الفصل الخامس

مـدارات الأقمار الصناعية

5-1 : تصنيف المدارات

5-1-1 : التصنيف المركزي

5-1-2 : تصنيف تبعا للارتفاع

5-1-3 : تصنيف تبعا للميل الشمس

5-1-4 : تصنيف تبعا للاستطالة

5-1-5 : تصنيف تبعا للتزامن

5-1-6 : تصنيفات خاصة

5-2 : نقاط لاجرانج

5-3 : المدار الأرضي المنخفض

5-3-1 : خواص المدارات المنخفضة

5-4 : المدار الأرضي المتوسط

5-5 : المدارات الأهليجية عالية الاستطالة

5-6 : مـــدارِ الانتظار

5-6-1 : أسباب استخدام مدارَ الانتظار

5-6-2 : عيوب مداراتِ الانتظار

5-6-2 : عيوب مداراتِ الانتظار

5-7 : مدارات الأقمار المتزامنة مع

5-7-1 : حالات المدار المتزامن

5-8 : المدارات الثابتة

5-8-1 : حساب موقع المدار الثابت

5-8-2 : إطلاق القمر الصناعي الثابت

5-8-2-1 : الإطلاق من قاعدة جوانا

5-8-2-2 : الإطلاق من كاب كانفرا

5-8-2-3 : الإطلاق من قاعدة بيكنور

5-9 : خسوف

5-10 : تتبع القمر

مـدارات الأقمار الصناعية

1-5 : تصنيف المدارات[9] :

1-1-5 : التصنيف المركزي Centric :

أي جسم يدور في مدار يجب أن يكون تحت سيطرة جسم أكبر منه يقع في بؤرة المدار. وتتعدد الأجسام التي تسيطر علي العديد من المدارات وهي كالتالي:

- **مدار مجري Galactocentric orbit** : وهو مدار لجسم يدور حول مركز المجرة. وتتخذ الشمس هذا النوع من المدارات حول مركز مجرة درب التبانة أو الطريق اللبني Milky Way.
- **مدار شمسي Heliocentric orbit** : هو مدار حول الشمس. جميع الكواكب والمذنبات والكويكبات في المجموعة الشمسية تتخذ هذا النوع من المدارات حول الشمس، وكذلك العديد من الأقمار الصناعية وأجزاء من الحطام الفضائي. وعلي العكس فإن الأقمار الطبيعية لا تتخذ مدارات شمسية ولكنها تتخذ مدارات كوكبية حول الكواكب التابعة لها.
- **مدار أرضي Geocentric orbit** : هو مدار حول كوكب الأرض ، يتخذها القمر الطبيعي أو الأقمار الصناعية. ويوجد حاليا أكثر من 2465 قمر صناعي يدور حول الأرض.
- **مدار مريخي Areocentric orbit** : هو مدار حول كوكب المريخ، تتخذها أقماره فيبوس وديموس أو أقمار صناعية.
- **مدار قمري Lunar orbit** أو **Selenocentric orbit** (ويعنيان أي شيء منسوب لقمرنا الطبيعي): وهي مدارات حول قمر الأرض الطبيعي.
-

2-1-5 : تصنيف المدارات الأرضية تبعا للارتفاع :

يوضح الشكل (5-1) المدارات الأرضية تبعا لارتفاعها وسنوضح ذلك فيما يأتي بالتفصيل:

---

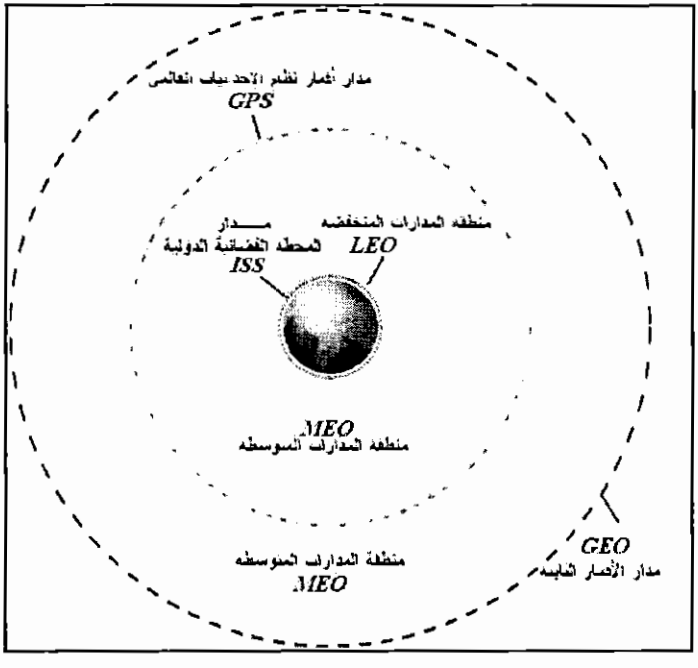
[9] الفقرات من (5-1) حتى (5-1-7) من موقع http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_orbits

- مدار منخفض **Low Earth Orbit (LEO)**: هو مدار يتراوح ارتفاعه عن سطح الأرض بين صفر إلى 2000 كم. ويرمز له بالرمز **(LEO)**.

- مدار متوسط **Medium Earth Orbit (MEO)**: هو مدار أرضي يتراوح ارتفاعه بين 2000 كم إلى ما قبل المدارات المتزامنة التي تقع علي ارتفاع 35786 كم.

- مدار متزامن **Geosynchronous orbit (GEO)** : هو مدار حول الأرض تكون دورة القمر الصناعي فيه مساوية لدورة الأرض حول محورها دورة كاملة. جميع الأقمار المتزامنة أقصي ارتفاع لها حوالي 42164 كم.

- مدار أرضي عالي الارتفاع **High Earth orbit(HEO)** : هو مدار أرضي ارتفاعه فوق ارتفاع المدار المتزامن 35786 كم.



الشكل (5-1). ارتفاعات المدارات المختلفة للمركبات والمحطات الفضائية[10].

[10] "http://en.wikipedia.org/wiki /List_of_orbits"

3-1-5 : تصنيف تبعا للميل Inclination :

- مدار مائل **Inclined orbit** : هو أي مدار يميل على دائرة الاستواء السماوي بزاوية أكبر من الصفر.

** مدار قطبي **Polar orbit** : هو المدار الذي يمر أثناء دورته فوق القطبين أو تقريبا بالقرب من القطبين الشمالي والجنوبي للكوكب. ولهذا يكون ميل هذا المدار 90° (أو قريبا جدا منها).

** مدار أرضي قطبي متزامن مع الشمس **Polar sun synchronous orbit (SSO)** : هو مدار شبه قطبي يعبر القمر الصناعي فيه دائرة الاستواء كل مرة عند موقع معين في نفس الزمن الشمسي المحلي. وذلك لتكون أطوال ظلال الأشياء هى نفسها عند كل عبور للقمر.

- مدار غير مائل **Non-inclined orbit** : مدار ينطبق على الدوائر المنسوبة إليها أي ميلها صفرا.

** مدار بروجي **Ecliptical orbit** : مدار ينطبق مستواه علي دائرة البروج.

** مدار استوائي **Equatorial orbit** : مدارات ينطبق مستواه علي دائرة الاستواء.

** مدار شبه استوائي **Near equatorial orbit** : مدار ميله صغير جدا بالنسبة لمستوى دائرة الاستواء.

4-1-5 : تصنيف تبعا لاستطالة المدار Eccentricity :

استطالة المدار e هى النسبة بين بعد بؤرة المدار عن المركز إلى نصف القطر الأعظم للمدار.

- مدار دائري Circular orbit : هو مدار استطالته صفر ويكون مساره دائرة.
- مدار اهليجي أو بيضاوي Elliptic orbit : مدار استطالته أكبر من الصفر وأقل من الواحد الصحيح ومساره يكون اهليجي (بيضاوية) ellipse .

** مدار قمر ثابت أو مدار انتقالي متزامن Geostationary or Geosynchronous transfer orbit(GTO) : هو مدار بيضاوي تكون نقطة حضيضه perigee علي ارتفاع مساو للمدار المنخفض، ونقطة أوجه apogee علي ارتفاع مساو لمدار القمر الثابت.

** مدار هومان الانتقالي **Hohmann transfer orbit** : هو مناورة مدارية فضائية فى مدار انتقالى تتم لنقل المركبة الفضائية من مدار دائري صغير إلى مدار دائري آخر أكبر منه وذلك بإشعال محرك المركبة مرة عند نقطة حضيض المدار الانتقالي (نقطة تلامسه مع المدار الصغير) والأخرى عند نقطة أوج المدار

الانتقالي (نقطة تلامسه مع المدار الأكبر). وأطلق علي هذه الطريقة اسم العالم والتر هومان Walter Hohmann..

- مسارات زائدية **Hyperbolic trajectory** : هي مدارات تزيد استطالتها عن الواحد الصحيح. سرعة الجسم في هذا المدار تزيد عن سرعة الهروب escape velocity، وعندئذ يستطيع الجسم التخلص من الجاذبية (الأرضية أو الكوكب الذي يتحرك حوله) ويستمر في الحركة إلى مالا نهاية.
- مسارات مكافئة **Parabolic orbit** : هي مدارات استطالتها مساوية للواحد الصحيح. والأجسام التي تتحرك في هذه المدارات تكون سرعتها مساوية لسرعة الهروب وتهرب من جاذبية الكوكب وتستمر في الحركة حتى تصبح سرعته بالنسبة للكوكب صفرا. وإذا زادت السرعة عن هذا الحد يصبح المدار زائدي.

** مدار الهروب **Escape orbit(EO)** : هو مدار مكافئ ذو سرعة عالية يكتسب الجسم فيه سرعة للهروب من الكوكب ويتحرك مبتعدا عنه.

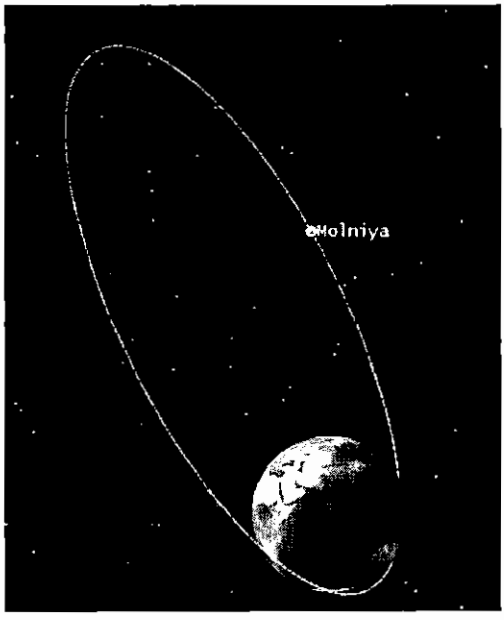
** مدار القنص **Capture orbit** : هو مدار مكافئ ذو سرعة عالية يكتسب الجسم فيه سرعة الهروب ويتحرك الجسم تجاه كوكب آخر ليدور حوله.

5-1-5 : تصنيف تبعا للتزامن Synchronous:

- **المدار المتزامن Synchronous orbit** : هو مدار تكون فيه دورة القمر الصناعي متزامنة أي مساوية لمتوسط دورة الكوكب 1:1 أو مضاعفاتها ويتحرك في نفس اتجاه حركة الكوكب. وهذا يعني أن المسار الأرضي **track** للقمر الصناعي علي الأرض كما يشاهد من مركز الكوكب، سوف يتكرر بعد عدد ثابت من الدورات. في الواقع نجد ان نسبة 1:1 تحقق المدار المتزامن ونسبة 2:1 تحقق مدار نصف متزامن **semi-synchronous**

- **المدار المتزامن مع الأرض Geosynchronous orbit (GEO)** : هو مدار حول الأرض دورته تساوي يوم نجمي **sidereal day**، وهو متوسط دورة واحدة للأرض حول محورها ويساوى 23 ساعة 56 دقيقة و 4.091 ثانية. والمدارات شبه الدائرية، تتطلب ارتفاع عن سطح الأرض مقداره 35786 كم تقريبا للوصول لهذه الدورة. وإذا كان كلا من ميل المدار واستطالته صفرا، فسيبدو القمر الصناعي للراصد (الذي تحت منطقة تغطية القمر) أنه ثابت stationary. أما إذا لم يتحقق شرطا الميل والاستطالة فإن القمر الصناعي يتحرك كل يوم في السماء علي هيئة حرف (8) باللغة الانجليزية (ويسمي هذا الشكل انااليما analemma) بالنسبة للراصد علي سطح الأرض.

- **مدار القمر الثابت Geostationary orbit(GSO)** : هو مدار دائري متزامن ميله صفر. ويبدو قمر هذا المدار لراصد علي سطح الأرض كنقطة ثابتة في السماء طول فترة دورته.
- ويطلق أيضا علي هذا المدار اسم مدار كلارك **Clarke orbit** .
- **مدار تندرا Tundra orbit** : هو مدار متزامن ولكنه مدار عالي الاستطالة وميله 63.4° ودورته يوم نجمي واحد. وهذا القمر يمضي أغلب وقت دورته فوق منطقة محددة من الكوكب الذي يدور حوله. وميزة هذا الميل للمدار أنه يحافظ علي أقل إزاحة لنقطة حضيضه.
- **المدار نصف المتزامن Semi-synchronous orbit** : هو مدار دورته تساوي نصف متوسط دورة الأرض حول محورها وفي نفس اتجاه دوران الأرض. وهذا يعني أن الدورة 12 ساعة علي ارتفاع 20 ألف كم تقريبا إذا كان المدار دائري.
- **مدار مولنيا Molniya orbit** : هو مدار تندرا نصف متزامن. أي دورة المدار 12 ساعة. وهذا القمر يقضي أغلب وقت دورته فوق منطقتين محددتين من الأرض. ويكون ميل هذا المدار في العادة 63.4° للحفاظ علي أقل ازاحة لنقطة حضيضه الشكل (2-5).
- **مدار فوق المتزامن Supersynchronous orbit** : هو مدار يقع فوق مدارات الأقمار المتزامنة/الثابتة وتستخدم لنقل الأقمار إليها المراد تكهينها. وفي هذا المدار تكون حركة الأقمار بالنسبة للأرض ناحية الغرب حيث إنها لم تصبح متزامنة أو ثابتة.
- **مدار تحت المتزامن Subsynchronous orbit** : هو مدار قريب من ولكن تحت مدار القمر المتزامن/الثابت. تكون حركة الأقمار فيه بالنسبة للأرض ناحية الشرق.
- **مدار المقبرة Graveyard orbit** : مدار يبعد عدة مئات من الكيلومترات فوق المدار المتزامن تنقل إليه الأقمار عند نهاية مهمتها.
- **المدار المريخي المتزامن Areosynchronous orbit** : مدار متزامن حول كوكب المريخ دورته تساوي طول اليوم النجمي لكوكب المريخ 24.6229 ساعة.
- **مدار قمر المريخ الثابت Areostationary orbit** : مدار مريخي متزامن دائري منطبق علي دائرة استواء المريخ وعلي ارتفاع 17 ألف كم عن سطح المريخ. ولراصد علي سطح المريخ فان هذا القمر سيرى كنقطة ثابتة في السماء.



الشكل (5-2)[11].
المدار الاهليجي عالي الاستطالة.

- **المدار الشمسي المتزامن Heliosynchronous orbit** : هو مدار حول الشمس دورة القمر الصناعي فيه تساوي دورة الشمس حول محورها. هذه المدارات نصف قطرها حول الشمس 0.1628 وحدة فلكية، أي أقل قليلا من ربع قطر مدار كوكب عطارد.

6-1-5 : تصنيفات خاصة :

- **مدار متزامن مع الشمس Sun-synchronous orbit** : مدار أرضى ميله وارتفاعه يسمح للقمر بالمرور في كل مرة فوق نقطة علي سطح الكوكب في نفس الزمن الشمسي المحلي لها. وهذا المدار يمكن القمر الصناعي من التصوير عند شروق او غروب الشمس للاماكن التى يمر فوقها وهذا مفيد للتصوير، والتجسس وأقمار الأرصاد الجوية. وهذا المدار يكمل دورة كامله لمستوى مداره حول الشمس (أثناء دورانه حول الأرض) فى 365.25 يوم.
- **مدار القمر الطبيعي Moon Orbit** : إن خواص مدار القمر الطبيعي للأرض هي : متوسط ارتفاعه 38440 كم ، مدار مائل علي دائرة البروج بزاوية **5° 9′**. متزامن مع الأرض أى دورته حول نفسه مساوية لدورته حول الأرض لذلك لانرى منه سوف نصف سطحه فقط.

---

[11] http://en.wikipedia.org/ wiki/Molniya_orbit

5-1-7: تصنيفات آخرى للمدارات:

- **مدار حدوه الحصان Horseshoe orbit** : مدار يَظْهرُ للراصد علي الأرض كأنه يَدُورُ حول كوكب ما لكنه في الحقيقة يدور مثلِ الأرض في مدار حول الشمس. مثل الكويكباتَ **Cruithne 3753** و **AA 2002**.

- **مدار خارجي Exo-orbit** : مناورة تتم من خلاله لوضع المركبة الفضائية في مدار غير مستقرُ بسبب مقاومة الغلافِ الجوّي.

- **مدار قمري انتقالي Lunar Transfer orbit (LTO)** : مدار يستخدم لعمل مناورة لنقل مركبةَ الفضاء من مدار انتظار حول الأرض إلى مدار القمر الطبيعي.

- **مدار مباشر Prograde orbit**: مدار ميلِه أقل مِن °90. أو هو مدار يتحرك فيه القمر في نفس اتجاه دوران الكوكب.

- **مدار تقهقري Retrograde orbit**: مدار ميلِه أكثر مِن °90. أو هو مدارِ يتحرك فيه الجسم عكس اتجاه دورانِ الكوكبِ. مثل الأقمار التي في مدارِ متزامن مع الشمسِ، وهي تطلق في مدارَ تقهقري وتتطلب كميةَ وقودِ أكبر مِنْ تلك التي تطلق في مدار مباشر. هذا لأن عند انطلاق الصاروخَ من الأرضِ في مدار مباشر، تكون له مركبة سرعة في اتجاه الشرق مساوية لسرعة دوران الكوكب عند خطِّ عرض انطلاقها.

- مداراتُ الهالة **Halo orbits** ومدارات ليساجوس **Lissajous orbits** : هذه مدارات تَدُورُ حول نقاط لاجرانج الشكلين (5-3) و (5-4). والمدارات قُرْب هذه النقاطِ تَسْمحُ للمركبة الفضائية بالبَقاء في موقع ثابت نسبي باستخدام كمية صغيرة جدا مِنْ الوقودِ. والمدار حول النقطة L_1 تستخدمها المركبات الفضائيةِ التي تحتاجِ رؤية منظر ثابت للشمسِ، مثل المرصد الشمسي والهليوسفيرك **Solar and Heliospheric Observatory**. المدارُ حول النقطة L_2 يستعمل من قبل المركباتِ التي تحتاج لأن تكون كلا من الأرض والشمس خلفها. وهذا يُتيحُ درع لمَنْع الإشعاعِ مِنْ كلا من الأرض والشمس، مما يَسْمحُ بالتَبريد للأجهزة الحسّاسةِ. والأمثلةُ لذلكَ مسبار **Wilkinson Microwave Anisotropy Probe** ومنظار جيمس وَب الفضائي **James Webb Space Telescope**.

وسوف نشرح فيما يلي بالتفصيل خواص بعض هذه المدارات الهامة :