

مقایسه اثر پوشانندگی استتارکننده‌های مختلف در ناحیه طیفی فروسرخ (۸-۱۴ میکرومتر)

ضرغام رستمی^۱، یاسر موسوی^۲، بابک عباسیان^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۳/۲۰

چکیده

مقاله حاضر، حاصل مجموعه‌ای از آزمایشات عملی در خصوص مقایسه اثر پوشانندگی استتارکننده‌های مختلف در ناحیه طیفی فروسرخ می‌باشد که در تونل دود به وسعت ۶۰ متر مکعب صورت پذیرفت. سیستم پاشش مواد توسط موتور توربوچت انجام گرفت و هم‌زمان نتایج توسط دو دوربین حرارتی و مرئی ذخیره گردید. در این مجموعه از دو جسم داغ با دماهای مختلف که در فواصل متفاوت با سنسور حرارتی قرار داشتند، به‌عنوان شاخص استفاده شد. در ادامه، چند مات‌کننده که در ناحیه ۸ تا ۱۴ میکرومتر (فروسرخ) اثرگذار هستند مورد ارزیابی قرار گرفتند. با تحلیل فیلم‌ها و عکس‌های حرارتی تهیه‌شده مشخص گردید که پودر گرافیت (سنتزی و طبیعی) در ناحیه امواج فروسرخ نسبت به موادی چون اکسید آهن، کربن بلک و دولومیت بهترین نتیجه را داراست.

کلیدواژه‌ها: استتارکننده، حسگر حرارتی، سیستم پاشش، تونل دود، پودر گرافیت

۱- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد پدافند غیرعامل دانشگاه جامع امام حسین(ع) moslem.yaser@yahoo.com - نویسنده مسئول

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد پدافند غیرعامل دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۱- مقدمه

اساس سیستم‌های سنجش از دور، مبتنی بر اندازه‌گیری نوعی از انرژی است که انرژی الکترومغناطیس^۱ نامیده می‌شود. انرژی الکترومغناطیس که از طرف اشیاء به سمت سنجنده حرکت می‌کند توسط سنجنده دریافت، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. شناخته‌شده‌ترین نوع انرژی الکترومغناطیس همان نور است که مهم‌ترین منبع تولید آن، خورشید می‌باشد. خورشید انرژی الکترومغناطیس را در طول موج‌های مختلف تولید کرده و به اطراف گسیل می‌دارد [۱].

سامانه‌های سنجش از دور دشمن - از نوع فعال یا غیر فعال - به وسیله امواج الکترومغناطیسی رسیده به حسگرها می‌توانند هدف را شناسایی نمایند. به همین منظور هر سامانه‌ای که از رسیدن این امواج به حسگرها جلوگیری نماید و یا آن را تضعیف کند در اصطلاح «استتار» انجام داده است. استفاده از دود به اشکال مختلف (پتو، پرده و مه) در نزدیکی هدف در هر شرایطی، عاملی است که در پدافند غیرعامل از دیرباز مورد توجه بوده و به‌طور مکرر از آن استفاده شده است. دود به ذرات بسیار ریز مایع و جامد معلق در هوا گفته می‌شود که در هوا جریان دارد و با سرعت سقوط کم، بارهای الکتریکی را نیز جذب می‌کند. ابعاد ذرات دود، از کمتر از ۱ میکرومتر تا ۱۵ میکرومتر می‌باشد [۶].

در طول تاریخ، ارتش‌ها از دود برای گیج کردن، فریب و نشان دادن مکان و موقعیت‌های دشمنانشان استفاده می‌کردند. این امر از حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح با سوزاندن کاه نمودار صورت می‌گرفته است. در جنگ جهانی دوم هنگام بمباران، انگلیسی‌ها از دود برای پوشش بنادر، کارخانه‌ها و شهرهای بزرگ خود بسیار زیاد استفاده کردند. از طرف دیگر، تحقیقات زیاد کشورهای بزرگ مانند ایالات متحده آمریکا و روسیه در زمینه دود، اهمیت تحقیق در این زمینه را نشان می‌دهد [۷]. در کشور عزیزمان نیز تحقیقاتی در این زمینه صورت پذیرفته است [۲].

با پیشرفت تجهیزات شناسایی و آشکارسازی مبتنی بر استفاده از طیف‌های مختلف امواج الکترومغناطیس (مایکروویو، لیزری، حرارتی و ...) باید استتار به‌وسیله دود نیز در مقابل طیف‌های مختلف انجام پذیرد تا بتواند جوابگوی نیاز پدافندی امروز کشور باشد. به همین علت برای هر ناحیه، مواد دودزای مختلفی شناسایی شده و تست‌های مختلفی انجام شده است [۲] که دارای محاسن و معایب کاربری مختلفی می‌باشد.

امواج فرسوخ بخشی، از طیف الکترومغناطیسی است که دارای طول موجی بین ($0.760 \mu\text{m}$ - $100 \mu\text{m}$) می‌باشد. معمولاً ناحیه فرسوخ را به سه قسمت فرسوخ نزدیک^۲، فرسوخ میانی^۳ و فرسوخ دور^۴

تقسیم‌بندی می‌کنند. در برخی مقالات به دامنه ۱/۱ میکرومتر تا ۳ میکرومتر فرسوخ کوتاه^۵ اطلاق می‌کنند. یکی از مهم‌ترین بخش‌های فرسوخ، فرسوخ حرارتی است که به آن دسته طول موج‌هایی اطلاق می‌گردد که در اثر حرارت اجسام، تولید شده و تابیده می‌شوند. قسمت اعظمی از این انرژی‌های تابشی توسط اتمسفر جذب می‌شوند و تنها، پنجره‌ای در دامنه ۳ تا ۵ و ۸ تا ۱۴ وجود دارد که جذب اتمسفری در آن پایین بوده و باندهای حرارتی سنجنده‌ها نیز در همین قسمت قرار دارند [۱].

سیستم‌های تصویربرداری حرارتی^۶ که تحت عنوان "سیستم تصویربرداری جلو نگر"^۷ نیز نامیده می‌شوند، سیستم‌های غیر فعال^۸ می‌باشند، که در ناحیه فرسوخ میانی، طیف الکترومغناطیسی امواج را دریافت نموده و تبدیل به امواج مرئی قابل مشاهده در مانیتور می‌نماید. این سیستم‌ها از تابشی که از خود اجسام ساطع می‌گردد برای تصویربرداری استفاده می‌کنند. همان‌طور که اشاره شد، اجسام از خود امواج الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند که طیف پیوسته‌ای را می‌پوشاند و طول موج پیک و میزان توان گسیلی آن به دمای جسم بستگی دارد و طبق قانون پلانک هر جسمی که دمایش بالاتر از صفر مطلق باشد (۲۷۳ - درجه سانتی‌گراد)، انرژی از خود ساطع می‌کند [۳].

در این مقاله، یک مجموعه از آزمایشات در خصوص میزان پوشاندگی چند مات‌کننده در برابر دوربین حرارتی در ناحیه ۱۴-۸ میکرومتر مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت به وسیله ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش‌ها و مقایسه میزان مات‌کنندگی، ماده مورد نظر برای سامانه‌های پخش مواد، انتخاب می‌گردد.

۲- چگونگی عملکرد دود در اختلال

اصولاً از برهم‌کنش امواج الکترومغناطیس با ماده موارد زیر اتفاق می‌افتد:

- بازتاب
- عبور
- شکست
- جذب
- پراکندگی

بازتاب، شکست، پراکندگی و جذب انرژی امواج الکترومغناطیسی باعث می‌گردد که این امواج به حسگرها نرسند یا به میزان قابل توجهی کاهش پیدا نمایند. به طور کلی جذب و پراکندگی دو اثر غالب در تضعیف انرژی امواج می‌باشند که مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

5- Short wave
6- Thermal Imaging System
7- FLIR
8- Passive

1- Electromagnetic
2- Infrared Near
3- Mid Infrared
4- Far Infrared

۲-۱- جذب [۳]

به‌طور کلی یکی از نتایج برهم‌کنش پرتو با دود جذب است. از نظر کوانتومی، الکترون‌های موجود در اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهنده ماده دارای ترازهای انرژی گسسته‌ای هستند که جابجایی الکترون بین ترازها معادل با جذب یا گسیل مقدار انرژی معادل اختلاف این ترازهاست. از سوی دیگری، از نظر کوانتومی، باریکه الکترومغناطیسی متشکل از بسته‌های انرژی به نام فوتون است که متناسب با فرکانس موج الکترومغناطیس می‌باشد. حال، هنگامی یک فوتون می‌تواند در ذرات دود جذب شود که انرژی آن معادل انرژی لازم برای انتقال الکترون در بین ترازهای انرژی آن باشد.

۲-۲- پراکندگی [۳]

منظور از پراکندگی نور، حذف انرژی از موج فرودی توسط محیط پراکننده (دود) و گسیل مجدد قسمتی از آن انرژی در راستاهای متعدد است.

میزان پراکندگی امواج الکترومغناطیسی، به ابعاد ذره و طول موج امواج برخوردی بستگی دارد و در اثر برخورد این امواج با ذرات دود، سه مورد زیر اتفاق خواهد افتاد:

الف- پراکندگی ایزوتروپیک: اگر اندازه قطر ذره بسیار بزرگ‌تر از طول موج برخوردی باشد پراکندگی از نوع ایزوتروپیک اتفاق خواهد افتاد. $\lambda \ll \alpha$

قطرات آب موجود در مه و ابر چنین پخش را ایجاد می‌کنند و از آنجایی که این پخش، مستقل از طول موج است تمام طول موج‌های برخوردی را به‌طور مساوی در تمام جهات پراکنده می‌سازد.

ب- پراکندگی رایلی: پراکندگی رایلی، مربوط به پراکندگی نور در تمام جهات به‌وسیله مولکول‌های هوا است و می‌توان آن را به پراکندگی ذرات تا حدود یک‌دهم طول موج نور تعمیم داد. قطر ابعاد ذره، کوچک‌تر از اندازه طول موج برخوردی است؛ البته در این پراکندگی، بیشتر امواج جذب می‌شوند. $\frac{2\pi r}{\lambda} \ll (0.1, \lambda) \ll \alpha$

ج- پراکندگی مای: اگر قطر ابعاد ذره با طول موج برخوردی برابر باشد پراکندگی مای اتفاق خواهد افتاد. $\frac{2\pi r}{\lambda} \approx 10, \lambda \approx \alpha$

این پراکندگی الگویی شبیه یک آنتن در یک جهت با شدت بیشتر و تیزتر در جهت رو به جلو برای ذرات بزرگ‌تر ایجاد می‌کند [۳]. کاهش دادن کنتراست مشهود بین هدف و زمینه، تأثیر دوربین‌های حرارتی را تقلیل می‌دهد. تیره‌کننده‌ها عملکرد حسگر را به‌وسیله تضعیف اثر تابش هدف که به دوربین می‌رسد تخریب می‌کنند [۴].

۳- مواد دودزای موثر در مقابل حسگرهای حرارتی:

[۸و۵]

۱. الیاف میکرونی شیشه با پوشش Ni, Al, ...

۲. پودرهای رسانا (برنج، Pb, Al و ...).

۳. دولومیت

۴. اکسید آهن

۵. گرافیت طبیعی

۶. گرافیت سنتزی

۷. کربن سیاه

الیاف میکرونی شیشه پوشش داده‌شده

از الیاف میکرونی شیشه که با فلزاتی چون Ni, Al و ... پوشش داده می‌شوند می‌توان در برابر دوربین‌های حرارتی استفاده کرد. اولین بار در جنگ جهانی دوم، نیروهای متفقین برای گمراه کردن رادارهای دشمن، تعداد زیادی نوارهای فلزی (چف) را در فضا پخش می‌کردند. به‌مرور و با پیشرفت فناوری و با توجه به طول موج‌های استفاده‌شده در رادارهای نظامی، ابعاد ذرات چف تغییر کرد و با توجه به کوچک شدن آن‌ها، از این ذرات (با افزودن این ذرات به مواد دودزای پیروتکنیک) علاوه بر عملیات گمراه کردن، در عملیات استتاری نیز استفاده می‌شود [۸].

پودرهای رسانا

از ذرات میکرونی فلزات مس و آلیاژ برنج پوشش‌شده با قطر ۱/۷ میکرومتر و ضخامت ۲۳۰-۸۰ نانومتر برای استتار ناحیه فروسرخ استفاده می‌شود [۸]. با کاهش ابعاد ذرات پودر برنج به‌عنوان دود در مقابل دوربین حرارتی، ضریب استتار افزایش پیدا می‌کند [۲].

دولومیت

یکی از کانی‌های رایج سازنده سنگ‌های رسوبی با ساختار شیمیایی متشکل از کربنات کلسیم و منیزیم^۲ می‌باشد که در سیستم رومبوئندریک متبلور شده و در سه جهت رخ کامل دارند. اکثر دولومیت‌ها به رنگ‌های خاکستری مایل به کرم و سفید مایل به خاکستری یافت می‌شوند از این ماده با اندازه ابعاد ۱۰ میکرون، برای استتار در ناحیه فروسرخ استفاده می‌شود [۸].

اکسید آهن^۳

اکسید آهن یک ترکیب شیمیایی با جرم مولی ۲۳۱،۵۳۳ گرم بر مول می‌باشد. شکل ظاهری این ترکیب، پودری سیاه‌رنگ است. فرمول کلی این ترکیب، اکسید آهن چهار ظرفیتی است. دو ترکیب دیگر، یکی اکسید آهن دو ظرفیتی (FeO)، که ترکیبی کمیاب بوده و دیگری اکسید آهن سه ظرفیتی است که در شیمی به نام هماتیت معروف است [۹].

گرافیت طبیعی

گرافیت طبیعی یک شکل نرم و کریستالی کربن است که به دو دسته

1- Chaff
2- Ca Mg (CO3)2
3- Iron Oxide

ذرات دود که موازی با طول و ارتفاع تونل بود از سقف تا کف تونل تعبیه شد.

۴-۱-۲- جسم داغ

در آزمایشات از دو صفحه داغ (هیتر آزمایشگاهی) به قطر ۱۲ سانتی‌متر که با جریان الکتریسیته حرارت داده شده‌اند، استفاده شده است. هر کدام از این صفحات دارای دماهای مختلف بوده و در فواصل متفاوت نسبت به حسگر حرارتی قرار داده شده‌اند.

۴-۱-۳- سنسور حرارتی

از دوربین حرارتی مدل RS-D780B در محدوده ۸-۱۴ میکرومتر استفاده شده است. (شکل ۱)



شکل ۱- سنسور حرارتی

۴-۱-۴- سیستم پاشش

از یک دستگاه توربوجت با دور مشخص برای پاشش مواد استتارکننده که قدرت موتور آن ۲۳ هزار دور در دقیقه بود، استفاده شد. در آزمایش‌ها از بیشینه قدرت استفاده گردید. (شکل ۲)



شکل ۲- سیستم پاشش

کریستالی و میکرو کریستالی (که برخی اوقات به نام بی‌شکل^۱ شناخته می‌شود) شامل ناخالصی‌های مختلف مانند کوارتز، میکا، اکسید آهن و گرانیت است. محتوای سیلیس آزاد در گرافیت طبیعی بیش از ۱۱٪ می‌باشد [۱۰]. از پودر گرافیت می‌توان در برابر حسگرهای حرارتی در ناحیه فروسرخ استفاده کرد [۲].

گرافیت سنتزی

اساساً تولید گرافیت سنتزی شامل تغییر و تحول پیش‌ماده آلی به واسطه فرایندهای کربنی شدن و گرافیتی شدن است. در این فرایند، زغال^۲ یا کک تولیدشده به گرافیت تبدیل می‌شود. گرافیت‌های طبیعی شامل بیش از ۳۰٪ نوع بتا هستند در حالی که گرافیت‌های مصنوعی تنها حاوی نوع آلفا می‌باشند. نوع آلفا از طریق پردازش مکانیکی می‌تواند به بتا تبدیل شود و نوع بتا نیز بر اثر حرارت بالای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد دوباره به صورت آلفا برمی‌گردد. گرافیت مصنوعی از کک نفت تولید می‌شود [۱۰].

کربن بلک

کربن در نوع غیر بلورین آن اساساً گرافیت است اما به صورت ساختارهای بزرگ بلورین وجود ندارد. این شکل کربن، بیشتر به صورت پودر است که بخش اصلی موادی مثل ذغال چوب و سیاهی چراغ (دوده) را تشکیل می‌دهد. در حقیقت کربن بلک (کربن سیاه) شکل دیگری از کربن است که به آن دوده نیز گفته می‌شود. از طرف دیگر می‌توان گفت که دوده از سطوح کوچک گرافیت تشکیل شده است که این سطوح به صورت تصادفی توزیع شده و به همین دلیل است که کل ساختمان آن همسانگرد (ایزوتروپیک) است. چنین کربنی همسانگرد و مانند شیشه محکم است. لایه‌های گرافیت آن مانند کتاب مرتب نشده‌اند، بلکه مانند کاغذ خردشده می‌باشند [۱۱].

۴- آزمایش‌ها

تمامی آزمایش‌ها در تونل تست و با تجهیزات ذیل انجام گرفته است.

۴-۱- تجهیزات

تجهیزات عبارت‌اند از:

۴-۱-۱- تونل دود

در مقالات مختلف از تونل دود، با واژه «تونل نسیم^۳» یاد شده است [۱۲]؛ برای شبیه‌سازی به واقعیت و انجام آزمایش‌های عملی، از مطالب این مقالات استفاده گردید. به همین دلیل، تونلی با ابعاد ۱۵×۲×۲ متر احداث شد. در انتهای این تونل از یک فن که هوای داخل سوله را به طرف بیرون مکش می‌کند استفاده شد. در داخل و انتهای تونل (نزدیک فن) یک سری از پارچه‌های کتان برای جذب

1- Amorphous
2- Char
3- Breeze Tunnel



شکل ۶- نمای داخلی تونل

۴-۲- مواد مصرفی

در آزمایش‌ها از مواد جدول (۱) استفاده شد:

جدول ۱- مشخصات مواد مصرفی

رنگ ذرات	اندازه ذرات (میکرون)	فرمول شیمیایی	نوع مواد
سفید	≤ 35	$(C O_3) MgCa_2$	دولومیت
قرمز	≤ 35	Fe_2O_3	اکسید آهن
سیاه	≤ 20	C	کربن بلک
نوک مدادی	≤ 35	C	گرافیت سنتزی
سیاه کمرنگ	≤ 40	C	گرافیت طبیعی

۴-۳- روش آزمایش‌ها:

روش آزمایش به صورت ذیل انجام گرفت:

در هر آزمایش ابتدا مقدار ۲ کیلوگرم از مواد (به صورت پودر) داخل سیلندر دستگاه پاشش قرار داده شد. اجسام داغ (هیتر) به وسیله جریان برق تا دمای مورد نظر گرم شدند. طبق شکل (۱)، این اجسام، داخل تونل و در فواصل معینی از سنسور حرارتی قرار گرفتند. پس از رسیدن حرارت اجسام داغ به دمای مورد نظر، فن انتهایی تونل روشن شد تا میزان سرعت باد توسط بادسنج در داخل تونل تعیین و ثبت گردد. حسگر حرارتی و نیز دستگاه ضبط‌کننده فیلم حرارتی در وضعیت روشن قرار گرفتند.

در شرایط فوق، دستگاه توربوجت با بیشینه قدرت خود شروع به

۴-۱-۵- ترمومتر لیزری:

برای اندازه‌گیری دقیق دمای صفحات داغ از یک ترمومتر لیزری استفاده شد و در همه آزمایش‌ها قبل از پاشش مواد درون تونل، دما ثبت شد. (شکل ۳)



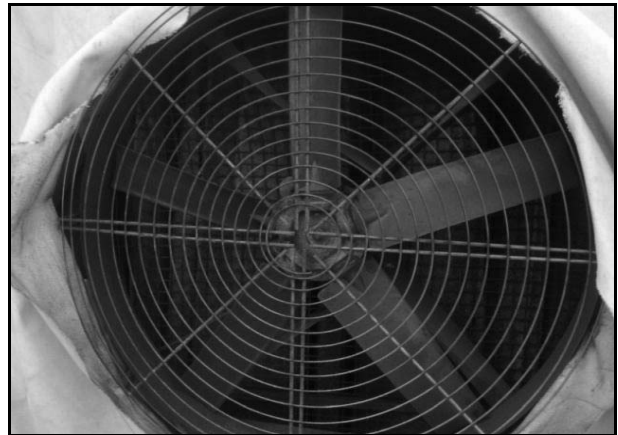
شکل ۳- ترمومتر لیزری و جسم داغ (هیتر)

۴-۱-۶- بادسنج

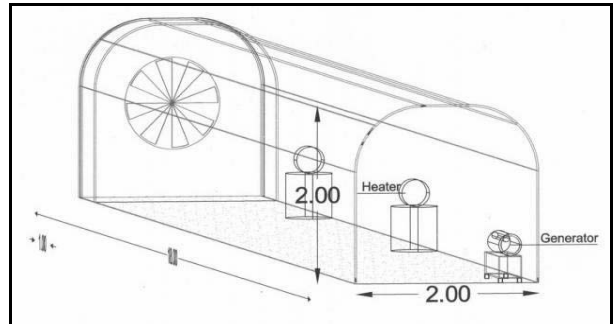
برای اندازه‌گیری سرعت باد در تونل، از بادسنج دیجیتالی مدل LM-81AM استفاده شد.

۴-۱-۷- فن

همان‌طور که اشاره شد یک فن به ابعاد 30×30 سانتی‌متر که توانایی مکش هوای داخل سوله را به اندازه ۳ الی ۴ بار در دقیقه داشت، استفاده شد. (شکل ۴)



شکل ۴- فن



شکل ۵- نمایی از تونل و نحوه قرار گرفتن تجهیزات

۴. کربن بلک

۵. اکسید آهن

برای هر کدام از این آزمایش‌ها، فیلم تهیه و سپس به وسیله نرم‌افزار Fast Stone Capture این فیلم‌ها تبدیل به عکس شدند تا بتوان از آن‌ها برای ارائه اطلاعات اخذ شده استفاده کرد (شکل ۲). در تمامی تصاویر، علامت «+» در مرکز تصاویر قابل رؤیت می‌باشد که نشانگر مرکز تصویر دوربین حرارتی است.

نکته: چون در دستگاه پخش مواد از موتور توربوجت استفاده شده است، و از طرفی احتراق سوخت در این دستگاه هنگام پخش مواد، حرارت تولید می‌نماید، این حرارت باعث می‌شود تا ذرات، هنگام خروج دارای حرارت باشند. به همین دلیل در تصاویر گرفته شده، قسمت جلویی دستگاه نسبت به مکان‌های دیگر روشن‌تر می‌باشد.

۵- نتایج و بررسی

شکل (۸) تصویر گرفته شده از آزمایش ۱ (دولومیت) را نشان می‌دهد. این تصویر، بیشینه غلظت دولومیت در تونل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشخص می‌باشد، سنسور حرارتی، گسیل انرژی کمتری از اجسام داغ ۱ و ۲ را نسبت به شاخص دریافت کرده است. این امر نشان‌دهنده آن است که دولومیت توانایی استارکنندگی دارد ولی قدرت آن ضعیف می‌باشد و استتار کامل برای هیچ کدام از اجسام داغ صورت نگرفته است.



شکل ۸- آزمون دولومیت

این در حالی است که پوشانندگی گرافیت طبیعی برای این آزمایش صد درصد بوده است؛ و با وجود علامت «به‌علاوه» در وسط تصویر اخذ شده، هیچ گسیل انرژی از اجسام داغ به سنسور حرارتی نرسیده است. شکل (۹) تصویر گرفته شده از آزمایش گرافیت طبیعی را نشان می‌دهد. همین شرایط برای آزمایش گرافیت سنتزی نیز صادق می‌باشد.

پاشش مواد پودری در داخل تونل کرده و سپس نتایج مات‌کنندگی توسط دستگاه ضبط‌کننده جمع گردید. از فیلم‌های تهیه شده در این آزمایش‌ها، عکس تهیه شده و سپس تصاویر به دست آمده، نسبت به شاخص (شکل ۷) مورد مقایسه قرار گرفتند.



شکل ۷- شکل بالا عکس حرارتی گرفته شده توسط دوربین حرارتی را در داخل تونل، قبل از آزمایش‌ها نشان می‌دهد

در هر آزمایش، پارامترهای مندرج در جدول (۲)، ثابت در نظر گرفته شد:

جدول ۲- پارامترهای آزمایش

مقادیر	پارامترها
۲ کیلوگرم	مقدار مواد در هر آزمایش
$1/1 \pm 2$ متر بر ثانیه	سرعت باد
ماکزیمم سرعت	دور موتور توربوجت
۱۷۰C درجه سانتی‌گراد	دمای جسم داغ ۱
۳۰۰C درجه سانتی‌گراد	دمای جسم داغ ۲
۶ متر	فاصله جسم داغ ۱ از سنسور
۱۳ متر	فاصله جسم داغ ۲ از سنسور

۴-۴- آزمایشات انجام گرفته

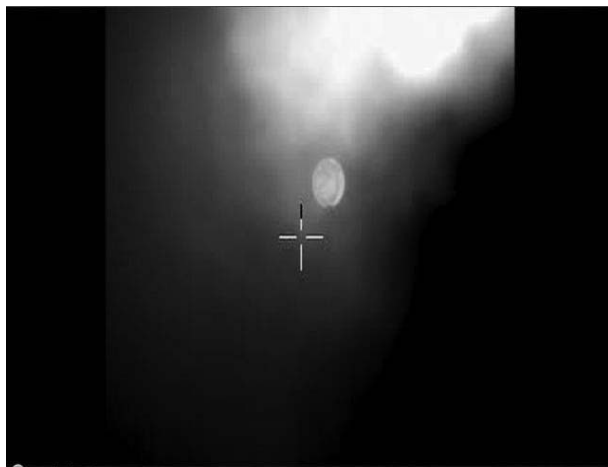
مانند آنچه در روش آزمایش تشریح گردید در آزمایشات ۱ تا ۵ به ترتیب از مواد زیر با مشخصات جدول (۱) استفاده شد:

۱. دولومیت
۲. گرافیت طبیعی
۳. گرافیت سنتزی



شکل ۱۱- آزمون کربن بلک

شکل (۱۲) تصویر حرارتی ثبت شده در آزمایش اکسید آهن را نشان می‌دهد. در این تصویر نیز مشابه آزمایش کربن بلک، گسیل انرژی از جسم داغ ۲ دریافت نشده است. ولی میزان دریافت گسیل انرژی از جسم داغ ۱ در این آزمایش کمتر از میزان دریافت انرژی از جسم داغ ۱ در آزمایش‌های کربن بلک و دولومیت می‌باشد.



شکل ۱۲- آزمون اکسید آهن

پس می‌توان با در کنار هم قرار دادن این تصاویر و مقایسه بین آن‌ها، میزان مات‌کنندگی مواد ذکر شده را به ترتیب ذیل بیان کرد:

- ۱- گرافیت طبیعی و سنتزی
- ۲- اکسید آهن
- ۳- کربن بلک
- ۴- دولومیت



شکل ۹- آزمون گرافیت طبیعی

شکل (۱۰) تصویر گرفته شده در آزمایش گرافیت سنتزی می‌باشد. این تصویر نشان‌دهنده آن است که میزان پوشاندگی هر دو گرافیت طبیعی و سنتزی در شرایط یکسان مشابه می‌باشد.



شکل ۱۰- آزمون گرافیت سنتزی

شکل (۱۱) تصویر حرارتی گرفته شده از آزمایش کربن بلک می‌باشد. در این تصویر هیچ گسیل انرژی از جسم داغ ۲ توسط دوربین ثبت نشده است؛ در حالی که جسم داغ ۱ در تصویر مشخص می‌باشد. این تصویر نشان می‌دهد که میزان پوشاندگی کربن بلک از گرافیت طبیعی و سنتزی کمتر بوده ولی از دولومیت بیشتر می‌باشد. نکته دیگر آنکه میزان گسیل انرژی جسم داغ ۱ در شکل‌های (۸) و (۱۱) تفاوت آنچنانی با هم ندارند ولی جسم داغ ۲ در آزمایش کربن بلک کاملاً نامشخص می‌باشد. از این نکته این نتیجه اخذ خواهد شد که میزان پوشاندگی این دو ماده، تابع فاصله از سنسور حرارتی می‌باشد. یعنی هرچه از سنسور حرارتی فاصله گرفته شود میزان استتار اهداف توسط دود تولید شده با کربن بلک، نتیجه بهتری نسبت به دولومیت خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

در آخر ضمن تشکر از اداره تحقیقات سپاه که امکانات انجام این تست‌ها را فراهم نموده‌اند، از زحمات بی دریغ آقای حسین مؤمنیان، دکتر سید عباس وزیر، مهندس فیروز قنبری، مهندس مهدی یساقی و مهندس مطهری که الطاف بی‌دریغشان در تهیه این مقاله شامل حال بنده گردید تقدیر و تشکر می‌نمایم.

مراجع

۵. مؤمنیان، حسین؛ شیمی مواد منفجره، دانشگاه امام حسین(ع)، (۱۳۸۹).
 6. Smoke Obscurants, Non-Lethal and Flame", FM3-100, Chapter 5.
 7. Smoke Operation, FM3-50, Chapter 1.
 8. A. Singh, P. J. Kamale, S.S. Joshi, L.K. Bankar, Defence Science Journal, Bursting Smoke as an Infrared Countermeasure Amarjit Singh, Vo148, No 3, July (1998), pp. 297-301
 9. Handbook of Inorganic Chemicals. McGraw-Hill, Pradyot Patnaik, (2002).
 10. www.education.jlab.org/itselemental/ele006.html It's Elemental – Carbon.
 11. H. O. Pierson, Handbook Of Carbon, Graphite, Diamond And Fullerenes; Properties, Processing and Applications, Noyes Publications, (1993).
 12. G.A. Sehmel, E.S.Catalano, R. Bonfate, E. G. Kuffel, 1993 b. R Log Q ner-gr Trials Using Brass Flakes in the Breeze Tunnel During August (1991) PNL-8625, Richland, Washington.
۱. فاطمی، سید باقر؛ رضایی، یوسف؛ مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، (۱۳۸۹).
 ۲. وزیر، سیدعباس؛ مقایسه اثر استتاری ذرات پودر آلیاژ برنج، با مخلوط پودر و الیاف گرافیت در ناحیه طیفی فرسرخ، فصلنامه پدافند غیرعامل، دانشگاه امام حسین (ع)، سال اول، شماره ۴، پاییز (۱۳۸۹).
 ۳. خزایی، صفا؛ مبانی سنجش از دور با نگرشی بر شناسایی و مراقبت، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه امام حسین(ع)، (۱۳۸۸).
 ۴. قنبری، فیروز؛ استتار؛ روش‌ها، فناوری‌ها و مواد، قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء(ص)، (۱۳۸۹).

Comparison of Different Camouflage Obscuration in Infrared Spectral Region (8-14 Micrometer)

Z. Rostami¹

S. Y. Mousavi²

B. Abbasian³

Abstract

This paper is a collection of practical tests about the comparison of the different obscuration effect in the infrared wave range taking place at a smoke tunnel with an area of 60 cube meters. Matter spraying system was carried out by turbojet motor and was recorded simultaneously by two optical and thermal cameras. In this collection, two hot bodies with different temperatures and distances relative to the thermal sensor were used as a sample. At the end, several materials that are affected in the infrared wave range were assessed. By analyzing thermal films and pictures, it was evident that graphite powder (synthetic and natural) in the infrared wave range in comparison with the substances such as iron oxide, carbon black and dolomite contains the best result.

Key Words: *Camouflaging, Thermal Sensor, Spraying System, Smoke tunnel, Graphite Powder*

1- Assistant Professor and Academic Member of Imam Hossein University

2- M.S Candidate of Passive Defense, Imam Hossein University (moslem.yaser@yahoo.com) - Writer in Charge

3- M.S Candidate of Passive Defense, Imam Hossein University