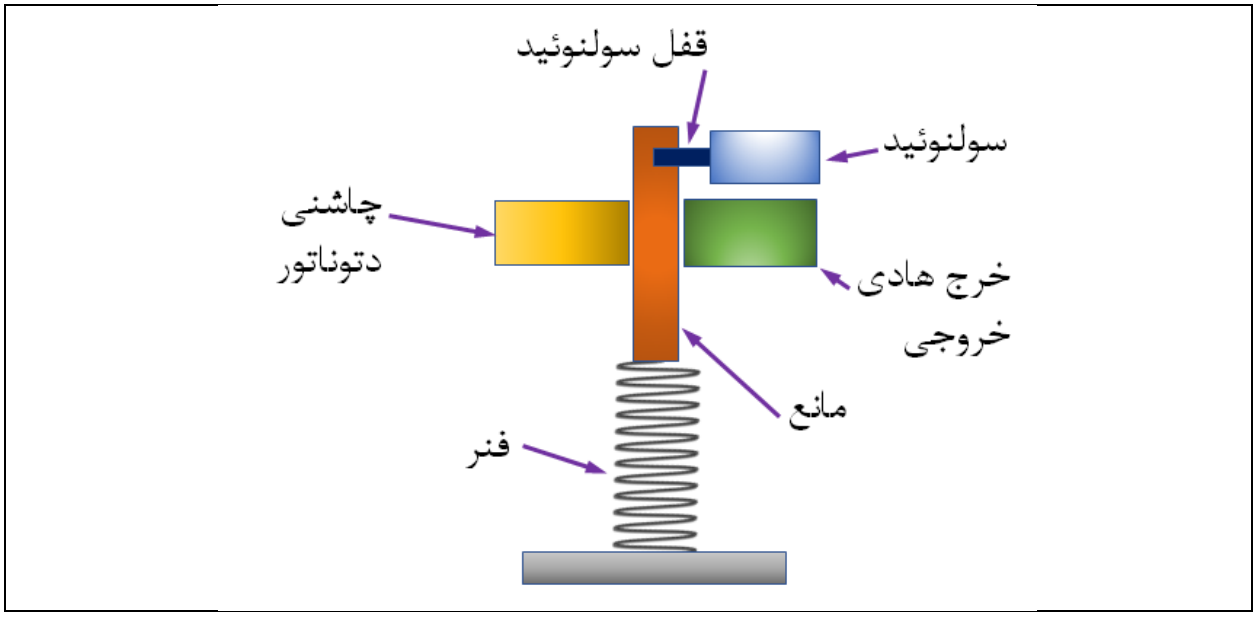
شکل ۱۳ سناریوی تسلیح سرجنگی

شکست تک نقطه

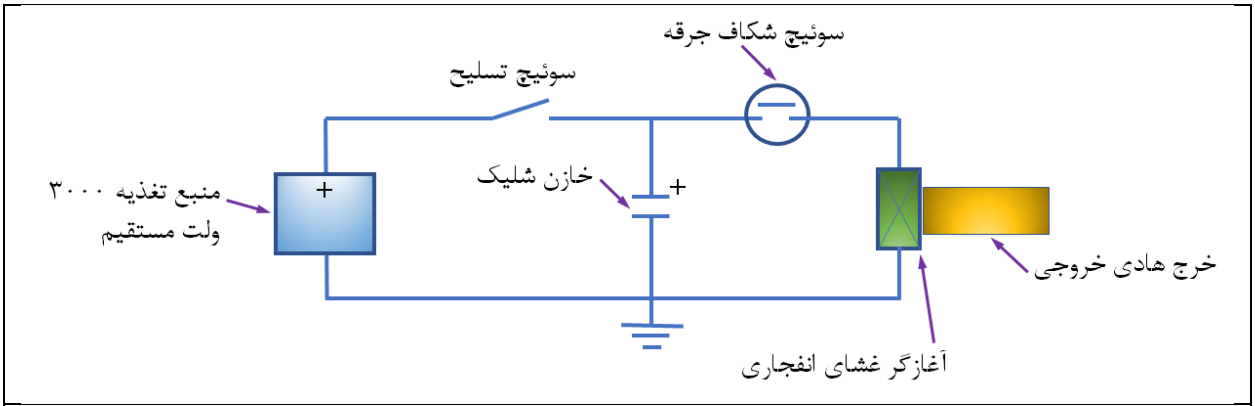
شکست تک نقطه، شکست یک جزء در سامانه است که منجر به شکست کل سامانه می شود. مثالی از شکست تک نقطه غیرقابل قبول در وسیله ایمنی و تسلیح، جزیی است که اگر دچار شکست شود، شرایطی را ایجاد می کند که وسیله ایمنی و تسلیح، پیش از موعد مسلح شود و تبدیل به یک خطر ایمنی شود. یک شکست بسیار جدی را تنها زمانی می توان تحمل کرد که امکان وقوع آن کمتر از یک در میلیون حالت باشد. این عامل، محرک الزام در استاندارد MIL-STD-1316 برای وجود دو ویژگی ایمنی مستقل برای پیشگیری از تسلیح است. از آنجا که نمایش و اثبات سطح تحمل نشان داده شده، بسیار دشوار است، بهترین رویکرد، حذف امکان همه شکستهای تک نقطه از این نوع (با طراحی مناسب) است. مثال دیگر، سناریویی است که در آن، وسیله ایمنی و تسلیح به طور دائم خنثی می شود. در حالی که این حالت، مشکل ایمنی ایجاد نمی کند، این شکست می تواند منجر به مشکلات قابلیت اطمینان شده و باید از آن پرهیز شده یا به مقدار کمینه برسد.

شکست تک نقطه در وسیله ایمنی و تسلیح با زنجیره آتش مانع دار که در شکل ۱۴ نشان داده شده، به این صورت است که اگر مانع متصل به فنر تغییر طول یافته، مانع را از شکاف میان اجزای انفجاری خارج کند، تنها قفل سولنوئیدی، مانع را از حرکت نگه می دارد. از اینرو، اگر قفل سولنوئیدی نتواند مانع را در موقعیت ایمن نگه دارد، زنجیره آتش به وضعیت مسلح کشیده می شود.

مثالی از شکست تک نقطه، در وسیله ایمنی و تسلیح با زنجیره آتش بدون مانع، در شکل ۱۵ نشان داده شده است. یک سوئیچ منفرد، شارژ را از خازن شلیک دور نگه می دارد. اگر سوئیچ تسلیح در وضعیت به لحاظ الکتریکی اتصال کوتاه، دچار شکست شود، خازن شارژ می شود و وسیله ایمنی و تسلیح مسلح می شود.



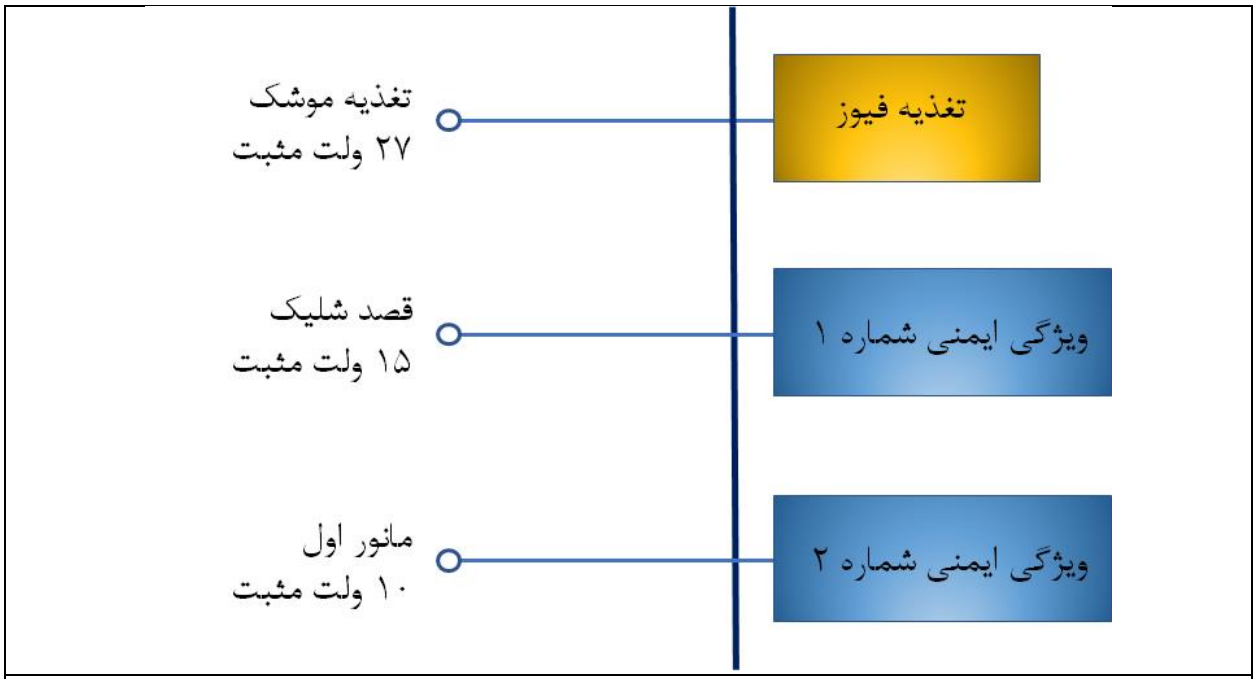
شکل ۱۴ شکست تک نقطه در زنجیره آتش مانع دار



شکل ۱۵ شکست تک نقطه در زنجیره آتش بدون مانع

شکستهای وضعیت مشترک

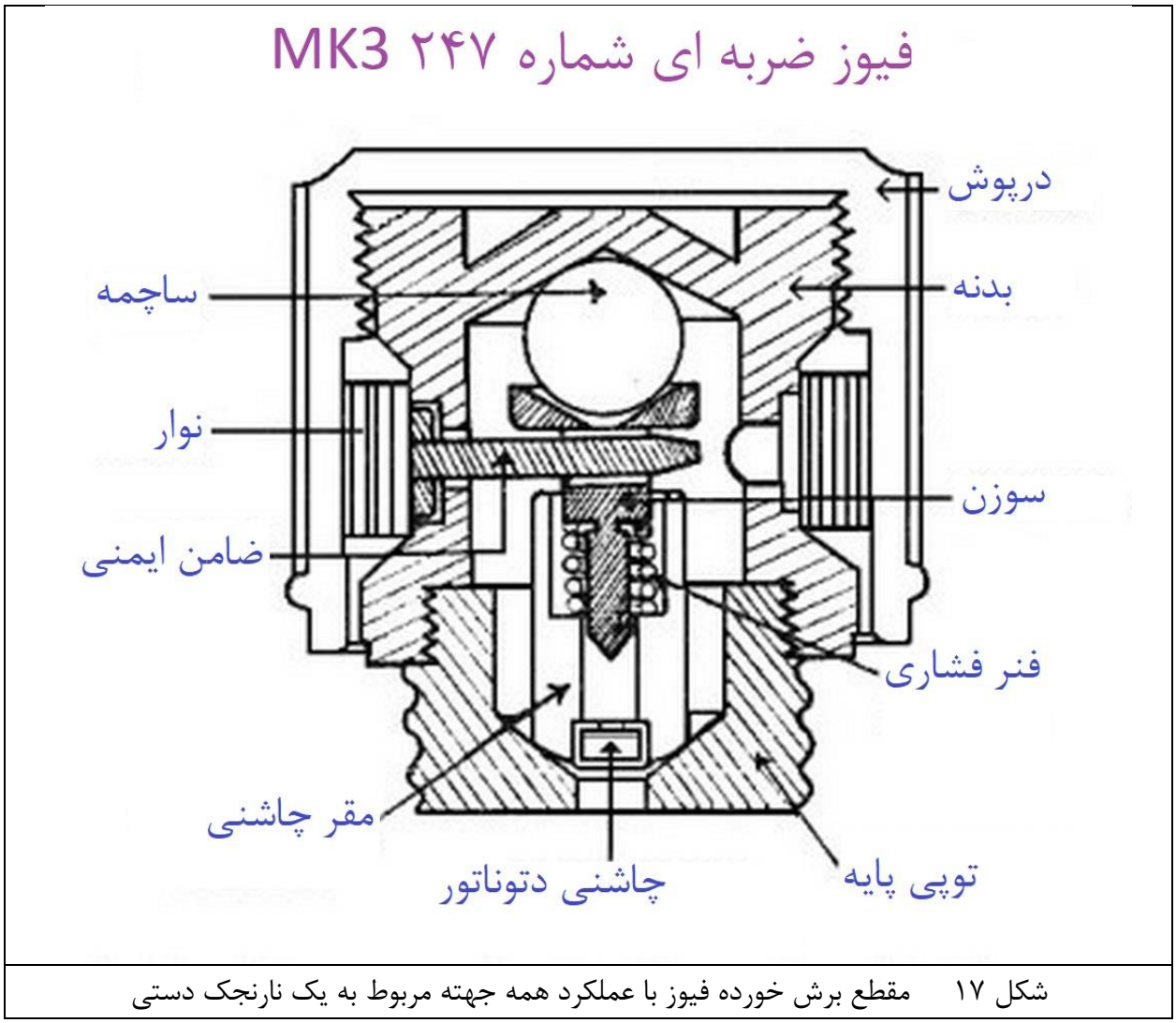
شکستهای وضعیت مشترک، شکستهای متعددی هستند که ناشی از شکستهای ظاهرا نامرتبط یا محیطِ شدید هستند. یک مثال، شکست دو گیت بر روی مدار مجتمع دیجیتال ناشی از از دست رفتن سیم زمین به تراشه می باشد. مثال دیگر، شکست دو ترانزیستور ناشی از قرار گرفتن در محیط دما بالا می باشد. شکستهای متعدد ناشی از یک عامل یا رویداد منفرد، به اندازه شکست تک نقطه، نامطلوب اند. همانگونه که در مثال شکل ۱۶ نشان داده شده، این مشکل هنگام کار با سیگنالهای ورودی به وسایل ایمنی و تسلیح الکترونیکی، مشخصا چشمگیر می شود. ورودیهای این سامانه به نظر می رسد از محیطهای منفرد و مستقل می باشند. البته، از آنجا که ولتاژ مستقیم، هر دو سیگنال را نمایش می دهد، یک سیگنال ۲۸ ولت مستقیم منفرد، می تواند موجب شود که وسیله ایمنی و تسلیح به گونه ای واکنش نشان دهد که هر دو محیط را برآورده کرده است. این وضعیت شکست، از نوع مشترک است زیرا یک ورودی منفرد، در این حالت، مزدوج شدن یک سیگنال ناخواسته مستقیم به خط ورودی، می تواند هر دو ویژگی ایمنی را از بین ببرد.



شکل ۱۶ نمونه ای از شکست وضعیت مشترک

ساخت افزار (firmware)

ساخت افزار، ترکیبی از وسیله سخت افزاری و کد کامپیوتری یا داده کامپیوتری است که به عنوان اطلاعات یا کدهای فقط-خواندنی بر روی وسیله سخت افزاری مستقر شده است. اطلاعات یا کدها را نمی توان تحت کنترل برنامه، تغییر داد. لازم به ذکر است که ساخت افزار می تواند با دیگر وسایل منطقی به غیر از کامپیوترها نیز به کار گرفته شود. متداول ترین شکل ساخت افزار، حافظه فقط خواندنی است که کدها را برای میکروپروسسور (ریزپردازنده) یا وسیله منطقی متوالی، فراهم می کند. اخیرا تمایلی برای استفاده از حافظه های یکبار-نوشتنی، فقط-خواندنی، برای دربرگرفتن ساخت افزار وجود دارد. این رویکرد از یک دیدگاهی که تاکنون تغییر نیافته، قابل قبول است، اما نگرانی های دیگری نیز باید در نظر گرفته شود تا کافی باشد. اگر این رویکرد به کار گرفته شود، کاربر باید مطمئن شود که هنگام فرآیند نوشتن، خطاهای دیگری کدگذاری نشده است. با این نوع سخت افزار، یافتن خطاهای کدگذاری بسیار دشوار است زیرا در یک زمان، یک وسیله، برنامه نویسی می شود، برخلاف یک حافظه فقط-خواندنی قابل برنامه ریزی ماسک دار که یک آرایش ماسک تایید شده دارد.

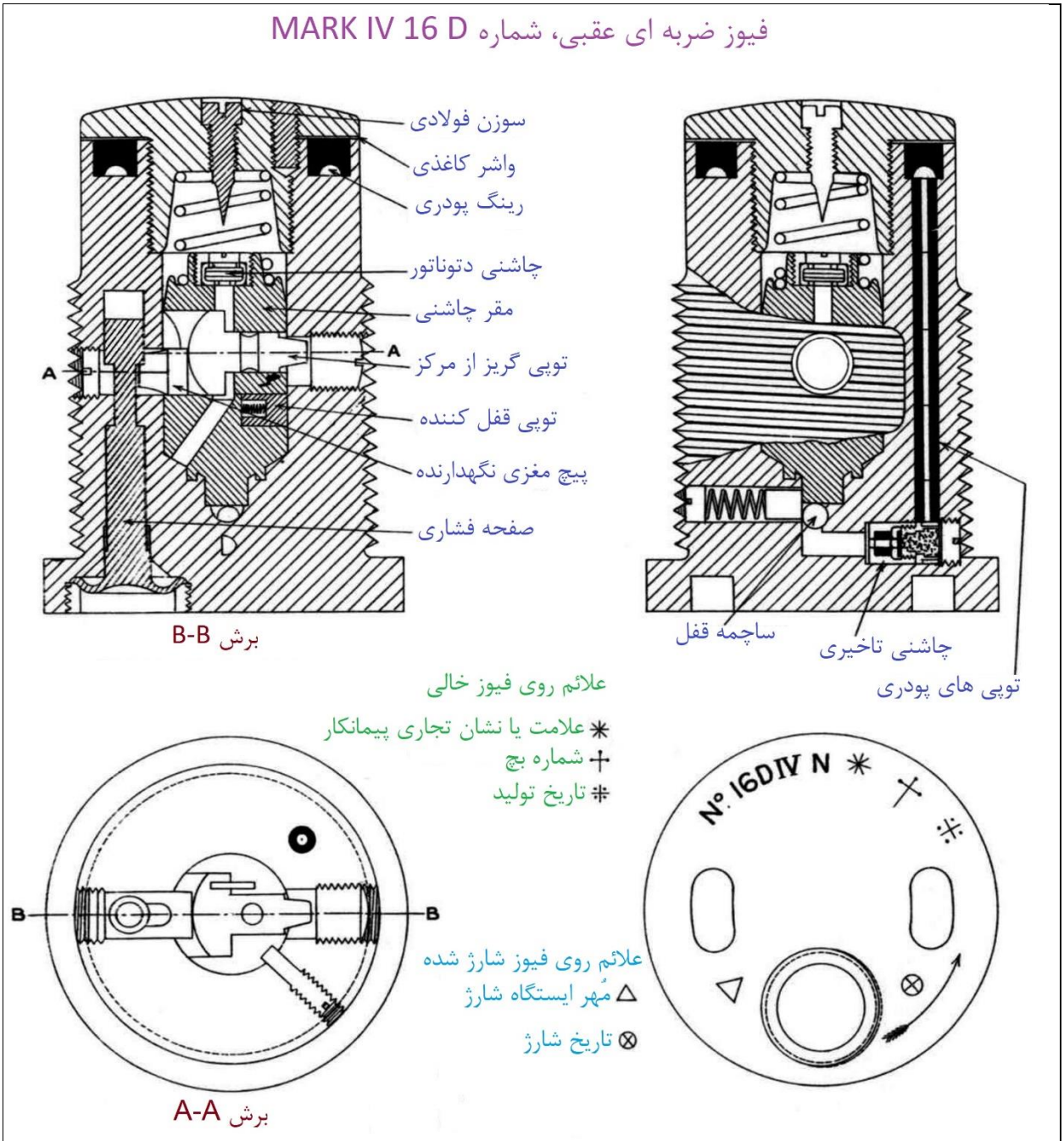


شکل ۱۷ مقطع برش خورده فیوز با عملکرد همه جهته مربوط به یک نارنجک دستی

محیطهای معتبر

محیط معتبر، محیطی است که وسیله می تواند طی چرخه عمر خود، در معرض آن قرار گیرد. این شرایط شامل کمینه و بیشینه دما، رطوبت، اثرات الکترومغناطیس، ولتاژهای خطا، و غیره باشد. ترکیبی از محیطهایی که به طور منطقی می توان انتظار رخ دادن آنها را داشت نیز باید در گستره محیطهای معتبر، در نظر گرفته شود. همه وسایل ایمنی و تسلیح، در معرض مجموعه هایی از محیطهای معتبر قرار می گیرند که مبتنی بر توالی تولید تا هدف پیش بینی شده می باشند. هر کاربرد سامانه سلاح، یک مجموعه محیطهای معتبر منحصر به فردی را تحمیل می کند که وسیله ایمنی و تسلیح باید برای دوام آوردن در آنها، طراحی شود. هنگامی که وسیله ایمنی و تسلیح موجود برای کاربرد جدیدی درنظر گرفته می شود، مجموعه ای از محیطهای معتبر که وسیله ایمنی و

تسلیح در آنها صحه گذاری شده است، به ندرت به طور کامل محیطهای معتبر کاربرد جدید را پوشش می دهد و یک صلاحیت سنجی «اختلافی» برای محیطهای جدید مورد نیاز می باشد.



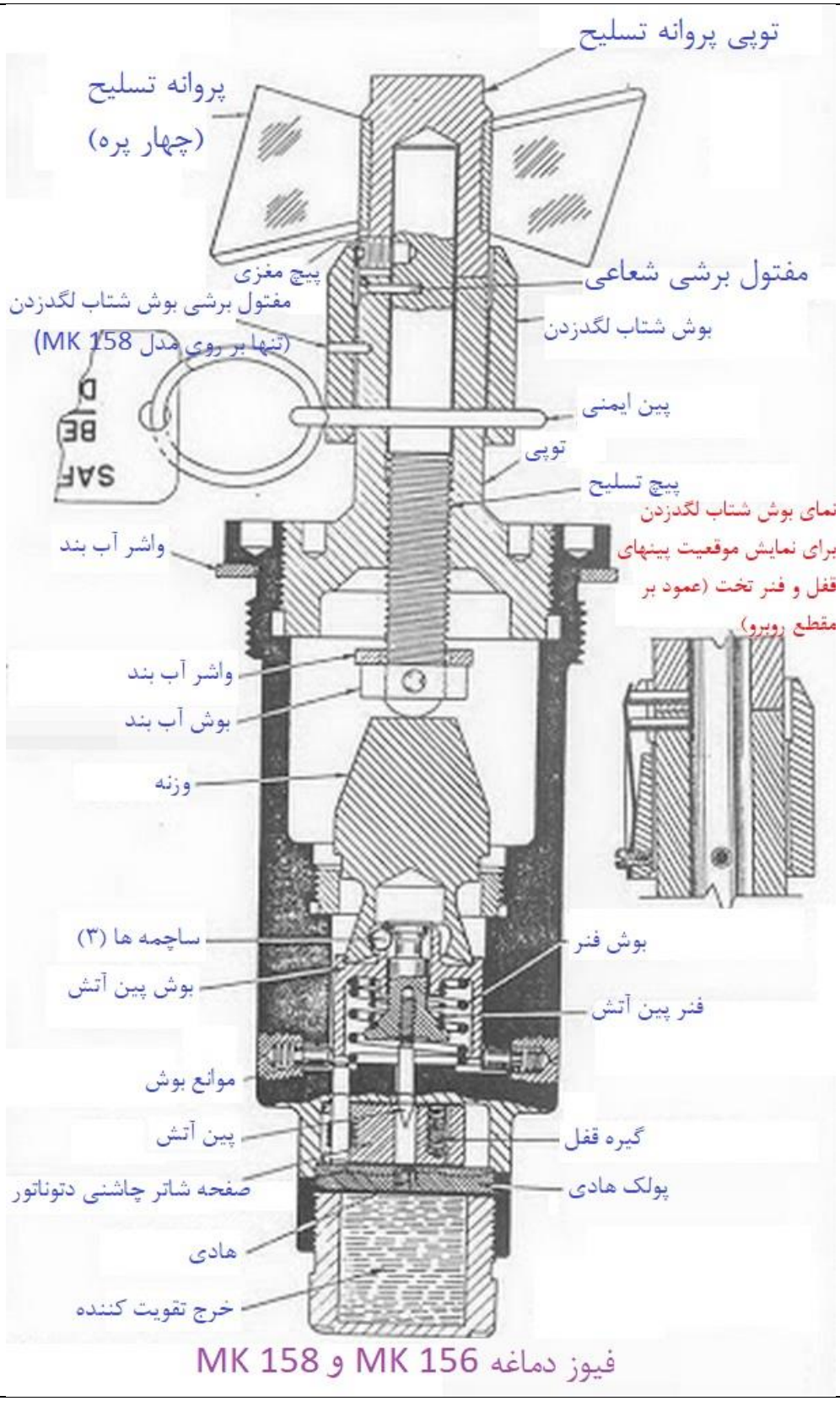
شکل ۱۸ مقطع برش خورده یک فیوز ضربه ای عقبی

به عنوان یک گام مهم در طراحی یا انتخاب وسیله ایمنی و تسلیح، محیطهای معتبر، تحریکهای تسلیح را تعیین می کند که برای حس کردن توسط وسیله ایمنی و تسلیح به منظور تعیین این که آیا تسلیح باید مجاز شمرده شود یا خیر، قابل دسترسی می باشند. انتخاب و منحصر به فرد بودن محیطهای تسلیح قابل دسترس به طور عادی، بزرگترین عوامل محرک در پیچیدگی و قیمت و نیز در سطح ایمنی وسیله ایمنی و تسلیح است. در حالت کلی، طراحی وسیله ایمنی و تسلیح با منحصر به فرد بودن محیطهای تسلیح انتخاب شده، بهبود می یابد. برای به تصویر کشیدن این موضوع، سامانه های ایمنی فیوز بمب، به دلیل فقدان شرایط منحصر به فرد پس از شلیک برای بمبها، تمایل دارد که پیچیده تر از فیوزهای موشکهای هدایت شونده باشند. هنگام در نظرگرفتن یک وسیله ایمنی و تسلیح موجود برای یک کاربرد جدید، کاوشگران در می یابند که نامناسب بودن یا غیرقابل کاربرد بودن یک وسیله ایمنی صحه گذاری شده، برای یک کاربرد جدید، غیر عادی نیست. زیرا محیطهای تسلیح معتبر، تغییر کرده است. یک مثال، استفاده از وسیله ایمنی و تسلیح مسلح شونده با شتاب، در کاربردی است که شتاب سلاح هرگز از 1g فراتر نمی رود. در این حالت، شتاب سلاح، دیگر یک محیط تسلیح مناسب، محسوب نمی شود.
اغوای فریبنده ای برای استفاده از محیطهایی که به آسانی حس می شود وجود دارد، اما این رویکرد، اگر سامانه سلاح در دیگر زمانها طی چرخه عمر خود به طور بالقوه در معرض همان محیطها قرار گیرد، مناسب نیست. مهم است که محیط حس شده برای چرخه پرتاب، یا پس از پرتاب، منحصر به فرد باشد، به گونه ای که ویژگی ایمنی، تنها پس از شلیک شدن سامانه سلاح، فعال می شود. هنگام انتخاب محیطهای فعال کننده، طراحان با اغوای دیگری که استفاده در سیگنال غیر منحصر به فرد که نمایانگر محیطی است که به عنوان سیگنال فعال سازی شناخته می شود، مواجه می شوند، مانند استفاده از سطح ولتاژ به تنهایی برای نمایش محیط اقدام به شلیک. محیطهای سطح ولتاژ، اگر فقدان منحصر به فرد بودن آنها درنظر گرفته نشود، در برابر مشکلات شکست وضعیت مشترک، بسیار آسیب پذیر در نظر گرفته می شوند.
هنگام انتخاب محیطهای فعال کننده، نکته دیگری که باید به خاطر داشت، استفاده نکردن از محیطهایی است که نتیجه مستقیم عملی درون سلاح است. مثالی از این سناریو، موردی است که در آن، از باتری حرارتی استفاده می شود. این امکان وجود دارد که باتری به طور ناخواسته فعال شود (که به آن، وضعیت شکست باتری حرارتی گفته می شود). این حالت، سبب می شود که محیط فعال کننده به طور ناخواسته، ایجاد شود، و از اینرو، ایمنی سامانه کاهش یابد. روش بهتر، استفاده از محیطهایی مانند شتاب، فشار هوا، حرکت فیزیکی مرتبط با شلیک، یا هرگونه رویداد بیرونی دیگری نسبت به سامانه است که در شرایطی که سامانه سلاح شلیک می شود، به وجود می آید.

خنثی

سلاح یا جزء سلاحی خنثی است که قرار بوده عمل کند، ولی نتوانسته عمل کند. بهترین مثال خنثی، سامانه فیوزی است که محرکهایی صحیح از تسلیح تا آتش را دریافت کرده اما سرجنگی را فعال نکرده است. دلایل

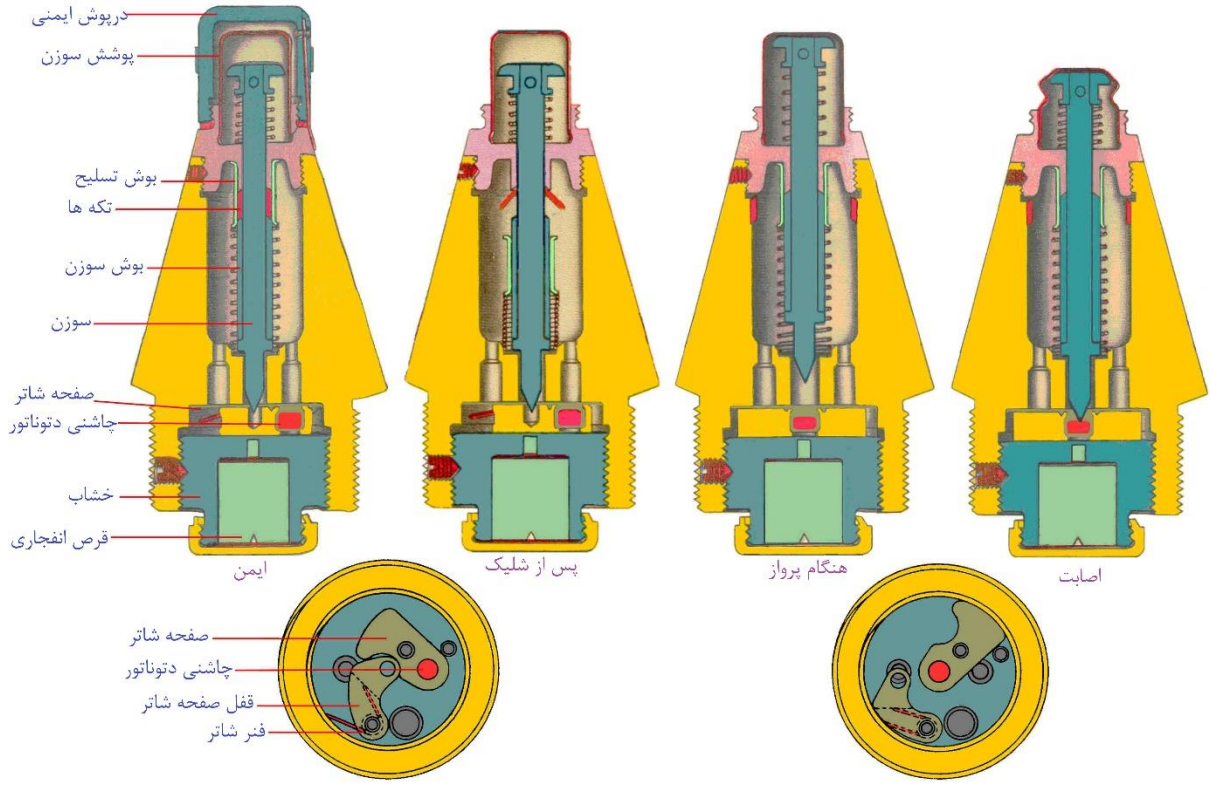
محتمل زیادی برای این شکست وجود دارد، مانند عدم عملکرد مدار، یا مولفه زنجیره آتش غیرآماده یا معیوب. نکته کلیدی آن است که فیوز قرار بوده عمل کند و شرایط برای عملکرد، صحیح بوده است، اما نتوانسته عمل کند. این سناریو را نباید با حالتی که در آن، فیوز به درستی حس کرده که محیط برای تسلیح نادرست است و پس از شلیک سلاح در حالت ایمن بوده، اشتباه گرفت. خروجی این حالت، یک سلاح خنثی شده است، اما فیوز خنثی نیست. در این حالت، فیوز مطابق با آن چه که طراحی شده، کار کرده است.



شکل ۱۹ مقطع برش خورده یک فیوز ضربه ای جلویی

طراحی شکست ایمن

طراحی شکست ایمن، مشخصه ای از سامانه فیوز یا بخش طراحی شده از آن است که هنگامی که اجزا دچار شکست می شوند، مانع از عملکرد فیوز می شود. هنگامی که اشکالی رخ می دهد (یا رخ خواهد داد)، وسیله ایمنی و تسلیح با یک فاصله (تمایل) تا شکست طراحی می شود به گونه ای که منجر به تسلیح ناخواسته یا خروجی ناخواسته از زنجیره آتش نشود. یک طراحی موفق، مستلزم استفاده از درخت تحلیل خطا؛ تحلیلهای مداری پنهانی؛ و تحلیلهای وضعیتهای شکست، اثرات و میزان بحرانی بودن آنها (FMEA) است.



شکل ۲۰ مقطع برش خورده یک فیوز ضربه ای جلویی و مراحل مختلف تسلیح و عملکرد آن

مواد منفجره بوستر (تقویت کننده) و هادی

مواد منفجره بوستر (تقویت کننده) و هادی، مانند مواد منفجره فهرست شده در جدول ۱، بند ۶.۹ استاندارد MIL-STD-1316D، ترکیبات یا فرمولاسیون هایی هستند که برای انتقال و تقویت واکنش انفجار به کار می

روند. برای قرار گرفتن در فهرست مواد منفجره تایید شده، ترکیب انفجاری باید توسط همه کاربردها تایید شود. یک ماده منفجره جدید، حتی پس از تایید توسط یک واحد نظامی، به طور عادی، چندین سال طول می کشد تا توسط دیگر واحدهای نظامی تایید شود – این بازه زمانی به نخستین کاربرد ماده منفجره توسط آن واحدها بستگی دارد. مواد منفجره بوستر (تقویت کننده) و هادی، تنها باید در موقعیتی به کار روند که منجر به آغازش خرج انفجاری شدیدالانفجار اصلی بدون مانع، شوند. برای تایید در قرارگیری در این دسته، ماده منفجره نامزد، به روش یکسری آزمونهای جامع، باید نشان داده شود که در برابر گستره ای از محرکهای بالقوه، غیر حساس است. به دلیل انجام این سری از آزمونهای الزامی، مواد منفجره هادی و بوستر (تقویت کننده) تایید شده، هنگامی که در معرض محرکهایی که به طور معمول در محیط وجود دارد قرار می گیرند، آغازش ناخواسته آنها انتظار نمی رود. میان ترکیباتی که ذاتا به شدت خطرناک اند و ترکیباتی که تنها هنگامی که یک محرک منحصر به فرد وجود دارد خطرناک می شوند، تمایز وجود دارد. از آنجا که آغازش این مواد منفجره به طور خودکار منجر به آغازش کل زنجیره آتش می شود (مستقل از پاسخ بقیه وسیله ایمنی و تسلیح)، انتخاب و آرایش مواد منفجره باید به دقت کنترل شود. اگر تغییر اندکی – از هر نوعی – در یکی از مواد منفجره تایید شده وجود داشته باشد، آرایش جدید پیش از آنکه بتواند به کار گرفته شود، باید صحه گذاری شود. یک مثال، افزودن بایندر (پیوند دهنده) بیشتر به ماده منفجره است. ماده منفجره به دست آمده، ممکن است مشخصات متفاوتی با ترکیبی که در ابتدا تایید شده داشته باشد و از اینرو، باید مجددا ارزیابی و صحه گذاری شود. جدول ۲، فهرستی از مواد منفجره تایید شده را ارایه می دهد.

جدول ۲. مواد منفجره تایید شده

ماده منفجره	مشخصات استاندارد
ترکیب A3	استاندارد MIL-C-440، ترکیب A3 و A4
ترکیب A4	استاندارد MIL-C-440، ترکیب A3 و A4
ترکیب A5	استاندارد MIL-E-14970، ترکیب انفجاری A5
ترکیب CH-6	استاندارد MIL-C-21723، ترکیب CH-6
PBX-9407	استاندارد MIL-R-63419، ترکیب انفجاری کوپلیمر وینیل کلراید/RDX (PBX 9407)
PBXN-5	استاندارد MIL-E-81111، ماده منفجره پودر قالب گیری پیوند داده شده پلاستیکی (PBXN-5)
PBXN-6	استاندارد WS-12604، ماده منفجره پودر قالب گیری پیوند داده شده پلاستیکی (PBXN-6)
DIPAM	استاندارد WS-4660، ماده منفجره DIPAM

HNS نوع ۱ یا ۲ گروه A	استاندارد WS-5003، ماده منفجره HNS
HNS-IV	استاندارد WS-32972، مشخصات ماده برای HNS-IV
تتریل*	استاندارد MIL-T-339
قرص تتریل*	استاندارد MIL-P-46464

* دیگر تولید نمی شود و در توسعه های جدید به کار نمی رود.

PBX = ماده منفجره پیوند داده شده پلاستیکی؛ RDX = سیکلو تری متیلن تری نیترامین؛ DIPAM = هگزا نیترو دی فنیل دی آمین؛ HNS = هگزا نیترو استیلبن.

ویژگیهای ایمنی

ویژگی ایمنی، جزء یا ترکیبی از اجزا است که از تسلیح یا عملکرد ناخواسته، پیشگیری می کند. در سامانه های مکانیکی، یک ویژگی ایمنی، در حال عادی یک سامانه قفل مکانیکی است که مانع از حرکت روتور، دیافراگم، یا لغزنده از وضعیت ایمن می شود. در تعریف یک ویژگی ایمنی، برای کنترل آرایش یا تحلیل ایمنی، هر چیزی که برای نگه داشتن ایمنی بحرانی است باید لحاظ شود. یک ویژگی ایمنی مبتنی بر شتاب، برای مثال، شامل جرم اینرسی؛ فنرهای تفاضلی؛ و بخشهای روتور، دیافراگم، محفظه، و غیره، در جلوگیری از تسلیح، لازم و مشمول می باشد. در سامانه های الکترونیک، ویژگیهای ایمنی شامل قطع کننده های انرژی – معمولا سوئیچ – و حسگرهای مربوطه و منطقی است که آن سوئیچ را کنترل می کند.

در انتخاب محرکهای تسلیح و طراحی ویژگی ایمنی، اصول ایمنی پذیرفته شده متعددی وجود دارد که تا جایی که امکان دارد باید از آنها پیروی شود.

۱. ویژگیهای ایمنی باید به طور کامل درون وسیله ایمنی و تسلیح تعبیه شود تا اطمینان حاصل شود که تصمیم های طراحی مرتبط با ایمنی با نیاز مصالحه طراحی با دیگر الزامات فیزیکی و عملکردی، تضعیف نشود. تعبیه درونی ویژگیهای ایمنی، به طور عادی، در معرض فعال سازی بیرونی قرار گرفتن را کمینه می کند. مزایای هزینه ای نیز وجود دارد زیرا مسایل کنترل آرایش و آزمونهای سخت گیرانه که برای وسایل ایمنی و تسلیح، منحصر به فرد اند، به سخت افزارهای غیرمرتبط با ایمنی، تحمیل نمی شود.

۲. محرکهای تسلیح باید تا جایی که امکان دارد درون وسیله ایمنی و تسلیح حس شوند تا امکان تولید ناخواسته یا مزدوج شدن سیگنال تسلیح نادرست در وسیله ایمنی و تسلیح از طریق رویدادهای بیرونی به حداقل برسد. این پیشگیری، همچنین مقدار سخت افزار در حلقه درگیر در فراهم کردن کارکرد ایمنی را کمینه می کند، و از اینرو، هزینه و پیچیدگی مربوط به آن را کاهش می دهد.

۳. کوپلینگ (مزدوج شدن) میان تحریک تسلیح و ویژگی ایمنی باید تا حد امکان مستقیم باشد تا نیاز به سخت افزار پردازش سیگنال واسط را حذف کند، چراکه ممکن است به طور ناخواسته، تحریکهای تسلیح را تولید کرده یا آنها را تغییر دهد.

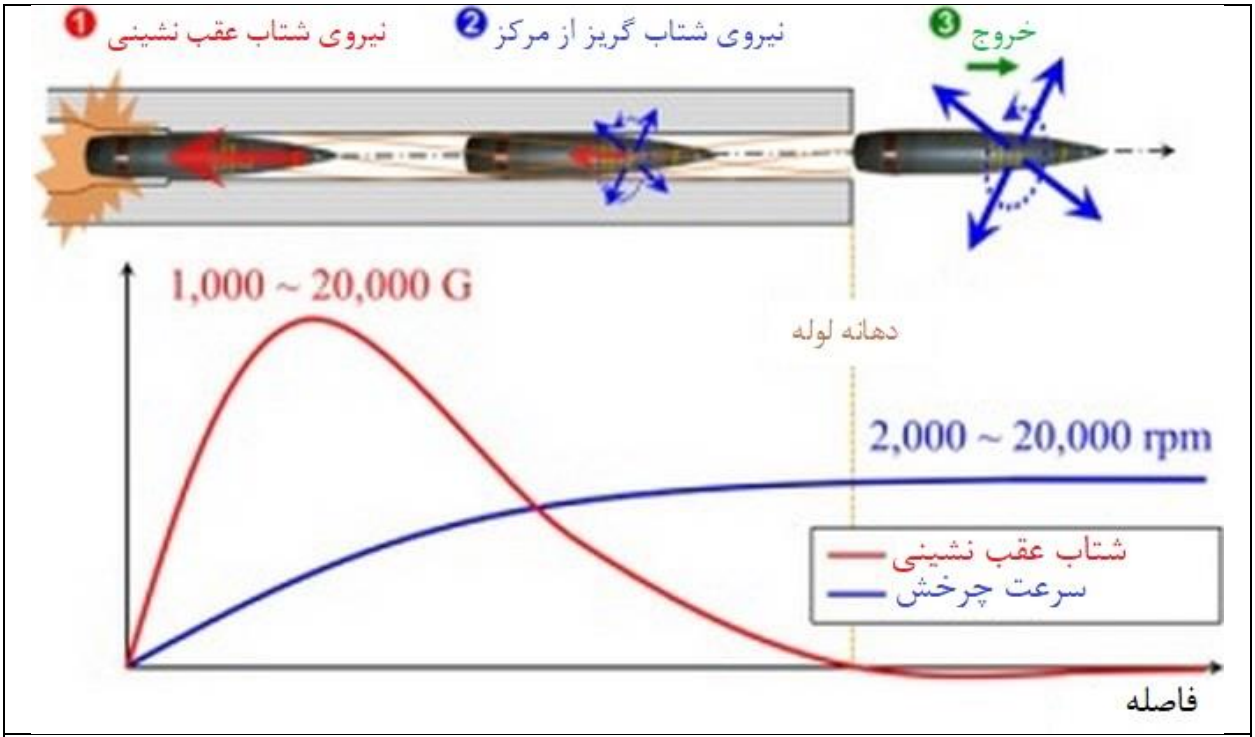
۴. تحریکهای تسلیح باید به گونه ای انتخاب شوند که هیچ جای دیگری در محیط خدمت، رخ ندهند. این گزینه، وجود محرکها را به یک شاخص عالی تبدیل می کند که نشان می دهد که سلاح، شلیک شده و تسلیح، مناسب بوده است.

۵. سطوح انرژی که ویژگیهای ایمنی را فعال می کند باید بیشینه شود تا خطر تولید ناخواسته آنها، کاهش یابد.

۶. انرژی تسلیح باید تا حد امکان از محیط پس از شلیک گرفته شود تا امکان دریافت انرژی تسلیح، پیش از شلیک به حداقل برسد.

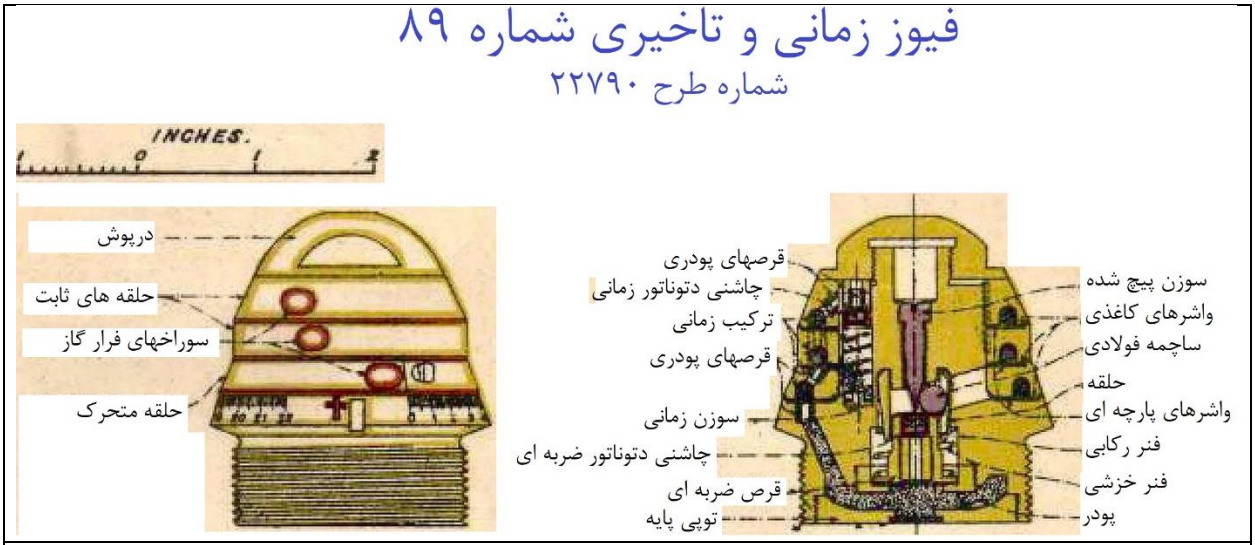
۷. تحریکهای تسلیح باید از شدت و طول مدت کافی برخوردار باشند تا بتوان فاصله جدایش ایمن را پیش از حذف شدن محرکها، صحه گذاری کرد. این مدت زمان، به طراح امکان می دهد تا فعال سازی ویژگی ایمنی مربوطه را تا پس از جدایش ایمن، به تاخیر بیاندازد.

۸. محدود کردن تحریکهای تسلیح به پنجره کوچکی در زمان و الزام به اینکه تحریکهای تسلیح در توالی مشخصی رخ دهند، هر دو، تکنیکهای موثری در کاهش امکان فعال شدن ناخواسته ویژگی ایمنی هستند.



شکل ۱۲ نمونه های از منحنی های تغییرات شتاب و سرعت چرخش گلوله خمپاره از لحظه شلیک تا خروج از دهانه لوله

شتاب شلیک، اگر برای توالی تولید تا هدف، منحصر به فرد باشد، محیط تسلیح تقریبا ایده آلی برای به کارگیری در وسایل ایمنی و تسلیح مکانیکی می باشد. موفق ترین خانواده وسایل ایمنی و تسلیح نیروی دریایی آمریکا، سری مارک، این مفهوم را به اثبات رسانده است. با شروع با وسیله ایمنی و تسلیح MK6 Mod 1 موشک ترییر، که در سال ۱۹۵۷ توسعه داده شد، بیش از ۱۷۵ هزار وسیله ایمنی و تسلیح سری مارک، بدون یک مورد شکست در ایمنی، به خدمت گرفته شد. نقطه مرکزی این سابقه ایمنی درخشان، تحریکهای تسلیح شتاب پرتاب است. شتاب شلیک، به عنوان یک محرک تسلیح در سری مارک، نمایشی عالی از کاربرد اصول ایمنی است. در حالی که همه اصول ایمنی، برای شتاب شلیک، قابل کاربرد نیست، مواردی که قابل کاربرد است در بندهای زیر آورده شده است:



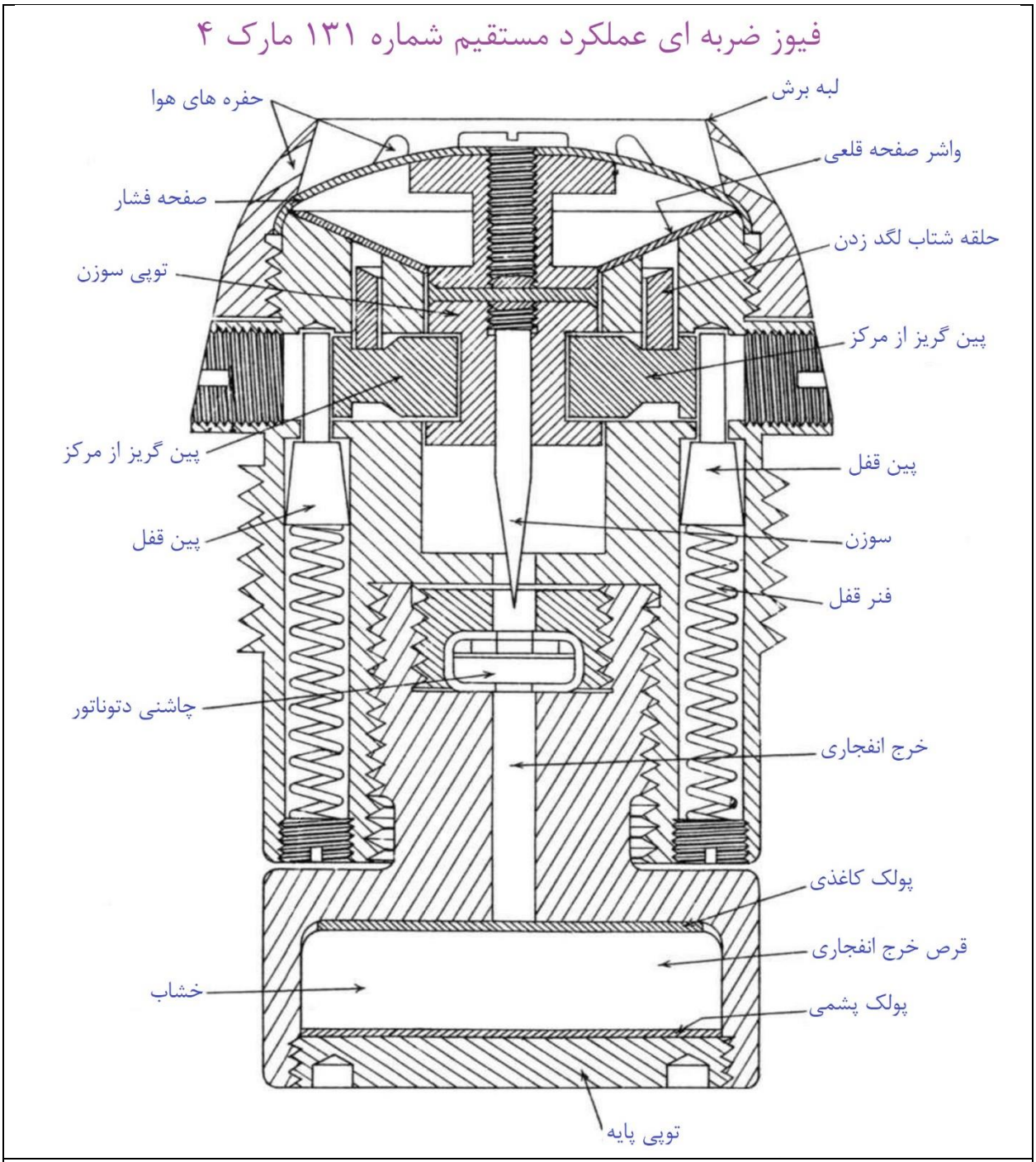
شکل ۲۱ مقطع برش خورده یک فیوز ضربه ای و زمانی

اصول ۱ و ۲: شتاب می تواند درون وسیله ایمنی و تسلیح، حس شود – وضعیتی که امکان می دهد ویژگیهای ایمنی، بدون نیاز به سخت افزار واسط اضافی، درون وسیله ایمنی و تسلیح نگه داشته شوند. به علاوه، ویژگیهای ایمنی به آسانی در برابر فعالسازی خارجی محافظت می شوند.

اصل ۳: مزدوج شدن (کوپلینگ) میان محرک تسلیح و ویژگی ایمنی، بسیار مستقیم است. از اینرو، هیچ سخت افزار پردازش / بهبود سازی سیگنال میانی که ممکن است ناخواسته تحریک تسلیح تولید کرده یا آن را تغییر دهد، مورد نیاز نمی باشد.

اصل ۴: سطح شتاب شلیک، یک محیط خدمت منحصر به فرد است و شاخصی عالی است که سلاح شلیک شده و تسلیح، مناسب است.

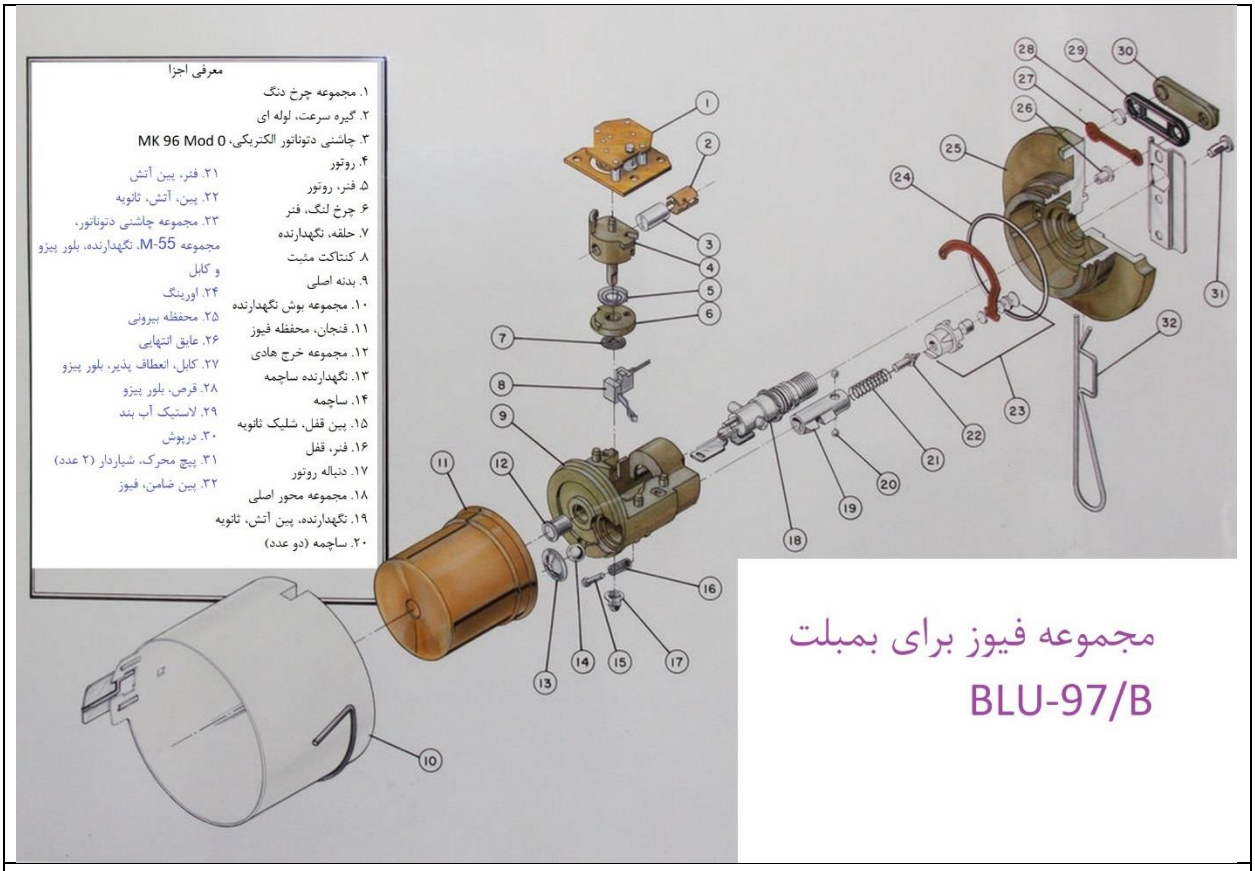
اصل ۶: انرژی تسلیح به کار رفته برای به حرکت در آوردن روتور از موقعیت ایمن می تواند به طور مستقیم از تحریک تسلیح به دست آید – آرایشی که اطمینان حاصل می کند که انرژی تسلیح از محیط پس از شلیک به دست می آید. به علاوه، حرکت روتور می تواند به عنوان تصدیقی باشد که تحریک تسلیح، موجود است.
اصل ۷: پروفیلها (منحنی ها)ی شتاب در این کاربرد، از شدت و مدت زمان کافی برخوردار است که فاصله جدایش ایمن را می توان پیش از اعزام نهایی برای فعالسازی تسلیح زنجیره آتش، صحه گذاری کرد.
همچنان که سامانه های سلاح، تکامل پیدا می کند، کاربرد وسایل ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) با زنجیره های آتش بدون مانع در حال متداول تر شدن است. گزینه های به کارگیری موجود برای طراحان وسایل ایمنی و تسلیح الکترونیکی، امکان راه حلهای پیچیده تر از وسایل ایمنی و تسلیح مکانیکی را فراهم می کند. همچنان که پیچیدگی افزایش می یابد، پیچیدگی تفسیر اصول ایمنی اولیه ای که برای این طراحی ها به کار می رود نیز افزایش می یابد. به علاوه، امکان غافل شدن از اصول ایمنی پایه موجود در این سند (یعنی اطمینان از اینکه ویژگیهای ایمنی، واقعا مستقل اند و جلوگیری از شکستهای تک نقطه یا وضعیت مشترک) افزایش می یابد. به دلیل این عوامل، به کارگیری ویژگیهای ایمنی برای وسایل ایمنی و تسلیح الکترونیکی نیازمند توجه بیشتر جامعه طراحی و بازنگران است تا اطمینان حاصل شود که اصول طراحی ایمنی پایه موجود در این سند، مورد تاکید قرار گرفته و به دقت از آنها پیروی می شود.



شکل ۲۲ مقطع برش خورده یک فیوز ضربه ای

ویژگی ایمنی مستقل

ویژگی ایمنی، مستقل است اگر عملکرد یا عدم عملکرد دیگر ویژگیهای ایمنی بر یکپارچگی آن تاثیر نگذارد. اگر درجه بالایی از استقلال حفظ نشود، امکان بروز شکستهای تک نقطه یا مشکلات وضعیت مشترک، افزایش می یابد، و در حالی که هر ویژگی ایمنی باید مستقلا عمل کند، استقلال کل، امکان پذیر نیست. برای مثال، دو قفل مکانیکی که به یکپارچگی یک سازه محفظه برای عملکرد خود وابسته اند، مستقل نیستند. از اینرو، در برآورد این مفهوم، طراح باید این موارد را در نظر گیرد: جدایش فیزیکی، نوع تحریکها و ورودی تسلیح، روشها / بخشهای اجرا، و نوع انرژی. مجددا تاکید می شود، انتخاب مناسب تحریکهای تسلیح در به کارگیری ویژگیهای ایمنی مستقل، نقش کلیدی دارد.



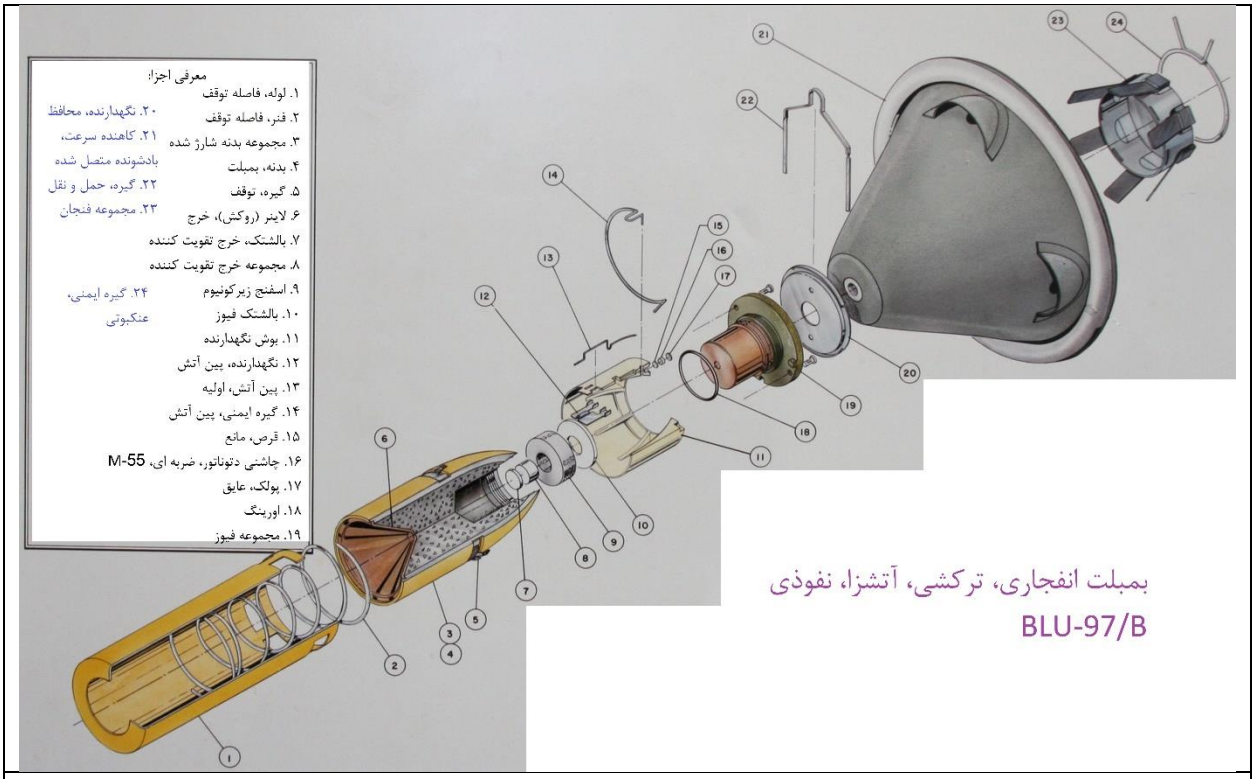
شکل ۲۳ نمای سه بعدی انفجاری فیوز بمبلت BLU-97/B و معرفی اجزای آن

ایمنی اضافی

سامانه ایمنی فیوز باید شامل دست کم دو ویژگی ایمنی مستقل باشد تا از تسلیح ناخواسته فیوز جلوگیری کند. تحریکهایی که دست کم دو ویژگی ایمنی را فعال می کنند، از محیطهای مختلف به دست می آیند. طراحان باید از استفاده از محیطها و سطوحی از تحریکها که در آن، فیوز ممکن است پیش از چرخه پرتاب در معرض آن قرار گیرد پرهیز کنند. عملکرد دست کم یکی از این ویژگیها به حس کردن محیط پس از نخستین حرکت در چرخه

شلیک یا حس کردن یک محیط پس از شلیک، بستگی دارد. عملی که برای آغازش پرتاب انجام می شود، می تواند به عنوان محیط در نظر گرفته شود، اگر سیگنال تولید شده با این عمل به طور برگشت ناپذیری سبب می شود که سلاح، چرخه پرتاب را تکمیل کند.

الزام برای دو ویژگی ایمنی مستقل باید مورد تاکید قرار گیرد، چراکه فیوز را به طرز چشمگیری ایمن تر می کند. این الزام، از منظر صحه گذاری طراحی نیز منطقی است. نرخ شکست ایمنی مجاز سامانه در وسیله ایمنی و تسلیح، بیشتر از 1×10^{-6} نیست – ارزیابی این الزام دشوار است، زیرا صحه گذاری رخدادهایی که تا این حد به ندرت رخ می دهد، عملی نیست. از سوی دیگر، هنگامی که دو ویژگی ایمنی مستقل مورد نیاز باشد، هر ویژگی ایمنی تنها نیاز دارد که نرخ شکست 1×10^{-3} را اثبات کند که دستیابی و اثبات آن بسیار ساده تر است. به علاوه، این نرخ شکست، با الزام قابلیت اطمینان برای سامانه نیز همخوانی بیشتری دارد.

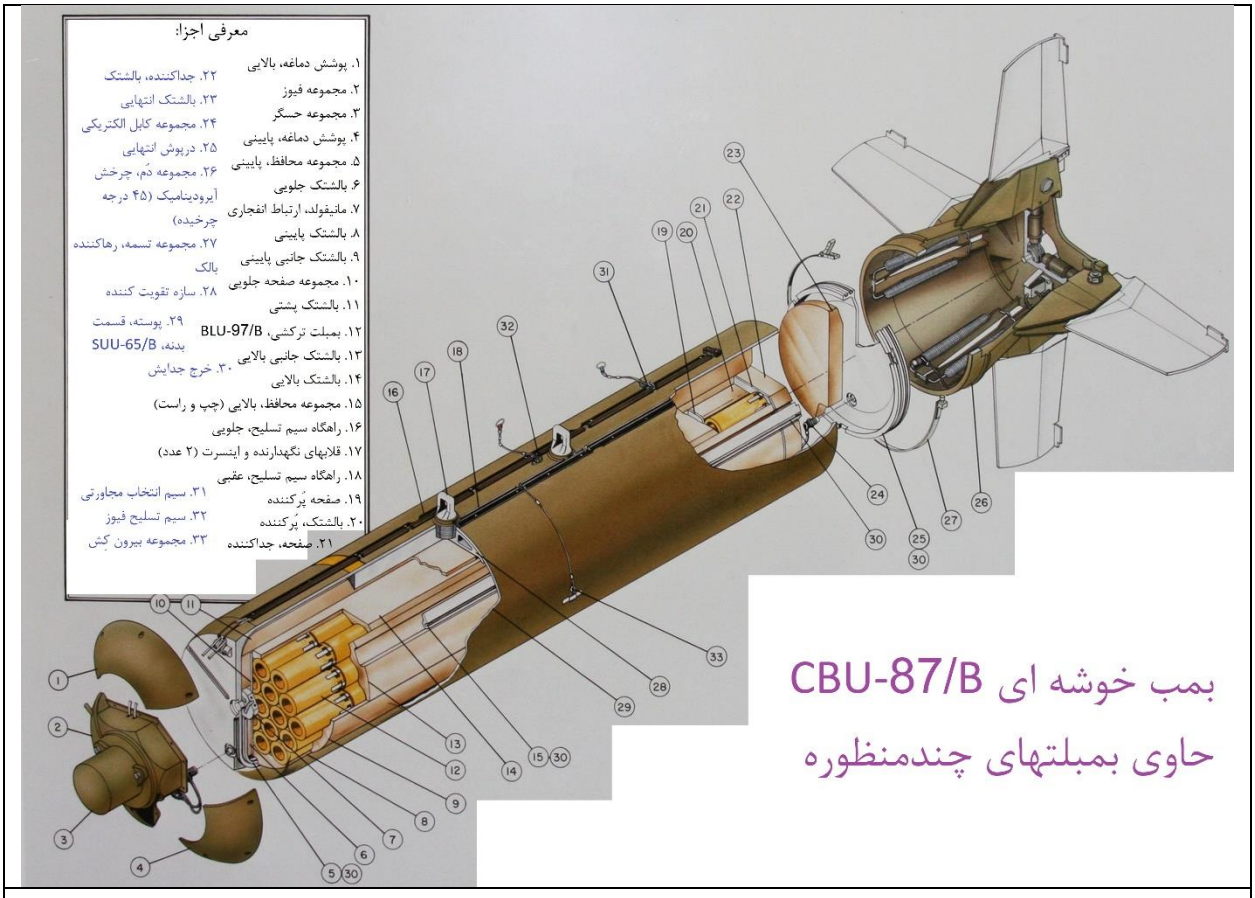


شکل ۲۴ نمای سه بعدی انفجاری بمبلت BLU-97/B و معرفی اجزای آن

البته، اعتبار جدا کردن تخصیص الزامات نرخ شکست ایمنی به ویژگیهای ایمنی منفرد، تنها زمانی قابل کاربرد است که مفهوم ویژگیهای ایمنی مستقل، پیشتر به طور دقیق به آن نسبت داده شود. اگر هرگونه وابستگی داخلی میان ویژگیهای ایمنی وجود داشته باشد، نرخ شکستهای هر کدام را نمی توان در یکدیگر ضرب کرد تا نرخ شکست کلی 1×10^{-6} به دست آید ($[1 \times 10^{-3}] \times [1 \times 10^{-3}]$). همانگونه که پیشتر گفته شد، مفهوم مستقل بودن، به محیطهایی اطلاق می شود که برای فعال کردن ویژگیهای ایمنی به کار می رود. به علاوه، امکان پذیری

نیز نقش ایفا می کند. بررسی منابع در اختیار طراحان نشان می دهد که به دست آوردن دو تحریک تسلیح منحصر به فرد و مستقل از اغلب محیطهای پرتاب، عملی و امکان پذیر است.

در توسعه الزامات طراحی که ویژگی ایمنی اضافی را برای وسایل ایمنی و تسلیح الکترونیکی بدون مانع که به صورت الکترونیکی کنترل می شوند، فراهم می کند، برای انطباق با فناوری، تنظیماتی باید انجام شود. از آنجا که هیچ مانع مکانیکی در زنجیره آتش وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی وجود ندارد، دست کم لازم است دو قطع کننده انرژی – که با دو ویژگی ایمنی کنترل می شوند – وجود داشته باشند تا از تسلیح ناخواسته جلوگیری شود. این پیش-نیاز، مستقیما قابل مقایسه با دست کم دو ویژگی ایمنی است که مستقیما مانع مکانیکی در وسایل ایمنی و تسلیح مکانیکی را در موقعیت ایمن، قفل می کند. دفترچه راهنمای WSERB برای وسایل ایمنی و تسلیح دارای زنجیره آتش بدون مانع (مرجع [۲])، راهنمای بیشتری برای تعداد کمینه ویژگیهای ایمنی مورد نیاز، مبتنی بر روشهای اجرایی مورد استفاده، ارایه می کند. این راهنمایی در جدول ۱ نشان داده شده است.



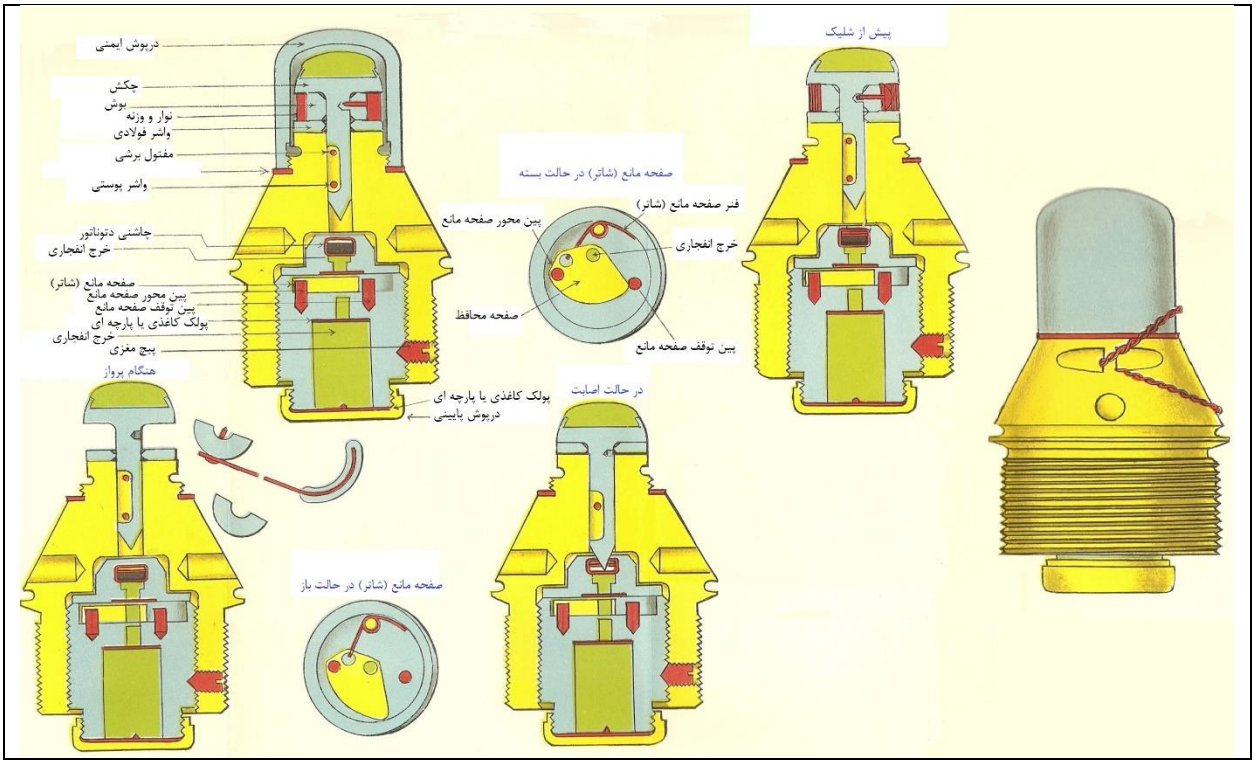
شکل ۲۵ نمای سه بعدی انفجاری بمب خوشه ای CBU-87/B و معرفی اجزای آن

خواننده باید توجه کند که روشهای اجرایی ویژگیهای ایمنی، یکسان نیستند. دفترچه راهنمای WSESRB الزام می کند که دو ویژگی ایمنی الکتریکی غیردینامیکی (یعنی استاتیکی) برای جایگزینی یک ویژگی ایمنی الکتریکی

دینامیکی یا مکانیکی، استفاده شود. اغلب طرحهای ایمنی و تسلیح الکترونیکی، از یک ویژگی ایمنی دینامیکی – که به عنوان معادل دو ویژگی ایمنی مکانیکی پذیرفته شده – یا دو ویژگی ایمنی استاتیکی، بهره می گیرند. دلیل آن این است که ویژگی ایمنی منفرد مبتنی بر قطع کننده انرژی استاتیک، به اندازه دیگر انواع و ویژگیهای ایمنی، همان سطح از ایمنی را فراهم نمی کند. شکست در شرایط بسته، یکی دو وضعیت شکست بارز برای سوئیچها است که قطع انرژی را فراهم می کند. با استفاده از قطع کننده های اضافی استاتیک انرژی، ریسک تا حد قابل قبولی کاهش می یابد. به بیان دیگر، اگر طراحی، اطمینان ایجاد کند که قطع کننده ها واقعا مستقل اند، دست کم یکی از قطع کننده های استاتیک انرژی به خوبی کار خواهد کرد. قطع کننده های انرژی دینامیک، معادل با ویژگیهای ایمنی مکانیکی هستند، زیرا قطع کننده باید به طور فعال عمل کند تا از تسلیح ناخواسته جلوگیری کند.

سامانه ایمنی فیوز

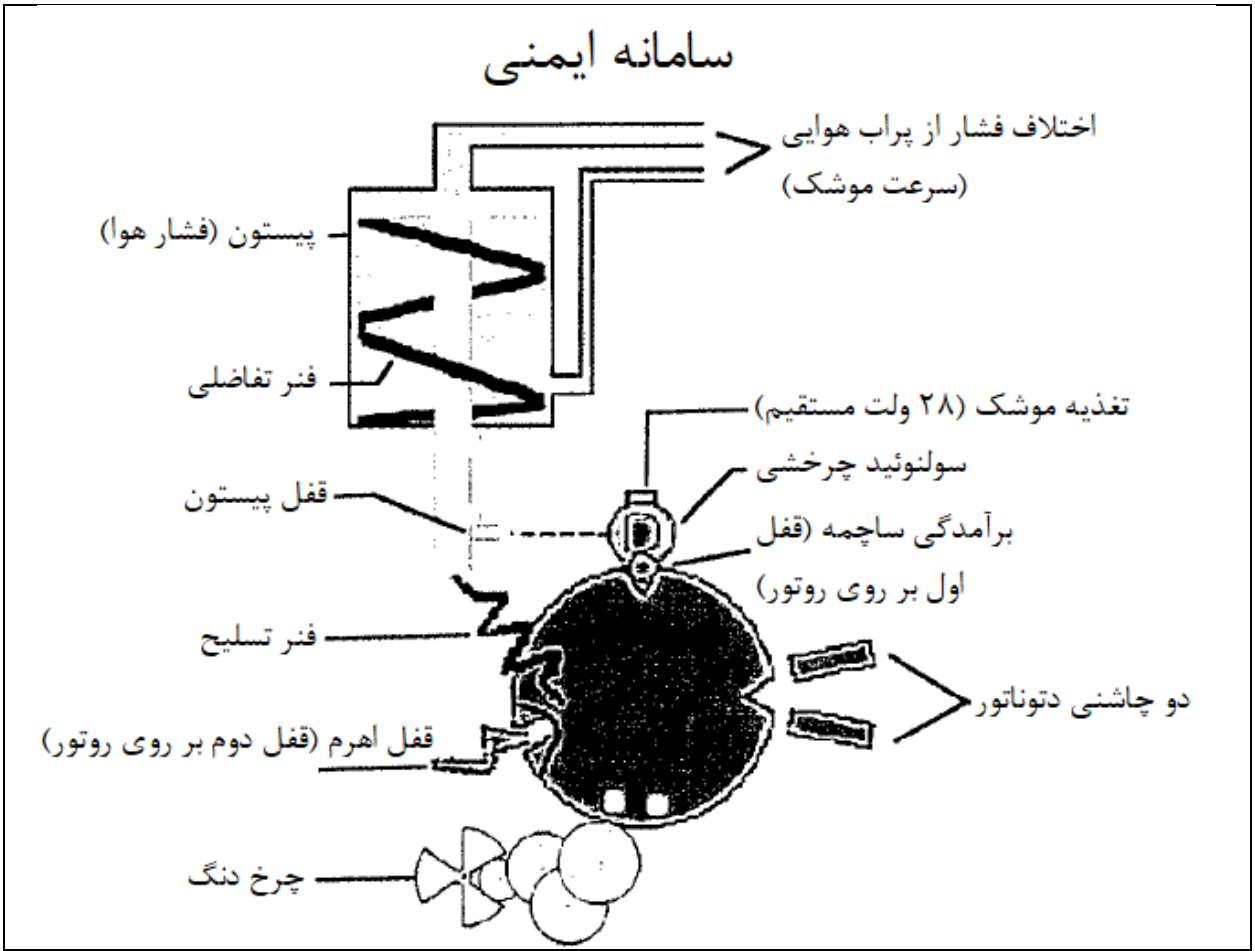
سامانه ایمنی فیوز، تجمیعی از وسایل است (مانند حسگرهای محیطی، حسگرهای رویداد پرتاب، وسایل عملکرد فرمان، اقلام بحرانی قابل جدا شدن، یا شبکه های منطقی، به علاوه قطع کننده های زنجیره آتش یا آغازش، در صورت کاربرد) که در فیوز تعبیه شده تا از تسلیح و عملکرد ناخواسته فیوز جلوگیری کند. تا زمانی که محیط معتبر شلیک، حس نشده و تاخیر تسلیح حاصل نشده است، تسلیح و عملکرد نباید رخ دهد. این مفهوم بسیار مهم است و گاهی تعریف آن دشوار است. برای یک موضوع مشخص، تعیین این که سامانه ایمنی دقیقا چیست، در بسیاری از موارد، بسیار بحث انگیز بوده است. به منظور شفاف سازی دو مثال زیر ارایه می شود.



شکل ۲۶ مقطع برش خورده فیوز ضربه ای شماره 106E نوع Mk 4 و اجزای آن در حالتهای ایمن، تسلیح و عملکرد

سامانه فیوز پنوماتیک پایه، شامل دو زیرمجموعه است، فیوز موشک هدایت شونده (نشان داده شده در شکل ۲۷) و حسگر (پراب) فشار. با ناهمراستا بودن زنجیره آتش یا قرار داشتن در موقعیت ایمن در حین حمل و نقل، انبارداری، و فاز پرواز پیش از رسیدن به جدایش ایمن از سکوی پرتاب، ایمنی فیوز تامین می شود. در پرتاب، سولنوئید چرخشی، انرژی دار می شود تا ویژگی ایمنی که روتور را در موقعیت ایمن قفل کرده، حذف کند. همزمان، یک سیم تسلیح از پراب (حسگر) فشار (نشان داده نشده) کشیده می شود – حالتی که اجازه بسته شدن سوئیچ پراب را می دهد که تغذیه موشک را برای شلیک چکش پراب، تامین می کند. چکش آتش، پراب را به درون جریان هوای موشک باند می کند، اثری که دو کلگی مانیفولد لوله هوای فیوز را می بُرد و ارتباط لوله ها به پراب فشار را امکان پذیر می کند. پراب، اختلاف فشار میان سنبه دینامیک و پورتهای استاتیک را حس می کند و این اختلاف فشار را به پیستون فیوز منتقل می کند. هنگامی که نیروی اختلاف فشار از تفاضل و نیروهای فنر تسلیح فراتر رود، پیستون حرکت کرده و انرژی در فنر تسلیح، ذخیره می شود. هنگامی که پیستون به موقعیت کاملا جابجا شده می رسد، دومین ویژگی ایمنی، که روتور انفجاری را قفل کرده، برداشته می شود، آرایشی که آغاز شدن حرکت روتور را فعال می کند. روتور با فنر تسلیح حرکت داده شده و با چرخ رقاصک، دچار تاخیر می شود و روتور فنر را برمی گرداند. نزدیک به انتهای دوران روتور، دتوناتورها به مدار آتش، سوئیچ می شوند. هنگامی که دوران روتور کامل می شود، بادامک سولنوئید جلویی، ساچمه قفل روتور را به درون شیار روتور فرو می بَرد –

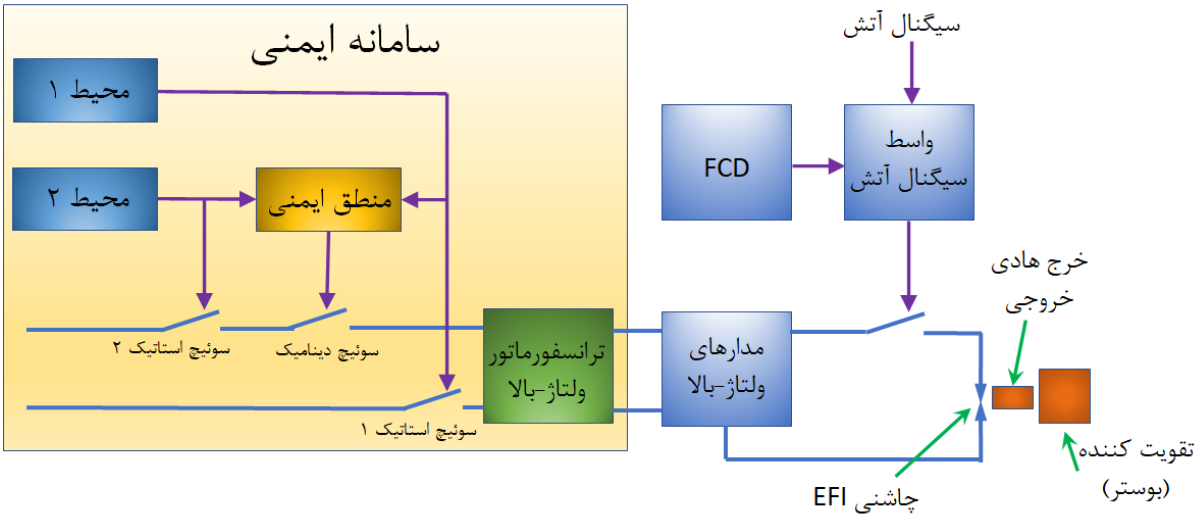
آرایشی که سبب می شود، روتور در وضعیت مسلح، قفل شود. زنجیره آتش اکنون همراستا است، و فیوز نه تنها به صورت مکانیکی و الکتریکی مسلح است، بلکه در حالت مسلح، قفل می شود.



شکل ۲۷ مثال ۱، فیوز پنوماتیک

در نگاه نخست، به نظر می رسد که سامانه ایمنی برای این فیوز پنوماتیک، شامل فیوز موشک هدایت شونده و پراب فشاری باشد. اما در واقعیت، تنها بخش وسیله ایمنی و تسلیح فیوز پنوماتیک، تشکیل دهنده سامانه ایمنی است. همه ویژگیهای ایمنی، داخل، جانمایی شده و حس کردن تحریکهای تسلیح، درون فیوز رخ می دهد. این پراب، محیطی را برای حس کردن ایجاد می کند، که هنوز همه تصمیم های ایمنی، در فیوز رخ می دهد. این مفهوم مهم است زیرا برخورداری از اجزای سامانه ایمنی در بخشها و موقعیتهای گوناگون، کاملا نامطلوب است. برای تقویت این مفهوم، کنکاشها با مهندسینی که در توسعه اولیه استاندارد MIL-STD-1316 مشارکت داشته اند، به این جمع بندی منجر شده که عبارت «شامل شده در فیوز» که در تعریف فوق آمده، به این معنی است که «سامانه ایمنی فیوز، کاملا درون فیوز تعبیه شود.» این مفهوم به عنوان الزام تلقی می شود زیرا به عنوان ایمن ترین رویکرد طراحی شناخته شده است.

وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) (شکل ۹)، نوعا از دو بخش تشکیل شده که معمولا درون یک محفظه قرار گرفته است. بخش نخست، مدار ایمنی است و بخش دوم، مجموعه شلیک ولتاژ-بالا است. ایمنی فیوز با ممانعت از تغذیه از مدارهای ولتاژ-بالا تامین می شود. در این طراحی نیازی نیست که زنجیره آتش، مانع-دار باشد زیرا هیچ گونه ماده منفجره اولیه در زنجیره آتش به کار نرفته است. سامانه ایمنی، تحریک آغازش، که یک پالس الکتریکی توان بالای منحصر به فرد است، را با ممانعت از انباشتگی ولتاژ بالا در مجموعه شلیک، از زنجیره آتش، مجزا (ایزوله) می کند. پرتاب، نخستین محیط را فراهم کرده و توسط وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) حس می شود، وضعیتی که نخستین ویژگی ایمنی را فعال می کند. این فاز، سوئیچ استاتیک ۱ را بسته و همزمان، یک شرط برای ویژگی ایمنی سوئیچ دینامیک را فعال می کند. پس از پرتاب، محیط دوم توسط وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) حس شده و ویژگی ایمنی دوم، فعال می شود. این حالت، سوئیچ استاتیک ۲ را بسته و همزمان ورودی دومی برای ویژگی ایمنی سوئیچ دینامیک، فراهم می کند. پس از آنکه الزام تاخیر جدایش ایمن، برآورده شد، ویژگی ایمنی دینامیک به طور کامل فعال می شود؛ سوئیچ دینامیک شروع به عمل کردن نموده و سبب می شود که مجموعه شلیک، شارژ شود. هنگامی که ولتاژ مجموعه شلیک از کمینه ولتاژ عدم انفجار چاشنی EFI فراتر رود، وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) مسلح می شود. ویژگی ایمنی در این مثال، شامل حسگرهای محیطی، مدار منطقی و کنترلی، سه سوئیچ قطع کننده انرژی، ترانسفورماتور ولتاژ-بالا، و خازن است.



شکل ۲۸ مثال ۲، نمونه ای از فیوز حاوی وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD)

انواع سیگنالهای محیطی برای وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD)

بهترین رویکرد آن است که حسگرهای محیطی درون وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) باشند تا از صحت و یکپارچگی سیگنالهای محیطی بیرونی اطمینان حاصل شود. اگرچه، برای برخی از کاربردها، این رویکرد، عملی نیست. در این گونه موارد، معماری سامانه از اهمیت بیشتری برخوردار است. مبتنی بر شکل سیگنال تسلیح / فعالسازی موجود برای وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) از حسگر محیطی، مباحث زیر به منظور ارایه راهنمایی برای این موارد ارایه شده است. جدول ۳ حاوی گونه های متفاوتی از شکلهای سیگنال تسلیح / فعال سازی است که می تواند به عنوان ورودیهای وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی به کار رود.

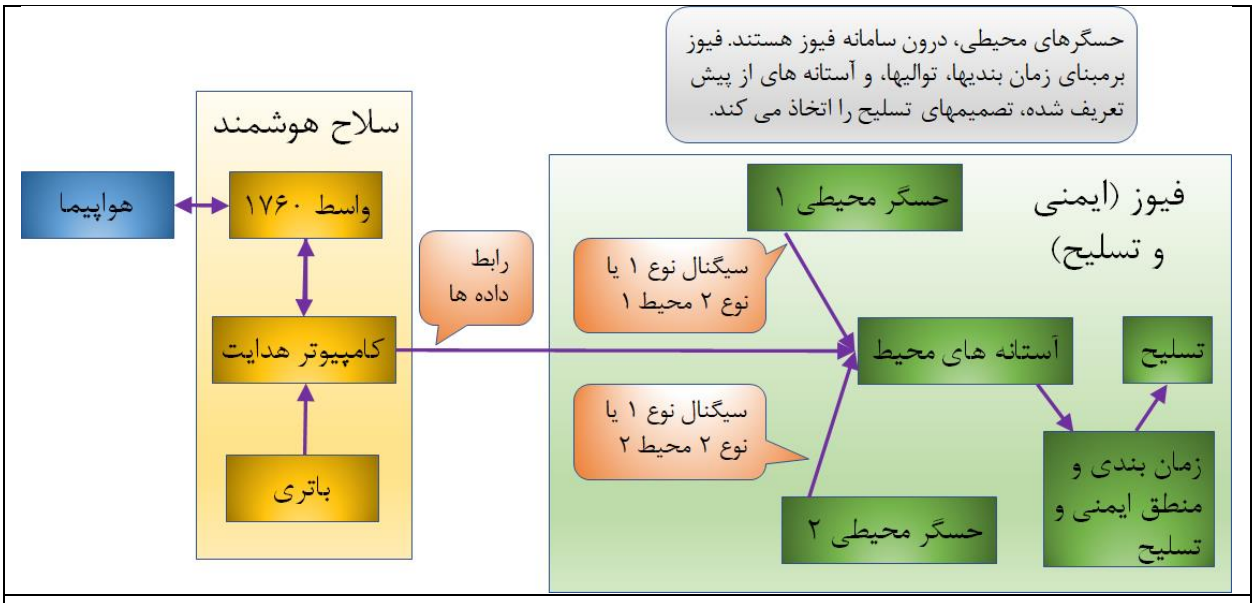
جدول ۳ انواع سیگنال

نوع	توصیف	مثال
نوع ۱	سیگنال آنالوگ یا دیجیتال ساده، گذار (گذرای) استاتیک یا منفرد	از خروجی مستقیم حسگر یا خروجی منطقی استاتیک مرتبط با یک لحظه متمایز در زمان، استفاده می شود.
نوع ۲	سیگنال دینامیک	از سیگنال پیوسته وابسته به زمان که از یک منحنی مورد انتظار پیروی می کند، استفاده می شود.
نوع ۳	سیگنال مصنوعی	از سیگنال نوع دینامیک ایجاد شده با اجرای متوالی یک برنامه کامپیوتری، استفاده می شود.
نوع ۴	سیگنال هوشمند	سیگنال نوع مصنوعی تولید شده با روشی که می توان اعتبار سیگنال را صحه گذاری کرد.
نوع ۵	سیگنال پردازش شده	سیگنال پردازش شده نشان می دهد که چه زمانی آستانه ها برآورده شده اند. این سیگنال، کدگذاری منحصر به فردی دارد.

اغلب طراحان فیوز دارای وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD)، نوع ۱ را ترجیح می دهند. در این حالت، ویژگی ایمنی مرتبط از اطلاعات فیلتر نشده / پردازش نشده از حسگر، استفاده می کند. ویژگی ایمنی، درستی سیگنال را از وارسی مشخصات سیگنال که در محدوده قابل پذیرش قرار دارد، بررسی می کند. درستی سیگنال، محدود به مشخصات قابل بررسی است. اگر یک سیگنال ساده یا عمومی مورد استفاده قرار گیرد، حسگر تولید کننده آن باید منحصرا برای عملکرد ایمنی به کار گرفته شود. به علاوه، برای کمینه کردن احتمالات فعال کردن ناخواسته ویژگی ایمنی، فیوز باید درون وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) نگه داشته شده و مستقیما با ویژگی ایمنی، مزدوج شود.

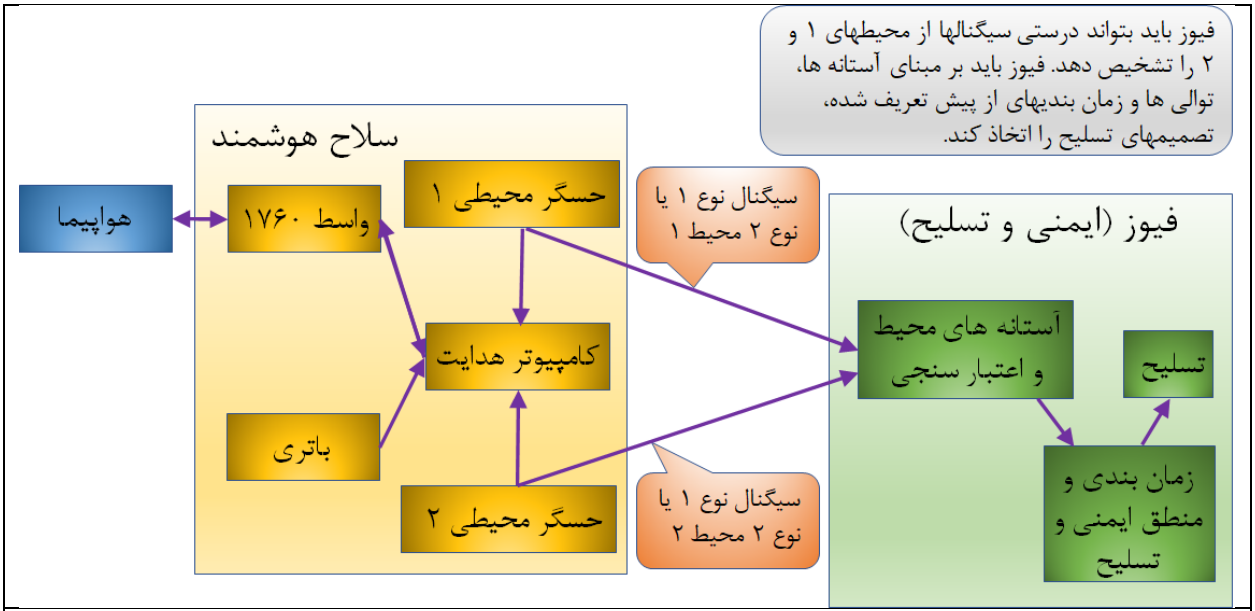
در یک سیگنال نوع ۲، داده های کدگذاری شده، وابسته به زمان یا فرکانس هستند. این سیگنال به یک ویژگی ایمنی نیاز دارد که بتواند علاوه بر دیگر مشخصه های تحریک تسلیح، مشخصه های وابسته به زمان را شناسایی و صحه گذاری نماید. قابلیت پذیرش این سیگنال، کاملا وابسته به آن است که مشخصه های آن چقدر منحصر به فرد است و اینکه سیگنال دینامیک چگونه تولید می شود. بهترین سیگنالهای نوع ۲ آنهایی هستند که منحصر به

فرد اند و تنها در اثر محیط پس از پرتاب، درون سامانه سلاح تولید می شوند. مثالی از آن، سیگنال تولید شده توسط یک مولد بر روی یک موتور توربینی است.
سیگنال نوع ۳، نوعی سیگنال نوع ۲ است که به صورت مصنوعی توسط یک برنامه کامپیوتری تولید شده است. عموما از این سیگنال نباید استفاده شود زیرا ویژگی ایمنی مرتبط، به طور ذاتی نیم تواند صحت ورودی آغاز کننده اجرای برنامه کامپیوتری را تعیین کند. این سیگنال تنها هنگامی باید به کار گرفته شود که هیچ روش دیگری برای فراهم کردن ورودی محیطی وجود ندارد.
سیگنال نوع ۴ مشابه سیگنال نوع ۳ است، با این تفاوت که اطلاعات کد شده، به وسیله ایمنی و تسلیح امکان می دهد تا درستی سیگنال تولید شده را بررسی کند. هنگامی که از حسگرهای دور از دسترس باید استفاده شود و سیگنال مورد انتظار، فاقد مشخصات قابل انتظار قابل بررسی است، پیچیدگی بیشتر این آرایش، قابل توجیه است.
سیگنال نوع ۵ از این منظر منحصر به فرد است که ممکن است در آغازش توزیع شده آتی یا کاربردهای ریزمهمات، مورد نیاز باشد و بتواند در آرایش تسلیح به کار رود. مشخصه ها / آستانه های محیطهای تسلیح، پیش از آن به صورت بیرونی در مدول تسلیح فرمان بررسی شده است. این سیگنال، کدگذاری شده است، به گونه ای که درستی آن را می توان تعیین کرد. این رویکرد، دربرگیرنده مصالحه های ایمنی و هزینه ای است، زیرا به سخت افزار اضافی برای کدگذاری، انتقال و رمزگشایی سیگنال های منحصر به فرد نیاز دارد.
شکل ۲۹ معماری یک وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) متداول را نشان می دهد. این رویکرد بیانگر طرحی است که با یک سابقه ایمنی کامل (بی نقص) و قابلیت اطمینان بالا به مدت ۳۰ سال به طور موفق بر روی وسایل ایمنی و تسلیح مکانیکی به کار رفته است. این طرح به عنوان یک رویکرد ترجیحی، باید هر کجا که امکان دارد به کار گرفته شود. سامانه ایمنی باید حسگرهای ایمنی را به عنوان بخشی از مجموعه فیوز داشته باشد. از آنجا که وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) بی نیاز از بیرون (خوددار) است، به منظور تصمیم گیری برای تسلیح به هیچ بخش دیگری از سلاح هوشمند وابسته نیست. تنها ورودی به فیوز، رابط بالقوه داده ها است که می تواند برای انتخاب وضعیتهای فیوز به کار رود.



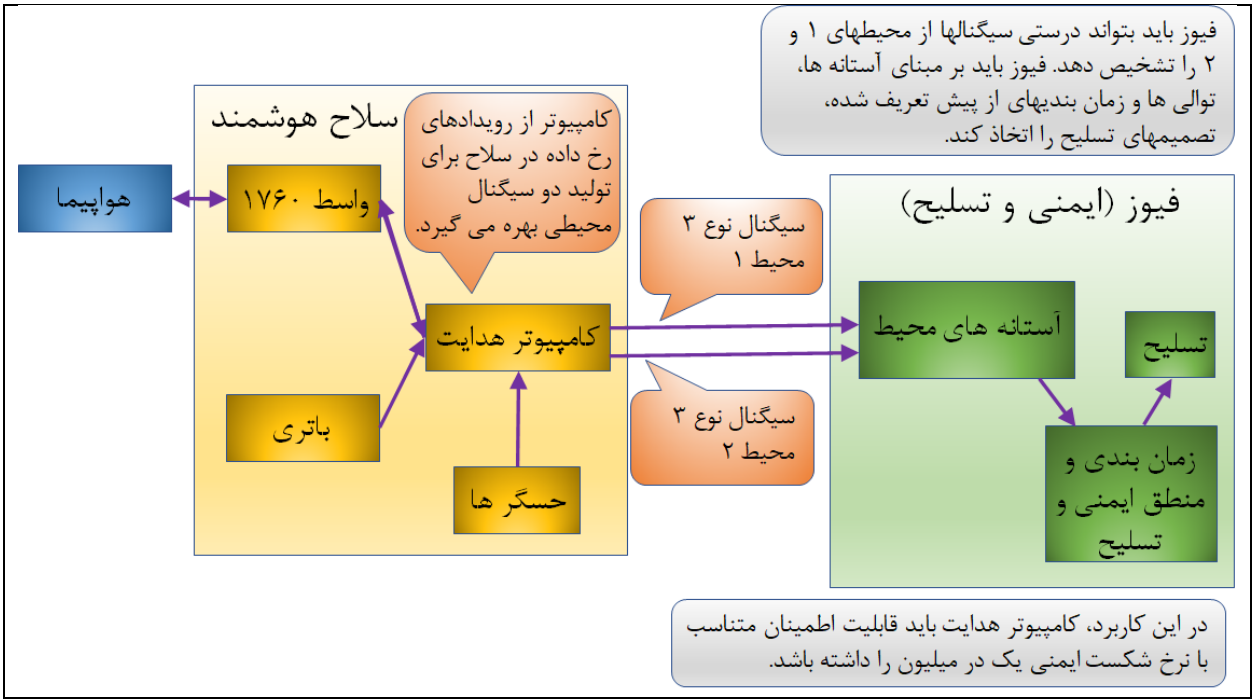
شکل ۲۹ وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) متداول (حسگرها بخشی از سامانه ایمنی هستند)

در کاربرد مربوط به شکل ۳۰، حسگرهای مورد استفاده در موقعیتهای دیگر در سلاح هوشمند، با سامانه فیوز به اشتراک گذاشته می شوند. خروجیهای حسگرها مستقیما به فیوز متصل می شود – حالتی که آنها را سیگنالهای نوع ۱ یا نوع ۲ می کند. نگرانی اصلی در این کاربرد، یکپارچگی سیگنالها به فیوز است. باید با دقت اطمینان حاصل شود که سیگنالهای پردازش شده توسط سامانه فیوز به اندازه کافی منحصر به فرد اند که ایمنی کافی را فراهم کرده و به طور ناخواسته قابلیت تغییر نداشته باشند.



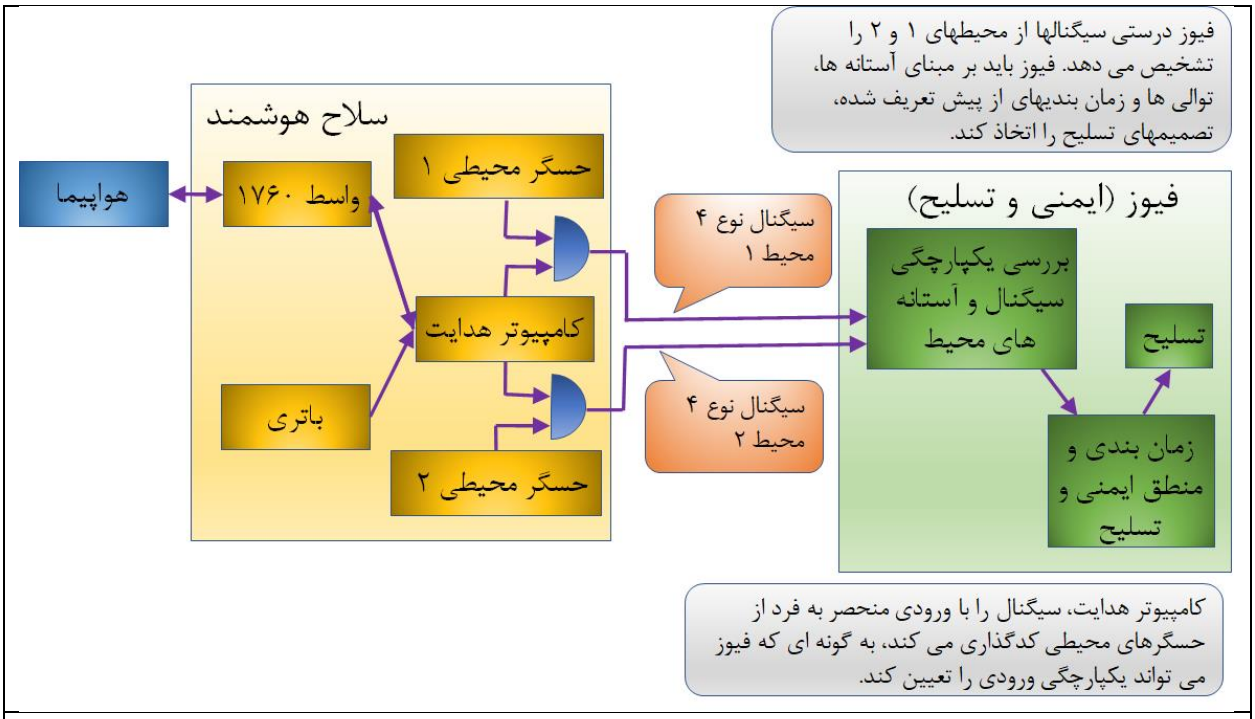
شکل ۳۰ حسگر به اشتراک گذاشته شده (مستقل از کامپیوتر هدایت)

در کاربرد مرتبط با شکل ۳۱، کامپیوتر، رویدادهای رخ داده در سامانه سلاح را دنبال می کند. کامپیوتر هدایت، دو سیگنال نوع ۳ تولید کرده و به عنوان ورودیهای محیطی، به فیوز ارسال می کند. یکی از مشکلات پیش رو آن است که چگونه فیوز بررسی می کند که سیگنالهای دریافت شده، ورودیهای معتبری هستند، نه سیگنالهایی که توسط یک کامپیوتر خارج از کنترل، تولید شده است. برای این روش، یک رویکرد قابل قبولی باشد، نرخ شکست ایمنی قابلیت اطمینان کامپیوتر هدایت، نباید بیشتر از 1×10^{-6} باشد. در اغلب حالتها، این الزام، هزینه بر است. از اینرو باید از این رویکرد اجتناب کرد. در حالی که در تئوری، این رویکرد به نظر کاربردی می رسد، اما در کاربردهای عملی، اثبات شده که غیر کاربردی است.



شکل ۳۱ محیط پردازش شده توسط کامپیوتر (محیطهای مصنوعی)

رویکرد ارایه شده در شکل ۳۲ کاملا مشابه با شکل ۳۱ است با این تفاوت که از سیگنال نوع ۴ استفاده شده است. اطلاعات منحصر به فرد از حسگرهای محیطی به سیگنال تولید شده توسط کامپیوتر هدایت، کدگذاری می شود. در این کاربرد، سامانه فیوز، یکپارچگی سیگنالهای دریافت شده را مبتنی بر اطلاعات اضافی، تعیین می کند. این رویکرد، نیازمند آن است که تکنیک کدگذاری به اندازه کافی امن باشد تا در صورت خرابی کامپیوتر بتواند از دریافت سیگنالهایی که در واقعیت رخ نداده اند ممانعت کند.

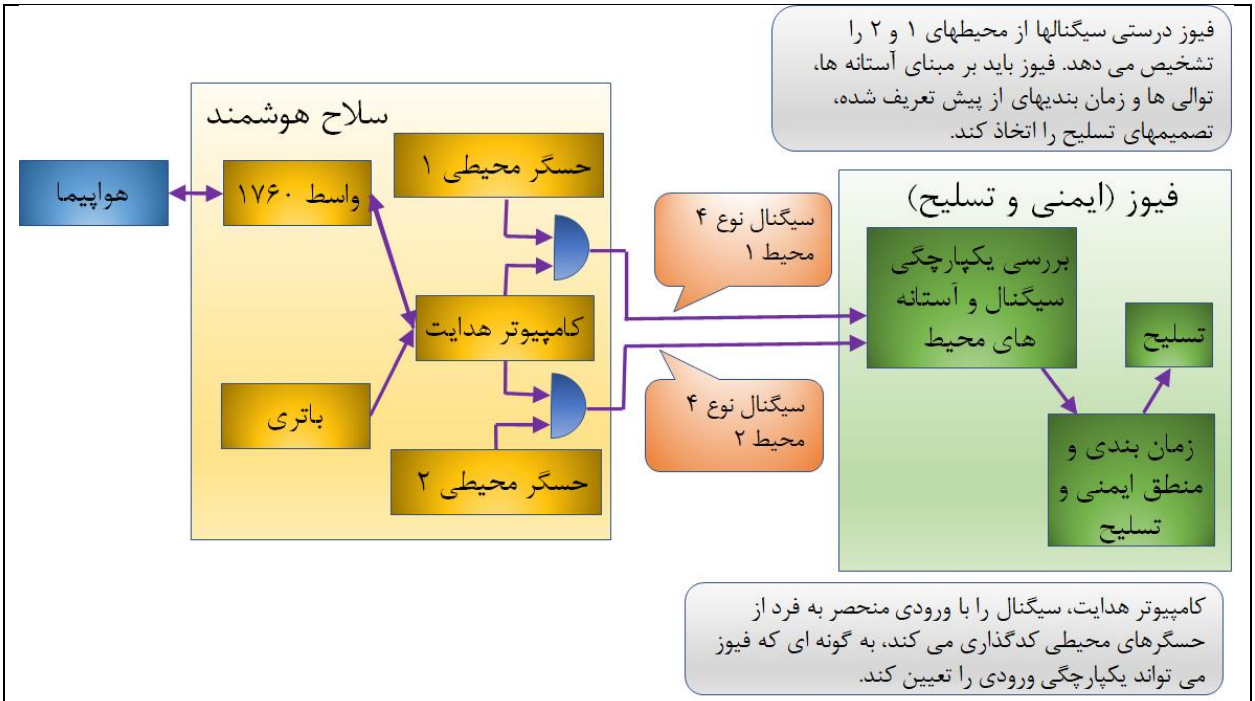


شکل ۳۲ محیط پردازش شده توسط کامپیوتر (سیگنالهای کدگذاری شده منحصر به فرد)

رویکرد ارایه شده در شکل ۳۳ از همه بحث برانگیزتر است زیرا با مفهوم سامانه های ایمنی توزیع شده سروکار دارد. به عبارت دیگر، منطق ایمنی در همان موقعیت یا مجموعه ای که مدارهای آتش قرار دارد، وجود ندارد، بلکه در موقعیت مرکزی واقع شده است. منطق ایمنی به همراه ورودیهای از حسگرهای محیطی و کامپیوتر هدایت، تعیین می کند که چه زمانی تسلیح سرجنگی مناسب است. سیگنال از منطق ایمنی به فیوزهای تسلیح فرمان، کدگذاری می شود به گونه ای که سیگنال نادرست، احتمال وقوع بسیار اندکی دارد. هر فیوز تسلیح فرمانی، قابلیت بررسی یکپارچگی سیگنال فرمان تسلیح را دارا بوده و تنها بر مبنای دریافت مناسب فرمان تسلیح درست یا واقعی، مسلح می شود.

بحثهای زیادی درباره اینکه آیا یک ورودی منفرد می تواند ایمنی کافی را فراهم کند یا خیر، وجود دارد. یک استدلال این است که فرمان منفرد به فیوز در زمان نادرست می تواند سبب شود که سامانه پیش از آنکه شرایط ایمن فراهم شود، سرجنگی را مسلح کند. استدلال دیگر آن است که از آنجا که سیگنال ورودی، کدگذاری می شود، فرمان تسلیح نادرست، یک شکست منفرد نیست، بلکه در واقع دو شکست است – برای مثال، سیگنال در زمان نامناسبی تولید شده، و کد گذاری برای یک سیگنال نادرست، صحیح باشد. این بحث را نمی توان با ارزیابی نمودار (دیاگرام) بلوکی، حل و فصل کرد. تنها، ارزیابی مدار طراحی نهایی مشخص خواهد کرد که آیا امکان شکست تک-نقطه وجود دارد یا خیر.

جمع بندی نهایی این است که این رویکرد اگر به یک خروجی منفرد نیاز داشته باشد (به دلیل پیچیدگی طراحی)، غیر قابل قبول است. البته، از آنکه که الزام برای آغازش چندنقطه ای به خروجیهای متعددی نیاز دارد، این نوع رویکرد می تواند متداول تر شود.



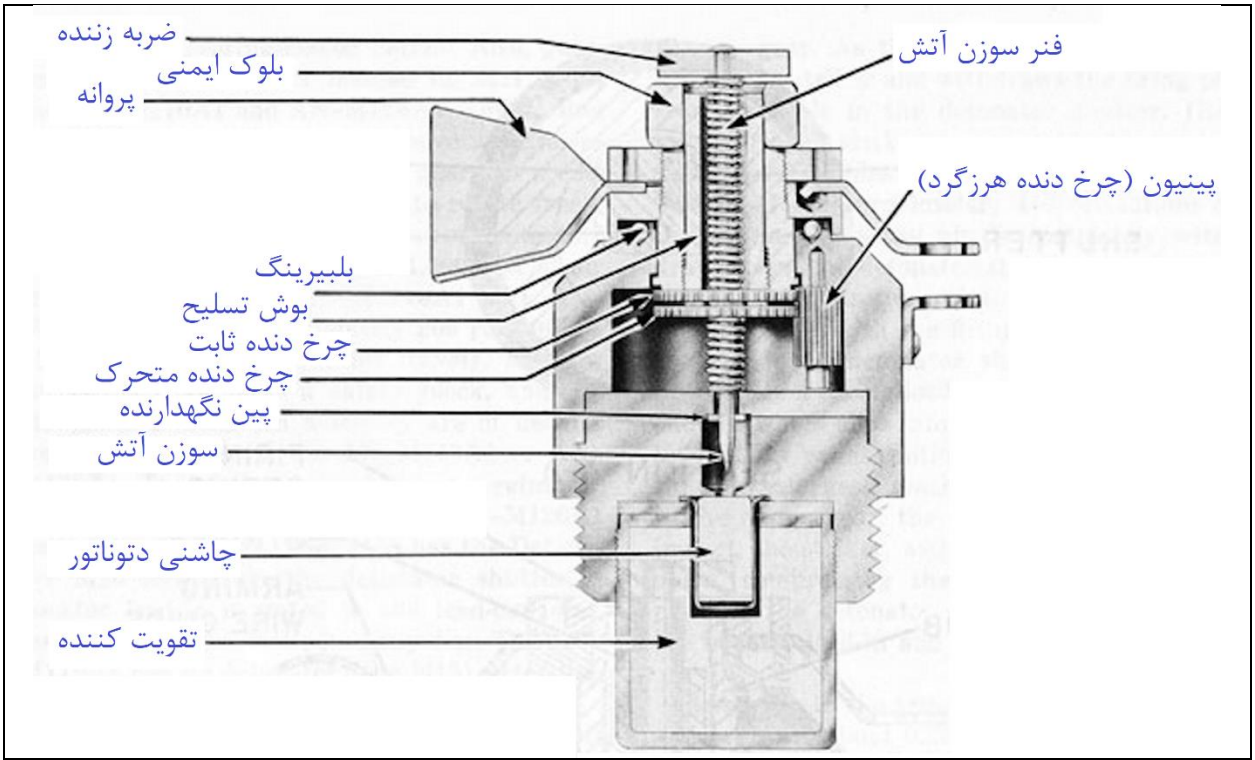
شکل ۳۳ تسلیح با فرمان (سلاح هوشمند حاوی سامانه ایمنی که به فیوزهای اقماری، فرمان می دهد)

لازم است دو اصل کلیدی در این بحث، شفاف سازی شود. نخست آنکه، طرحی که در آن نمی توان سیگنالهای محیطی را صحه گذاری کرد، غیرقابل قبول است. این کاستی، برای سامانه ای که در آن یکپارچگی سیگنالهای محیطی نامعلوم است، تعیین نرخ شکست سامانه را تقریبا غیرممکن می کند. دوم آنکه، سامانه های ایمنی توزیع شده، عموما رویکرد نامطلوبی هستند. در عین حال، اگر رویکرد ایمنی توزیع شده امکان پذیر باشد، در اغلب موارد، روشهای بهتر و معمولا کم-هزینه تری برای برآورد الزامات عملکردی وجود دارد. نگرانی دیگر، هنگام سروکار داشتن با واحدهای شلیک چندگانه، آن است که الزام نرخ شکست سامانه ایمنی، کمتر از 1×10^{-6} باشد. از اینرو، اگر دو واحد شلیک وجود داشته باشد، نرخ شکست هر واحد ایمنی باید کمتر از 5×10^{-7} باشد (یعنی نرخ شکست هر واحد برابر است با نرخ شکست ایمنی سامانه تقسیم بر تعداد واحدها). همچنان که تعداد واحدها افزایش می یابد، الزام نرخ شکست ایمنی برای هر واحد، کمتر می شود. اگر تعداد نقاط شلیک بخواهد عدد بزرگی باشد، مشخصا این محدودیت، معضلی برای طراح خواهد بود.

فلسفه آزمونهای ارزیابی تولید

وسایل ایمنی و تسلیح، حاوی اجزای انفجاری حساسی هستند که موجب آغازش سرجنگی می شود. این وسایل در بخش تسلیحاتی موشکهای نوین به کار می روند تا شاخصی از ایمنی هنگام کار با سلاح پیش از پرتاب، حمل و نقل، بارگیری، و شلیک موشک، و هنگام پیمایش اولیه سامانه سلاح به سمت هدف، فراهم شود. در تسلیحات نوین، وسیله ایمنی و تسلیح، هنگام مونتاژ سلاح در ایستگاه تسلیحات، در سرجنگی نصب می شود و در کل چرخه عمر سلاح، در سرجنگی می ماند. در حالی که شکست تسلیح وسیله ایمنی و تسلیح منجر به عدم عملکرد سرجنگی می شود، تسلیح ناخواسته وسیله ایمنی و تسلیح، ممکن است موجب آغازش سرجنگی و ایجاد نتایج فاجعه باری شود. بحث پیش رو، شفاف تر خواهد کرد که وسیله ایمنی و تسلیح، یک جزء بحرانی در بخش تسلیحاتی سامانه سلاح است.

استاندارد MIL-STD-1316 معیارهای ایمنی طراحی برای وسایل ایمنی و تسلیح و فیوزها را ارایه کرده است. نرخ شکست ایمنی در تمامی فازها (از تولید تا مرحله به کارگیری) نباید بیش از یک شکست در یک میلیون حالت باشد. از زمان تولید تا عملکرد مدنظر، این سطح از ایمنی باید حفظ شود، در حالی که پس از قرار گرفتن در تمامی محیطهای خدمت، و در دوره خدمت دست کم ۲۰ سال، قابلیت اطمینان تخصیص داده شده به سامانه، دست کم برابر با ۹۹.۵ درصد باشد. این الزامهای ایمنی و قابلیت اطمینان، بسیار بالا است. از اینرو، طراحی وسیله ایمنی و تسلیح، بحرانی است؛ و تولید وسیله ایمنی و تسلیح باید به دقت و سختگیرانه، مطابق با سند طراحی انجام شود. الزامات آزمون و تولید در مجموعه نقشه ها و مشخصات ساخت، گنجانده می شود. دفتر طراحی فنی مسئولیت دارد طرحی را توسعه دهد که همه الزامات را برآورده کرده و سپس آن را مستند کند، به گونه ای که هر سازنده تجهیزات الکترومکانیکی دقیق صلاحیت-داری، بتواند وسیله ایمنی و تسلیح را بسازد.



شکل ۳۴ مقطع برش خورده و اجزای یک فیوز (ایمنی و تسلیح) جلویی بمب

روشن است که آزمون محصول نهایی برای نشان دادن نرخ شکستهای ایمنی کمتر از 1×10^{-6} یا نشان دادن سطوح قابلیت اطمینان ۹۹.۵ درصد پس از ۲۰ سال خدمت، به قدری گران است که آن را ناممکن می کند. طی سالیان گوناگون، مرکز جنگ افزارهای هوایی نیروی دریایی (NAWCWD)، سامانه ای از بازرسیهای هماهنگ شده، دقیق، و هنگام فرآیند، آزمونهای هنگام فرآیند، و آزمونهای محدود محصول نهایی را توسعه داده است. تئوری آن ساده است – اگر وسیله ایمنی و تسلیح، به درستی طراحی شده باشد، مطابق با طراحی، ساخته شده باشد، مطابق با الزام نیز عمل خواهد کرد. درستی طراحی با ورودیهای تجمیعی از خبره ترین افراد موجود، مبتنی بر تجربه گذشته و آزمون و ارزیابی آزمایشگاهی رسمی گسترده، تعیین می شود. اگرچه، تعیین این که آیا وسیله ایمنی و تسلیح مطابق با طراحی، ساخته شده یا نه، خود، موضوع متفاوتی است.

اسناد مشخصات فنی و نقشه ها، تعداد زیادی از تاییدیه ها، بازرسیها، آزمونهای هنگام فرآیند، و آزمونهای محصول نهایی برای ویژگیهای عملکردی بحرانی یا مهم را می طلبد. در عمل، مجموعه دولتی به صورت نقادانه همه تاییدیه ها را بررسی نمی کند، شاهد همه آزمونها نیست، یا همه قطعات را بازرسی نمی کند. اگرچه، توسعه یک آزمون ترکیبی و یک برنامه ارزیابی، برای دریافت وسیله ایمنی و تسلیحی که مطابق با طراحی عمل خواهد کرد، به ناوگان نیروی دریایی بهترین اطمینان را می دهد. این اطمینان، با ملاحظات زیر پشتیبانی می شود.

۱. هنگام تولید وسیله ایمنی و تسلیح، سازنده، دسته های بازرسی حاوی ۱۵۱ تا ۵۰۰ واحد را تشکیل می دهد. سازنده، آزمونهای عملکردی را بر روی هر واحد انجام داده، داده های عملکردی را ثبت می کند، و همه واحدهای

نامنطبق را حذف می کند (سوابق همه واحدهای حذف شده، نگهداری می شود). برای بررسی این که همه واحدهای نامنطبق حذف شده اند یا نه، دسته هایی با سطح کیفیت قابل پذیرش ۰.۴ در یک طرح نمونه برداری دوگانه، نمونه برداری می شود (هر نمونه، حاوی ۸۰ واحد است). این واحدها با حضور نماینده تضمین کیفیت (QAR) دولتی، در معرض آزمونهای محصول نهایی قرار می گیرد. این آزمونها تصدیق می کند که سازنده، آزمونها را به درستی انجام داده، همه واحدها مطابق با الزام عمل می کنند، همه واحدهای نامنطبق از دسته حذف شده اند، و دسته می تواند برای ارزیابی های بیشتر توسط دولت، پذیرفته می شود.

۲. یک نمونه ارزیابی دسته ۱۵ واحدی، که معمولا به آن نمونه دسته آزمون پذیرش (LAT) گفته می شود، توسط نماینده تضمین کیفیت (QAR) از کل دسته انتخاب می شود. این نمونه توسط یک موسسه آزمایشگاهی مستقل، مطابق با مشخصات تولیدی، آزمایش می شود. این آزمونها قابلیت وسیله ایمنی و تسلیح برای مقاومت در محیطهای شدید چرخه عمر را ارزیابی می کند، که به هر دو موضوع ایمنی و قابلیت اطمینان، مرتبط است. اندازه نمونه ۱۵ واحدی، که تنها چند واحد از آن، در معرض این محیطها قرار می گیرد، به لحاظ آماری برای توصیف کل دسته، کافی نیست. اگرچه آزمون مخرب نمونه های به اندازه کافی بزرگ، بر مبنای رویه ای منظم هنگام تولید، غیر اقتصادی بوده و ضروری در نظر گرفته نمی شود.

زمان از دست رفته هنگام آزمونهای ارزیابی نمونه دسته نیز یک نگرانی محسوب می شود. اگرچه این زمان، قابل پیش بینی بوده و می تواند از قبل برنامه ریزی شود. در هر حالتی، ترکیبی از برنامه های تحویل دهی فشرده و شکست در برآورده کردن الزامات آزمون پذیرش، منجر به مشکلات جدی در تحویل دهی می شود. اگر عملکرد وسیله ایمنی و تسلیح از الزامات آزمون، منحرف شود، علت غیرعادی بودن یا شکست آن برای مجوز ارزیابی مناسب، باید تعیین شود. در حالی که این ارزیابی، زمان می برد، نقش آن در تعیین عملکرد چرخه عمر وسیله ایمنی و تسلیح، بحرانی است.

تعریف فیوز

در تسلیحات نظامی، فیوز بخشی از وسیله انفجاری است که عملکرد آن را آغاز می کند. در برخی از کاربردها، مانند اژدرها، ممکن است فیوز با عنوان عملکرد «منفجر کننده» مشخص شود [۱]. پیچیدگی نسبی حتی نخستین طرحهای فیوز را می توان در نمودارهای مقطع برش خورده آنها مشاهده کرد.

توصیف

فیوز وسیله است که ماده منفجره مهمات را در شرایط خاصی منفجر می کند. به علاوه، فیوز دارای سازوکارهای ایمنی و تسلیح است که از کاربران در برابر انفجار ناخواسته یا تصادفی محافظت می کند [۲-۳]. برای مثال، باتری فیوز توپخانه با شتاب بالای شلیک توپ فعال می شود، و فیوز باید پیش از عملکرد به سرعت بچرخند. «ایمنی

کامل دهانه» را می توان با استفاده از موانع مکانیکی که پیش از شلیک گلوله، چاشنی را از خرج اصلی مجزا می کند ایجاد کرد [۴].

فیوز ممکن است تنها حاوی اجزای الکترونیک یا مکانیکی لازم برای سیگنال دادن یا فعال کردن چاشنی دتوناتور باشد، اما برخی از فیوزها حاوی مقدار اندکی مواد منفجره اولیه برای آغازش انفجار هستند. فیوزها برای خرجهای انفجاری بزرگ ممکن است حاوی بوستر (تقویت کننده) انفجاری باشد.

واژه شناسی

کتابها و مقالات تخصصی در حوزه مواد منفجره و مهمات، بین واژه های «fuse» و «fuze» تفاوت قایل شده اند. وزارت دفاع انگلستان چنین عنوان می کند:

فتیله (fuse): لوله یا رشته ای برای انتقال شعله یا انفجار که معمولا از یک ریسمان یا طنابی تشکیل شده که باروت سیاه یا ماده منفجره شدیدالانفجار درون آن ریسیده شده است [۷].

فیوز (ماسوره) (fuze) وسیله ای حاوی اجزای انفجاری که برای آغازش خرج اصلی طراحی شده اند [۸].

دسته بندی فیوزها مبتنی بر نوع مهمات

وضعیت کاربرد و مشخصات مهماتی که قرار است فعال شوند، بر طراحی فیوز یعنی سازوکارهای ایمنی و فعالسازی آن تاثیر می گذارد.

فیوز توپخانه

فیوزهای توپخانه برای عملکرد در شرایط خاص گلوله های توپخانه طراحی شده اند. عوامل مرتبط عبارتند از شتاب سریع اولیه، سرعت بالا و معمولا دوران سریع، که بر الزامات ایمنی و تسلیح تاثیر می گذارد، و هدف که می تواند ثابت یا متحرک باشد. فیوز توپخانه می تواند با سازوکار زمانی، اصابتی، یا شناسایی مجاورت به هدف، یا ترکیبی از اینها فعال شود.

فیوز نارنجک دستی

الزامات برای فیوز نارنجک دستی با اندازه کوچک پرتابه، و سرعت پایین آن بر روی فاصله ای کوتاه تعریف می شود. این موضوع ایجاب می کند که تسلیح دستی پیش از پرتاب کردن، شتاب اولیه ناکافی برای تسلیح به روش «لگد زدن» را داشته و دورانی نیز برای ایجاد تسلیح به روش گریز از مرکز وجود ندارد.

سیر تاریخی و نسلهای گوناگون فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز)

نسل اول سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز):

نسل اول سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز) از قرن هجدهم و پیش از جنگ جهانی اول آغاز شد. نخستین فیوزها و ضامنهای ایمنی توسط کشورهای درگیر در جنگ در اروپا توسعه داده شده و در جنگ جهانی اول نیز مورد استفاده قرار گرفت. عمده این فیوزها و ماسوره ها به صورت دستی عمل کرده و یا به عبارتی با استفاده از دست مسلح می شدند. این فیوزها با کشیدن ضامن آنها مسلح می شدند. البته انواع نسبتا پیچیده تر فیوزهای زمانی تاخیری به روش پیروتکنیک نیز در این دوران توسعه داده شد. با مشخص شدن تاثیر چشمگیر این سیستمها در کاهش تلفات نیروهای خودی ناشی از حوادث ناخواسته و نیز تاثیر آنها بر افزایش قابل توجه اثربخشی سلاح، پس از پایان یافتن جنگ، کشورهای قدرتمند در عرصه نظامی، توسعه این نوع سازوکارها را در دستور کار خود قرار دادند.

نسل دوم سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز):

می توان گفت که نسل دوم سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز) از اواخر دهه ۱۹۴۰ میلادی و با آغاز جنگ جهانی دوم توسعه داده شد. در این نسل از فیوزها و ماسوره ها، فیوزهای مکانیکی و پیروتکنیکی پیچیده تر و پیشرفته تری با قابلیت اطمینانهای ایمنی و عملکرد بالاتر و ابعاد نسبتا کوچک طراحی شده و در جنگ مورد استفاده قرار گرفت. در این دوران، فیوزهای با حسگرهای پیشرفته تر مانند ارتفاع سنجی به روش بارومتری (اندازه گیری فشار هوا) برای استفاده در فیوزهای مجاورتی توسعه یافت. در این نسل از فیوزها، فیوز با استفاده از شرایط محیطی واقعی خود سلاح مانند شتاب لگدزدن هنگام شلیک، دوران بالا هنگام پرواز، سرعت بالای پرتابه در مسیر پروازی، و غیره، عملیات تسلیح را انجام می داد. با توجه به ناهمراستا شدن چاشنی دتوناتور با دیگر اجزای زنجیره آتش در این نسل از ماسوره ها، ایمنی فردی و عملیاتی سلاح به نحو چشمگیری بهبود یافت. گفتنی است ایده ها و مفاهیم توسعه داده شده در این نسل از ماسوره ها، همچنان در بسیاری از فیوزهای امروزی کاربرد دارد.

نسل سوم سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز):

نسل سوم فیوزها و ماسوره ها با کاربرد آنها در تسلیحات بسیار خطرناک و مرگبار هسته ای همراه بوده است. به این ترتیب، شرایط و الزامات فیوزها برای چنین تسلیحاتی به نحو چشمگیری افزایش پیدا کرده و سخت گیرانه شد. در این نسل از فیوزها، شروط لازم برای تسلیح سلاح افزایش یافت و دیگر تنها وجود دو شرط محیطی برای مسلح کردن سلاح هسته ای کافی نبود. شروط لازم برای مسلح کردن یک سلاح هسته ای گاهی به هفت شرط مستقل و متمایز سخت گیرانه نیز می رسید. در واقع ایمنی و تسلیح سامانه های تسلیحات هسته ای را باید در خانواده ای مجزا و متفاوت از سایر فیوزها قرار داد و از اینرو، استانداردها و معیارهای طراحی و ارزیابی آنها نیز متفاوت و ویژه می باشد. در این نسل از فیوزها، چاشنی های بسیار غیرحساس EBW و EFI توسعه داده شدند که ضمن برخورداری از زمان عملکرد بسیار پایین (در حد چند نانوثانیه)، از ایمنی بسیار بالایی نیز برخوردار بودند.

نسل چهارم سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز):

در این نسل از فیوزها، استفاده از سامانه های الکترومکانیکی در ایمنی و تسلیح مورد توجه قرار گرفت. با توجه به عمر پایین باتریهای الکتریکی، در بسیاری از این فیوزها از انرژی الکتریکی تولید شده در مسیر پروازی سلاح به عنوان منبعی مطمئن و ایمن برای فعال سازی زنجیره آتش استفاده شد. استفاده از انرژی الکتریکی در این فیوزها

موجب شد تا تنظیمات دقیقتری برای فیوز سلاح به وجود آمده و مفاهیم نوینی چون خودترکان شدن فیوز (انفجار خود به خود سلاح توسط فیوز هنگام منحرف شدن سلاح از مسیر اصلی پروازی) و خود-خنثی-سازی (غیر فعال شدن فیوز و بالتبع خود سلاح، در اثر عدم عملکرد هنگام اصابت) نیز برای فیوزها مطرح شده و توسعه پیدا کند. در این نسل از فیوزها، استفاده از حسگرهای پیشرفته ای چون امواج رادیویی، پرتوهای لیزر، و میادین الکترومغناطیس برای اندازه گیری فاصله تا هدف و عملکرد مجاورتی نیز توسعه پیدا کرد. همچنین استانداردهای پیشرفته ای چون MIL-STD-1316 یا MIL-STD-331 برای طراحی و آزمونهای ارزیابی فیوزها تهیه و تدوین شد.

نسل پنجم سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز):

این نسل از فیوزها با توسعه همزمان الکترونیک و چاشنی های ولتاژ-بالای ایمن به وجود آمد. چاشنی های ایمن ولتاژ بالا از قبیل EBW و EFI پیشتر در تسلیحات هسته ای توسعه داده شده بودند. از سوی دیگر با توسعه مدارهای الکترونیک، فیوزهای کاملا الکترونیکی موسوم به ESAD (Electronic Safety and Arming Device) توسعه پیدا کرد. این فیوزها ضمن برخورداری از وزن و ابعاد بسیار کوچک، از هیچ گونه قطعات مکانیکی یا متحرکی برخوردار نبوده و از این رو ضمن بالا بودن عمر عملیاتی و انبارداری آنها، و پایین بودن قیمت تمام شده آنها، در شرایط محیطی نامناسب مانند دماهای بالا و پایین و ارتعاشات شدید، دوام بهتری داشتند. گفتنی است این فیوزها هم اکنون در بسیاری از تسلیحات پیشرفته کاربرد داشته و در تعامل با سیستم هدایت و کنترل سلاح و دیگر اجزای الکترونیک موجود در سامانه تسلیحاتی، می تواند سطح بالایی از ایمنی و قابلیت اطمینان عملکرد به همراه انعطاف پذیری در عملکرد را فراهم کند. عدم وجود قطعات متحرک مکانیکی در این فیوزها موجب شده تا بتوانند شوکهای بالا در اصابت را بهتر تحمل کرده و برای کاربردهای تسلیحات نفوذی با عمق نفوذ هوشمند و قابل برنامه ریزی، گزینه بسیار مناسب باشند.

نسل ششم سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز):

در این نسل از فیوزها، از فناوری سامانه های میکرو الکترومکانیکی یا MEMS برای مینیاتورسازی و کوچک سازی اجزای فیوز الکترومکانیکی استفاده شده است. بالا بودن قابلیت اطمینان سیستمهای مکانیکی همواره آنها را به عنوان یکی از مهمترین گزینه های مورد نظر در توسعه سامانه های ایمنی و تسلیح مطرح کرده است. با ظهور فناوری MEMS بهره گیری از این فناوری نوین در توسعه فیوزهای الکترومکانیکی جدید نیز در در دستور کار شرکتهای پیشتاز در این عرصه قرار گرفته است. به نظر می رسد که در آینده نه چندان دوری، این نسل از فیوزها جایگاه مهمتر و گستره کاربرد وسیعتری را در عرصه تسلیحات نوین و هوشمند پیدا کنند.

اگرچه کار بر روی توسعه این نوع فیوزها همچنان ادامه دارد، ولیکن فناوریهای پایه ای مورد نیاز برای این نوع بمبلتها هم اکنون در مرحله توسعه قرار دارند.

نکته بسیار مهم و جالبی که می توان درباره شش نسل فناوری فیوزها و سامانه های ایمنی و تسلیح بیان کرد آن است که تقریبا هیچ نسلی از شش نسل بیان شده در بالا تاکنون منسوخ نشده اند. به عبارتی فیوزهای نسل اول تا نسل پنجم همچنان در بسیاری از تسلیحات کاربرد دارند. به عنوان مثال، نمونه ای از فیوز نسل اول که همچنان

در تسلیحات به کار می رود، فیوز نارنجک دستی است. علت این موضوع آن است که مباحثی چون سادگی، سهولت تولید، قیمت پایین و دیگر عوامل موثر بر انتخاب فیوز، همچنان موجب شده تا نسلهای مختلف از فناوری فیوزها در تسلیحات گوناگون کاربرد داشته باشند. در شکل زیر نمودار اطلاع-نگاشت مربوط به نسلهای مختلف فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح نشان داده شده است.

نمودار سیر تاریخی و نسل های مختلف فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز)

نمودار روندها و رویدادهای اثرگذار بر پیشرفت فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز) تاکنون

وضعیت سنجی فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوز)

سامانه های ایمنی و تسلیح سرجنگی ها (فیوزها) جزو اجزا و زیرسیستمهایی هستند که مشمول پیوست پیمان «رژیم کنترل فناوری موشکی» (MTCR) می باشند. به عبارتی اگر این فیوزها مشخص شود که برای کاربردهای موشکی با برد بیش از ۳۰۰ کیلومتر قرار است به کارگرفته شود، کشورهای عضو این معاهده حق خرید، فروش، انتقال دانش فنی، فروش مواد اولیه یا فناوری تولید آنها را ندارند. سازوکارهای ایمنی، تسلیح، فیوز، و آتش (SAFF) سرجنگیها و تسلیحات، معمولا وسایلی الکترونیکی یا الکترومکانیکی هستند که محموله یا سرجنگی موشک را تا اندکی پیش از رسیدن به هدف، ایمن (غیرمسلح) نگه می دارند، و با رسیدن به هدف، سرجنگی را منفجر می کنند.

روش عملکرد: پیش از شلیک، اغلب سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوزها) با مجزا کردن به صورت الکتریکی یا مکانیکی سامانه آتش از سرجنگی، این اطمینان را ایجاد می کنند که سلاح ایمن است (نمی تواند منفجر شود). پس از شلیک، هنگامی که محموله از منطقه خودی خارج می شود، سامانه ایمنی و تسلیح (فیوز)، موانع را برداشته و سرجنگی را مسلح می کند. تسلیح می تواند پس از گذشت زمان تنظیم شده ای بعد از شلیک یا پس از احساس یک تغییر مسیر از پیش تعیین شده یا در شرایط محیطی مشخصی مانند کاهش شتاب مورد انتظار، رخ دهد.

سامانه های ایمنی و تسلیح فناوری پایین از سوئیچهای فشارسنجی (بارومتریک) برای فعالیتهای ایمنی و تسلیح بهره می گیرند.

فیوز سرجنگی، زمان برآورده شدن معیارهای انفجار را تعریف می کند. فیوزهای متداول عبارتند از تایمرها، حسگرهای شتاب، و وسایل حس کردن ارتفاع مانند سوئیچهای فشارسنجی (بارومتریک) یا رادارهای فعال. هنگامی که سرجنگی به معیارهای از پیش تعریف شده رسید، سیگنالی تولید شده و به مجموعه آتش فرستاده می شود. سپس خازنهای ولتاژ-بالا شلیک شده (تخلیه شده) و جریان الکتریکی را به چاشنی های دتوناتور سلاح می فرستد. سرجنگی می تواند فیوزهای تصادمی یا اصابتی نیز داشته باشد تا هنگامی که سرجنگی به هدف اصابت کرده و شروع به شکسته شدن می کند را احساس کند. این فیوزها می توانند به عنوان پشتیبان برای سامانه حس کردن ارتفاع (حسگر مجاورتی) یا برای ماموریتهایی که مستلزم اصابت به هدف هستند به کار روند. موشکهای کروزی که بمبلتها را پراکنده می کنند یا در هوا منفجر می شوند، سرجنگی آنها هنگامی منفجر می شود که سامانه هدایت تعیین می کند به نقطه مناسب نسبت به هدف رسیده است. به طور جایگزین، این سرجنگی ها می توانند از ارتفاع سنجهای راداری یا لیزری، فیوزهای مجاورتی، و فیوزهای تماسی استفاده کنند. سامانه ایمنی و تسلیح و آتش می تواند برخی یا همه این گزینه ها را برای موازی سازی داشته باشد.

سامانه های فیوزی مبتنی بر رادار، به فرستنده های فرکانس نسبتا بالا (باند C یا باند S) و مواد شفاف رادیویی مانند سیلیکای با خلوص بالا برای محافظت از آنتن بیرون-نگر در برابر گرمایش ایجاد شده هنگام ورود به جو، نیازمند اند. برای کاربردهای موشکی، فیوزهای تماسی (برخوردی) بین ۱۰۰ تا 500 g شتاب عمل می کنند. سامانه های فیوز موشک بالستیک با فناوری بالا که از شتاب سنجها استفاده می کنند به ابزارهایی نیازمنداند که توانایی دریافت 100 g یا بیشتر را داشته باشد.

کاربردهای موشکی مرتبط:

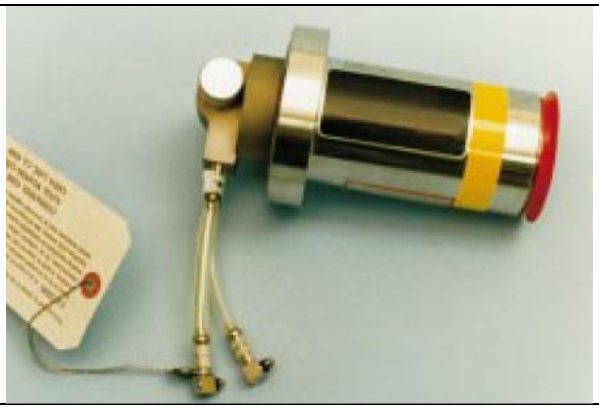
همه سامانه های موشکی به نوعی از سامانه ایمنی، تسلیح و آتش نیازمنداند تا سرجنگی آنها هنگام پرتاب، ایمن باشد و در زمان مورد نظر، منفجر شود. از آنجا که سامانه های ایمنی، تسلیح و آتش معمولا به گونه ای طراحی می شوند تا با پیکربندی و عملکرد یک موشک خاص منطبق باشد، تغییر دادن آنها برای کاربردهای غیرموشکی مقرون به صرفه نیست.

سایر کاربردها:

فناوری پایه ای ایمنی، تسلیح و آتش به کار رفته در سامانه فیوز موشک، در همه تسلیحات حاوی سرجنگیهای انفجاری کاربرد دارد. حتی سامانه های فیوز پیشرفته تر که در آن، زمان یا ارتفاع انفجار با رادارهای فعال یا شتاب سنجهای درونی تعیین می شود، در گلوله های توپ و بمبهای خوشه ای پیشرفته کاربرد دارد. فناوری آتش به کار رفته برای سرجنگیهای موشکها به صورت تجاری برای تمامی فعالیتهایی که در آن از مواد منفجره استفاده می شود، مانند جاده سازی، استخراج معدن، و انهدام سازه های قدیمی، به کار می رود.

شکل ظاهری پس از تولید:

اجزای سامانه ایمنی، تسلیح و آتش سرجنگی موشک عموما کوچک و در بدنه های آلومینیومی با یا بدون کانکتورهای الکتریکی هستند. نمونه هایی از اجزای آنها در شکل زیر نشان داده شده است.



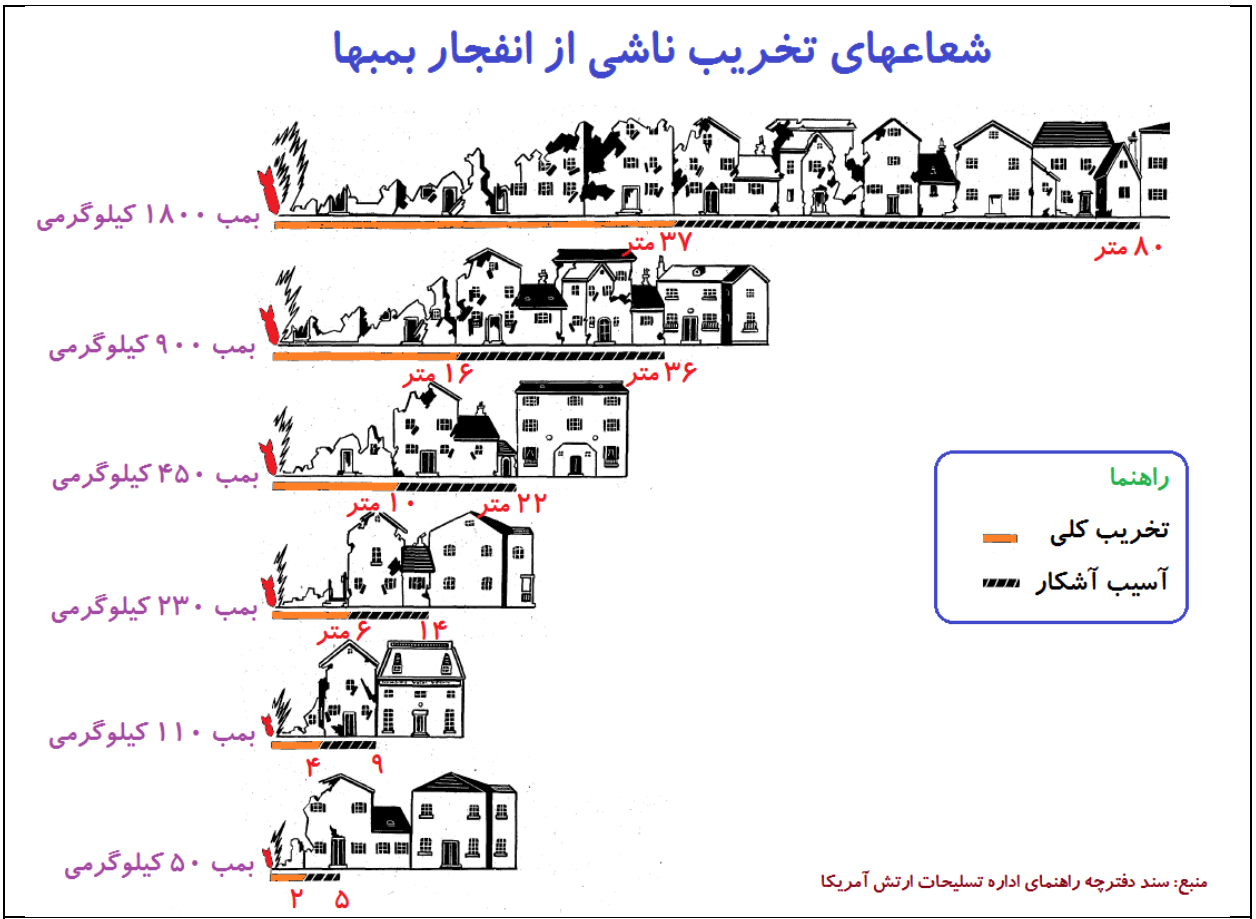
تصاویری از سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوزهای) موشک

فیوزهای ساده معمولا درون استوانه های آلومینیومی با قطرهای از یک سانتیمتر برای فیوزهای اصابتی (لِه شدنی) تا چندین سانتیمتر برای فیوزهای تماسی (اینرسی) قرار گرفته اند. سامانه های فیوز با فناوری بالاتر ممکن است شامل اجزای پیچیده تری مانند شتاب سنجها یا فرستنده ها و آنتنهای راداری باشند.

تصویری از بخش انتهایی یک سرجنگی چندگانه به همراه بلوک ایمنی و تسلیح (فیوز) الکترونیکی آن در سمت راست

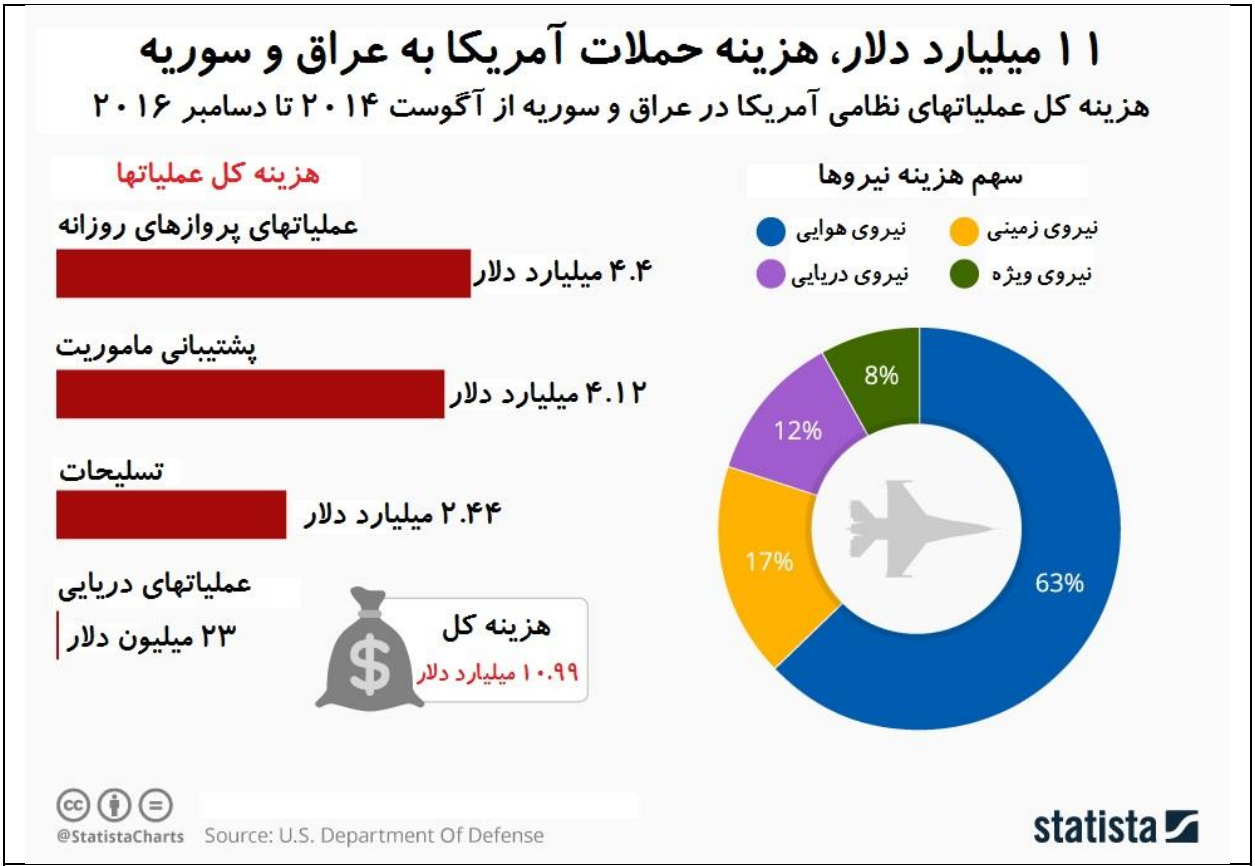
روندهای علمی آماری و اقتصادی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح

در شکل زیر شعاع تخریب و انهدام مربوط به بمبهای متعارف با وزنهای گوناگون نشان داده شده است. طبیعتا انفجار ناخواسته آنها (به دلیل نقص در عملکرد ایمنی فیوز آنها) می تواند چنین تاثیرات مخربی را برجای بگذارد.



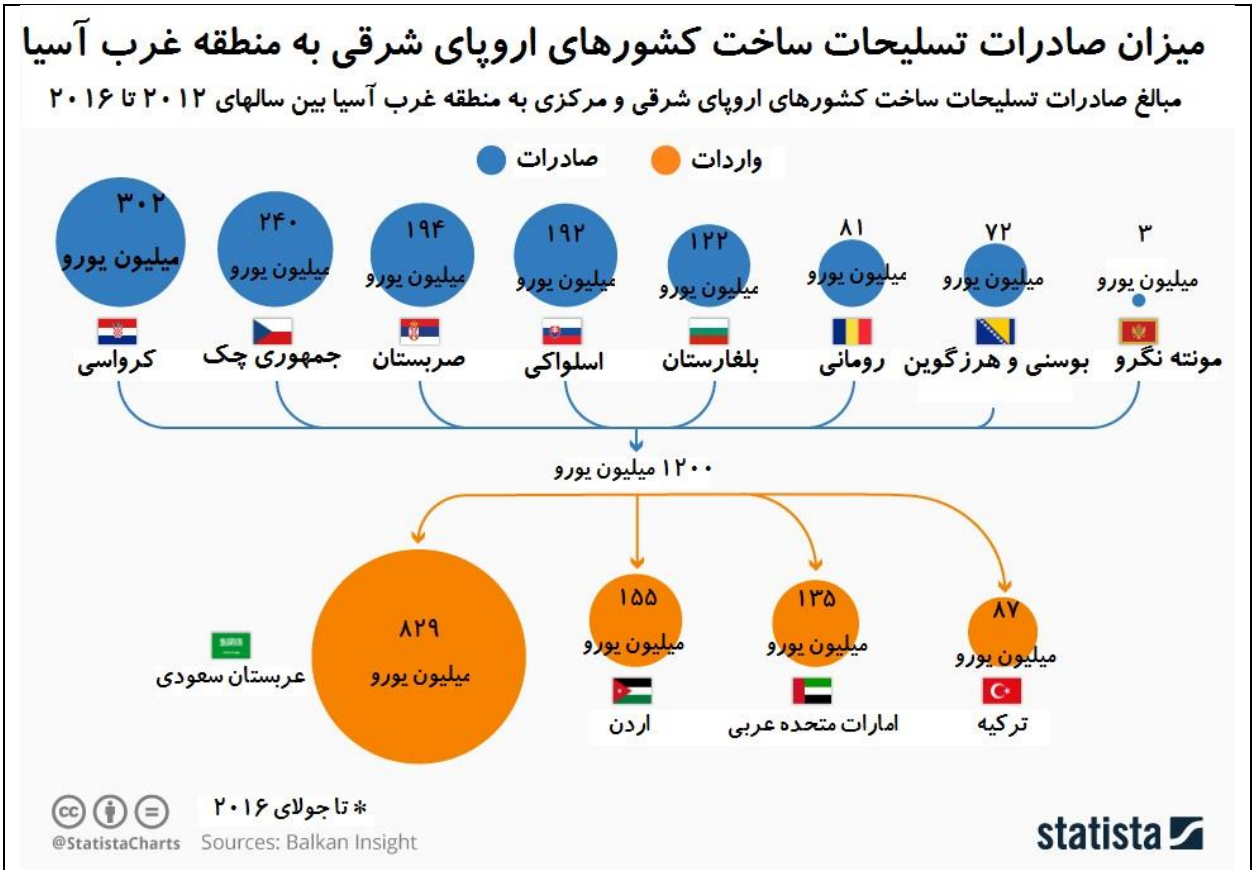
شعاع تخریب ناشی از انفجار بمبهای با وزنهای مختلف

در شکل زیر نمودار هزینه های حملات آمریکا به عراق و سوریه تنها طی دو سال نشان داده شده است. مشخصا مشاهده می شود که بیشترین سهم هزینه ها مربوط به عملیاتهای هوایی یا تسلیحات هوایی بوده است.



نمودار هزینه حملات آمریکا به عراق و سوریه طی دو سال از آگوست ۲۰۱۴ تا دسامبر ۲۰۱۶

در شکل زیر اطلاع-نگاشت میزان صادرات تسلیحات ساخت کشورهای اروپای شرقی به منطقه غرب آسیا نشان داده شده است. بیشترین واردکننده تسلیحات، کشور عربستان سعودی بوده است. این حجم از سرمایه گذاری و صرف هزینه در حوزه خرید تسلیحات نظامی از سوی دیگر کشورهای منطقه می تواند نگران کننده باشد.



نمودار میزان صادرات تسلیحات از کشورهای اروپای شرقی به منطقه غرب آسیا طی چهار سال

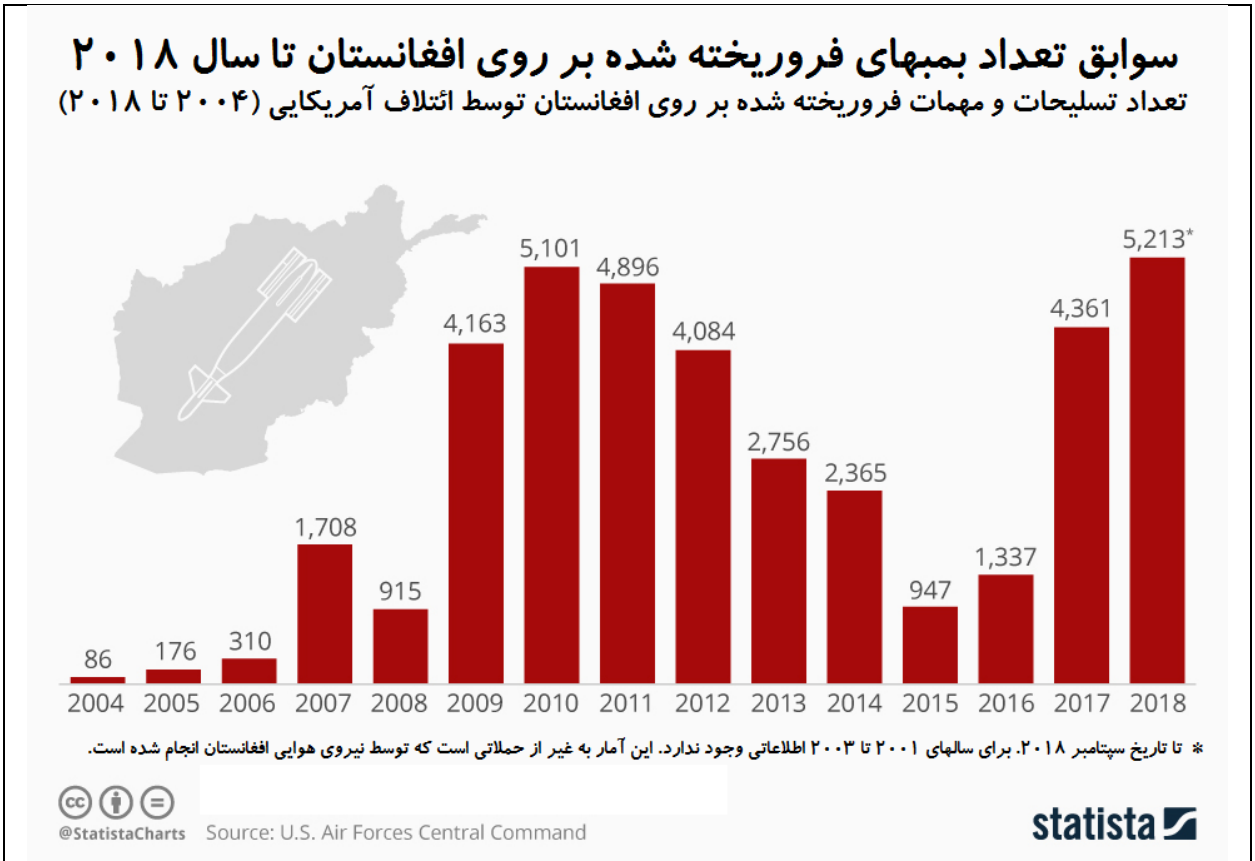
در شکل زیر جدول مربوط به استانداردهای تخلیه و پیشگیری برای بمبگذاریهای تارشگری آورده شده است. از این جدول می توان اثرات ویرانگر انفجار ناخواسته مهمات در محیطهای ساختمانی را برآورد کرد.

استانداردهای تخلیه و پیشگیری برای بمب گذاریهای تروریستی

خطر احتمال فروریزش شیشه ها	کمینه شعاع تخلیه	بیشینه شعاع مرگزایی موج بلاست	بیشینه ظرفیت حمل ماده منفجره	توصیف خودرو	تصویر خودروی بمب گذاری شده
۳۸۰ متر	۴۶۰ متر	۳۰ متر	۲۳۰ کیلوگرم در صندوق	سواری کوچک	
۵۳۰ متر	۵۳۰ متر	۳۸ متر	۴۶۰ کیلوگرم در صندوق	سواری بزرگ	
۸۴۰ متر	۸۴۰ متر	۶۱ متر	۱۸۰۰ کیلوگرم	خودروی ون	
۱۱۵۰ متر	۱۱۵۰ متر	۹۱ متر	۴۵۵۰ کیلوگرم	کامیون کوچک	
۲۰۰۰ متر	۲۰۰۰ متر	۱۳۷ متر	۱۳۶۰۰ کیلوگرم	کامیون تانکر	
۲۱۵۰ متر	۲۱۵۰ متر	۱۸۳ متر	۲۷۳۰۰ کیلوگرم	تریلر	

فواصل ناشی از اثرات انفجارهای تارشگری (تروریستی) در محیطهای شهری

در نمودار شکل زیر تعداد بمبهای فروریخته شده بر روی افغانستان توسط ائتلاف آمریکایی در بین سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ برحسب سالهای مختلف آورده شده است. تعداد بسیار زیاد بمبهای فروریخته شده، نشان دهنده توجه بیشتر به موضوع اثربخشی انفجار است. نباید در حوزه اثربخشی تسلیحات دچار تصورات و توهمات نادرست شد و انتظار نامعقولی از انفجار یک حجم از ماده منفجره متعارف داشت.



نمودار تعداد بمبهای فروریخته شده بر روی افغانستان توسط ائتلاف آمریکایی در سالهای گوناگون

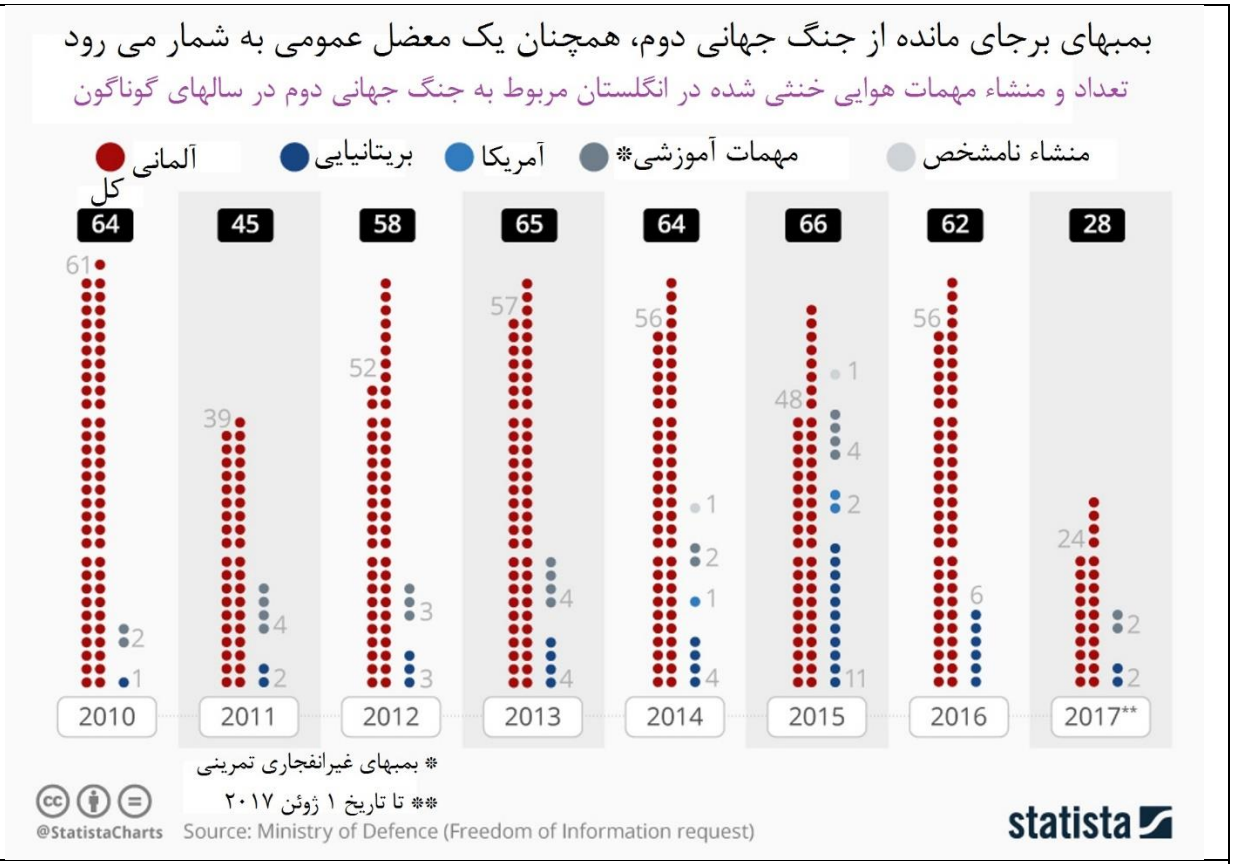
در دو شکل بعدی، مشخصات تعدادی از بمبهای عظیم الجثه متعارف جهان آورده شده است. ملاحظه می شود که وزن برخی از آنها به بیش از ۵ تن و حتی در مواردی به بیش از ۱۰ تن می رسد. این حجم عظیم از مهمات چناچه با اصابت به هدف عمل نکند، می تواند هزینه های نظامی چشمگیری به کشورهای به کارگیرنده آنها تحمیل کند. از سوی دیگر انفجار ناخواسته آنها در محیطهای خودی نیز می تواند بسیار ویرانگر و مرگبار باشد. از اینرو، توسعه سامانه ایمنی و تسلیح مناسب (فیوز) برای این تسلیحات به نحوی که از قابلیت اطمینان و ایمنی بالایی برخوردار باشد از اهمیت به سزایی برخوردار است.

مقایسه ابعاد و مشخصات دو بمب عظیم الجثه آمریکایی GBU-57 و GBU-43

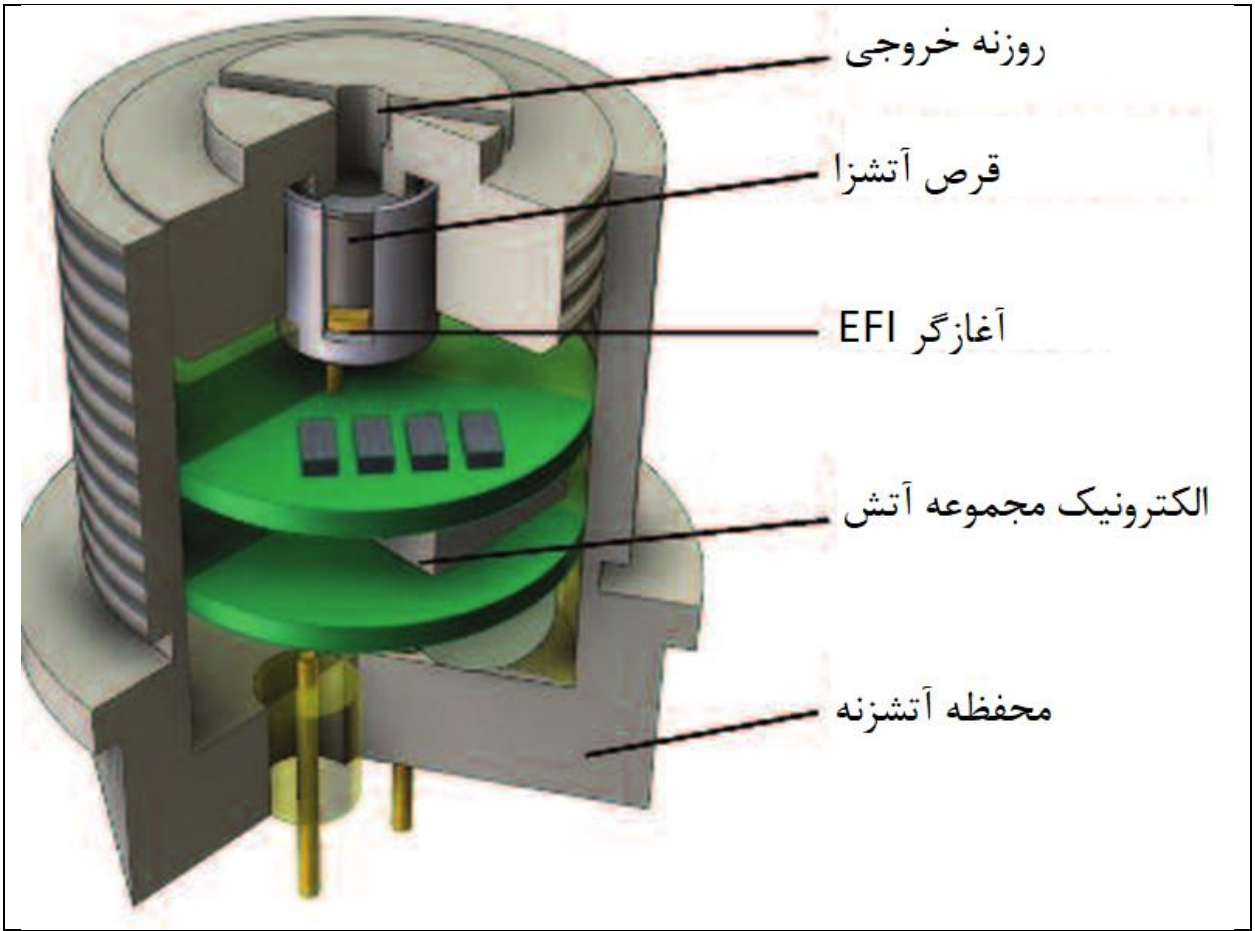
برای مقایسه، دو بمب ۵۰۰ و ۲۰۰۰ پوندی در بن تصویر نشان داده شده است.	GPX 1109	FAB 5000NG	FAB 9000 NASR-3000 NASR-5000 NASR-9000	GBU 28/B GBU-28A/B		Boeing MOP DSHTW Big BLU	BLU-82B/C-130/ MC-130E Commando Vault	GBU-43/ B MOAB
				BLU-113 نفوذی	BLU-122 نفوذی	نفوذی	ریش تراش	مادر همه بمبها
کشور سازنده	روسیه	شوروی	شوروی / مصر	آمریکا	آمریکا	آمریکا	آمریکا	آمریکا
سال به کارگیری	2007	1943	1954 / *	1991	2003	2007-8 / 2010	1970	2003
وزن (کیلوگرم)	*	5400	9410 / 3000/5000/9000	2002	2104-2250	13610	6804	9842
طول (سانتیمتر)	*	520	500 / 330/330/500	680	680	600	360	910
قطر (سانتیمتر)	*	100	120 / 82/110/120	380	380	*	137	103

مقایسه ابعاد و مشخصات بمبهای عظیم الجثه متعارف جهان

در شکل زیر نمودار تعداد بمبهای عمل نکرده برجای مانده از جنگ جهانی دوم که هرساله در انگلستان یافت می شود آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، با وجود گذشت بیش از شصت سال از پایان جنگ جهانی دوم، هنوز هم سالانه بیش از ۶۰ عدد بمب عمل نکرده از آن دوران در انگلستان پیدا می شود.



تعداد بمبهای عمل نکرده جنگ جهانی دوم که در هر سال در انگلستان یافت می شوند



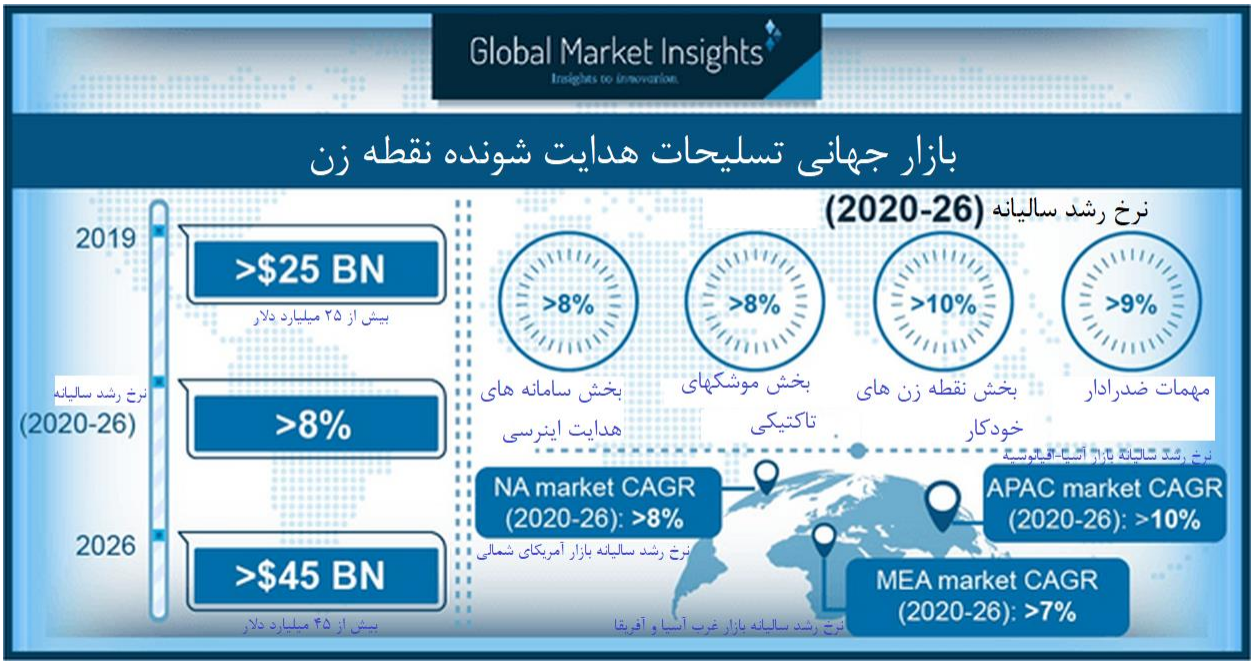
اجزای مقطع برش خورده یک مجموعه آتشزنه فعال شونده با چاشنی غشای انفجاری (EFI)

فناوری فیوز در اسناد راهبردی کشورها

اندازه بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن بر اساس نوع سلاح (موشکهای تاکتیکی، راکتهای هدایت شونده، گلوله های هدایت شونده، مهمات کنترل شونده)، بر اساس نوع سامانه هدایتی (فروسرخ، جی پی اس، سامانه ناوبری اینرسی (INS)، آشیانه یابی راداری، لیزرهای نیمه فعال، ضد تشعشعی)، بر اساس نوع (خودکار، نیمه خودکار)، بر اساس سامانه حامل (هواپایه، زمین پایه، دریاپایه) پیش بینی و ارایه شده است. این گزارش نوعی تحلیل صنعتی با نگاه منطقه ای بوده و که توانمندی بالقوه رشد و سهم بازار رقابتی را در سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ پیش بینی کرده است. خلاصه ای از این گزارش ۲۵۰ صفحه ای در این جا آورده شده است.

روند حرکت صنعت نظامی

اندازه بازار تسلیحات هدایت شونده هوشمند در سال ۲۰۱۹ از مبلغ ۲۵ میلیارد دلار فراتر رفته و پیش بینی می شود که در بین سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ با نرخ رشد سالیانه ترکیبی بیش از ۸٪ همچنان رو به رشد باشد. تلاشهای روزافزون بازیگران جهانی برای برخورداری از تسلیحات هدایت شونده هوشمند تاثیر چشمگیری بر رشد صنایع نظامی در این عرصه داشته است (برای جزییات بیشتر به گزارش کامل مراجعه کنید).



صنایع نظامی، در بخش تحقیق و توسعه برای پیشرفتهای فناوری و فراهم کردن راه حلهای نوین در این زمینه، سرمایه گذاری چشمگیری کرده اند. توسعه های نوین در خودروهای نظامی، هوانوردی، خودروهای زمینی، و ناوگان دریایی، رشد این زمینه از تسلیحات را دوچندان کرده است. برای مثال، جنگنده جت F-35، که توسط شرکت لاکهید مارتین طراحی شده است، به تسلیحات هدایت شونده نقطه زن خاصی برای به کارگیری در جنگنده، نیازمند است، که نیازمندیهای جدیدی را در این بازار ایجاد کرده است.

افزایش مشارکت دولتهای منطقه برای بهبود قابلیتهای تسلیحات هدایت شونده نقطه زن، به منظور تحکیم موقعیت امنیت سیاسی-بین المللی خود، موجب توسعه این بخش از محصولات نظامی در سالهای آینده خواهد شد. برای مثال، در مارس ۲۰۱۹، هند اعلام کرد که تلاشهایی را برای توسعه نسل جدیدی از موشکهای ضدرادار آغاز کرده است.

جدول مشخصات گزارش بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن

موضوعات تحت پوشش	جزئیات		
سال مبنا:	۲۰۱۹	اندازه بازار در سال ۲۰۱۹:	۲۵ میلیارد دلار آمریکا
داده های سالهای پیشین:	۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹	دوره پیش بینی:	۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶

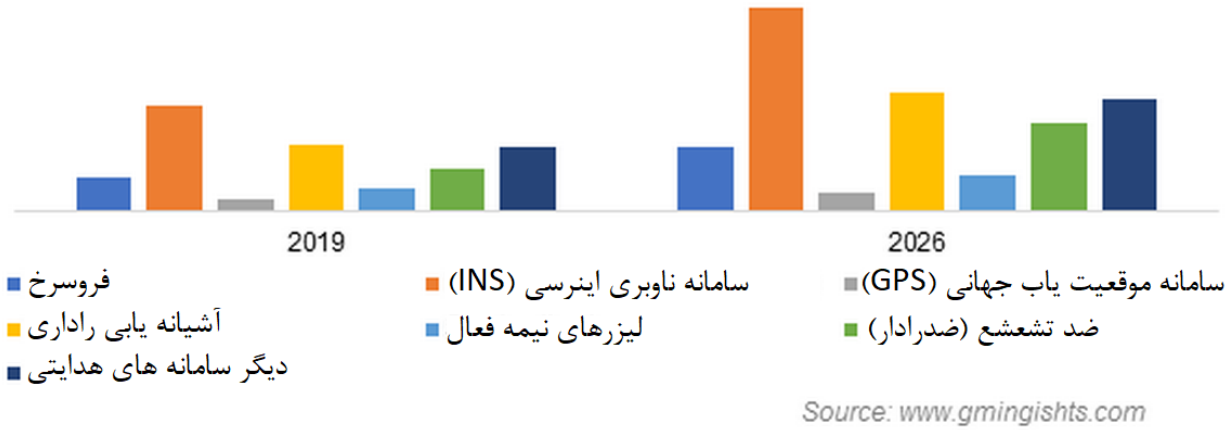
پیش بینی نرخ رشد سالیانه در بازه ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶:	۸٪	ارزش بازار در سال ۲۰۲۶:	۴۵ میلیارد دلار آمریکا
تعداد صفحات:	۲۵۰	تعداد جداول، اشکال، و نمودارها:	۳۴۳
مناطق جغرافیایی تحت پوشش (۲۱ کشور):	ایالات متحده آمریکا، کانادا، بریتانیا، روسیه، آلمان، ترکیه، لهستان، فرانسه، ایتالیا، چین، هند، ژاپن، کره جنوبی، استرالیا، رژیم صهیونیستی، عربستان سعودی، قطر، امارات متحده عربی، آفریقای جنوبی، برزیل، مکزیک		
بخشهای تحت پوشش:	نوع تسلیحات، سامانه های هدایتی، نوع، کاربری نهایی، و منطقه		
شرکتهای تحت پوشش (۲۴ شرکت):	Aerojet Rocketdyne, Almaz Antey, Barat Dynamics Limited, China North Industries Corporation (Norinco), Elbit Systems Ltd, General Dynamics Corporation, Hanwha Corporation, Israel Aerospace Industries, Kongsberg, L3Harris, Leonardo S.p.A, Lockheed Martin Corporation, MBDA, Northrop Grumman Corporation, Raytheon Company, Rheinmetall AG, Saab AB, Thales Group, Boeing, BAE Systems, KBP Instrument Design Bureau, Denel Dynamics, LIG Nex 1, Roketsan A.S.		
محرکهای رشد:	تغییر در روند سرمایه گذاری و هزینه کرد دولتها افزایش بودجه نظامی در راستای نیاز به ارتقای سامانه های نظامی قدیمی طغیانهای سیاسی و درگیریهای مرزی معرفی فناوریهای جدید		
مشکلات و چالشها:	پیمانهای گوناگون که گستره بازار را محدود می کند مبنای محدود مشتری و نقش زیاد چهره های دولتی		

افزایش پژوهش و توسعه در بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن

بخش موشکهای تاکتیکی بیشترین سهم بازار را با سهم بیش از ۵۰ درصد در سال ۲۰۱۹ به خود اختصاص داد و رشد سالیانه بیش از ۸ درصد را تا سال ۲۰۲۶ نشان خواهد داد. نفوذ زیاد در بازار و نرخ رشد چشمگیر را می توان به افزایش فعالیتهای کسب فناوری و هزینه کرد در تحقیق و توسعه برای توسعه این موشکها نسبت داد. برای مثال، در فوریه ۲۰۲۰، هند، تلاشهای خود برای توسعه موشکهای بالستیک تاکتیکی با برد ۲۰۰ کیلومتر را رسانه ای کرد. این موشک توسط سازمان پژوهش و توسعه دفاعی این کشور در حال توسعه می باشد و هند نام پراناش را به آن داده است. پیکربندی موشک پراناش نهایی شده و آزمایشهای آن تا پایان سال ۲۰۲۱ آغاز خواهد شد.

این سازمان قصد دارد تا موشکهای کاملا عملیاتی را تا انتهای دو سال آینده تحویل دهد. تلاشهای مشابهی توسط سازمانهای موازی برای بهبود قابلیتهای تولید صنایع نظامی در حال انجام است.
توانایی برای هدف گیری نقطه زنی رادارهای دشمن موجب رشد بخش مهمات ضدرادار شده است.

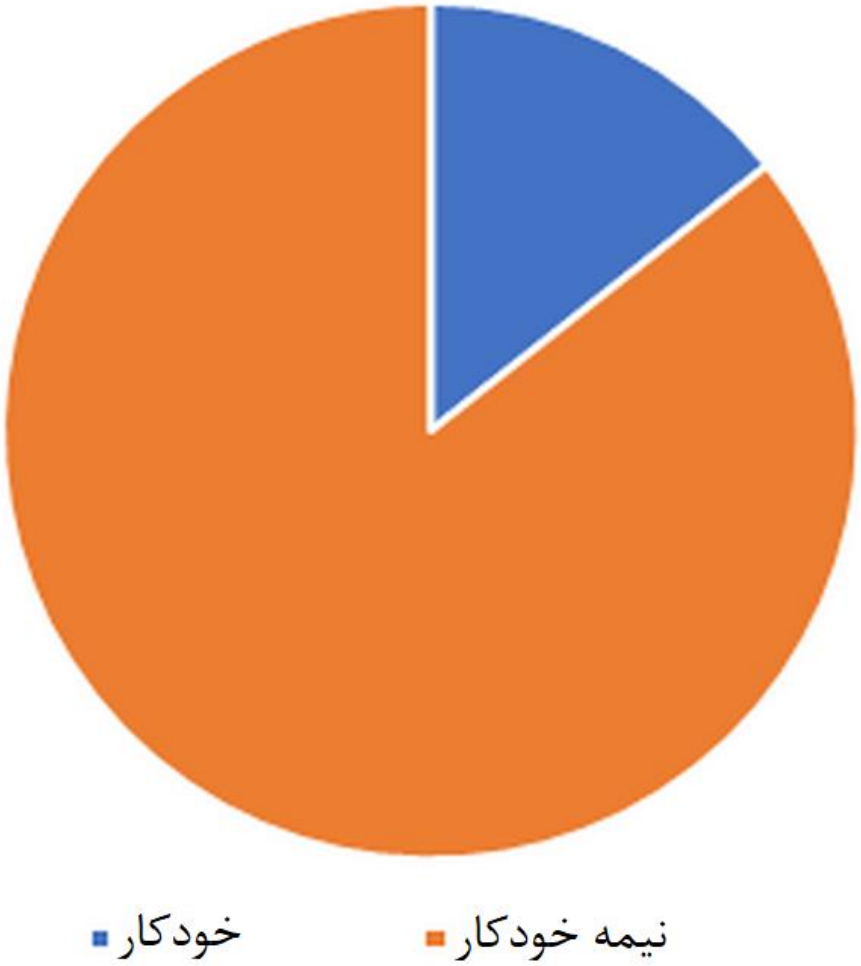
مقایسه اندازه بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن، برحسب نوع سامانه هدایتی به کار رفته، میان سالهای ۲۰۱۹ و ۲۰۲۶ (برحسب میلیون دلار)



Source: www.gmingishts.com

تصور می شود که رشد سالیانه بخش مهمات ضدرادار در بازه زمانی مدنظر بیش از ۱۰ درصد باشد. این نوع موشک قابلیت شناسایی رادارهای دشمن و هدف گیری آنها را داشته و می تواند شبکه های ارتباطی دشمن را تخریب کند. رشد بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن را می توان به تلاشهای انجام شده توسط کشورهای گوناگون برای توسعه موشکهای پیشرفته ضدرادار نسبت داد.
برای مثال، در ژانویه ۲۰۲۰، نیروی هوایی ارتش ایالات متحده آمریکا، از نیروی دریایی این کشور، اطلاعاتی درباره پروژه موشکهای هدایت شونده ضدرادار پیشرفته برد ارتقا یافته (AARGM-ER) به منظور اصلاح جتهای جنگنده ضدرادار F-35 را خواستار شد.
پروژه اصلاح، موشکهای ضد-راداری تولید خواهد کرد که می تواند بر روی هواپیمای نسل پنجم سوار شود. این پروژه همچنین پژوهش و توسعه تهدیدات جدید و آینده را ادامه خواهد داد. نیروی هوایی ایالات متحده، پژوهش بازار را آغاز کرده و به جستجوی فروشندگان احتمالی که در پی تقویت تواناییهای تولیدی خود هستند پرداخته که موجب رشد بازار شده است.
به کارگیری فناوریهای گوناگون در تسلیحات هدایت شونده نقطه زن برای ارتقای بخش تسلیحات تمام-خودکار

سهم بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن، برحسب نوع، در سال ۲۰۱۹



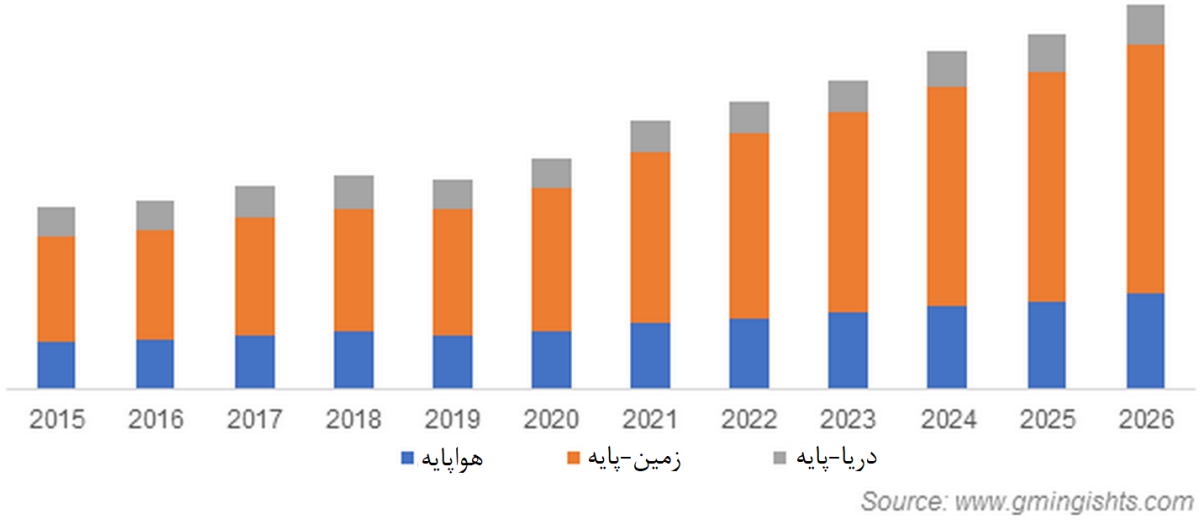
Source: www.gmingishts.com

بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن خودکار، رکورد بیش از ۳ میلیارد دلار را ثبت خواهد کرد و پیش بینی می شود که با افزایش نیازمندی کشورها برای دستیابی به تسلیحات هدایت شونده خودکار، با نرخ رشد سالیانه حدود ۹ درصد تا سال ۲۰۲۶ رشد کند.

تبدیل بمبهای معمولی/غیر هدایت شونده به تسلیحات هدایت شونده نقطه زن خودکار نیز یکی از شتاب دهنده های اصلی بازار است. کشورهای گوناگون جهان در حال تخصیص بودجه های نظامی برای مدرنیزه کردن تسلیحات نظامی هستند که موجب تحریک رشد بازار خواهد شد.

افزایش درگیریهای مرزی موجب تقویت تسلیحات زمین-پایه می شود

اندازه بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن، برحسب نوع سامانه کاربری، بین سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ (برحسب میلیون دلار)



بخش سامانه های زمین-پایه با بیش از ۱۵ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۶ بیشترین سهم از اندازه بازار را به خود اختصاص خواهد داد. زیرا افزایش منازعات ژئوپولتیک و رشد درگیریهای مرزی منجر به تقاضا برای تسلیحات پیشرفته برای مرزها شده است.

کشورهای گوناگون در مناطق مختلف جهان در حال توسعه سامانه های زمین-پایه به منظور بهبود فعالیتهای محافظت از مرزهای خود هستند. برای مثال، در آگوست ۲۰۱۹، آمریکا و روسیه از پیمان ۳۱ ساله میان خود با عنوان پیمان نیروهای هسته ای میان-برد خارج شدند. در نتیجه، هر دو کشور آزادانه می توانند از تسلیحات هدایت شونده نقطه-زن زمین-پایه با برد ۳۱۰ تا ۳۴۰۰ مایلی (۵۰۰ تا ۵۵۰۰ کیلومتری) در مرزهای خود استفاده کنند.

افزایش قابلیتهای تولید تسلیحات هدایت شونده خودکار در منطقه آسیا-اقیانوسیه

بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن آسیا-اقیانوسیه به سهم درآمد بیش از ۲۵ درصد خواهد رسید و به دلیل تلاشهای انجام شده توسط دولتهای گوناگون در منطقه به سمت تولید و پژوهش و توسعه مهمات هدایت شونده، پیش بینی می شود که در بین سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ به رشد سالیانه بیش از ۱۰ درصد برسد.

دولتهای کشورهایی شامل هند و چین در حال فراهم کردن کمکهایی ناشی از سرمایه گذاریهای مستقیم خارجی برای ارتقاء ساخت تسلیحات هستند. برای مثال، هند اجازه می دهد که کمتر از ۴۹ درصد از سرمایه گذاریهای مستقیم خارجی تحت پوشش دولتی و خارجی به سازندگان تجهیزات نظامی اختصاص یابد.

بازیگران صنعتی برای تمرکز بر روی شرکای جدید و تحقیق و توسعه

بازیگران صنعتی در حال تمرکز برای ورود به شراکت راهبردی و همکاریهای مشترک برای بهبود پیشنهادهای محصولات کنونی و گسترش سهم بازارشان هستند. بازیگران موجود فعال در صنعت، بر روی توسعه سامانه های

نوآورانه با ویژگیهای بهبود یافته ای مانند برد افزایش یافته موشکها و بهبود در توانمندیهای کشف و ردیابی، متمرکز شده اند تا از سهم بازار خود پشتیبانی کنند.
گزارش پژوهش بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن، شامل پوشش عمیق صنعت نظامی با برآوردها و پیش بینی هایی به بیان درآمد برحسب دلار از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ می باشد که شامل بخشهای زیر است:
بازار برحسب نوع سلاح

- موشکهای تاکتیکی
- راکتهای هدایت شونده
- مهمات هدایت شونده
- تسلیحات کنترل شونده

بازار برحسب نوع سامانه هدایتی

- فروسرخ
- سامانه ناوبری اینرسی (INS)
- سامانه های موقعیت یابی جهانی (GPS)
- آشیانه یابی راداری
- لیزرهای نیمه فعال
- ضد تشعشع (ضد رادار)
- سامانه های دیگر

بازار برحسب نوع سامانه

- خودکار
- نیمه خودکار

بازار برحسب کاربری نهایی

- هواپایه
- زمین-پایه
- دریاپایه

اطلاعات فوق برای نواحی و کشورهای زیر فراهم شده است:

- آمریکای شمالی
  - ایالات متحده آمریکا
  - کانادا
- اروپا
  - روسیه

- بریتانیا
- آلمان
- ترکیه
- لهستان
- فرانسه
- ایتالیا

- آسیا – اقیانوسیه
  - چین
  - هند
  - ژاپن
  - کره جنوبی
  - استرالیا
- غرب آسیا و آفریقا
  - رژیم صهیونیستی
  - عربستان سعودی
  - قطر
  - امارات متحده عربی
  - آفریقای جنوبی
- آمریکای لاتین
  - برزیل
  - مکزیک

پرسشهای متداول:

پیش بینی رشد بازار تسلیحات هدایت شونده نقطه زن برای منطقه آسیا-اقیانوسیه چقدر است؟

- بازار آسیا-اقیانوسیه سهم درآمد بیشینه بیش از ۲۵ درصد را دریافت خواهد کرد و پیش بینی می شود که رشد سالیانه بیش از ۱۰ درصد را بین سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ ثبت کند.

چرا تسلیحات هدایت شونده نقطه زن خودکار، شاهد بیشترین پذیرش در سطح جهان است.؟

- مطابق با دیدگاه تحلیلگران وبگاه GMI، بخش تسلیحات هدایت شونده نقطه زن خودکار تا سال ۲۰۲۶ ارزش بیش از ۳ میلیارد دلار را ثبت خواهد کرد که علت آن نیز افزایش نیازمندیهای کشورهای گوناگون جهان برای دستیابی به چنین تسلیحاتی می باشد.

کدام بخش از تسلیحات، بیشترین سهم بازار را در سال ۲۰۱۹ در بخش تسلیحات هدایت شونده نقطه زن، به خود اختصاص داده است؟

- بخش موشکهای تاکتیکی بیشترین سهم بازار را که بیش از ۵۰ درصد می باشد، در سال ۲۰۱۹ به خود اختصاص داده و رشد سالیانه بیش از ۸ درصد تا سال ۲۰۲۶ را نشان خواهد داد.

رشد بخش مهمات ضد تشعشع (ضد رادار) طی شش سال آینده چقدر خواهد بود؟

- طبق دیدگاه وبگاه GMI، بخش مهمات ضد تشعشع، طی شش سال آینده رشد سالیانه بیش از ۱۰ درصد را تجربه خواهد کرد زیرا تلاشهای زیادی توسط کشورهای گوناگون برای توسعه موشکهای ضد تشعشع (ضد رادار) در حال انجام می باشد.

فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح در اسناد راهبردی کشورها

اگرچه دسترسی به اسناد راهبردی کشورها در حوزه تسلیحات نظامی به دلیل طبقه بندی حفاظتی کار دشواری است، ولیکن می توان از بروشورها و کاتالوگهای شرکتهای مطرح در این زمینه به یکسری اطلاعات درخور توجه دست یافت. در شکل زیر روند کنونی کاربرد سه دسته اصلی فیوزها (مکانیکی، الکترومکانیکی، و الکترونیکی) و روند آتی آنها در تسلیحات گوناگون نشان داده شده است.

روند کنونی کاربرد سه دسته اصلی فیوزها (مکانیکی، الکترومکانیکی، و الکترونیکی) و روند آتی آنها در تسلیحات گوناگون

در حوزه الزامات سامانه های ایمنی و تسلیح یکسری الزامات جدیدی مطرح شده که عبارتند از:

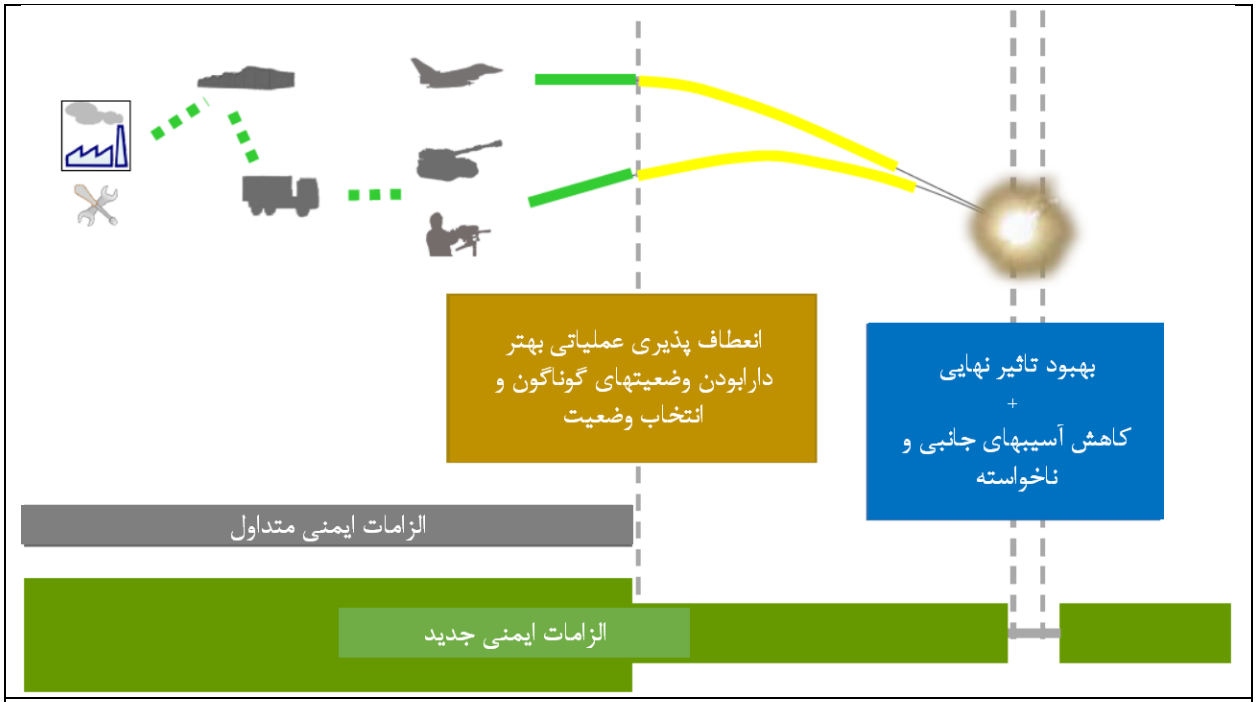
۱) انعطاف پذیری عملیاتی بهتر، یعنی فیوز باید مطابق با نیازهای عملیاتی بتواند گزینه های لازم (مانند زمان تاخیر تسلیح) را پشتیبانی کند.

۲) دارا بودن وضعیتهای گوناگون و انتخاب وضعیت، یعنی فیوز مثلا گزینه های بدون تاخیر، تاخیر با زمانهای گوناگون قابل انتخاب، تاخیر هوشمند، یا عملکرد مجاورتی را دارا باشد.

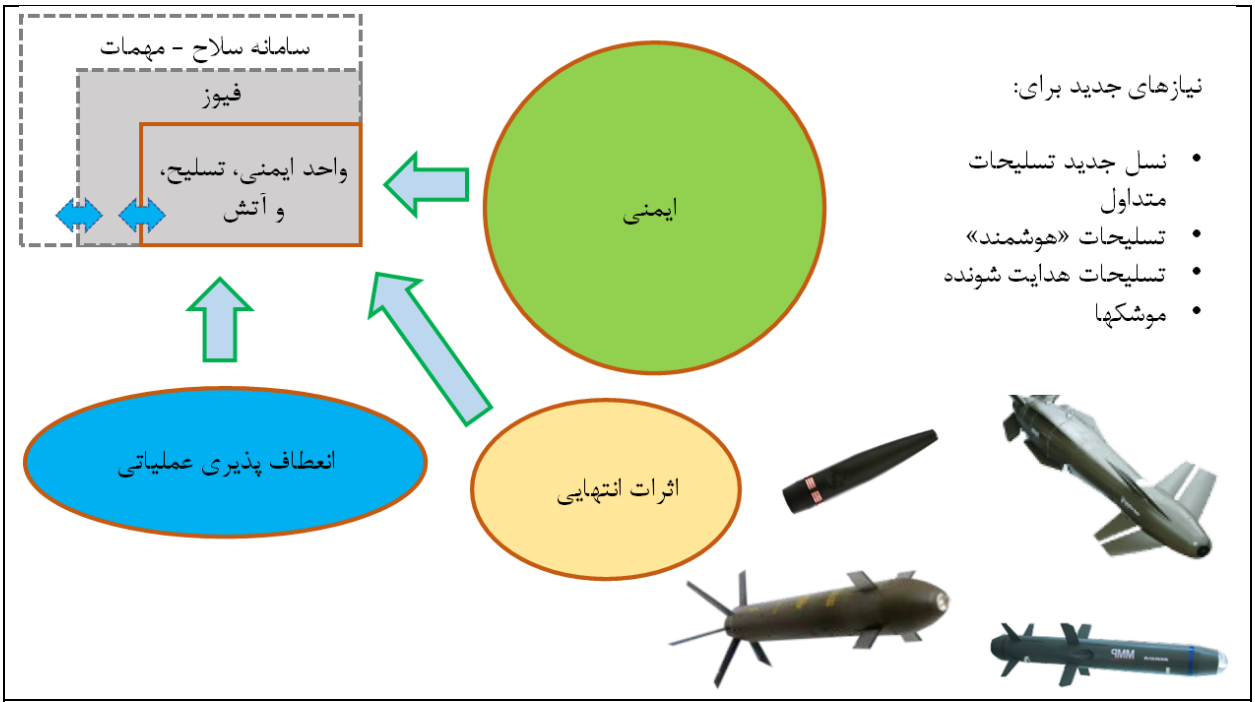
۳) افزایش الزامات ایمنی فیوزها و سخت گیرانه تر شدن آنها در شرایط پیش از شلیک، و تداوم الزامات ایمنی تا نزدیک شدن سلاح به هدف، و حتی پس از عدم انفجار سلاح (به هر دلیلی) باید فیوز همچنان از الزامات ایمنی خاصی برخوردار باشد.

۴) بهبود تاثیر و اثربخشی نهایی سلاح و کاهش آسیبهای جانبی و ناخواسته آن که باید در طراحی و توسعه فیوز سلاح دیده شود.

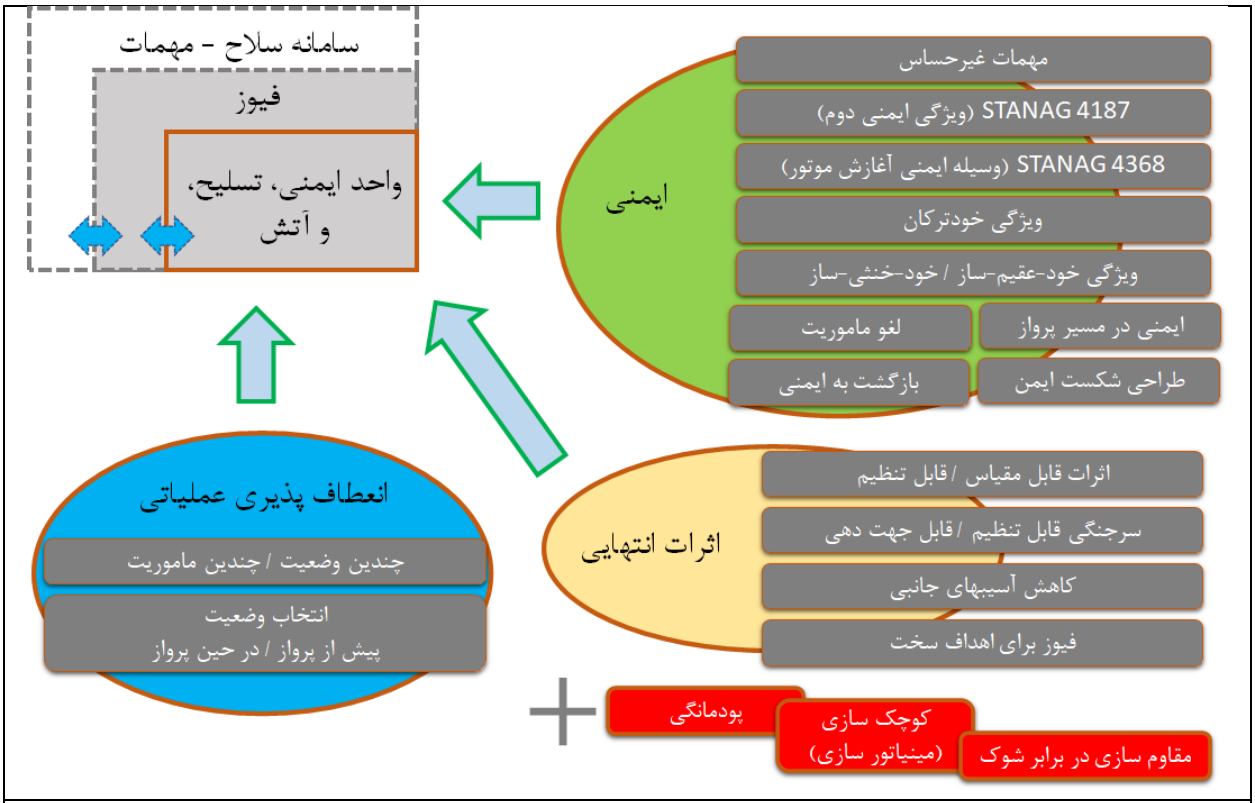
در شکل زیر الزامات جدید سامانه های ایمنی و تسلیح به صورت اطلاع-نگاشت ترسیم شده است.



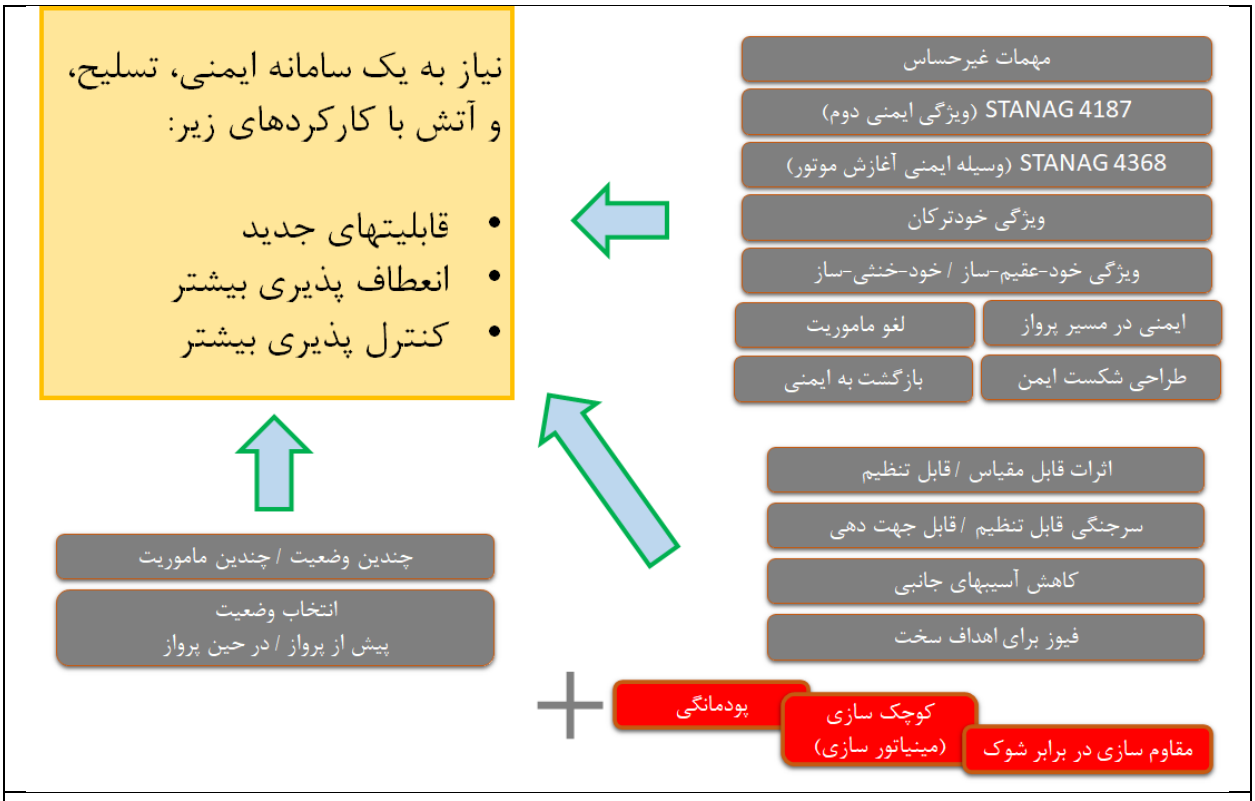
ترسیم الزامات جدید سامانه های ایمنی و تسلیح به صورت اطلاع-نگاشت



ترسیم الزامات و نیازهای جدید سامانه های ایمنی و تسلیح و تعامل آن با سامانه سلاح



تشریح الزامات و نیازهای جدید سامانه های ایمنی و تسلیح و تعامل آن با سامانه سلاح



تشریح الزامات و نیازهای جدید سامانه های ایمنی و تسلیح و کارکردهای آن

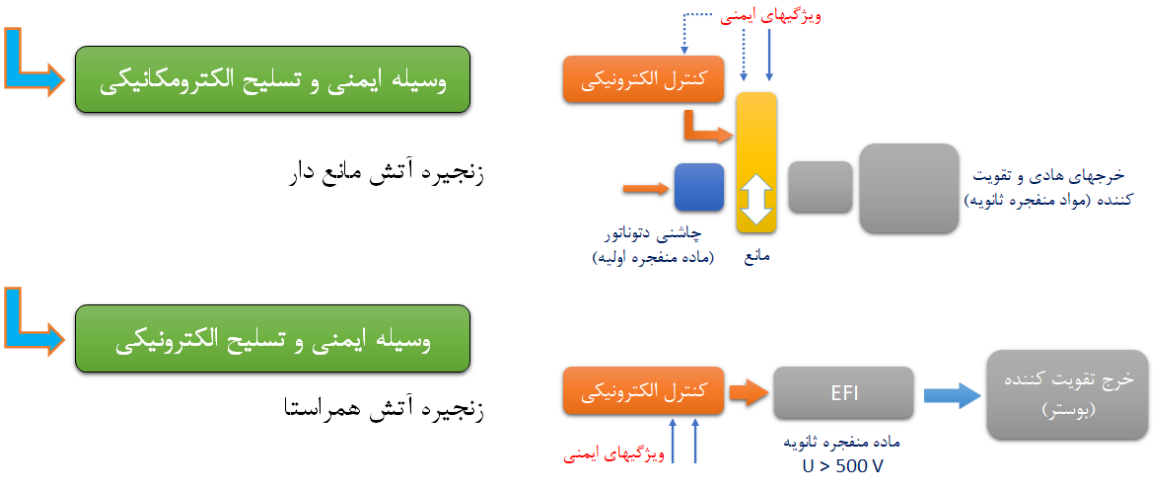
تشریح کارکردهای جدید سامانه های ایمنی و تسلیح و ضرورت به کارگیری کنترل الکترونیکی

چالشهای جدید فراروی طراح فیوز (سامانه ایمنی و تسلیح)

- به کارگیری الکترونیک در طراحی وسیله ایمنی و تسلیح مکانیکی / الکترومکانیکی
  - مسایل منبع تغذیه
  - الکترونیک توان پایین
  - آغازگرهای انرژی پایین
  - طراحی معماری ایمن، شکست ایمن
    - سخت افزار
    - نرم افزار
- مقاومت در برابر محیطهای شدید و شدیدتر
  - تکنیکهای یکپارچه سازی ویژه
  - فناوریهای رزین ریزی
  - فناوریهای جذب و فیلتر کردن شوک
  - راه حلهای سپرهای مکانیکی
- کوچک سازی و مینیاتورسازی

کنترل الکترونیکی وسایل ایمنی و تسلیح

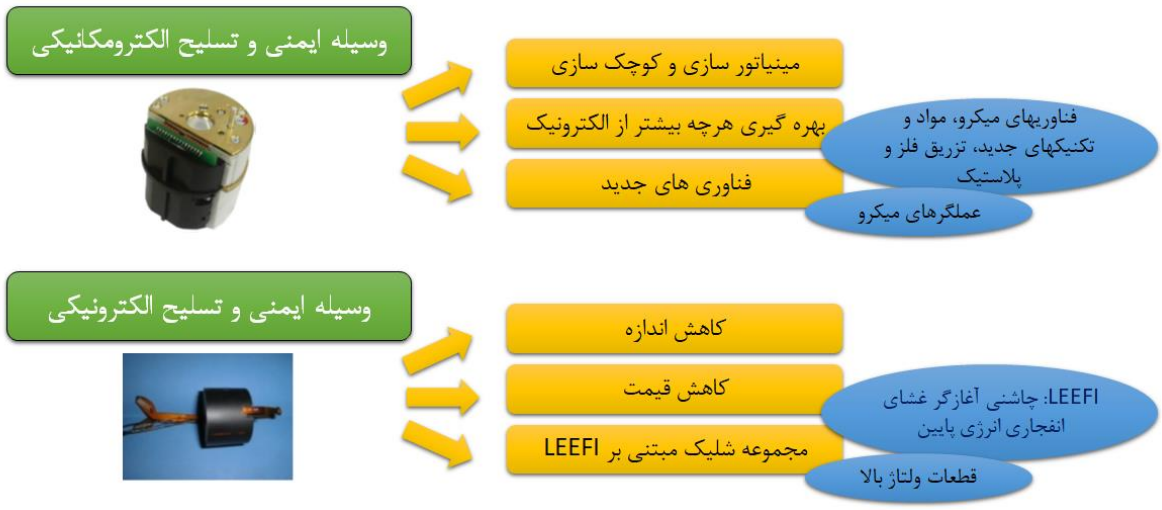
✓ نیاز به کنترل فعالیتهای ایمنی و تسلیح: فرمان الکترونیکی برای ایمنی و تسلیح
✓ برای دستیابی به این کارکرد دو نوع فناوری برای وسایل ایمنی و تسلیح مناسب است:



به کارگیری کنترل الکترونیکی برای سامانه های ایمنی و تسلیح

روند توسعه فناوری وسایل ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی و الکترونیکی

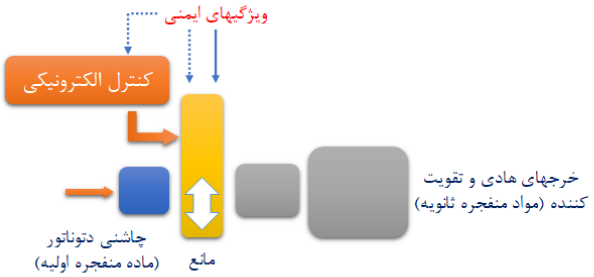
- ✓ دو فناوری وسایل ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی و الکترونیکی همگام با یکدیگر، ولی به روشهای متفاوت، در حال تکامل و توسعه اند.



روند توسعه فناوری وسایل ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی و الکترونیکی

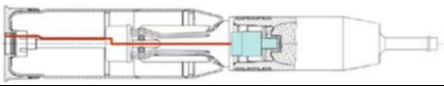
مبانی اصلی و فناوریهای وسایل ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی

- ✓ مبانی
  - ❑ قطع کردن زنجیره آتش با استفاده از مانع (دژ) ایمنی
  - ❑ عملیات تسلیح: همراستا شدن زنجیره آتش با استفاده از جابجا شدن مانع (دژ)
    - ▪ فعال شده با عملگر
    - ▪ کنترل شونده به روش الکترونیکی
- ✓ فناوریها
  - ❑ میکرو مکانیزمها
  - ❑ عملگرها
    - ▪ عملگرهای پیستونی (انفجاری)
    - ▪ عملگرهای الکترومغناطیس
  - ❑ الکترونیک شکست ایمن
  - ❑ نرم افزار شکست ایمن
- ✓ استفاده احتمالی از فناوریهای جدید برای ریز-عملگرها
  - ❑ موتورهای پیزو
  - ❑ ریز-عملگرهای سیلیکونی مِمز (MEMS)



مبانی اصلی و فناوریهای وسایل ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی کنترل شونده با الکترونیک

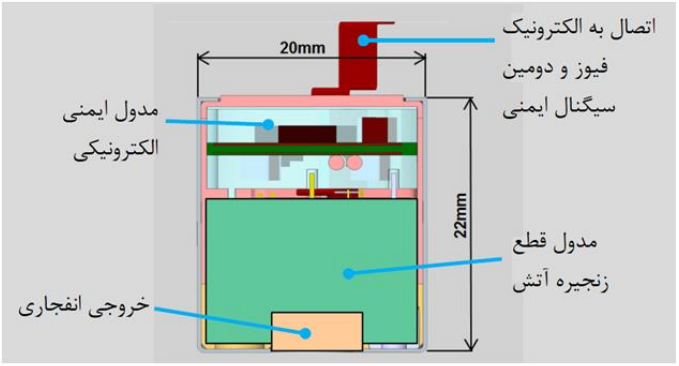
وسایل ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی به کار رفته در تسلیحات شلیک شونده از لوله قبضه

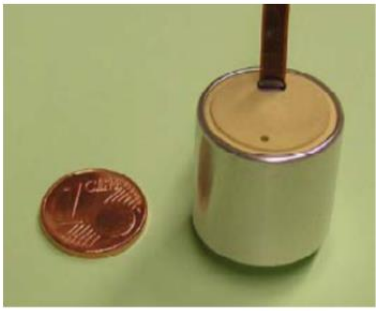


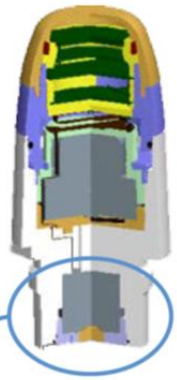
- ✓ نمونه ای از محصول کنونی و در حال استفاده
  - ❑ فیوز مهمات تانک DM173 برای گلوله کالیبر ۱۲۰ میلیمتر DM11
- ✓ فیوز قابل برنامه ریزی
  - ❑ اصابتی – اصابتی با تاخیر
  - ❑ انفجار در هوا (از ۶۴ میلی ثانیه تا ۱۲ ثانیه)
  - ❑ خودترکان
- ✓ عملکرد وسیله ایمنی و تسلیح
  - ❑ معیارهای ایمنی: تشخیص شتاب و سوئچ فشار گاز
  - ❑ کنترل الکترونیکی تسلیح وسلیه ایمنی و تسلیح با عملگر پیستونی
- ✓ در مرحله تولید انبوه و به کار گرفته شده توسط ارتش آلمان و نیروی دریایی آمریکا

نمونه ای از وسیله ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی کنترل شونده با الکترونیک به کار رفته در تسلیحات شلیک شونده از لوله قبضه

وسیله ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی کوچک شده (مینیاتوری)







- ✓ استوانه به قطر ۲۰ میلیمتر و طول ۲۲ میلیمتر حاوی این اجزا است:
  - ❑ الکترونیک ایمنی
  - ❑ رویداد ایمنی اول
  - ❑ وسیله قطع زنجیره آتش
  - ❑ زنجیره انفجار
  - ❑ عملگر پیستونی
  - ❑ خروجی انفجاری

نمونه ای از وسیله ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی کوچک شده (مینیاتوری)

وسیله ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی کوچک شده (مینیاتوری)

- ✓ صحه گذاری شده در محیط شلیک شده از لوله قبضه (توپ و خمپاره)
  - ❑ رویداد ایمنی اول: شتاب لگد زدن، سوئیچ مکانیکی تعبیه شده در وسیله ایمنی و تسلیح
  - ❑ رویداد ایمنی دوم: فراهم شده توسط مدول کنترل الکترونیکی فیوز (شناسایی پرواز، الکترونیک)

سلاح هدایت شونده وولکانو (آتشفشان) حاوی وسیله ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی مینیاتوری

- ✓ قابل انطباق با دیگر انواع تسلیحات، با رویداد ایمنی خارجی مناسب
  - ❑ فیوز «هوشمند» و فیوز تسلیحات هدایت شونده، توپخانه، خمپاره، و غیره
  - ❑ تسلیحات شلیک شونده از شانه
  - ❑ وسایل ایمنی و تسلیح هر گونه سرجنگی دیگر

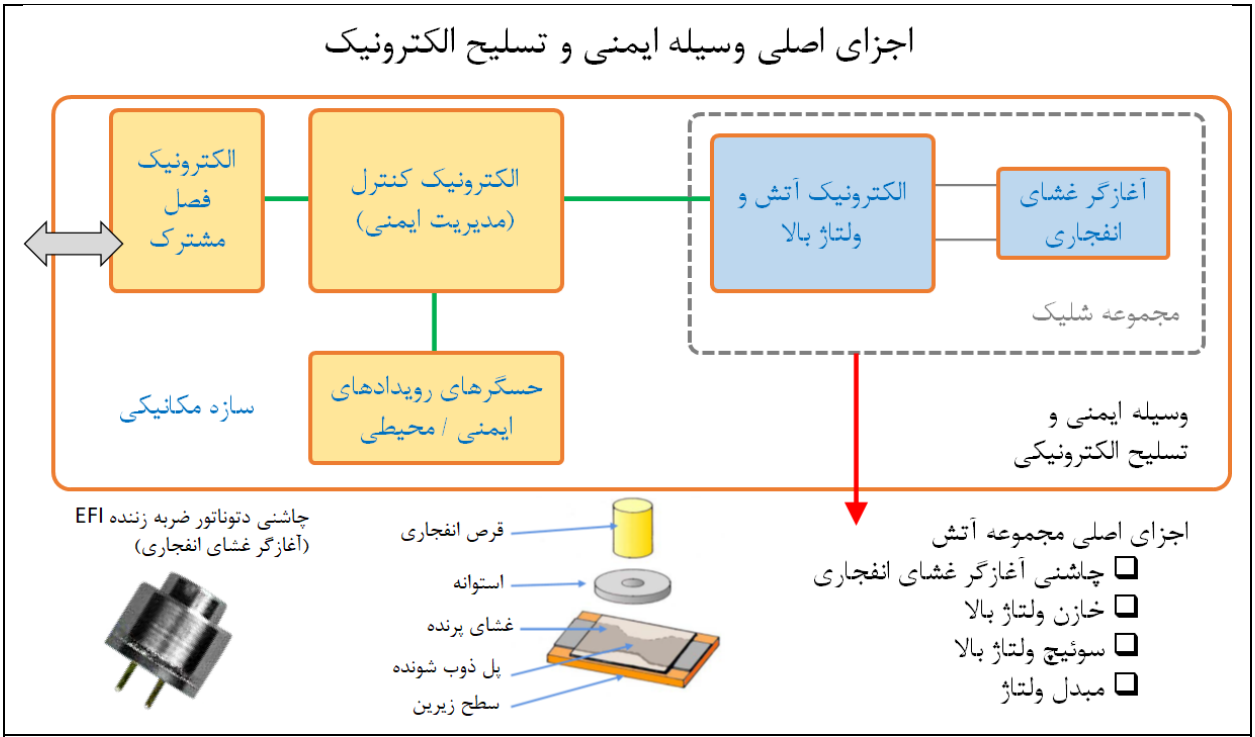
نمونه ای از کاربرد وسیله ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی کوچک شده (مینیاتوری)

نسل جدید وسایل ایمنی و تسلیح الکترومکانیکی و وسایل ایمنی آغازش موتورهای راکتها و موشکها کاربردهای جدید و چالشهای اصلی فراروی وسیله ایمنی و تسلیح برای سرجنگی ها در مهمات هوشمند هدایت شونده (تسلیحات شلیک شونده از لوله قبضه، راکتها، موشکهای کوچک):

- شرایط محیطی گوناگون: با یا بدون چرخش، شرایط شتاب و شوک، و غیره
- حس کردن رویداد ایمنی
- وسیله ایمنی و تسلیح برای سرجنگی تسلیحات محیط «نرم»

وسیله ایمنی آغازش برای موتورهای راکت:

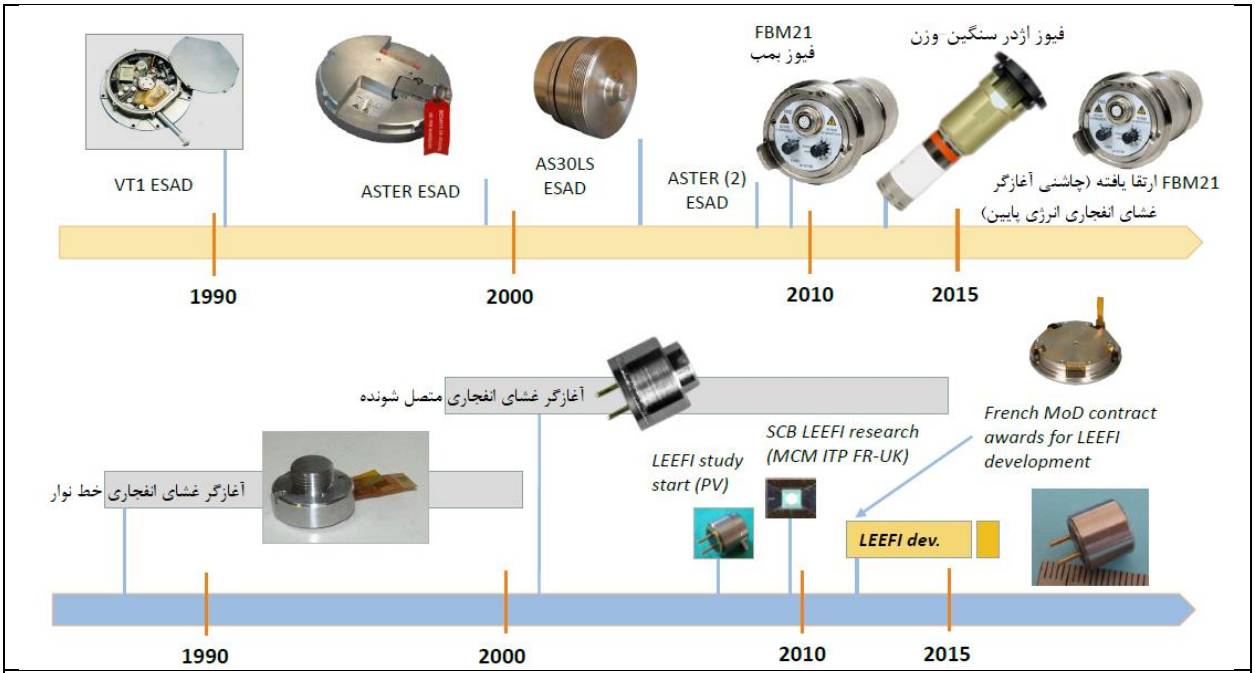
- موشکهای ارزان قیمت / کوچک
- تسلیحات یا موشکهای هواپایه یا زمین-پایه
- انطباق با استاندارد STANAG 4368
- قابلیت بازگشت پذیری همراستایی زنجیره آتش



اجزای اصلی وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی

مزایای اصلی فناوری ایمنی و تسلیح الکترونیکی:

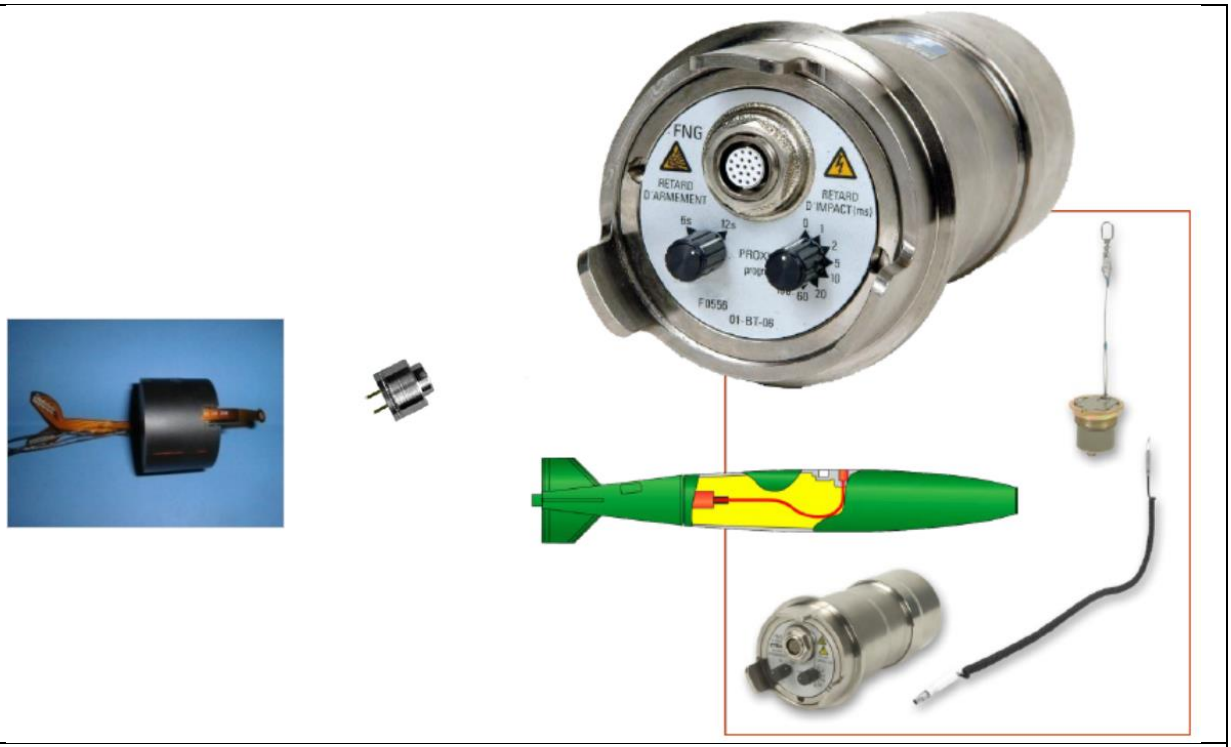
- سطح بالای غیرحساس بودن با وجود مواد منفجره ثانویه
- مقاومت در برابر اغتشاشات الکترومغناطیس و الکترواستاتیک
- توانایی مقاومت در برابر تنشهای مکانیکی بسیار بالا
- انعطاف پذیری: مدیریت ایمنی و پردازش رویدادهای ایمنی به صورت الکترونیک
- عملیات آزمون را در کل چرخه عمر آسانتر می کند
- در صورت بروز شکست برای سامانه، به وضعیت ایمن اولیه برمی گردد (کاهش آسیبهای جانبی و کاهش خطرات مهمات عمل نکرده)
- امکان طراحی «سرجنگی هوشمند» (آغازش چند نقطه ای، زمان بندی دقیق آغازش)
- انطباق با استاندارد طراحی ایمنی STANAG 4187 ویرایش چهارم



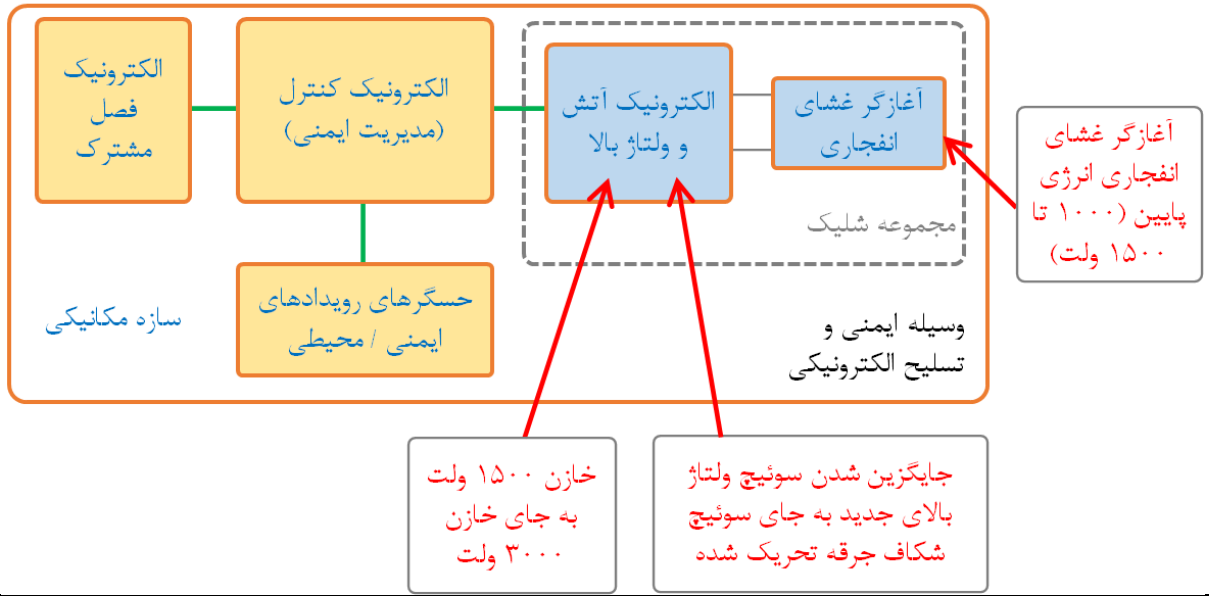
روند تکامل وسایل ایمنی و تسلیح الکترونیکی و آغازگرهای غشای انفجاری

نمونه ای از فیوزهای کنونی و عملیاتی با ایمنی و تسلیح الکترونیکی مبتنی بر آغازگر غشای انفجاری؛ فیوز بمب هوایی FBM21

فیوز چندکاره: عمومی و نفوذی، با قابلیت نفوذ در اهداف سخت، وضعیت مجاورتی (با حسگر خارجی) برای به کار گیری در مقر فیوز ۳ اینچی بمبها اعم از همه انواع بمبهای هدایت نشونده، یا هدایت شونده در مرحله تولید انبوه از سال ۲۰۰۹ تاکنون و کارایی اثبات شده آن در صحنه های نبرد



فیوز بمب هوایی FBM21 حاوی وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی و آغازگر غشای انفجاری



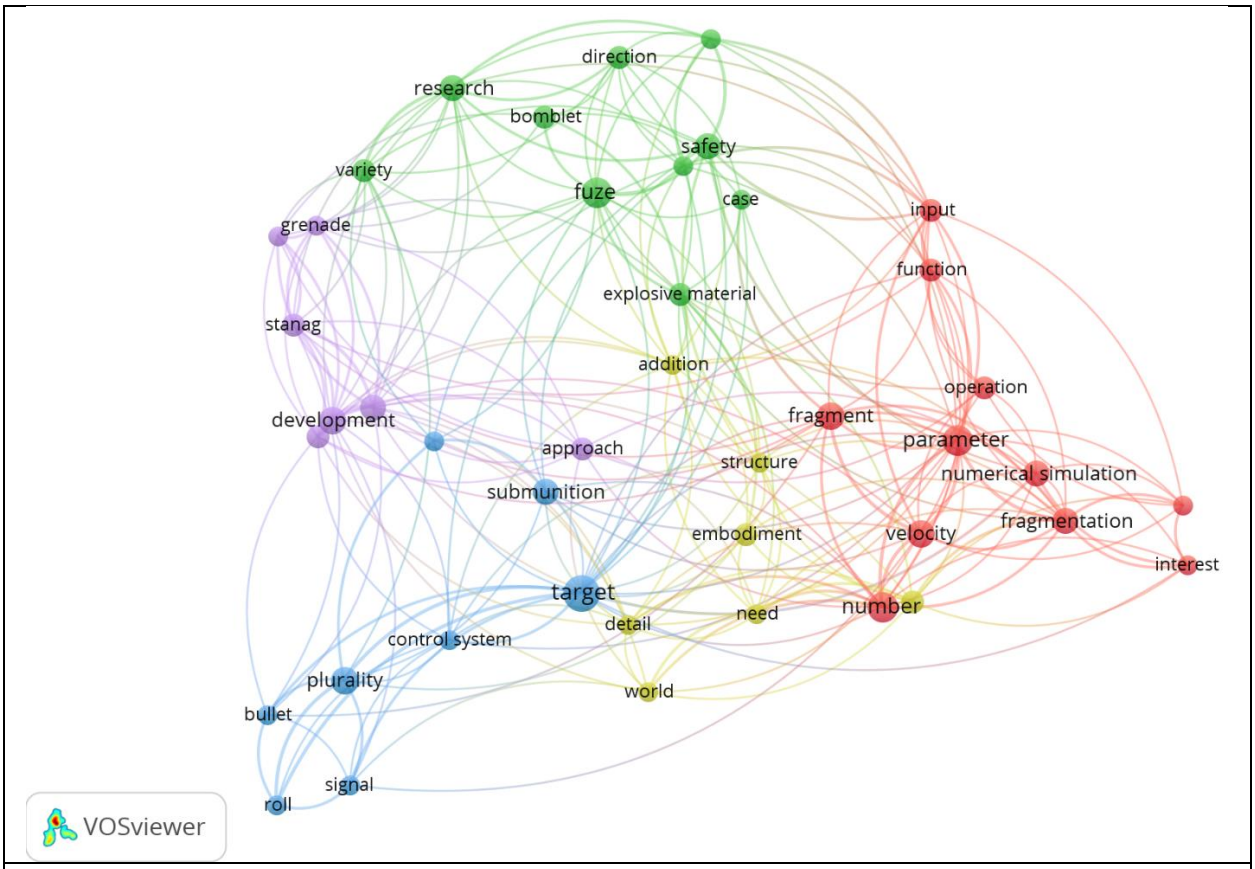
اجزای اصلی وسیله ایمنی و تسلیح الکترونیکی مبتنی بر آغازگر غشای انفجاری انرژی پایین

مزایای اصلی فراهم شده توسط فناوری LEEFI (آغازگر غشای انفجاری انرژی پایین)

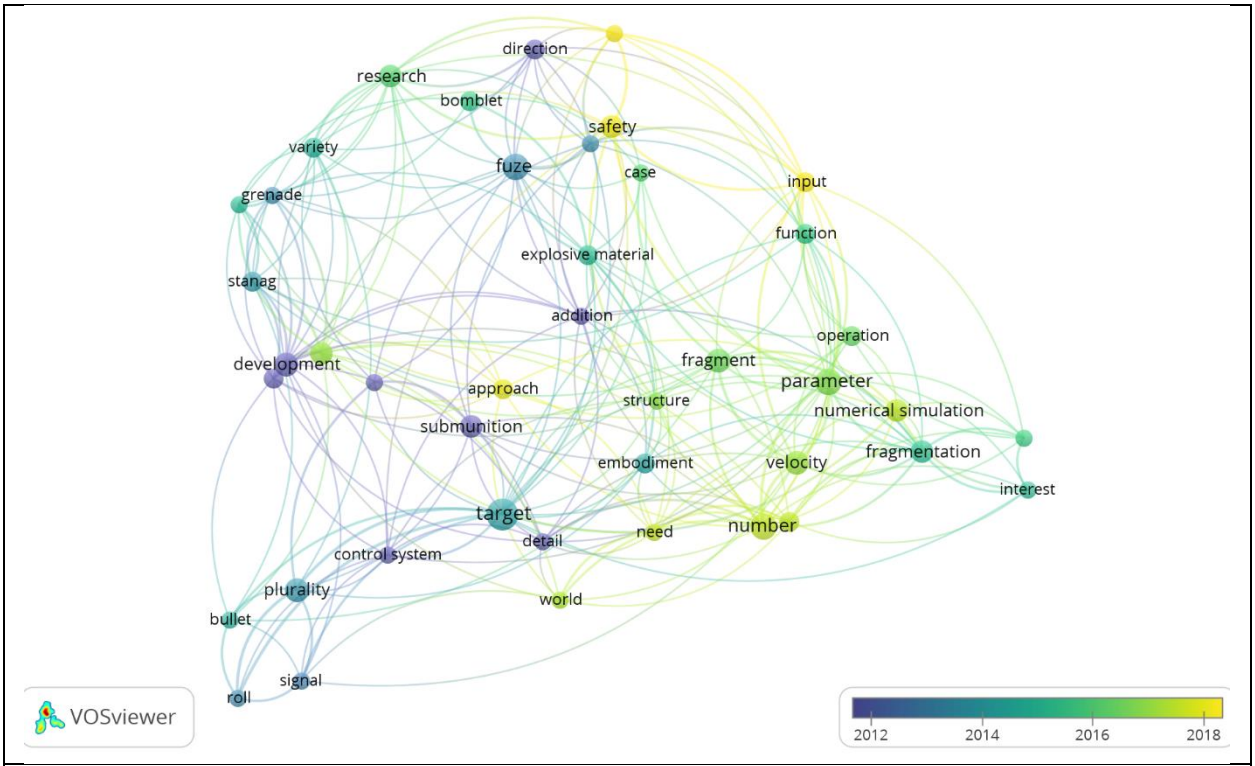
- کاهش قیود و محدودیتهای طراحی
  - به دلیل کاهش ولتاژ، آرایش و چیدمان مدار آسان تر می شود
  - افزایش حاشیه ایمنی طراحی
- اندازه کوچکتر
  - طراحی مدار کوچکتر و قطعات ولتاژ-بالای کوچکتر
  - قابلیت انطباق به اندازه ها و ضرایب شکلهای گوناگون برای کاربردهای مختلف
  - مقاومت بالاتر به شوک بالا
- هزینه پایین تر
  - ولتاژ پایین تر سبب می شود که بتوان به جای قطعات کاربرد خاص ولتاژ-بالا، از قطعات استاندارد استفاده نمود

متن کاوی مقالات پژوهشی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح با استفاده از نرم افزار VOSViewer

نرم افزار VOSViewer یکی از نرم افزارهای کاربردی در زمینه متن کاوی و تحلیل محتوای مقالات علمی است. این نرم افزار با استفاده از تکنیک شناسایی تعداد تکرار واژگان در متن و هم-رخدادی آنها، ارتباط میان واژگان را به صورت گرافیکی و ترسیمی مبتنی بر زمان، ترسیم می کند. با استفاده از نرم افزار مذکور، چندین مقاله مرتبط با سامانه های ایمنی و تسلیح به لحاظ محتوایی بررسی شده و نتیجه آن در شکل زیر نشان داده شده است. همین نمودار را می توان با شاخص زمان نیز ترسیم کرد که تصویر آن در شکل بعد نشان داده شده است.
همانگونه که از این تصویر مشاهده می شود، موضوع تحلیلها و آزمایشهای تجربی مربوط به بخش سرجنگی مهمات و ریز مهمات، عمدتا بر روی موضوع ترکشزایی متمرکز شده است. همچنین مبحث خرج و توسعه مواد منفجره نیز با تمرکزی کمتر نسبت به ترکشزایی، همچنان مورد نظر می باشد. همچنین مباحث مربوط به هدایت و کنترل و مهمات هوشمند و نقطه زن در بازه زمانی زودتری نسبت به تمرکز بر روی سرجنگی مدنظر قرار گرفته است. لذا می توان نتیجه گرفت که موضوع نقطه زنی و مهمات هدایت پذیر، به لحاظ اهمیت و نقش چشمگیر آنها در نقطه زنی، در مقالات و ادبیات علمی، زودتر مورد توجه قرار گرفته است.

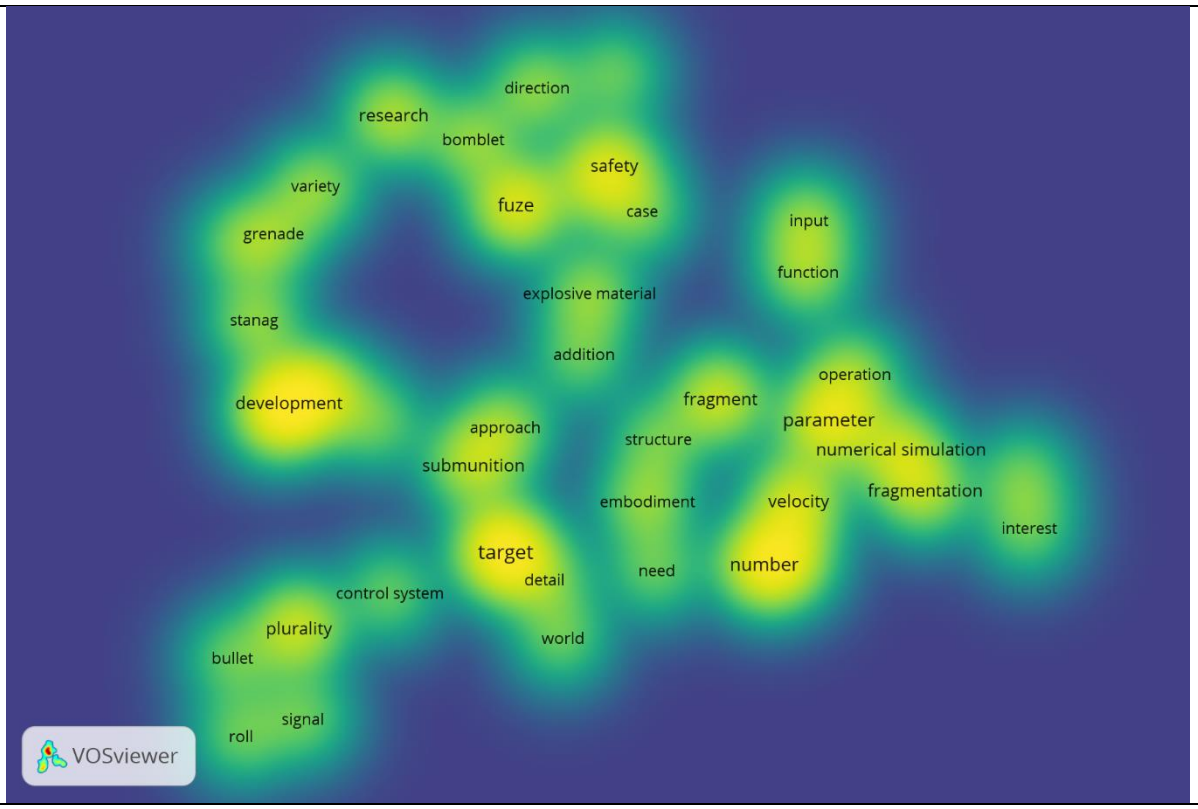


نمودار متن کاوی مقالات و منابع علمی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح



نمودار متن کاوی مقالات و منابع علمی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح با شاخص زمان

از نمودارهای فوق چنین استنباط می شود که یک ارتباط محتوایی در خصوص سامانه های ایمنی و تسلیح، سامانه های میکرو الکترومکانیکی (مِمز)، چاشنی غشای انفجاری، و طراحی سازوکار (مکانیزم) وجود دارد. اگرچه موضوعات ایمنی و تسلیح، آزمونهای مربوطه، و عملکرد سامانه ایمنی و تسلیح نیز کاملا به هم مرتبط هستند. همچنین مقالات مرتبط با سامانه های میکرو الکترومکانیکی (مِمز)، جدیدتر بوده و جزو پژوهشهای نوین در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح محسوب می شوند. در شکل زیر نمودار متن کاوی مقالات مقالات و منابع علمی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح به صورت طیفی نیز نشان داده شده است.

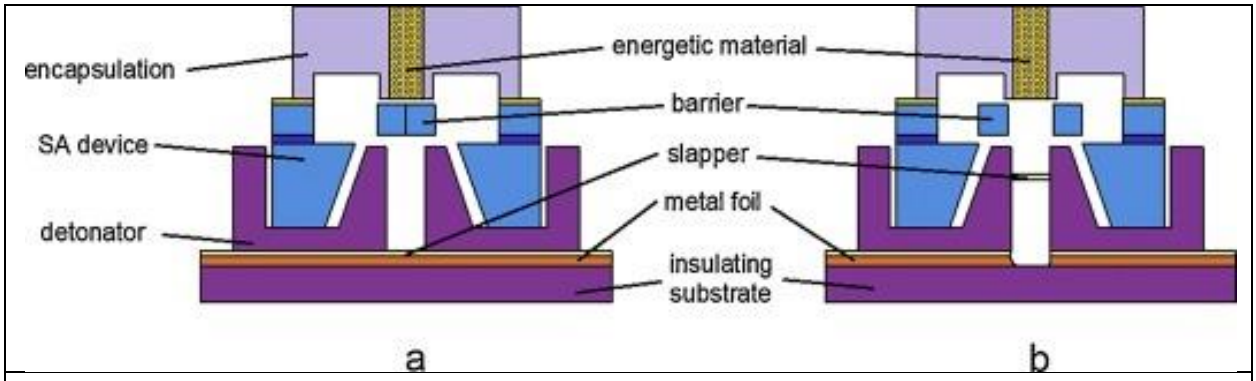


نمایش طیفی نمودار متن کاوی مقالات و منابع علمی در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح

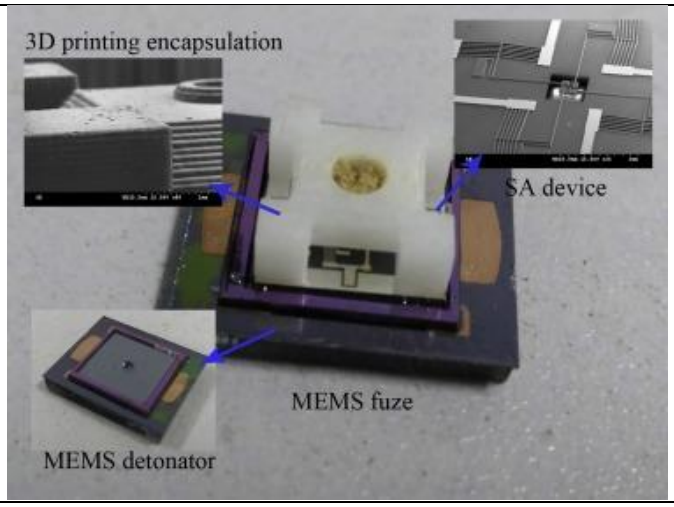
تحلیل ۱۰ مقاله اخیر فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح

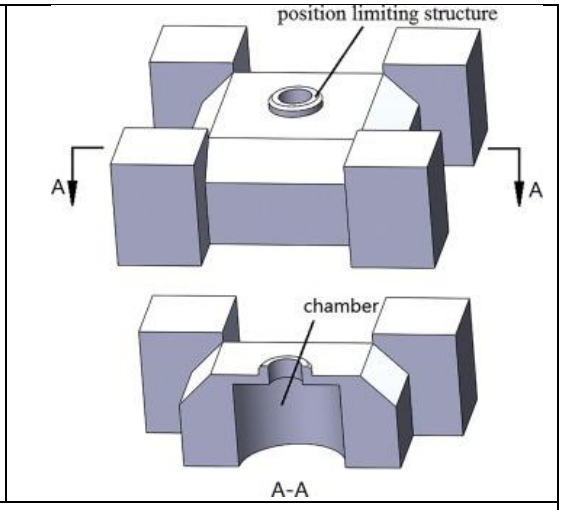
مقاله نخست با عنوان «یکپارچه سازی طراحی فیوز مبتنی بر سامانه های میکرو الکترومکانیکی (MEMS)» این مقاله که توسط هو و همکارانش [۲۰۱۷] از موسسه پژوهشهای شیمی فیزیک کاربردی شانگزی چین نوشته شده به طراحی، ساخت و آزمونهای یک فیوز نوین مبتنی بر فناوری مِمز پرداخته شده است. وسیله ایمنی و تسلیح و چاشنی دتوناتور مِمز همگی به طور مجزا ساخته شده و بر روی یکدیگر مونتاژ شده اند. این فیوز که یک وسیله چندلایه است، لایه زیرین آن را یک چاشنی دتوناتور مِمز تشکیل داده است. چاشنی هنگامی که با ولتاژ ۲۵۰۰ ولتی فعال می شود، یک صفحه ضربه زننده ای پرسرعتی با سرعت ۴۰۸۸ متر بر ثانیه تولید می کند. به عبارت ساده تر، این فیوز ترکیبی از یک فیوز با سامانه ایمنی و تسلیح الکترونیکی (ESAD) و سیستمهای میکرو الکترومکانیکی (MEMS) ساخته شده که نوآوری و جهش مهمی در حوزه فیوزها محسوب می شود. لایه میانی این فیوز، وسیله ایمنی و تسلیح است. تحت اعمال ولتاژهای محرک مشخصی، وسیله ایمنی و تسلیح می تواند

جابجایی خروجی مشخصی ۵۰۸.۹۸ میکرومتر تولید کرده و در مدت ۱۶ میلی ثانیه، وضعیت ایمن را به وضعیت تسلیح تبدیل کند. لایه فوقانی نیز محفظه یکپارچه سازی فیوز است که حاوی ماده پرانرژی خروجی فیوز می باشد. با استفاده از فناوریهای چاپ سه بعدی و ماشینکاری لیزری، فرآیند تولید فیوز انجام شده و ابعاد کلی فیوز برابر ۱۵ در ۱۷ در ۵ میلیمتر به صورت موفقیت آمیزی تولید شده است. در شکلهای بعد، تصاویر مربوط به این فیوز آورده شده است.

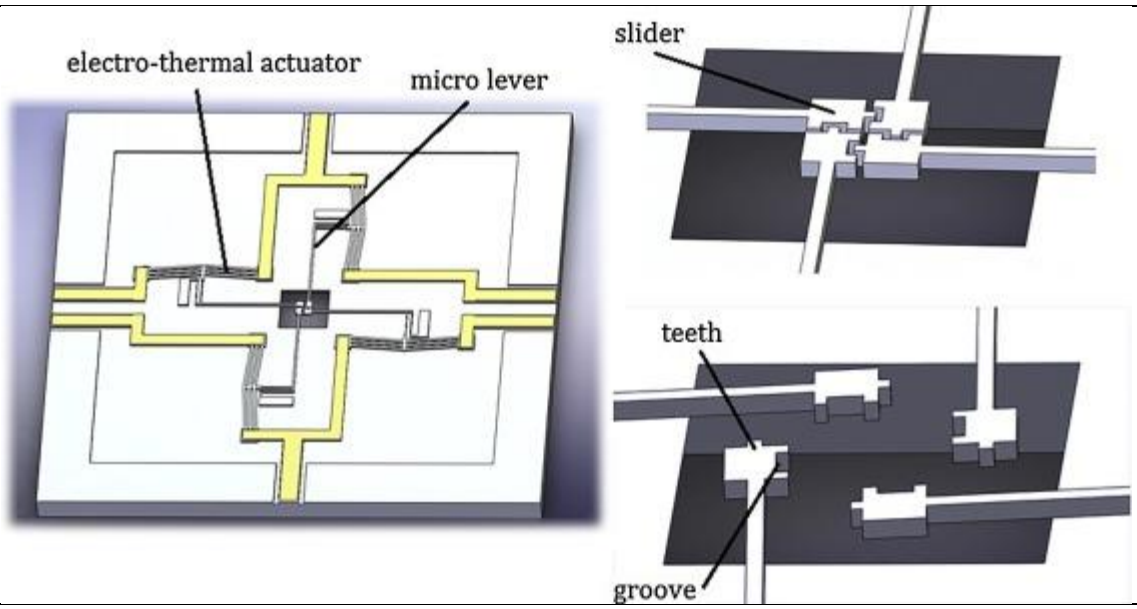


شمای مقطع فیوز مِمز در دو حالت ایمن و تسلیح

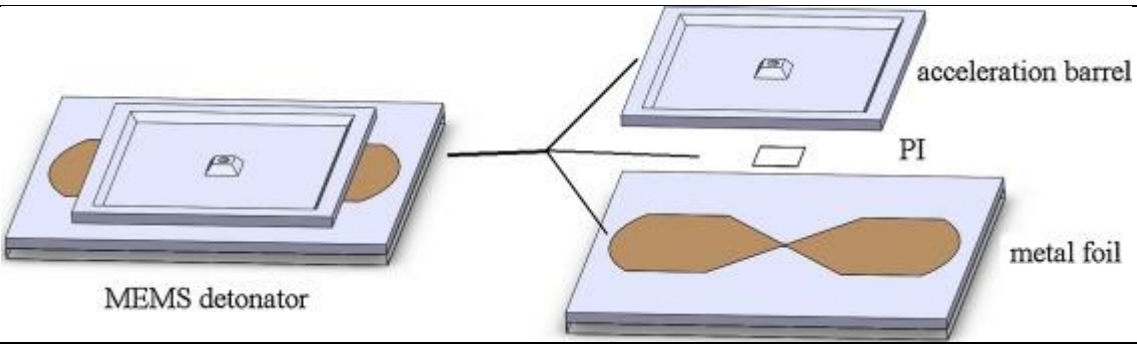




تصویر سه بعدی و شکل واقعی فیوز مِمز



تصویر سه بعدی اسلایدرها، بازوهای میکرو و عملگر الکترو-گرمایی

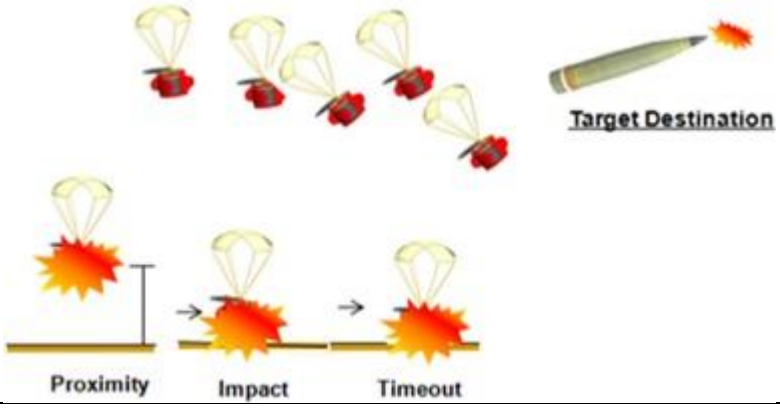


تصویر سه بعدی چاشنی دتوناتور مِمز (آغازگر غشای انفجاری)

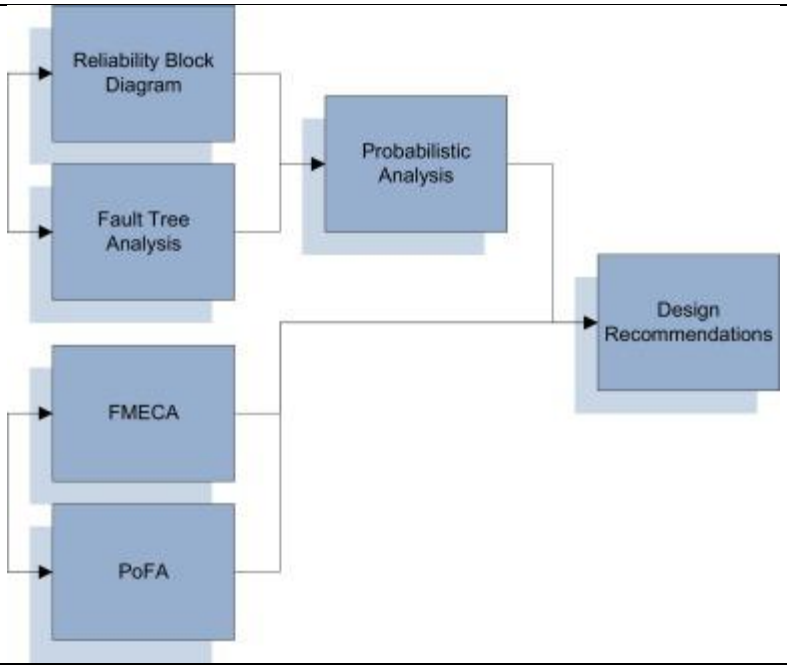
مقاله دوم با عنوان «طراحی برای قابلیت اطمینان برای فیوز با قابلیت اطمینان بالا»

شارپ، آندراده و روفینی (۲۰۱۹) از مرکز مهندسی و توسعه پژوهشهای تسلیحاتی ارتش آمریکا، این مقاله را نوشته اند. هدف از این مقاله، بهره گیری از رویکرد طراحی برای قابلیت اطمینان برای افزایش قابلیت اطمینان یک فیوز بمبلت خوشه ای بوده است. آنها از تحلیلهای آمار و احتمالات، فیزیک شکست، درخت تحلیل خطا، و تحلیل وضعیتهای شکست و بحرانی بودن آنها (FMECA) بهره گرفته اند. نکته جالب در این مقاله آن است که آنها از ترکیب هر دو فیوز مِمز (MEMS) و فیوزهای الکترومکانیکی بهره گرفته اند. با توجه به خطر بالای تسلیحات خوشه ای عمل نکرده برای غیرنظامیان و نرخ شکست بالای این تسلیحات که به صورت عمل نکرده باقی می مانند، الزام حداکثر نرخ شکست ۱ درصد (یا قابلیت اطمینان عملکرد بیش از ۹۹ درصد) برای این تسلیحات تعریف شده است. در نهایت نویسندگان این مقاله به این نتیجه رسیده اند که برای رسیدن به قابلیت اطمینان عملکرد ۹۹.۷۵ درصد، لازم است که از سه سامانه ایمنی و تسلیح موازی در آنها استفاده شود. این نتیجه جالب

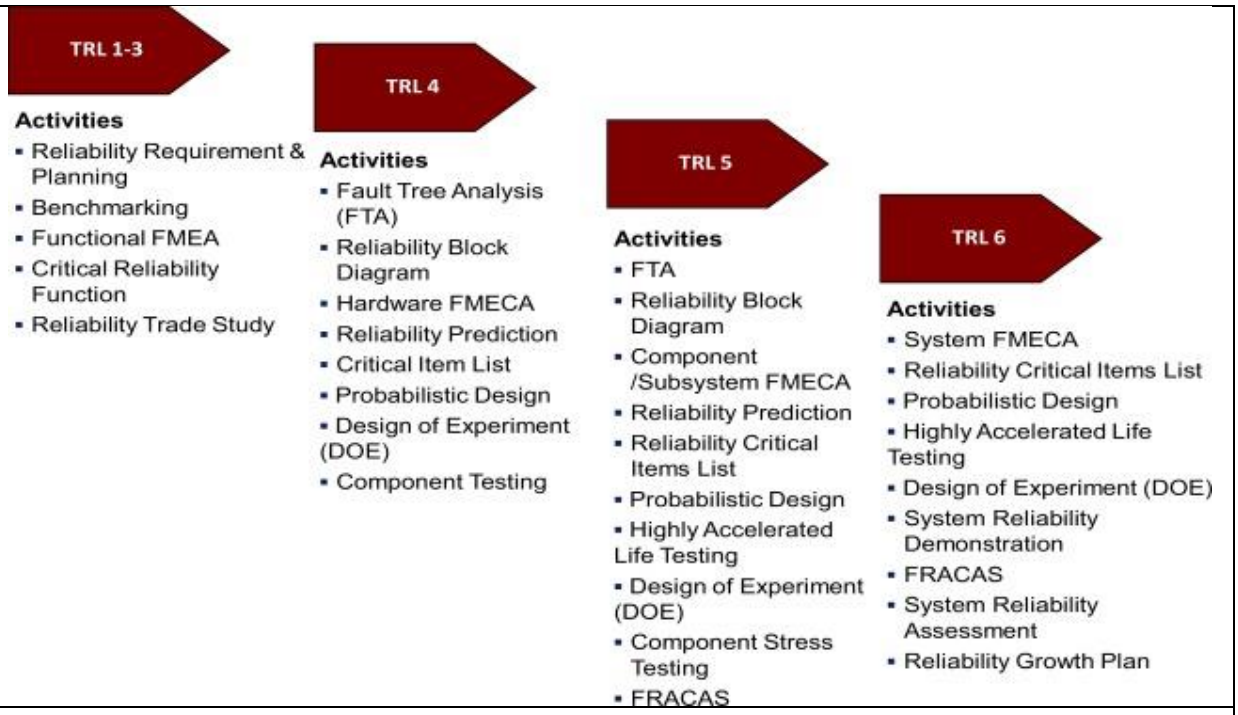
توجه بوده و برای نخستین بار است که استفاده از سه سامانه ایمنی و تسلیح در یک سلاح توصیه شده است. طبعا با توجه به محدودیتهای فضا و وزن در سلاح، بهره گیری از فیوزهای مِمز می تواند کمک شایانی به حل این مساله کند. در شکلهای بعد، تصاویری از شکلهای این مقاله آورده شده است.



تصویر نمایش سه نوع عملکرد مجاورتی، اصابتی و تاخیری برای فیوز بمبلت خوشه ای



نمودار بلوکی فعالیتهای انجام شده برای طراحی برای قابلیت اطمینان

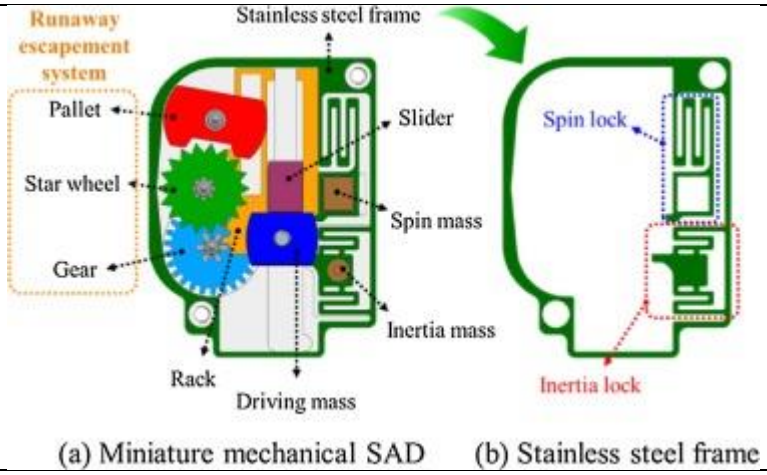


فعالیتهای سطوح آمادگی فناوری (TRL) های گوناگون برای تحلیل قابلیت اطمینان

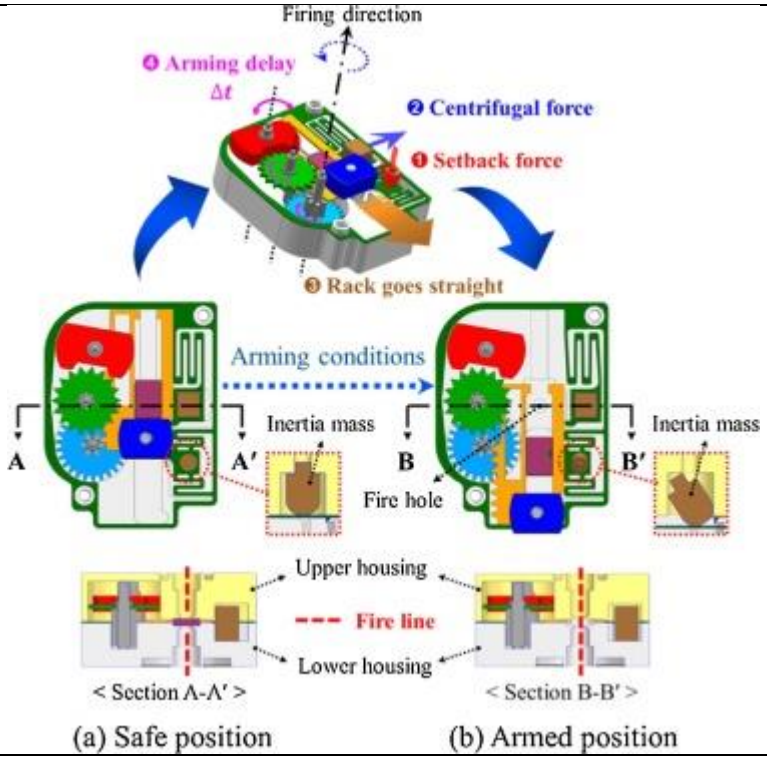
مقاله سوم با عنوان «وسیله ایمنی و تسلیح مکانیکی مینیاتوری با سازوکار تاخیر تسلیح چرخ دنگ برای فیوز توپخانه»

جئونگ و همکارانش (۲۰۱۸) از سازمان توسعه دفاعی کره جنوبی، این مقاله را نوشته اند. آنها در این مقاله یک وسیله ایمنی و تسلیح مکانیکی مینیاتوری برای فیوز تسلیحات پیشنهاد کرده اند. در این فیوز، تاخیر تسلیح با استفاده از سازوکار مکانیکی بسیار کوچک چرخ دنگ به نحو مطمئنی ایجاد شده است. طراحی و ساخت این وسیله مکانیکی کوچک به وسیله ماشینکاری حکاکی شیمیایی انجام شده است. این وسیله، عملکرد ایمنی و تسلیح موفقی را در آزمونهای میدانی واقعی نشان داده است. ضمن آنکه آزمونهای شرایط محیطی دما، ارتعاشات و ضربه را نیز به صورت موفقیت آمیزی گذرانده است. سازوکار چرخ دنگ مکانیکی مینیاتوری این فیوز از حرکت چرخ و شانه (چرخ دنده ساده و شانه) به حرکت در می آید. برای این فیوز، فاصله ایمنی دهانه ۲۳.۶ متری و فاصله تسلیح ۲۰۰ متری تعریف شده که با آزمون شلیک یکصد فروند فیوز، این قابلیت به نحو موفقیت آمیزی به اثبات رسیده است. شلیک میدانی ۱۰۰ فروند سلاح برای اثبات عملکرد مناسب یک سامانه ایمنی و تسلیح جدید نشان دهنده اهمیت این سامانه و ضرورت پرداخت هزینه و زمان کافی برای توسعه یک فیوز جدید است. نکته جالبی که از این مقاله برمی آید آن است که هنوز هم برای ایجاد تاخیرهای زمانی در فیوزها، از سازوکارهای مکانیکی استفاده شده است. به عبارت دیگر، در این فیوز از حسگرها و سازوکارهای کاملا مکانیکی (البته با ابعاد

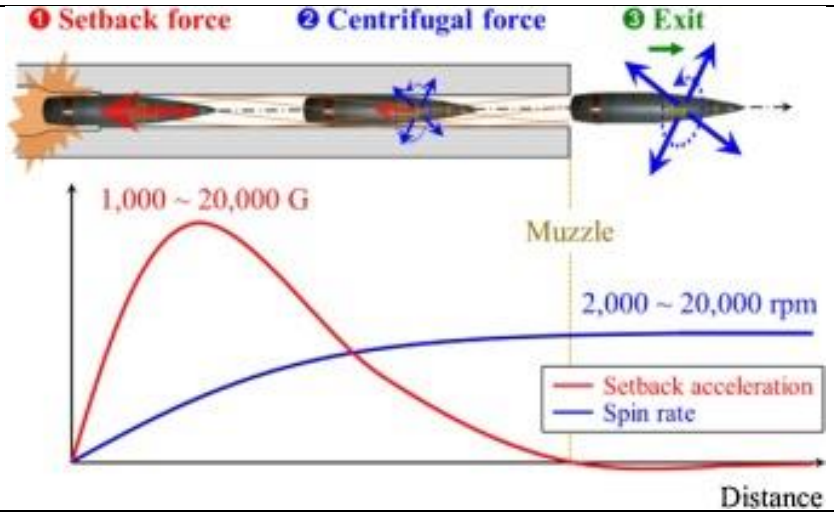
مینیاتوری) برای انجام فرآیندهای ایمنی و تسلیح استفاده شده است. این موضوع بیانگر آن است که فیوزهای مکانیکی (البته با ابعاد کوچکتر و مینیاتوری) همچنان به دلیل بالا بودن قابلیتهای اطمینان ایمنی و عملکرد آنها در توسعه تسلیحات نوین مورد توجه قرار دارند. در ادامه تعدادی از شکلهای این مقاله آورده شده است.



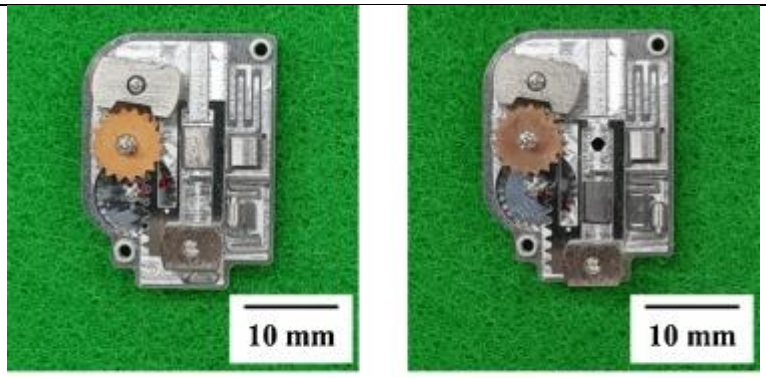
ساختار داخلی فیوز مکانیکی مینیاتوری و اجزای آن



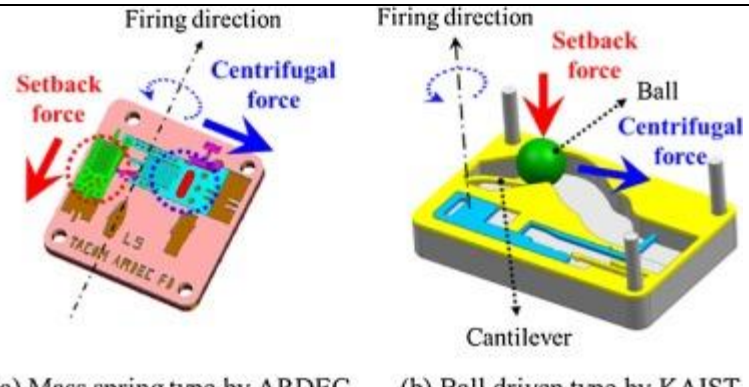
نمایش ساختار داخلی فیوز مکانیکی مینیاتوری و اجزای آن در دو حالت ایمن و تسلیح



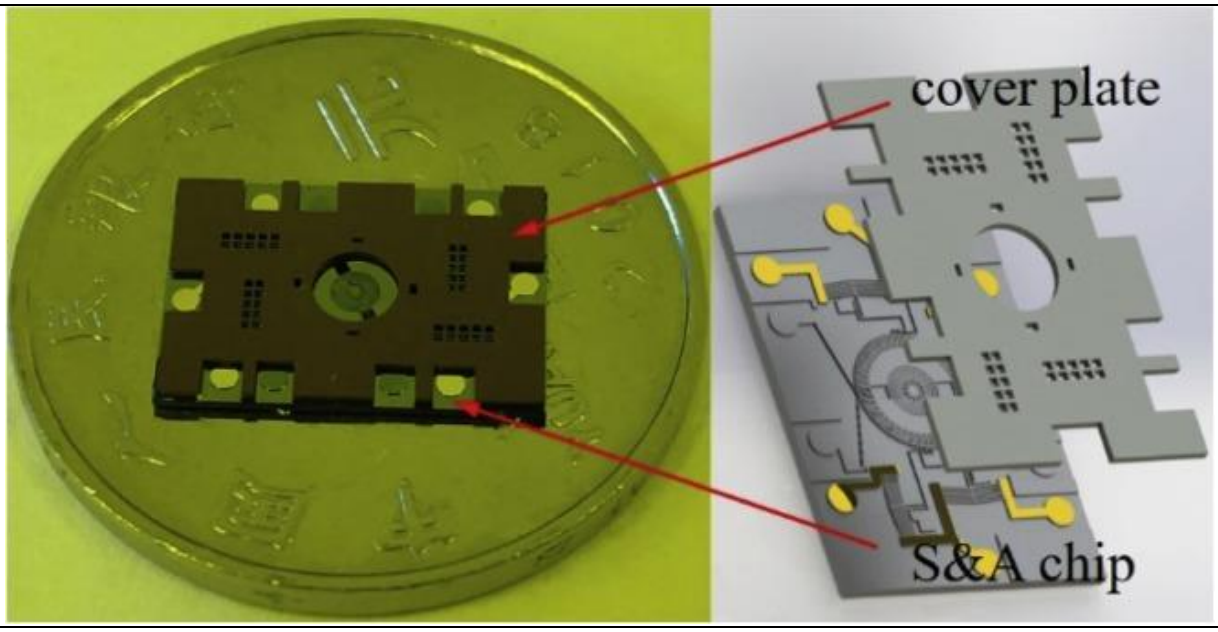
نمودار تغییرات شتاب لگدزدن و سرعت دورانی مربوط به نیروی گریز از مرکز اعمالی به فیوز هنگام شلیک گلوله توپ از دهانه



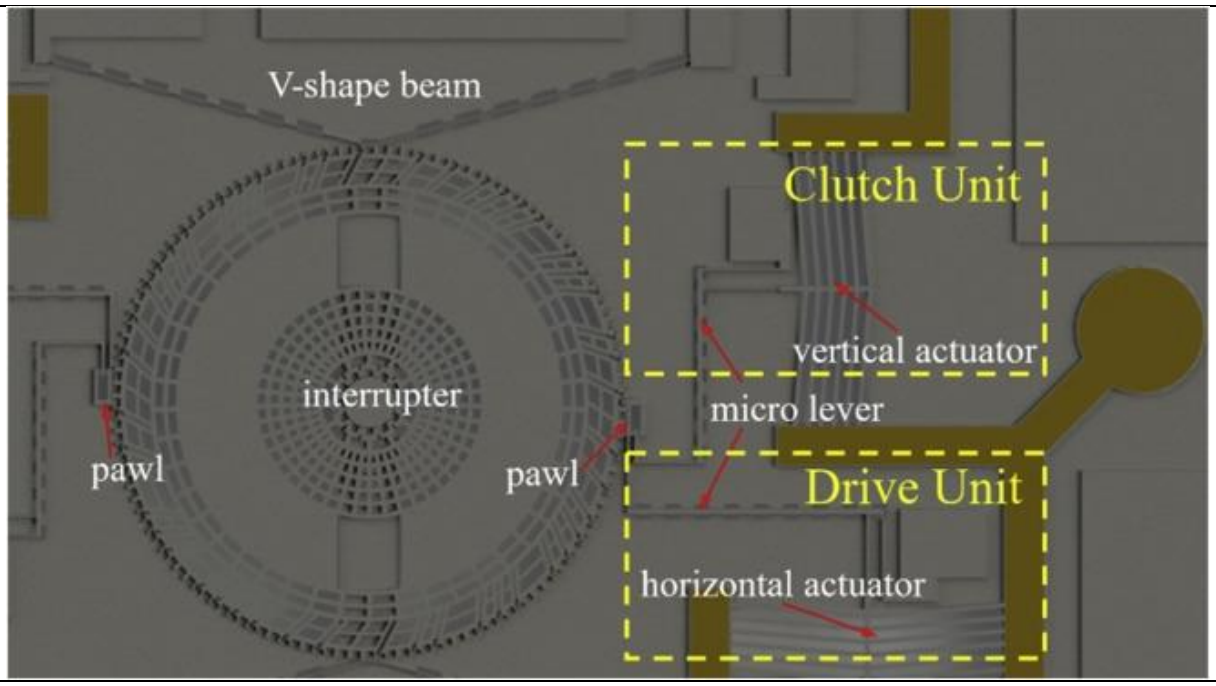
نمونه واقعی سامانه ایمنی و تسلیح مکانیکی مینیاتوری در دو حالت پیمودن فاصله ایمن و پیمودن فاصله تسلیح



مقاله چهارم با عنوان «پژوهشی درباره وسیله ایمنی و تسلیح چرخشی رمزگذاری شده با مِمز»
فانگ و همکارانش (۲۰۲۰) از دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه جیائوتونگ چین، این مقاله را نوشته اند. آنها در این مقاله یک وسیله ایمنی و تسلیح بر روی تراشه را با استفاده از سازوکار رمزگذاری شده با مِمز توسعه داده اند. ابعاد بسیار کوچک این فیوز از جمله ویژگیهای فیوز مذکور محسوب می شود. حرکت به سوی بهره گیری از سیستمهای میکرو الکترومکانیکی (MEMS) در توسعه فیوزهای ایمن جدید و کوچک، موضوعی است که در این مقاله نیز مورد توجه قرار گرفته است. در شکلهای بعد، تصاویر مربوط به این فیوز نشان داده شده است.



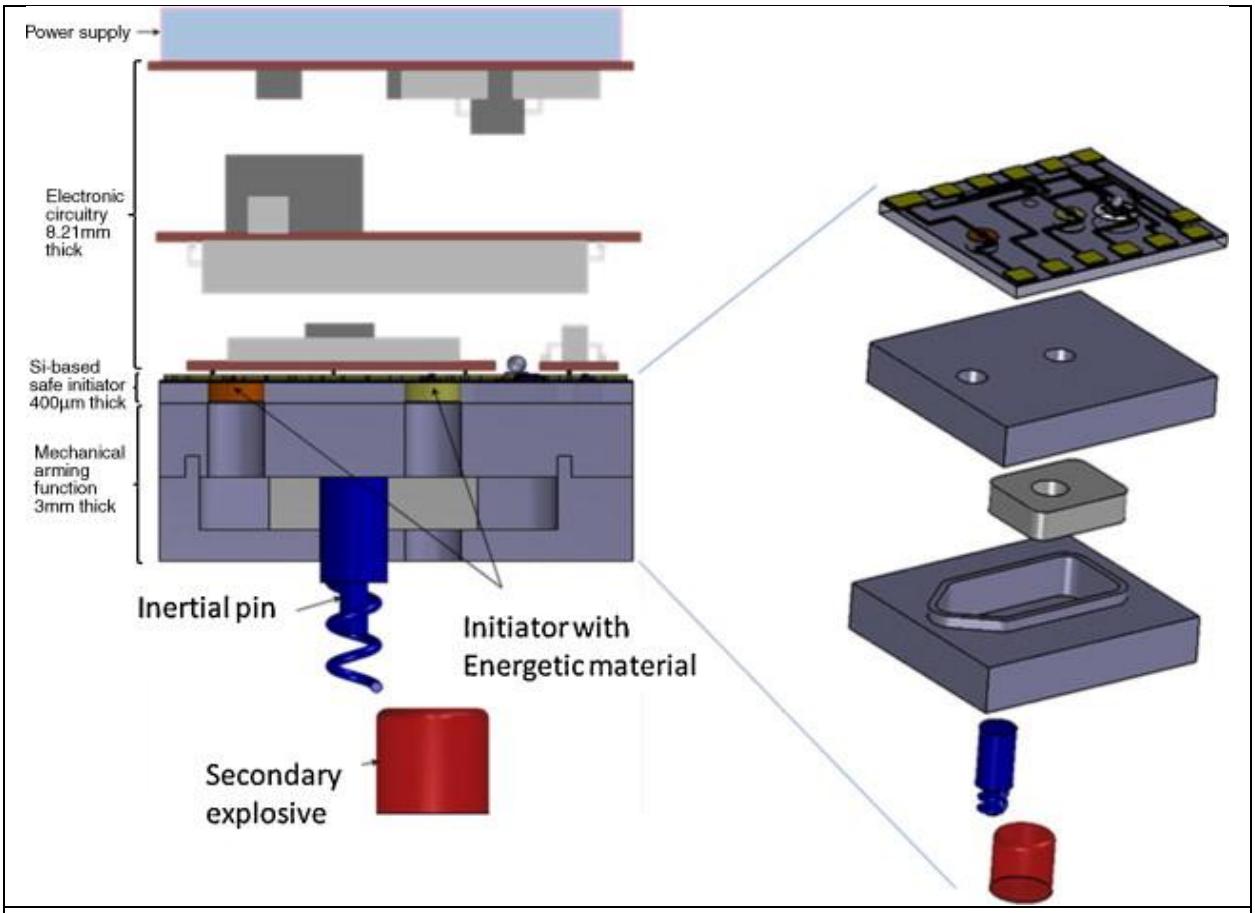
ابعاد بسیار کوچک وسیله ایمنی و تسلیح (فیوز) مِمز در مقایسه با یک سکه



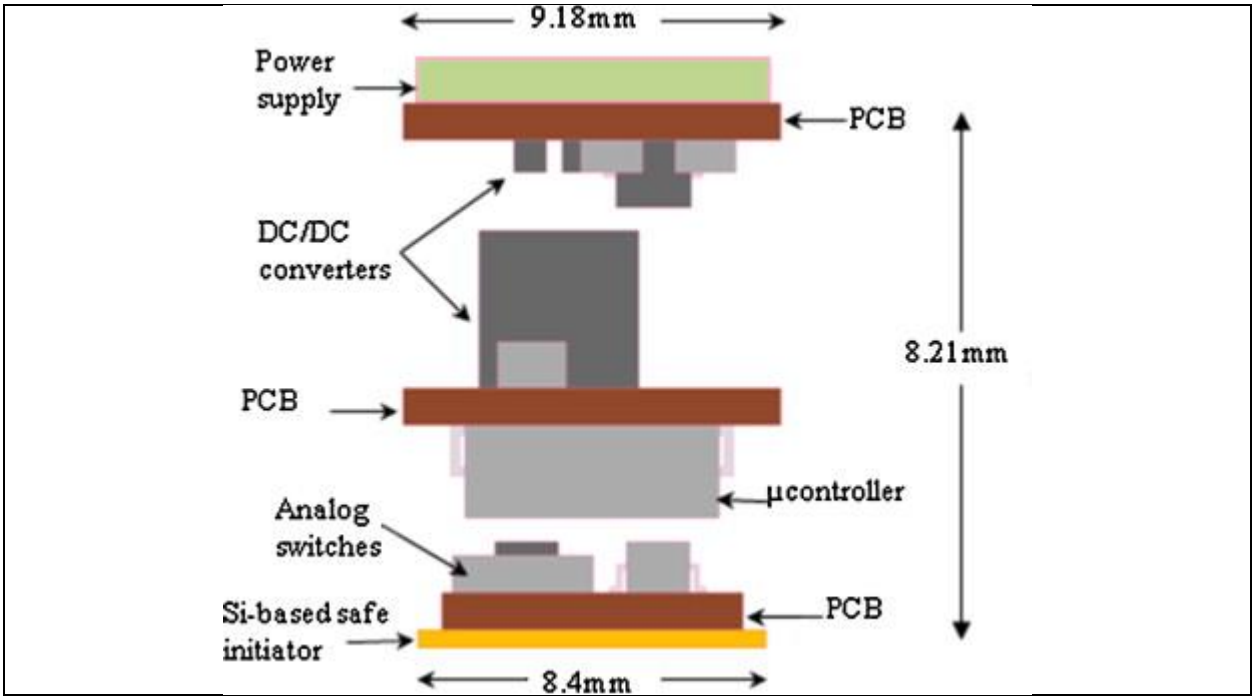
اجزای داخلی وسیله ایمنی و تسلیح (فیوز) مِمز

مقاله پنجم با عنوان «یکپارچه سازی وسیله ایمنی و تسلیح و آتش مبتنی بر مِمز»

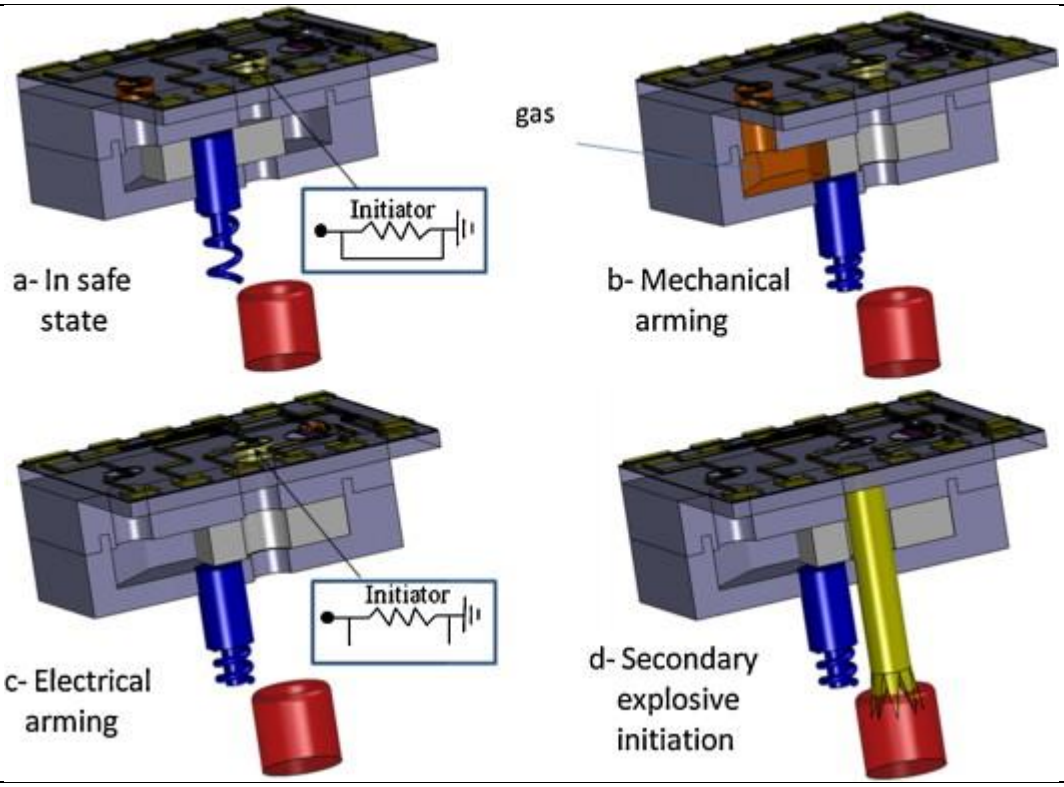
پزوس و همکارانش (۲۰۱۰) از آزمایشگاه تحلیل و معماری سامانه ها، دانشکده سامانه های میکرو الکترومکانیکی در فرانسه، این مقاله را نوشته اند. آنها در این مقاله معماری وسیله ایمنی و تسلیح و آتش که یک جهش در حوزه فیوزهای مِمز می باشد را توضیح داده اند. این فیوز تمامی فعالیتهای سامانه ایمنی و تسلیح و آتش مکانیکی متداول را انجام می دهد، در حالی که حجم آن در حدود یک سانتیمتر مکعب است. از سوی دیگر، برای نخستین بار، واحد تسلیح مکانیکی به همراه کارکردهای ایمنی الکتریکی همگی بر روی یک تراشه آغازگر سیلیکونی ترکیب شده است. این آغازگر با معیار استاندارد STANAG 4187 (جریان ایمن 1A/1W به مدت ۵ دقیقه) سازگار بوده و برای آغازش به تنها ۶۳۵ میلی وات انرژی الکتریکی نیاز دارد. در ادامه تصاویر مربوط به این فیوز آورده شده است.



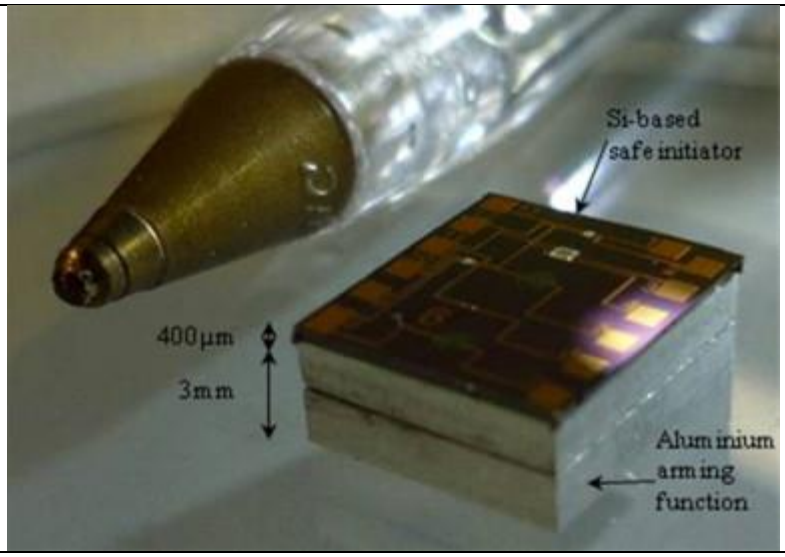
اجزای وسیله ایمنی و تسلیح و آتش (فیوز) مِمز و نمای سه بعدی آن



اجزای وسیله ایمنی و تسلیح و آتش (فیوز) مِمز و ابعاد آن



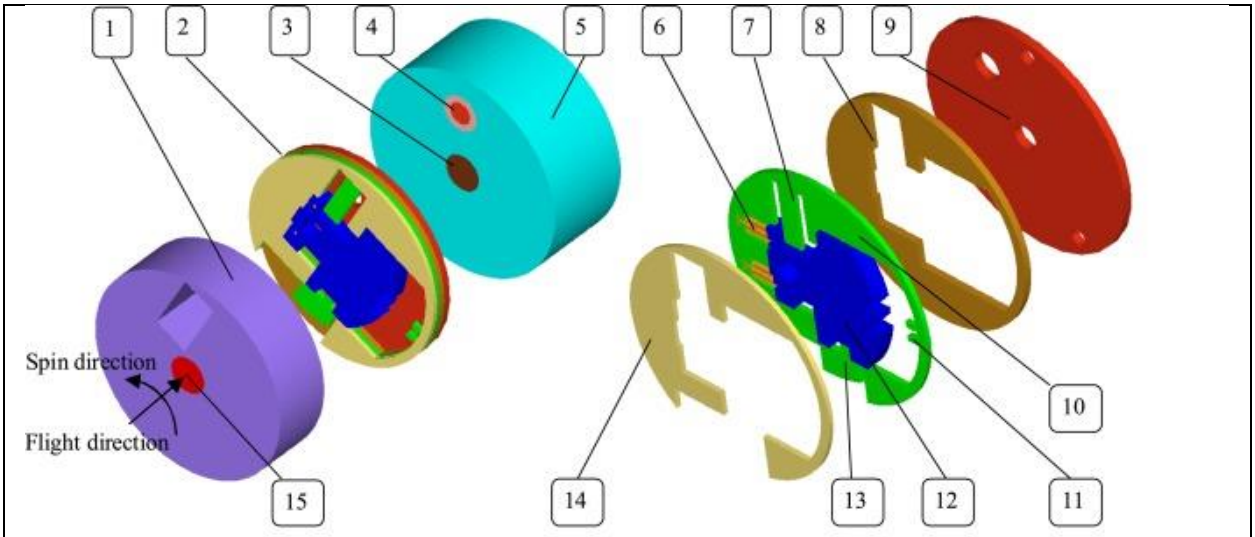
اجزای وسیله ایمنی و تسلیح و آتش (فیوز) مِمز و مراحل تسلیح و آتش آن



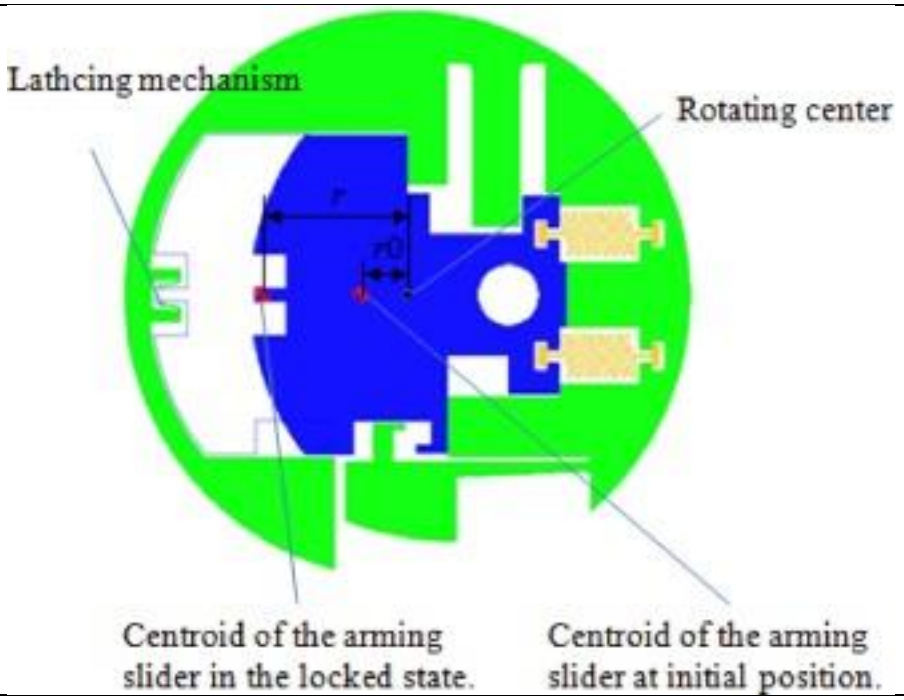
وسیله ایمنی و تسلیح (فیوز) مِمز و مقایسه ابعاد آن با سر یک خودکار بیک

مقاله ششم با عنوان «شبیه سازی قابلیت اطمینان سازه ای برای سازوکار قفل در وسیله ایمنی و تسلیح مبتنی بر ممز»

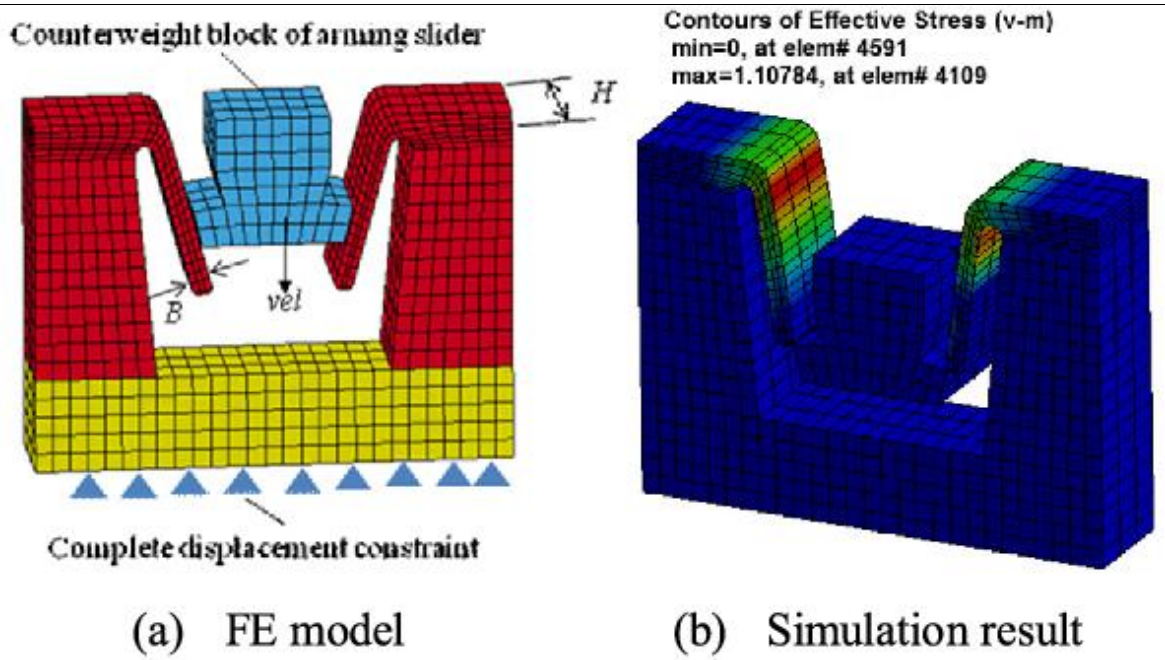
هونگ مائو و همکارانش از چین این مقاله شبیه سازی و تحلیلی را نوشته اند. در این مقاله یک روش کارآمد برای شبیه سازی قابلیت اطمینان سازه ای مِمز ارایه شده است. با استفاده از نرم افزارهای المان محدود، روشی مناسب برای انجام تحلیلهای قابلیت اطمینان معرفی شده که با استفاده از آن، قابلیت اطمینان سازوکار قفل مکانیکی در یک وسیله ایمنی و تسلیح مِمز برآورد شده است. برای شناسایی متغیرهای تصادفی، آنالیز حساسیت انجام شده و در نهایت معیارهای بهبودی برای سازوکار قفل مورد نظر پیشنهاد شده است. طرز کار این فیوز به این شکل است که ابتدا یک هل دهنده الکتریکی قفل اسلایدر را آزاد می کند. به دلیل خروج از مرکزیت مرکز ثقل اسلایدر، اسلایدر در اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از دوران به سمت بیرون کشیده می شود. میزان سرعت دورانی لازم برای تسلیح توسط فنرهای مِمز که اسلایدر را نگه داشته اند تنظیم می شود. برای تثبیت اسلایدر در موقعیت تسلیح، از یک سازوکار قفل استفاده شده که تحلیل این سازوکار در این مقاله انجام شده است. تصاویر مربوط به این فیوز در شکلهای بعد آورده شده است.



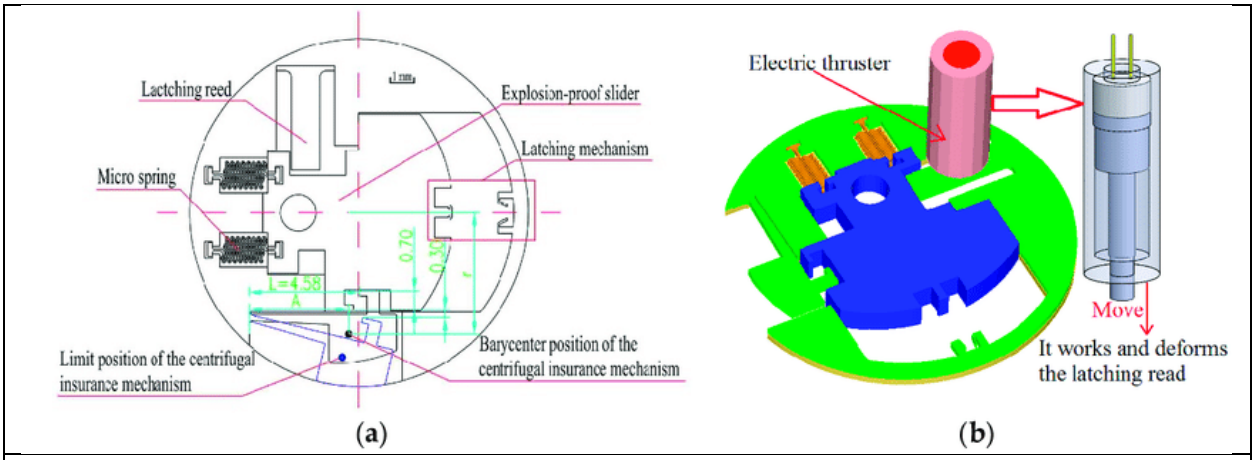
نمای سه بعدی انفجاری وسیله ایمنی و تسلیح (فیوز) مِمز و معرفی اجزای آن



اسلایدر وسیله ایمنی و تسلیح (فیوز) مِمز و قفلها و فنرهای آن



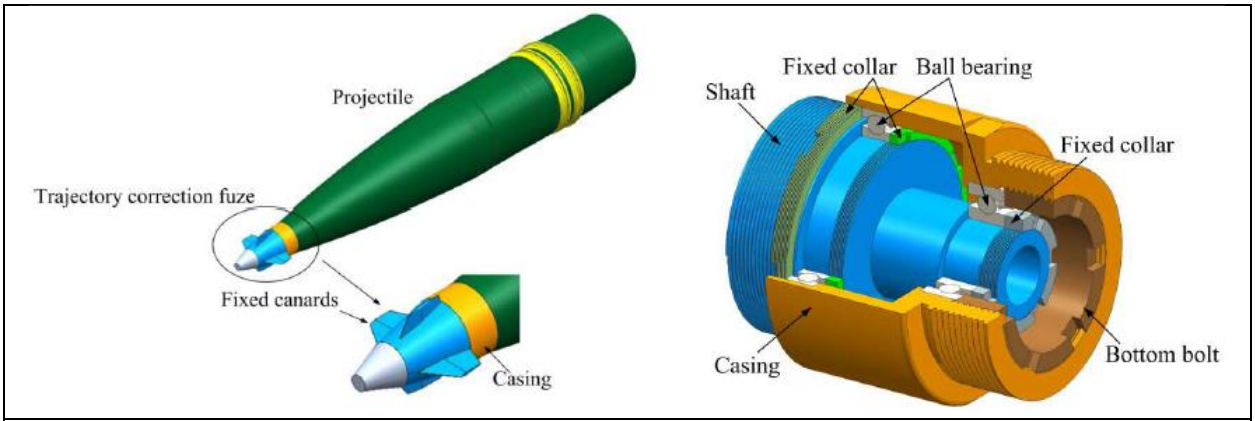
تحلیل المان محدود سازوکار قفل مِمز اسلایدر



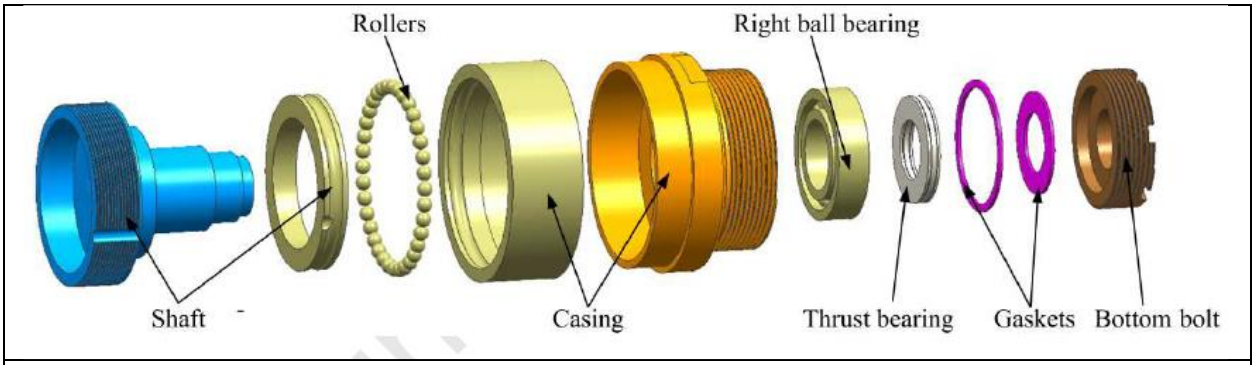
طرز کار رها شدن قفلهای اسلایدر در فیوز مِمز

مقاله هفتم با عنوان «بهینه سازی سازه ای غیرخطی چندمنظوره برای عملگر در یک فیوز اصلاح مسیر در معرض بارهای ضربه ای بالا»

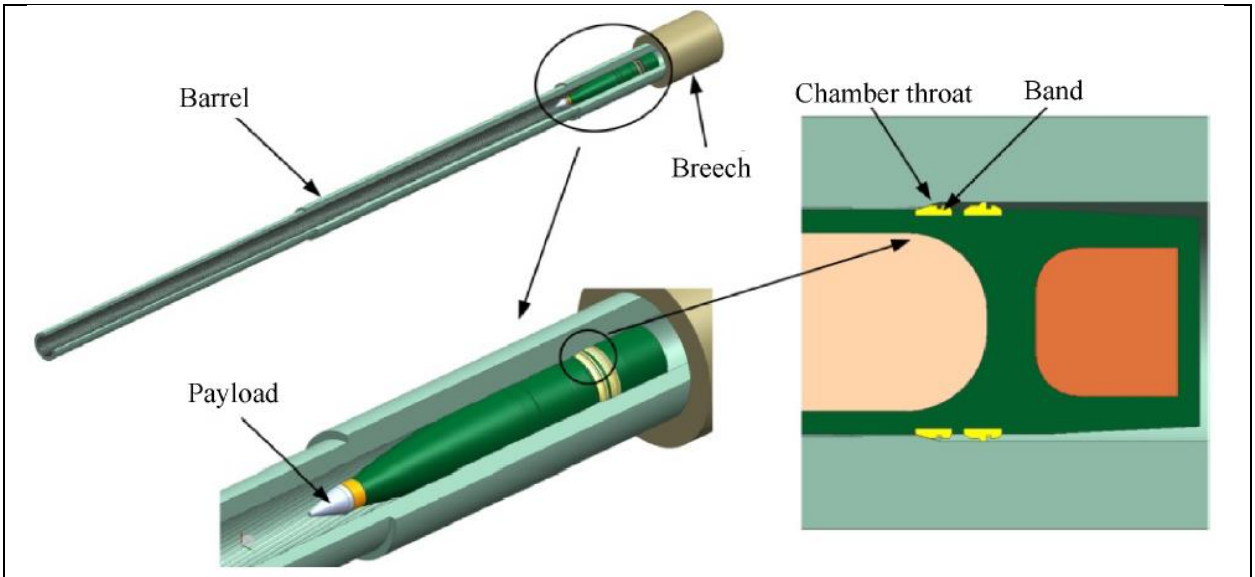
هوی و همکارانش (۲۰۱۸) از موسسه فناوری هسته ای شمال غربی در چین این مقاله را نوشته اند. آنها در این مقاله ساختار و اجزای فیوز اصلاح مسیر را به خوبی توصیف کرده اند. فیوز اصلاح مسیر، سازوکاری است که به جای فیوزهای قدیمی در گلوله های توپخانه ای بسته می شود. این فیوز علاوه بر وظایف ایمنی، تسلیح و آتش گلوله، وظیفه اصلاح مسیر گلوله و هدایت تا انتهای مسیر آن را نیز انجام می دهد. به این ترتیب، گلوله غیر هدایت شونده قدیمی صرفا با تعویض فیوز آن به یک گلوله هدایت شونده نقطه زن تبدیل می شود. از آنجا که گلوله های توپخانه هنگام شلیک از قبضه به دلیل وجود خان (شیار) در لوله قبضه، دچار دوران می شوند که البته این دوران برای پایداری آنها نیز لازم است، این دوران مانع از هدایت شوندگی آنها تا انتهای مسیر می شود. برای رفع این اشکال، فیوز جدید دارای دو عدد بلبرینگ شعاعی و کف-گرد است تا این دوران به فیوز یا همان سازوکار هدایت شوندگی منتقل نشود. در ادامه، شکلها و اجزای این فیوز اصلاح مسیر آورده شده است.



نمای سه بعدی و اجزای طرح اتصال فیوز اصلاح مسیر به بدنه گلوله



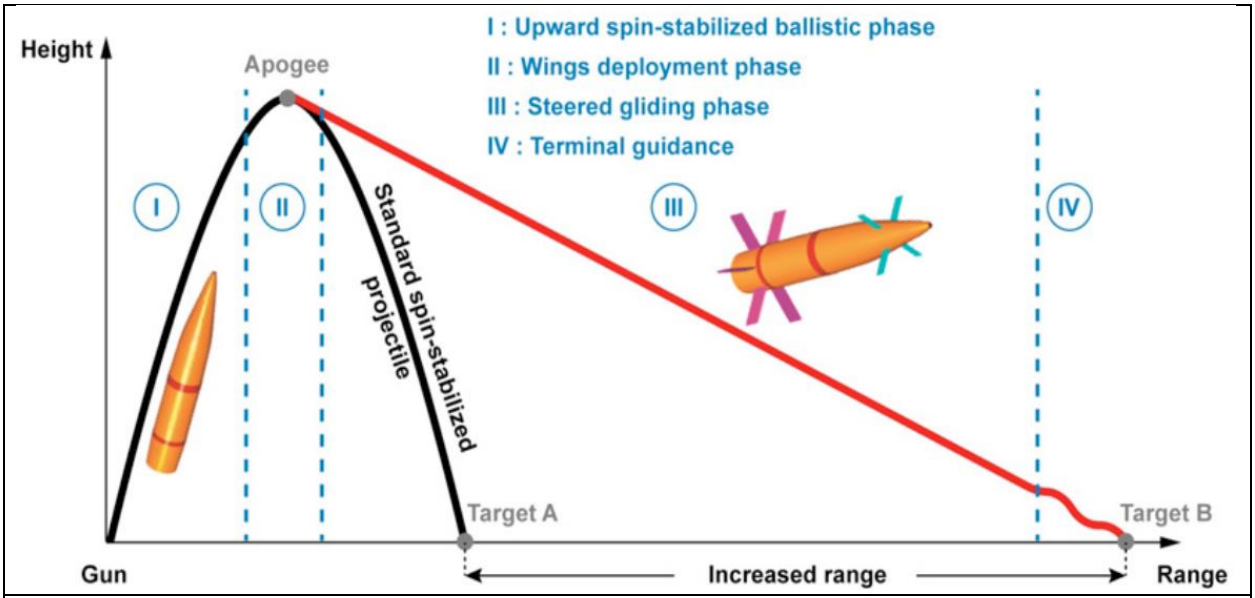
نمای سه بعدی انفجاری اجزای طرح اتصال فیوز اصلاح مسیر به بدنه گلوله



نمای سه بعدی برش خورده قرارگیری گلوله در لوله قبضه

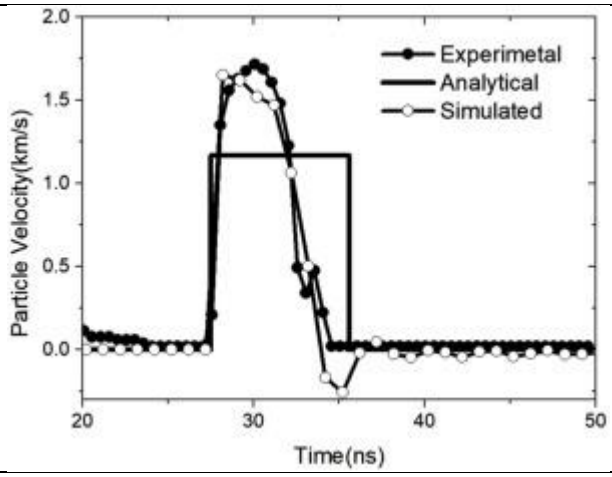
مقاله هشتم با عنوان «دینامیک پرواز و کنترل برای مهمات هوشمند: نقش موسسه سنت-لوئیس»
تئودولویس و وِرنِر از موسسه پژوهشی آلمانی-فرانسوی سنت-لوئیس در این مقاله به معرفی و توصیف مهمات هوشمند و هدایت پذیر با کالیبر و ابعاد کوچک پرداخته اند. در این مقاله، ثابت شده که می توان با تعبیه سازوکارهای هدایتی کوچک و سبک، مهماتی با کالیبر اندک را هدایت پذیر و نقطه زن نمود. با این کار ضمن افزایش چشمگیر اثربخشی مهمات، برد آنها نیز می تواند افزایش یابد. مفهوم مهمات کوچک هدایت شونده، نقش چشمگیری را در آینده تسلیحات ایفا خواهد کرد. در این مقاله، طرح مفهومی برخی از مهمات با کالیبر تنها ۳۰ میلیمتر نیز ارایه شده است. در واقع با استفاده از فیوز اصلاح مسیر که علاوه بر وظایف ایمنی و تسلیح و آتش، وظیفه هدایت تا انتهای مسیر گلوله را نیز بر عهده دارد، می توان مهمات غیرهدایت شونده قدیمی را به راحتی و صرفا با تعویض یک فیوز، به یک گلوله هدایت شونده نقطه زن تبدیل کرد. موسسه سنت-لوئیس سهم قابل توجهی

در پژوهش و توسعه مهمات هدایت شونده کوچک داشته و در این مقاله به فعالیتهای پژوهشی، آزمایشگاهی و میدانی این موسسه پرداخته شده است.

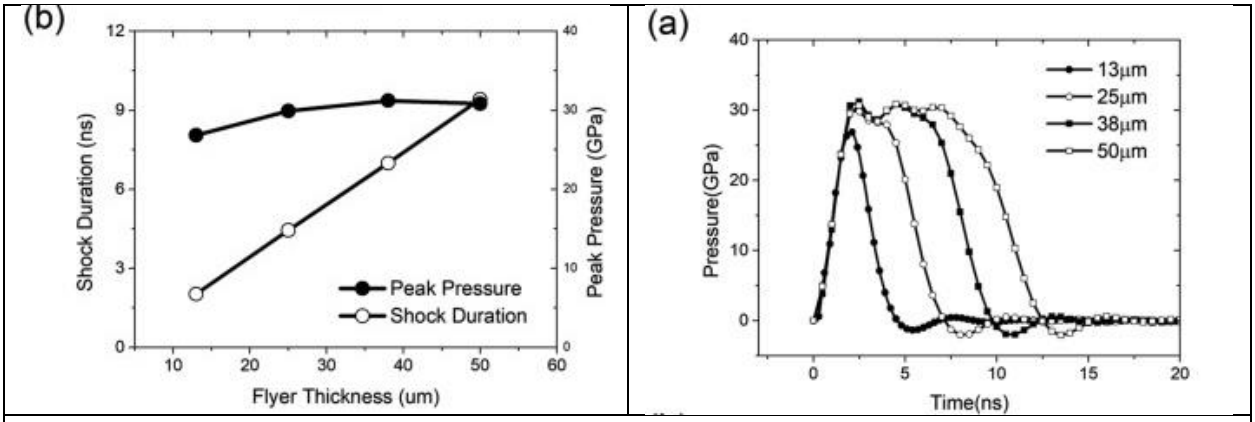


نمودار مقایسه مسیر پروازی گلوله هدایت شونده و گلوله بدون هدایت

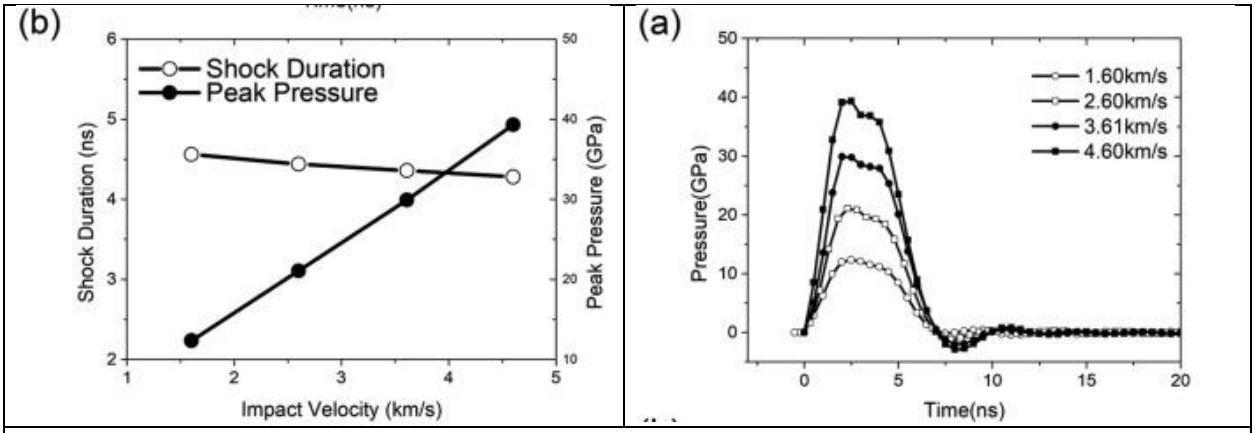
مقاله نهم با عنوان «مشخصه سازی پالس شوک بسیار کوتاه تولید شده با یک آغازگر غشای انفجاری»
چِن و همکارانش (۲۰۱۹) از موسسه مواد شیمیایی در دانشکده مهندسی فیزیک چین این مقاله را نوشته اند. چاشنی های غشای انفجاری (EFI) نقش بسیار مهمی در فیوزهای الکترونیکی (ESAD) ایفا می کنند. از این رو با کاربرد روزافزون فیوزهای الکترونیکی، شناسایی و مشخصه سازی این چاشنی ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله، پالس شوک بسیار کوتاه تولید شده با یک آغازگر غشای انفجاری اندازه گیری شده است. همچنین، نابرابری میان نتیجه آزمون تجربی با روش انطباق امپدانس اثبات شده است. ضمن آنکه روش شبیه سازی نوینی برای پیش بینی دقیق پالس شوک معرفی شده است.
چاشنی آغازگر غشای انفجاری (EFI) از شلیک یک غشای پرنده نازک برای آغازش یک قرص انفجاری بهره می گیرد. اندازه گیری و یا محاسبه دقیق پالس شوک تولید شده با این چاشنی بسیار دشوار است. سرعت غشای پرنده که در اثر انفجار الکتریکی تولید می شود، برای کمّی کردن ورودی فرآیند ضربه اهمیت دارد. با جایگزین کردن قرص انفجاری با پنجره فلورید لیتیوم (LiF)، پالس شوک بسیار کوتاه غشای پرنده (به ضخامت ۲۵ میکرون) اندازه گیری شده است. سرعت بیشینه برابر با ۱۷۱۶ متر بر ثانیه و مدت زمان شوک برابر با ۴.۵ نانوثانیه اندازه گیری شده است. در ادامه تصاویر و نمودارهای مربوط به این مقاله آورده شده است.



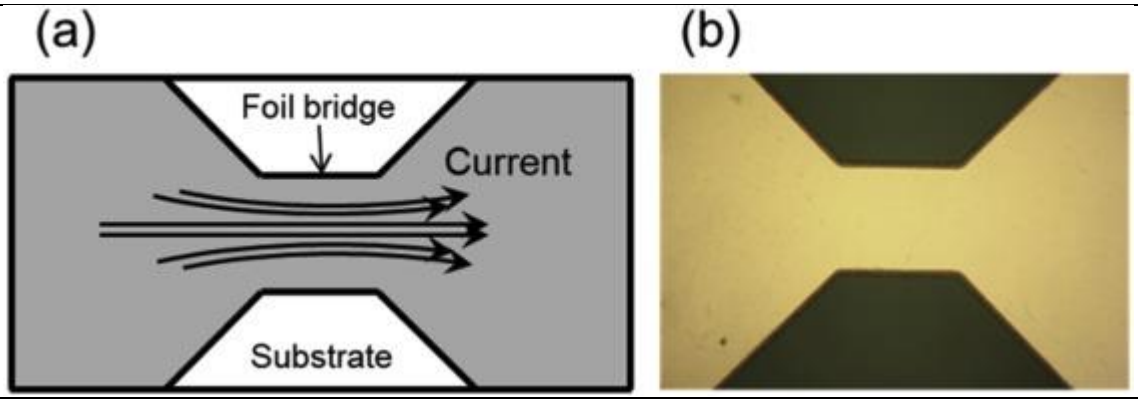
نمودار تغییرات سرعت ذره غشای پرنده برحسب زمان (پالس شوک) و مقایسه آن با نتایج تحلیلی و شبیه سازی



نمودارهای بررسی تاثیر ضخامت غشای پرنده بر شکل پالس شوک، فشار بیشینه پالس و مدت زمان شوک

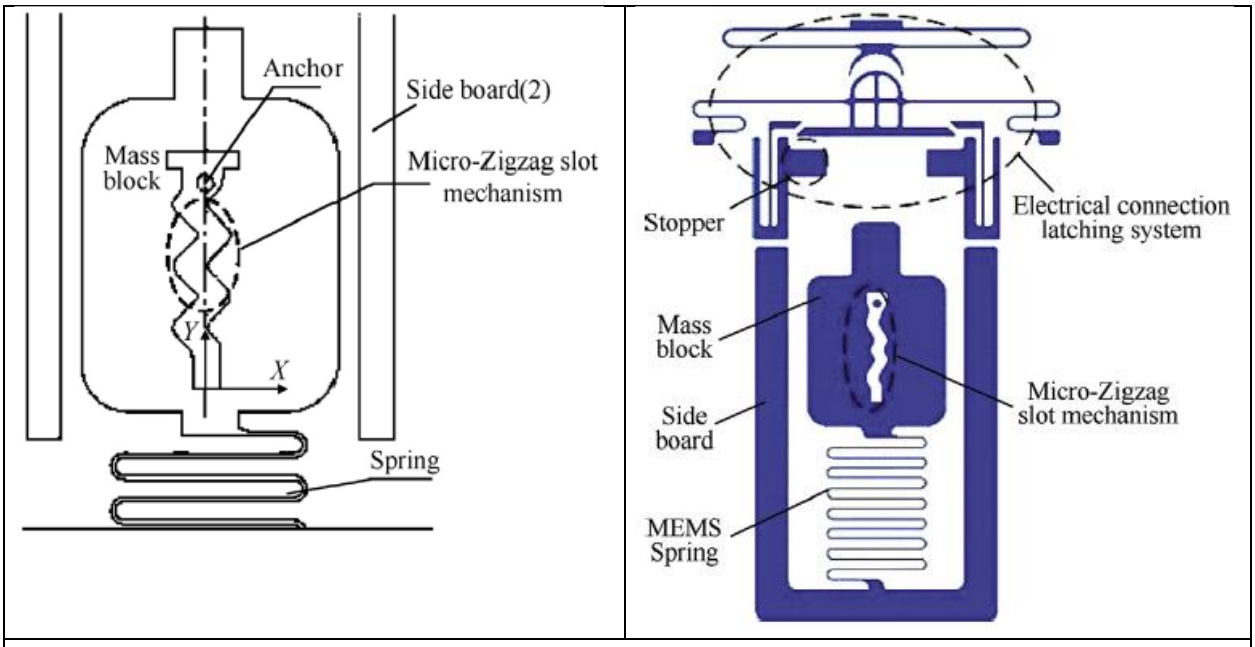


نمودارهای بررسی تاثیر سرعت غشای پرنده بر شکل پالس شوک، فشار بیشینه پالس و مدت زمان شوک

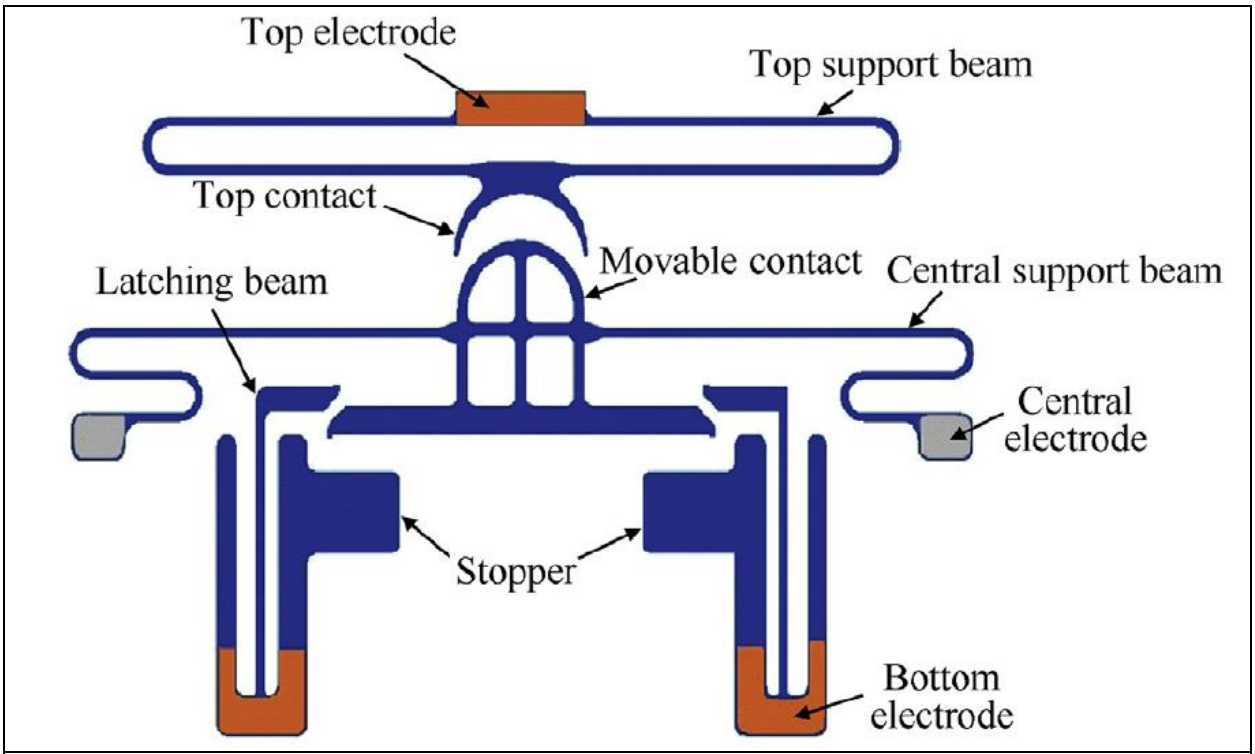


تصاویر غشای انفجاری به صورت (الف) طرحوار و (ب) واقعی

مقاله دهم با عنوان «مطالعه عملکرد پاسخ اینرسی یک سویئچ میکرو الکتریکی برای فیوز»
نای و همکارانش (۲۰۱۳) از دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه علم و فناوری نانجینگ این مقاله را نوشته اند. طراحی، مدلسازی، و شبیه سازی یک سوئیچ میکرو الکتریکی برای فیوز در این مقاله ارایه شده است. این سوئیچ شامل یک سیستم جرم و فنر با یک شیار زیگزاگ در جرم است که سازوکارهای اتصال الکتریکی، قفل و محدود کردن حرکت نیز در آن تعبیه شده است. سوئیچ در وضعیت قطع قرار دارد تا اینکه در شرایط شلیک عادی، در معرض شتاب قرار گیرد. شتاب با یک پالس نیمه سینوسی با دامنه و مدت زمان مشخصی شبیه سازی شده است. در اینجا مدل دینامیکی سوئیچ مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس شیار زیگزاگ در جرم، روشهایی برای تشخیص بار شتابی فراهم شده و بر اساس تئوری دینامیک تحلیل شده است. در شبیه سازی، دو نمونه شتاب نیمه سینوسی به سوئیچ اعمال شده است. نتایج شبیه سازی با تحلیلهای تئوری مطابقت دارد. مشخصات پاسخ اینرسی سوئیچ می تواند از تامین منبع تغذیه فیوز و اتصال ایمن و مطمئن مدار اطمینان ایجاد کند. در ادامه تصاویر مربوط به این مقاله آورده شده است.



تصاویر اجزای سویئچ میکرو الکتریکی برای فیوز



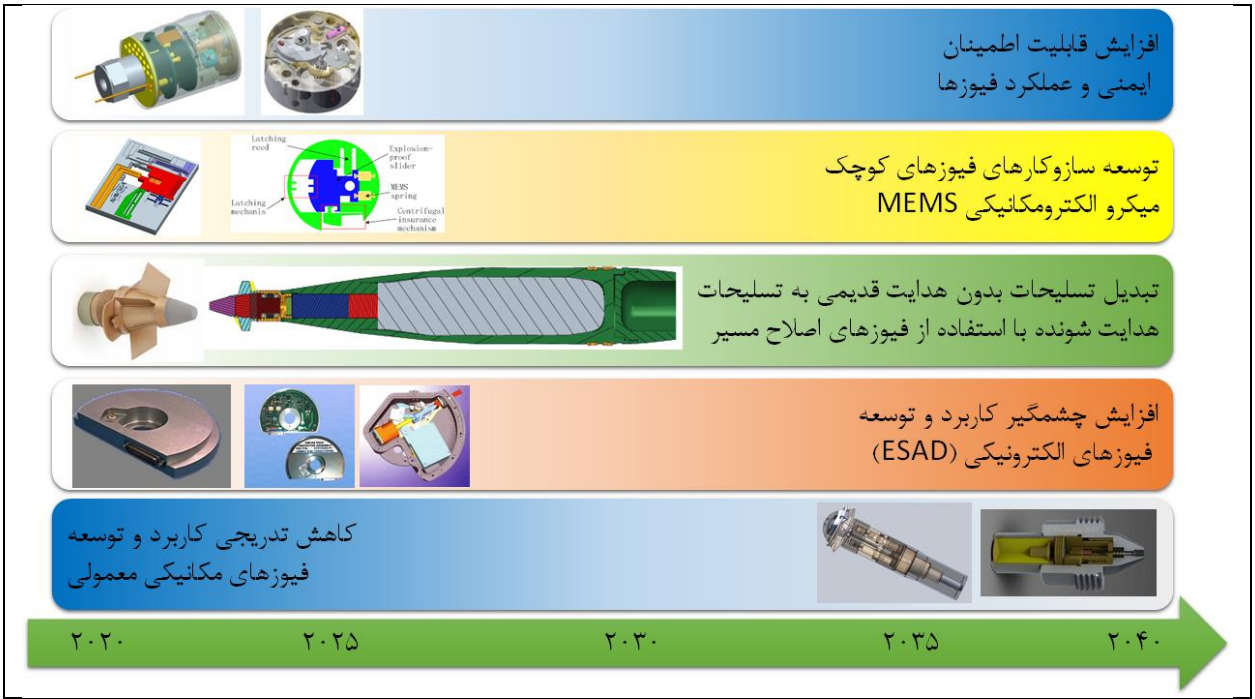
تصویر اجزای کنتاکتهای الکتریکی و قفلهای مکانیکی سویئچ میکرو الکتریکی برای فیوز

جمع بندی تحلیلی مقالات سالهای اخیر

نکاتی که از مقالات پنج سال اخیر در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح و فیوزها می توان با نگاه پژوهشی استنباط کرد به این شرح است:

- با وجود محدودیتهای پیمان منع تسلیحات خوشه ای، هنوز هم پژوهشها و مطالعات قابل توجهی بر روی فیوز این دسته از تسلیحات به منظور افزایش قابلیت اطمینان عملکرد آنها در حال انجام است. لذا انتظار نمی رود که تا ۲۰ سال آینده، شاهد حذف کامل این تسلیحات از زرادخانه های کشورهای جهان باشیم.
- بخش عمده ای از تحقیقات و پژوهشها در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح در دو حوزه فیوزهای الکترونیکی (ESAD) و فیوزهای میکرو الکترومکانیکی (MEMS) متمرکز شده است و انتظار می رود در آینده نه چندان دوری، این فیوزها نقش به سزایی در تسلیحات و مهمات آینده ایفا کنند. طبعا استفاده از این فیوزها می تواند به کوچک سازی و هوشمندسازی تسلیحات نیز کمک شایانی کند.
- بهینه سازیهایی در حوزه ارتقاء قابلیت اطمینان فیوزها در حال انجام است. در واقع با استفاده از تکنیکهای شناخته شده در تحلیل قابلیت اطمینان، تحلیلها و شبیه سازیهای مفصلی در این حوزه در حال انجام می باشد.
- با توجه به کاربرد روزافزون تسلیحات هدایت شونده هوشمند، حرکتی جدی و پرتلاش به سوی توسعه مهمات هدایت شونده در حال انجام است. این حرکت شامل تبدیل تسلیحات و گلوله های غیرهدایت شونده قدیمی به گلوله های هدایت شونده جدید است که عمدتا با تعویض فیوز آنها و استفاده از فیوزهای اصلاح مسیر در حال انجام می باشد. توسعه مهمات با کالیبر کوچک و سازوکارهای هدایتی کم-حجم برای رسیدن به این مقصود ارایه شده و همچنان در حال توسعه است. توسعه این دسته از مهمات هدایت شونده این مزایا را نیز به همراه خواهد داشت: ۱) نقطه زنی و افزایش چشمگیر اثربخشی سلاح، ۲) افزایش توان عملیاتی سلاح و ارتقاء برد آن، ۳) کاهش تعداد تسلیحات مورد نیاز، ۴) عبور از محدودیتهای معاهدات بین المللی و کاهش چشمگیر تبعات سیاسی آن، ۵) بهره گیری از مهمات قدیمی و کاهش هزینه تولید مهمات جدید. طبعا برای چنین فیوزهایی، ابعاد خود سامانه ایمنی و تسلیح باید به نحو چشمگیری کاهش یافته و در عین حال، قابلیت اطمینان آن نیز افزایش یابد.

در شکل زیر، پیش بینی روند توسعه آینده سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوزها)، مبتنی بر تحلیل مقالات پژوهشی در این زمینه، به صورت طرحوار و اطلاع نگاشت ترسیم شده است.

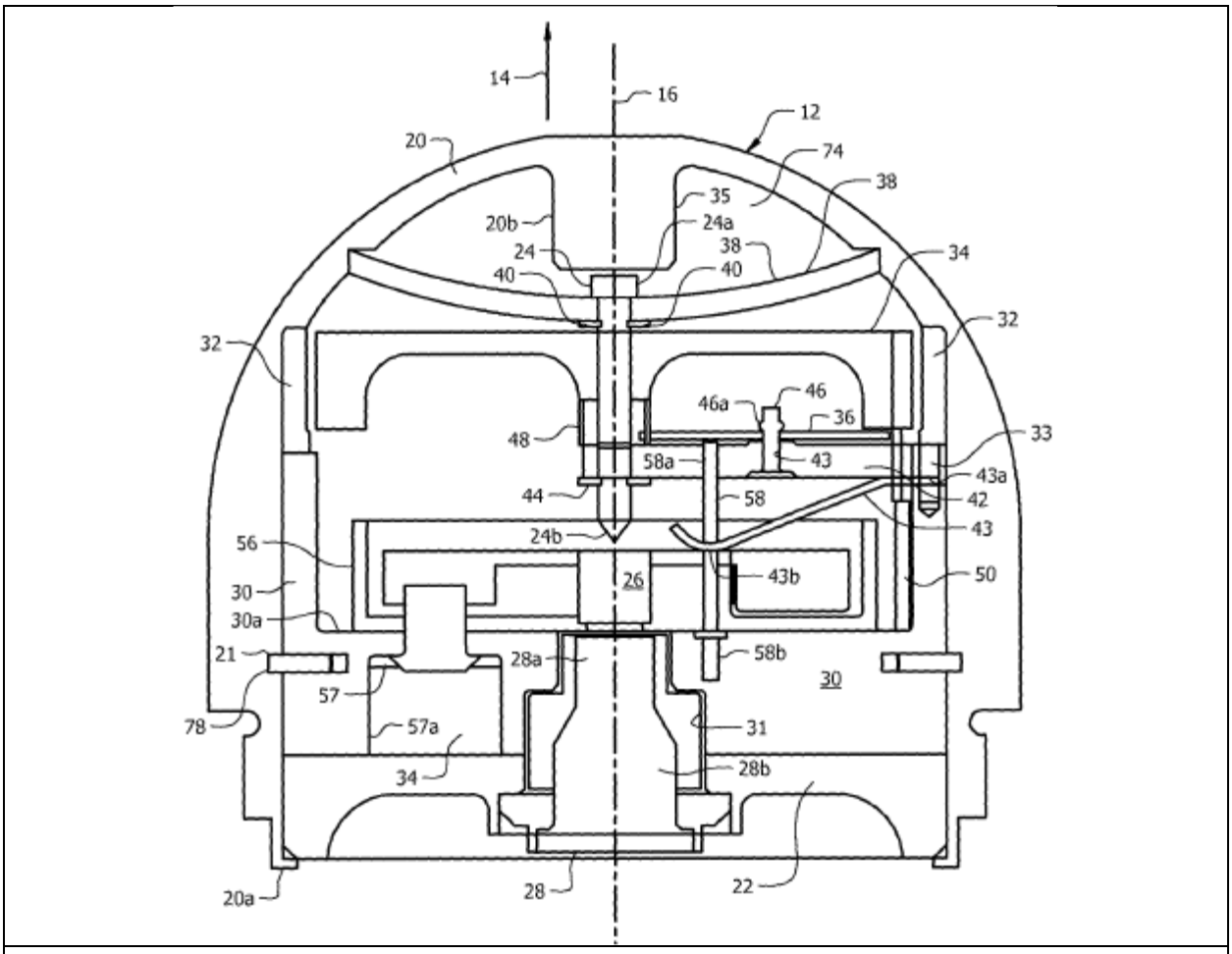


اطلاع نگاشت پیش بینی روند توسعه آینده سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوزها) (آینده پژوهی)، مبتنی بر تحلیل مقالات پژوهشی

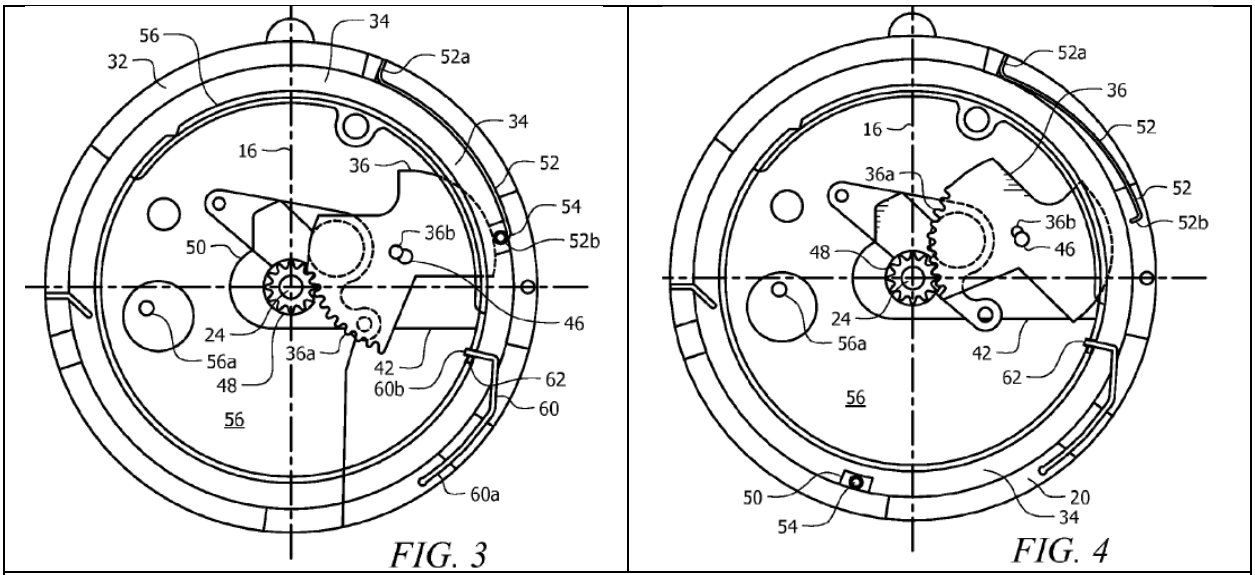
تحلیل ۱۰ ثبت اختراع اخیر فناوری سامانه های ایمنی و تسلیح

ثبت اختراع اول با عنوان «وسیله ایمنی و تسلیح مکانیکی برای فیوز»

تیلور (۲۰۱۱) از شرکت چایلوت آمریکا این اختراع را در سازمان ثبت اختراع اروپا به ثبت رسانده است. این فیوز از نوع تماما مکانیکی بوده که با سرعت دورانی سلاح (نیروی گریز از مرکز حاصل از آن) مسلح می شود. در ادامه تصاویر این فیوز نشان داده شده است.

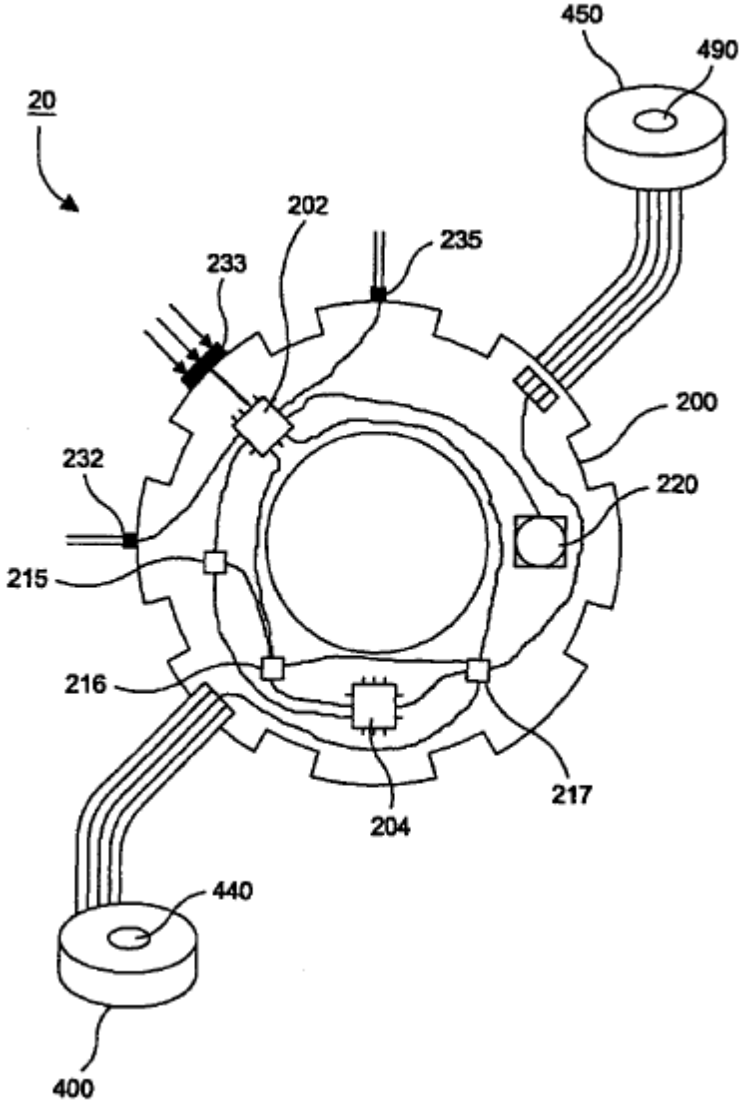


تصویر اجزای سامانه ایمنی و تسلیح تماما مکانیکی



تصویر دو حالت چرخش روتور در سامانه ایمنی و تسلیح تماما مکانیکی

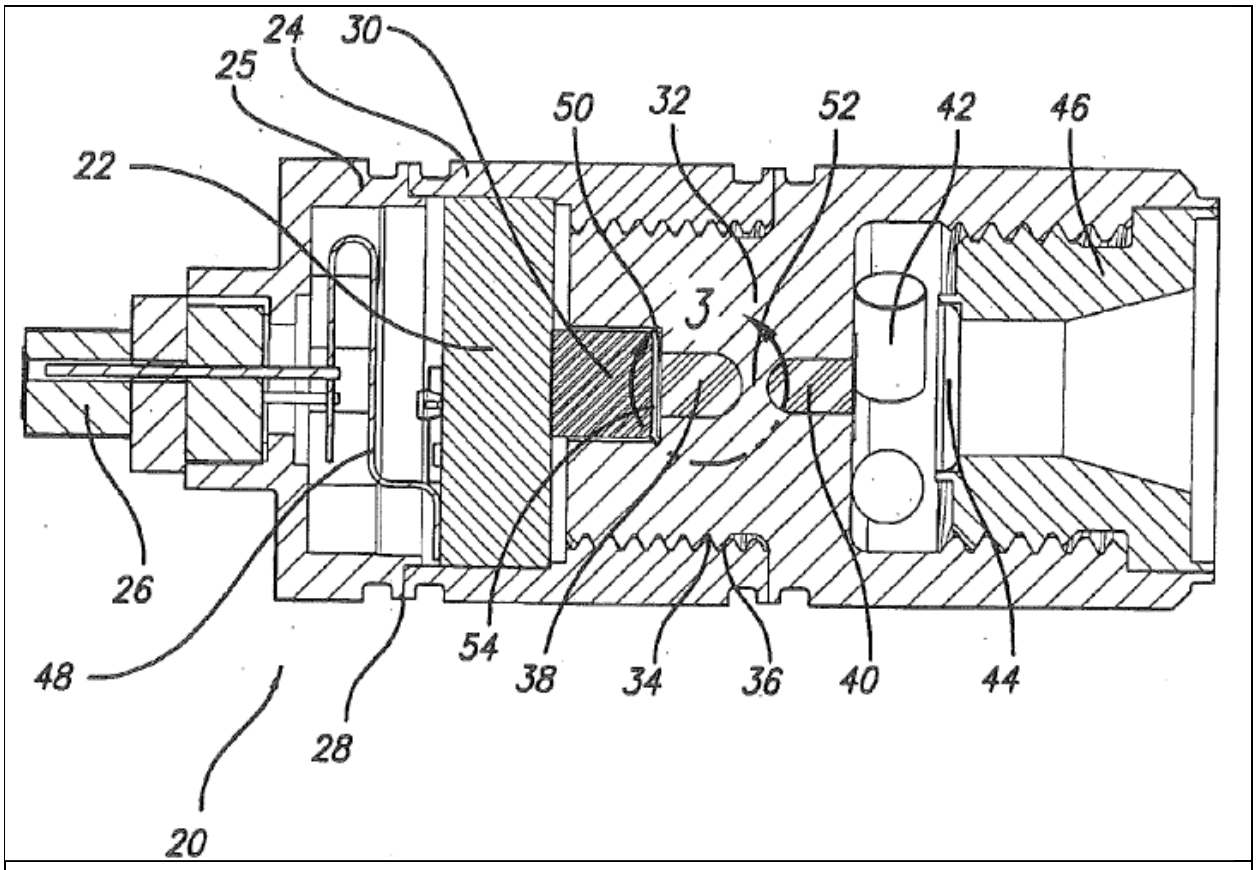
ثبت اختراع دوم با عنوان «وسیله ایمنی، تسلیح و آتش الکترونیکی»
جیمز کِین (۲۰۰۰) از شرکت آمریکایی لاکهید مارتین این اختراع را ثبت کرده است. این وسیله ایمنی، تسلیح و آتش الکترونیکی (ESAF) دارای یک مدول مشترک (۲۰۰) و یک جفت وسیله قابل برنامه ریزی (۴۰۰، ۴۵۰) است که قابلیت پیکربندی آنها در انواع گوناگون موشکها وجود دارد. این فیوز دارای نخستین سوئیچ تسلی استاتیکی است که با وسیله قابل برنامه ریزی نخست کنترل می شود و سوئیچ تسلیح استاتیکی دوم آن توسط وسیله برنامه ریزی دوم کنترل می شود. مدول آتش این فیوز (۴۰۰) دارای یک آغازگر غشای انفجاری است. تصویر این فیوز در شکل بعد آورده شده است.



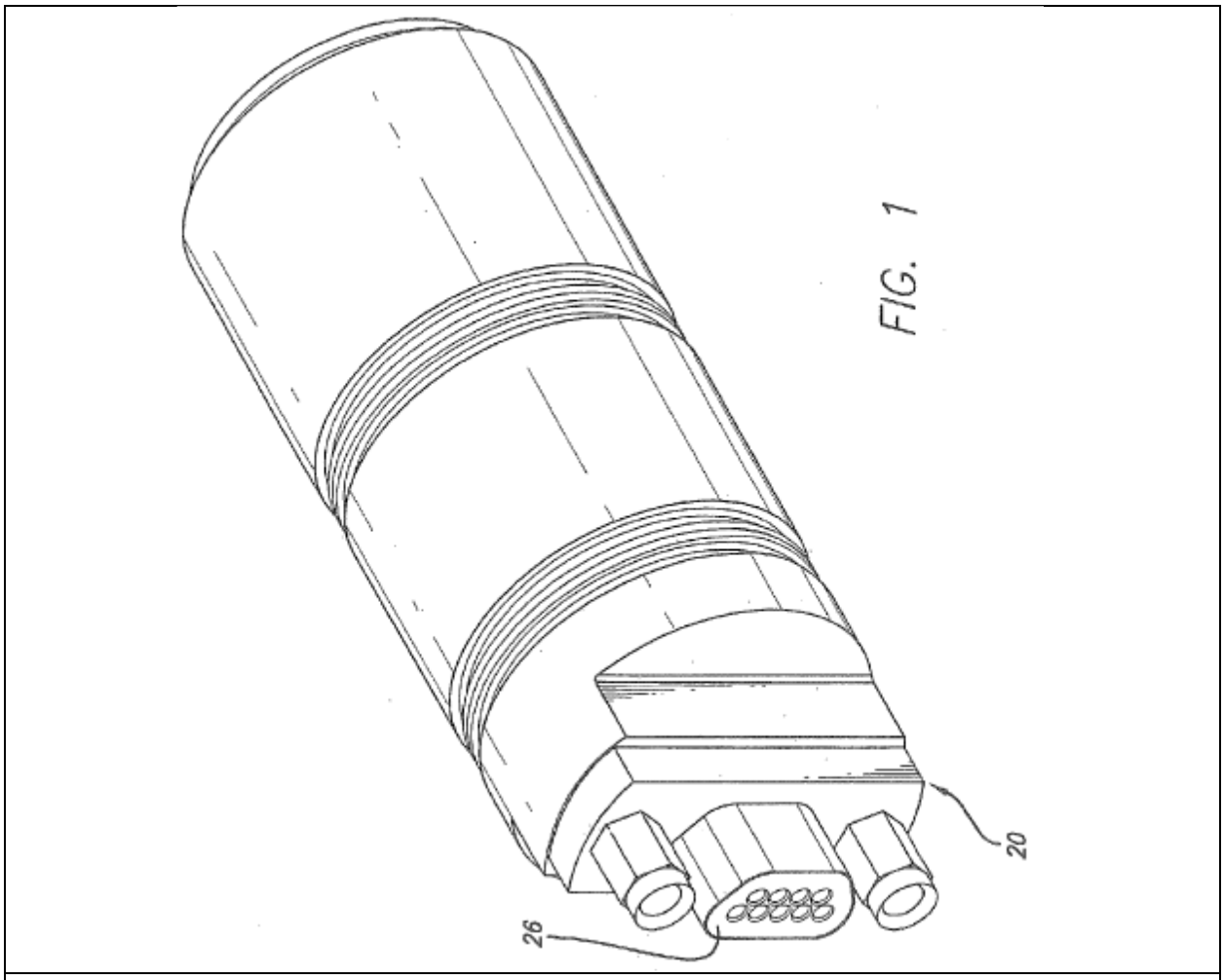
تصویر سامانه ایمنی، تسلیح و آتش الکترونیکی

ثبت اختراع سوم با عنوان «وسیله ایمنی، تسلیح، و آتش الکترونیکی آرایش یافته برای نپذیرفتن سیگنالهای زیر ولتاژ «همه-آتش» از پیش تعیین شده»

سودیک (۲۰۱۱) از شرکت هوافضایی-دفاعی انساین-بیکفورد آمریکا این اختراع را به ثبت رسانده است. وسیله ایمنی احتراق الکترونیکی به گونه ای آرایش یافته که سیگنالهای زیر ولتاژ «همه-آتش» از پیش تعیین شده را نمی پذیرد و حاوی آغازگر غشای انفجاری است که دارای ورودی الکتریکی و خروجی است. یک مجموعه شلیک الکترونیکی به ورودی چاشنی غشای انفجاری متصل شده است. این وسیله دارای یک چاشنی میان-تیغه ای (TBI) است. به گونه ای خروجی این مجموعه، خرج آتش زنه می باشد. تصاویر این اختراع در شکلهای بعد آورده شده است.

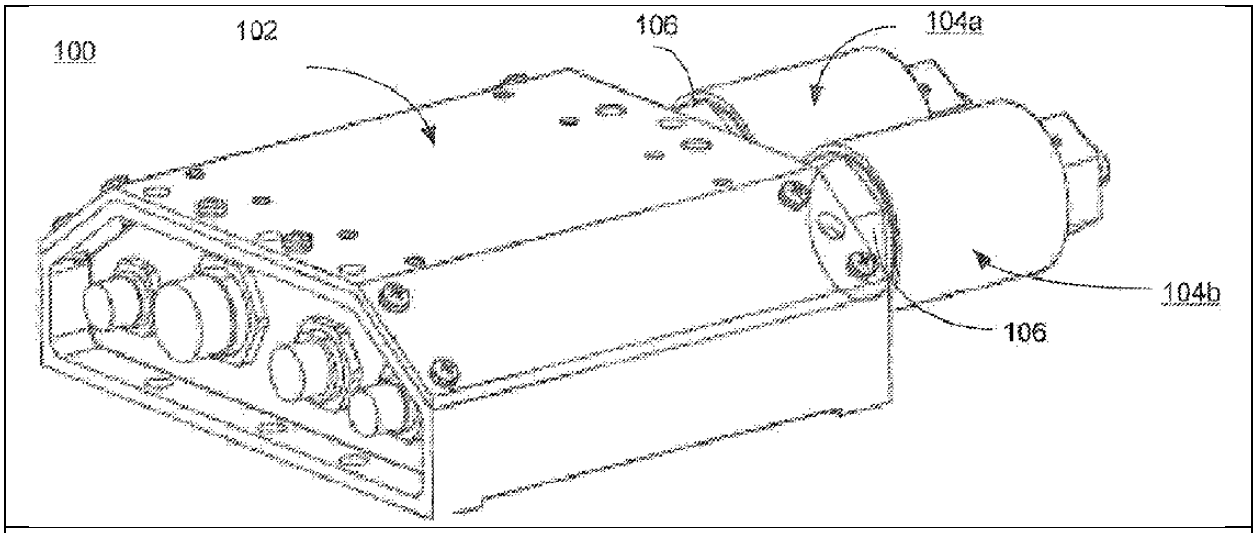


تصویر وسیله ایمنی احتراق الکترونیکی



تصویر نمای سه بعدی بدنه بیرونی وسیله ایمنی احتراق الکترونیکی

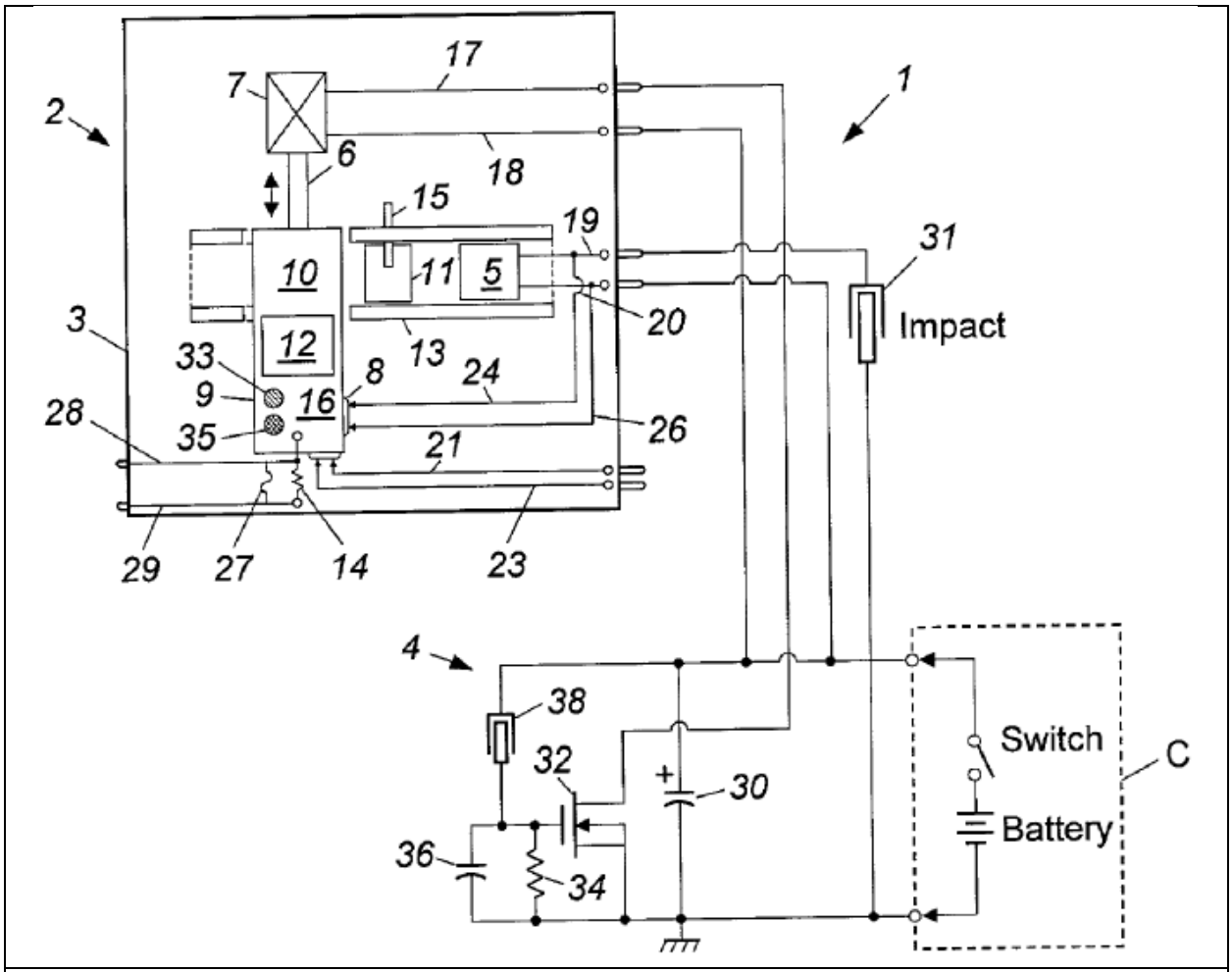
ثبت اختراع چهارم با عنوان «سامانه ایمنی و تسلیح الکترونیکی و روشهای به کارگیری آن»
هاوران و همکارانش (۲۰۱۶) از شرکت دانشهای مداری آمریکا این اختراع را به ثبت رساندند. سامانه شلیک مهمات شامل یک مدول الکترونیکی قابل به کارگیری مجدد، و مدول مهمات است که هر کدام درون محفظه های مجزا و آب بندی شده قرار گرفته اند. تصویر این اختراع در شکل بعد آورده شده است.



تصویر نمای سه بعدی بدنه بیرونی وسیله ایمنی احتراق الکترونیکی

ثبت اختراع پنجم با عنوان «فیوز و خودترکان کوچک بمبلت با استفاده از سیستمهای میکرو الکترومکانیکی (MEMS)»

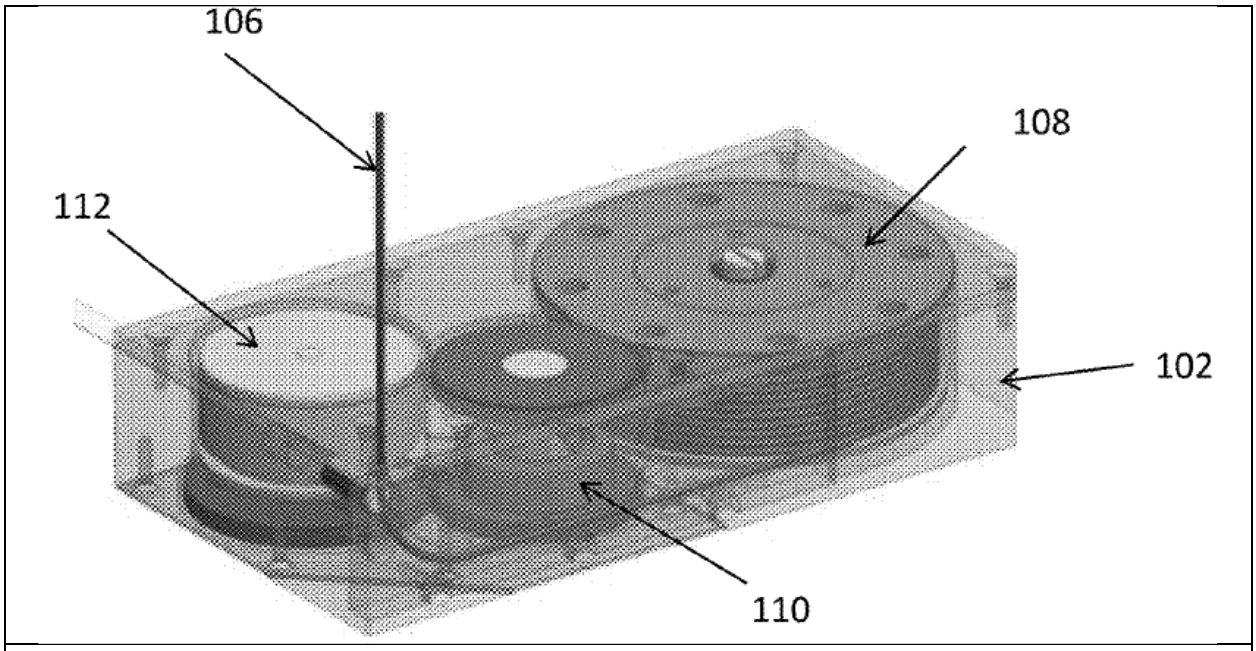
هادج و همکارانش (۲۰۰۳) از آمریکا این اختراع را به ثبت رسانده اند. در این اختراع، آنها یک فیوز بمبلت کوچک که قابلیت فعالیتهای ایمنی و تسلیح و خودترکان را دارا می باشد را پیشنهاد داده اند. این فیوز از فناوری سیستمهای الکترومکانیکی (MEMS) بهره گرفته و با استفاده از حسگرهای سرعت و شوک، و یک منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، فعالیتهای ایمنی و تسلیح و خودترکان را انجام می دهد. برای افزایش قابلیت اطمینان، موازی سازیهای متعددی انجام شده تا در صورت بروز شکست برای یک قسمت، سایر قسمتها بتوانند عملکرد فیوز را تکمیل کنند. اگرچه طرح این فیوز به حدود ۱۷ سال پیش برمی گردد، ولیکن رویکرد جدیدی را در توسعه مهمات نوین نشان می دهد که با مینیاتورسازی و کوچک سازی ابعاد، از فناوریهایی مانند MEMS برای توسعه تسلیحات جدید و با قابلیت اطمینان بالا بهره می گیرند. در شکل زیر تصویر مدار الکتریکی این فیوز نشان داده شده است.



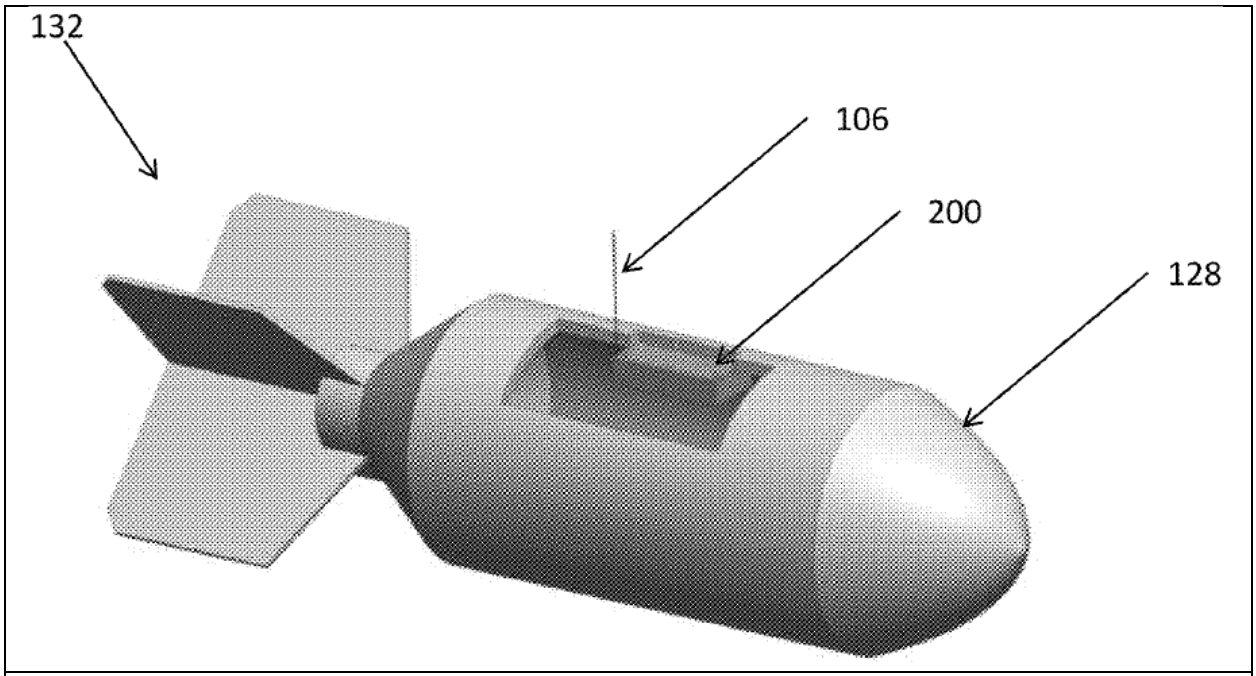
تصویر مدار الکتریکی فیوز میکرو الکترومکانیکی (MEMS) برای بمبلتها

ثبت اختراع ششم با عنوان «فیوز ایمنی و تسلیح الکترونیکی برای سلاح کوچک فرو افتاده بر اثر گرانش، و وسیله تولید انرژی برای تولید قدرت بر روی تسلیحات کوچک فروافتاده بر اثر گرانش»

جهانگیر رستگار و ریچارد مورای (۲۰۱۶) از شرکت شرکای چند فناوری آمریکا این اختراع را به ثبت رسانده اند. در این اختراع، یک مولد انرژی الکتریکی برای تولید انرژی الکتریکی پیشنهاد شده که با فروافتادن سلاح و کشیده شدن یک کابل، یک مجموعه قرقره به دوران درآمده و مولد انرژی الکتریکی، برق مورد نیاز برای تسلیح فیوز الکترونیکی را تامین می کند. تصاویر این اختراع در شکلهای بعد آورده شده است.



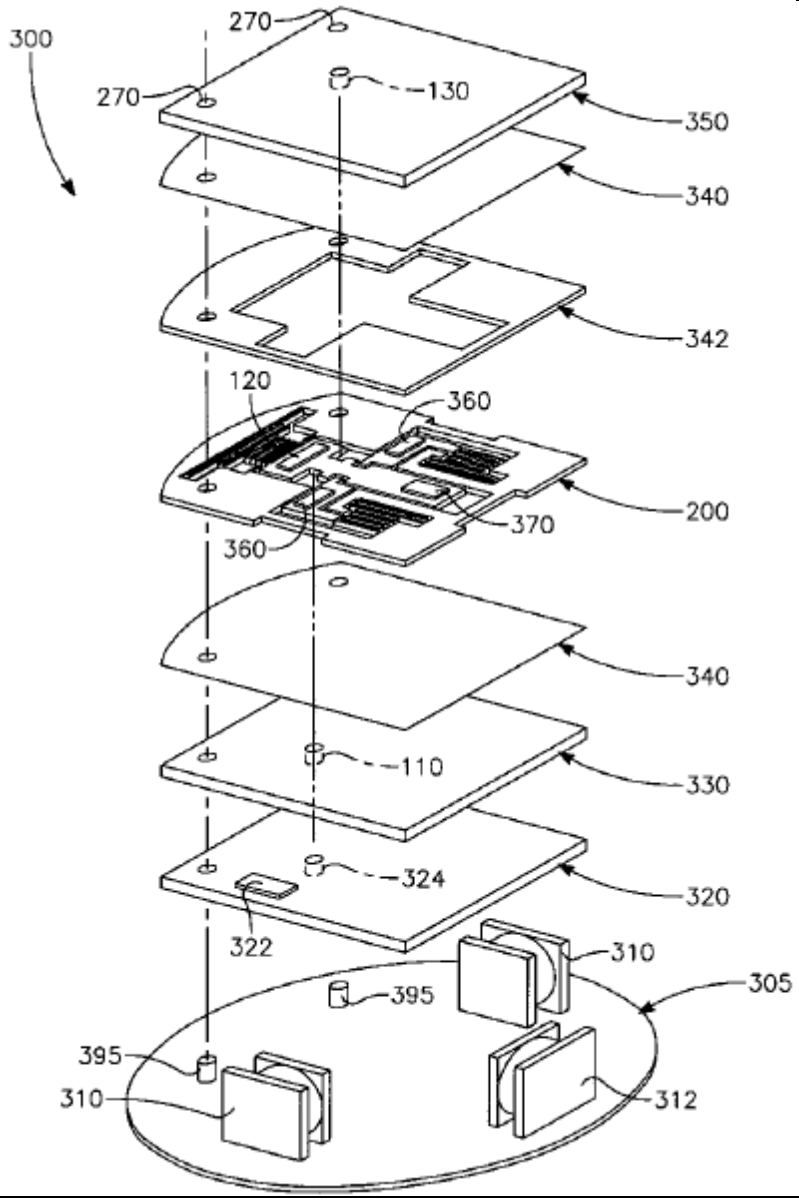
تصویر مولد انرژی الکتریکی فیوز الکترونیکی



تصویر محل قرارگیری مولد انرژی الکتریکی فیوز الکترونیکی در سلاح فروافتاده بر اثر گرانش

ثبت اختراع هفتم با عنوان «وسیله ایمنی تسلیح مِمز برای انفجارهای کوچک»

ماورِر و همکارانش (۲۰۰۶) از نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا این اختراع را به ثبت رسانده اند. این فیوز مِمز از نوع ناهمراستای اسلایدری بوده که با کنترل الکترونیک همراستا شده و زنجیره انفجار خرج اصلی را منفجر می کند. تصویر این اختراع در شکل بعد آورده شده است.

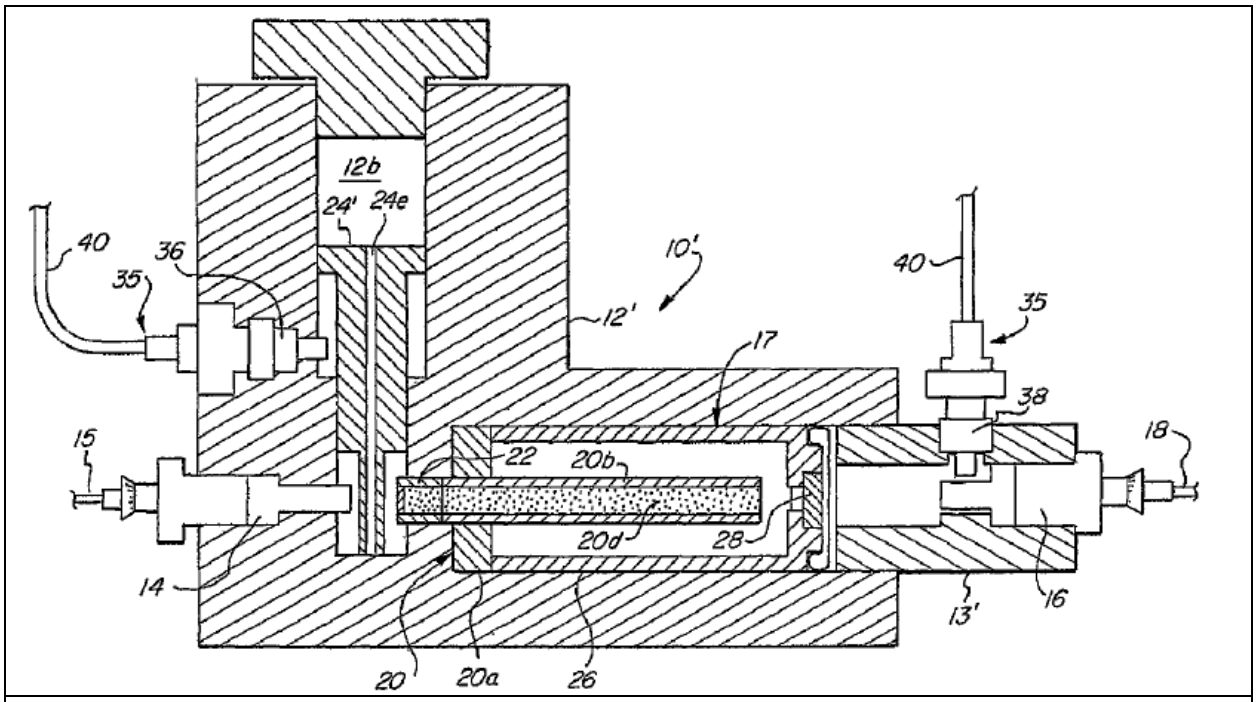


تصویر نمای سه بعدی انفجاری فیوز مِمز الکترونیکی

ثبت اختراع هشتم با عنوان «وسیله ایمنی و تسلیح فعال شونده به روش انفجاری»

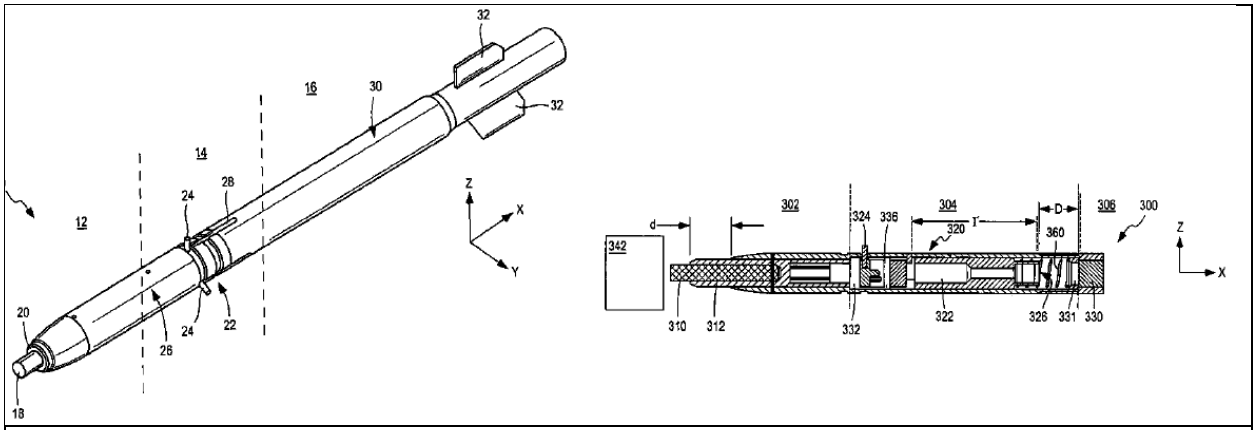
گراهام و همکارانش (۲۰۰۴) از شرکت هوافضایی و دفاعی انساین-بیکفورد آمریکا این اختراع را به ثبت رسانده اند. محرک این وسیله ایمنی و تسلیح برای فرآیند تسلیح، وقوع یک انفجار مشخص است که از طریق یک چاشنی

آتش زنه موجب مسلح شدن این وسیله می شود. به این ترتیب، اسلایدر توسط چاشنی آتش زنه مذکور جابجا شده و زنجیره همراستا می شود. تصویر این اختراع در شکل بعد آورده شده است.



تصویر نمای برش خورده وسیله ایمنی و تسلیح فعال شونده با انفجار

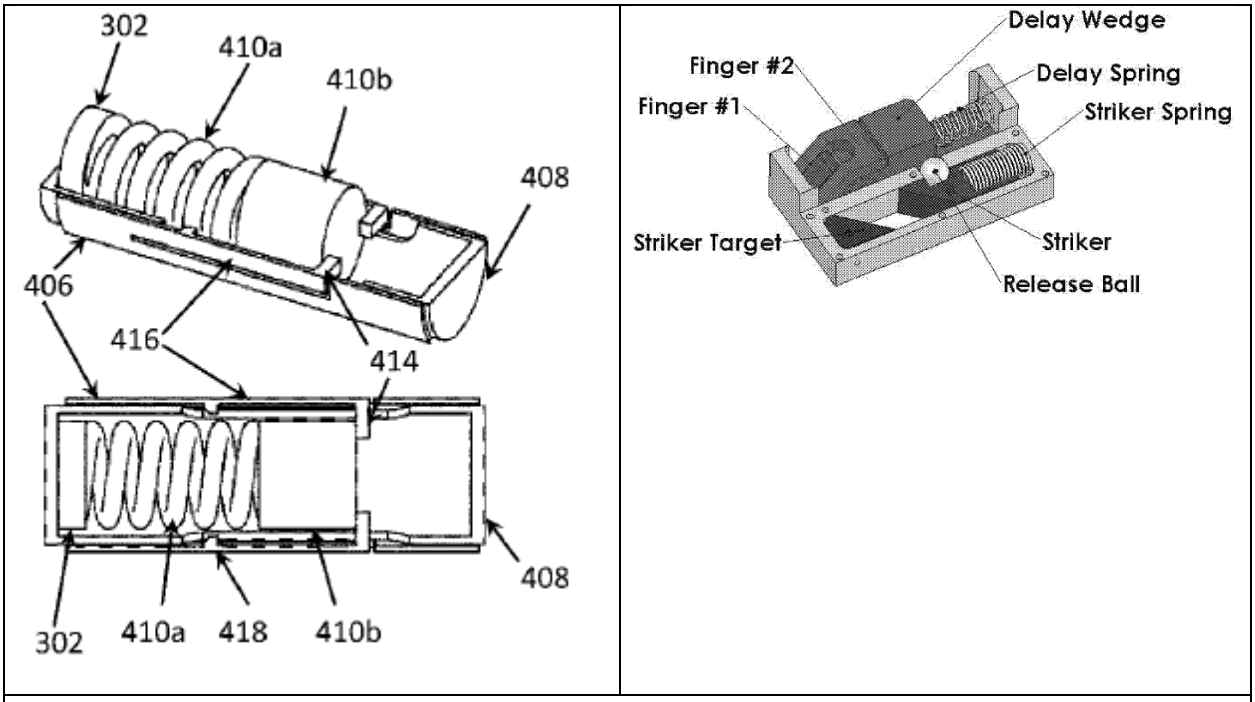
ثبت اختراع نهم با عنوان «وسیله ایمنی و تسلیح و مهمات انفجاری حاوی وسیله ایمنی و تسلیح»
ماتیو و همکارانش (۲۰۰۸) از شرکت لاکهید مارتین آمریکا این اختراع را به ثبت رسانده اند. این وسیله ایمنی و تسلیح از نوع تماما مکانیکی بوده که برای مهمات خوشه ای (بمبلت) به کار گرفته شده است. این وسیله ایمنی و تسلیح از دو محرک محیطی برای تسلیح استفاده می کند. محرک نخست، رهایش بمبلت از مجموعه سلاح اصلی است و محرک دوم، حس کردن هدف می باشد. تصاویر این اختراع در شکل بعد آورده شده است.



تصویر دو نمای برش خورده و سه بعدی وسیله ایمنی و تسلیح مکانیکی خوشه ای

ثبت اختراع دهم با عنوان «روشها و وسایلی برای فعالسازی عملکرد ایمنی و تسلیح در تسلیحات کوچک فروافتاده با گرانش با استفاده از جابجایی نسبی میان سلاح و قفسه تسلیحات»

جهانگیر رستگار از شرکت شرکای چندفناوری آمریکا این اختراع را به ثبت رسانده است. این وسیله برای فعالسازی عملکرد ایمنی و تسلیح در یک سلاح فروافتاده بر اثر گرانش می باشد. این وسیله شامل یک قفسه (شانه) برای اتصال سلاح به سامانه حامل (مانند هواپیما)؛ جزء الاستیک تعبیه شده در سلاح، اتصال قابل رها شدن میان سلاح و هواپیما برای رها شدن انرژی ذخیره شده در جزء الاستیک؛ و یک جزء پیزوالکتریک متصل شده به یک انتهای جزء الاستیک برای تبدیل انرژی ذخیره شده به انرژی الکتریکی می باشد. تصاویر این اختراع در شکلهای بعد آورده شده است.



تصویر دو نمای برش خورده و سه بعدی وسیله ایمنی و تسلیح مکانیکی سلاح فروافتاده در اثر گرانش

جمع بندی پژوهشی ثبت اختراعات سالهای اخیر در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوزها)

نکاتی که از ثبت اختراعات سالهای اخیر در حوزه سامانه های ایمنی و تسلیح (فیوزها) می توان با نگاه پژوهشی استنباط کرد به این شرح است:

- با وجود محدودیتهای پیمان منع تسلیحات خوشه ای، هنوز هم پژوهشها و مطالعات قابل توجهی بر روی این دسته از تسلیحات در حال انجام است. لذا انتظار نمی رود که تا ۲۰ سال آینده، شاهد حذف کامل این تسلیحات از زرادخانه های کشورهای جهان باشیم. ولیکن این انتظار وجود دارد که با گذشت زمان، از اهمیت و کاربرد تسلیحات خوشه ای معمولی و فاقد هدایت تا انتهای مسیر، کاسته شود.
- با وجود کاهش روزافزون سامانه های ایمنی و تسلیح تماما مکانیکی، هنوز هم پژوهشها و مطالعات قابل توجهی بر روی این دسته از سامانه ها در حال انجام است. لذا انتظار نمی رود که تا ۲۰ سال آینده، شاهد حذف کامل این نوع فیوزها از زرادخانه های کشورهای جهان باشیم. ولیکن این انتظار وجود دارد که با گذشت زمان، از اهمیت و کاربرد این نوع فیوزها کاسته شود.
- کوچک سازی یا مینیاتورسازی تسلیحات در حال توسعه و پیگیری است، و اجزای مختلف بمبلتها از جمله فیوزها و سامانه های هدایت و کنترل نیز در همین راستا در حال توسعه می باشند.

مراجع

1. Hu, T., et.al., (2017), “Integration design of a MEMS based fuze”, Sensors and Actuators A: Physical, vol. 268, pp. 193-200.
2. Sharp, A., Andrade, J., Ruffini, N., (2019), “Design for reliability for the high reliability fuze”, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 181, pp. 54-61.
3. Jeong, J.H., et.al., (2018), “Miniature mechanical safety and arming device with runaway escapement arming delay mechanism for artillery fuze”, Sensors and Actuators A: Physical, vol. 279, pp. 518-529.
4. Fang, K., et.al., (2020), “Research on a MEMS based encrypted rotary safety and arming device”, Sensors and Actuators A: Physical, vol. 301, 111781.
5. Pezous, H., et.al., (2010), “Integration of a MEMS based safe arm and fire device”, Sensors and Actuators A: Physical, vol. 159, Issue 2, pp. 157-167.
6. Hongmao, T., et.al., (2017), “Structural reliability simulation for the latching mechanism in MEMS-based Safety and Arming device”, Advances in Engineering Software, vol. 108, pp. 48-56.
7. Hui, J.H., et.al., (2018), “Multi-objectives nonlinear structure optimization for actuator in trajectory correction fuze subject to high impact loadings”, Defence Technology, vol. 14, https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.07.004.

8. Theodoulis, S., Wernert, P., (2017), “Flight Dynamics and Control for Smart Munition: The ISL Contribution”, International Federation of Automation Control, 50-1, 15512-15517.
9. Chen, Q., et.al., (2019), “Characterization of the super-short shock pulse generated by an exploding foil initiator”, Sensors and Actuators A: Physical, vol. 286, pp. 91-97.
10. Nie, W.R., et.al., (2013), “Study on Inertial Response Performance of a Micro Electrical Switch for Fuze”, Defence Technology, vol. 9, pp. 187-192.
11. Taylor, N.C., (2011), “Mechanical safe-and-arm device for a fuze”, European Patent Application, EP 2287558 A2.
12. Kane, J.P., (2000), “Electronic Safe Arm and Fire Device”, World Intellectual Property Organization, WO 00/55564 A3.
13. Sudick, J.A., (2011), “Electronic Safe, Arm, and Fire, Device Configured to Reject Signals Below a Predetermined ‘All-Fire’ Voltage”, United States Patent Application Publication, US 2011/0308414 A1.
14. Havran, C., (2016), “Electronic Safe / Arm System and Methods of Use Thereof”, United States Patent, US 9297627 B2.
15. Hodge, K.F., et.al., (2003), “Submunition Fuzing and Self-Destruct Using MEMS Arm Fire and Safe and Arm Devices”, United States Patent Application Publication, US 2003/0070571 A1.
16. Rastegar, J.S., et.al., (2016), “GRAVITY DROPPED SMALL WEAPON ELECTRONIC SAFE ARM FUZE AND ENERGY HARVESTING DEVICE FOR POWER GENERATION ONBOARD GRAVITY DROPPED WEAPONS”, United States Patent, US 9383180 B2.
17. Maurer, W.H., et.al., (2006), “MEMS Safe Arm Device for Micro-Detonation”, United States Patent, US 7040234 B1.
18. Graham, J.A., et.al., (2004), “Explosive Activated Safe-Arm Device”, World Intellectual Property Organization, WO 2004/111568 A2.
19. Matthew, A.M., et.al., (2006), “Safe and Arm Device and Explosive Device Incorporating Safe and Arm Device”, United States Patent, US 7343860 B2.
20. Rastegar, J.S., (2013), “METHODS AND DEVICES FOR ENABLING SAFE/ARM FUNCTIONALITY WITHIN GRAVITY DROPPED SMALL WEAPONS RESULTING FROM A RELATIVE MOVEMENT BETWEEN THE WEAPON AND A RACK MOUNT”, United States Patent, US 8490547 B1.
21. MTCR, (2018), “Missile Technology Control Regime, Annex Handbook”.
22. https://www.gminsights.com/toc/detail/precision-guided-munition-market

23. Naval Air Systems Command. *Fuze Design, Safety Criteria for.* Washington, D.C., NAVAIR, 9 April 1991. (MIL-STD-1316D, document UNCLASSIFIED.)
24. Naval Sea Systems Command. *Weapons System Explosives Safety Review Board Technical Manual for Electronic Safety and Arming Devices with Non-interrupted Explosive Trains.* Washington, D.C., NAVSEA, 30 September 1990. (NAVSEA, document UNCLASSIFIED.)
25. Naval Air Systems Command. *Fuze and Fuze Components, Environmental and Performance Tests for.* Washington, D.C., NAVAIR, 1 December 1989. (MIL-STD-331B, document UNCLASSIFIED.)