

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

چکیده

امروزه یکی از کاربردهای رایج امواج فرسرخ، شناسایی و رهگیری اهداف زمینی، هوایی یا دریایی است. اهمیت توجه به سیستم‌های جستجو و رهگیری فرسرخ روز به روز در حال افزایش است زیرا به دلیل پیشرفته‌های صورت گرفته در زمینه جنگ الکترونیک و رادار، رادارها الزامات مربوط به پایش و دیده‌بانی پسو (غیر فعال) را برآورده نکرده، در مقابل پارازیت آسیب‌پذیر بوده و همچنین در مقابل موشک‌های ضد تابش مستعد آسیب می‌باشند. سیستم‌های جستجو و رهگیری فرسرخ غیر فعال بوده بنابراین موقعیت خود را به دشمن نداده و همچنین توان مصرفی پائین تری دارند. به دلیل پیشرفت‌های صورت گرفته در این زمینه، در صورت نصب این سیستم‌ها روی هواپیما و در ارتفاع بالا، قابلیت شناسایی در محدوده ۱۰۰ مایلی حاصل می‌شود. امروزه از این سیستم‌ها در کنار سیستم‌های راداری و حتی گاهی به جای آنها نیز استفاده می‌شود.

طیف فرسرخ، زیر مجموعه طیف الکترومغناطیس بوده و از محدوده $0.780-1000\mu\text{m}$ را شامل می‌شود. تمامی اشیاء در هر دمایی از خود پرتوهای فرسرخ گسیل می‌کنند. پرتوهای گسیل شده از هدف از اتمسفر عبور کرده و همراه با تضعیف به آشکارساز می‌رسند. با توجه به این موضوع برای کاربردهای آشکارسازی و رهگیری، معمولاً از دو پنجره عبوردهی اتمسفری یعنی $3-5\mu\text{m}$ و $8-12\mu\text{m}$ که برای آنها تضعیف کمتر است استفاده می‌شود.

در صحنه جستجو، میزان اختلاف بین پارامترهای مؤثر بر پرتوهای گسیل شده از هدف و پرتوهای پس‌زمینه موجب آشکارسازی هدف می‌شود. اما صحنه روبرو می‌تواند متشکل از پرتوهای پس‌زمینه و دیگر اهداف کاذب مانند ابرها، کوه‌ها و ... باشد. بنابراین باید به نحوی بتوان هدف واقعی را که در اینجا هواپیماست، از پس‌زمینه و دیگر اهداف کاذب شناسایی کرد. بدین منظور در این تحقیق ابتدا به بررسی منابع مختلف گسیل کننده پرتوهای IR در صحنه هدف پرداخته شده است. میزان پرتوهای گسیل شده از هدف تحت شرایط آب و هوای خوب و در دو حالت با تضعیف و بدون تضعیف اتمسفری شبیه‌سازی شده است. با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، فواصل هدف از آشکارساز، میزان تابندگی و همچنین توان دریافت شده در آشکارساز محاسبه و با هم مقایسه شده است. سپس با توجه به این شرایط آب و هوایی و تصاویر فرسرخ گرفته شده از صحنه هدف، الگوریتمی ارائه شده که در آن با توجه به فیلترهای تشخیص لبه، شکل شناسی و دیگر مشخصه‌های تصویر به پردازش این تصاویر پرداخته و اهداف واقعی استخراج شده است.

واژگان کلیدی: فرسرخ، تابندگی، آشکارسازی و رهگیری فرسرخ، فیلتر آشکارساز لبه تصویر، فیلتر شکل شناسی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب.....	هشت
فهرست شکل‌ها.....	بازده
فهرست جدول‌ها.....	سیزده
چکیده:.....	۱
فصل اول: مقدمه	۲
۱-۱ پرتوهای فروسرخ (IR).....	۲
۲-۱ تابش (گسیل) حرارتی.....	۳
۳-۱ مشخصه‌های عبور امواج IR از جو زمین (اتمسفر).....	۵
۴-۱ کاربردهای فروسرخ.....	۷
۵-۱ اهمیت سیستم‌های جستجو و رهگیری فروسرخ (IRST).....	۷
۶-۱ اهداف و ساختار پایان‌نامه.....	۹
فصل دوم: پرتوهای فروسرخ در اهداف هوایی	۱۱
۱-۲ تاریخچه کاربری نظامی فروسرخ.....	۱۱
۲-۲ منابع گسیل کننده IR در هواپیما.....	۱۲
۳-۲ تابندگی بخش‌های داغ عقب هواپیما (موتور، لوله آگزوز، نازل آگزوز).....	۱۳
۴-۲ گازهای (دود) آگزوز هواپیما.....	۱۳
۵-۲ گرمای آیرودینامیکی.....	۱۴
۶-۲ اقدامات متقابل هواپیما بر علیه موشک‌های IR (IRCMs).....	۱۵
۱-۶-۲ اقدامات متقابل پسیو یا غیرفعال.....	۱۶
۲-۶-۲ اقدامات متقابل فعال.....	۱۷
۷-۲ مقابله با عملیات‌های متقابل (CCM).....	۱۸
۸-۲ تحلیل شدت IR مؤلفه‌های هواپیما.....	۱۸
فصل سوم: آشکارسازها و سیستم‌های جستجو و رهگیری فروسرخ	۲۱
۱-۳ انواع آشکارسازهای فروسرخ.....	۲۱
۲-۳ آشکارسازهای فوتون (کوانتومی).....	۲۲
۱-۲-۳ آشکارسازهای رسانی نور.....	۲۴
۲-۲-۳ دیودهای نوری P-N.....	۲۵

۲۶	..... آشکارسازهای دیود نوری سد شاتکی
۲۶	..... آشکارسازهای گسیل کننده الکترون
۲۸	..... آشکارسازهای جیوه-کادمیوم-تلوراید (HgCdTe)
۲۸	..... آشکارسازهای چاه کوانتوم (QWIP)
۲۹	..... آشکارسازهای حرارتی
۳۰	..... ۱-۳-۳ ترموپیل
۳۱	..... ۲-۳-۳ بالومتر
۳۱	..... ۳-۳-۳ پیروالکترونیک
۳۲	..... ۴-۳ سیر تحول آشکارسازهای فروسرخ در کاربردهای نظامی
۳۳	..... ۵-۳ آشکارسازهای آرایه سطحی کانونی (FPA)
۳۴	..... ۶-۳ تحلیل سیستم جستجو و رهگیری فروسرخ (IRST) هوابرد
۳۶	..... ۷-۳ نمونه‌هایی از الگوریتم‌های به کار رفته در سیستم‌های IRST
۳۸	..... ۸-۳ موشک‌ها و هواپیماهای با تکنولوژی فروسرخ
۳۹	..... ۱-۸-۳ بررسی یک نمونه موشک IR
۴۰	..... ۲-۸-۳ چند نمونه از هواپیماها و موشک‌های فروسرخ
۴۳	..... فصل چهارم: تشخیص اجسام پرنده در تصاویر فروسرخ با استفاده از پردازش تصویر
۴۳	..... ۱-۴ مقدمه
۴۴	..... ۲-۴ بررسی تابندگی در صحنه هدف
۴۴	..... ۱-۲-۴ تابندگی پس‌زمینه
۴۵	..... ۲-۲-۴ تابندگی مسیر
۴۵	..... ۳-۲-۴ تابندگی هدف
۴۶	..... ۳-۴ محاسبه تابندگی هدف تا رسیدن به آشکارساز
۴۹	..... ۱-۳-۴ بررسی اثر تضعیف اتمسفری
۵۲	..... ۲-۳-۴ توان دریافت شده در آشکارساز
۵۵	..... ۳-۳-۴ نتایج حاصل از شبیه‌سازی
۶۱	..... ۴-۴ رابطه تابندگی در صحنه هدف و تشکیل تصویر فروسرخ
۶۴	..... ۵-۴ الگوریتم‌های پردازش تصویر در سیستم‌های IRST
۶۵	..... ۶-۴ روش آشکارسازی هدف (اهداف) در پس‌زمینه
۶۶	..... ۱-۶-۴ فیلترها (الگوریتم‌های) آشکارسازی لبه
۶۸	..... ۲-۶-۴ فیلترهای شکل‌شناسی (ریخت‌شناسی)
۷۰	..... ۳-۶-۴ الگوریتم آشکارسازی هدف
۷۳	..... ۴-۶-۴ نتایج اجرای الگوریتم

۷۷تحلیل نتایج.....۷-۴

۷۸فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....

۷۸۱-۵ نتیجه گیری.....

۸۰۲-۵ پیشنهادات.....

۸۲مراجع:.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱ طیف الکترومغناطیسی
۴	شکل ۲-۱ قانون پلانک برای تابندگی طیفی
۶	شکل ۳-۱ منحنی درصد عبور پرتوهای فروسرخ در طی مسافت 6000ft در سطح دریا بر حسب تابعی از طول موج
۷	شکل ۴-۱ کاربردهای فروسرخ
۸	شکل ۵-۱ مقایسه سیستم IRST و رادار در هواپیمای جنگی F16
۱۲	شکل ۶-۲ منابع گسیلنده پرتوهای IR در یک نمونه هواپیمای جنگی
۱۳	شکل ۷-۲ جزئیات منابع گسیلنده پرتو IR در هواپیما
۱۴	شکل ۸-۲ پروفایل دمایی اگزوز یک نمونه هواپیمای توربو جت
۱۴	شکل ۹-۲ تابندگی طیفی دود اگزوز
۱۹	شکل ۱۰-۲ نمایش کلی از بخشهای مختلف هواپیما
۱۹	شکل ۱۱-۲ نمایش قطبی شدت پرتوهای IR از زاویه روبرو هواپیما
۲۰	شکل ۱۲-۲ نمایش قطبی شدت پرتوهای IR از زاویه جانبی هواپیما
۲۰	شکل ۱۳-۲ پوش منحنی برد قفل موشک در صفحه افقی
۲۲	شکل ۱-۳ تاریخچه رشد و پیشرفت آشکارسازها و سیستم‌های IR
۲۲	شکل ۲-۳ یک نمونه آشکارساز فوتونی
۲۳	شکل ۳-۳ فرآیند تحریک نوری در نیمه رساناها
۲۳	شکل ۴-۳ پاسخ طیفی نسبی برای آشکارسازهای فوتونی و حرارتی
۲۴	شکل ۵-۳ مقایسه ضریب آشکارسازی برای آشکارسازهای IR
۲۵	شکل ۶-۳ شکل هندسی و بایاس یک نمونه آشکارساز رسانا حساس به نور
۲۵	شکل ۷-۳ آشکارسازهای ذاتی و غیر ذاتی
۲۶	شکل ۸-۳ دیود نوری پیوند P-N
۲۷	شکل ۹-۳ آشکارساز گسیل کننده الکترون
۲۷	شکل ۱۰-۳ لامپ الکترونی (PMT)
۲۸	شکل ۱۱-۳ روند پیشرفت آشکارسازهای HgCdTe
۲۹	شکل ۱۲-۳ طرح شماتیک لایه‌ها در یک نمونه آشکارساز چاه کوانتومی
۲۹	شکل ۱۳-۳ طرح کلی آشکارسازهای حرارتی
۳۰	شکل ۱۴-۳ اتصال سری دو سرب متفاوت به صورت ترموکوپل
۳۱	شکل ۱۵-۳ اتصال سه ترموکوپل به هم
۳۲	شکل ۱۶-۳ پیرو الکتریک

- شکل ۳-۱۷ شماتیک یک نمونه سیستم تصویری نظامی فروسرخ ۳۳
- شکل ۳-۱۸ یک نمونه آشکارساز یکپارچه از نوع HgCdTe ۳۴
- شکل ۳-۱۹ سناریو جستجو و رهگیری فروسرخ ۳۵
- شکل ۳-۲۰ بلوک دیاگرام سیستم IRST ۳۶
- شکل ۳-۲۱ فلوجارت کلی الگوریتم ۳۶
- شکل ۳-۲۲ بلوک دیاگرام یک الگوریتم رهگیری خودکار ۳۷
- شکل ۳-۲۳ نتایج الگوریتم‌های چند مقیاسی Retinex و میکرو حرکت چشم ۳۸
- شکل ۳-۲۴ موشک هدایت IR ۴۰
- شکل ۳-۲۵ نمای کلی سر جستجوگر ۴۰
- شکل ۳-۲۶ محل نصب دو نمونه سیستم جستجو و رهگیر فروسرخ ۴۱
- شکل ۴-۱ تابندگی آسمان در شرایط آب و هوای خوب و ارتفاعات مختلف ۴۵
- شکل ۴-۲ منحنی توان نشری بر حسب طول موج و تغییرات دما ۴۷
- شکل ۴-۳ منحنی سه بعدی توان نشری بر حسب طول موج و دمای هدف ۴۷
- شکل ۴-۴ سطح لامبرتی ۴۸
- شکل ۴-۵ عبوردهی اتمسفری برای طول موج‌های $3-5\mu\text{m}$ ۵۰
- شکل ۴-۶ عبوردهی اتمسفری برای طول موج‌های $8-12\mu\text{m}$ ۵۰
- شکل ۴-۷ زاویه فضایی ۵۲
- شکل ۴-۸ هندسه مورد استفاده برای تعریف زاویه فضایی ۵۳
- شکل ۴-۹ سطح تصویر شده ۵۴
- شکل ۴-۱۰ سطح تصویر شده و منبع ۵۴
- شکل ۴-۱۱ تابندگی کل شیء یا هدف برای طول موج‌های $3-5\mu\text{m}$ و $8-12\mu\text{m}$ ۵۶
- شکل ۴-۱۲ منحنی‌های تابندگی کل هدف در دو حالت با تضعیف (فاصله 1km) و بدون تضعیف اتمسفری ۵۷
- شکل ۴-۱۳ اثر عبوردهی اتمسفری برای محدوده $3-5\mu\text{m}$ و فواصل مختلف آشکارساز از هدف ۵۸
- شکل ۴-۱۴ اثر عبوردهی اتمسفری برای محدوده $8-12\mu\text{m}$ و فواصل مختلف آشکارساز از هدف ۵۸
- شکل ۴-۱۵ تغییرات تابندگی کل هدف بر حسب تابعی از فاصله، دما و طول موج ۶۰
- شکل ۴-۱۶ نمایش تباین طیفی ۶۲
- شکل ۴-۱۷ هواپیما در فواصل دور در طول موج‌های MWIR ۶۳
- شکل ۴-۱۸ تصویر گرفته شده از صحنه در طیف فروسرخ ۶۴
- شکل ۴-۱۹ ماسک‌های مورد استفاده در اپراتور سویل ۶۸
- شکل ۴-۲۰ عملگر سایش ۶۹
- شکل ۴-۲۱ عملگر باز کردن و بستن ۷۰
- شکل ۴-۲۲ عملگر باز کردن و بستن ۷۰

- شکل ۴-۲۳ الگوریتم طراحی شده برای آشکارسازی هدف..... ۷۲
- شکل ۴-۲۴ تصاویر حاصل از هر بخش اجرای الگوریتم آشکارسازی هواپیما..... ۷۶
- شکل ۴-۲۵ تصاویر حاصل از اجرای هر بخش الگوریتم..... ۷۷

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ تقسیم‌بندی طیف فروسرخ.....	۳
جدول ۱-۳ مقایسه حسگرهای هشدار موشک.....	۳۹
جدول ۱-۴ ورودی کد LOWTRAN برای سه شرایط آب و هوایی.....	۴۹
جدول ۲-۴ تابندگی کلی شیء یا هدف.....	۵۵
جدول ۳-۴ تابندگی کلی شیء یا هدف بعد قبل و بعد از تضعیف.....	۵۶
جدول ۴-۴ تابندگی کلی برای پنجره عبوردهی اتمسفری.....	۵۷
جدول ۵-۴ پارامترهای ورودی برای حسگر موشک.....	۶۰
جدول ۶-۴ اهداف مختلف و متغیرهای آنها.....	۶۰
جدول ۷-۴ مقایسه نتایج برای چند هدف مختلف.....	۶۱

فصل اول

مقدمه

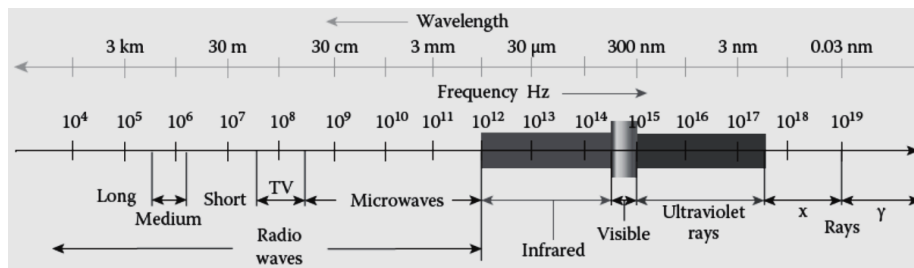
۱-۱ پرتوهای فروسرخ (IR)^۱

تمامی اشیاء به دلیل نوسان دائمی اتم‌های تشکیل دهنده آنها در حال تولید امواج الکترومغناطیسی هستند. توزیع شدت این تابش بر حسب طول موج به دمای شیء و قابلیت انتشار^۲ آن بستگی دارد.

محدوده‌ی پرتوهای فروسرخ شامل تمامی تابش‌های الکترومغناطیسی با طول موج بالاتر از ناحیه دید انسان و کمتر از امواج میلی‌متری می‌باشد (شکل ۱-۱). تقسیم‌بندی این نواحی براساس منابع گسیل‌کننده و همچنین تکنولوژی‌های مختلف آشکارسازی در هر ناحیه انجام شده است. در جدول ۱-۱، یک نمونه تقسیم‌بندی که براساس محدوده باند طیفی آشکارسازهای IR بوده و عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد داده شده است [۱]. با استفاده از طیف فروسرخ می‌توان از صحنه روبرو تصویر تهیه کرد و اطلاعاتی به دست آورد که در طیف مرئی قابل حصول نمی‌باشد. همچنین در این طیف می‌توان علاوه بر ساعات روز، در طول شب نیز تصویر تهیه کرد و فیلم برداری و همچنین عملیات پایش محیط را انجام داد.

^۱ Infrared

^۲ Emissivity



شکل ۱-۱ طیف الکترومغناطیسی [۱]

جدول ۱-۱ تقسیم‌بندی طیف فروسرخ [۱]

محدوده طول موج (μm)	ناحیه و اختصار
0.78-1	نزدیک IR (NIR)
1-3	طول موج‌های کوتاه IR (SWIR)
3-6	طول موج‌های متوسط IR (MWIR)
6-15	طول موج‌های بلند IR (LWIR)
15-30	طول موج‌های بسیار بلند IR (VLWIR)
30-100	طول موج‌های دور IR (FIR)
100-1000	طول موج‌های زیر میلی‌متر (SubMM)

۲-۱ تابش (گسیل) حرارتی

تمامی اشیاء دائماً با آهنگی پیوسته در حال گسیل کردن پرتوهای IR می‌باشند. توزیع شدت تابش نسبت به طول موج به دمای اشیاء و قابلیت انتشار^۱ طیفی آنها بستگی دارد که با نماد $\epsilon(\lambda)$ نشان داده می‌شود. قابلیت انتشار تابعی از طول موج، جنس ماده‌ی بدنه و شرایط سطحی بدنه شیء می‌باشد.

معمولاً گسیل پرتوها بر اساس مفهوم جسم سیاه^۲ مورد بررسی قرار می‌گیرد. طبق تعریف، جسم سیاه یک سطح ایده‌آل است که تمام تابش ورودی به آن با هر طول موج و هر زاویه تابشی را کاملاً جذب می‌کند. به عبارت دیگر هیچ انرژی از سطح جسم سیاه بازتاب نمی‌شود و انتقال نمی‌یابد. به همین دلیل جسم سیاه هنگامی که سرد است سیاه دیده می‌شود. اما در حالت تعادل گرمایی پرتوهای الکترومغناطیسی تابش می‌کند که به آن تابش جسم سیاه می‌گویند و طیف حاصل از این تابش مستقل از جنس و شکل جسم بوده و تنها به دما بستگی دارد. بر عکس طبق قانون کیرشهف، جسم سیاه یک تابنده کامل^۳ است، به عبارت دیگر انرژی امواج الکترومغناطیس گسیل شده از جسم سیاه در هر دمای مشخص، حداکثر مقدار ممکن از نظر تئوری است. این وسیله یک منبع استاندارد بسیار مفید برای کالیبراسیون و تست تجهیزات پرتوسنجی می‌باشد [۲].

قانون پلانک توان نشری یا توان خروجی تابشی^۴ یک جسم سیاه را بر حسب دما و طول موج پرتوهای گسیل شده شرح می‌دهد [۲]. طبق تعریف، این کمیت مقدار توان گسیل شده بر واحد سطح بر واحد طول موج می‌باشد. بر این

¹ Emissivity

² Blackbody

³ Perfect radiator

⁴ Radiant emittance or radiant exitance

اساس تابندگی طیفی شیء به صورت زیر بیان می‌شود [۱]:

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1 \right]^{-1} \quad W/(cm^2 \cdot \mu m) \quad (1-1)$$

این رابطه را می‌توان بر حسب تعداد فوتون‌های گسیل شده در واحد زمان، به صورت زیر نوشت:

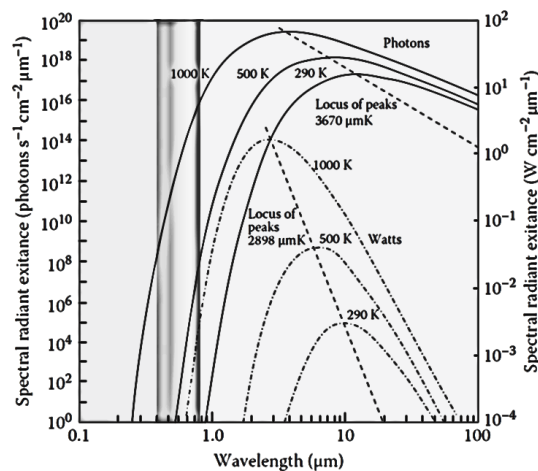
$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1 \right]^{-1} \quad photons/(s \cdot cm^2 \cdot \mu m) \quad (2-1)$$

در این روابط، λ طول موج، T دما بر حسب درجه‌ی کلونین، h ثابت پلانک، c سرعت نور و K ثابت بولتزمن است. در شکل ۱-۲ نمودار این توابع برای جسم سیاه در دمای‌های مختلف نشان داده شده است. طبق شکل با افزایش دما مقدار انرژی گسیل شده در هر طول موج نیز افزایش یافته و طول موج حداکثر انتشار (پیک) نیز کاهش می‌یابد. رابطه بین طول موج پیک و دما بر اساس قانون جابجایی وین^۱ و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\lambda_{mw} T = 2898 \quad \mu m \cdot ^\circ K \quad (\text{برای حداکثر وات}) \quad (3-1)$$

$$\lambda_{mp} T = 3670 \quad \mu m \cdot ^\circ K \quad (\text{برای حداکثر تعداد فوتون‌ها}) \quad (4-1)$$

به عنوان مثال با توجه به شکل ۱-۲ برای یک جسم در دمای محیط برابر $290^\circ K$ مقادیر λ_{mw} و λ_{mp} به ترتیب در $10\mu m$ و $12.7\mu m$ قرار دارند. بنابراین برای دیدن اشیائی مانند انسان، درخت و کامیون در دمای محیط و بدون استفاده از نور بازتاب شده باید از آشکارسازهای فروسرخ در محدوده‌ی عملکرد نزدیک $10\mu m$ استفاده شود. برای اشیاء داغ‌تر مانند موتور وسایل نقلیه، حداکثر انتشار در طول موج‌های کوتاه‌تری اتفاق می‌افتد. بنابراین محدوده‌ی طول موج $2-15\mu m$ در ناحیه فروسرخ در برگیرنده حداکثر گسیل تابشی برای اهداف تصویرنگاری حرارتی است.



شکل ۱-۲ قانون پلانک برای تابندگی طیفی [۱]

¹ Wein's Displacement Law

در سطح اشیاء چهار نوع برهم کنش بین نور و ماده می‌تواند رخ دهد که کمیت‌های مشخصه آنها به عنوان توابعی از طول موج عبارتند از ضریب جذب^۱ (α)، بازتابندگی^۲ (ρ)، انتقال‌دهندگی^۳ (τ) و قابلیت انتشار (ε). سه کمیت اول به ترتیب، نسبت انرژی جذب شده، بازتاب شده و انتقال یافته به مقدار انرژی تابشی به شیء تعریف می‌شوند. طبق قانون بقای انرژی همواره رابطه زیر برقرار است [۳]:

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad (5-1)$$

انتقال‌دهندگی بیشتر مواد برای طول موج‌های فروسرخ صفر است. موادی مانند شیشه، رزین‌های پلاستیکی نورگذر، پلاستیک و ... که طول موج‌های مرئی را عبور می‌دهند برای طول موج‌های فروسرخ قابلیت انتقال ندارند. برای اجسام کدر انتقال‌دهندگی صفر بوده و داریم:

$$\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) = 1 \quad (6-1)$$

برای یک هدف در حال تعادل حرارتی که نه گرما به دست می‌آورد و نه از دست می‌دهد، ضریب جذب و قابلیت انتشار با هم برابرند یعنی:

$$\alpha(\lambda) = \varepsilon(\lambda) \quad (7-1)$$

لذا با جایگذاری رابطه (۷-۱) در (۶-۱) داریم:

$$\varepsilon(\lambda) + \rho(\lambda) = 1 \quad (8-1)$$

طبق این رابطه مشخص است که اهداف با قابلیت انتشار IR بالا، دارای قابلیت بازتابندگی کم تری هستند. در طیف فروسرخ، سیگنال‌های تابشی اصولاً از هدف و پس‌زمینه می‌باشند.

معمولاً پرتوهای بازتابی در طیف فروسرخ کم بوده مگر اینکه منبع تابش (مانند خورشید) بسیار درخشان باشد. به طور کلی بازتاب پرتوهای خورشید در طول موج‌های بلند ($8-12 \mu\text{m}$) به مراتب کمتر از بازتاب پرتوهای با طول موج متوسط ($3-5 \mu\text{m}$) می‌باشد. حسگرهای طول موج متوسط می‌توانند مقادیر قابل توجهی از پرتوهای خورشیدی بازتاب شده را ببینند. بنابراین برای طول روز باید هم پرتوهای بازتاب شده و هم گسیل شده (ناشی از هدف) را مدنظر قرار داد [۳].

۳-۱ مشخصه‌های عبور امواج IR از جو زمین (اتمسفر)

در کاربردهای مختلف استفاده از IR، اغلب نیاز است که این امواج از هوا عبور کنند. اما این تابش‌ها در عبور از مسیر در اثر دو فرآیند پراکندگی و جذب تضعیف می‌شوند. با جذب این پرتوها و گسیل مجدد انرژی به وسیله ذرات معلق، پراکندگی رخ داده که خود سبب تغییر جهت باریکه^۴ تابشی می‌شود. با مقایسه اندازه‌ی ذرات با طول موج‌های تابشی می‌توان گفت که برای ذرات بزرگ، پراکندگی مستقل از طول موج بوده اما برای ذرات کوچک

¹ Absorption coefficient

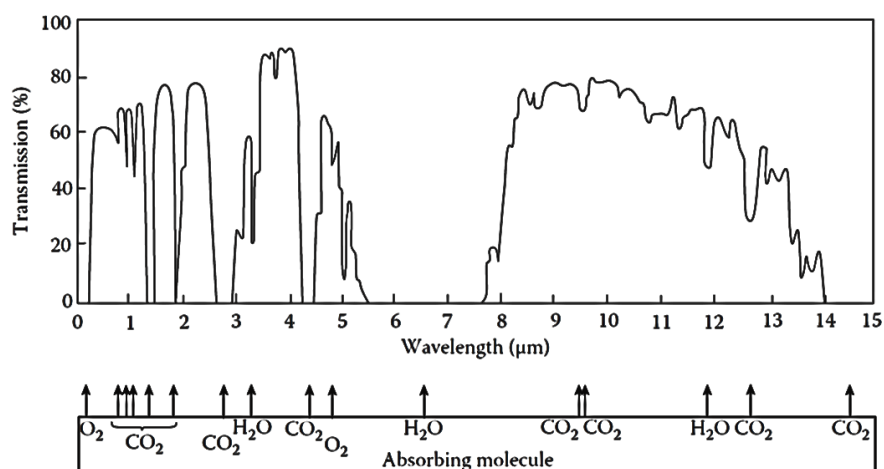
² Reflectivity

³ Transmissivity

⁴ Beam

این فرآیند به پراکندگی رایلی^۱ معروف بوده و با λ^{-4} متناسب است. بنابراین پراکندگی ناشی از مولکول‌های گاز برای طول موج‌های بالای $2\mu\text{m}$ ناچیز می‌باشد. همچنین ذرات دود و غبار^۲ سبک در مقایسه با طول موج‌های IR معمولاً کوچک می‌باشند بنابراین پرتوهای IR در مقایسه با پرتوهای مرئی بیشتر می‌توانند از دود و غبار عبور کنند. با این حال ذرات باران، مه و بخارها^۳ بزرگتر بوده در نتیجه میزان پراکندگی IR و نور مرئی برای آنها یکسان است.

در شکل ۱-۳ منحنی عبور برای طی مسافت 6000ft در هوا بر حسب تابعی از طول موج نشان داده شده است. در این شکل باند جذب مولکول‌های آب، دی اکسید کربن و اکسیژن نشان داده شده که سبب می‌شوند انتقال در اتمسفر به دو پنجره در $3-5\mu\text{m}$ و $8-14\mu\text{m}$ محدود شود. ترکیباتی مانند ازن، منواکسید نیتروژن، منواکسید کربن و متان در اتمسفر از نظر جذب IR از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشند.



شکل ۱-۳ منحنی درصد عبور پرتوهای فروسرخ در طی مسافت 6000ft در سطح دریا بر حسب تابعی از طول موج [۲]

به دلیل حساسیت بالاتر به دمای اشیای محیط و نیز عبور بهتر از دود و غبار، معمولاً بازه طول موج $8-14\mu\text{m}$ برای تصویرنگاری گرمایی با کیفیت بالا ترجیح داده می‌شود. با این حال بازه طول موج $3-5\mu\text{m}$ می‌تواند برای اشیاء داغ‌تر و یا در صورتی که حساسیت نسبت به تباین از اهمیت کمتری برخوردار است مفیدتر باشد. تمامی امواج الکترومغناطیسی در بازه طول موج $0.4-2\mu\text{m}$ حین عبور از جو زمین دستخوش پدیده‌هایی مانند جذب، پراکندگی و بازتاب می‌شوند. در طراحی حسگرهای IR، فاکتورهای جذب و پراکندگی از مهم‌ترین عواملی هستند که باید مدنظر قرار گیرند. حتی در هوای تمیز که هیچ نوع ذرات معلقه مانند گرد و غبار، دود، مه یا باران نباشد عبور این امواج از جو به دلیل وابستگی آنها به طول موج IR، مسیر عبور، ارتفاع، شرایط فصلی و تغییرات چگالی و دمای جو زمین، تابعی پیچیده می‌باشد [۲]. در خارج از این پنجره‌ها به دلیل نقش CO_2 و بخارات H_2O در جذب و پراکندگی، میزان تضعیف IR بالاست.

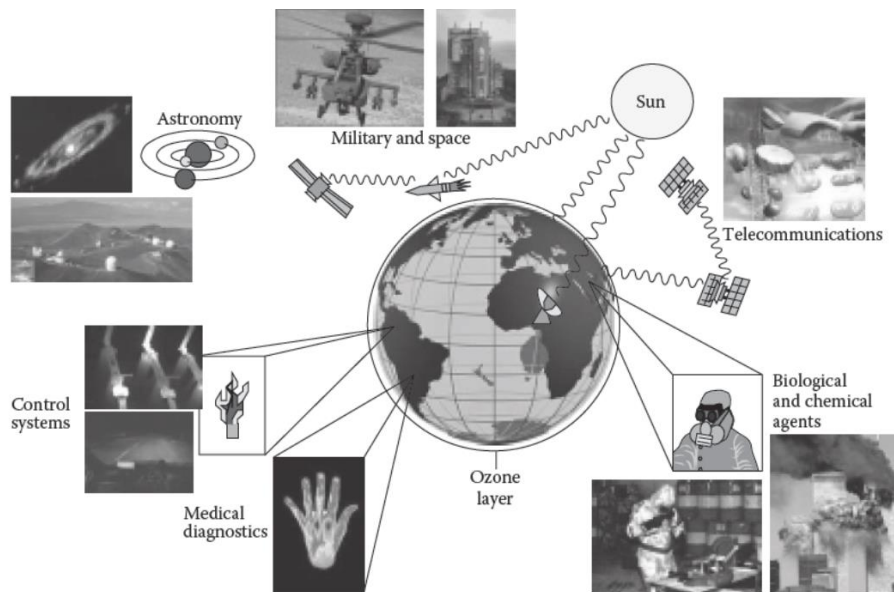
¹ Reyleigh scattering

² Mist

³ Aerosol

۴-۱ کاربردهای فرورسرخ

از زمان ظهور تکنولوژی فرورسرخ بوسیله ستاره‌شناسی بنام ویلیام هرشل^۱، در به روی انواع کاربردهای آن نیز باز شده است که از آن جمله می‌توان به ادوات فوتونیک، حسگرهای پایش (مراقبت) و شناسایی فضا، سیستم‌های امنیتی، سیستم‌های دیده‌بانی مخفی^۲، سیستم‌های ارتباطی و مخبرات، سیستم‌های انتقال اطلاعات، سیستم‌های هشدار موشک، تجهیزات تشخیص طبی، حسگرهای پایش آلودگی، حسگرهای تصویری با کیفیت بالا، حسگرهای هوابرد (فضایی) چند طیفی، ناوبری و دیگر سیستم‌های اقتصادی و نظامی اشاره کرد. در شکل ۴-۱ کاربردهای آشکارسازهای فرورسرخ نشان داده شده است [۴].



شکل ۴-۱ کاربردهای فرورسرخ [۱]

۵-۱ اهمیت سیستم‌های جستجو و رهگیری فرورسرخ^۳ (IRST)

اولین استفاده نظامی از فرورسرخ که امروزه اصلی‌ترین کاربرد آن محسوب می‌شود، کاربرد بر علیه هواپیماهای دشمن می‌باشد. هواپیما بسیار مستعد آشکارسازی و شدیداً آسیب‌پذیر است. برخلاف اهداف زمینی، در شرایط پس‌زمینه هوایی طبیعی، می‌توان هواپیما را در فواصل دور آشکارسازی کرد. بنابراین یک هواپیمای بزرگ را می‌توان فقط با استفاده از یک موشک با سرجنگی بسیار کوچک سرنگون کرد [۵].

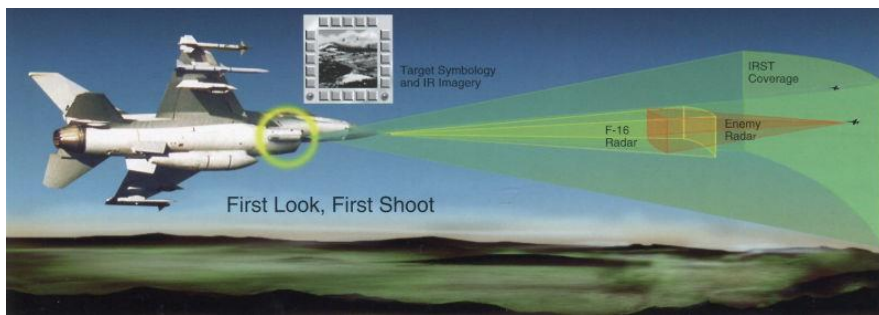
در آشکارسازی به کمک رادار باید امواج بوسیله فرستنده به سمت هدف ارسال شوند سپس بخشی از امواج بازتاب شده از هدف به گیرنده برسد. این عمل می‌تواند موجب آگاه کردن هدف مورد رهگیری (که همان دشمن است) شده و با استفاده از اطلاعات فرکانس و مدولاسیون نوع رادار و موضع آن برای دشمن مشخص شود [۵].

¹ William Herchel

² Covert Observation

³ Infrared Search and Track

سیستم‌هایIRST در واقع سیستم‌های مراقبت و دیده‌بانی با میدان دید وسیع بوده که تمامی عملیات‌های مربوط به جستجو، رهگیری، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی اهداف محتمل را به صورت پسیو و مستقل (خودکار) انجام می‌دهند. امروزه اهمیت بکارگیری سیستم‌هایIRST در دفاع هوایی روز به روز در حال افزایش است زیرا رادارها الزامات مربوط به پایش و دیده‌بانی غیر فعال (پسیو) را برآورده نکرده، در مقابل پارازیت^۱ آسیب‌پذیر بوده و همچنین در مقابل موشک‌های ضد تابش مستعد آسیب می‌باشند. دیگر دلیل برتری این سیستم‌ها بر رادار، پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه حسگرهایIR می‌باشد که منجر به افزایش برد آشکارسازی شده است. با این حال اقدامات متقابل صورت گرفته موجب کاهش مشاهده‌پذیری اهداف و انتخاب سخت‌گیرانه کاربران شده است که از آن جمله می‌توان به میدان دید بزرگتر، قابلیت آشکارسازی اهداف با سرعت بالا در پس‌زمینه‌های پیچیده در تمامی جهات، آشکارسازی اهداف نقطه‌ای در فواصل دور و ... اشاره کرد. علاوه بر آن سیستمIRST باید بتواند در شرایط بد آب و هوایی و در طول روز و شب قابلیت پرواز یا فرود هواپیما را فراهم آورد [۶]. در شکل ۱-۵ مقایسه سیستمIRST و رادار در هواپیمای F16 نشان داده شده است. از ضعف‌های این سیستم در مقایسه با رادار می‌توان به برد کم آن و همچنین تأثیر وضعیت جوی بر عملکرد آن اشاره کرد. زیرا بدی آب و هوا تا اندازه‌ای عملکرد سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته روشنایی یا تاریک بودن محیط بر عملکرد آن بی‌تأثیر است.



شکل ۱-۵ مقایسه سیستمIRST و رادار در هواپیمای جنگی F16 [۷]

با استفاده از حسگرهایIRST قابلیت شناسایی و رهگیری اهداف فریبنده^۲، هواپیما و موشک‌های کروز در فواصل دور و با قدرت تفکیک بالا فراهم می‌شود. این حسگرها در صورت نصب روی هواپیما در ارتفاعات بالا و موقعیت مناسب، می‌توانند در شرایط آب و هوایی مناسب در محدوده‌ای 100 مایلی شناسایی انجام دهند. عملکرد کلی این حسگرها به چندین پارامتر بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به زمان سکون^۳، تعداد آشکارسازها، حساسیت آشکارساز و میدان دید آنی^۴ آرایه آشکارساز اشاره کرد. از آنجا که این حسگر از نوع غیرفعال (پسیو) می‌باشد بنابراین در عین بالا بودن محدوده شناسایی و ردیابی، دارای حداقل توان مصرفی و همچنین وزن و اندازه کمتر در مقایسه با حسگر نوع فعال (اکتیو) می‌باشد [۴].

در صورت نصب این حسگر در ارتفاعات بالا، قابلیت‌هایی از جمله هشدار به موقع در مقابل هواپیماهای جنگنده دشمن مجهز به موشک‌های هوا به هوا، هواپیماهای بمب‌افکن مجهز به موشک‌های ضد زیر دریایی و کروز و همچنین اطلاعات تک یا حمله هوایی در حضور پارازیت RF فراهم می‌شود.

¹ Jamming

² Decoys

³ Dwell Time

⁴ Instantaneous FOV