

Formulation, Properties and Applications of the Sticky Foams

Amin Abdollahi^{1*}, Morteza Soltan-Dehghan², and Bahareh Razavi³

1. Polymer Science Department, Iran Polymer and Petrochemical Institute,
P.O. Box: 14975-112, Tehran, Iran

2. Chemistry Department, School of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Polymer Research Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Science,
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 10 May 2015, Accepted: 25 May 2015

Abstract

The formulation, gun and safety of the sticky foams as a non-lethal weapon are studied. Sticky foams are one of the polymeric materials which have specific properties such as low density, high adhesion and suitable tensile strength. Sticky foams are a type of pressure-sensitive adhesive (PSA) which are mixed with a foaming agent. Sticky foams are prepared by blending different compounds such as thermoplastic elastomers, tacky resin, surfactant and foaming agent. The foams are stored in tanks under pressure and released to atmospheric pressure at a desirable time. In addition, increase in the amount of the tacky resin and softener will lead to enhancement in the adhesion properties. The weapon needs a pressure vessel for storing the sticky foam formulation in order to release the sticky foam. Weight, throwing power and sticky-foam storage capacity are important parameters associated with a sticky foam gun. Contacting the skin surface of the body with a sticky foam leads to irritation and local inflammation. Long-term continual exposure may lead to cancer due to oil derivatives and heavy hydrocarbons present in the sticky foam formulation. Sticky foams have various applications in obscuring the military sites, weakening the visibility of the military tools such as tanks and combatting insurgency in prisons and street demonstrations.

Key Words

sticky foam,
non-lethal weapon,
pressure sensitive adhesive,
thermoplastic elastomer,
tacky resin

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: amin_abdollahi1989@yahoo.com

بررسی فرمول‌بندی، خواص و کاربردهای اسفنج‌های چسبان

امین عبدالمهی^{۱*}، مرتضی سلطان دهقان^۲، بهاره رضوی^۳

۱- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، گروه علوم پلیمر، صندوق پستی ۱۴۹۷۵-۱۱۲

۲- تهران، دانشگاه تهران، پردیس علوم پایه، گروه شیمی

۳- مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه شیمی، آزمایشگاه پلیمر

دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۰، پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۴

در این مطالعه، فرمول‌بندی و ایمنی اسفنج‌های چسبان و سلاح مناسب آن، به‌عنوان سلاحی غیرکشنده بررسی می‌شود. این اسفنج‌ها دسته‌ای از ترکیبات پلیمری هستند که خواصی مانند چگالی کم، چسبندگی زیاد و استحکام پارگی مناسب دارند. این مواد نوعی از چسب‌های حساس به فشارند که با عامل پف‌دهنده مخلوط می‌شوند. فرمول‌بندی اسفنج‌های چسبان با آمیزه‌سازی الاستومرهای گرمانرم، رزین چسبنده، ماده سطح‌فعال و عامل پف‌دهنده تهیه می‌شود. این فرمول‌بندی در مخازن زیر فشار نگه‌داری می‌شود. در زمان لازم، اسفنج در فشار جو آزاد می‌شود. از سوی دیگر، افزایش مقدار رزین چسبنده و نرم‌کننده، خواص چسبندگی اسفنج چسبان را تقویت می‌کند. سلاح لازم برای پخش این اسفنج، باید دارای مخزن زیر فشار برای ذخیره‌سازی اسفنج باشد. از پارامترهای بسیار مهم سلاح مناسب اسفنج چسبان، می‌توان وزن سلاح و قدرت پرتاب آن و ظرفیت ذخیره‌سازی اسفنج را نام برد. تماس پوست بدن انسان با اسفنج چسبان به سوزش و التهاب موضعی در پوست منجر می‌شود. اما تماس مداوم آن با پوست می‌تواند موجب بروز علائم سرطان شود. این خطرهای ناشی از وجود ترکیبات نفتی و هیدروکربن‌های سنگین در فرمول‌بندی اسفنج چسبان است. این ماده کاربردهای گسترده‌ای در استتار در مناطق جنگی، کاهش میدان دید ابزارهای نظامی، مانند تانک و مقابله با شورش در زندان‌ها و خیابان‌ها دارد.

بسیار ش

فصلنامه علمی-ترویجی

سال ششم، شماره ۱

صفحه ۷۵-۶۴، ۱۳۹۵

ISSN: 2252-0449

چکیده



امین عبدالمهی



مرتضی سلطان دهقان



بهاره رضوی

واژگان کلیدی

اسفنج چسبان،
سلاح غیرکشنده،
چسب حساس به فشار،
الاستومر گرمانرم،
رزین چسبنده

مقدمه

در سال‌های اخیر، اهمیت دستگیری و مقابله با مجرمان بدون آسیب‌رساندن به آن‌ها و محافظت مناطق جنگی در زمانی بسیار کوتاه به پژوهش و مطالعات گسترده درباره اسفنج‌های چسبان، به‌عنوان سلاحی غیرکشنده منجر شده است [۱-۱۱]. در شرایط خاص، مانند مقابله با شورش‌های خیابانی و اغتشاش‌های زندانیان در زندان، سلاح‌هایی لازم است که به‌شکل فیزیکی قابلیت بازدارندگی موقت داشته باشند. اسفنج‌های چسبان، به‌دلیل قابلیت چسبندگی بسیار زیاد می‌توانند از حرکت هدف جلوگیری کنند یا در بدترین شرایط باعث کاهش تحرک آن شوند [۱]. با توجه به این نکته، سلاح یادشده می‌تواند میزان دخالت نیروهای انتظامی و آسیب‌دیدگی آن‌ها را هنگام وقوع شورش یا اغتشاش کاهش دهد و امکان کنترل شرایط را بدون آسیب‌دیدگی فراهم کند [۲]. همچنین با استفاده از این سلاح، در مناطق نظامی می‌توان از ورود نیروهای مهاجم و نفوذ آن‌ها جلوگیری کرد. این اقدام برخلاف سایر روش‌ها، مانند میدان مین، در مدت بسیار کوتاهی اجرایش است [۳]. اما، همان‌طور که از اصطلاح اسفنج چسبان برداشت می‌شود، این سلاح که بر پایه مواد پلیمری است، باید هم‌زمان دو ویژگی بسیار مهم چسبندگی و اسفنج‌شوندگی (tenacious) را داشته باشد. براساس بررسی‌های انجام شده [۱-۱۱]، برای تهیه این اسفنج‌ها، در فرمول‌بندی چسب‌های حساس به فشار برپایه لاستیک طبیعی و سنتزی، عوامل پف‌دهنده افزوده می‌شود. سپس، این مخلوط زیر فشار گاز نیتروژن یا کربن دی‌اکسید (پف‌دهنده) در فضای مدنظر پخش می‌شود [۱-۳]. حجم این ترکیبات پس از رهاسازی در محیط به حدود ۳۰ برابر حجم اولیه افزایش پیدا می‌کند. قدرت بازدارندگی اسفنج‌های چسبان، رابطه مستقیم با مقدار چسبندگی آن‌ها دارد. با افزودن رزین‌های چسبنده، مانند رزین‌های فنولی، نفتی و کتونی و مشتقات رزین، این عامل ایجاد می‌شود [۳]. نکته درخور توجه، افزایش مقدار چسبندگی با افزایش مقدار نرم‌کننده، به‌دلیل کاهش دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) و همچنین افزایش مقدار رزین چسبنده است [۱-۳].

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد، نوع عامل پف‌دهنده استفاده شده می‌تواند روی مقدار پایداری و انبساط اسفنج نهایی اثرگذار باشد. درنهایت، مجموع این پارامترها نیز بر مقدار چسبندگی اسفنج مؤثرند [۱-۱۱]. همچنین، در تهیه فرمول‌بندی این اسفنج‌ها از پلیمرهای لاستیکی طبیعی و سنتزی شامل کوپلیمرهای استیرن-بوتادی-ان-استیرن (SBR)، استیرن-ایزوپرن-استیرن (SIS)، لاستیک طبیعی، پلی‌بوتادی‌ان و پلی‌ایزوپرن استفاده شده است. در

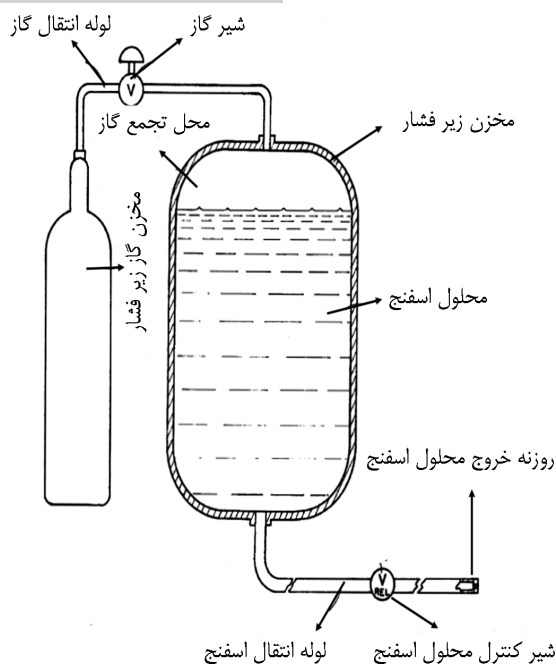
بیشتر مواقع، الاستومرهای گرمانرم (SBR و SIS) و پلی‌ایزوپرن نتایج مناسب‌تری در آزمون‌های مقدار چسبندگی، اسفنج‌شوندگی (افزایش حجم) و پایداری اسفنج نشان داده‌اند [۱-۳]. به‌منظور ذخیره‌سازی اسفنج چسبان، سلاح لازم برای پخش آن باید دارای مخزن زیر فشار باشد. از پارامترهای بسیار مهم برای سلاح اسفنج چسبان، می‌توان وزن، قدرت پرتاب و ظرفیت ذخیره‌سازی اسفنج را نام برد [۱]. از سوی دیگر، با تغییر افشانک دهانه سلاح، پخش اسفنج چسبان به حالت‌های گسترده و متمرکز و با دقت زیاد امکان‌پذیر است [۱،۳]. باید توجه داشت، این ابزار به‌عنوان سلاحی غیرکشنده، که می‌تواند شرایط را با نیروهای فیزیکی کنترل کند، جلب توجه کرده است. بنابراین، تماس احتمالی مواد اسفنج چسبان با افراد مسلح به آن و افراد هدف، نباید هیچ‌گونه خطر و آسیبی را برای آن‌ها ایجاد کند [۱-۶]. اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد، تماس پوست بدن انسان با این اسفنج به سوزش و التهاب موضعی در آن منجر می‌شود. همچنین، بر اثر تماس مداوم با این مواد، می‌توان شاهد بروز علائم سرطان نیز بود. این خطرها به‌دلیل وجود ترکیبات نفتی و روغن‌های سنگین در فرمول‌بندی اسفنج چسبان است [۱].

در این مطالعه امکان تهیه فرمول‌بندی اسفنج‌های چسبان، عوامل مؤثر بر خواص آن‌ها، ویژگی‌های سلاح به‌کار رفته برای پخش اسفنج و درنهایت ایمنی آن برای انسان بررسی شده است. علت اصلی توجه به اسفنج چسبان، اهمیت آن از جنبه‌های مختلف نظامی و انتظامی است. البته این ترکیب برحسب نیاز می‌تواند در کاربردهای دیگری، مانند ترکیبات عایق، درزگیر و صنعت چسب نیز استفاده شود. در ادامه، هریک از موضوعات گفته شده به‌شکل گسترده و دقیق بررسی می‌شود.

فرمول‌بندی اسفنج‌های چسبان

درحقیقت اسفنج‌های چسبان، اسفنج‌های پلیمری هستند که استحکام چسبندگی زیاد و دائمی دارند [۲]. این نوع اسفنج‌ها از اجزای متفاوت تشکیل می‌شوند. اما، پایه و اساس آن‌ها چسب‌های حساس به فشار است. در فرمول‌بندی اسفنج چسبان از ترکیبات پف‌دهنده، برای کاهش چگالی و اسفنج‌شوندگی همراه با افزایش حجم استفاده می‌شود [۱-۱۱]. چسب‌های حساس به فشار نیز از مواد و اجزای مختلف، مانند الاستومر، رزین چسبنده و نرم‌کننده تشکیل می‌شوند.

در سال ۱۹۸۰، Rand [۳] اختراع ثبت شده‌ای را با عنوان اسفنج چسبان در آمریکا منتشر کرد. در این کار تلاش شده بود تا



شکل ۱- نمایی از سامانه لازم برای تولید اسفنج چسبان [۳].

می‌گیرد و ۴۳ قسمت دی‌کلرودی‌فلئوروئتان به آن افزوده می‌شود. مخزن به‌وسیله گاز کربن دی‌اکسید با فشار تقریبی $10/8 \text{ atm}$ پیش از اختلاط نهایی، زیر فشار قرار داده می‌شود. فضای بالای مخزن، محل تجمع گاز زیر فشار یا بخار حلال است. این مخلوط با چرخش مخزن زیر فشار با سرعت $10-1 \text{ rpm}$ به مدت 24 h تهیه می‌شود. زمانی که مخلوط از لوله مسی به قطر $1/8 \text{ in}$ توزیع و پخش می‌شود، اسفنجی چسبان با چگالی $1/8 \pm 0/3 \text{ lb/ft}^3$ تشکیل می‌شود. پایداری آن نیز به‌شکلی است که کاهش حجم درخور توجهی را در شرایط $70 \pm 10^\circ\text{F}$ برای 1 h نشان نمی‌دهد [۳].

گاز کربن دی‌اکسید زیر فشار، به‌محض فعال یا باز شدن شیر گاز، از مجراهای انتقال به درون مخزن دارای محلول اسفنج جریان می‌یابد و در فضای خالی بالای این محلول قرار می‌گیرد. زمانی که فشار درون مخزن به بیش از مقدار از پیش معین می‌رسد، باز شدن یا شکستن شیر کنترل محلول اسفنج اجازه می‌دهد تا محتویات مخزن اسفنج چسبان از راه کانال‌های مدنظر جریان یابد و به روزنه خروجی محلول اسفنج منتقل شود. آنگاه، انتقال این مواد به فضای مجاور اتفاق می‌افتد و در آنجا اسفنج تشکیل می‌شود [۳].

در روش دوم، با شکسته شدن شیر کنترل مخزن محلول اسفنج و آزادسازی محتویات داخل مخزن به فضای خارج آن، اسفنج تشکیل می‌شود. این روش می‌تواند برای تولید گلوله‌های اسفنج چسبان نیز کاربرد داشته باشد. در این روش، محلول اسفنج داخل لوله حامل قرار می‌گیرد که بیشتر از جنس آلومینیم است. همان‌طور که انتظار

فرمول‌بندی اسفنج چسبان با استفاده از پلیمرهای لاستیکی گرمانرم (الاستومر گرمانرم) تهیه شود. برای تهیه اسفنج چسبان در این اختراع، ابتدا رزین گرمانرم در حلالی با دمای جوش کم و زیر فشار حل می‌شود. پس از رهاسازی این مخلوط در فضای مجاور و در فشار جو، حلال تبخیر می‌شود. بدین ترتیب با ایجاد حباب‌های فراوان در ماتریس پلیمر، اسفنج چسبان مدنظر تولید می‌شود. باید توجه داشت، حلال استفاده شده افزون بر حلال‌بودن به‌عنوان عامل اسفنج‌ساز نیز عمل می‌کند. حلال‌های مناسب این فرمول‌بندی به‌طور اختصاصی باید دارای دمای جوش کمتر از 20°C و فشار بخار معادل 4 kg/cm^3 در دمای 20°C باشند [۳]. همچنین، انتخاب حلالی با سرعت تولید گاز آهسته موجب ایجاد حفره‌های کوچک‌تر می‌شود. بدین ترتیب، می‌توان پایداری اسفنج‌های تولید شده را افزایش داد.

دی‌کلرودی‌فلئوروئتان، متیل کلرید و دی‌متیل اتر از حلال‌های مناسبی هستند که می‌توان برای این کار استفاده کرد [۳]. همچنین، در این پژوهش خواص اسفنج‌های چسبان با استفاده از افزودنی‌های ویژه، مانند عوامل هسته‌زا، سطح‌فعال و ترکیبات بازدارنده اشتعال اصلاح شده است. افزودن عوامل هسته‌زا به فرمول‌بندی اسفنج چسبان موجب بیشتر شدن احتمال تشکیل اسفنج‌های با واحدهای سلولی کوچک و هم‌اندازه می‌شود. زیرا ترکیبات هسته‌زای غیرهمگن، موجب ایجاد محل‌های فعال بیشتر برای پف‌دهنده می‌شوند [۳]. از این ترکیبات می‌توان به عوامل هسته‌زا، مانند ذرات هم‌اندازه پلی‌اتیلن، دوده و ذرات سیلیکا اشاره کرد که برای فرمول‌بندی اسفنج چسبان مناسب‌اند.

برای ایجاد خواص خودخاموش‌شوندگی در این اسفنج‌ها نیز می‌توان پارافین‌های کلردار شده به‌کار برد [۳]. اسفنج‌ها، با آماده‌سازی پیش‌آمیزه، شامل رزین و افزودنی‌ها و قراردادن آن در مخزن حامل زیر فشار مناسب، تهیه می‌شوند. فرمول‌بندی اسفنج چسبان در چند مرحله به‌شرح زیر آماده می‌شود [۳]:

۱- پیش‌آمیزه A با آمیزه‌سازی ابتدایی ۳۰ قسمت پارافین کلردار شده اولیه با $1/4$ قسمت دوده در آسیاب گلوله‌ای تهیه می‌شود.

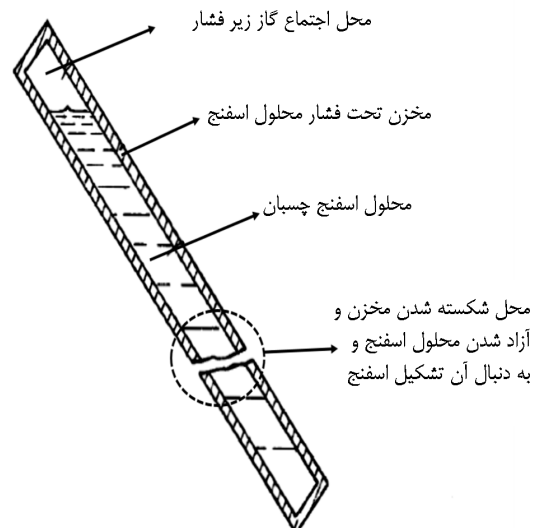
۲- پیش‌آمیزه B با گرمادهی و مخلوط‌کردن پیش‌آمیزه A تا $10 \pm 24^\circ\text{F}$ و افزودن $1/4$ قسمت عامل سطح‌فعال سیلیکونی و ۱۰ قسمت پارافین کلردار شده به‌دست می‌آید.

۳- پیش‌آمیزه C با گرمادهی ۱۰۰ قسمت رزین گرمانرم تهیه شده از آمیزه کوپلیمر استیرن-بوتادی‌ان و پلی‌ایندن، اضافه‌شدن پیش‌آمیزه B و مخلوط‌شدن آن‌ها آماده می‌شود.

در نهایت، پیش‌آمیزه C در مخزن زیر فشار (شکل ۱) قرار

محلول اسفنج را گاز (کربن دی‌اکسید یا بخارهای حلال) اشغال کرده است تا مخلوط اسفنج زیر فشار باشد. قسمت شکسته شده در پایین بدنه گلوله، شکل ۲، محل آزادسازی محلول اسفنج و در نتیجه، تشکیل اسفنج است [۳].

در جدول ۱ فرمول‌بندی‌های نمونه‌های اسفنج تهیه شده با ترکیبات متفاوت درج شده است. نتایج نشان می‌دهد، کمترین چگالی و بهترین خواص اسفنج‌شوندگی برای نمونه‌های اول و پنجم به دست آمده است. این نتیجه، از به‌کاربردن رزین گرمانرم و عامل سطح‌فعال سیلیکونی در فرمول‌بندی این اسفنج‌ها به دست می‌آید [۳]. از سوی دیگر، عامل هسته‌زای استفاده شده نیز روی چگالی نهایی اسفنج اثر گذاشته است. این در حالی است که اسفنج تهیه شده با عامل هسته‌زای دوده، چگالی کمتری دارد. بنابراین، با توجه به نتایج می‌توان گفت، رزین گرمانرم، عامل سطح‌فعال و عوامل هسته‌زا باعث ایجاد اسفنج‌های چسبان با چگالی کمتر،



شکل ۲- نمایی از ساختار گلوله‌های اسفنج چسبان [۳].

می‌رود، در این سامانه نیز مشابه سامانه قبلی، فضای خالی بالای

جدول ۱- فرمول‌بندی‌های نمونه‌های اسفنج تهیه شده با ترکیبات متفاوت [۳].

نمونه	ترکیبات	مقدار (قسمت)	چگالی (lb/ft ³)
اول	رزین گرمانرم	۱۰۰	۱/۸
	پارافین کلردار شده اول	۱۰	
	پارافین کلردار شده دوم	۳۰	
	عامل سطح فعال سیلیکون	۱/۴	
	دی‌کلروفلوئورومتان	۶۴	
دوم	رزین الاستومری	۱۰۰	۲۰
	پودر پلی‌اتیلن	۵	
	دی‌متیل اتر	۵۰	
سوم	رزین پلی‌ایزوبوتیلن	۹۰	۵
	رزین الاستومری	۱۰	
	ذرات سیلیکای هم‌اندازه	۵	
	دی‌کلروفلوئورومتان	۵۰	
چهارم	رزین پلی‌ایزوبوتیلن	۱۰۰	۲/۹
	ذرات سیلیکای هم‌اندازه	۵	
	دی‌کلروفلوئورومتان	۴۰	
پنجم	رزین گرمانرم	۱۰۰	۱/۵
	پارافین کلردار شده اول	۳۰	
	پارافین کلردار شده دوم	۱۰	
	عامل سطح فعال سیلیکونی	۱/۳۵	
	دوده	۱/۳۵	
	دی‌کلروفلوئورومتان	۴۸	

سیلیکون به آن افزوده شد. مشاهده‌های اولیه در زمینه اختلاط این اجزاء، یعنی انحلال و تشکیل مخلوط‌های همگن و چسبان نشان داد، الاستومرهای لاستیک‌های طبیعی، SBR، کلروپرن و بوتیل برای تهیه چسب‌های حساس به فشار به‌روش حلالی مناسب نیستند. همین موضوع درباره رزین نووالاک نیز صادق است. به بیان دیگر، این رزین باید با سایر اجزاء، زیر برش زیاد اکستروود شود تا خواص لازم را به‌دست آورد. به‌طور قطع، این نوع اختلاط برای تهیه فرمول‌بندی چسب‌های فشاری پایه‌حلالی مناسب نیست [۲، ۱۰]. از میان الاستومرها دو نوع ایزوپرن و کراتون D به همراه رزین نفتی، روغن سیلیکون و پارافین کلردار شده خواص مدنظر را برای تهیه فرمول‌بندی چسب‌های حساس به فشار از خود نشان دادند. باتوجه به نکات گفته شده، نسبت‌های مختلف از دو الاستومر یاد شده به همراه مقادیر متفاوت از رزین نفتی و پارافین کلردار شده در فرمول‌بندی چسب حساس به فشار به‌کار رفت (جدول ۲). سپس، چسبندگی مخلوط‌های به‌دست آمده به‌طور کیفی ارزیابی شد (جدول ۳).

براساس این نتایج، اضافه‌کردن روغن سیلیکون موجب افزایش استحکام چسبندگی و کاهش سرعت چسبندگی می‌شود (فرمول‌بندی‌های ۱ و ۲، ۴ و ۹، و ۱۰ به‌جز فرمول‌بندی‌های ۷ و ۸).

پایداری بیشتر و خواص مناسب‌تر می‌شوند. ویژگی‌های نام‌برده در اثر ساختار سلولی بسیار ریز ایجاد شده در این اسفنج‌ها دیده می‌شود [۳].

فخرائیان و همکاران [۲] فرمول‌بندی اسفنج چسبان و قابلیت ایجاد آن را در دمای محیط بررسی کردند. این گروه با استفاده از ترکیبات الاستومری و الاستومرهای گرمانرم متفاوت، مانند لاستیک‌های طبیعی، بوتیل، کوپلیمر استیرن-بوتادی‌ان، ایزوپرن و کلروپرن و درنهایت کراتون D (مخلوط استیرن و بوتادی‌ان) روی فرمول‌بندی‌های اسفنج‌های چسبان پژوهش‌هایی انجام دادند. شایان توجه است، برای ایجاد چسبندگی در این اسفنج‌ها از رزین نفتی (پتروزین) و فنولی (نووالاک) و برای پایداری آن نیز از عوامل سطح‌فعال سیلیکونی استفاده شد. باتوجه به اثر بسیار زیاد پف‌دهنده روی خواص نهایی اسفنج، فرمول‌بندی‌های بهینه با پف‌دهنده‌های متفاوت بررسی شد [۲].

تهیه فرمول‌بندی‌های ابتدایی با استفاده از ۶ نوع الاستومر، ۲ نوع رزین، پارافین کلردار شده و روغن سیلیکون انجام شد. این فرمول‌بندی‌ها به‌روش حلالی و با استفاده از حلال‌های تولوئن و دی‌کلرومتان تهیه شدند [۲]. در هر فرمول‌بندی ابتدا الاستومر و رزین در حلال حل شدند. سپس، پارافین کلردار شده و روغن

جدول ۲- فرمول‌بندی چسب‌های فشاری با الاستومرهایی از نوع ایزوپرن، کراتون D و رزین نفت همراه با پارافین کلردار و روغن سیلیکون با نسبت‌های متفاوت [۲].

فرمول‌بندی	رزین نفتی (g)	الاستومر		نسبت رزین به الاستومر	مقدار روغن سیلیکون (g)	مقدار پارافین کلردار (g)
		نوع	مقدار (g)			
۱	۰/۳۳	ایزوپرن	۰/۶۶	۲	۰/۵	۳
۲	۰/۳۳	ایزوپرن	۰/۶۶	۲	۱	۳
۳	۰/۳۳	ایزوپرن	۰/۶۶	۲	۰/۵	۲/۵
۴	۰/۳۳	ایزوپرن	۰/۶۶	۲	۱	۲/۵
۵	۰/۳۳	ایزوپرن	۰/۶۶	۲	۱/۵	۲/۵
۶	۰/۳۳	ایزوپرن	۰/۶۶	۲	۰/۵	۱/۵
۷	۰/۴	ایزوپرن	۰/۶۶	۱/۵	۱	۲/۵
۸	۰/۴	ایزوپرن	۰/۶۶	۱/۵	۰/۵	۲/۵
۹	۰/۵	کراتون D	۰/۵	۱	۰/۵	۲
۱۰	۰/۵	کراتون D	۰/۵	۱	۱/۵	۲
۱۱	۰/۴	کراتون D	۰/۶	۱/۵	۱/۵	۱/۵
۱۲	۰/۳۳	کراتون D	۰/۶۶	۲	۱	۲

جدول ۳- استحکام و سرعت چسبندگی فرمول‌بندی‌های مختلف چسب‌های فشاری و پایداری چسبندگی در طول زمان [۲].

شماره	آزمون پوست‌کن‌شدن (± 1 N)		آزمون گوی فلزی (± 2 s) پس از هفته‌های پی‌درپی								
	پس از ۱ هفته	پس از ۲ ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۱۱	۹	۷۳	۶۸	۶۶	۴۱	۲۹	۱۷	۹	۴	۳
۲	۱۳	۱۱	۶۰	۵۸	۴۳	۱۶	۹	۵	۴	۳	۳
۳	۱۱	۹	۷۳	۶۸	۶۶	۴۷	۳۱	۱۹	۱۲	۷	۶
۴	۱۳	۱۰	۵۷	۴۱	۲۵	۷	۴	۳	۳	۴	۴
۵	۱۴	۱۲	۵۵	۵۲	۵۴	۳۲	۱۷	۱۳	۶	۵	۴
۶	۱۱	۹	۱۰۸	۸۴	۷۱	۵۸	۶۰	۵۶	۳۷	۱۹	۱۷
۷	۱۷	۹	۶۷	۵۹	۵۹	۳۶	۲۵	۱۶	۱۰	۶	۵
۸	۱۸	۱۵	۷۰	۶۷	۶۸	۶۶	۴۶	۲۶	۱۵	۹	۸
۹	۱۴	۱۴	۱۰	۱۵	۲۲	۲۲	۲۴	۲۱	۲۴	۲۷	۳۲
۱۰	۱۷	۱۴	۱۴	۲۲	۳۰	۲۹	۳۳	۲۹	۲۸	۳۷	۴۲
۱۱	۱۴	۱۲	۴۰	۴۵	۵۶	۶۳	۶۶	۷۲	۷۸	۸۸	۹۵
۱۲	۱۲	۱۰	۴۵	۴۴	۵۲	۵۰	۵۵	۵۷	۵۷	۶۵	۷۵

در مدت زمان مناسب، پایداری ندارد [۱۱-۱]. بنابراین، نیروی به‌هم پیوستگی زیاد و کم در فرمول‌بندی چسب حساس به فشار به ناپایداری اسفنج چسبان تشکیل شده منجر می‌شود. از این‌رو، فرمول‌بندی‌های ۶ و ۸ از میان ۱۲ فرمول‌بندی به‌عنوان فرمول‌بندی بهینه چسب حساس به فشار برای تولید اسفنج چسبان تشخیص داده شده است. درحقیقت براساس نتایج، بهترین استحکام چسبندگی در نمونه ۸ و مناسب‌ترین سرعت چسبندگی نیز در نمونه ۶ مشاهده شده است. فرمول‌بندی بهینه چسب‌های حساس به فشار به‌شکل زیر است [۲]:

- فرمول‌بندی نمونه ۶: ۱/۶۵ g رزین نفتی (۱۱٪)، ۳/۳۵ g ایزوپرن (۲۲٪)، ۲/۵ g روغن سیلیکون (۱۷٪) و ۷/۵ g پارافین کلردار شده (۵۰٪).

- فرمول‌بندی نمونه ۸: ۲ g رزین نفتی (۱۰٪)، ۳ g ایزوپرن (۱۵٪)، ۲/۵ g روغن سیلیکون (۱۲/۵٪) و ۱۲/۵ g پارافین کلردار شده (۶۲/۵٪).

پس از تهیه فرمول‌بندی چسب حساس به فشار، این مخلوط در عامل پف‌دهنده حل می‌شود. پس از همگن‌شدن، مخلوط نهایی را در فضای آزاد پخش می‌کنند تا با تبخیر عامل پف‌دهنده (دمای جوش 40°C تا 20°C) اسفنج چسبان تولید شود [۲]. در بخش بعد، اثر نوع عامل اسفنج‌شونده بر خواص اسفنج چسبان بررسی می‌شود.

از سوی دیگر، با کاهش مقدار پارافین کلردار شده، سرعت چسبندگی افزایش می‌یابد. این اثر، با ثابت ماندن استحکام چسبندگی همراه است (فرمول‌بندی‌های ۲، ۳، ۴ و ۶) [۲]. همچنین، افزایش مقدار رزین از نسبت ۰/۳۳ به ۰/۴ برای فرمول‌بندی‌های ۳، ۴، ۷ و ۸ موجب افزایش استحکام چسبندگی می‌شود، اما بر سرعت چسبندگی اثری ندارد. بنابراین، می‌توان کاهش شدید چسبندگی را برای فرمول‌بندی‌های با مقادیر زیادتر رزین (نسبت ۰/۵) مشاهده کرد.

نمونه‌های تهیه شده با الاستومر کراتون D (نمونه‌های ۹-۱۲) نسبت به سایر نمونه‌ها (۸-۱) نیروی به‌هم پیوستگی داخلی کمتر و ضعیف‌تری دارند. از سوی دیگر، آزمون پوست‌کن‌شدن برای این نمونه‌ها نتایج مناسبی را برای پارامتر استحکام چسبندگی (به‌ویژه در نمونه ۱۰) نشان می‌دهد. اما آزمون گوی که معین‌کننده هم‌زمان مقدار استحکام و سرعت چسبندگی است، در تمام نمونه‌های ۹ تا ۱۲ مقدار کمتری را نسبت به نمونه‌های ۱ تا ۸ نشان می‌دهد. بررسی تغییرات سرعت چسبندگی در نمونه‌های مختلف، افزایش سرعت چسبندگی را برای نمونه‌های تهیه شده از الاستومر کراتون D در طول زمان نشان می‌دهد. درحالی‌که نتایج نمونه‌های فرمول‌بندی شده با ایزوپرن، کاملاً با این نمونه‌ها متفاوت و مخالف هستند [۲].

براساس پژوهش‌های انجام شده، برای تهیه اسفنج‌های چسبان، چسب‌های حساس به فشار با چسبندگی زیاد و به‌هم پیوستگی داخلی مناسب‌اند. بدون این ویژگی‌ها، اسفنج چسبان تهیه شده

افزایش مقدار عامل پف‌دهنده تا ۴ برابر هم باعث انحلال‌پذیری کامل نمی‌شود و مخلوط دوفازی برای هر دو فرمول‌بندی مشاهده می‌شود [۲]. همچنین، فرمول‌بندی‌های ۶ و ۸، یک ماه پس از تهیه، در سه برابر (نسبت به مقدار قبلی) عامل اسفنج‌ساز HCFC-22 (CHClF_2) حل شده و دوباره بررسی شدند. در این حالت نیز همگن شدن مخلوط برای فرمول‌بندی ۶ مشاهده نشد و اسفنج نهایی بسیار ناپایدار بود. در مقابل، فرمول‌بندی ۸ در این مقدار عامل پف‌دهنده به‌طور کامل حل شد. اما پس از خروج عامل پف‌دهنده، مخلوط نهایی سه‌فازی شد.

این آزمایش نشان داد، خاصیت اسفنج‌شوندگی چسب‌ها نیز متأثر از گذشت زمان از هنگام تهیه چسب است و با گذشت زمان خاصیت اسفنج‌شوندگی و پایداری اسفنج تشکیل شده کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، این فرمول‌بندی‌ها در پف‌دهنده HFC-134a (CF_3CFH_2) به‌طور کامل انحلال‌ناپذیرند. بنابراین، در نهایت مخلوطی کاملاً ناهمگن و چندفاز به‌دست می‌آید. پف‌دهنده کلرومتان نیز نتایج مشابهی را برای هردو فرمول‌بندی نشان داد. به طوری‌که باوجود انحلال‌پذیری مناسب، نتایج حاصل چندفازی شدن مخلوط پس از خروج پف‌دهنده و پایداری بسیار کم اسفنج چسبان را نشان می‌دهند. با استفاده از این نتایج، فرمول‌بندی نهایی اسفنج چسبان بهینه به‌وسیله اجزای چسب حساس به فشار (فرمول‌بندی ۸ در مقیاس ۵۰ g رزین و ایزوپرن) و عامل پف‌دهنده (HCFC-22 به مقدار ۴۰ mL)، زیر فشار گاز کربن دی‌اکسید (فشار ۱۵ atm) در مخزن زیر فشار به گنجایش ۷۰۰ mL تهیه شد. اسفنج چسبان به‌دست آمده پس از تخلیه کپسول زیر فشار، حجمی حدود 3000 cm^3 و چگالی حدود 0.5 g/cm^3 داشت [۲]. نمونه‌ای از اسفنج چسبان تهیه شده در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

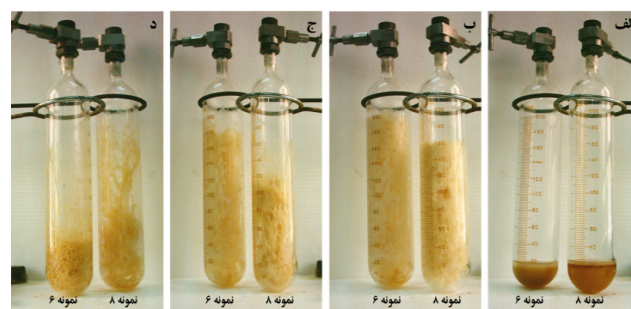


شکل ۴- اسفنج تهیه شده از مخلوط چسب فشاری با فرمول‌بندی بهینه (فرمول‌بندی ۸) و عامل پف‌دهنده HCFC-22 به همراه گاز کربن دی‌اکسید [۲].

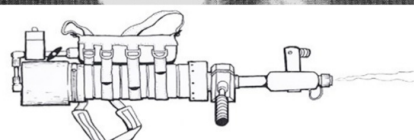
اثر عامل پف‌دهنده بر خواص اسفنج چسبان

از آنجا که دو فرمول‌بندی‌های ۶ و ۸ خواص مناسبی دارند، در اینجا به‌عنوان فرمول‌بندی‌های بهینه اسفنج چسبان انتخاب شدند [۲]. اثر نوع عوامل اسفنج‌شونده نیز بر خواص اسفنج چسبان، مانند انحلال‌پذیری در عامل پف‌دهنده، پایداری اسفنج و قابلیت اسفنج‌شدن یا استحکام پف‌دهنده اهمیت بسیار زیادی دارد. بنابراین، فخرانیان و همکاران [۲] با استفاده از پف‌دهنده‌های گوناگون (دی‌متیل‌اتر، HCFC-22، HCFC-134a و کلرومتان) این مسئله را بررسی کردند. فرمول‌بندی‌های بهینه ۶ و ۸ انحلال‌پذیری مناسبی را در پف‌دهنده دی‌متیل‌اتر نشان می‌دهند. اما پس از انحلال، پایداری محلول کوتاه است (چند دقیقه) و پس از مدتی دوفاز می‌شود. مقدار اسفنج‌شوندگی در فرمول‌بندی ۸ حدود ۱۰ برابر با طول عمر حدود ۱ h است. درحالی‌که افزایش حجم فرمول‌بندی ۶ معادل ۲ برابر حجم اولیه است. اسفنج به‌دست آمده نیز برای ۳۰ min پایدار می‌ماند. اما، این دو فرمول‌بندی انحلال‌پذیری کمی را در پف‌دهنده CFC-12 (CCl_2F_2) نشان می‌دهند. درحالی‌که برای فرمول‌بندی‌های ۶ و ۸ اسفنج‌شوندگی مناسب، به‌ترتیب ۸ و ۱۰ برابر، مشاهده می‌شود. مقدار پایداری این دو فرمول‌بندی نیز حدود ۳۰ min معین شد. اسفنج‌های تولید شده با این روش، شکل ظاهری پنبه‌مانند دارند [۲].

بررسی انحلال‌پذیری فرمول‌بندی‌ها در عامل پف‌دهنده HCFC-22 (CHClF_2)، انحلال اولیه و دوفازی شدن با گذشت زمان را نشان می‌دهد. اما، باوجود مناسب بودن نسبی انحلال‌پذیری فرمول‌بندی ۸، مخلوط نهایی کاملاً همگن نیست (شکل ۳). مقدار پایداری اسفنج نیز حدود ۲۰ min معین شد. از سوی دیگر، انحلال‌پذیری فرمول‌بندی ۶ بسیار کم است و به‌هیچ‌عنوان مخلوطی کاملاً همگن به‌دست نمی‌آید. اما طول عمر اسفنج چسبان تولید شده از این فرمول‌بندی ۳۰ min است.



شکل ۳- نمونه‌های ۶ و ۸ به همراه پف‌دهنده HCFC-22: (الف) پیش از آزادسازی پف‌دهنده و (ب) یک لحظه، (ج) ۵ min و (د) ۱۵ min پس از تخلیه کامل عامل پف‌دهنده [۲].



شکل ۶- تفنگ شانه‌ای اسفنج چسبان [۱].

مجموعه‌ای از اصلاحات را روی سلاح قبلی (کوله پشتی) انجام دادند. بدین ترتیب، سلاح جدیدی تولید شد که می‌تواند به شکل شانه‌ای (مانند سلاح‌های معمول) به کار رود (شکل ۶). از نکات بسیار مهم در سلاح شانه‌ای قدرت مانور بسیار زیاد، حمل و نقل آسان و هدف‌گیری دقیق‌تر آن است. سلاح شانه‌ای مدنظر ویژگی‌های زیر را نیز دارد:

- وزن حدود ۲۱ lb در حالت آماده به آتش،

- طول حدود ۳۰ in،

- پرتاب اسفنج چسبان با سرعت حدود ۳۵-۵ lb/s و

- قرارگرفتن تفنگ آماده به شلیک در یک زاویه یا زوایای متفاوت. در تفنگ شانه‌ای پرتاب‌کننده اسفنج چسبان در شکل ۶، فشار گاز نیتروژن به پیستون تعبیه شده در داخل مخزن ذخیره‌سازی نیرو وارد می‌کند. بدین ترتیب، اسفنج ذخیره شده در مخزن زیر فشار به فضای اطراف پخش یا پرتاب می‌شود [۱-۳].

افشانک در نظر گرفته شده در قسمت جلوی سلاح نقش بسیار



(ب)



(الف)

شکل ۷- انواع افشانک‌های استفاده شده در تفنگ اسفنج چسبان: (الف) استاندارد و (ب) نوک اردکی.

سلاح پخش‌کننده اسفنج چسبان

پس از تهیه فرمول‌بندی اسفنج چسبان، طراحی سلاحی برای پخش مناسب آن مطرح شد. در ابتدای بحث [۳] سامانه لازم برای تولید اسفنج چسبان در مقیاس آزمایشگاهی (شکل ۱) بررسی شد. این سامانه، ساختار کلی و اساس سلاح مناسب پخش اسفنج را نشان می‌دهد. از این‌رو، در اواخر دهه ۱۹۹۰ تعدادی از پژوهشگران آزمایشگاه ملی Sandia [۱] به بررسی سلاح اسفنج چسبان و آزمایش آن پرداختند. از نکات بسیار مهم در سامانه‌های تولید اسفنج چسبان، مخزن زیر فشار فرمول‌بندی آن و وجود فشار گاز کربن دی‌اکسید یا بخارهای حلال (پف‌دهنده) در قسمت بالایی این مخزن است. این عوامل نیروی جلوبرنده برای پخش اسفنج چسبان به محیط اطراف هستند. در نتیجه، این محفظه در تفنگ یا وسیله پخش‌کننده اسفنج باید در برابر ضربه‌ها و آسیب‌های احتمالی محافظت شود [۱،۳]. بدین ترتیب، کوله‌پشتی مخصوصی با ویژگی استحکام مناسب در برابر ضربه‌ها آماده شد. سپس، برای اولین بار مخزن اسفنج چسبان در برابر آسیب و فشارهای محیطی آزمایش شد. در ادامه، اصلاحات مدنظر روی این ابزار انجام شد تا ایمنی لازم را در این زمینه داشته باشد (شکل ۵). سلاح به دست آمده با کارایی بسیار مناسب، می‌تواند به طور مؤثر برای پخش کردن اسفنج چسبان در محیط‌های نظامی و انتظامی به کار رود. اما همان‌طور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود، این سلاح دارای مشکلاتی مانند حمل و نقل، اندازه بزرگ، قدرت مانور کم و محدودیت حرکت برای فرد مسلح به آن است.

با توجه به مطالب گفته شده، پژوهشگران آزمایشگاه Sandia [۱]



شکل ۵- تفنگ اسفنج چسبان و کوله‌پشتی در نظر گرفته شده برای آن [۱].

روی زندانی‌ها انجام گرفته است.

موادی مانند رزین‌های نفتی و ترکیبات هیدروکربنی می‌توانند باعث بروز مشکلاتی برای بدن انسان شوند. از سوی دیگر، گازهای متصاعد شده از پف‌دهنده پس از تشکیل اسفنج چسبان و گاز کربن دی‌اکسید نیز می‌توانند به ایجاد نشانه‌های خفگی و مرگ منجر شوند. این موضوعات در ادامه مطلب بررسی شده‌اند.

گروه پژوهشی آزمایشگاه ملی Sandia توانست با استفاده از اطلاعات ایمنی مواد تشکیل‌دهنده اسفنج چسبان، مقدار سمیت و خطرهای احتمالی آن را برای بدن و سلامتی انسان برآورد و ارزیابی کند. روغن‌ها و رزین‌های به‌کار رفته در این فرمول‌بندی‌ها، که بیشتر ترکیبات نفتی یا هیدروکربن‌ها هستند، فشار بخار بسیار کمی دارند. در نتیجه، خطر بسیار کمی برای بدن انسان ایجاد می‌کنند. این نتیجه‌گیری به دلیل موجود نبودن گزارشی در زمینه خطرهای ناشی از استنشاق این ترکیبات توسط انسان به‌دست آمده است.

باوجود این براساس گزارش‌های موجود، تماس مکرر این ترکیبات با پوست، که موجب سوزش‌های خفیف یا التهاب پوستی می‌شود، خطرهایی دربردارد. همچنین بررسی‌های بیشتر نشان می‌دهد، یکی از اجزای فرمول‌بندی اسفنج چسبان که روغنی سنگین و از ترکیبات نفتی است، ترکیبات مضر دارد. تماس‌های مکرر و طولانی مدت این ماده با پوست انسان موجب بیماری سرطان می‌شود. این موضوع به نوبه خود می‌تواند برای افراد تولیدکننده سلاح‌های یاد شده و شخصی که هدف قرار می‌گیرد، بسیار خطرناک باشد.

در مرحله بعدی پژوهش گروه پژوهشی مزبور، تعدادی از ترکیبات موجود در فرمول‌بندی اسفنج چسبان را که احتمالاً باعث به خطر انداختن سلامت انسان می‌شوند، به شکل تجربی مطالعه کردند. این ترکیبات را پف‌دهنده هالوژن‌دار شده، کربن دی‌اکسید، روغن و رزین نفتی تشکیل می‌دهند [۱].

آزمایش‌های انجام شده روی این ترکیبات نشان داد، ترکیبات پف‌دهنده هالوژن‌دار شده و کربن دی‌اکسید، اگر در فضایی محدود و بسته قرار داشته باشند، به‌سادگی و در زمان کوتاهی می‌توانند باعث خفگی شوند. اما با استقرار اسفنج چسبان در شرایط عادی و در منطقه‌ای با تهویه مناسب، افزایش غلظت این ترکیبات به عوارض خفگی و خطرات ناشی از آن منجر نمی‌شود [۱]. ترکیبات هالوژن‌دار شده در غلظت‌های بسیار زیاد می‌توانند موجب بروز حساسیت بافت قلب به اپی‌نفرین و به دنبال آن ایست قلبی شوند. این موضوع، به‌ویژه در محیط‌های بسته بسیار خطرناک است که در آن‌ها غلظت این ماده با تولید اسفنج چسبان افزایش می‌یابد.

مهمی را در چگونگی پخش‌شدن اسفنج چسبان خروجی از آن دارد [۱]. براساس نتایج به‌دست آمده، افشانک استاندارد (شکل ۷-الف) می‌تواند اسفنج چسبان را در محدوده‌ای گسترده، اما با دقت زیاد شلیک و پخش کند. اما، نوع نوک‌اردکی آن (شکل ۷-ب) پوشش‌دهی وسیع‌تر همراه با سرعت بیشتر را فراهم می‌کند. بنابراین، با تغییر افشانک می‌توان برحسب نیاز نوع متفاوتی از پخش اسفنج چسبان را شاهد بود.

سلاح اسفنج چسبان با افشانک استاندارد با هدف شبیه‌سازی روی آدمک آزمایش شده است (شکل ۸). هدف از این آزمون، تعیین قدرت مانور سلاح در مواقع عملیاتی است. نکته شایان توجه در فرایند بازداري این سلاح، مقدار اتصال اسفنج چسبان میان هدف و محیط اطراف آن است. به طوری که نبود اتصال میان اسفنج چسبان پرتاب شده روی هدف و دیوار یا زمین اطراف آن، موجب توقف حرکت فرد نمی‌شود، بلکه فقط تحرک آن را کاهش می‌دهد [۱].

نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های اولیه، کاربرد این سلاح را برای بازداري و جلوگیری از حرکت هدف تأیید می‌کند. آزمایش‌های لازم در مناطق نظامی هنوز انجام نشده است. این موضوع به دلیل پیچیدگی سلاح لازم برای این کار است. زیرا در مناطق نظامی باید از وسیله‌ای با قدرت پخش بسیار زیاد و گسترده استفاده شود.

ایمنی اسفنج چسبان برای انسان

با توجه به کاربرد اسفنج‌های چسبان در تماس با انسان و ترکیبات شیمیایی موجود در فرمول‌بندی آن‌ها، ایمنی و خطر این ترکیبات برای پوست و بدن انسان بسیار مهم است. بنابراین، آزمایشگاه ملی Sandia [۱] با هماهنگی سازمان‌های مرتبط، به آزمایش این سلاح روی پوست انسان اقدام کرد. تمام این آزمایش‌ها در محیط زندان و



شکل ۸- آزمایش تفنگ اسفنج چسبان با افشانک استاندارد روی آدمک مصنوعی.



شکل ۹- آزمایش اثر اسفنج چسبان روی پوست انسان [۱].

نتیجه‌گیری

اسفنج‌های چسبان دسته‌ای از مواد پلیمری هستند که به دلیل ماهیت اسفنجی و چسبنده، دارای کاربردهایی در زمینه‌های نظامی و انتظامی هستند. این مواد برای از حرکت بازداشتن هدف، استتار مناطق جنگی و کاهش میدان دید جنگ‌افزارها به کار می‌روند. از سوی دیگر، این سلاح را می‌توان برای کنترل شورش و اختلال در خیابان‌ها، به‌ویژه در زندان‌ها، استفاده کرد. فرمول‌بندی این اسفنج‌ها برپایه الاستومرهای گرمانرم است. همچنین، با افزودن رزین‌های چسبنده، مانند رزین فنولی و ترکیبات نفتی می‌توان استحکام چسبندگی زیادی را به آن‌ها بخشید. به‌منظور ایجاد خواص اسفنج‌شوندگی در این ترکیبات، از مواد پف‌دهنده هالوژن‌دار شده (کلروفلوئوروکربن‌ها) و گاز کربن دی‌اکسید استفاده می‌شود. بررسی فرمول‌بندی اسفنج چسبان نشان داد، افزودن عامل سطح‌فعال سیلیکونی و عوامل هسته‌زا (ذرات سیلیکا) به افزایش پایداری اسفنج چسبان منجر می‌شود. پخش اسفنج چسبان و پرتاب کردن آن به سلاح‌شانه‌ای نیاز دارد. تعویض افشانک قرار گرفته در سر سلاح، می‌تواند دامنه و دقت پرتاب اسفنج چسبان را تغییر دهد. همچنین، از این سلاح باید در محیط‌های باز و دارای تهویه مناسب استفاده شود. زیرا، تشکیل اسفنج چسبان و آزاد شدن گازهای ناشی از ترکیبات پف‌دهنده و کربن دی‌اکسید در محیط بسته و بدون تهویه، می‌تواند به خفگی و مرگ منجر شود. بررسی‌های پزشکی نشان می‌دهد، ترکیبات و روغن‌های نفتی و هیدروکربنی موجود در فرمول‌بندی اسفنج چسبان می‌توانند در پوست انسان سوزش و تورم ایجاد کنند. در اثر تماس‌های مکرر با این ترکیبات نشانه‌های سرطان در فرد مشاهده می‌شود. بررسی‌های میدانی اسفنج چسبان باعث معرفی آن‌ها به‌عنوان سلاحی غیرکشنده شده است تا نیروهای نظامی و انتظامی از آن استفاده کنند.

بنابراین، اسفنج چسبان در محیطی بسته و فضای محدود به‌وسیله آزمایش اولیه سلاح اسفنج چسبان تولید شد. درنهایت، غلظت پف‌دهنده هالوژن‌دار شده موجود در آن محیط را اندازه‌گیری کردند. از این روش مشخص شد، غلظت این ماده زیاد، بسیار خطرناک و نگران‌کننده است [۱].

اما همان‌طور که پیش از این هم اشاره شد، روغن و رزین استفاده شده در فرمول‌بندی اسفنج چسبان دارای فشار بخار بسیار کمی هستند. درنتیجه، در کاربردهای این محصول، که معمولاً در دمای معمولی است، خطر و آسیب جانی بر اثر استنشاق ایجاد نشده یا خطر بسیار کمی گزارش شده است. با این حال، تماس افراد با این ترکیبات طی به کارگیری سلاح، باعث سوزش‌های سطحی و التهاب پوست شده و در درازمدت موجب ابتلا به سرطان می‌شود [۱]. آزمایشگاه Sandia، باتوجه به نتایج به‌دست آمده از این آزمایش‌ها و کسب مجوز از سازمان‌های مربوط، با هدف آزمودن اسفنج چسبان روی پوست انسان، به کارگیری آن را در قالب آزمایشی در زندان انجام داد. هدف اصلی این آزمایش بدین شرح بود [۱]:

- ۱- تعیین استحکام چسبندگی اسفنج چسبان به پوست انسان،
 - ۲- یافتن روش‌هایی برای تمیزکردن اسفنج و حذف آن از پوست انسان،
 - ۳- تعیین زمان لازم برای حذف اسفنج از پوست انسان و
 - ۴- تعیین اثر مواد بهداشتی بر عملکرد این اسفنج‌ها که در اختیار زندانی‌ها قرار داده می‌شود.
- نتایج آزمایش‌های انجام شده روی پوست انسان به ترتیب زیر است [۱]:

- اسفنج چسبان بی‌درنگ به پوست می‌چسبد،
- روغن‌های آلی-معدنی، پاک‌کننده‌های مناسبی برای ازبین‌بردن اسفنج چسبان از روی پوست هستند و

مراجع

1. Scott S., Sticky Foam as a Less-than-Lethal Technology, Albuquerque: Sandia National Laboratory, 1995.
2. Fakhraian H., Anbaz K., Babaei Panbeh Risch M., and Ghafouri M., Preparation of Pressure Sensitive Adhesives for the Production of Sticky Foam at Ambient Temperature, *Int. J. Adhesion Adhes.*, **29**, 111-113, 2009.
3. Rand P.B., Sticky Foam, *U.S. Pat. 4,202,279*, 1980.
4. Yang M.S., Ko S.W., and Choi H.J., Effect of Glass Transition Temperature of Pressure Sensitive Adhesives on Light Leakage in LCD Panel, *J. Macromol. Sci., Part A: Pure Appl. Chem.*, **46**, 1142-1150, 2009.
5. Lushington D.K., *Transdermal Drug Delivery Adhesives with Foam Morphology*, PhD Thesis, Auburn University, 2011.
6. Norbut G.W., *Non-Lethal Weapons: Force Enabler for the Operational Commander Conducting Peace Operations*, Naval War College, USA, 2001.
7. Timm, R.E., Pressure Vessel for Dispensing Materials and Method for Filling Same, *US. Pat. 5,014,629*, 1991.
8. Arnold C. (Jr), Method of Preparation of Removable Syntactic Foam, *US. Pat. 5,432,205*, 1995.
9. Rand P.B., *Foams for Barriers and Nonlethal Weapons, Enabling Technologies for Law Enforcement and Security*, International Society for Optics and Photonics, 1997.
10. Kraynik A.M., Rheology of Thermoplastic Foam Extrusion, SAND-82-1903C; CONF-8205141-1, Sandia National Labs., Albuquerque, USA, 1982.
11. Mead J.W., Montoya O.J., Rand P.B., and Willan V.O., Blend of Polydimethylsiloxane and Freon, *US. Pat. 4,476,159*, 1984.