پیشنهاد مقدماتی طراحی و ساخت یک سیستم تصویر برداری ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در ایران از دیدگاه ژئوماتیک

روح الله یزدان [۱]، محمد جواد ولدان زوج [۲]، مسعود ورشوساز [۳]، محمود رضا صاحبی [٤]
[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
yazdan@sina.kntu.ac.ir
[۲و۳و٤]عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
[۲]valadanzouj@kntu.ac.ir و [۳]varshosazm@kntu.ac.ir و [٤]sahebi@kntu.ac.ir

تهران –خ ولیعصر– تقاطع میرداماد– دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

چکیده :

امروزه استفاده از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در ایران (همانند سایر کشورهای دیگر جهان) به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. از آنجایی که تصاویر، محصول نهایی ماهواره های با قدرت تفکیک بالا هستند، و برای بهره گیری و تفسیر و تصحیح این تصاویر نیاز به استفاده از شاخه های مختلف علم ژئوماتیک می باشد، ضروری به نظر می رسد که از ابتدا در تمام مراحل انجام این پروژه ضروریات و ملزومات فنی مورد نظر علم ژئوماتیک لحاظ شود. لذا برای تحقق این امر وجود متخصصین مرتبط با این علم ضروری است. در این مقاله به تبیین نقش و جایگاه علم ژئوماتیک در پروسه طراحی و ساخت ماهواره های با قدرت تفکیک بالا پرداخته شده است. از آنجایی که صنعت ساخت ماهواره از تکنولوژیهای بسیار پیچیده روز بهره می گیرد، مطالعه خصوصیات قسمتهای مختلف ماهواره ها نیاز به بررسی همه جانبه و دقیقی دارد. نتایج حاصله نشان می دهد در زمینه مطالعه و طراحی تکنیکها و قسمتهایی مانند هندسه تصویر برداری و نوع صفحه کانونی، سیستم های تصویر برداری استریو، تعیین ومحاسبه پارامترهای دوربین، نوع آشکار سازها و سیستم های اپتیکی، محاسبه پارامترهای مداری و سیستم های کنترل وضعیت و موقعیت، علم ژئوماتیک صاحب نظر می باشد و حضوری تاثیر گذار و مثبت خواهد داشت .

لغات کلیدی : ماهواره های با قدرت تفکیک مکانی بالا – علم ژئوماتیک – طراحی و ساخت ماهواره

۱– مقدمه

امروزه استفاده از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در جوامع جهانی بسیار فراگیر شده است بطوریکه اکثر کشورهای صنعتی و در حال توسعه جهان گامهای موثری را در راه طراحی و ساخت این ماهواره ها با توجه به نیاز قابل توجه شان به تصاویر تولیدی این ماهواره ها برداشته اند .امروزه استفاده از عکسهای ماهواره ای جایگاه ویژه ای در مطالعات پروژه ها ی عمرانی ، تولید نقشه و بروز رسانی نقشه ها دارد . لذا کشور های مختلف جهان با سرعتی روز افزون با توجه به قابلیتهایی که این تصاویر دارند و مزیتهایی که باعث برتری این تصاویر بر تصاویر هوایی می شوند (از جمله سرعت اخذ تصویر بالاتر و ...) به سمت ساخت و بکارگیری ماهواره های مختلف از جمله ماهواره های تصویر برداری اپتیکی حرکت می کنند [۱] .

با نگاهی به تاریخچه پرتاب ماهواره ها ، مشاهده می شود که دو کشور آمریکا و شوروی سابق کشورهای پیشرو در استفاده و پرتاب ماهواره های فوق بوده اند[۱]. بعد ها کشور های هند و فرانسه هم بطور جدی وارد این عرصه شدند و در زمره کشورهای پیشرفته در زمینه ساخت و پرتاب ماهواره ها قرار گرفتند [۱]. در حال حاضر کشورهای ژاپن، چین، رژیم اشغالگر قدس و حتی کره جنوبی نیز به طور جدی وارد این صنعت شده اند و به تولید و پرتاب ماهواره ها در سالهای اخیر پرداخته اند [۱].

استفاده های مختلفی از تصاویر ماهواره ای صورت می گیرد که با توجه به کاربردهای مورد نظر، رزولوشن این ماهواره ها هم تغییر می کند . به عنوان مثال برای کاربرد های هواشناسی نیازی به رزولوشن زیر یک متر وجود ندارد ولی برای بروز رسانی نقشه ها یا مطالعات عمرانی مثل راهسازی و ... نیاز به قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا و زیر یک متر است . ساخت چنین سنجنده هایی بسیار پیچیده و گران قیمت است و کشور های محدودی تمام تکنولوژی لازم را جهت اجرا این پروژه ها دارند .

مسلما جمهوری اسلامی ایران نیز از این قاعده مستثنا نمی باشد و با توجه به تحریم های متعدد موجود در این زمینه بر علیه ایران لزوم بیشتری برای حرکت به سمت انجام تحقیقات و مطالعات گسترده در راستای پیشرفت و خودکفایی در این صنعت وجود دارد.

دستیابی به تکنولوژی طراحی و ساخت یک ماهواره پروسه طولانی است که باید هر چه زود تر در کشور شروع ، هدایت و حمایت شود. انجام چنین پروژه ای نیاز به متخصصین برجسته و متفاوتی در هر زمینه دارد. چگونگی ساخت باطریها ، سیستم های اپتیکی ، سلول های خورشیدی ، سیتمهای مخابراتی و کنترلی نمونه هایی از موارد متعددی است که می بایستی بررسی شوند.

از دیگر علوم مرتبط با این صنعت که می بایستی به طور جدی مورد توجه قرار گیرد می توان به علم ژئوماتیک اشاره نمود یعنی با توجه به ماهیت و کاربرد تصاویر بدست آمده از این ماهواره ها در رشته های زیر شاخه علم ژئوماتیک به نظر می رسد حضور متخصصین این رشته ها از ابتدای مطالعات و طراحی ها ضروری به نظر می رسد. در حال حاضر چندین پروژه ساخت ماهواره در کشور و بخصوص در برخی از دانشگاهها مانند دانشگاه علم و صنعت در حال گذراندن فازهای مطالعاتی و عملیاتی می باشد، که به نظر می رسد جایگاه حضور متخصصین ژئوماتیک در این پروژه ها باید پررنگ تر دیده شود . لذا با توجه به محصول خروجی این ماهواره ها که تصاویر هستند، این احتمال وجود دارد که تصاویر این ماهواره ها هم از لحاظ کیفیت و هم از لحاظ هندسه و خصوصیات تصویری، بر آورنده نیازهای مصرف کنندگان اصلی این محصولات نباشند. از این رو به نظر می رسد با انجام یک بررسی دقیق در مراحل مختلف عملیات طراحی و ساخت ماهواره ها و شناخت توانمندیهای علم ژئوماتیک می توان پیشنهاداتی در این زمینه از دیدگاه علم ژئوماتیک ارائه نمود. در این مقاله به بیان این موضوع پرداخته شده است.

از آنجایی که ورود به این بحث مستلزم آشنایی هر چه بیشتر با اجزاء و سیستمهای به کار رفته در یک ماهواره می باشد، لذا ابتدا به تشریح قسمتهای مختلف یک ماهواره پرداخته شده و سپس با توجه به

کارایی و سیستم عملکرد آنها به تشریح کاربرد علم ژئوماتیک در بخشهای مورد نظر پرداخته شده است . در انتها هم جمع بندی مطالب مطرح شده در مقاله ارائه گردیده است.

۲- معرفی قسمتهای مختلف یک ماهواره

همانطور که بیان شد قبل از ورود به بحث اصلی لازم است با اجزاء و سیستم های داخلی یک ماهواره آشنا شویم . یک ماهواره از قسمتهای مختلفی تشکیل گردیده است این قسمتها عموما بین انواع مختلف ماهواره های تصویر برداری ثابت است و اکثرا قسمت محموله یا سنجندهٔ ماهواره ها تغییر می کند ولی در بیشتر قسمتها یک ساختار و شکل ثابت وجود دارد. در ضمن هر ماهواره پس از ساخت باید پرتاب شود و در مدار خود قرار گیرد که برای اینکار نیاز به vehicle دارد تا ماهواره را در مدار قرار دهد .

به طور کلی یک ماهواره از قسمتهای مختلفی شامل :Payload، Bus ، Attitude control Sys ، Power ، Thermal Control ، Community Sys ، Computer & Process ، Ground Station و Lunch (vehicle) تشکیل شده است[۲]. که در ادامه به بحث و معرفی هرکدام از این قسمتها خواهیم پرداخت.

۲-۱- Payload (محموله) : به مجموعه سیستمهای نوری ، آشکارسازها و سنجنده های یک ماهواره گفته می شود که در یک یا چند مجموعه در یک ماهواره بکار می روند. یعنی ممکن است روی یک ماهواره چند دوربین با کارایی متفاوت نصب شوند و اقدام به اخذ داده از زمین نمایند .

اصولا با توجه به کاربرد یک ماهواره نوع سنجنده بکار رفته در آن تغییر می کند . البته ممکن است که ماهواره از نوع تلفیقی باشد و در آن صورت از چند سنجنده مختلف استفاده می شود . در این مقاله به طور خاص روی سنجنده های با قدرت تفکیک بالا بحث می شود . در خصوص این نوع سنجنده نکته قابل ذکر این است که ما نیاز داریم که فاصله کانونی را افزایش دهیم تا به قدرت تفکیک لازم برسیم . شرکتهای سازنده هر کدام به روشی این کار را انجام داده اند مثلا در سنجنده Ikonos شرکت Kodak بوسیله ۵ آئینه شکست نور ایجاد می کند و با توجه به طول تلسکوپ حدود ۲ متر فاصله کانونی را به ۱۰ متر افزایش می دهد . در هر تلسکوپ از چند عدسی برای تمرکز کردن نور استفاده می شود که خود این عدسی ها باید با دقت خاصی ساخته شوند که تکنولوژی پیچیده ای دارد و نیاز به متخصصین فیزیک اپتیک برای انجام چنین امری وجود دارد. دسته اشعه ها پس از عبور از عدسی ها به آشکار سازها می رسند که برای ثبت فتونهای رسیده در صفحه کانونی مستقر شده اند . امروزه آشکار سازهای متعددی وجود دارند. [۱] از جمله :

- (Charge Coupled Device) CCD
- (Charge Injection Device) CID
- (Complementary Metal Oxide Semiconductor/active pixel sensor) CMOS/APS
- (active pixel position sensor) APPS

CCD ها در سال ۱۹۶۹ توسط Willard Boyle & Gorge Smith اختراع گردیدند که این اختراع تحول عظیمی در زمینه تصویر برداری اپتیکی بوجود آورد که منجر به تولید فتوگرامتری رقومی گردید. CCD یک آشکار ساز سیلیکونی حالت جامد است که حساسیت بالایی به فتون دارد. این آشکار ساز ها

از خازنهای MOS (Metal Oxide Semiconductor) تشکیل شده اند که عمل جذب و انتقال فتونها را انجام می دهد . مزیت بالای CCD ها در پردازش آنی ، دقت بالا ، قدرت تفکیک رادیومتریکی مطلوب و تولید با هزینه ارزان است که باعث شده این آشکار ساز متداولترین نوع آشکار ساز مورد استفاده در جهان باشد . CID ها هم از جنس MOS ها هستند فقط فرق آنها با CCD ها در این است که هر فتون در دو MOS ذخیره می شود که امکان دسترسی به آنها با دو مختصه x, y فراهم می شود که امکان دسترسی رندوم به پیکسلها را فراهم می کند ولی نویز بالایی دارد و بیشتر در کارهای نجومی استفاده میشود. CMOS/APS نیز نسل دوم CCD ها هستند از مزایای آنها کاهش نویز و دسترسی رندوم به داده های تصویری است.

APPS: در ابتدای قرن ۲۱ بوجود آمدند و قابلیت پروسس و تعیین موقعیت بالایی دارند. به همین دلیل در Star Tracker ها از آنها استفاده میشود . از مزایای دیگر آن می توان به سنجش در شرایط نوری کم اشاره نمود .

تولید و در کنار هم قرار دادن CCD ها در یک ردیف تکنولوژی بسیار پیچیده ای است و نیاز به متخصصین الکترونیک و فیزیک دارد. نکته مهم دیگر این است که امروزه اصولا به منظور استخراج بیشتر اطلاعات طیفی، عموما در کنار اخذ تصویر Pan اقدام به دریافت تصاویر در باندهای مختلف الکترومغناطیس هم می نمایند. به طور خاص در این سنجنده ها غالبا با قرار دادن ٤ آشکار ساز دیگر که حساس به طیفهای مرئی(آبی، سبز، قرمز) و مادون قرمز نزدیک می باشند، علاوه بر ایجاد تصاویر رنگی امکان تفسیر اطلاعات را بالا می برند. موضوع قابل توجه بعدی نوع هندسه تصویر یا نوع صفحه کانونی است . انواع مختلف آن عبارتند از Point Type، Line Type و Area Type که در سنجنده های فضایی بیشتر از سیستم Line Type استفاده می شود یعنی CCD ها در یک خط (یا حداکثر در چند ردیف) با تعداد زیاد قرار دارند. دو نوع سیستم تصویر برداری Line Type داریم : Whisk Broom و Push Broom . (شکل شماره ۱) امتیاز روش Push Broom در کاهش نویز بدلیل افزایش زمان برداشت خط است ، همچنین بدلیل عدم وجود عضو دوران کننده نسبت به روش دیگر سریعتر است. شایان ذکر است روشهای تصویر برداری استریو نیز سه نوع می باشند : Cross Track ، Along Track و Flexible .

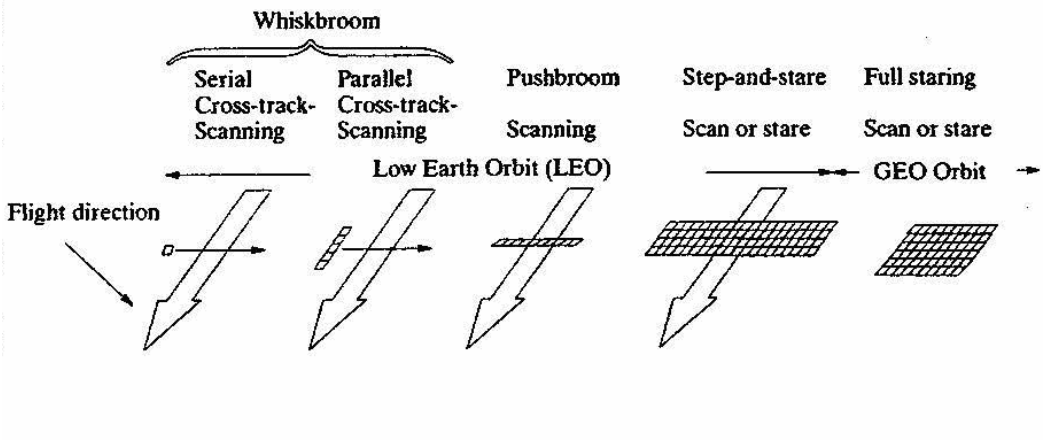
در حالت Cross Track تصویر برداری استریو در دو مدار مختلف از یک منطقه صورت می گیرد، در حالت Along Track هر دو تصویر در یک مدار گرفته می شود ودر حالت Flexible خود ماهواره در مدار می چرخد و به اطراف نظاره کرده و در جهات مختلف تصویر می گیرد.

۲- ۲- Bus : به طور کلی به عنوانPlatform (سکو) مطرح است و وظایف زیر را به عهده دارد :

- وزن محموله را تحمل کند .
- نگهداری محموله در دمای لازم .
- نیروی الکتریکی لازم را تهیه کند .
- برقراری ارتباط زمینی .

- قرار دادن محموله در مدار مشخص و حفظ آن مدار .
- ذخیره اطلاعات و ارسال به ایستگاه زمینی .

بدنه Bus از آلومینیوم متخلخل است و سیستمهای مختلف روی آن قرار گرفته اند . این بدنـه عـلاوه بـر امکان تحمل وزن کل سیستم باید نسبت به تشعشعات بیرونی مقاوم باشد .



شکل شماره ۱ – انواع هندسه تصویر برداری [۱]

۲-۳- ACS : یکی از مهمترین بخشهای یک ماهواره سیستم کنترلی و تعیین موقعیت آن می باشد که این سیستم باید علاوه بر قدرت تعیین موقعیت و سـنجش آن ، قابلیـت تـصحیح خطـای صـورت گرفتـه در موقعیت یا سرعت ماهواره را داشته باشد . بطور کلی سیستمهای کنترلی دو بخـش عمـده دارنـد ، بخـش اول سنسورها هستند که وظیفه سنجش موقعیت ماهواره را دارند که اینکار توسط سیستمهایی مثل: GPS ،Gyroscope، Star Tracker، Earth Sensor، Sun Sensor و Magnetometer انجام می شـود [۳]. بخـش دوم این سیستم Actuator ها هستند که وظیفه تصحیح حالات موجود را دارند که به عنوان نمونـه مـی توان به نمونه های زیر اشاره نمود :

Magnetic Torquers، Gas jet Thrusters ، Momentum Wheels و Reaction Wheels [۳].

سیتمهای فوق الذکر هر کدام دارای دقتی با توجه به ساختار و روش کار خود هستند. امروزه دقیقترین این سیستم های کنترلی در بحث تعیین وضعیت Star Tracker ها هستند که دقتی زیر یک ثانیه کمانی دارند و سیستم کاری آنها به این صورت است که این سنسور بوسیله مشاهده ستارگان معلوم و زاویه بین آنها اقدام به تعیین موقعیت ماهواره در مدار می نماید [۳]. از جمله دیگر سنسورها می توان به Sun Sensor اشاره کرد که از آشکار سازهای مادون قرمز حرارتی استفاده می نماید و خط افق را با توجه به تمایز لایه سرد عمق آسمان و لایه گرمتر اتمسفر زمین می سنجد و نسبت به خط افق تعیین موقعیت می کند .

سنسورهای خورشیدی نیز با توجه به زاویه بین اشعه خورشید و بردار قائم بـر سنـسور اقـدام بـه تعیـین وضعیت ماهواره می کند که از کاربردهای دیگر آن در هم جهت کردن سلولهای خورشیدی به سمت منبع انرژی است تا انرژی لازم را جذب کند .

Thruster ها موتورهایی هستند که با سوخت مایع یا گاز فشرده شده عمل مـی کننـد و وظیفـه حرکـت ماهواره در مدار را به عهده دارنـد ، همچنـین از Wheel هـا بـرای تـصحیح موقعیـت حـول محورهـا و جلوگیری از گشتاورهای ناخواسته استفاده می شود.

۲-٤- Power : به طور کلی این سیستم انرژی الکتریکی لازم برای قسمتهای مختلف ماهواره را تـامین می کند که از دو قسمت سلولهای خورشیدی و باطریها تشکیل شده است .

جنس سلولهای خورشیدی امروزه از GaAs است که علاوه بر تامین انرژی لازم وظیفه شارژ باطری ها را هم به عهده دارد .

باطریها باید قابلیت شارژ و دشارژ را داشته باشند یعنی در هر دور هنگامیکه در قسمت کسوف یا تاریـک مدار خود قرار دارند توسط سلولهای خورشیدی شارژ می شوند و قالبا جـنس آنهـا از NiCd یـا NiH2 است کهNiH2 کارایی بهتری دارد اما گرانتر است. البته کشور فرانسه قصد دارد در مـاهواره Pleiades از باطریهای Li-Ion که تکنولوژی جدیدی است استفاده نماید .

طبیعتا تحقیقات ، طراحی و ساخت این سیستمها نیاز به متخصیصین الکترونیک و فیزیک دارد .

۲-۵- Thermal Control : سیتمهای کنترل حرارت داخلی یک سنجنده نقش مهمی را ایفا مـی کننـد . هریک از قسمتهای داخلی سنجنده به درجه حرارت مشخصی برای فعالیت نیاز دارد تـا سیـستمها بـدون خطا فعالیت کنند . وظیفه تنظیم حرارت قسمت های داخلی به عهده این سیستم است که دو روش کلـی برای انجام اینکار وجود دارد :

- روش فعال : به عنوان نمونه می توان به Heat Pipe ها اشاره کرد که سیستم آنها تقریبا مثـل یخچـال است و بوسیله لوله هایی که در آنها گاز وجود دارد حرارت قسمتهای مختلف را به بیرون منتقل مـی کند .
- روشهای غیر فعال (passive) : برای نمونه می توان به رنگ کردن سطوح برای عدم جذب یا انتقـال حرارت اشاره کرد یا ایزوله کردن بخشهای گرمازا تا از انتقال حرارت بین بخشهای مختلف جلوگیری شود و...

همانطور که گفته شد هر قسمت نیاز به دمای خاصی دارد به عنوان نمونه می توان بـه مـوارد زیـر اشـاره نمود :

(سیستمهای الکترونیکی ۰ تا٤۰ درجه ، باطریها ۵ تا ۲۰ ، سوختهای هیدرازین مایع ۷ تا ۳۵ ، سلولهای خورشیدی ۱۰۰- تا ۱۰۰ ، و سنسورهای مادون قرمز ۲۰۰- تا ۸۰- درجه سانتیگراد)

در این زمینه باید از متخصصین مکانیک وترمودینامیک بهره گرفت .

۲-٦- Community Sys : سیستمهای ارتباطی به طور کلی وظیفه ذخیره سـازی اطلاعـات ، فـشرده سازی اطلاعات و ارسال آنها را به ایستگاه زمینی ، هم چنین ارسال دستورات و تصحیحات مـداری از ایستگاه های زمینی به ماهواره را بر عهده دارند.

عموما ارسال اطلاعات به زمین توسط امواج رادیویی باند X انجام مـی شـود و دریافـت دسـتورات از ایستگاه زمینی در طول موج باند S انجام می شود .

۲-۷- Computer & Process : این قسمت وظیفه بررسی دستورات را بعهده دارد و سیستم کنترلـی است بر نحوه عملکرد کلیه سیستمهای داخلی یک ماهواره و هم چنین پردازش دسـتورات دریـافتی از زمین را انجام می دهد . نکته قابل توجه لزوم بهره گیری از یک زبان برنامه نویسی ثابت در کل پـروژه است .

۲-۸- Ground Station : برای دریافت اطلاعات و کنترل و ارسال دستورات به ماهواره نیاز به ایجاد ایستگاههای زمینی داریم. نکته قابل توجه چگونگی طراحی و تعداد این ایستگاهها اسـت کـه بایـد بـه گونه ای باشد که امکان ارسال تصاویر به زمین به راحتی فـراهم گـردد و مـاهواره بتوانـد در هـر دور حرکتی که اقدام به اخذ تصویر می کند آن را به ایستگاه زمینی ارسال نماید .

۲-۹- Lunch : پرتاب ماهواره بسیار مهم است زیرا بسیاری از ماموریتها علی رغم صرف هزینه هـای بسیار گزاف در مرحله پرتاب failed شده است و ماهواره در مدار قرار نگرفته اسـت. لـذا طراحـی و ساخت موشک که وظیفه حمل ماهواره و در مدار قرار دادن آن را به عهده دارد بسیار پیچیـده اسـت و هر کشوری تکنولوژی آن را ندارد لذا بیشتر کشورها انجام اینکـار را بـه کـشور دیگـری کـه صـاحب تکنولوژی است واگذار می کنند از جمله به روسیه تا ماهواره در مدار مشخص قرار گیرد . با این حال بدلیل اهمیت مخفی ماندن پارامترهای مداری در یک ماموریت فضایی برای هر کشور بهتـر اسـت کـه این مرحله نیز توسط خود کشور سازنده انجام شود .

به موشک هنگام پرتاب نیروهای زیادی وارد می شود که بدنـه موشـک بایـد از لحـاظ آیرودینـامیکی تحمل این نیرو ها و فشارها را داشته باشد . طراحی یک سیستم پرتاب مراحل مختلفی دارد از جمله :

۱- طراحی و محاسبه پارامترهای مختلف مداری و پارامترهای ماهواره مثل وزن و ...

۲- تعریف و آنالیز شکل و نوع سیستم پرتاب (موتور و سوخت و ..)

۳- انتخاب سیستم پرتاب برای طراحی ماهواره (هزینه و اعتمادپذیری و ....)

٤- محاسبه تاثیر عوامل محیطی پس از پرتاب (ماکزیمم شتاب و گشتاورها و تکانه ها و...)

بعد از طی مراحل بالا و طراحی سیستم مورد نظر ماهواره به مدار پرتاب می شود .[۲]

در این بخش به طور مختصر قسمتهای مختلف یک ماهواره معرفـی گردیـد. حـال در ادامـه بـه تبیـین جایگاه علم ژئوماتیک در پروسه طراحی و ساخت ماهواره های با قدرت تفکیک بالا پرداخته می شود.

۳- جایگاه ژئوماتیک در پروسه طراحی

در قسمت قبل قسمتهای مختلف یک ماهواره معرفی شدند و بطور مجزا تـشریح گردیدنـد . حـال در این قسمت به بررسی نقش علم ژئوماتیک در پروسه طراحی و ساخت مـاهواره هـای مـذکور مـی پردازیم. متاسفانه در اغلب پروژه های طراحی و سـاخت مـاهواره در کـشور نقـش متخصـصین علـم

ژئوماتیک آن طور که باید و شاید جدی گرفته نمی شود که این موضوع می تواند منجر به نتایج ناخوشایندی در آینده گردد. زیرا فلسفه ساخت چنین ماهواره هایی استفاده از تصاویر اخذ شده آنها است که اگر با توجه به هزینه های گزافی که صرف ساخت ماهواره ها شده است ،این تصاویر انتظارات و نیازهای متخصصین علوم ژئوماتیک را برآورده ننماید، زیان بزرگی را به سرمایه های ملی وارد می سازد.

همانطور که اشاره شد تصاویر بدست آمده توسط ماهواره های با قدرت تفکیک مکانی بالا نهایتا باید در رابطه با زمینه های کاربردی ژئوماتیک مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار بگیرند ، لذا باید تصاویر بدست آمده نظر فنی و نیازهای مورد نظر را تامین نماید . مسئله مهمی که امروزه برای تهیه و خریداری تصاویر ماهواره ای وجود دارد گزینش ماهواره مورد نظر با توجه به نوع هندسه تصویر برداری ، رزولوشن زمانی و مکانی ، چند طیفی بودن ، استحکام هندسی تصویر اخذ شده می باشد . از این رو توجه و بررسی مسائل مطرح شده قبل از طراحی و ساخت ماهواره می تواند تصاویر بهتری را در اختیار کاربران قرار دهد. با توجه به ماهیت رشته های زیر شاخه علم ژئوماتیک مسائلی مانند تعیین نوع سیستم تصویر برداری مورد نظر، شیوه تصویر برداری استریو و میزان پوشش طولی و عرضی، تعداد و نوع باندهای طیفی مختلف، ارائه پارامترهای داخلی مطلوب در یک دوربین، تعریف و تعیین پارامترهای مداری و کنترل دقت تعیین وضعیت ماهواره در مدار خود ، می توانند زمینه های حضور مستقیم و نظریه پردازی متخصصین این رشته ها باشد .

- هندسه تصویر برداری : همانطور که گفته شد سیستم های مختلف تصویر برداری وجود دارد، اما تقریبا تمام ماهواره های با قدرت تفکیک بالا به شیوه Line Type اقدام به تصویر برداری می نمایند . همچنین امروزه اکثر این نوع ماهواره ها از سیستم Push Broom استفاده می کنند ، زیرا نسبت به سیستم Whisk Broom سریعتر است و نیاز به وجود قسمت دوران کننده ندارد و همچنین امکان تصویر برداری استریو را در حالات مختلف فراهم می نماید . همچنین از مزیتهای این روش تصویر برداری بر روش Area Type این است که صفحه کانونی تولید شده بدلیل اینکه از تعداد کمتری آشکار ساز استفاده می کند ارزانتر و سبکتر است و همچنین کنار هم قرار دادن این تعداد آشکار ساز در کنار هم مثلا در ماهواره Quick Bird که بیش از ۲۷۰۰۰ آشکار ساز در یک خط قرار دارند ، بسیار پیچیده و مشکل است . با این وجود سیستمهای Line Type هندسه تصویر برداری مشکلتری دارند .
- سیستم تصویر برداری : یکی از مسائل مهم در استفاده از تصاویر ماهواره ای وجود تصاویر استریو می باشد تا بتوان پس از ایجاد مدل سه بعدی اقدام به تولید نقشه یا DTM و ... نمود . گرچه اقدام به تصویر برداری استریو به روش Along Track دارای سرعت بالایی است و در یک مدار قابل انجام است ولی به تنهایی کافی نیست زیرا همواره نیاز است که ما از مناطقی که در زیر مدار حرکت ماهواره نیستند تصویر داشته باشیم یا زمان لازم برای رسیدن به نقطه مورد نظر را نداریم لذا

نیاز به تصویر برداری به شیوه Cross Track هم داریم . همچنین با این روش می توان به نسبت باز به ارتفاع نزدیک یک دست یافت . از این رو بهتر است با توجه به اینکه دست یابی به تکنولوژی تصویر برداری Flexible در حال حاضر بسیار مشکل و دور از ذهن است لذا پیشنهاد می گردد که ماهواره طراحی شده قابلیت تصویر برداری به هر دو روش را داشته باشد ، یعنی دو دوربین برای تصویر برداری Along Track داشته باشد که یکی با زاویه ۲۳ درجه رو به جلو و یکی با زاویه ۲۳- درجه رو به عقب تصویر برداری نماید. با این کار نسبت باز به ارتفاع ۰,۸۵ قابل حصول است . در ضمن لازم است که یک دوربین در نادیر قرار بگیرد تا علاوه بر اینکه امکان تصویر برداری به شیوه Cross Track را بوسیله یک آئینه دوران کننده فراهم می کند ، از در سایه قرار گرفتن برخی عوارض جلوگیری می کند ، یعنی در هنگام تصویر برداری با زاویه بیان شده رو به جلو و عقب برخی عوارض نزدیکتر به عوارض بلند تر ، در سایه قرار می گیرند و دیده نمی شوند.

- ویژگی های طیفی : از جمله مسائل مطرح در این زمینه اقدام به طراحی حداقل ٤ باند طیفی (آبی،سبز،قرمز،مادون قرمز) بر روی سنجنده است که اصولا ابعاد آشکار ساز این باند ها ۲ برابر سنجنده های Pan است و تعداد آن ها یک چهارم می باشد . از این باند ها می توان برای تفسیر عوارض و نقشه ها استفاده نمود ، که به طور مستقیم طول موج و تعداد آنها مرتبط با متخصصین فوق الذکر می باشد.
- طراحی پارامترها : از جمله مسائل مرتبط دیگر محاسبه و طراحی پارامترهای مرتبط با رزولوشن می باشد . برای این منظور ابتدا با توجه به رزولوشن مورد نظر و ابعاد آشکار ساز قابل دستیابی و همچنین فاصله کانونی سنجنده (باید توجه داشت با توجه به تکنولوژی که در اختیار داریم چه فاصله کانونی را می توان بوجود آورد از اینرو فاصله کانونی در بین ماهواره های مختلف فرق می کند و فاکتور بسیار مهمی در طراحی می باشد) ارتفاع مدار محاسبه می گردد . با این تفاسیر فرض می شود که رزولوشن مورد نظر ۲,۵ متر است و ابعاد CCD که می توان تهیه نمود ۱۲ µm می باشد . فاصله کانونی ماهواره هم ۲,۵ متر در نظر گرفته می شود (البته رنج فاصله کانونی امروزه در جهان از ۱۰ متر Ikonos تا حدود یک متر Spot5 می باشد)، سپس با توجه به رابطه :

GD = (H / f) * Ps (که در آن GD رزولوشن زمینی و f فاصله کانونی و Ps ابعاد پیکسل می باشد) ارتفاع تقریبی مدار ماهواره بدست می آید که ارتفاع محاسباتی حدود ۵۲۰ Km می شود.

با توجه به اینکه حرکت در ارتفاع پائین و همچنین عبور در فاصله های زمانی کم بر فراز یک منطقه از ملزومات طراحی مدار این ماهواره ها می باشد ، لذا از مدارهای نوع خورشید آهنگ در طراحی این سنجنده ها استفاده می شود، در ضمن با توجه به غیر کروی بودن زمین ما شاهد تغییرات در محل نقطه گرهی صعودی ماهواره می باشیم که میزان این تغییر با توجه به رابطه زیر قابل محاسبه است ؛ که برای یک مدار خورشید آهنگ ($d\Omega/dt$) برابر با ۳٦۰/۳٦۵ یا ۰,۹۸٦۳ (Deg/Day) است . [۷]

در مدار دایره ای :

$$\frac{d\Omega}{dt} = -J_2 \frac{3na_e^2}{2H^2\left(1-e^2\right)^2}\cos i$$

P = 0.0001658669 * ((6378.14 + a) ^ (3/2))

(سرعت زاویه ای) n = 2π / P

J2 = 0.00108263; ae = 6378.14 km

با جایگذاری مقدار ارائه شده در رابطه و در نظر گرفتن $e = 0$ بدلیل دایره ای بودن مدار و قـرار دادن ارتفاع محاسبه شده در رابطه، زاویه میل مدار ماهواره مورد طراحی برابر ۹۷،۸۳ درجه بدست می آید .

- تعیین موقعیت دقیق ماهواره : مسئله مورد توجه دیگر بحث حصول دقت مورد نظر است یعنی باید میزان دقت قرارگرفتن ماهواره در مدار و مسیر حرکت مورد نظر تامین گردد کـه تـاثیر مـستقیم در دقت نقاط زمینی و محاسبات مورد نظر با توجه به داده های GPS و ... خواهد داشت ، کوچکترین خطا در محاسبه پارامترهای دورانی و مکانی ، سرعت و زمان و ...خطاهای زیادی بوجود می آورد . همانطور که اشاره شد متداولترین سنسورها Star Tracker ها هستند که در تلفیق با Gyro ها و GPS دقت و سرعت مطلوب را ارائه می دهند.

٤- جمع بندی

در این مقاله پیشنهادی مقدماتی برای طراحی و ساخت یک سیستم تصویر برداری ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا در ایران از دیدگاه ژئوماتیک ارائه گردید . به همین منظور ابتدا قسمتهای مختلف یک ماهواره توضیح داده شد و در ادامه مسائل مرتبط با علم ژئوماتیک به طور مجزا تشریح گردید. با توجه به مسائل بیان شده، به کارگیری علم ژئوماتیک از مراحل ابتدایی تصمیم گیری ، طراحی و ساخت ماهواره های با قدرت تفکیک مکانی بالا از جمله در تعیین نوع سیستم تصویر برداری مورد نظر، شیوه تصویر برداری استریو و میزان پوشش طولی و عرضی، تعداد و نوع باندهای طیفی مختلف، ارائه پارامترهای داخلی مطلوب در یک دوربین، تعریف و تعیین پارامترهای مداری و کنترل دقت تعیین وضعیت ماهواره در مدار ضروری می باشد. با توجه به اهمیت حضور متخصصین علم ژئوماتیک در طی پروسه طراحی و ساخت، امید است در پروژه هایی از این دست به این موضوع بیشتر توجه شود و از قابلیتهای موجود در این علم استفاده گردد.

٥- منابع و مواخذ

1- H.J. Kramer, “Observation of the Earth & Its Environment”, Springer New York, 1510 Pages, 2002
2- J .Larson.Wiley, R Wertz. James, “Space Mission Analysis & Design”, Third Edition, Space Technology Library, 980 Pages, 2005.
3- Manual of Photogrammetry, ASPRS Book, Edition 2004.
4- Indian Space Research Organization, site address: http://www.isro.org, (accessed 2-2-2008)
5- Digital Globe, site address: http://www.digitalglobe.com , (accessed 2-2-2008)
6- GeoEye, site address: http://www.geoeye.com , (accessed 2-2-2008)
۷- ولدان زوج ، محمد جواد ،" فتوگرامتری فضایی " ، جزوه درسی ، ۱۳۸۵ .