

# سامانه فرانسوی تعیین موقعیت دقیق و مدار ماهواره‌ها (DORIS)

گردآوری:

مهندس محمد سرپولکی

رئیس هیات مدیره انجمن علمی مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک ایران

sarpoulaki@ncc.org.ir

متحرک می‌توان سرعت حرکت وسیله متحرک را اندازه‌گیری نمود.

## ۲. سامانه DORIS

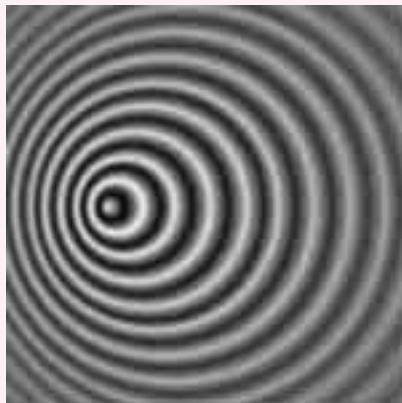
DORIS یک سامانه فرانسوی غیر نظامی ردیابی ماهواره‌ها می‌باشد که با استفاده از پدیده داپلر مدار ماهواره‌ها و یا موقعیت نقاط زمینی را با دقت تعیین می‌نماید. این سامانه توسط سازمان فضایی کشور فرانسه (CENES) و با مشارکت سازمان نقشه برداری این کشور (IGN) و موسسه تحقیقات فضایی ژئودزی (GRGS) طراحی و ایجاد گردیده است. این سامانه در حال حاضر قادر است در تلفیق با داده‌های GPS و سامانه لیزری اندازه‌گیری فاصله، مدار ماهواره‌های ارتفاع سنجی Jason را که به منظور تهیه نقشه از سطح اقیانوس‌ها در مدار قرار گرفته‌اند را با دقت حدود یک سانتی متر تعیین نماید. آنتن سامانه DORIS که بر روی ماهواره‌ها نصب می‌گردد امواجی که توسط ایستگاه‌های زمینی DORIS ارسال می‌گردند را دریافت می‌نماید. بر اساس اصول پدیده داپلر وقتی که فرکانس دریافتی توسط آنتن ماهواره با فرکانس ارسالی توسط ایستگاه زمینی برابر گردد یعنی ماهواره دقیقاً بر روی ایستگاه

برگ خواهیم دید. فرکانس صدای ناشی از یک وسیله متحرک وقتی این وسیله با سرعت زیادی نزدیک می‌شود به نظر بالاتر می‌رسد و وقتی با سرعت زیاد دور می‌گردد نیز پایین‌تر است. هر چه سرعت بیشتر باشد این فرکانس‌ها بیشتر و یا کمتر می‌گردند. این موضوع در خصوص طول موج نور اشعه‌ای که به سمت ما می‌آید و یا از ما دور می‌شود نیز صادق است. منتها می‌بایست توجه داشت که طول موج و فرکانس رابطه معکوس دارند. لذا طول موج نور اشعه‌ای که از ما دور می‌گردد بزرگتر از طول موج اشعه‌ای است که به سمت ما می‌آید. بنابر این با اندازه‌گیری فرکانس و یا طول موج دریافتی از وسیله متحرک به سمت خودمان با فرکانس و یا طول موج ارسالی از وسیله

فرضیه‌های علمی معمولاً زمان‌های طولانی قبل از به‌کارگیری آنها در فن‌آوری‌های مختلف ارائه می‌گردند. یکی از این فرضیات، فرضیه داپلر است که در سال ۱۹۸۴ توسط کریستین داپلر فیزیکدان و ریاضی‌دان اتریشی ارائه گردیده است. باتوجه به نیاز به روش‌های گوناگون تعیین موقعیت، سامانه DORIS از اواخر دهه هشتاد میلادی برای تعیین موقعیت دقیق و مدار ماهواره‌ها توسط سازمان فضایی و سازمان نقشه برداری کشور فرانسه ایجاد گردیده و در این متن ضمن تشریح مختصر پدیده داپلر، مشخصات و کاربردهای این سامانه، ماهواره‌هایی که از این سامانه استفاده می‌نمایند و همچنین خدمات بین‌المللی DORIS تشریح می‌گردند.

## ۱. پدیده داپلر چیست؟

وقتی در خلاف جهت جریان جوی آبی که برگ درختان در آن روان هستند حرکت کنیم تعداد بیشتری برگ می‌بینیم تا وقتی که در جهت جریان این جوی حرکت می‌کنیم. و هرچه سریع‌تر حرکت کنیم بسته به جهت حرکت تعداد برگ‌ها افزون‌تر و یا کمتر می‌گردد. وقتی که با سرعت جریان و در جهت جریان آب حرکت کنیم تنها یک



شکل ۱: نمایش پدیده داپلر



شکل ۲: نحوه عمل سامانه DORIS

می باشد. فرکانس ۴۰۷۲۵ مگاهرتز برای کاهش خطاهای انتشار در یونسفر مورد استفاده قرار می گیرد. فرکانس ۴۰۷۲۵ مدوله شده و حاوی شماره شناسایی ایستگاه، اطلاعات زمان، اطلاعات سنجنده هواشناسی و اطلاعات مهندسی (وضعیت انرژی ایستگاه و ...) می باشد.

### ب- ایستگاه های زمینی

از سال ۱۹۸۶ سازمان فضایی و سازمان



شکل ۳: تجهیزات DORIS مستقر بر روی ماهواره ها

نوسان ساز، شبکه جهانی ایستگاه های مستقل زمینی، مرکز کنترل و پردازش موقعیت مدار ماهواره ها و نرم افزار محاسبه همزمان موقعیت به نام Diode می باشد.

### الف- تجهیزات مستقر بر روی

#### ماهواره ها

این تجهیزات شامل گیرنده MVR که سرعت شعاعی را اندازه گیری می نماید، آنتن و نوسان ساز با ثبات زیاد می باشد. نوسان ساز بسیار دقیق به عنوان یک ساعت عمل نموده و امکان تعیین سرعت شعاعی ماهواره تا دقت ۰/۳ میلی متر در ثانیه را فراهم می آورد. این تجهیزات هر ده ثانیه یک بار، تغییرات داپلر<sup>۲</sup> را با استفاده از دو فرکانس ارسالی توسط ایستگاه های زمینی اندازه گیری می نمایند. فرکانس های مورد استفاده ۴۰۷۲۵ مگاهرتز و ۲۰۳۶/۲۵ مگاهرتز

زمینی قرار داشته و بدین ترتیب موقعیت دقیق مدار ماهواره تعیین می گردد. با رسم نمودار تغییر فرکانس امواج دریافتی و محاسبه شیب این نمودار در نقطه عطف می توان فاصله بین ماهواره تا ایستگاه زمینی را نیز تعیین نمود. تعیین موقعیت یک ماهواره در مدار خود از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و در عین حال نیز کار ساده ای نمی باشد. از عوامل تاثیرگذار در مدار دوران یک ماهواره به دور زمین می توان به پارامترهای پرتاب ماهواره و نیروهای تاثیرگذار بر ماهواره شامل جاذبه زمین، تشعشعات خورشیدی، فشارها و کشش جو اشاره نمود. با توجه به این موارد تعیین موقعیت دقیق مدار یک ماهواره یک فرآیند آنی نبوده و دقت موقعیت های تعیین شده برای مدار ماهواره با گذشت زمان و تکرار اندازه گیری ها افزایش می یابد. دقت تعیین مدار ماهواره با سه ساعت مشاهده این سامانه ۱۰ سانتی متر، سه روز مشاهده ۴ سانتی متر و ۳۰ روز مشاهده ۲/۵ سانتی متر می باشد. هدف این سامانه دستیابی به دقت یک سانتی متر می باشد.

وقتی که مدار ماهواره با دقت تعیین گردد، امکان بهره گیری از این سامانه برای تعیین موقعیت ایستگاه های زمینی (مثلا موقعیت یک گروه اکتشافی در قطب، یا یک گروه اندازه گیری فعالیت های آتش فشانی و ...) فراهم می گردد. این روش تعیین موقعیت برای اشیاء ثابت و یا اشیایی که با سرعت کم حرکت می نمایند مناسب می باشد.

سامانه DORIS شامل تمامی تجهیزات مستقر بر روی ماهواره (آنتن، گیرنده و



شکل ۴: شبکه ایستگاه‌های زمینی DORIS



شکل ۵: ایستگاه زمینی DORIS در هیمالیا

نقشه برداری کشور فرانسه نسبت به ایجاد شبکه جهانی ایستگاه‌های زمینی DORIS اقدام نموده‌اند. در حال حاضر این شبکه شامل ۶۰ ایستگاه می‌باشد. این شبکه مستقل که در سراسر دنیا گسترده شده و نیمی از آنها در جزایر و یا سواحل قرار دارند مسیر حرکت ماهواره‌ها را پوشش می‌دهد. یک ایستگاه زمینی DORIS شامل یک برج دیده‌بانی<sup>۳</sup>، یک آنتن جهت ارسال امواج<sup>۴</sup> در جهت خاص و مجموعه‌ای اختیاری از سنجنده‌های هواشناسی برای اندازه‌گیری فشار، درجه حرارت و طوبت هوای باشد. برج‌های دیده‌بانی در سه نوع دائم، مرجع و موردی می‌باشند. برج‌های دیده‌بانی مرجع جهت تعیین دقیق موقعیت مدار ماهواره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، سه برج مرجع این شبکه علاوه بر اینکه به شبکه برج‌های دائم تعلق دارند، وظیفه هم‌زمانی سامانه با زمان اتمی بین‌المللی را نیز بر عهده دارند. برج‌های موردی نیز به صورت موقت برای فعالیت‌های ژئودتیک و ژئوفیزیک نصب می‌گردند.

### پ- مرکز کنترل و پردازش

گیرنده‌های مستقر بر روی ماهواره، اندازه‌گیری تغییرات پدیده داپلر را انجام داده و این اندازه‌گیری‌ها را در حافظه داخلی گیرنده ثبت می‌نمایند. در گذر ماهواره از روی هر ایستگاه زمینی این اطلاعات به ایستگاه ارسال می‌گردد و سپس این داده‌ها به مرکز کنترل در سسالتوه<sup>۵</sup> در شهر تولوز کشور فرانسه ارسال می‌گردد. داده‌ها در این مرکز کنترل شده و پس از پردازش، مدار ماهواره‌ای که گیرنده DORIS بر روی آن قرارداد محاسبه می‌گردد. از

گردیده است. این نرم‌افزار هر ده ثانیه یک بار موقعیت ماهواره را بر اساس مدل حرکتی ماهواره پیش‌بینی نموده و در زمانی که ماهواره در دید ایستگاه زمینی قرار می‌گیرد بر اساس مشاهدات انجام گرفته این پیش‌بینی را تصحیح نموده و در نهایت موقعیت ماهواره را به ایستگاه زمینی ارسال می‌نماید. موقعیت ارسال شده به زمین پس از سه ساعت به مراکز اقیانوس‌شناسی ارسال می‌گردد.

سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۶ این مرکز یک صد میلیون محاسبه را برای فعالیت‌های مختلف انجام داده است.

### ت- نرم‌افزار Diode

نرم‌افزار Diode که در سال ۱۹۹۱ تهیه گردیده و در تجهیزات مستقر در ماهواره قرار دارد، امکان تعیین موقعیت و سرعت ماهواره را به صورت آنی فراهم می‌آورد. این نرم‌افزار به صورت آزمایشی در ماهواره SPOT4 مورد استفاده قرار گرفته و از ماهواره Jason-1 به بعد در تمامی ماهواره‌ها نصب

### ۳. DORIS سامانه‌ای در حال

#### پیشرفت پیوسته: (دقیق‌تر و کوچک‌تر شدن تجهیزات)

طی سال‌ها فعالیت، کارایی سامانه DORIS پیشرفت نموده و اکنون شاهد دستیابی به دقتی در حد یک سانتی متر برای تعیین مدار ماهواره Jason-1 می‌باشیم. طی این سال‌ها ظرفیت تجهیزات افزایش یافته و ابعاد گیرنده MVR کوچکتر گردیده است. نسل دوم این گیرنده‌ها برخلاف گیرنده‌های نسل اول دارای دو کانال دریافت می‌باشند تا با محاسبه همزمان مشاهدات دریافتی از دو ایستگاه زمینی موجبات افزایش دقت فراهم گردد. نسل جدید این گیرنده‌ها که DGXX نام دارند از استحکام بیشتری در برابر تشعشعات برخوردار بوده و دقیق‌تر می‌باشند. نسل جدید این گیرنده‌ها شامل دو گیرنده و دو نوسان‌ساز با ثبات زیاد و دو مجموعه با هفت پردازنده می‌باشد که در واقع این گیرنده معادل ۱۴ گیرنده نسل اول عمل می‌نماید. این گیرنده اخیر بر روی ماهواره Jason-2 نصب گردیده است. علاوه بر پیشرفت تجهیزات مستقر بر روی ماهواره تجهیزات ایستگاه‌های زمینی نیز پیشرفت نموده‌اند و امروزه از نسل سوم تجهیزات در ایستگاه‌های زمینی استفاده می‌گردد. امواج ارسالی از گیرنده‌های زمینی جدید به منظور پرهیز از تداخل با امواج ایستگاه‌های مجاور تا ۵۰ کیلوهرتز جابه‌جا می‌شوند.

### ۴. کاربردهای DORIS

این سامانه ابتدا جهت تعیین دقیق پارامترهای مداری ماهواره‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری ارتفاع اقیانوس‌ها طراحی گردیده بود. دقت بالای تعیین موقعیت این سامانه موجب گردید که بعداً از این سامانه در کاربردهای ژئودزی و ژئودینامیک شامل حرکت قاره‌ها، سرشکنی شبکه‌های ژئودزی، کنترل تغییرات ژئوفیزیکی، تعیین دوران و میدان ثقل زمین که برای تعیین سامانه مرجع جهانی مورد نیاز می‌باشد نیز استفاده گردد.

هم اکنون شش ماهواره از سامانه DORIS استفاده می‌نمایند. این ماهواره‌ها عبارتند از:

- ماهواره SPOT 2 در سال ۱۹۹۰ به فضا پرتاب گردید و قرار بود تنها شش ماه از گیرنده نسل اول این سامانه استفاده نماید اما هم اکنون بیش از ۱۹ سال است که از این سامانه در این ماهواره استفاده می‌شود. ارتفاع این ماهواره در سال جاری کاهش خواهد یافت و به تدریج پس از ۲۵ سال به زمین باز خواهد گشت.

- ماهواره SPOT 4 در سال ۱۹۹۸ به فضا پرتاب گردیده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۲ فعالیت نماید.

- ماهواره Jason-1 که پس از ماهواره Poseidon/Topex در سال ۲۰۰۱ توسط سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا و سازمان فضایی فرانسه به فضا پرتاب گردید از نسل دوم گیرنده‌های DORIS، سامانه تعیین موقعیت GPS و سامانه لیزری اندازه‌گیری فاصله<sup>۶</sup> استفاده می‌نماید. با

توجه به تاثیرات قطبی بر نوسان‌ساز با ثابت زیاد این گیرنده، یک مدل اصلاح شده این نوسان‌ساز بسیار دقیق نیز ساخته شده است.

✓ ماهواره Envisat سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۰۲ به همراه یک گیرنده نسل دوم کوچک شده DORIS و مجموعه‌ای از منشورهای چندوجهی (retroreflector) لیزری اندازه‌گیری فاصله (SLR) به فضا پرتاب گردیده است.

✓ ماهواره SPOT 5 متعلق به سازمان فضایی فرانسه در سال ۲۰۰۲ به همراه یک گیرنده نسل دوم کوچک شده DORIS به فضا پرتاب گردیده و قرار است تا سال ۲۰۱۵ به فعالیت خود ادامه دهد.

✓ ماهواره OSTM/Jason-2 که نسل سوم ماهواره‌های تهیه نقشه از سطح اقیانوس‌ها می‌باشد و پس از ماهواره‌های Jason-1 و Poseidon/Topex در سال ۲۰۰۸ به فضا پرتاب گردید از نسل جدید گیرنده‌های Doris به نام گیرنده‌های DGXX استفاده می‌نماید. این ماهواره از گیرنده‌های تعیین موقعیت GPS و سامانه لیزری اندازه‌گیری فاصله (SLR) نیز استفاده می‌نماید.

ماهواره‌هایی که تا سال ۲۰۲۰ به فضا پرتاب می‌گردند و استفاده از گیرنده‌های DORIS در آنها قطعی شده است عبارتند از: Cryosat-2 متعلق به سازمان فضایی اروپا، HY-2A متعلق به آکادمی فضایی چین، Saral متعلق به سازمان فضایی فرانسه و سازمان فضایی هند و Sentinel-3A متعلق به سازمان فضایی اروپا و موسسه پایش امنیت محیط زیست (GEMS).

- ایستگاه‌های ردیابی IDS
- تعیین مرکز و مقیاس چارچوب مرجع زمینی<sup>۱۱</sup>
- اطلاعات یونسفر
- اطلاعات مدار دقیق ماهواره‌های حامل گیرنده‌های DORIS
- پارامترهای دوران زمین



شکل ۶: ماهواره‌هایی که از سامانه DORIS استفاده نموده و یا خواهند نمود.

## ۶. پانوشتها

- 1-Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated from Space
- 2-Doppler shift
- 3-Beacon
- 4-Omnidirectional
- 5-Ssalto
- 6-SLR (Satellite LASER Ranging)
- 7-Noaa
- 8-ITRS
- 9-International DORIS Service
- 10-IAG
- 11-Terrestrial Reference Frame

## ۷. منابع

- پایگاه ذخیره سازی، ارزیابی و تفسیر داده‌های اقیانوس شناسی [www.avisio.oceanobs.com](http://www.avisio.oceanobs.com)
- دانشنامه ویکی پدیا
- نشریه نقشه برداری سال ۱۳۸۷ شماره ۹۷ محمد سرپولکی، تهیه نقشه توپوگرافی سطح دریا

تعیین موقعیت عوارض سطح زمین، تعیین سامانه مرجع بین‌المللی لحظه‌ای<sup>۸</sup>، کنترل حرکات پوسته زمین و موارد متعدد دیگر، نیاز به خدمات بین‌المللی DORIS احساس گردید. کمیسیون هماهنگی فن‌آوری‌های فضایی مورد استفاده در ژئودزی اتحادیه بین‌المللی ژئودزی<sup>۱۰</sup> در سال ۱۹۹۹ به ایجاد خدمات بین‌المللی DORIS یا IDS تصمیم گرفت و این خدمات بین‌المللی رسماً در سال ۲۰۰۳ آغاز گردید. هدف اصلی این خدمات بین‌المللی حمایت از فعالیت‌های تحقیقاتی ژئودزی و ژئوفیزیکی از طریق ارائه داده‌ها و محصولات مختلف سامانه DORIS می‌باشد.

**نتایج حاصل از فعالیت این خدمات بین‌المللی عبارتند از:**

- مختصات و سرعت جابه‌جایی

ماهواره‌هایی که برنامه پرتاب آنها نهایی نشده و یا استفاده از سامانه DORIS در آنها هنوز تایید نشده است عبارتند از: ماهواره Jason-3 متعلق به سازمان فضایی فرانسه، سازمان ملی امور اقیانوس‌ها و جو<sup>۷</sup> و سازمان بهره‌گیری از ماهواره‌های هواشناسی (Eumetsat)، ماهواره Swot که در زمینه تهیه نقشه توپوگرافی سطح اقیانوس‌ها فعالیت خواهد نمود و همچنین ماهواره‌های آینده سری HY2 و Sentinel 3.

## ۵. خدمات بین‌المللی DORIS

پس از یک دهه فعالیت سامانه DORIS و مشخص شدن توانایی‌های این سامانه در تعیین موقعیت دقیق و مدار ماهواره‌ها،