به نام پروردگار یکتا

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکدهٔ مهندسی هوافضا

# اصول طراحی حرارتی ماهواره

Introduction to Satellite Thermal Control

ارائه کننده: حامد علیصادقی



## اهداف درس

- آشنایی با مفاهیم کنترل حرارت ماهواره‌ها
- آشنایی با شبیه‌سازی مدار و پارامترهای آن برای تحلیل حرارتی
- آشنایی با محیط و شرایط مرزی حرارتی مدارهای استاندارد زمین
- آشنایی با سیستم‌های کنترل حرارت فعال و غیرفعال و سخت افزارهای حرارتی متداول
- آشنایی با فرآیند طراحی حرارتی ماهواره‌ها و استانداردهای فضایی مانند ECSS و NASA
- آشنایی با تجهیزات تست و نحوه طرح‌ریزی و برنامه‌ریزی تست‌های بالانس حرارتی و ساخت مدل حرارتی برای ارزیابی طراحی حرارتی

# مراجع درس


1. Spacecraft Thermal Control Handbook, David G. Gilmore, Volume I: Fundamental Technologies, 2nd Edition 2002.
2. Spacecraft Thermal Control, Jose Meseguer, Isabel Perez-Grande, Angel Sanz-Andres, 2012.
3. Satellite Thermal Control for System Engineers, Robert D. Karam, 1998.
4. ECSS, Thermal Control General Requirements, ECSS-E-ST-31C, 15 November 2008.
5. Space Mission Engineering, James R. Wertz, David F. Everett, Jeffery J. Puschell, 2011.
6. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Frank P. Incoropera, David p. Witt.
7. Satellite Technology and its Application, P.R.K Chetty, 2nd Edition 1991.
8. Cooling Techniques for Electronic Equipment, Dave S. Steinberg, 2nd Edition, 1991.
9. Introduction to Orbital Mechanics, F. T. Geyling, H. R. Westerman, 1971.




# سرفصل‌های درس

1. مقدمه‌ای در رابطه با انواع ماهواره‌ها و مدارها
2. محیط حرارتی ماهواره‌ها در مدار زمین
   - نور مستقیم خورشید
   - آلبدو
   - زمین
   - گرمایش مولکول‌های آزاد و ذرات باردار
   - شرایط محیطی پرتاب تا صعود و تزریق مداری
3. شرایط مرزی حرارتی در مدارهای استاندارد زمین
   - تعاریف پارامترهای اولیه مداری
   - مکانیک مدار و محاسبه مدت زمان سایه در مدارهای LEO، GEO و Molniya
   - انتخاب مقادیر مناسب شار خورشید، آلبدو، و مادون قرمز زمین
4. مکانیزم‌های انتقال حرارت در ماهواره: هدایت، تشعشع

# سرفصل‌های درس

سرفصل‌های درس

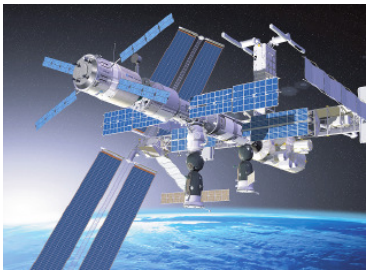
5. سیستم‌های کنترل حرارت فعال و غیرفعال در ماهواره‌ها و سخت افزارهای حرارتی
   - رنگ‌ها و پوشش‌های حرارتی سطوح
   - عایق‌های حرارتی چند لایه
   - رادیاتورها
   - هیترها
   - لایی‌های حرارتی و اتصالات
   - دریچه‌ها یا لورها
   - لوله‌های حرارتی هیت پایپ‌ها
   - معرفی مختصر سایر سخت افزارهای حرارتی مانند، سیستم‌های تغییر فاز دهنده، ترموالکتریک کولرها و ...
6. طراحی حرارتی و فرآیند طراحی بر اساس استانداردهای فضایی
7. طراحی و آنالیز حرارتی یک نمونه ماهواره
8. مثال‌هایی از طراحی حرارتی ماهواره‌ها
9. روش‌های ارزیابی با تست‌های حرارتی و انواع تجهیزات و محفظه‌های خلاء
10. روش طراحی و ساخت مدل حرارتی و تعریف و اجرای تست‌های بالانس حرارتی

# مقدمه

- طبقه بندی ماهواره‌ها
- مدارهای اصلی ماهواره‌ها به دور زمین

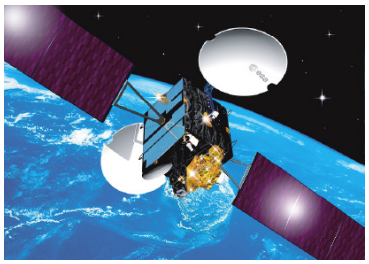
## طبقه‌بندی ماهواره‌ها

- انواع ماموریت‌های ماهواره‌ها
  - نظامی
  - علمی
  - ارتباطی
  - موقعیت یابی
- اغلب ماهواره‌ها در سه گروه زیر طبقه بندی میگردند
  - کنترل سه محوره (3-Axis Stabilized)
  - چرخشی (Spin Stabilized)
  - پلت‌ها (Pallets)



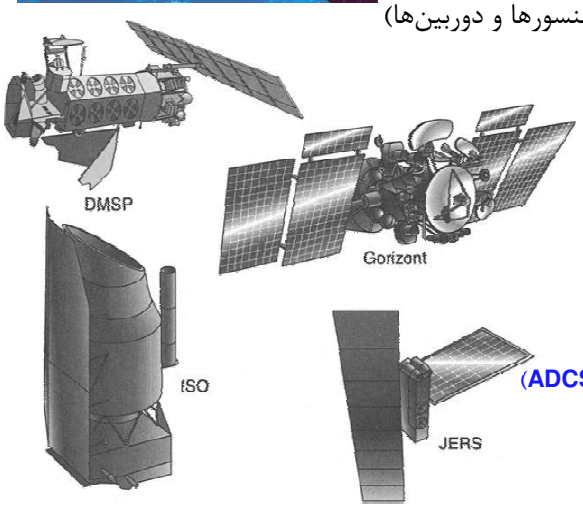


## طبقه‌بندی ماهواره‌ها

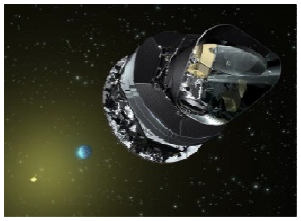


Artemis

- ماهواره‌های کنترل سه محوره (3-Axis Stabilized)
  - اغلب دارای شکل مکعبی (Box-shaped)
  - اغلب دارای پنل‌های خورشیدی بازشونده (Deployable Solar Array Panel)
  - بدنه به لحاظ اینرسی پایدار در طول مدت چرخش مداری
  - چرخش ناچیز برای نشانه‌روی به سمت زمین (برای آنتن‌ها، سنسورها و دوربین‌ها)
  - چرخش پیوسته پنل‌های خورشیدی به سمت خورشید
  - اجزای اصلی ماهواره
    - محموله (Payload)
    - باس (Bus or Plat form)
      - سازه (SM) – کنترل حرارت (TC)
      - تله متری (TT&C) – توان الکتریکی (PE)
      - پیشرانش (PS) – تعیین و کنترل وضعیت (ADCS)



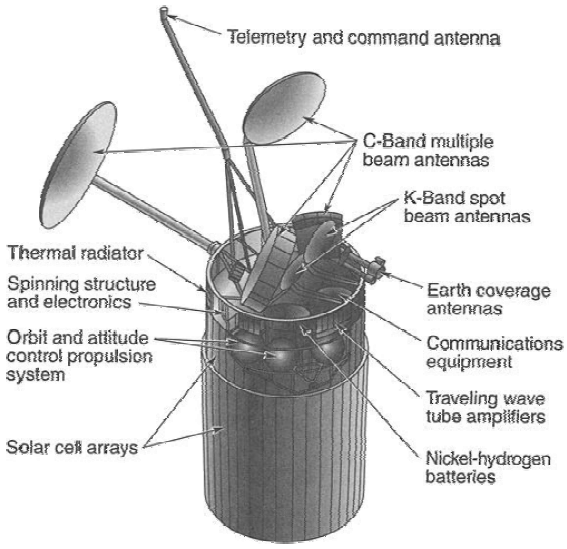
## طبقه‌بندی ماهواره‌ها



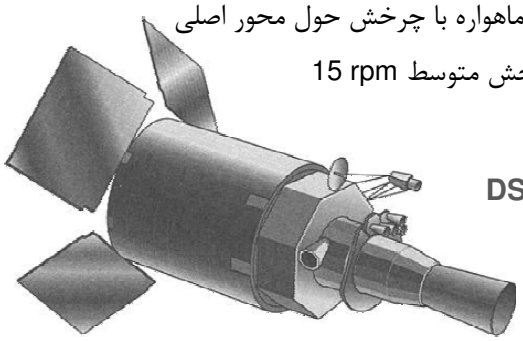
1 rpm

❖ **ماهواره‌های چرخشی (Spin Stabilized)**

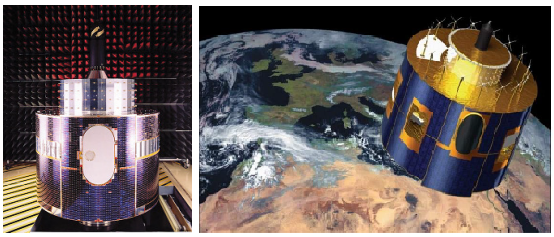
- اغلب دارای شکل استوانه‌ای
- اغلب ماموریت‌های ارتفاع بالا (مدار GEO و Molniya)
- پایداری ماهواره با چرخش حول محور اصلی
- نرخ چرخش متوسط 15 rpm




Intelsat VI satellite



DSP satellite



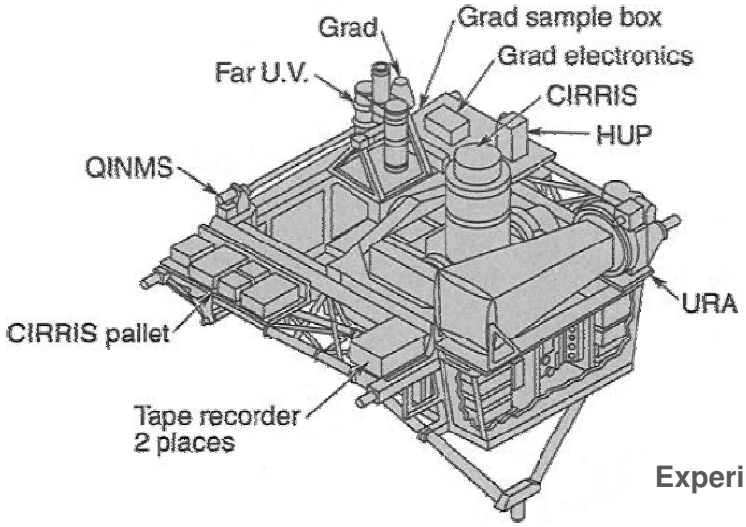
Meteosat
100 rpm



## طبقه‌بندی ماهواره‌ها

❖ **پلت‌ها (Pallets)**

- مجموعه‌ای از یک یا چند محموله به همراه تعداد محدودی سرویس‌های پشتیبانی مانند توزیع توان، ثبت داده‌ها، سنسورهای تله متری و...
- بدون یک سیستم میزبان (Host) نمی‌تواند به صورت خودگردان عمل نماید، برای کنترل وضعیت و تامین توان به یک مجموعه مجزا نیازمند است.

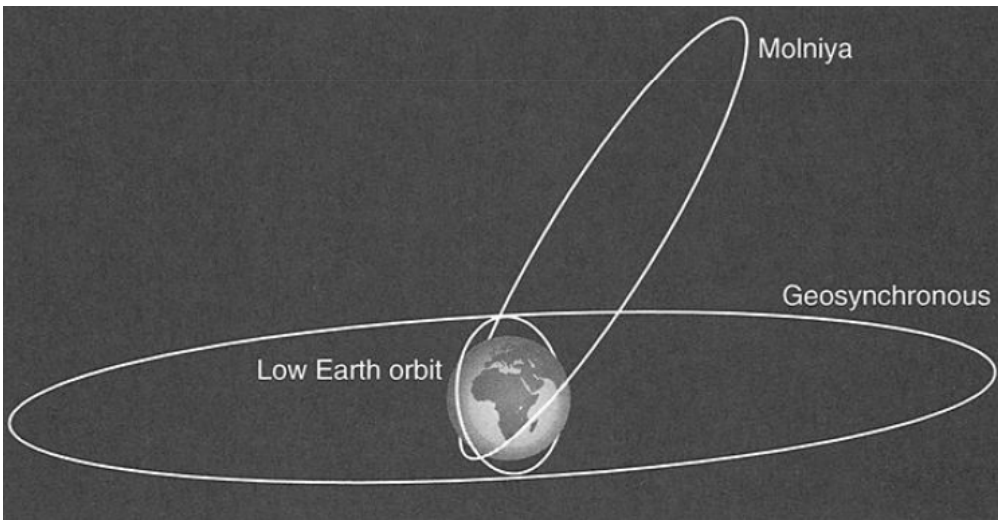



Experiment Support System

# مدارهای ماهواره‌ها

❖ **تقسیم‌بندی مدارها بر حسب ارتفاع**

- مدار LEO (Low Earth Orbit)
- مدار Molniya
- مدار GEO (Geosynchronous Orbit)

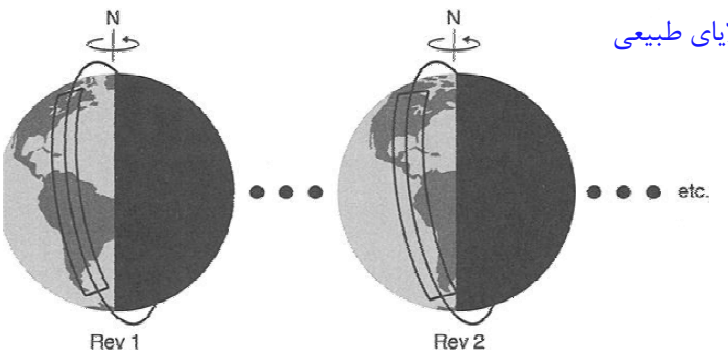



مقدمه

# مدارهای ماهواره‌ها

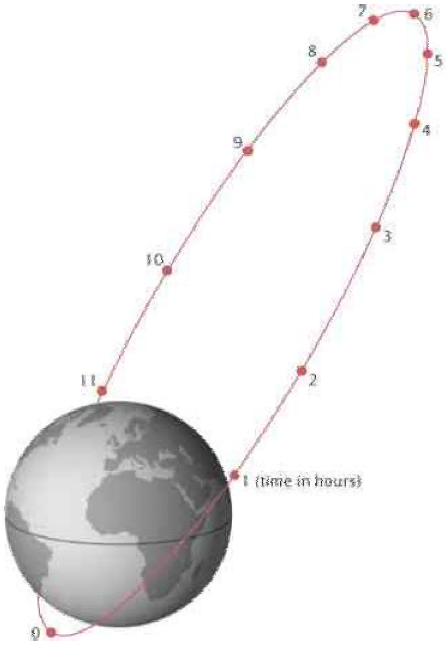
❖ **مدار LEO (Low Earth Orbit)**

- مدارهایی با ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ کیلومتر و پریود مداری حداقل ۹۰ دقیقه
- مدارهای دایروی و بیضوی (با دوری از مرکز محدود به قطر زمین)
- شیب مداری (Inclination) از صفر درجه تا بیش از ۹۰ درجه (شیب مداری بیش از ۹۰ درجه متناظر با حرکت مداری ماهواره برخلاف جهت حرکت زمین)
- مدار خورشید آهنگ (Sun-synchronous Orbit)
  - ثابت بودن زاویه صفحه مداری با خورشید
  - گذر ماهواره از نقطه‌هایی بر روی زمین که زمان محلی یکسانی دارند
  - ماموریت‌های هواشناسی و کنترل بلایای طبیعی



❖ **مدار Molniya**

- مداری کاملا بیضوی، با نقطه اوجی در ارتفاع ۳۸۹۰۰ کیلومتر و نقطه حضیضی در ارتفاع ۵۵۰ کیلومتر
- زاویه شیب مداری حداکثر ۶۲ درجه
- مدت زمان بالای طی مسیر در منطقه اوج (۸ ساعت از ۱۲ ساعت)
- دید مناسب بر قطب شمال
- منظومه‌ای از ماهواره‌ها (۳ عدد) برای پوشش کامل نیم‌کره شمالی constellation




مدارهای ماهواره‌ها
مقدمه

❖ **مدار GEO (Geosynchronous Orbit)**

- مرتفع‌ترین مدار معمول به دور زمین
- ارتفاعی در حدود ۳۵۷۸۶ کیلومتر
- زاویه شیب مداری بسیار پایین (کمتر از ۱۰ درجه)
- انطباق پریود مداری با گردش زمین به دور خود
- مناسب ماموریت‌های؛ هواشناسی، ارتباطات، و کنترل بلایا