



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

سمینار دفاع الکترونیک

آشکارسازی مادون قرمز در موشکهای ردیاب غیر فعال

جلال روح اله نژاد

jalal_rnd@aio.ir

سازمان صنایع هوافضا- صنایع شهید علم الهدی

پیمان معلم

دانشگاه اصفهان - دانشکده فنی مهندسی - گروه الکترونیک

عباسعلی زابلی

سازمان صنایع هوافضا- صنایع شهید علم الهدی

احمد رضا جوادی

سازمان صنایع هوافضا- صنایع شهید علم الهدی

چکیده: شانس برخورد بالای موشکهای بر مبنای هدایت غیر فعال و فراهم شدن امکانات تکنولوژیکی در ساخت چنین سیستمهایی، تحولی در موشکهای آشیانه یاب بوجود آورده است. استفاده از سیستمهای جستجوگر مادون قرمز FLIR که تصویر حرارتی بلادرنگی از اهداف میدهند در گزارشهای متعددی مشاهده شده که از جمله می توان به موشکهای Hsiung Feng2 و Rafael Popey اشاره کرد. در سیستم های جستجوگر غیر فعال مادون قرمز FLIR ، آشکار ساز های حرارتی نقش کلیدی داشته و امواج حرارتی را به سیگنالهای الکتریکی ملموس تبدیل می کنند. در این مقاله سعی خواهیم کرد تا سیر تحول آشکارسازهای مادون قرمز مورد استفاده در سیستمهای نظامی، از آشکارسازهای نقطه ای که فقط تصویر یک نقطه نورانی می دهند تا آرایه های سطحی کانونی (FPA) که تقریباً تصویر کاملی می دهند را بیان کنیم. برای این منظور، ابتدا در مورد آرایه های نسل اول (آشکارساز نقطه ای) الی نسل سوم (آرایه های ماتریسی) توضیح خواهیم داد و مزایا و معایب سیستم های آشکارسازی را در کاربرد موشکهای ردیاب غیر فعال بیان می کنیم. در ادامه به نمونه هایی از آشکارسازهای مادون قرمز در جستجوگرهای تصویری موشکهای ردیاب غیر فعال اشاره شده و برخی پارامترهای کلیدی آنها ذکر می شود

واژگان کلیدی: آشکارسازی مادون قرمز FLIR. موشکهای ردیاب غیر فعال. FPA.

1- مقدمه

تکنولوژی مادون قرمز در چند دهه اخیر با توجه به نیازهای مدرن نظامی و غیر نظامی پیشرفتهای چشمگیری داشته است و محققان زیادی در این زمینه فعالیت می‌کنند. بهبود بازده مواد آشکارساز، استفاده از آرایه های آشکارساز مادون قرمز کوانتومی تبریدی، آرایه های تصویربرداری حرارتی غیرتبریدی¹ و مطالعه و ساخت آزمایشگاهی نیمه‌هادیهای آشکارساز کوانتومی غیر تبریدی، از جمله دستاوردهای مهم پژوهشگران در حیطه مادون قرمز می‌باشد. به موازات این پیشرفتهای علمی و تکنولوژی، در عرصه بکارگیری حساسه های مادون قرمز در صنایع نظامی جهشهای محسوسی رخ داده و نسلهای جدیدی از سیستمهای موشکهای هدایت شونده مادون قرمز تولید و مورد استفاده قرار گرفته است [1]. در این مقاله ابتدا سیر تحولات آشکارسازهای مادون قرمز بیان گردیده و با بررسی نمونه هایی از بکارگیری حساسه های مادون قرمز در کاربردهای نظامی، نمایی از آینده این تکنولوژی ترسیم می‌گردد.

هر جسم با توجه به درجه حرارتی که دارد، امواج الکترومغناطیسی از خود ساطع می‌کند که در محدوده طول موجی $1-1000\mu\text{m}$ قرار دارد. ناحیه بینایی چشم انسان در محدوده مرئی امواج الکترومغناطیسی $0.38-0.76\mu\text{m}$ قرار دارد، لذا بشر جهت مشاهده پیرامون خود در غیاب نور مرئی، از یک سری عوامل واسطه که به اصطلاح حساسه نامیده می‌شوند، استفاده می‌کند. در قسمت بعدی سیر تحولات آشکارسازی مادون قرمز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

2- سیر تحولات آشکارسازی مادون قرمز در کاربردهای نظامی

سنسورهای مادون قرمز از زمان دستیابی به تکنولوژی قطعات حالت جامد، وارد مرحله نوینی شده‌اند. آشکارسازهای مادون قرمز را در کتب مرجع، به صورت های متفاوتی طبقه بندی می‌کنند برخی از این دسته بندیها عبارتند از: آشکارسازهای سریع و کند، آشکارسازهای پر توان و کم توان، آشکارسازهای تپهای انرژی، آشکارسازهای عامل در فضای زمان و فضای فرکانس و آشکارسازهای فوتونی و حرارتی [4]. اولین نوع حساسه‌های مادون قرمز، سیستمهایی تک المانی بودند که همراه با یک جاروبگر³ مکانیکی از هدف مورد نظر، یک لکه نورانی را نشان می‌دادند. معمولاً آشکارسازهای مورد استفاده در این نوع سیستمها، آشکارسازهای کوانتومی در بازه $3-5\mu\text{m}$ می‌باشند [2]. با توجه به جنس آشکارساز مورد استفاده در این حساسه‌ها، تصویر بصورت لکه‌ای نورانی از هدفی داغ تشکیل می‌شود، بدین صورت که آشکارساز یک نقطه از هدف را بخاطر وجود منبع گسیل در آنجا مشاهده می‌کند. این نقطه توسط اپتیک جستجوگر بر روی آرایه ای تصویر می‌شود و سیستم جاروب موشک اطلاعات سمت یابی را به مدارهای کنترلی ارسال می‌کند. تا کنون جستجوگرهای مختلفی با این تکنولوژی طراحی و ساخته شده‌اند، امروزه هم حساسه‌های مادون قرمز نقطه‌ای در موشکهای تاکتیکی استفاده می‌شوند از اینرو جهت غلبه بر مشکل اهداف کاذب⁴، بهینه کردن مشخصات آشکارساز اهمیتی فراوان دارد. از جمله جستجوگرهای مادون قرمز نقطه ای مورد استفاده در موشکها می‌توان به موشک ضد زره تاو⁵ ویا موشک ضد هوایی استینگر⁶ اشاره کرد.

¹ Uncooled

² Sensor

³ Scanner

⁴ Jamming

⁵ Tow

⁶ Stinger

خانواده ای دیگر از سیستمهای جستجوگر مادون قرمز وجود دارند که در آنها تصویر هدف با یک سری از نقاط آن پردازش می‌شود، در این گونه از سیستمها علاوه بر غلبه بر مساله اهداف کاذب، امکان شناسایی هدف خیلی بیشتر است و اطلاعات بیشتری در اختیار کاربر قرار داده می‌شود. در این جستجوگرها از دوربینهای تصویر برداری حرارتی با خروجی استاندارد ویدئو که سیستمهای پیچیده ای هستند استفاده می‌شود. تا کنون سه نسل از دوربینهای حرارتی ساخته شده است [۳]:
دوربینهای نسل اول: در این دوربینها از آرایه ای خطی از آشکارسازها استفاده می‌شود که در دو جهت صحنه را جاروب می‌کنند.

دوربینهای نسل دوم: این نسل دوربینها مشابه دوربینهای نسل اول می‌باشند و فقط بر تعداد المانهای آشکارساز افزوده شده است.

دوربینهای نسل سوم: دوربینهای نسل سوم دارای ماتریسی از المانهای آشکارساز مادون قرمز می‌باشند و مانند دوربینهای تلویزیونی، در یک مرور الکترونیکی، تصویری کامل از هدف ایجاد می‌کنند. تکنولوژی این دوربینها بر مبنای آشکارسازهای FPA می‌باشد که در قسمت بعدی تشریح می‌گردد.

3- آشکارسازهای مادون قرمز FPA

از جمله موفقیتهای بزرگ در تکنولوژی مادون قرمز توسعه آرایه های سطحی کانونی می‌باشد. سالیان زیادی است که آرایه‌های سطحی کانونی از CCDهای مرئی در دوربینها و سایر وسایل تصویر برداری مرئی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما توسعه این ابزار FPAs در تکنولوژی مادون قرمز رخداد تقریباً تازه‌ای است [۴]. اصلی ترین مزیت این نوع سیستمها حذف شدن جاروبگرهای مکانیکی در سیستمهای تصویر برداری بوده که منجر به افزایش حساسیت نسبت به زمان ائتلاف⁷ می‌باشد. در این نوع آشکارسازها لازم است تا دقت زیادی در ساخت المانها صورت گیرد تا پاسخدهی یکنواخت و همگنی حاصل شود و یا حتی لازم است که موازنه الکترونیکی بصورت مصنوعی ایجاد شود. برای به دست آوردن میدان دید وسیعتر با حداکثر قدرت تفکیک پذیری فضایی، لازم است تا بر تعداد المانهای FPA افزوده شود همچنین باید سیستم توری طراحی شود که سیگنالهای انحرافی بزرگ ناشی از پس زمینه را تشخیص دهد.

مطالعات اخیر بیشتر در زمینه کپی کردن از سیستمهای CCD مرئی و استفاده از ساختارهای CMOS برای آشکارسازی IR است که حاملین بار تولید شده توسط آشکارساز از راه ورودی گیت⁸ وارد دیواره ذخیره بار می‌شوند و در مدت زمان مشخص روی هم انباشته می‌شوند⁹، سپس بارهای انباشته شده بر اثر ولتاژ اعمالی بر سرگیت از لبه آرایه، به خروجی انتقال داده می‌شوند. سیگنال خروجی تا زمانی ادامه خواهد داشت که اشباع شدگی¹⁰ در دیواره ذخیره بار اتفاق می‌افتد. این فرایند در طول موجهای 8-14 μm خیلی سریعتر از طول موجهای 3-5 μm اتفاق می‌افتد بنابراین این بکارگیری CCD مرئی در آشکارسازهای مادون قرمز از لحاظ عملی به طول موجهای کوتاهتر محدود می‌گردد. البته با استفاده از قابلیتهای CCDها می‌توان سیگنالهای متعددی که از زمینه و پس زمینه ناشی می‌شوند را توسط صفحات کانونی پردازش کرد. برای ساخت آرایه‌های بزرگ ضروری است تا آشکارسازها بر مبنای قطعات فوتولتائیک ساخته شوند. این ابزار به بایاس جریان نیازی ندارند به همین دلیل مدار آنها ساده‌تر می‌شود و توان لازم برای راه‌اندازی آشکارساز حذف می‌شود. ابزار فوتولتائیک ابزاری با امیدانس بالا هستند که قابلیت تزریق بالایی به CCD ها را دارند.

⁷ Integnation Times

⁸ Gate

⁹ Star time

¹⁰ Saturation

4- تکنولوژی ساخت FPA

تکنولوژی ساخت این قبیل ابزار را می‌توان به دو قسمت سیستم‌های یک پارچه و سیستم‌های هیبرید تقسیم بندی کرد. در سیستم‌های یکپارچه فرایندهای خاص آشکارسازی و پردازش سیگنال خروجی CCD، هر دو در همان تکه از ماده ساخته شده، صورت می‌گیرد لذا دیگر احتیاجی به پیوندهای متعددی بین آرایه آشکار ساز و تراشه پردازش وجود ندارد. در سیستم‌های هیبرید دو تراشه بطور مجزا ساخته و به هم پیوند داده می‌شوند. در چنین سیستم‌هایی می‌توان یک تست اولیه بر روی دو برد مذکور انجام داد و حتی می‌توان المانهای مادون قرمز را از یک ماده و قسمت پردازشگر را هم از ماده‌ای دیگر مثل سیلیکون ساخت.

آرایه‌های سیلیکونی غیرذاتی¹¹ یکپارچه، بر پایه تکنولوژی استاندارد و با استفاده از سیلیکون آلایش یافته توسط گالیوم و ایندیوم ساخته می‌شوند. از آنجاییکه این سیستمها در دماهای کم کار می‌کنند (دماهایی کمتر از 77k) بنابراین پاسخدهی آنها پایین است. Arens در سال ۱۹۸۳ استفاده از آرایه 32×32 سیلیکونی آلاییده شده توسط بیسموت را پیشنهاد کرد که در مطالعات اختر فیزیکی مورد استفاده قرار گرفت. این آرایه ذکر شده باید تا دمای 15k خنک شود [۵].

اکثر سیستم‌های سیلیکونی مورد استفاده سیستم‌های یکپارچه شاتکی پلاتینیوم- سیلیکون می‌باشند. این نوع سیستمها نسبتا همگن هستند و در دمای 80k در بازه 3-5μm کار می‌کنند، بازده کوانتومی پایینی دارند و عملا سطح بزرگی از آرایه کانونی بلا استفاده می‌ماند. با این وجود میتوان تصویری با کیفیت تقریبا خوب از یک آرایه 64×128 بدست آورد این قطعات عموما در مطالعات اختر شناسی کاربرد دارند.

تکنولوژی ساخت قطعات یکپارچه مرکوری کادمیوم تلوراید توسط موسسه تگزاس پیگیری و بسط داده شد، در آنجا سیستم‌های آشکار سازی با آرایه‌هایی بیش از 64×64 و با استفاده از CIDها¹² برای آشکار سازی باندهای 3-5μm و 8-14μm ساخته شده است. در این قطعات سلول ذخیره کننده و سلول خروجی دهنده¹³ هر دو از نوع MISها¹⁴ (ترانزیستور اثر میدان) می‌باشند. مشکل اصلی در قطعات ساخته شده فوق این است که با بالا رفتن طول موج ظرفیت دیوار کمتر و محدودتر می‌شود لذا این دستگاهها نمی‌توانند طول موجی بیشتر از یک طول موج خاص را آشکار سازی کنند [۶]. روشهای متعددی برای ساخت انواع محصولات آشکار ساز- پردازشگر تاکنون ابداع شده است که در این بین، محصولات InSb و MCT¹⁵ از جایگاه خاصی برخوردارند. البته سابقا هم آرایه‌های InSb ساخته می‌شد که در این آرایه‌ها CCD های سیلیکونی توسط اتصالات ایندیومی هیبرید می‌شد و در بازه 3-5μm مورد استفاده قرار می‌گرفت.

ساختارهای هیبرید MCT جالب توجه هستند و قابلیت کار در پنجره‌های 8-14μm و 3-5μm را دارند. با این حال علی رغم تمام موفقیت‌هایی که ساختارهای هیبرید MCT در طول موجهای کوتاهتر داشتند، قادر نبودند که در بازه 8-14μm بخوبی کار کنند. این مشکل از اینجا ناشی می‌شد که بارها مستقیما به CCD تزریق می‌شدند لذا لازم بود تا امیدانس فوتودیود

¹¹ Extrinsic

¹² Charge Injection Devices

¹³ Read out

¹⁴ Metal - Insulator- Semiconductor

¹⁵ Mercury Cadmium Telluride

خیلی بزرگتر از CCD باشد. همچنین ظرفیت ذخیره بار در سیلیکون، زمان ائتلاف را محدود می‌کند و فقط برخی از سیگنالهای پس زمینه قادر بودند عبور کنند. در سال ۱۹۸۲ Ballingale پیشنهاد کرد که در خروجی چند فرستنده بجای CCD از کلیدهای MOS استفاده شود [۵].

امروزه FPAهای دو بعدی بطور گسترده ای در تصویربرداریهای با کیفیت بالا و طیف سنجیهای تصویری مورد استفاده قرار می‌گیرند. خنک کردن FPAها بازده آنها را بیشتر می‌کند ولی باعث افزایش قیمت و پیچیدگی سیستم می‌شود. ساخت FPAهای مادون قرمز که احتیاج به سرد سازی ندارند، بر پایه تکنولوژی میکروبالومترها، باعث ساخت سیستمهای تصویربرداری مادون قرمز ارزان قیمتی شده که در کاربردهای نظامی و غیرنظامی قابل استفاده می‌باشد. مثلا یک سیستم مجتمع طبقه خروجی CMOS و یک بالومتر FPA به ابعاد 320×240 پیکسل بازده خوبی برای بازه $8-12 \mu\text{m}$ فراهم کرده است. شرکت کانادایی Amber Inc Goleta طراح این آرایه غیر تبریدی ادعا کرده است که تصاویر بدست آمده از این آرایه با تصاویر حاصل از یک آرایه سطحی کوانتومی قابل مقایسه است [۲]. اخیرا کارهای مطالعاتی وسیعی در رابطه با ساخت ادوات حالت جامد آشکارساز مادون قرمز صورت گرفته است و گزارشهایی مبنی بر ساخت آشکارسازهای کوانتومی غیر تبریدی نیز موجود است. از جمله پیشگامان این موضوع خانم دکتر منیژه رازقی ساکن در انگلیس می‌باشند [۷].

5- نمونه هایی از بکارگیری آشکارسازهای FPA در حساسه های مادون قرمز

در قسمت قبل، مروری بر تکنولوژی آشکارسازهای مادون قرمز انجام شد در این قسمت نمونه هایی از سیستمهای عملی نظامی معرفی می‌شوند.

5-1- سیستمهای تصویربرداری مادون قرمز بلادرنگ

سیستمهای تصویر برداری متداولی که تشعشعات مادون قرمز محیط را بطور بلادرنگ¹⁶ به تشعشعات قابل دید تبدیل می‌کنند اصطلاحا دوربینهای FLIR¹⁷ نامیده می‌شوند. FLIRها از ادوات مهم نظامی هستند که در تمام شرایط آب و هوایی کار می‌کنند، معمولا این سیستمها امکان دو نوع میدان دید لحظه ای¹⁸ را مهیا می‌کنند، حالت پهن¹⁹ برای جستجوی اهداف و وضعیت باریک²⁰ برای ردگیری هدف. اجزاء اصلی یک FLIR را می‌توان به چهار بخش دسته بندی کرد:

۱ - محفظه اپتیکی نصب شده بر روی سکوی نگه دارنده، که توسط مکانیزم کنترلی واسطه پایدار می‌شود.

۲ - قسمت الکترونیکی که بردهای الکترونیکی ضروری و آرایه آشکارساز تبریدی را در برمی‌گیرد.

۳ - واحد منبع تغذیه.

۴ - واحد پردازش سیگنال و کنترلهای مربوطه.

در سیستمها حساسه صحنه مقابل خودش را جاروب می‌کند و آرایه آشکارساز تبریدی، سیگنالهای دریافتی را بصورت بلادرنگ به نور مرئی تبدیل می‌کند تا برای ناظر قابل فهم باشد. با استفاده از یک پروسسور سیگنال دیجیتال (DSP) سریع، تصاویر با تفکیک پذیری بالا تحلیل شده و هدف از پس زمینه تفکیک می‌گردد. با توجه به خواست کاربر، زاویه دید سیستم تنظیم می‌شود. فاصله شناسایی و تشخیص هدف تابعی از اندازه هدف، شرایط هوایی و قدرت تفکیک پذیری حرارتی

¹⁶ Real Time

¹⁷ Forward Looking Infrared

¹⁸ Instance Field of View

¹⁹ Wide

²⁰ Narrow

حساسه می‌باشد. حداکثر فاصله قابل شناسایی در یک نمونه از سیستم FLIR، از 4km در هوای صاف تا 2.5km در هوای غبارآلود می‌تواند تغییر کند. البته این مقادیر برای سازه های بزرگ و ساختمانها می‌تواند تا حدود 15-20km در هوای صاف و بیش از 14km در شرایط نامساعد جوی می‌تواند افزایش یابد [۲].

2-5- حساسه های جستجوگر و ردیاب مادون قرمز (IRST²¹)

IRSTها نوعی حساسه های مادون قرمز هستند که با قدرت تفکیک پذیری بالایی اهداف را شناسایی و ردیابی می‌کنند. از این نوع سنسورها معمولا در هواپیماها، موشکهای کروز برد بلند و سیستمهای اعلان خطر استفاده می‌شود. سیستم IRST نصب شده بر روی یک هواپیمای با سقف پرواز بالا در شرایط آب و هوایی صاف قابلیت تحت پوشش قرار دادن محدوده ای ۱۰۰ مایلی از محیط اطراف خود را داراست. عملکرد کلی این سیستمها به پارامترهای متعددی مثل زمان وقفه حین حرکت، تعداد آشکارسازها، کواتهای فوتونی و میدان دید لحظه‌ای آرایه آشکارساز بستگی دارد.

با توجه به اینکه IRST یک حساسه غیر فعال هواپیمای است با مصرف توان کمتری محدوده وسیعتری با تفکیک پذیری بالا قابل شناسایی است. طرح جالبی که امروزه در بسیاری از این نوع سیستمها مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از چندین FPA با میدان دید وسیع است. این امر در سکویهای هواپیمای باعث می‌شود که سنسور توانایی تحت نظر داشتن محدوده ای در حدود ۳۶۰ درجه را داشته باشد برای مثال در [۸] روشی برای ساخت یک لایه نازک آشکارساز MCT با میدان دید وسیعتر ذکر شده است.

این نوع حساسه ها از لحاظ ابعاد، وزن و حجم، قابل قیاس با حساسه های فعال متداول می‌باشند. اینگونه سنسورها پاسخ خوبی نسبت به خطرهای ناشی از هواپیماهای نظامی، موشکهای هوا به هوا، موشکهای کروز و سایر تهدیدات دارند و سریعا هشدار می‌دهند.

2-5- موشکهای هدایت شونده مادون قرمز (IRGMS²²)

در موشکهای هدایت شونده الکترواپتیکی، هم از تکنولوژی آشکارسازی نقطه‌ای و هم از تصویربرداری مادون قرمز جهت جستجو و ردگیری اهداف استفاده می‌شود. از جمله موشکهای دارای جستجوگر تصویری مادون قرمز، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

موشک Hsiung Feng 2 ساخت کشور تایوان دارای جستجوگر دوگانه فعال رادار و مادون قرمز است، برد این موشک بیش از 100km می‌باشد [۹].



شکل ۱ - موشک Hsiung Feng 2

موشک Rafael Popeye با برد 93km که در فاز نهایی پرواز توسط سیستم الکترواپتیکی مرئی یا مادون قرمز هدایت می‌شود، در سال ۱۹۹۰ توسط رژیم اشغالگر قدس ساخته شده است [۱۰].

²¹ Infrared Search and Track

²² Infrared Guided Missiles



شکل ۲ - موشک Rafael Popeye

موشک AGM-84 (SLAM)، شکل متحول شده موشک دریایی هارپون بوده که برد موثر آن در حدود 105km می‌باشد. این موشک توسط GPS²³ هدایت می‌شود. فاز نهایی هدایت این موشک توسط سیستم الکترواپتیکی صورت می‌گیرد، یعنی در حدود 17km مانده به هدف سیستم جستجوگر مادون قرمز آن فعال می‌شود. سیکر²⁴ IIR مورد استفاده در این موشک همان سیکر AGM-65D (ماوریک-D) است. موشک AGM-84E (SLAM-ER) موشک دریایی دیگری است که شبیه SLAM عمل می‌کند و برد آن تا 280km افزایش یافته است [۱۰].



شکل ۳ - موشک SLAM

موشک کروز دریایی پنگوئن (AGM-119) ساخت نروژ هم از جمله موشکهای تاکتیکی است که فاز نهایی کنترل توسط جستجوگر مادون قرمز صورت می‌گیرد. ماگزیموم برد این موشک 60km می‌باشد [۱۰].



شکل ۴ - موشک پنگوئن

موشک کروز Tomahawk، BGM-109 موشکی با برد بلند است که از دریا، زیردریا و هوا شلیک می‌شود. برد این موشک حدود 1600km است هدایت نهایی این موشک بر عهده حساسه تصویربردار مادون قرمز است [۱۱].



شکل ۵ - موشک کروز Tomahawk (BGM-109)

²³ Global Position System

²⁴ Imaging Infrared

6- نتیجه

در این مقاله مروری بر سیر تحول سیستمهای مادون قرمز انجام شد. با توجه به موارد مطرح شده و سیاست گذاری استفاده وسیع تر از سیستمهای مادون قرمز، می توان روند پیشرفت و توسعه این سیستمها را در دو راستای عمده در نظر گرفت:

۱ - ساخت سیستمهای مادون قرمز کم حجمتر و ارزانتر. هم اکنون گرایش به استفاده از آشکارسازهای غیر تبریدی که احتیاج به سیستم خنک سازی ندارند افزایش یافته و بهینه سازی جنس آشکارسازها و مدارات پردازشی پژوهشهای زیادی را به خود معطوف کرده است.

۲ - افزایش ضریب اطمینان سیستمهای حساسه مادون قرمز و هوشمند کردن آنها نیز از محورهای اصلی پژوهشی در تکنولوژی مادون قرمز می باشد و امروزه استفاده از *FPA* های دقیق و الگوریتمهای پردازشی دیجیتال از روشهای متداول در افزایش هوشمندی کردن سیستمهای حساسه می باشند.

7- مراجع

- [1] P.N.J.Dennis, *Photodetectors An Introduction To Current Technology Plenum Press*, New York and London, 1985.
- [2] A.R. Jha, *Infrared Technology Application to Electro-Optics, Photonic Devices, and Sensors*, John Wiley & Sons, 2000.
- [3] R.W. Waynant, M.N. Ediger, *Electro-Optics Handbook*, McGrawHill, 2000.
- [4] Herbert M Runciman, Pilkington, "Influence of technology on FLIR waveband selection", *Optronics*, SPIE Proc. Vol. 2470, 1995.
- [5] R.G. Driggers, P. Cox, T. Edwards, *Introduction to Infrared and Electro Optical Systems*, Artech House Publishers, 1998.
- [6] Longo, J.T. ,Cheung,D.T. ,Tracy,J., "Infrared Focal Planes In Intrinsic Semiconductors", *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol. ED.25, No .2, pp 213, 1978.
- [7] Lee, Jaejin, "Exploration of Bismuth and Thallium-Containing III-V Materials for Uncooled Long-Wavelength Infrared Photodetector Applications", PhD Dissertation in the field of Electrical Engineering, Evanston, Illinois, June 2000.
- [8] جلال روح اله نژاد، رسول ملک فر، "بهینه سازی در رشد ارزانتر آشکارساز MCT با میدان دید وسیعتر"، همایش نقش علوم پایه در پدافند جنگهای نوین، دانشگاه امام حسین(ع)، اسفند ۷۹.
- [9] <http://www.global-defence.com/99/1998/97/contents.html>
- [10] <http://www.milnet.com/milnet/milnet.htm>
- [11] http://news.bbc.co.uk/hi/english/static/in_depth/world/2001/cruise_missile