للمرحلةِ الثانيةِ من الصاروخ (ESC-B) سَتحتويُ على خاصية تعدّدَ الاشتعال، لذلك فالرحلات المستقبلية يمكنها استخدام مداراتِ الانتظار.

- كمثال لمدارِ الانتظار، فإن مركبة النقلِ الآليةِ Automated Transfer Vehicle(ATV) يُمْكِنُها أنْ تتحركَ لعِدّة شهور في مدارِ الانتظار لتنتظر الالتقاء بالمحطة الفضائيةِ الدوليةِ. لأسبابِ الأمانِ، فإن عربة النقلِ الآليةِ لا تَستطيعُ الاقتراب مِنْ المحطةَ بينما يستطيع مكوك الفضاء ذلك.

7-5 : مدارات الأقمار المتزامنة مع الشمس[19] :

إن المدارات المتزامنة مع الشمس Sun- Synchronous satellite orbits هي مدارات تقع في مستوى يصنع زاوية ثابتة A مع الخط الواصل بين الشمس والأرض مهما تغير وضع الأرض بالنسبة للشمس طوال العام الشكل (5-7). لاحظ ثبات الزاوية بين مستوى المدار والمستوى الفاصل بين الليل والنهار على الكرة الأرضية. وللاحتفاظ بهذه الخاصية يجب أن يكون للمدار سبق عقدي محدد Nodal precession، فيتحرك الخط العقدي للمدار بمعدل ° 360 في السنة أو ° 0.986 يوميًا. وهذه القيمة تمثل متوسط حركة الأرض اليومية في مدارها حول الشمس. وحتى تكون حركة الخط العقدي في نفس اتجاه حركة الأرض حول الشمس، يجب أن يكون مدار القمر مدار تقهقري Retrograde Orbit أي يكون ميل المدار أكبر من ° 90. وتعتمد قيمة الميل على ارتفاع القمر الصناعي الشكل (5-8). حيث نلاحظ من الشكل للوصول إلى قيمة السبق العقدي °0.986 على ارتفاع 200 كم يجب أن يكون ميل المدار حوالي ° 96. وكلما زاد ارتفاع القمر يمكن زيادة ميل المدار حتى يصل الميل إلى ° 105 لقمر على ارتفاع 2000 كم ويجب أن يتوفر للأقمار المتزامنة مع الشمس الشروط التالية:

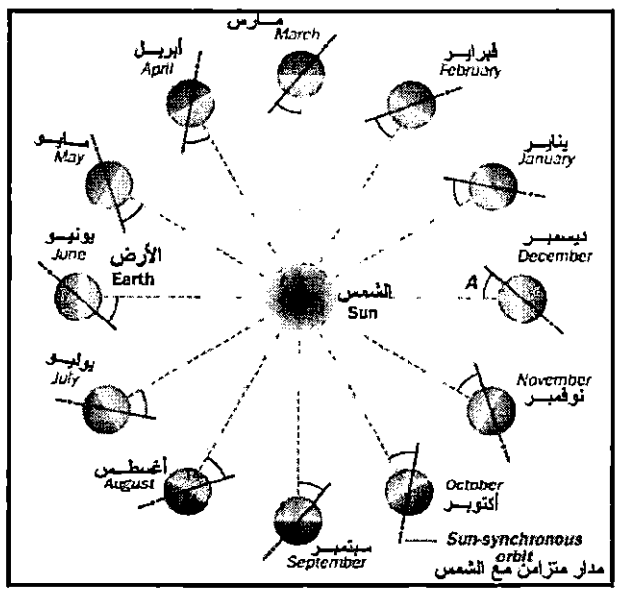
- عبورها عند موقع ما على سطح الكرة الأرضية يكون عند زمن شمسي متوسط ثابت وبالتالي يكون لمعان تلك المنطقة أي أضاءتها بأشعة الشمس ثابتة في نفس اللحظة من اليوم ويتغير اللمعان فقط مع فصول السنة نتيجة لتغير ميل الشمس.
- يغطي القمر تقريبا كل سطح الكرة الأرضية حيث يكون المدار شبه قطبي (يمر بالقرب من قطبي الكرة الأرضية).
- يتحدد زمن عبور القمر لنقطة ما على سطح الأرض بزمن إطلاق القمر من الأرض.

---

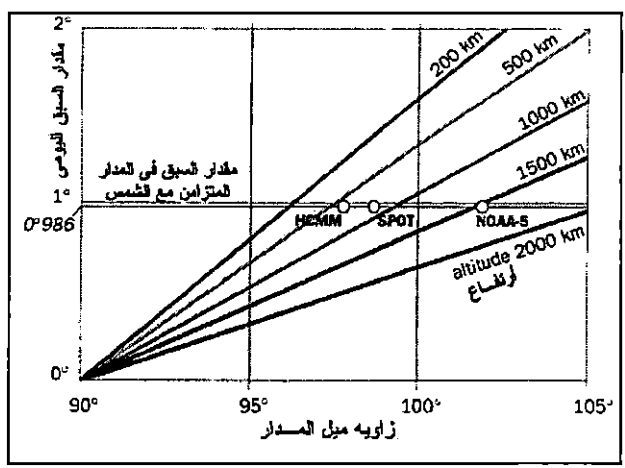
[19] من الفقرة (5-7) وحتى نهاية الفصل من "Fernand Verger, et al; The Cambridge Encyclopedia of space of Space;2003"

- ارتفاع وميل مدار القمر عوامل تؤثر في تحديد السبق العقدي المراد تحقيقه. فكلما زاد ارتفاع القمر كلما زاد ميل المدار.

هذه الشروط يجب تحقيقها للأقمار التي تدور في مدارات دائرية متزامنة مع الشمس. وهذا النوع مناسب لرصد الأرض فهي تحقق ارتفاعا ثابتا بالنسبة للمنطقة التي يراد رصدها وإضاءة ثابتة لتلك المنطقة تتغير مع الفصول فقط. وهذه الأقمار تكون مناسبة للاستشعار عن بعد لسطح الأرض، ودراسة الغلاف الجوى، والأرصاد الجوية، وتجميع بيانات حرارية.



الشكل (5-7).
الأقمار المتزامنة مع الشمس.

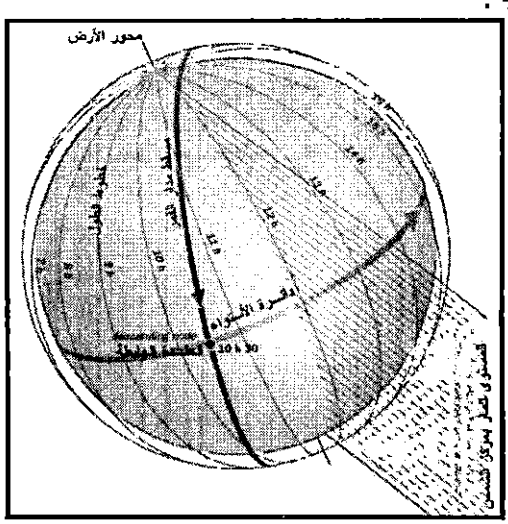


الشكل (5-8)
العلاقة بين مقدار السبق وميل المدار.

والعديد من البرامج استخدمت المدارات المتزامنة مع الشمس للأسباب التالية :

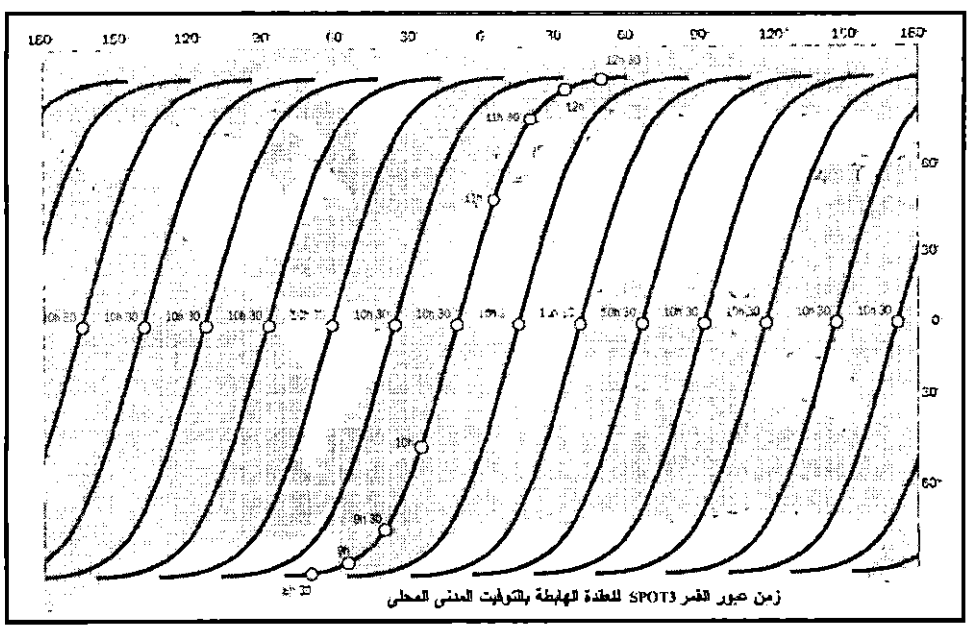
ارتفاعاها وميل مدارها يغطى منطقة كبيرة من سطح الأرض وتعبر خطوط عرض مختلفة. نلاحظ من الشكل (5-9) أن المدار الذي يمر بالقرب من القطبين يمسح الكرة الأرضية بالكامل أثناء اليوم وذلك لدوران الكرة الأرضية حول محورها. والعوامل التي تحدد مهمة القمر يجب أن تحتوى على زمن عبور القمر للعقدة الهابطة بالتوقيت المدني المحلى. ويمكن حساب زمن عبور القمر عند خطوط عرض مختلفة على سطح الأرض من هذه العوامل السابقة الشكل (5-9). يوضح الشكل (5-10) زمن عبور القمر *SPOT3* للعقدة الهابطة (على دائرة الاستواء) بالتوقيت المحلى الساعة العاشرة والنصف. كذلك يحدد الشكل مرور القمر على خطوط عرض مختلفة في أوقات مختلفة، وهذه الأوقات تبدأ قرب القطب الشمالي عند خط عرض 80 وخط طول 50 شرق جرينتش حيث يعبر الساعة 12 والنصف، ثم عند خط عرض 77 وخط طول 32 يعبر الساعة 12 وهكذا إلى أن يعبر العقدة الهابطة عند خط عرض صفر على دائرة الاستواء وخط طول 10° غرب جرينتش الساعة 10 والنصف. وهكذا نجد أن التوقيت يقل ولا يزيد وذلك لأن القمر يتجه ناحية الغرب من الكرة الأرضية حيث يكون التوقيت اقل من توقيت الناحية الشرقية.

وتحديد زمن عبور القمر المتزامن مع الشمس تبعا لنوعية مهمة القمر. فأقمار الاستشعار عن بعد تستخدم الطيف المرئي والأشعة تحت الحمراء في أرصادها، لهذا تكون مداراتها ثابتة بطريقة تمكنها من التحليق فوق مناطق تسطع عليها أشعة الشمس بدرجة عالية أثناء حركتها في مدارها الصاعد أو الهابط أو قرب الفجر في الحالة الثانية.



الشكل (5-9).
مدار قمر متزامن مع الشمس.

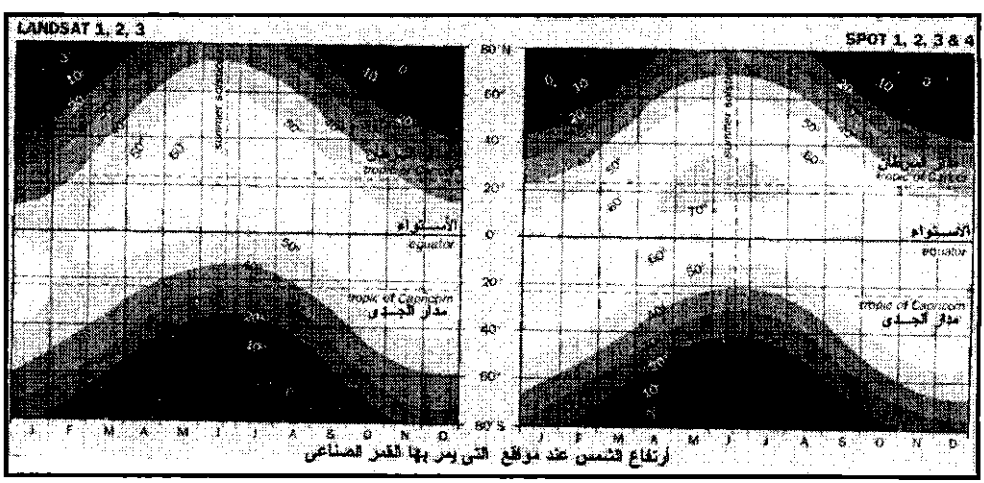
وكمية الإضاءة الشمسية التي تغطي نقطة على سطح الأرض تعتمد على ارتفاع الشمس عن أفق هذه النقطة. ويعتمد هذا الارتفاع على نوع الفصل (صيف- ربيع- خريف- شتاء). ففوق المناطق الشمالية أو الجنوبية يكون أقصى ارتفاع للشمس عندما تكون في أحد الانقلابيين وأقل ارتفاع في الاعتدالين. وعند دائرة الاستواء يكون الارتفاع أقصاه عند الاعتدالين يوضح إنّ انتظام زاويةِ بين اتجاه الشمسِ ومستوى المدار يتحققُ بحساب السبقِ الطبيعيِ للمدارِ ليكمل دورة كاملة في سنة. لأن الأرضَ تَدُورُ، وهي مفلطحُة قليلاً (خط الاستواء أطولُ قليلاً منه لو كُانتُ الأرضِ علي شُكّلْ كرةً)، والكتلة الإضافية قُرْب دائرة الاستواء تسبب للمركبات الفضائيةِ التي في مداراتِ مائلةِ سبق. مستوى المدارِ لَنْ يكون ثابتْ في الفضاءِ بالنسبة إلى النجومَ البعيدةَ، لكن يَدُورُ ببطء حول محورِ الأرضَ. تَعتمدُ سرعةُ السبقِ على كلا من ميلِ المدارِ وأيضاً على ارتفاع القمر الصناعي. بمُوَازَنَة
هذين التأثيرين، يمكننا التحكم بنِسَبِة السبقِ. ومثال لذلك فان المدارات المتزامنةِ مع الشمسِ تكون علي ارتفاع حوالي من 600 إلى 800 كم، ودورة المدار حوالي من 96 إلى 100 دقيقة، وميل المدار حوالي 98 ° (بمعنى آخر: المدار تقهقري مقارنة باتجاه دوران الأرضِ: حيث الميل 0 ° يُمثّلُ مدارَ استوائي والميل 90 ° يُمثّلُ مدار قطبي).



الشكل (5-10). زمن عبور قمر متزامن مع الشمس *SPOT3* للعقدة الهابطة.

يوجد تنوع في هذا النوع مِنْ المداراِت؛ القمر الصناعي يُمكنُ أَنْ يَكونُ مدار متزامنِ مع الشمسِ عالي الاستطالةُ، في هذه الحالة يكون ثَبوّتَ الوقتَ الشمسيَ للمرورِ عند نقطة مُحددة مِنْ المدارِ (الحضيض). دورة المدار تختارْ تبعاً لمعدل تكرار الزِيَارُة المطلوبُة؛ يَعْبرُ القمر الصناعي خطَ الاستواء في نفس الوقتِ الشمسي المتوسطِ عند كُلّ مرور، لَكنَّه عادة عند خطوط طول مختلفة، لأن الأرضَ تَدُورُ تحتَ القمر الصناعي. على سبيل المثال، إذا كانت الدورة المدارية 96 دقيقة، فدورة القمر ستتكرر 15 مرة خلال اليومِ الشمسي الأرضَي، وهذا يعني أن القمر الصناعي سيعبر دائرة الاستواء عند 15 خَطِ طول مختلفةِ فى المداراتِ المتتاليةِ، في نفس الوقتِ الشمسي المتوسطِ المحليِ لكُلّ موقع، ويعود ليعبر خط الطول الأول مرة ثانية بعد 15 عبور، أي يعبر كل خط طول مرة واحدة في اليوم الواحد.

يمثل الشكل (5-11) قيمة ارتفاع الشمس في موقع عند نقطة أسفل القمر عند خطوط عرض مختلفة أثناء العام. وتقع النقاط التي يكون فيها ارتفاع الشمس أعلى ما يمكن في النصف الشمالي للكرة الأرضية وذلك لأغلب أقمار الاستشعار المتزامنة مع الشمس. وذلك لأنه يفضل عبور هذه الأقمار للعقدة الهابطة في الصباح الباكر. ويعبر المحور الأفقي للشكل عن أشهر السنة والمحور الرأسي عن خطوط العرض والقيم داخل الشكل تمثل قيم منحنيات تساوي الارتفاع للشمس. ويمثل الشكل الأيمن لأقمار سبوت 1، 2، 3 و4 والشكل الأيسر لأقمار لاندسات 1، 2 و 3.



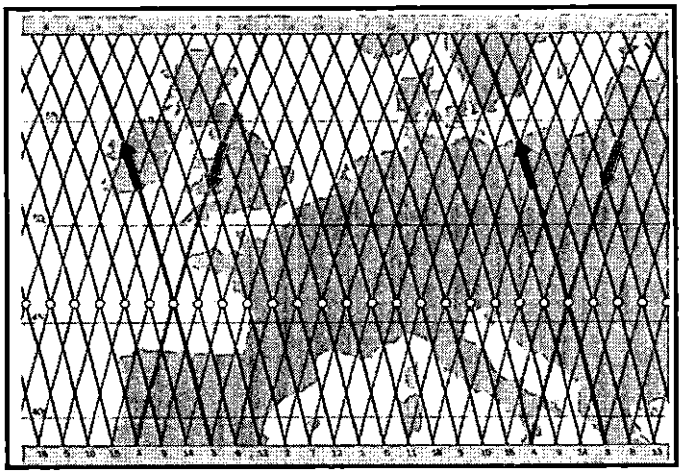
الشكل (5-11). إضاءة الشمس عند خطوط العرض المختلفة.

وبعض الأقمار مثل لاندسات أوسبوت تعبر العقدة الهابطة قبل منتصف النهار وأقمار أخرى مثل HCMM تفعل العكس (تعبر في المساء). و يحدث العبور للعقد الصاعدة والهابطة للأقمار المتزامنة مع الشمس عند خطوط عرض ثابتة وزمن دوري ثابت (الزمن بين العبورين ثابت). ولهذا يكون العبور للعقدة الصاعدة لأقمار HCMM في ضوء النهار والعبور للعقدة الهابطة في أثناء الليل. أي يحدث العبور للعقدة الصاعدة فوق موقع ما أسفل العقدة، ويحدث عبور القمر عند نفس الموقع عندما يكون تحت العقدة الهابطة، أي تكون الأرض دارت حول محورها نصف دورة أي أن هذا يتم في فترة نصف يوم وذلك يتضح في الشكل (3-12) عند خط عرض ^{o} 46 (المحور الرأسي يمثل خط العرض والأفقي رقم اليوم). حيث نجد أن الخط السميك الرمادى الهابط من أعلى يمين الشكل من رقم 3 الذى يمثل رقم اليوم على المحور الأفقي ويمثل بالسهم الرمادى، ، وينتهي إلى رقم 4 أسفل يمين الشكل. يتقاطع هذا الخط مع الخط السميك الأسود الصاعد من أسفل يمين الشكل ويمثل بالسهم الأسود، ويبدأ من رقم 3 من المحور الأفقي أسفل الشكل. ونقطة التقاطع تمثل انطباق العقدة الصاعدة للقمر مع العقدة الهابطة له عند خط عرض 46 ونفس خط الطول. وبالمثل نجد أن جميع الدوائر البيضاء تمثل تقاطع العقدة الصاعدة والعقدة الهابطة عند نفس خط العرض ولكن خطوط طول مختلفة. وهذا المرور الدوري يستخدم لحساب اختلاف درجات الحرارة للمناطق التي يحلق فوقها القمر أثناء ضوء النهار وظلمة الليل. وبهذه الطريقة يمكن معرفة حرارة السحب من أرصاد القمر HCMM.

1-7-5 : حالات المدار المتزامن الخاصة :

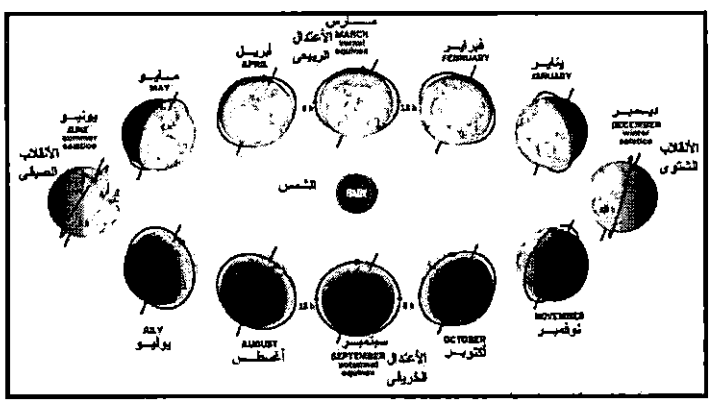
مدار الظهر أو منتصف الليل حيث أن الوقت الشمسي المحلي لعبور خطوط الطول عند دائرة الاستواء يكون في وقت الظهر أو منتصف الليل.

ومدارات الفجر والغسق يحدد نوعية خاصة من المدارات المتزامنة مع الشمس. وسميت هذه المدارات بهذا الاسم لأن القمر يعبر العقد تقريبا أثناء الفجر أو الغسق (بعد غروب الشمس) في المناطق التي يعبرها ويكون الخط العقدي متعامدا مع الخط الواصل بين الأرض والشمس. وزمن عبور العقد يكون قرب الساعة السادسة مساء أو صباحا. وهذا يعنى أن القمر يكون دائما مضاء لانعكاس أشعة الشمس عليه وانعكاسها إلى الأرض وتستقبل ألواح الخلايا الشمسية للقمر الصناعي الأشعة الشمسية خلال 24 ساعة ولهذا يستمد القمر طاقة ثابتة من الشمس.



الشكل (5-12). عبور القمر للعقدتين عند نفس المكان.

وتبعا لميل مدارات الأقمار المتزامنة مع الشمس يحدث خسوف قصير للقمر في كل دورة لمدة عدة أسابيع حول نقطة الانقلاب الصيفي. وهذه المدارات تستخدم لبعض أقمار الاستشعار عن بعد مثل رادارسات Radarsat حيث تحتاج أجهزة الرادار لقدر كبير من الطاقة لهذا يجب أن يتجنب القمر حدوث خسوف له في ظل الأرض حيث يمنع الخسوف وصول أشعة الشمس إلى الألواح الشمسية. ويتم خسوف القمر رادارسات لمدة 18 دقيقة في كل دورة أثناء الانقلاب الصيفي الشكل (5-13) حيث نجد أن في يسار الشكل عند الانقلاب الصيفي يحدث خسوف للقمر قرب القطب الجنوبي للكرة الأرضية ويحدث الخسوف للقمر عند الانقلاب الشتوي قرب القطب الشمالي للكرة الأرضية.



الشكل (5-13). أقمار الفجر والغسق.

وهذا الخسوف مفيدُ أيضاً لبَعْض الأقمار الصناعية المزودة بالأجهزة السلبيةِ التي تَحتاجُ لتقييد تَأثير الشمسَ على القياسات، حيث توجه الأجهزة دائما نحو الجانبِ الليليِ للأرضِ. أما أقمار الفجر / مدار غسقٍ يستخدم للأقمار الصناعية العلميةِ التي ترصد الشمسِ مثل Yohkoh، Trace وHinode، حيث تمكنهم بصفة مستمرة من رؤيةً الشمسِ.

مع زيادة ارتفاع وميل القمر الصناعي، فإن فائدة المدارِ تَنْقصُ بمقدار الضعفً: أولاً لأن (القمر الصناعي الذي يرصدِ الأرضَ) صور القمرِ الصناعي التي يلتقطها ستكون مِنْ مسافة بعيدةٍ جداً مما يؤثر علي دقة الصورُ، وثانياً لأن الميلَ المتزايدَ يَعْني أن القمر الصناعي لَنْ يَطِيرَ على خطوطِ العرض الأعلى (في المدارات المتقهقرة). فالقمر المتزامنِ مع الشمسِ صمّمَ للطَيَرَانِ على الولايات المتّحدةِ، على سبيل المثال، يَحتاجُ أن تكون زاوية ميل مداره 132° أو أقل، وهذا يَعْني أن يكون الارتفاع ~4600 كيلومتر أو أقل.

ومدار الأقمار الصناعية المتزامنة مع الشمس يمكن تحققها أيضا مع كواكب أخرى غير الأرض مثل كوكب المريخ.

8-5 : المدارات الثابتة Geostationary Satellite Orbits:

بعض الأقمار تبدو كأنها تحلق فوق نفس المكان من سطح الأرض. وهذا النوع يسمى بالأقمار الثابتة Geostationary satellites. وهذه الأقمار تتخذ مدارات خاصة، ولقد تم إطلاق أول قمر من هذا النوع عام 1963م. و تلعب هذه الأيام هذه الأقمار دورا هاما في نقل الاتصالات حول الكرة الأرضية وهى أيضا تقوم بالأرصاد الجوية والتجسس العسكري.

5-8-1 : حساب موقع المدار الثابت Determination of Orbit :

للاحتفاظ بوضع القمر فوق مكان محدد على سطح الأرض يجب أن يكون مدار القمر الثابت كالآتي :

- أن يكون خط العرض ثابت وهذا يحدث فقط عند دائرة الاستواء وأن يكون المدار ميله صفر أي منطبق على دائرة الاستواء تبعا لقانون كبلر.
- أن يكون خط طول موقع القمر ثابت أي تكون السرعة الزاوية للقمر في مداره مساوية لنفس السرعة الزاوية للأرض حول محورها الشكل (5-14). وهذا ممكن فقط في المدارات الدائرية تبعا لقانون كبلر الثاني. ويوضح الشكل (5-14) حركة