# Camouflage Technologies of Infrared Cameras

E. Ghasemi, M. Behzad Fallahpour*

## Abstract

Hiding military equipment is one of the essential factors in establishing military superiority. Nowadays, most of the military devices, from night vision cameras to cameras mounted on military weapons, are equipped with infrared cameras. By using the temperature emitted from the objects, they can be identified in different situations, including absolute darkness. The multiple capabilities of these cameras in monitoring the other party's military capabilities have made camouflage technologies in this field more important, so that the development and research of new infrared camouflage methods and thermal cameras have become the focus of strategic development of countries around the world. This paper is a review paper in the field of infrared cameras, which is not similar in any other reference, and with a comprehensive view, while explaining the applications and principles of operation of infrared systems, it examines various methods of countermeasure with this type of camera. Also, at the end of the paper, a comprehensive classification of methods to countermeasure with this type of camera is presented.

**Key Words:** *Infrared, Camera, Camouflage, Thermal Detector*

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

**Publisher:** Imam Hussein University © Authors

* Ph.D, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. (m_behzad_fp@yahoo.com) -Writer-in-Charge

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، (پیاپی ۵۶): صص ۱۴۳-۱۲۹

علمی - ترویجی

# روش‌های مقابله با دوربین‌های مادون قرمز

الهام قاسمی[۱]، مجتبی بهزاد فلاح پور[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶

## چکیده

مخفی‌کردن تجهیزات نظامی یکی از عوامل ضروری در ایجاد برتری نظامی است. امروزه اغلب ادوات نظامی از دوربین‌های دید در شب گرفته تا دوربین‌های سوار بر اسلحه‌های نظامی مجهز به دوربین مادون قرمز هستند. با استفاده از دمای ساطع شده از اجسام می‌توان آن‌ها را در موقعیت‌های مختلف و از جمله تاریکی مطلق شناسایی کرد. قابلیت‌های فراوان این دوربین‌ها در رصد تواناهایی‌های نظامی طرف مقابل باعث شده تا فناوری‌های استتار در این حوزه مورد توجه بیشتری قرار گیرند به‌طوری‌که توسعه و تحقیق روش‌های جدید استتار مادون قرمز و دوربین های حرارتی به کانون توسعه راهبردی کشورها در سراسر جهان تبدیل شده است. این مقاله با یک نگاه جامع، ضمن تشریح کاربردها و اصول عملکرد سامانه‌های مادون قرمز به بررسی انواع روش‌های مقابله با این نوع از دوربین‌ها می‌پردازد. همچنین در انتهای مقاله یک دسته‌بندی جامع از روش‌های مقابله با این نوع دوربین‌ها ارائه می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** مادون قرمز، دوربین، استتار، تشخیص‌گر حرارتی

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

[۲] دکتری تخصصی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران (m_behzad_fp@yahoo.com) - نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

تشعشعات مادون قرمز[1] (IR)، ناحیه‌ای از طیف تابش الکترومغناطیسی است. امواج مادون قرمز، طولانی‌تر از امواج نور مرئی و کوتاه‌تر از امواج رادیویی هستند. به همین ترتیب، امواج IR بالاتر از فرکانس‌های مایکروویو، اما کمتر از فرکانس‌های نور مرئی است و از حدود ۳۰۰ گیگاهرتز تا ۴۰۰ هرتز متغیرند. نور مادون قرمز برای چشم انسان نامرئی است، اگرچه امواج مادون قرمز طولانی‌تر را می‌توان به‌عنوان گرما حس کرد. طول موج مادون قرمز بین ۰/۷۵ تا ۱۰۰۰ میکرومتر است، در حالی که طیف مرئی برای انسان بین ۳۸۰ تا ۷۴۰ نانومتر است [۱].

سامانه‌های تشخیص حرارتی یا مادون‌قرمز از حسگرهایی برای دریافت تابش در قسمت مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی استفاده می‌کنند. یک دوربین مادون قرمز انرژی حرارتی یا گرمای ساطع شده از صحنه‌ی مشاهده شده را تشخیص داده و آن را به سیگنال الکترونیکی تبدیل می‌کند. سپس این سیگنال برای تولید یک تصویر پردازش می‌شود. گرمای جذب شده توسط دوربین مادون قرمز را می‌توان با درجه بالایی از دقت اندازه‌گیری کرد. این بدان معناست که دوربین‌های مادون قرمز را می‌توان برای مواردی مانند بررسی عملکرد حرارتی استفاده کرد. هر چه دمای جسم یا شی بالاتر باشد، تشعشع بیشتری از آن ساطع می‌شود [۲].

مادون‌قرمز نوعی موج الکترومغناطیسی است. اگر دمای یک جسم بالاتر از دمای مطلق ترمودینامیکی باشد، تابش مادون قرمز رخ می‌دهد. تصویربرداری حرارتی مادون قرمز معمولاً به تصویربرداری مادون قرمز میانی و تصویربرداری مادون قرمز دور اشاره دارد.

برخلاف تصور رایج، دوربین‌های مادون‌قرمز نمی‌توانند پشت دیوارها یا سایر اجسام جامد را ببینند. آن‌ها فقط می‌توانند گرمای ساطع شده از صحنه مشاهده شده را اندازه گیری کنند. به عنوان مثال، یک تصویر حرارتی از یک دیوار، اگر منبع گرمایی در پشت آن وجود داشته باشد جریان گرما را از طریق دیوار نشان می‌دهد، اما خود منبع گرما را نمی‌تواند ببیند. یک از مهم ترین کاربردهای مادون قرمز، دوربین‌های حرارتی هستند که با طول موج مادون قرمز بلند کار می‌کنند [۳].

بسیاری از فعالیت‌های نظامی امنیتی دنیا مانند دوربین‌های حرارتی تسلیحات، عینک‌های دید در شب پیشرفته، موشک‌های جستجوگر حرارتی، کشف مین‌های زمینی، سامانه‌های هوایی بدون سرنشین و بسیاری موارد دیگر به فناوری مادون‌قرمز در مناطق جنگی متکی هستند. دوربین‌های مادون قرمز می‌توانند حتی مین‌های غیرفلزی را که توسط فلزیاب‌های معمولی شناسایی نمی‌شوند، شناسایی کنند [۴]. از این رو در این مقاله به بررسی روش‌های استتار در مقابل دوربین‌های مادون قرمز پرداخته می‌شود. در واقع این مقاله، یک مقاله پژوهشی و مروری در حوزه دوربین‌های مادون قرمز است که با یک نگاه جامع و با استفاده از معتبرترین منابع در این زمینه تلاش می‌کند تا ضمن مرور بر کاربردها و اصول عملکرد سامانه‌های مادون قرمز به بررسی مهمترین روش‌های مقابله با این نوع از دوربین‌ها بپردازد. تاکنون مشابه این مقاله در مرجع دیگری مشاهده نشده است و با توجه به گستردگی و همچنین پیشرفت‌های بسیار زیاد در حوزه دوربین‌های مادون قرمز، استفاده از راهکارهای روز دنیا برای مقابله با این نوع از سامانه‌ها بسیار ضروری است. فلذا در این مقاله سعی می‌گردد ضمن مرور مهم‌ترین و بروزترین روشهای مقابله موجود در دنیا که قابلیت عملیاتی دارند به ارائه یک دسته‌بندی جامع از روش‌های مقابله پرداخته شود. اهمیت این دسته بندی از آن جهت است که زمینه را برای ارائه راهکارهای مقابله با این نوع از سامانه‌ها در قالب طرح‌های پدافندی استتار و اختفا فراهم می‌کند.

این مقاله در ادامه از بخش‌های زیر تشکیل شده است: در بخش دوم کاربردهای دوربین مادون قرمز بیان می‌شود. در بخش سوم، اصول عملکرد دوربین‌های مادون‌قرمز تشریح خواهد شد، در نهایت بخش چهارم به بررسی روش‌های مقابله موجود در دنیا می‌پردازد.

## ۲- کاربردهای دوربین مادون‌قرمز

در این قسمت تلاش می‌شود مهم‌ترین و به‌روزترین کاربردهای دوربین مادون قرمز در صنایع مختلف به‌صورت تجمیعی ارائه شود. این کاربردها که عمدتا نظامی می‌باشند اهمیت مقابله با این نوع از سامانه‌ها را بیش از پیش مشخص می‌سازد. از تصویربرداری حرارتی می‌توان برای ارزیابی کابل‌ها و اتصالات مختلف که در پشت دیوارها پنهان شده‌اند استفاده کرد. مهندسان می‌توانند با شناسایی سامانه‌های فعال، تعمیر و نگهداری را انجام و عیوب را تشخیص دهند.

افسران پلیس و مجریان قانون می‌توانند از تصویربرداری حرارتی برای شناسایی مجرمان در آب‌وهوای نامناسب، تاریکی یا در محیط‌های مبهم مانند جنگل‌ها استفاده کنند. تقریباً تمام گروه‌های نظامی در جهان در حال حاضر از فناوری تصویربرداری حرارتی به شکل دوربین‌های یکپارچه استفاده می‌کنند.

کاربردهای تصویربرداری حرارتی در امنیت را می‌توان برای شناسایی اتاق‌های پر از دود، ایجاد امنیت در خانه‌ها، یافتن

[1] Infrared

سلاح‌ها و مواد شیمیایی که به زندان‌ها قاچاق می‌شوند، استفاده کرد. یک دوربین ساده با سنسور مادون قرمز و برخی نرم افزارها می‌توانند وجود یک چاقو یا تفنگ مخفی را آشکار کنند [۵].

از تصویرگرهای حرارتی برای بررسی دمای بدن حیوانات و بررسی اینکه آیا دمای سطح یکنواختی دارند یا خیر استفاده می‌شود. این معاینات بیشتر روی حیوانات خانگی انجام می‌شود. یک دوربین حرارتی برای حیوانات می‌تواند مشاهدات و درک دقیقی از رفتار حیوانات ارائه دهد. ازآنجایی‌که برخی جمعیت‌های خاص حیوانات در شب فعال‌تر هستند، دوربین حیات وحش مادون قرمز اجازه می‌دهد تا دید بهتری نسبت به مناطق وحشی اطراف وجود داشته باشد. جمعیت جانوران را می‌توان با دقت بالاتری مشاهده کرد و برای مدیریت سرزمینی که در آن زندگی می‌کنند گام های مناسب برداشت [۶].

تصویرگرهای حرارتی به آتش‌نشانان کمک می‌کنند تا فراتر از ابر غلیظ دود را ببینند و آنچه را که در پشت آن وجود دارد، آشکار کنند. این موضوع کمک بزرگی برای یافتن افرادی است که در داخل یک ساختمان گیر افتاده اند و نیز روش مناسبی برای شناسایی یک نقطه ورودی برای نجات است که دمای نسبتاً پایینی دارد [۷].

دوربین‌های حرارتی پزشکی دستگاه‌های بسیار دقیقی هستند که قادر به اندازه‌گیری دمای سطح پوست و تصویربرداری از تمام قسمت‌های بدن انسان با جزئیات دقیق هستند. ترموگرافی پزشکی کاربردهای زیادی دارد. یک دوربین تصویربرداری حرارتی پزشکی یک تصویر حرارتی ایجاد می‌کند که سطوح مختلفی از گرما را که از بدن انسان ساطع می‌شود نشان می‌دهد. این تصویر به‌عنوان سیگنالی برای دمانگارها، اپراتورها یا پزشکان در مواقعی که درجه حرارت بدن طبیعی یا بالا است، عمل می‌کند. علاوه بر آن، یک دوربین تصویربرداری حرارتی پزشکی می‌تواند برای اندازه‌گیری بخشی از بدن به منظور تشخیص درجه حرارت بالا که می‌تواند ناشی از التهاب، مشکلات گردش خون، آسیب یا عفونت احتمالی باشد، استفاده شود [۸].

هوافضا به‌دلیل ایمنی بالا و الزامات مواد ارائه شده، بیشترین تقاضاها را برای سامانه‌های دوربین مادون قرمز دارد. شرکت‌های هوافضا می‌توانند از ترموگرافی برای آزمایش جریان‌های گرمای فعال بر روی مواد کامپوزیتی جدید استفاده کنند تا اطمینان حاصل شود که نسل بعدی هواپیماهای سبک‌تر و کم‌مصرف‌تر و ایمن خواهند بود [۹].

صنایعی که با مواد شیمیایی خطرناک و غیرخطرناک سروکار دارند، می‌توانند از دوربین‌های مادون قرمز برای تشخیص جریان گرمای حاصل از فرآیندهای شیمیایی استفاده کنند. تصویربرداری حرارتی اندازه گیری توزیع دما را دقیق‌تر و آسان‌تر می‌کند و همچنین امکان تجزیه و تحلیل واکنش‌های شیمیایی را در کل زنجیره فرآیند فراهم می آورد.

فناوری‌های مادون قرمز برای کمک به جنگجویان در شناسایی سیم‌های مخفی و تله‌های انفجاری، افزایش توانایی دیدن اهداف استتار شده، شناسایی مین‌های مدفون و بمب‌های دست‌ساز، هدف‌گیری و ردیابی پیشرفته موشک‌ها، خمپاره‌ها و هواپیماهای بدون سرنشین، روشی مهم است. وسایل نقلیه و سایر تهدیدات هوایی در به دست آوردن، مکان‌یابی و شناسایی هدف از این فناوری استفاده می‌کنند [۱۰].

آشناترین کاربردهای فناوری مادون‌قرمز توسط ارتش، اسکنرهای فروسرخ ، سرهای هدایت موشک و عینک دید در شب است. اسکنرهای مادون قرمز با شناسایی اجسام گرم در محیط خنک‌تر، نه تنها به خلبانان کمک می‌کنند تا در مه پرواز کنند، بلکه منابع گرمایی مانند افراد و مخازن را نیز تشخیص می‌دهند. عینک‌های دید در شب به سربازان اجازه می‌دهد تا در سطوح نوری نزدیک به تاریکی مطلق، ببینند و به آن‌ها اجازه می‌دهند چیزهای اطراف خود مانند افراد، حیوانات یا وسایل نقلیه متحرک را که در مادون قرمز می‌درخشند، ببینند [۱۱].

یک میدان حاوی مین‌های زمینی، الگوی مشخصی از نقاط حساس یکسان را نشان می‌دهد. با استفاده از حسگرهای فروسرخ، هواپیماهای بدون سرنشینی که بر فراز میدان‌های جنگ پرواز می‌کنند، می‌توانند الگوهای نقاط داغ را شناسایی کرده و مین‌های زمینی را برای تیم‌های پاک‌سازی مکان‌یابی و ترسیم کنند [۱۲].

پهپادها و ربات‌ها در حال حاضر نقش اصلی را در عملیات نظامی ایفا می‌کنند. این ابزار مجهز به حسگرهای مختلف که برخی از آن‌ها دارای فناوری مادون قرمز هستند، به سربازان خط مقدم کمک می‌کند تا موقعیت‌ها را در طیف وسیعی از محیط‌های مختلف بهتر مشاهده و ارزیابی، و محافظت بیشتری را برای سربازان فراهم کنند.

پایگاه‌های نظامی با توجه به حجم اطلاعاتی که در اختیار دارند، هدف بزرگی برای تروریست‌ها و منابع دشمن هستند. نه تنها سربازان نظامی هنگام نگهبانی برای پایگاه خود از عینک دید در شب حرارتی استفاده می‌کنند، بلکه دوربین‌های اطراف نیز با

دید حرارتی حضور دارند تا بتوانند در تمام ساعات اطلاعات را جمع آوری کنند[۱۳].

## ۳- اصول عملکرد دوربین‌های مادون قرمز

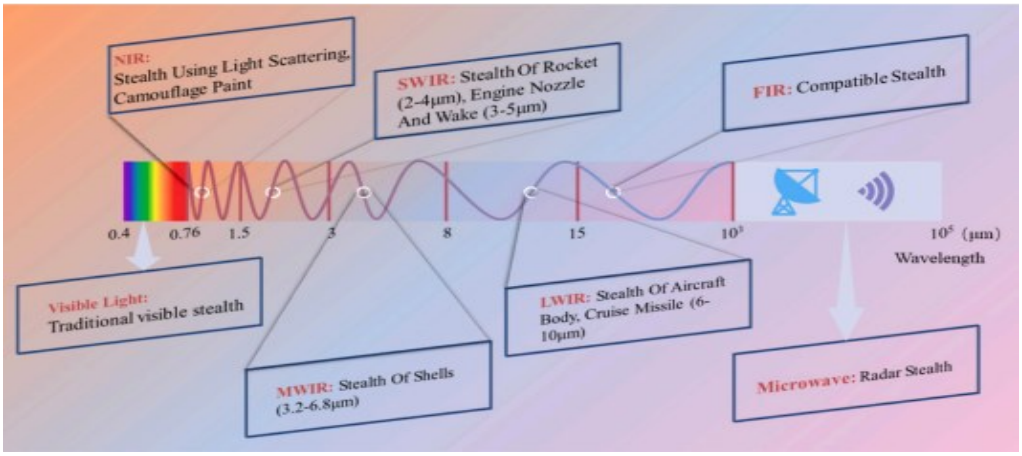
در این قسمت اصول عملکرد دوربین‌های مادون‌قرمز بیان می‌شود. آشنایی با این قسمت برای بیان راهکارهای استتاری بخش بعد لازم و ضروری است فلذا از این جهت دارای اهمیت است. همه اجسام انرژی مادون قرمز ساطع می‌کنند که به عنوان امضای گرما شناخته می‌شود. یک دوربین مادون قرمز (که به‌عنوان تصویرگر حرارتی نیز شناخته می‌شود) انرژی مادون قرمز اجسام را شناسایی و اندازه گیری می‌کند. دوربین این داده‌های مادون قرمز را به یک تصویر الکترونیکی تبدیل می‌کند که دمای ظاهری سطح جسم مورد اندازه گیری را نشان می‌دهد.

یک دوربین مادون قرمز حاوی یک سامانه نوری است که انرژی مادون قرمز را روی یک تراشه آشکارساز ویژه (آرایه حسگر) متمرکز می‌کند، این تراشه حاوی هزاران پیکسل آشکارساز است که در یک شبکه مرتب شده اند. هر پیکسل در آرایه حسگر به انرژی مادون قرمز متمرکز شده روی آن واکنش نشان می‌دهد و یک سیگنال الکترونیکی تولید می‌کند. پردازنده دوربین سیگنال هر پیکسل را می‌گیرد و یک محاسبه ریاضی روی آن اعمال می‌کند تا یک نقشه رنگی از دمای ظاهری جسم ایجاد کند. به هر مقدار دما رنگ متفاوتی اختصاص داده می‌شود. ماتریس حاصل از رنگ‌ها به عنوان تصویر دمایی (تصویر حرارتی) از آن جسم به حافظه و به نمایشگر دوربین ارسال می‌شود.

بسیاری از دوربین‌های مادون قرمز همچنین دارای یک دوربین نور مرئی هستند که با هر بار کشیدن ماشه به طور خودکار یک تصویر دیجیتال استاندارد می‌گیرد. با ترکیب این تصاویر، ارتباط مناطق مشکل‌دار در تصویر مادون قرمز با تجهیزات واقعی یا منطقه در حال بازرسی، آسان‌تر می‌شود[۱۴].

فراتر از قابلیت‌های اولیه تصویربرداری حرارتی، می‌توانید دوربین‌های مادون‌قرمز را با طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های اضافی بیابید که عملکردها را خودکار می‌کند، اجازه ذخیره صوتی را می‌دهد، وضوح تصویر را بهبود می‌بخشد، ضبط و پخش ویدیو از تصاویر، تجزیه و تحلیل و گزارش پشتیبانی می‌کند. بطور کلی سامانه‌های تشخیص حرارتی یا مادون قرمز از حسگرهایی برای دریافت تابش در قسمت مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی استفاده می‌کنند. یک دوربین مادون قرمز انرژی حرارتی یا گرمای ساطع شده از صحنه مشاهده شده را تشخیص داده و آن را به سیگنال الکترونیکی تبدیل می‌کند. سپس این سیگنال برای تولید یک تصویر پردازش می‌شود. قاعده کلی در استتار از دوربین حرارتی، متعادل کردن تابش حرارتی بین هدف و پس زمینه است [۳].

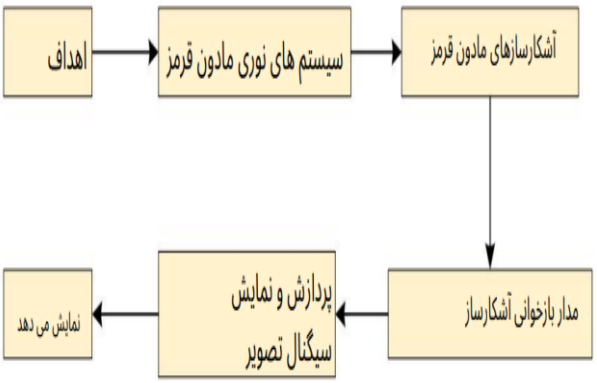
نور مادون قرمز برای چشم انسان نامرئی است، اگرچه امواج مادون قرمز طولانی‌تر را می‌توان به عنوان گرما حس کرد. با این حال، برخی از ویژگی‌های نور مرئی را دارد یعنی نور مادون قرمز می‌تواند متمرکز، منعکس و قطبی شود [۱۵]. طول موج ناحیه مادون قرمز (فروسرخ) از حدود ۱ میلی‌متر در فرکانس ۳۰۰ گیگاهرتز شروع و تا لبه طول موج قرمز ناحیه مرئی در فرکانس ۴۳۰ تراهرتز گسترش می‌یابد (شکل ۱) [۱۶].




**شکل (۱):** مقایسه باندهای مختلف طول‌موج مادون قرمز و کاربردهای استتاری مربوط به آن [۱۷, ۱۸]

به طور کلی پنج جزء اصلیِ تشکیل دهنده‌ی تمام دوربین‌ها شامل سامانه نوری (سامانه اپتیک جمع کننده) یا لنز، آشکارساز (Detector)، تقویت کننده، پردازش سیگنال و نمایشگر می‌باشد [۱۳].

در شکل(۲) اجزای اصلی یک دوربین حرارتی به تصویر درآمده است. هر دوربین با توجه به نوع کاربری، ویژگی‌های خاص خود را دارد.




**شکل (۲):** اجزای یک دوربین تصویربرداری حرارتی [۳]

### ۳-۱- لنزها

لنزها، نقطه آغازین دریافت تصویر هستند که وظیفه دریافت نور را بر عهده دارند، در واقع عمل جمع‌آوری نور بازتابی موجود در صحنه و متمرکز کردن آن را لنزها انجام می‌دهند. رایج‌ترین نوع لنزها ۳/۶ میلی‌متری با ۷۷ درجه زاویه دید هستند. به‌دلیل شفاف نبودن شیشه معمولی در طیف مادون قرمز حرارتی جنس لنزهایی که شفافیت خوبی در طیف IR دارند عبارتند از ژرمانیوم (Ge)، سیلیکون(Si) و سولفیدروی یا شیشه کالکوژنید، که ژرمانیوم نسبت به بقیه مواد شفافیت بهتری دارد اما قیمت آن بالاتر است. در واقع از آن‌جایی که شیشه معمولی تابش حرارتی را مسدود می‌کند، سازندگان نمی‌توانند از اپتیک‌ها و لنز های مبتنی برشیشه معمولی در دوربین‌های حرارتی استفاده کنند. در حال حاضر، ژرمانیوم متداول‌ترین ماده مورد استفاده برای اپتیک دوربین حرارتی است. این ماده‌ی بسیار گران قیمت، که از نظر شیمیایی شبیه به قلع و سیلیکون است، نور مرئی را در حالی که از نور مادون قرمز عبور می‌کند، مسدود می‌کند .

همه لنزها ژرمانیوم خالص نیستند به‌عنوان‌مثال، برخی از آن‌ها از ماده ای بر پایه ژرمانیوم به نام شیشه کالکوژنید ساخته شده‌اند که به طیف وسیع‌تری از نور IR اجازه عبور می‌دهد و مانند بسیاری از مواد، مزایا و معایبی دارند. شیشه کالکوژنید حاوی مواد ارزان‌تری است و قابل قالب‌گیری است. با این حال، قالب اصلی نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجهی دارد که فقط در مقادیر بالا قابل توجیه است. دوربین‌های حرارتی از پایه‌های لنز متفاوتی نسبت به دوربین‌های تحت شبکه معمولی استفاده می‌کنند. پایه باید عریض‌تر باشد تا با حسگر متناسب باشد، که معمولاً بزرگ‌تر از سنسورهای معمولی است [۱۹].

### ۳-۲- حسگرها

سنسورها یا حسگرها در دوربین حرارتی مجموعه‌ای از هزاران آشکارساز است که به تابش IR حرارتی حساس هستند. حسگر اطلاعات IR حرارتی را شناسایی، ثبت و سپس به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کند و تصویر ویدیو را می‌سازد. آشکارسازهای مورد استفاده برای تصویربرداری حرارتی را می‌توان به طور کلی به دو نوع تقسیم کرد، سنسور های IR خنک شده و خنک نشده [۱۶].

### ۳-۳- سنسورهای خنک شده

سنسورهای مادون قرمز خنک معمولاً در یک محفظه آب‌بندی شده با خلاء قرار می‌گیرند و دمای ۶۰ تا ۱۰۰ کلوین تقریبا از ۲۱۰- درجه سانتی‌گراد تا ۱۷۰- درجه سانتی‌گراد بسته به نوع و سطح عملکرد مورد نظر خنک می‌شوند، تصویر این سنسور در شکل (۳) نشان داده شده است. این دمای بسیار پایین با کولرهای برودتی انجام می‌شود. خنک کننده برای کاهش نویز ناشی از حرارت لازم است. اگرچه فناوری حسگر خنک شده هم گران است و هم نگهداری بالایی دارد، اما مزایایی به همراه دارد. این آشکارسازها درباند طیفی موج میانی[1] (MWIR) کار می‌کنند، که وضوح فضای بهتری را ارائه می‌دهد. شکل (۳) نشان دهنده‌ی این سنسور حرارتی است. مزیت دیگر سنسورهای خنک شده این است که با حساسیت بیشتر امکان استفاده از لنز هایی با اعداد f بالا (یا stop-f)را نیز فراهم می‌کند. در نتیجه، آشکارسازهای خنک شده برای تشخیص دوربرد، یعنی ۵ تا ۱۶کیلومتر انتخاب بهتری هستند [۲۰].

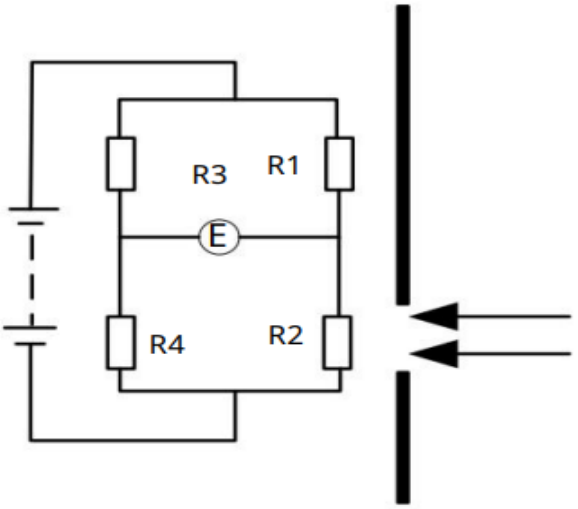
**شکل (۳):** سنسور حرارتی خنک‌کننده [۲۱]

[1] Short wave infrared

## ۳-۴- سنسورهای خنک نشده

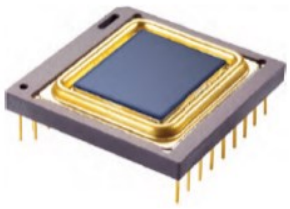
حسگر در یک دوربین حرارتی خنک نشده به خنک‌کننده برودتی وابسته نیست. سنسور مادون قرمز خنک نشده در دمای محیط یا نزدیک به آن تثبیت می‌شود. حسگرهای خنک نشده می‌توانند بر اساس مواد مختلفی ساخته شوند که همگی مزایای منحصر به فردی دارند. یک طراحی متداول، مبتنی بر فناوری میکروبولومتر است. به طور معمول، یک مقاومت کوچک (یا ترمیستور) با خواص بسیار وابسته به دما روی یک عنصر سیلیکونی قرار دارد که عایق حرارتی است [۲۲].

شکل (۴) اساس عملکرد یک دوربین حرارتی خنک نشده و شکل (۵) تصویر واقعی این حسگر را نشان می‌دهد، R1 آشکارساز داخلی، R2 آشکارساز استخراج‌کننده، R3 و R4 مقاومت های استاندارد و E سیگنال الکتریکی نمونه برداری شده است. از آن‌جایی که تابش مادون قرمز وجود ندارد، مدار پل در حالت متعادل می‌ماند و سیگنال ولتاژی در این زمان خارج نمی‌شود. هنگامی که تابش مادون قرمز وجود دارد، دمای مقاومت R2 تغییر می‌کند، در نتیجه مقدار مقاومت R2 هم تغییر می‌یابد. در این زمان، مدار در یک حالت نامتعادل قرار دارد و یک اختلاف ولتاژ در دو سر مدار خروجی سیگنال ایجاد می‌شود و خروجی سیگنال ولتاژ موجود خواهد شد [۳].




**شکل (۴):** اصل عملکرد دوربین حرارتی خنک نشده [۳]

این مقاومت از اکسید وانادیوم (VOx) یا سیلیکون آمورف (α-Si) ساخته شده است. هنگامی که تابش IR حرارتی به مواد برخورد می‌کند، مقاومت الکتریکی تغییر می‌کند. نوع دیگری از میکروبولومتر مبتنی بر فناوری فتوالکتریک است. در اینجا، تغییرات کوچک در دمای مواد، تغییرات بزرگی در قطبش الکتریکی ایجاد می‌کند. میکروبولومترهای فروالکتریک از باریم استرانسیوم تیتانات (BST) ساخته شده اند.



**شکل (۵):** حسگر مادون‌قرمز خنک نشده [۲۱]

تغییرات دمای صحنه باعث تغییراتی در بولومتر می‌شود که سپس به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل شده و به تصویر پردازش می‌شود. حساسیت دوربین به تشعشعات حرارتی، که توانایی آن را در تشخیص تفاوت‌های دمایی مختلف در یک صحنه تعیین می‌کند، می‌تواند به‌عنوان مقدار اختلاف دمای معادل نویز (NETD) بیان شود. اکثر دوربین‌های شبکه حرارتی دارای مقدار NETD 50-100 mK هستند، اگرچه نسل‌های جدیدتری از بولومترها وجود دارند که NETD کمتری دارند.

## ۳-۵- محفظه‌های حرارتی

تهدیدات محیطی اصلی برای یک محصول ویدئویی شبکه، به‌ویژه محصولی که بیرون درها نصب می‌شود، شامل سرما، گرما، آب، گرد و غبار، برف و حشرات است. گاهی اوقات، این بدان معنی است که یک دوربین حرارتی به یک محفظه محافظ نیاز دارد. مانند لنزها، محفظه ها نیز باید به طور ویژه برای دوربین‌های حرارتی تنظیم شوند که برای این منظور از ژرمانیوم استفاده می‌شود. [۴]

## ۳-۶- فیلتر IR Cut و IR

در دوربین‌های دوکاره که هم در طول شب و هم در روز کار می‌کنند از این دو فیلتر استفاده می‌شود، فیلتر IR همه نورها به جز مادون قرمز را مسدود می‌کند. در طول روز نوری که به سنسور برخود می‌کند اگر حاوی نور IR باشد توسط فیلتر IR Cut فیلتر می‌شود [۱].

## ۳-۷- جمع‌کننده نور[1]

سامانه نوری دوربین مادون‌قرمز باعث تمرکز انرژی مادون قرمز روی یک تراشه آشکارساز ویژه (آرایه حسگر) می‌شود، که حاوی هزاران پیکسل آشکارساز در یک شبکه مرتب است هر چه تعداد پیکسل بیشتر باشد، وضوح بالاتر خواهد بود [۲۳].

[1] Collector

### ۳-۸- آشکارساز [1]

همه اجسام انرژی مادون قرمز ساطع می‌کنند که آشکار سازی و اندازه گیری آن توسط دوربین IR انجام می‌شود. پیکسل کوچکترین اندازه جسم قابل تشخیص است هر چه وضوح فضایی کمتر باشد جزئیات و کیفیت تصویر بالاتر خواهد رفت. آشکارساز های صفحه کانونی از آرایه هایی از ده‌ها هزار عنصر حسگرتشکیل شده است. نوع میکروبولومتر مقاومتی در میان آشکارسازهای فروسرخ مادون قرمز از نظر فنی بالغ‌ترین نوع است که وسیع‌ترین کاربرد را دارد [۱].

### ۳-۹- پردازش سیگنال [2]

بخش پردازش سیگنال، عمل تبدیل مادون‌قرمز به تصویر الکتریکی را انجام می‌دهد، تولید سیگنال الکترونیکی توسط هر پیکسل در آرایه حسگر صورت می‌گیرد، سپس دریافت سیگنال هر پیکسل توسط پردازنده دوربین و اعمال محاسبه ریاضی اعمال می‌شود [۱].

### ۳-۱۰- نمایش تصویر [3]

در مرحله نمایش تصویر یک نقشه رنگی از جسم مورد نظر تولید می‌شود [۵].

### ۳-۱۱- ضبط‌کننده ویدیوی دیجیتال [4] (DVR)

ضبط‌کننده ویدیوی دیجیتال (DVR) دستگاهی است که سیگنال‌های یک دوربین آنالوگ را به یک فرمت دیجیتال قابل‌مشاهده تبدیل می‌کند که می‌تواند روی هارد دیسک ذخیره شود. این یکی از دو گزینه ذخیره‌سازی محلی برای سامانه‌های امنیتی تلویزیون مدار بسته (CCTV) است، دومین گزینه ضبط‌کننده‌های ویدئوی شبکه (NVR) است.

### ۳-۱۲- ضبط‌کننده ویدئوی شبکه [5] (NVR)

ضبط‌کننده ویدیوی شبکه (NVR) یک سامانه کامپیوتری است که فیلم‌های ویدئویی را ضبط می‌کند و آن را روی یک دیسک سخت، یک دستگاه ذخیره‌سازی انبوه یا ذخیره‌سازی ابری، ذخیره می‌کند. NVR ها با دوربین‌های پروتکل اینترنت دیجیتال (IP) جفت می‌شوند تا یک سامانه نظارت تصویری ایجاد کنند.

سامانه‌های DVR معمولاً از دوربین‌های امنیتی آنالوگ (که به‌عنوان دوربین‌های مدار بسته شناخته می‌شوند) استفاده می‌کنند. دلیل اینکه سامانه‌های امنیتی DVR معمولاً در مقایسه با سامانه‌های NVR قیمت پایین‌تری دارند به‌دلیل دوربین است. دوربین‌های آنالوگ، سیگنال‌های آنالوگ را به ضبط کننده ارسال می‌کنند و سپس داده‌های ویدئویی را پردازش می‌شود. در مقایسه با یک سامانهسامانه NVR، اکثر دوربین‌های DVR پیچیده‌تر و گران‌تر هستند [۲۴].

## ۴- فناوری‌های روز دنیا در استتار IR

تا اینجا اصول عملکرد دوربین‌های مادون قرمز به همراه مهمترین کاربردهای آن بیان شد و مشاهده گردید که این نوع از دوربین‌ها کاربردهای ویژه‌ای در دنیای نظامی دارند. از این رو مقابله با آنها بسیار مورد توجه است. در این قسمت تلاش می‌شود از میان تمامی مراجع معتبر، بروزترین و کاربردی‌ترین روشها در زمینه‌ی مقابله با دوربین‌های مادون‌قرمز بیان شود.

در گذشته تنها راه استتار استفاده از پوشش گیاهی و بوته‌های طبیعی بود، در حال حاضر نیروها در میدان نبرد با تهدیدات فناوری جدید روبرو هستند. علاوه‌بر رادارها و سایر حسگرها، پهپادهای بدون سرنشین با دوربین‌های حرارتی، حتی بدون پیچیدگی زیاد، ظرفیت‌های کشف دشمن را گسترش داده و نیاز به توسعه جدید را ایجاد کرده اند. اواخر جنگ جهانی دوم، اولین دستگاه دید در شب آمریکایی، با نام M3 Infrared، رونمایی شد. ابزارهای اولیه معمولاً یک تقویت کننده تصویر را با یک نورافکن مادون قرمز جفت می‌کردند. نور مادون قرمز با چشم غیرمسلح نامرئی است، طرح‌های بعدی منبع نور مادون قرمز را به طور کامل حذف کردند، در عوض نور محیط، به ویژه نور ماه را تقویت کردند.

در دهه ۱۹۸۰، دستگاه‌های تصویربرداری حرارتی، انقلابی را در قابلیت‌های جنگ شبانه به وجود آورند. تصویرگرهای حرارتی با تشخیص تفاوت‌های کوچکِ گرمای موجود در میدان دید خود، گرمای تابشی بدن فرد با دست‌ها، صورت و سایر قسمت‌های در معرض دید بدن را که به به دلیل حرارت متصاعد شده می‌درخشند، نشان می‌دهند. در مورد ادوات جنگی هم بخش‌هایی که حرارت تولید می‌کنند توسط دوربین مادون قرمز حرارتی آشکار می‌شوند مثلا یک تانک که در شب می‌جنگد از طریق پانل‌های موتور آن دیده می‌شود.

طی دهه ۱۹۹۰، دستگاه‌های تصویربرداری حرارتی برای ارتش کشورهایی که از این فناوری برخوردار بودند، برتری زیادی ایجاد می‌کردند. اما با پیشرفت فناوری، به‌دست آوردن آن برای سایر کشورها آسان‌تر شد. [۲۵].

با پیشرفت فناوری‌های کشف، اهداف نظامی در معرض تهدیدات فزاینده‌ای قرار دارند. از این رو، توسعه فناوری‌های پنهان‌کاری، شامل رادار، مادون قرمز، مغناطیسی، آکوستیک و نور مرئی، ضروری است. در میان روش‌های مختلف استتار، فناوری

[1] Detector
[2] Signal Processing
[3] Display Image
[4] Digital Video Recorder
[5] Network Video Recorder

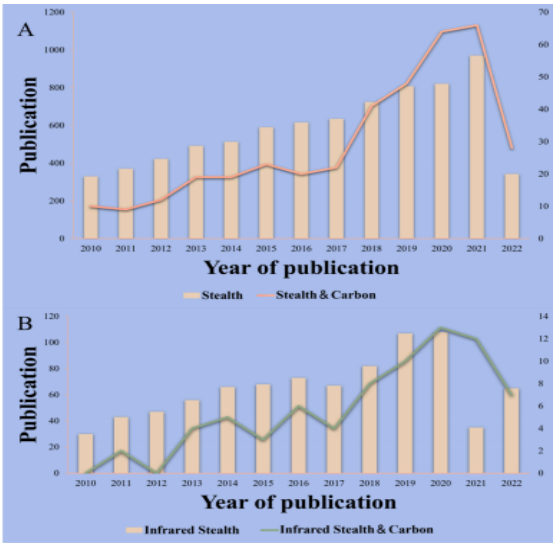
استتار از مادون قرمز از زمان جنگ جهانی دوم مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش قابلیت تشخیص اهداف معمولاً با تغییر خواص تابش مادون قرمز، کاهش شدت تابش مادون قرمز یا تنظیم مسیر انتشار تابش فروسرخ حاصل می‌شود[۲۶]. نکته اصلی در کاهش شدت تابش مادون قرمز و بهبود قابلیت استتار آن، به کاهش انتشار مادون قرمز و کنترل دمای سطح هدف بستگی دارد[۲۷]. هدف، به حداقل رساندن احتمال برجسته شدن شی در مقایسه با پس زمینه است.

در حالی که ارتش‌های پیشرفته جهان با دستگاه‌های تصویربرداری حرارتی، برگ برنده‌ای علیه دشمنان خود دارند، در عین حال، باید به توسعه اقدامات مقابله با این دوربین‌ها برای بقا ادامه دهند در این بخش مهم‌ترین و جدیدترین فناوری‌های استتار از دوربین‌های مادون قرمز ارائه شده است.

## ۴-۱- خانواده کربن

با کشف و توسعه کربن سیاه، نانولوله‌های کربنی، فیبر کربن، گرافن و سایر آلوتروپ‌های کربن جدید در مقیاس نانو، خانواده کربن نقشی بی‌بدیل در علم و فناوری مدرن ایفا می‌کند [۵]. در طول چند سال گذشته، طبق شکل(۶)، مطالعات مختلف، اهمیت کربن و نقش آن را در آینده سامانه‌های استتار را نشان داده‌اند.

نانولوله‌های کربنی و گرافن به دلیل خواص منحصر به فردشان به روش‌های پیشنهادی عالی برای کاربردهای استتار فروسرخ تبدیل شده‌اند. الیاف نانولوله کربنی به دلیل سبک وزنی عالی، سطح ویژه بزرگ، استحکام مکانیکی بالا، رسانایی الکتریکی خوب، انعطاف پذیری عالی، مقاومت در برابر خوردگی جدید و مقاومت در برابر اکسیداسیون، توجه زیادی را به خود جلب کرده اند [۲۸].




**شکل (۶):** مقالات منتشرشده ده سال گذشته با استفاده از کلمات کلیدی الف) استتار، استتار کربن، ب) استتار مادون قرمز، استتار مادون قرمز و کربن [۲۶].

## ۴-۲- گرافن

گرافن نوعی ماده کربنی است که خاصیت های بی نظیری مانند ساختار متخلخل به هم‌پیوسته، سطح مساحت بالا، رسانای عالی گرما و الکتریسیته، که به‌دلیل ساختار نواری منحصربه فرد و صفحه دو بعدی آن است. گرافن یک ورق اتم کربن با ضخامت تک اتم که به شکل لانه زنبوری چیده شده است، سفت‌ترین، قوی‌ترین و در عین حال نازکترین ماده جهان است [۲۹]. گرافن قابلیت بالایی در استتار مادون قرمز دارد. این ماده ویژگی‌های مادون قرمز یک هدف را در پس زمینه پنهان می کند تا تشخیص مادون قرمز را فریب دهد [۳۰]. یکی از کاربردهای گرافن در استتار حرارتی، یک دستگاه تشعشع حرارتی با کنترل الکتریکی است که از لایه‌های اکسیدگرافن کاهش‌یافته استفاده می‌کند. این لایه‌ها از غشاهای پلیمری متخلخل که میزبان محلول‌های یونی هستند، ساخته شده است. با اعمال یک بایاس ولتاژ ۳ ولت، سطح دستگاه شدت نور کمتری را در محدوده ۷/۵ تا ۱۴ میکرومتر که توسط دوربین مادون قرمز شناسایی می‌شود، نشان می‌دهد. کاهش شدت نور باعث کاهش دمای ظاهری تا حدود ۱۲ درجه سانتیگراد در مقایسه با غیر بایاس می‌شود [۳۱]. با استفاده از گرافن می‌توان لباس‌های ضد گلوله که در عین حال قابلیت استتار مادون قرمز و خنک‌کنندگی داشته باشند، ساخت [۳۲].

## ۴-۳- فناوری Kit 300

در مواقعی که پوشش محیطی کمی برای استتار وجود دارد و دشمن به عینک‌های دید در شب مجهز است، نیروها باید خود را با لباس‌های استتاری بپوشانند تا علاوه بر این که از دوربین‌های اپتیک پنهان می‌شوند و در طول روز شبیه محیط اطراف به نظر می‌آیند، بتوانند گرمای خود را هم پنهان کنند به طوری که دوربین‌های حرارتی قادر به کشف آن‌ها در تاریکی مطلق نباشند و به این ترتیب از تیرس تک تیراندازان دشمن خارج شوند. کیت ۳۰۰ یک ماده استتار جدید است که توسط پیمانکار دفاعی رژیم صهیونیستی Polaris Solutions ساخته شده است. شکل(۷) استتار با استفاده از این فناوری را نشان می‌دهد [۳۳].

کیت ۳۰۰ از ریز فیبرها، فلزات و پلیمرها تشکیل شده است. مواد فویل مانند را می‌توان به ساختارهای صخره ای شکل تبدیل کرد تا سربازان در پشت آن پنهان شوند. یک صفحه بزرگ کیت ۳۰۰ می‌تواند وسایل نقلیه‌ی بزرگ را پنهان کند. یک ورق کیت ۳۰۰ حدود یک پوند یا ۴۵۰ گرم وزن دارد و به صورت رول کوچک فشرده می‌شود [۳۴]. علاوه بر آن به اندازه کافی قوی است که بتوان از آن به‌عنوان بستر حمل سربازان مجروح استفاده کرد. این ابزار یک ورق ضد آب است و در باران و گرمای زیاد آزمایش شده است. اشیایی که گرما از خود ساطع نمی‌کنند در

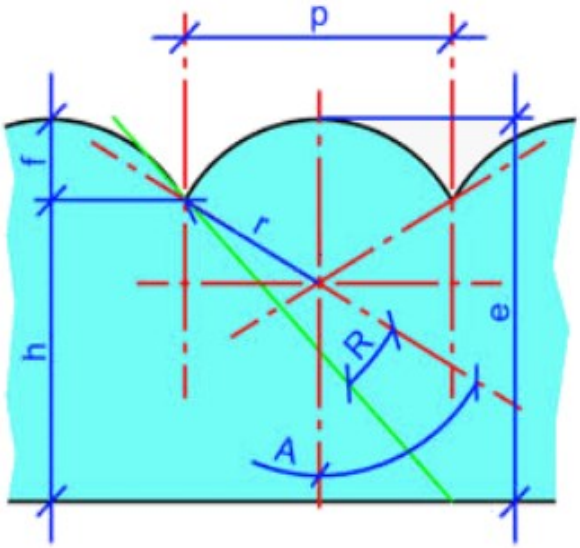
تصویرگرهای حرارتی به هیچ وجه نشان داده نمی‌شوند. سامانه کیت ۳۰۰ برای از بین بردن حضور حرارتی سرباز طراحی شده است، و به این ترتیب، سرباز را از دید دربین ها نامرئی می‌کند. مواد موجود در سامانه کیت ۳۰۰ احتمالاً به عنوان عایق عمل می‌کنند و از نشت گرمای سرباز از پشت ورق جلوگیری می‌کنند. این سامانه با استفاده از رنگ‌های قدیمی و روش‌های استتار به کاربر اجازه می‌دهد با زمین اطراف ترکیب شود تا تشخیص سربازان در نور بصری را دشوارتر می‌کند و به نیروهای نظامی اجازه دهد بدون شناسایی تا حد امکان به هدف نزدیک شوند [۳۵]. بنابراین دشمنی که از دور با دوربین به نیروهای نظامی خیره می‌شود، نمی‌تواند آنها را ببیند. سربازان همچنین می‌توانند اسلحه‌ها، کوله‌پشتی‌ها و سایر تجهیزات نظامی خود را در پانل ارائه شده با کیت مخفی‌سازی پیشرفته در هنگام نزدیک شدن به هدف پنهان کنند. این روش به سربازان اجازه می‌دهد تا در طول جنگ شهری یا میدان‌های باز برای حمله به دشمن، پنهان‌سازی موقعیت را انجام دهند. کیت ۳۰۰ شامل یک کلاه ایمنی تاکتیکی برای فرار از موقعیت‌های تهدید کننده مانند گلوله است، علاوه‌بر آن کفش‌های ضد ردیابی که تا حد امکان کمترین ردپایی را در قلمرو دشمن باقی نمی‌گذارند و ردیابی سربازان را سخت می‌کند زیرا ردی را که معمولاً از چکمه‌های نظامی به جا می‌گذارد ایجاد نمی‌کند. این فناوری علاوه‌بر کلاه و چکمه مجهز به یک ماسک مخصوص است تا سربازان در حین فعالیت‌های شدید شناسایی نشود [۳۵].

**شکل (۷):** قابلیت‌های کیت ۳۰۰ [۳۵]

## ۴-۴- فناوری کوانتومی

نور دارای دوگانگی موج- ذره است. فوتون ها مانند الکترون‌ها، پروتون ها، نوترون‌ها و ذرات بنیادی از قانون حرکت نیوتن در مکانیک کلاسیک پیروی نمی‌کنند، اما در مکانیک کوانتومی از معادله شرودینگر که توصیف کننده امواج وابسته به ذرات میکروسکوپی است پیروی می‌کنند. این معادله موج وابسته به ذرات و چگونگی تغییر حالت سامانه‌های کوانتومی را توصیف می‌کند [۳۶]. جسم هدفی که مردم می‌بینند یا دستگاه نظارت می‌کند، اطلاعاتی است که از فوتون، مایکروویو و سایر امواج الکترومغناطیسی ساطع شده به‌وسیله منبع نور یا آشکارساز یا تابش شده به سطح جسم، که توسط اندام‌های حسی یا تجهیزات انسان حس می‌شود، منعکس می‌شود. اگریک ماده خاص بتواند این امواج الکترومغناطیسی رابدون انعکاس به‌طور کامل جذب کند، در آن صورت مردم قادر به دیدن وجود آن ماده نیستند و ابزار نیز قادر به درک وجود ماده نخواهد بود. به اصطلاح مواد رادارگریز، این مواد جاذب امواج را بر روی سلاح‌ها و تجهیزات هواپیما، کشتی، تانک و خودرو های زرهی اعمال می‌کنند تا رادار، آشکارساز مادون قرمز، ردیاب لیزری و غیره دشمن را نتوان شناسایی کرد و به رادارگریزی دست یافت [۲۵].

فناوری پنهان کاری کوانتومی استفاده از خواص کوانتومی نور برای توسعه مواد مخفی است. شرکت Biotechnology Hyperstealth ماده پیشرفته ای به نام اختفای کوانتومی را توسعه داده که از طریق لنزهای عدسی شکل کار می‌کند، شکل (۸) نمودار شکست پرتویی که از یک عدسی می‌گذرد را نشان می‌دهد. این محصول که به نام کوانتوم استیلث ثبت شده، یک ماده ورقه پلاستیکی است که نور را در اطراف یک سوژه خم می کند و آن را از دید پنهان می کند. استفاده از این ماده که به‌عنوان پارچه استتار کوانتومی (مواد استتار مخفی کوانتومی) نامیده می‌شود با خم کردن نور به هدف نامرئی دست می‌یابد. وقتی از جلو به آن نگاه کنید، جسم پشت ماده قابل مشاهده نیست، اما پس زمینه قابل مشاهده است [۳۵] .




**شکل (۸):** نمودار شکست پرتویی که از یک عدسی می گذرد [۳۵]

همان‌طور که در شکل (۹) نشان داده شده است تصویری که پشت ورقه کوانتومی قرار می‌گیرد از نظرها پنهان می‌شود و تصویر پشت صحنه در مقابل ورقه کوانتومی به نمایش در می آید. مواد مخفی کاری کوانتومی نه تنها می‌توانند به نیروهای نظامی ویژه کمک کنند تا حملات خود را در طول روز انجام دهند، بلکه به سربازان کمک می‌کند تا در صورت بروز حوادث به راحتی فرار کنند. علاوه‌بر این، انتظار می‌رود از این مواد در جنگنده‌های رادارگریز و زیردریایی‌ها برای نامرئی سازی استفاده شود و به سربازان کمک کنند تا وظیفه ضربه زدن به دشمن را به شیوه‌ای غیر قابل رویت انجام دهند [۳۷].

**شکل (۹):** استتار با فناوری استتار کوانتومی [۳۵]

Hyper stealth یک شرکت موفق طراحی استتار کانادایی با طراحی بیش از دو میلیون لباس نظامی و بیش از ۳۰۰۰ وسیله نقلیه و جت جنگنده با استفاده از الگوهای آنها در سراسر جهان است. مخفی کاری کوانتومی ماده ای است که با خم کردن امواج نور به اطراف هدف، هدف را کاملا نامرئی می‌کند. این ماده نه تنها علائم بصری، مادون قرمز (دید در شب) و حرارتی شما را حذف می‌کند، بلکه سایه هدف را نیز از بین می‌برد [۳۶]. از این تکنولوژی می‌توان در پنهان کردن تانک‌ها، هواپیماهای جنگی، زیردریایی‌ها و تک تیراندازها استفاده کرد. هواپیما در هر زمانی از شبانه روز از طریق ماهواره‌های جاسوسی، پهپادهای هوایی یا چشم‌های بالون‌های نظارتی قابل شناسایی نیست [۳۷].

به‌طور کلی دو راه برای پنهان کردن اجسام وجود دارد، یکی جذب کامل منبع نور یا امواج الکترومغناطیسی و دیگری اجازه دادن به نور یا امواج الکترومغناطیسی برای نفوذ کامل است. این دو روش، نور یا امواج الکترومغناطیسی را منعکس نمی‌کنند و ابزار و چشم غیر مسلح نمی‌توانند وجود اجسام را درک کنند. روش دوم ممکن است مؤثرتر و مورد پسند دانشمندان باشد، زیرا می‌تواند به نامرئی کامل دست یابد و حتی امکان نامرئی بصری را نیز دارد. دلیل این‌که افراد می‌توانند اجسام را ببینند و اینکه ابزار و تجهیزات می‌توانند اشیا راتشخیص دهند این است که نور یا امواج الکترومغناطیسی توسط اجسام، مسدود شده و پس از برخورد با اجسام به چشم یا ابزار و وسایل افراد منعکس می‌شود. وضعیت جسم هدف بصری و ابزار تشخیص مانند رادار متفاوت است. زیرا حتی اگر نوعی ماده جاذب وجود داشته باشد که نور مرئی را بدون انعکاس به‌طور کامل جذب کند، اگرچه افراد نمی‌توانند جسم پوشیده شده با این ماده را ببینند، اما همچنان می‌توانند پس زمینه جسم و اطلاعات اطراف آن را ببینند. مسدود شدن پس زمینه باعث ایجاد تفاوت در نور و رنگ پس زمینه و محیط اطراف آن می‌شود و افراد هنوز می‌توانند وجود واقعی این ماده را احساس کنند. بنابراین، برای دستیابی به اثر پنهان واقعی، نور باید به‌طور کامل و بدون مانع از جسم عبور کند، اما تاکنون چنین ماده ای یافت نشده است [۳۶].

### ۴-۵- تور استتار چند طیفی

تورهای استتار چند طیفی که برای مقابله با حسگرهای مختلف از جمله مادون قرمز، حرارتی، رادار و مرئی استفاده می‌شوند، مانع از هدف قرار گرفتن توسط دشمن شده و محاسبات آنان را دچار خطا می‌کنند. این تورها با شبیه‌کردن علائم مشخص اشیاء آن‌ها را شبیه پس زمینه می‌کنند تا امکان شناسایی آن‌ها از بین برود یا ضعیف شود. کنترل امواج با استفاده از موادی مانند نانو الیاف‌ها، پلیمرها و رنگ دانه‌های خاص صورت می‌گیرد [۵].

### ۴-۶- شیشه

استفاده از شیشه برای پنهان ماندن از دید دوربین‌های مادون قرمز می‌تواند همانند یک دیوار آجری بلند عمل کند و محتوای پشت شیشه را مخفی کند. شیشه‌ها امواج مادون قرمز بلند و میانی را مسدود کنند [۳۸].

### ۴-۷- فویل آلومینیومی

از آن جایی که سطح آلومینیوم قابلیت انعکاس بالای دارد، مادون‌قرمز را جذب نمی‌کند و آن را تا حد بسیار زیادی منعکس می‌کند. بدین ترتیب مواد پنهان شده در پشت آن نمی‌توانند توسط دوربین‌های IR شناسایی شوند. ضخامت و کیفیت فویل می‌تواند این اثر را افزایش یا کاهش دهد [۳۹].

### ۴-۸- آب

امواج مادون‌قرمز نمی‌توانند به‌راحتی از آب عبور کنند و بسیاری از طول‌موج‌های آن‌ها توسط آب مسدود می‌شود. در واقع دوربین حرارتی به‌وسیله گرمای ساطع شده از جسم، آن را تشخیص می‌دهد. آب گرما را جذب می‌کند و امضای حرارتی جسم را کاهش می‌دهد و ازاین‌رو تشخیص دوربین‌ها را با اختلال مواجه

می‌کند؛ بنابراین با قراردادن لایه‌ای از آب بین جسم و دوربین، می‌توان استتار ایجاد کرد [۴۰].

### ۴-۹- پوشش گیاهی

پوشش گیاهی یک عایق طبیعی برای استتار از دوربین‌های مادون‌قرمز است. استفاده از چمن طبیعی یا مصنوعی بر روی یک جسم می‌تواند امضای حرارتی آن را کم کند و تشخیص آن را برای دوربین‌های مادون قرمز دشوار سازد. هر چه پوشش گیاهی متراکم‌تر باشد استتار بهتر و کاهش گرمای بیشتری اتفاق می‌افتد [۴۱].

### ۴-۱۰- پلاستیک ضخیم

ورقه‌های پلاستیکی می‌توانند امضای مادون قرمز را کاهش دهند. ضخامت بیشتر باعث استتار بیشتر آن‌ها می‌گردد. هر چه لایه پلاستیکی ضخیم‌تر باشد، رسانایی گرمایی کمتری دارد و بهتر گرما را به دام می‌اندازد. ورق‌های پلاستیکی ضخیم برای کاربردهای نظامی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند و امضای حرارتی جسم پشت سر خود را کاهش می‌دهند [۴۲].

### ۴-۱۱- الیاف پشمی

الیاف پشمی یک عایق مؤثر برای به دام انداختن گرماست و تحمل میدان‌های سرد جنگی را برای نیروها آسان‌تر می‌کند. ترکیب این الیاف با برخی مواد دیگر از جمله رنگ‌ها می‌تواند اثر استتار از دوربین‌های مادون‌قرمز را بر آن بیفزاید. به‌عنوان‌مثال استفاده از کلروفیل مس سدیم به‌عنوان یک رنگ استتار برای مقابله با دوربین‌های مادون قرمز عملکرد قابل‌قبولی را نشان می‌دهد [۴۳].

### ۴-۱۲-سامانه ابر استتار [1]

یکی از مولفه‌های مهم در استتار نظامی، استفاده از دود است که درگذشته و حال از آن به‌عنوان یک سامانه استتار همه‌کاره در موقعیت‌های مختلف جنگی استفاده می‌شود. استقرار سریع آن در منطقه و حفظ آن برای مدت طولانی‌تر در محیط پویای جنگ از ضروریات استفاده از این روش استتار است. شرایط آب‌وهوایی منطقه و مواد استفاده شده در دود برای رسیدن به این هدف بسیار کارساز هستند. استفاده از مولدهای دود در بالگردها برای استقرار سریع دود در یک منطقه وسیع روشی مناسب هستند. ناتو بر استفاده از سامانه دود به‌ویژه در طیف مادون قرمز تمرکز کرده است [۴۴]. مه مصنوعی نوعی آئروسل است که نیروهای مسلح روسیه برای ارزیابی اثربخشی آن در پنهان کردن دارایی‌های نظامی (در این مورد، نیروی دریایی) آزمایش می‌کردند. گزارش‌های دیگر به «حفاظت در برابر تشعشع، شیمیایی و بیولوژیکی» اشاره می‌کنند که نشان می‌دهد آئروسل ممکن است دارای کیفیت پیشگیرانه نامشخصی باشد. اطلاعاتی در مورد این عملیات از شبکه دولتی روسیه روسیا-۲۴ منتشر شد که عنوان آن "نیروهای دفاع شیمیایی پایگاه دریایی ناوگان شمالی را ناپدید می‌کند" بود. در استتار این پایگاه دریایی روسی، برای چند ساعت، تمام کشتی‌های پایگاه شناور به رهبری رزمناو موشکی سنگین پیوتر ولیکی در مه غیر قابل نفوذ، ناپدید شدند. تلویزیون ۲۱ روسیه فیلمی را از نیروهای روسی پخش کرد که پرده دود را برپا و پایگاه را استتار می‌کنند.

نیروهای روسی قادر به ایجاد ابری به شعاع یک کیلومتری هستند که می‌توانند تا چهارده ساعت آن را نگه دارند. نیروهای مسلح روسیه کل شهر را به مدت سه روز پنهان کردند و ناوگان شمالی در سیورومورسک پنهان شد. دود مبهم، یک ابر آئروسل است که در خط دید بین ناظر و هدف قرار می گیرد. مواد تاریک سلاح شیمیایی محسوب نمی‌شوند. در عوض، آن‌ها به عنوان ترکیبات شیمیایی نظامی طبقه بندی می‌شوند، حتی اگر برخی از آن‌ها اثرات سمی داشته باشند. این دودهای سمی که گاهی دود ترکیبی نامیده می‌شود، شامل گاز اشک آور یا سایر عوامل شیمیایی است که می‌تواند دستگاه‌های الکترواپتیکی را در باند موج بینایی و مادون قرمز تخریب کند.

از عوامل دود برای پنهان‌کردن مانور افراد و سلاح‌ها بین نقاط مستحکم، مناطق دفاعی و ساختمان‌های مجزا که مسیرهای مخفی یا زیرزمینی بین آن‌ها وجود ندارد و همچنین برای جلوگیری از مشاهده و اجرای آتش مورد نظر دشمن استفاده می‌شود. در یک محیط فعال هسته ای یا زمانی که خطر استفاده از سلاح‌های هسته‌ای زیاد است، می‌توان از دود برای کاهش اثرات انرژی حرارتی ناشی از انفجارهای هسته ای استفاده کرد. واحدهای دود شیمیایی می‌توانند در صورت وجود این دارایی را در اختیار فرمانده قرار دهند.

ژنراتورها تقطیرهای نفتی با ویسکوزیته پایین را تبخیر می‌کنند تا یک ابر دود نفتی پایدار از قطرات بسیار کوچک تولید کنند که پرتوهای نور را پراکنده می‌کنند. تاریک کننده‌های مدرن مانند تکه‌های گرافیتی مصنوعی می‌توانند سامانه‌های ردیابی و هدف‌گیری الکترومغناطیسی را نمایش دهند و حسگرها را در نوارهای نزدیک، میانی و فروسرخ دور شکست دهند.

از این تکنولوژی می‌توان برای شکست دادن موشک‌های کروز ضد کشتی که به رادار یا جستجوگران فروسرخ وابسته هستند، و

[1] Cloud Making Technology

شکست دادن ماهواره‌های تصویری (که مدارهای قابل پیش بینی را دنبال می کنند) هنگام عبور از سازه کشتی استفاده کرد [۴۵]. تا اینجا مهم‌ترین روش‌های مقابله با دوربین‌های مادون‌قرمز ارائه شد. با جمع‌بندی موارد بیان شده، موادی که دوربین‌های مادون قرمز توانایی شناسایی آن‌ها را ندارند در شکل(۱۰) و دسته‌بندی کلی از روش‌های مختلف استتار مادون‌قرمز در شکل (۱۱) ارائه می‌شود. موارد اشاره شده در شکل (۱۰) نمی‌توانند خود را از چشمان تیزبین دوربین‌های مادون قرمز مخفی سازند. این دوربین‌ها در هر شرایطی می‌توانند آن‌ها را شناسایی کنند. البته از برخی از موارد اشاره شده در این شکل مانند دود، غبار و مه می‌توان به‌عنوان پوششی برای استتار اشیاء دیگر استفاده کرد. مثلاً دوربین‌های مادون قرمز دود را آشکار می‌کند، اما از دود می‌توان برای پوشاندن مواردی دیگر استفاده کرد، مانند آنچه روسیه در ابر استتار برای مخفی‌کردن ناوگان نامی خود به کاربرد و در بالا به آن اشاره شد. دوربین‌های مادون قرمز اهمیت این دسته‌بندی ازآن‌جهت است که ضمن جمع‌بندی کلیه‌ی راهکارهای موجود در دنیا، زمینه را برای ارائه راهکارهای پدافندی جدید جهت مقابله با سامانه‌های مادون قرمز فراهم می‌سازد.

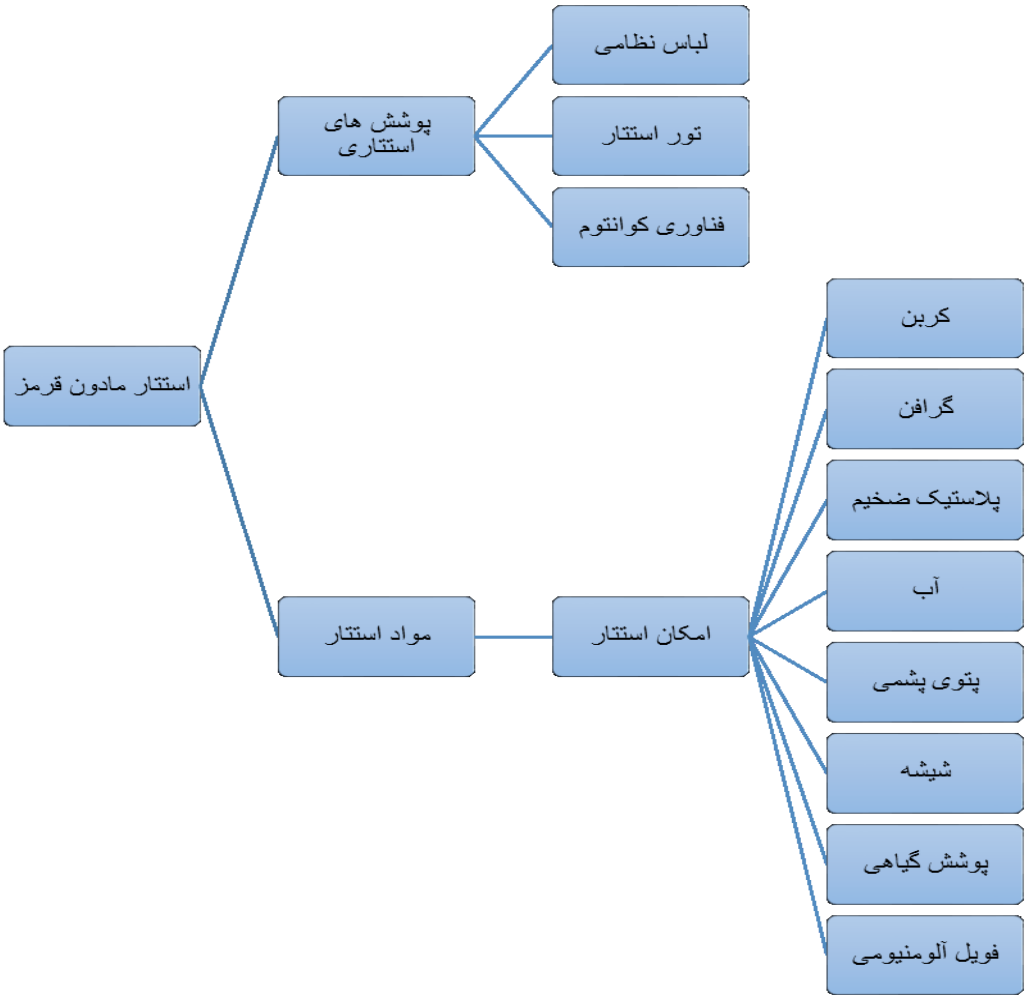
**شکل (۱۰):** موادی با قابلیت عدم استتار مادون‌قرمز

مزایا و معایب استفاده از روش‌های گوناگون مطرح شده در جدول (۱) نشان داده شده است.

**جدول (۱):** مزایا و معایب روش‌های استتار مطرح شده در مقاله

| روش یا ماده | مزایا | معایب |
|---|---|---|
| گرافن | انطاف پذیری و سبکی- رسانایی حرارتی بالا- استحکام زیاد- پاسخ سریع – ضد میکروب و ویروس- استتار چند طیفی- خنک کنندگی | **دانش پیچیده و فرایند زمان بر - تجهیزات خاص - عدم حضور گسترده در بازار** |
| کیت ۳۰۰ | استحکام بالا (تحمل وزن تا ۲۰۰ کیلو) – وزن سبک - استتار چند طیفی - سفارشی‌سازی برای محیط‌های مختلف - مقاومت در شرایط آب‌وهوایی مختلف | **تکنولوژی پیچیده - هزینه بالا - عدم دسترسی برای برخی کشورها** |
| فناوری کوانتومی | وزن سبک و حمل آسان - عدم شناسایی در طیف وسیعی از محیط‌ها - استتار چند طیفی | **عدم حذف کلی سایه اشیاء** |
| تور استتار چند طیفی | سفارشی‌سازی برای محیط‌های مختلف - حمل نسبتاً آسان – استتار چند طیفی - تکنولوژی در دسترس | **عدم استتار دینامیک** |
| شیشه | دسترسی آسان - هزینه ارزان | **عدم استحکام – حمل دشوار - عدم کاربرد در برخی محیط‌ها** |
| فویل آلومینیومی | مقاومت بالا - هزینه ارزان - استفاده آسان | **اشتعال‌پذیری** |
| آب | دسترسی آسان - هزینه ارزان - عایق حرارتی | **یخزدگی – زمان محدود اثربخشی -** |

| روش یا ماده | مزایا | معایب |
|---|---|---|
| | مناسب | **محدودکردن عملکرد - تبخیر بالا در محیط گرم** |
| پوشش گیاهی | استتار طبیعی - سازگار با محیط‌زیست | **عدم کارکرد در محیط خشک** |
| پلاستیک ضخیم | هزینه ارزان - وزن سبک - قابل‌دسترس | **استحکام پایین - محدودیت دما** |
| الیاف پشمی | سازگاری با پوست - دسترسی آسان - هزینه ارزان - سازگار با محیط‌زیست | **عدم استفاده در فصول گرم - وزن بالا** |
| ابر استتار | هزینه معقول - سرعت بالای پیاده‌سازی - سازگار با اغلب محیط‌ها | **اثرات جانبی بر روی محیط و افراد** |




**شکل (۱۱):** دسته‌بندی روش‌های استتار مادون قرمز

## ۵- نتیجه‌گیری

روش‌های استتار به‌عنوان یکی از عوامل مهم بازدارنده در جنگ عمل می‌کنند. برای استتار از دوربین های مادون قرمز و به خصوص دوربین‌های حرارتی که قادر به تشخیص اغلب پدیده‌های نظامی هستند فناوری‌های پیچیده تری مورد نیاز است. در این مقاله، ساختار دوربین‌های مادون قرمز، نحوه عملکرد آن‌ها، کاربردهای گوناگون و جدیدترین روش های استتار از این دوربین‌ها مورد بحث قرار گرفته است. به‌طوریکه خواننده با خواندن این مقاله می‌تواند با تمامی این روش‌ها آشنا شود. توسعه و تحقیق روش‌های جدید استتار از مادون قرمز و دوربین‌های حرارتی به کانون توسعه راهبردی کشورها درسراسر جهان تبدیل شده است. هر بار که یک ماده جدید درتاریخ ظاهر می‌شود، انقلابی را در فناوری کاربردی ایجاد می‌کند. برخی از این دستاوردها هنوز در مرحله مفهومی و تئوری هستند، این فناوری‌ها هنوز نیاز به توسعه طولانی مدت دارند. پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده بر روی استفاده از ماده گرافن برای ایجاد استتار چند طیفی که کمبود آن در صنایع نظامی مختلف مشهود است، متمرکز شود.

## ۶- مراجع


[1] H. L. Holtz, A. C. ; McLain, H. M. "Overview of signal processing techniques for infrared /IR/ deep space surveillance." https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1981SPIE..265....8H/abstract (accessed).

[2] S. Chandra, D. Franklin, J. Cozart, A. Safaei, and D. Chanda, "Adaptive multispectral infrared camouflage," Acs Photonics, vol. 5, no. 11, pp. 4513-4519, 2018.

[3] F. Hou, Y. Zhang, Y. Zhou, M. Zhang, B. Lv, and J. Wu, "Review on Infrared Imaging Technology," Sustainability, vol. 14, no. 18, p. 11161, 2022.

[4] R. Hu et al., "Thermal camouflaging metamaterials," Materials Today, vol. 45, pp. 120-141, 2021.

[5] "Visible and Infrared Mapping Spectrometer (VIMS)." Nasa. http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA13402 (accessed).

[6] I. Knizkova, K. Petr, G. GÜRDİL, Y. PINAR, and K. Ç. SELVİ, "Applications of infrared thermography in animal production," Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, vol. 22, no. 3, pp. 329-336, 2007.

[7] P.-F. Tsai, C.-H. Liao, and S.-M. Yuan, "Using deep learning with thermal imaging for human detection in heavy smoke scenarios," Sensors, vol. 22, no. 14, p. 5351, 2022.

[8] B. B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar, and J. Philip, "Medical applications of infrared thermography: a review," Infrared physics & technology, vol. 55, no. 4, pp. 221-235, 2012.

[9] M. Štumper and J. Kraus, "Thermal imaging in aviation," MAD-Magazine of Aviation Development, vol. 3, no. 16, pp. 13-16, 2015.

[10] A. Akula, R. Ghosh, and H. Sardana, "Thermal imaging and its application in defence systems," in AIP conference proceedings, 2011, vol. 1391, no. 1: American Institute of Physics, pp. 333-335.

[11] A. Rogalski and K. Chrzanowski, "Infrared devices and techniques," Optoelectronics Review, vol. 10, no. 2, pp. 111-136, 2002.

[12] L.-S. Yoo, J.-H. Lee, Y.-K. Lee, S.-K. Jung, and Y. Choi, "Application of a drone magnetometer system to military mine detection in the demilitarized zone," Sensors, vol. 21, no. 9, p. 3175, 2021.

[13] Adorama. "Parts of a Camera." LYNRED corporate. https://www.adorama.com/alc/parts-of-a-camera/ (accessed).

[14] R. Gade and T. B. Moeslund, "Thermal cameras and applications: a survey," Machine vision and applications, vol. 25, pp. 245-262, 2014.

[15] F. Zhuge et al., "Nanostructured materials and architectures for advanced infrared photodetection," Advanced Materials Technologies, vol. 2, no. 8, p. 1700005, 2017.

[16] R. Usamentiaga, P. Venegas, J. Guerediaga, L. Vega, J. Molleda, and F. G. Bulnes, "Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing," Sensors, vol. 14, no. 7, pp. 12305-12348, 2014.

[17] N. Lee, J. S. Lim, I. Chang, H. M. Bae, J. Nam, and H. H. Cho, "Flexible assembled metamaterials for infrared and microwave camouflage," Advanced Optical Materials, vol. 10, no. 11, p. 2200448, 2022.

[18] L. Junshan, Y. Wei, and Z. Xiongmei, "Infrared image processing, analysis and fusion," Beijing: Science Press, vol. 3, pp. 1634-1642, 2009.

[19] L. Calvez, "Chalcogenide glasses and glass-ceramics: Transparent materials in the infrared for dual applications," Comptes Rendus Physique, vol. 18, no. 5-6, pp. 314-322, 2017.

[20] M. T. Mueller, Biomimetic, polymer-based microcantilever infrared sensors. University of California, San Francisco with the University of California …, 2007.

[21] " Infrared Sensor." LYNRED-USA. https://www.lynred-usa.com/products/vga-resolution/pico640gen2-infrared-sensors.html (accessed).

[22] S. Türker-Kaya and C. W. Huck, "A review of mid-infrared and near-infrared imaging: principles, concepts and applications in plant tissue analysis," Molecules, vol. 22, no. 1, p. 168, 2017.

[23] C. G. Cadena, C. Sánchez-Pérez, A. García-Valenzuela, and S. C. Cardona, "Indirect Light Collector for Interior Lighting," Energy Procedia, vol. 57, pp. 1969-1976, 2014.

[24] C.-F. Lin, S.-M. Yuan, M.-C. Leu, and C.-T. Tsai, "A framework for scalable cloud video recorder system in surveillance environment," in 2012 9th international conference on ubiquitous intelligence and computing and 9th international conference on autonomic and trusted computing, 2012: IEEE, pp. 655-660.

[25] K. Mizokami. "Israel Found a Way to Make Soldiers Invisible." https://www.techeblog.com/polaris-solutions-the-kit-300-camouflage-sheet-soldiers/ (accessed).

[26] J. Hu, Y. Hu, Y. Ye, and R. Shen, "Unique applications of carbon materials in infrared stealth: A review," Chemical Engineering Journal, vol. 452, p. 139147, 2023.

[27] L. Peng, J.-S. Li, and W.-W. Zheng, "The Design of the Infrared Spectrally Selective Low Emissivity Coating," in 2015 International Conference on Material Science and Applications (icmsa-15), 2014: Atlantis Press, pp. 383-387.

[28] X. Zhang, W. Lu, G. Zhou, and Q. Li, "Understanding the mechanical and conductive properties of carbon nanotube fibers for smart electronics," Advanced Materials, vol. 32, no. 5, p. 1902028, 2020.

[29] V. Georgakilas et al., "Functionalization of graphene: covalent and non-covalent approaches, derivatives and applications," Chemical reviews, vol. 112, no. 11, pp. 6156-6214, 2012.

[30] X. Fan, S. Li, W. Zhang, and W. Xu, "Recent progress in two-dimensional nanomaterials of graphene and MXenes for thermal camouflage," Ceramics International, 2022.

[31] Z. Chen et al., "Electrically Controlled Thermal Radiation from Reduced Graphene Oxide Membranes," ACS Applied Materials & Interfaces, vol. 13, no. 23, pp. 27278-27283, 2021.

[32] M. S. Ergoktas et al., "Graphene-enabled adaptive infrared textiles," Nano letters, vol. 20, no. 7, pp. 5346-5352, 2020.

[33] J. Shavit. "Amazing thermal camouflage makes soldiers nearly undetectable." https://www.thebrighterside.news/post/amazing-thermal-camouflage-makes-soldiers-nearly-undetectable (accessed).

[34] Z. Majeed. "Israel Military's Camouflage Tech Makes Soldiers Go Virtually 'invisible'."

https://www.republicworld.com/world-news/middle-east/israel-militarys-camouflage-tech-makes-soldiers-go-virtually-invisible.html (accessed).
[35]A. Emre, "Israeli camouflage tech makes soldiers 'invisible'." bluesyemre. https://bluesyemre.com/2021/06/17/israeli-camouflage-tech-makes-soldiers-invisible/ (accessed).
[36]K. Shao, L. Shu, Q. Wang, M. Liu, Q. Tian, and W. Hu, "Quantum Stealth Technology," J. Org. Chem. Res, vol. 3, pp. 66-76, 2015.
[37]vitaly-v-kuzmin. "Military Camouflage Technology: Countering Thermal Imaging." https://dsiac.org/articles/military-camouflage-technology-countering-thermal-imaging/ (accessed).
[38]L. Zhang et al., "A thermally robust and optically transparent infrared selective emitter for compatible camouflage," Journal of Materials Chemistry C, vol. 9, no. 42, pp. 15018-15025, 2021.
[39]V. Rubeziene, I. Padleckiene, S. V. Žuravliova, and J. Baltusnikaite, "Reduction of thermal signature using fabrics with conductive additives," Materials Science, vol. 19, no. 4, pp. 409-414, 2013.
[40]C. Shengyue, L. Zhaohui, Y. Shengtian, J. Yifan, and B. Guodong, "Preparation and characterization of water-based infrared camouflage coatings, vol. 44, no. 8, pp. 2298-2304, 2015.
[41]B. Purser, Jungle bugs: masters of camouflage and mimicry. Firefly Books, 2003.
[42]L. E. Johansson, "Thermal/optical camouflage with controlled heat emission," ed: Google Patents, 1985.
[43]L. Ping, Z. Wei, and L. De-ju, "Process of anti near infrared camouflage dyeing on wool," Wool Textile Journal, vol. 42, no. 1, 2014.
[44]W. Harmata, "Smoke as a component of military camouflage systems," Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 67, no. 3, pp. 83-113, 2018.
[45]J. R. Haines. "Why Is Russia Blowing Smoke." https://www.fpri.org/article/2016/08/russia-blowing-smoke-literally-military-uses-artificial-fog/#_ftnref2 (accessed).