

(مقاله کوتاه)

# ملاحظات به کارگیری سیستم‌های تله‌متری و موقعیت‌یاب جهانی در راکت‌های کاوش

ب. بهشتی برومند<sup>۱\*</sup>، ا. قنبریان<sup>۱</sup>، ز. صادقی گیوی<sup>۱</sup>، ا. احمدلو<sup>۱</sup>، ک. رئیسی<sup>۱،۲</sup> و م. بهرامی<sup>۱،۳</sup>

۱. پژوهشگاه هوافضا

۲. دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳. دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

\* شهرک غرب، خیابان ایران‌زمین، خیابان مهستان، پژوهشگاه هوافضا

beheshti@ari.ac.ir

در این مقاله استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی تجاری و سیستم تله‌متری در یک محموله تحقیقاتی راکت کاوش مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم موقعیت‌یاب جهانی عبارت است از دریافت‌کننده جی‌پی‌اس و سیستم‌های آنتن خاص این مأموریت. سیستم تله‌متری عبارت است از فرستنده داده، گیرنده داده، آنتن‌ها و غیره. هر سیستمی پس از طراحی و ساخت، تحت آزمایش‌هایی قرار می‌گیرد تا عملکرد آن برای شرایط پروازی محموله بررسی شده و تأیید گردد که در این مقاله، این آزمایش‌ها نیز شرح داده شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم تله‌متری، سیستم تعیین موقعیت، راکت کاوش، آزمایش عملکردی، آزمایش محیطی

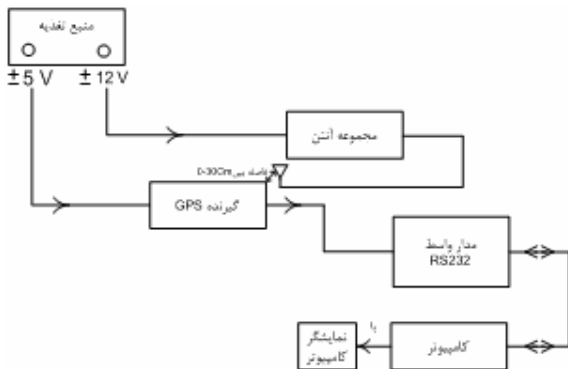
## مقدمه

سیستم‌های تله‌متری و موقعیت‌یاب جهانی از مهم‌ترین سیستم‌های به کار رفته در انواع راکت‌های کاوش هستند. سیستم‌های ردیابی بر مبنای جی‌پی‌اس برای تمام انواع وسایل، و به‌خصوص وسایل فضایی، در سال‌های اخیر به سرعت اهمیت پیدا کرده است. علاوه بر کاربردهای تجاری برای توسعه جی‌پی‌اس، تقاضا برای استفاده از این وسیله در سیستم‌های دینامیکی نیز رو به افزایش است. در حالی که امروزه تعداد زیادی جی‌پی‌اس برای کاربردهای غیرنظامی با قیمت‌های کم در سراسر دنیا قابل خرید هستند، سیستم‌های مورد نیاز برای محیط‌های دینامیکی هنوز کمیاب و گران هستند. تقریباً تمام این سیستم‌ها در ایالات متحده تولید می‌شوند که دسترسی به آنها دارای محدودیت‌های زیادی است. استفاده از جی‌پی‌اس‌های غیرنظامی در وسایل پرتابی از سال ۱۹۴۴ آغاز شد که با استفاده از تکنولوژی ناسا، تعدادی از گیرنده‌های جی‌پی‌اس در راکت‌های کاوش

آزمایش شدند [۱]. همچنین در سال ۲۰۰۱ در سه پرواز راکت کاوش در سوئد، موفقیت این سیستم به اثبات رسیده است [۲]. در این تحقیق یک گیرنده جی‌پی‌اس نظیر شکل ۱ برای ردگیری سیستم دینامیکی راکت کاوش استفاده شده است که قبلاً قابلیت‌های آن برای چنین منظوری مورد بررسی موفقیت‌آمیز قرار گرفته است. این سیستم با به‌کارگیری تمهیداتی حتی می‌تواند در ماهواره‌های مدار پایین نیز به منظور ناوبری، زمان‌بندی و تعیین مدار مورد استفاده قرار گیرد [۲، ۳]. سیستم تله‌متری وظیفه انتقال داده‌های راکت کاوش به سمت ایستگاه زمینی از طریق لینک رادیویی را بر عهده دارد. بیشتر داده‌هایی که در حین پرواز یک راکت حاصل می‌شوند لحظه‌ای بوده و باید در زمان خود ثبت و ضبط شوند. داده کسب‌شده را می‌توان جمع‌آوری و به زمین مخابره و بر روی رایانه زمینی ذخیره کرد. برای این کار استفاده از سیستم تله‌متری داده در راکت‌های کاوش مرسوم است. داده‌های ارسالی توسط این سیستم، توسط گیرنده زمینی دریافت و بر روی رایانه ذخیره می‌شود.

۲۷. دریافت سیگنال ماهواره‌ای و انجام محاسبات تعیین موقعیت

۲۸. انتقال اطلاعات موقعیت به زمین

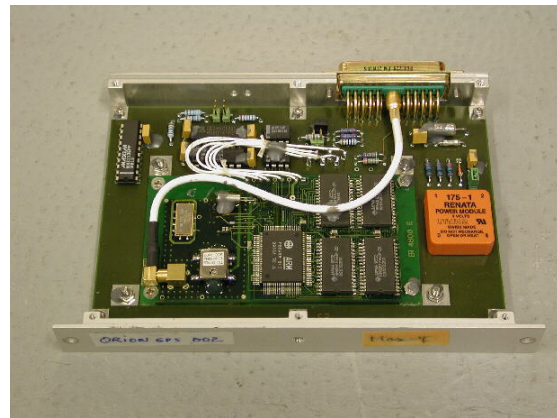


شکل ۲. شماتیک تجهیزات سیستم جی‌پی‌اس

بهترین تقریب، انجام این دو کار با حداقل پردازش است. سیگنال دریافتی ماهواره توسط این سیستم، تغییر فرکانس یافته و به زمین ارسال می‌گردد. حلقه رهگیری و پردازش اطلاعات دریافتی همگی در ایستگاه زمینی انجام می‌گیرد. با وجود تمامی موارد کاربردی، برخی ویژگی‌های سیستم ماهواره‌ای برای برخی کاربردها نامناسب است. شاید بعضی اوقات نتوان از دست دادن اطلاعات موقعیت را، که گاهی به دلیل بلوکه شدن<sup>۱</sup> ماهواره‌ها رخ می‌دهد، تحمل کرد و یا نیاز به روزآمد کردن<sup>۲</sup> اطلاعات خیلی بیشتر از حدی باشد که با تکنولوژی گیرنده‌های اخیر میسر است. در اکثر این حالات می‌توان از یک سیستم کمکی مانند سیستم اینرسی بهره جست.

با توجه به خصوصیات سیستم اینرسی این مسئله مطرح می‌گردد که آیا سیستم اینرسی راه حل بهتری نسبت به جی‌پی‌اس برای تعیین موقعیت و جهت نیست؟ استفاده از سیستم اینرسی برای تعیین موقعیت و جهت دارای چند مزیت، به‌ویژه برای وسایل متحرک است. از جمله اینکه بدون توجه به حرکت وسیله، از دقت بالایی برخوردار است و نیز خوداتکاست. با وجود این، سیستم اینرسی نیاز به تثبیت موقعیت خارجی<sup>۳</sup> در آغاز و انتهای حرکت وسیله دارد تا یک چارچوب مرجع جغرافیایی برای مشاهدات سیستم ایجاد کند. همچنین خطاهای این سیستم با گذر زمان زیاد می‌شوند و نیاز است بعد از گذشت زمانی محدود داده‌ها را به‌روز کرد. این

برای طراحی یک سیستم مخابراتی مناسب جهت ایجاد ارتباط بین ایستگاه زمینی ثابت و محموله متحرک راکت کاوش، نیاز است که مجموعه مشخصات مخابراتی و مکانیکی به‌عنوان فرضیات مسئله در نظر گرفته شود و پس از تثبیت این پارامترها طراحی دقیق مجموعه مخابراتی صورت گرفته و مشخصات فنی لازم جهت بهره‌برداری سازنده ارائه شود. مقاله ارائه‌شده با ملاحظات فوق و برخی فرضیات مناسب الکتریکی و مکانیکی سیستم تله‌متری یک راکت کاوش و همچنین امکان‌پذیری تهیه و ساخت سیستم‌های مورد نیاز در داخل کشور، ابتدا مراحل طراحی سیستم مناسب برای کاربرد مورد نظر را ارائه می‌دهد سپس به آزمایش‌های عملکردی و محیطی انجام‌شده بر روی این سیستم می‌پردازد.



شکل ۱. یک نمونه گیرنده جی‌پی‌اس تجاری

## سیستم موقعیت‌یاب جهانی

این سیستم باید اطلاعات موقعیت را از چند ماهواره دریافت کند. برای تعیین موقعیت صحیح، تعداد حداقل ۴ ماهواره باید در بازه دید آنتن گیرنده باشد. با افزایش تعداد ماهواره‌ها دقت داده‌های دریافتی افزایش می‌یابد. تعیین موقعیت با این روش نسبتاً ارزان است اما ایراد کار وابستگی آن به ماهواره‌ها و ضمناً مسئله دید دائم و پوشش مناسب و ارتباط گیرنده با ماهواره‌هاست. در صورتی که گیرنده نتواند حداقل تعداد ماهواره‌ها را ببیند، میزان دقت سیستم پایین می‌آید، تا آنجا که امکان یافتن موقعیت صحیح از بین می‌رود. مسائل دیگر از جمله چند مسیره شدن سیگنال و افت توان سیگنال در مقابل نویز از دیگر مشکلاتی است که در این روش وجود دارند و به نوعی باید با آنها به مقابله پرداخت. شکل ۲ شماتیک تجهیزات یک سیستم موقعیت‌یاب جهانی را نشان می‌دهد.

یکی از کاربردهای مهم سیستم جی‌پی‌اس رهگیری اجسام متحرک است. انجام رهگیری با این سیستم معادل انجام این دو مهم است [۳، ۴]:

1. Blocking  
2. Up Dating  
3. Self Contained

توان ارسالی معین شروع می‌شود و در پایان محاسبات، مقدار توان لازم برای دستیابی به یک لینک مورد اطمینان تصحیح خواهد شد [۴، ۵].

## آزمایش‌های لازم برای سنجش قابلیت سیستم طراحی شده

هر سیستمی پس از طراحی و ساخت، مورد انجام آزمایش‌هایی قرار می‌گیرد تا عملکرد آن برای شرایط پروازی راکت بررسی شده و تأیید گردد. این آزمایش‌ها برای سیستم‌های یک راکت کاوش به دو دسته عملکردی و محیطی تقسیم می‌گردند.

### آزمایش‌های عملکردی

در این بخش آزمایش‌های عملکردی که بر روی هر دو سیستم موقعیت‌یاب جهانی و تله‌متری باید انجام شود، ذکر می‌گردد.

#### ۱. سیستم موقعیت‌یاب جهانی

به منظور بررسی نحوه عملکرد سیستم، آزمایش‌های متعددی انجام می‌گیرد. منظور از این آزمایش‌ها بررسی توانایی‌ها و محدودیت‌های سیستم به تنهایی و نیز هنگام سوار شدن در محموله راکت به همراه سایر سیستم‌هاست.

- *آزمایش وضعیت قرار گرفتن آنتن بر روی پوسته راکت کاوش*  
در این آزمایش، تأثیر پوسته بر میزان گیرندگی آنتن‌های جی‌پی‌اس مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور آنتن‌ها در محل در نظر گرفته شده برای آنها و کاملاً در داخل پوسته محموله نصب شده و سیستم راه‌اندازی می‌گردد. دریافت اطلاعات در ایستگاه زمینی در این حالت نشان می‌دهد که پوسته تأثیر چندانی بر گیرندگی بورد یا آنتن‌های سیستم جی‌پی‌اس مورد استفاده ندارد.

- *آزمایش میزان تداخل گیرندگی جی‌پی‌اس با فرستنده‌های دیگر*  
در این آزمایش نحوه تأثیرگذاری سیستم‌های مخابراتی روی گیرندگی جی‌پی‌اس مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این کار توان سیستم‌های تله‌متری روی حداکثر مقدار تنظیم می‌شود. پس از آنکه فرستنده‌ها از طریق آنتن‌های نصب شده روی پوسته سیگنال‌های خود را با حداکثر توان ارسال کردند، خروجی جی‌پی‌اس روی صفحه مانیتور چک می‌شود.

در این آزمایش مختصات ارائه شده توسط گیرنده جی‌پی‌اس محموله با مختصات محل آزمایش که با یک جی‌پی‌اس دیگر مقایسه می‌شود، باید هماهنگی داشته باشد.

موضوع منجر می‌شود به اینکه سیستم اینرسی تنها برای مشاهدات کوتاه مدت مناسب باشد. به طور خلاصه سیستم جی‌پی‌اس:

- موقعیت و سرعت را با دقت زیاد اندازه می‌گیرد.
  - دقت جهت آن متوسط است.
  - پهناى باند کمی نیاز دارد.
  - تحت تأثیر بلوکه شدن ماهواره‌هاست.
  - تحت تأثیر مستقیم اطلاعات ارسالی از ماهواره‌هاست (از جهت امکان خطا یا فریب به وسیله سیگنال ارسالی).
- سیستم اینرسی:
- در محدوده زمانی کوتاه، دارای دقت دینامیکی بالایی است.
  - پهناى باند زیادی دارد.
  - مشکل بلوکه شدن سیگنال را ندارد.
  - خطاها با گذشت زمان افزایش می‌یابد.
  - غیرقابل فریب است.

### سیستم تله‌متری

تله‌متری وظیفه انتقال داده‌های راکت کاوش به سمت ایستگاه زمینی از طریق لینک رادیویی را بر عهده دارد. بیشتر داده‌هایی که در حین پرواز یک راکت حاصل می‌شوند لحظه‌ای بوده و باید در زمان خود ثبت و ضبط شوند. این داده‌ها به دو صورت ذخیره می‌شود. یک راه ضبط آن بر روی رایانه‌ای در داخل محموله راکت است، تا پس از بازیابی داده در دسترس قرار گیرد. اما برای اطمینان بیشتر، داده کسب شده را می‌توان جمع‌آوری و به زمین مخابره و بر روی رایانه زمینی ذخیره کرد. برای این کار استفاده از سیستم تله‌متری داده در راکت‌های کاوش مرسوم است. داده‌های ارسالی توسط این سیستم، توسط گیرنده زمینی دریافت و بر روی رایانه ذخیره می‌شود. در وهله اول، این داده‌ها خام هستند که پس از ذخیره، باید تحلیل شوند تا نهایتاً نتایج مورد نظر به دست آید. یک سیستم تله‌متری معمولاً شامل بخش‌های مختلفی از جمله منبع تغذیه، واحد ورودی، فرستنده و مدولاتور، تقویت کننده، تقسیم کننده و آنتن است.

پس از بررسی و مطالعات فراوان در مورد طراحی یک سیستم تله‌متری داده در راکت کاوش، مشخص شد که مهم‌ترین مسئله در این زمینه محاسبات لینک بین محموله ثابت و ایستگاه زمینی است که خود شامل پارامترهای ذیل است:

باند فرکانس، بهره آنتن‌ها، حداکثر فاصله بین محموله و ایستگاه زمینی، نوع مدولاسیون، انتقال فرکانس داپلر و نرخ بیت ارسال داده. با معین شدن این پارامترها، محاسبات با فرض یک

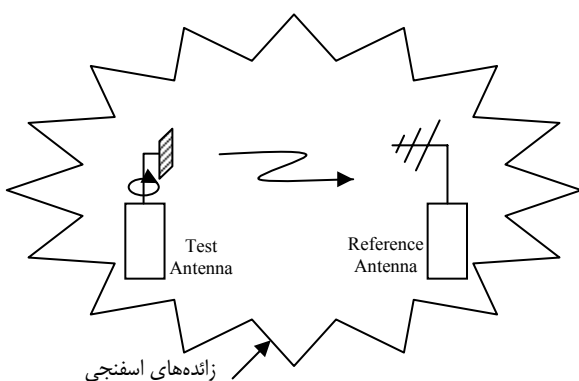
۳۰. الگوی تشعشعی آنتن در زوایای مختلف در فرکانسی مشخص.

این تست در اتاق آنتن انجام می‌گیرد. این اتاق، اتاقی کاملاً بسته و پوشیده از زائده‌هایی اسفنجی برای جلوگیری از انعکاس سیگنال تشعشعی آنتن مرجع از دیوارها، کف و سقف اتاق است. بدین ترتیب تنها سیگنالی که دریافت می‌شود سیگنالی است که مستقیماً از آنتن مرجع ساطع می‌شود.

#### - نحوه تست

مطابق شکل ۴، یک تولیدکننده سیگنال به کابل ارتباطی متصل شده، سر دیگر کابل به ورودی یک directional coupler وصل می‌شود. یکی از دو سر خروجی directional coupler به spectrum analyzer و سر دیگر به پورت ورودی آنتن وصل می‌شود. میزان افت سیگنال بازگشتی ورودی آنتن در spectrum analyzer خوانده شده، رسم می‌شود.

یک آنتن مرجع و استاندارد (و مربوط به عرض باند مورد نظر)، که به فرستنده‌ای متصل است، سیگنالی را در جهت ثابت در فرکانس مورد نظر ارسال می‌کند. آنتن‌های فرستنده مجموعه (که در اینجا به‌عنوان گیرنده استفاده می‌شود) بر روی پوسته نصب شده و سپس به splitter متصل می‌شوند. در ورودی splitter (که در اینجا نقش خروجی را دارد) سیگنال دریافتی توسط این مجموعه آنتن اندازه گرفته می‌شود. این مجموعه بر روی پایه‌ای چرخان قرار می‌گیرد. بدین ترتیب توان دریافتی توسط مجموعه را می‌توان در زوایای مختلف اندازه گرفت و سپس به صورت یک نمودار قطبی رسم کرد.



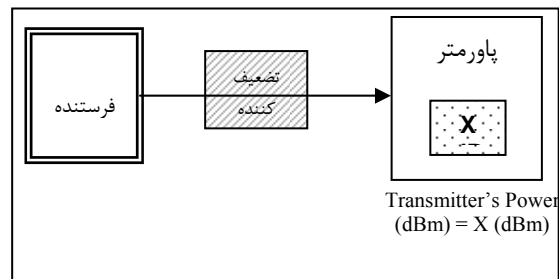
شکل ۴. اتاق آنتن

#### - تست نرخ موج ایستای ولتاژ (VSWR)

VSWR نسبت ولتاژ انتقال یافته به ولتاژ بازگشتی و به بیان دیگر اندازه کمی تطابق امپدانس خط با فرستنده یا گیرنده در یک سر و

#### - تست ارتباطات لینک انتقال با جی‌پی‌اس

از آنجا که اطلاعات جی‌پی‌اس به زمین منتقل می‌شود، ضروری است که ارتباط بین جی‌پی‌اس و زمین آزمایش شود. این آزمایش عبارت است از روشن کردن سیستم و دریافت اطلاعات آن به صورت مستقیم روی لپ‌تاپ و در نهایت دریافت اطلاعات روی رایانه ایستگاه زمینی. همسانی اطلاعات دریافت شده در این دو مرحله، نشان دهنده موفقیت آزمایش است.



شکل ۳. آزمایش فرستنده داده تله‌متری

#### ۲. سیستم تله‌متری

آزمایش‌های عملکردی سیستم تله‌متری شامل موارد زیر است:

##### - آزمایش فرستنده داده تله‌متری

جهت آزمایش فرستنده داده تله‌متری با استفاده از چیدمانی مطابق شکل ۳، باید فرکانس کاری، انحراف فرکانسی و پهنای باند هر فرستنده با استفاده از اسپیلوسکوپ و تحلیل‌گر طیف فرکانسی<sup>۱</sup> اندازه‌گیری و با مقدار طراحی مقایسه شود. در صورتی که مقادیر فوق در محدوده مجاز طراحی باقی بماند، فرستنده داده از عملکرد مناسبی برخوردار است.

##### - آزمایش فرستنده، واحد ورودی و گیرنده

ابتدا ورودی‌های واحد ورودی تک تک به رایانه پرواز متصل می‌گردند و خروجی واحد ورودی به فرستنده رفته، مدوله شده پس از تضعیف لازم در گیرنده دموله می‌شود. خروجی گیرنده در رایانه ذخیره می‌شود و سپس عمل بازیابی فریم‌ها بر روی آن انجام می‌گیرد. در طول تست، داده دریافتی بر روی اسپیلوسکوپ مشاهده می‌شود.

##### - تست الگوی تشعشعی آنتن در اتاق آنتن

در این تست دو فاکتور مهم آنتن‌های فرستنده اندازه‌گیری می‌شوند: ۲۹. میزان افت بازگشتی در یک محدوده وسیع فرکانسی که در اصل نشان‌دهنده میزان عدم انطباق امپدانسی ورودی آنتن با کابل ارتباطی است که خود پارامتری است وابسته فرکانس.

1. Spectrum Analyzer

کاوش انجام می‌شوند. در تمام این آزمایش‌ها سیستم در حالت عملیاتی مورد آزمایش قرار می‌گیرد، بنابراین تجهیزات خاصی برای انجام این آزمایش‌ها طراحی و ساخته می‌شود. آزمایش‌های محیطی هر سیستم بر مبنای شرایط پرواز و طبق استانداردهای مورد استفاده در چنین کاربردهایی تعریف می‌شوند [۶، ۷].

### ۱. سیستم موقعیت‌یاب جهانی

در این بخش آزمایش‌های محیطی که باید بر روی سیستم موقعیت‌یاب جهانی انجام شود، ذکر می‌گردد.

#### - آزمایش ارتعاش سیستم جی‌پی‌اس

در این آزمایش نحوه تأثیر فرکانس‌های ارتعاشی بر عملکرد سیستم جی‌پی‌اس مورد بررسی قرار می‌گیرد. اطلاعات ارسالی از ماهواره توسط آنتن‌های جی‌پی‌اس دریافت شده و دستگاه جی‌پی‌اس این اطلاعات را به رایانه آزمایش ارسال می‌کند. پس از روشن کردن سیستم و اطمینان از کارکرد آن، ارتعاشات لازم به صورت سینوسی و تا حداکثر ۲ کیلوهرتز، طبق برنامه پیش‌بینی شده به جی‌پی‌اس اعمال می‌گردد.

در این آزمایش باید ارسال آخرین اطلاعات توسط جی‌پی‌اس در طول انجام آزمایش در ۳ محور x، y و z چک شود و کیفیت دریافت اطلاعات خروجی در طول این ارتباط دچار نقصان نگردد تا مشخص گردد که سیستم انتخاب‌شده قادر است در برابر ارتعاشات ناشی از کار کردن موتور و جدایش‌هایی که در طول مسیر آن رخ می‌دهد به خوبی مقاومت کند.

#### - آزمایش شوک سیستم جی‌پی‌اس

تست شوک به منظور اعتبارسنجی سیستم جی‌پی‌اس، برای مقاومت در برابر ضربه‌های ناشی از جدایش‌ها و روشن شدن موتور انجام می‌شود. در این آزمایش ارسال اطلاعات توسط جی‌پی‌اس در طول انجام آزمایش و قطع نشدن ارتباط بین جی‌پی‌اس در حال آزمایش و کامپیوتر زمینی نشان‌دهنده مقاومت سیستم و مدارهای طراحی‌شده آن در برابر ضربات ناشی از پرتاب است.

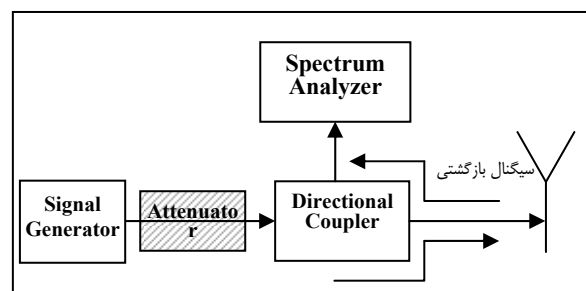
#### - آزمایش دمای سیستم جی‌پی‌اس

در این آزمایش عملکرد مورد گیرنده جی‌پی‌اس به همراه دو آنتن آن در دمای محیط و دماهای حداقل و حداکثر شرایط پروازی، بررسی می‌شود. در این آزمایش ابتدا سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای در دمای محیط راه‌اندازی می‌شود تا اطلاعات آن منطقه توسط جی‌پی‌اس ثبت شده و با اطلاعات گرفته‌شده در دماهای مختلف مقایسه گردد. سپس به ترتیب ابتدا تا دمای حداکثر گرم و سپس تا دمای حداقل سرد می‌شود و این در حالی است که در اکسترمم‌ها،

آنتن در سر دیگر است. این مقدار، قابلیت خط را برای کاری که قرار است انجام دهد مانند انتقال توان RF یا دریافت یک سیگنال RF، نشان می‌دهد.

پاسخ آزمون VSWR وابسته به فرکانس است. بنابراین آزمایش در یک طیف فرکانس متناظر با ملزومات عملیاتی نصب آنتن انجام می‌گیرد و نتایج آن به صورت نموداری از افت سیگنال بازگشتی (برحسب dB) یا VSWR برحسب فرکانس جاروشده است. بنابراین آزمایش VSWR برای سنجش توانایی آنتن‌ها در محموله راکت کاوش به شرح زیر انجام می‌گیرد:

برای انجام تست ابتدا سطح سیگنال تولیدشده توسط سیگنال ژنراتور پس از عبور از تضعیف‌کننده مناسب و directional coupler بر روی spectrum analyzer خوانده می‌شود. پس از انجام کالیبراسیون، مطابق شکل ۵ تست انجام می‌شود. سیگنالی جهت تست در عرض باندهی بیش از عرض باند مورد استفاده در محموله تولید و پس از تضعیف کافی به یک کوپلر جهت‌دار وارد شد. این سیگنال با عبور از کوپلر و اندکی تضعیف به ورودی آنتن رفته و بسته به فرکانس آن به دلیل عدم تطبیق کامل (حتی در فرکانس مرکزی که آنتن برای آن طراحی شده است) درصدی از توان سیگنال ورودی از آنتن بازمی‌گردد و از طریق کوپلر جهت‌دار به spectrum analyzer رفته سطح سیگنال بازگشتی روی آن دیده می‌شود. با توجه به کالیبراسیون انجام‌شده در ابتدای کار، می‌توان افت توان بازگشتی را از روی اختلاف سطح سیگنال دریافتی با محل کالیبراسیون اولیه محاسبه کرد. به این صورت می‌توان VSWR را در یک محدوده فرکانسی به دست آورد.



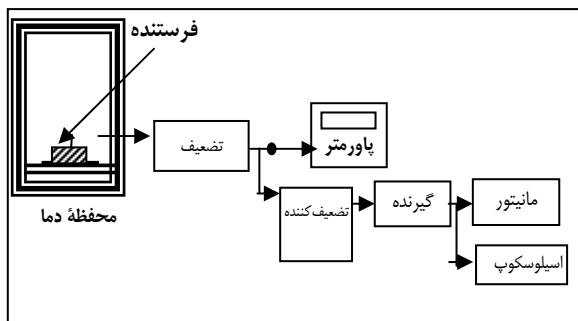
شکل ۵. VSWR

### آزمایش‌های محیطی

علاوه بر آزمایش‌های عملکردی، عملکرد سیستم تحت شرایط واقعی پروازی نیز باید از طریق آزمایش‌های محیطی مورد بررسی قرار گیرد. آزمایش‌های ارتعاش، شوک، شتاب و دما از جمله تست‌های محیطی مهمی هستند که بر روی سیستم‌های یک راکت

پس از تأیید سیستم از لحاظ طراحی، آزمایش‌های محیطی به منظور بررسی قابلیت‌های سیستم تحت شرایط واقعی کاری انجام می‌شود که عبارتند از: آزمایش‌های ارتعاش، حرارت و برودت و شوک که عملکرد موفق این دو سیستم در این آزمایش‌ها، در نتیجه انجام متناوب تست‌ها و در صورت لزوم اصلاحاتی نظیر استفاده از واشرها و رزین‌های مناسب حاصل شده است.

بنابراین به طور خلاصه تمام مراحل پیش از پرتاب برای دستیابی به سیستم‌هایی موفق برای بازیابی محموله راکت و نیز مخابره داده‌های محموله در زمان پرواز و اطمینان از کارکرد مناسب آن انجام گرفته است.



شکل ۶. آزمایش دمای سیستم تله‌متری

## مراجع

1. Morgan D.R., R.G. Streich, B. Bull, and Ch. Grant, "Telemetry Tracking and Control (TT&C)- First TDRSS, then Commercial GEO & Big LEO and Now Through LEO", URL: [isd.gsfc.nasa.gov/papers/doc/TTC](http://isd.gsfc.nasa.gov/papers/doc/TTC)
2. Markgraf M., O. Montenbruck, and S. Leung, "A Flexible GPS Tracking System For Sub-Orbital and Space Vehicles", 9<sup>th</sup> Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation System, Saint Petersburg, 27-29 May 2002.
3. Haas L., M. Abousalem, and J. Murphy, "The Ashtech G12-HDMA: A Low Cost, High Performance GPS Space Receiver", Institute of navigation international technical meeting ION GPS-2000, Salt Lake City, Sept. 19-22, 2000.
4. "Sounding Rocket Program Handbook", NASA Goddard Space Flight Center, 1999.
5. "SRP\_4 Design Document", 2001, Vol.1.
6. "Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", MIL-STD-810F, 1 January 2000.
7. "Commercial Launch Safety", ANSI/AIAA S-061-1998.

مدت معینی نگهداری می‌شود. در صورتی که در تمام مدت سیکل حرارتی فوق، سیستم عملکرد صحیحی داشته باشد و دچار مشکلی نشود، این آزمایش با موفقیت انجام شده است.

## ۲. سیستم تله‌متری

در این بخش آزمایش‌های محیطی که باید بر روی سیستم تله‌متری انجام شود، ذکر می‌شود.

### - آزمایش دمای سیستم تله‌متری

در این تست، سیستم تحت آزمایش مشابه شکل ۶ به صورت "سیستم روشن" در محفظه دما از دمای محیط به دمای پایین مورد نظر، که در شرایط پروازی به راکت اعمال می‌گردد، می‌رسد. برای مدت معینی در آن دما می‌ماند. سپس به دمای بالایی که مطابق با شرایط پروازی راکت است، می‌رسد و مدتی نیز در این دما عملکرد آن بررسی می‌شود.

در صورتی که در تمام مدت سیکل حرارتی فوق، سیستم عملکرد صحیحی داشته باشد و دچار مشکلی نگردد، این آزمایش با موفقیت انجام شده است.

### - آزمایش ارتعاش و شوک سیستم تله‌متری

در این آزمایش سیستم مورد نظر روی میز ارتعاش قرار می‌گیرد. سپس براساس شرایط واقعی پرواز راکت، ارتعاش و شوک مورد نظر به سیستم و قطعات یک راکت اعمال می‌گردد و در تمام مدت آزمایش، عملکرد این سیستم بررسی می‌شود.

## نتیجه گیری

در این مقاله، ابتدا دو سیستم موقعیت‌یاب جهانی و تله‌متری که در راکت‌های کاوش مورد استفاده قرار می‌گیرند، معرفی شده، سپس مراحل تهیه و طراحی هر یک از این سیستم‌ها به طور خلاصه شرح داده شد.

پس از انتخاب و خرید سیستم موقعیت‌یاب جهانی و طراحی یک سیستم تله‌متری، آزمایش‌های مختلفی نیز صورت می‌گیرد تا عملکرد هر سیستم هم به تنهایی و هم به همراه سیستم‌هایی که احتمال دارد روی عملکرد آن تأثیر بگذارند مورد بررسی قرار گیرد. انجام این آزمایش‌ها جهت اطمینان از صحت نتایج تئوری و محاسباتی در عمل، ضروری است. به همین منظور بخش‌های مختلف این دو سیستم تحت آزمایش‌های عملکردی به ترتیبی که ارائه شد، قرار گرفتند.