4-4 : أنواع المسارات الأرضية للقمر الصناعي :

4-4-1 : المدارات الدائرية:

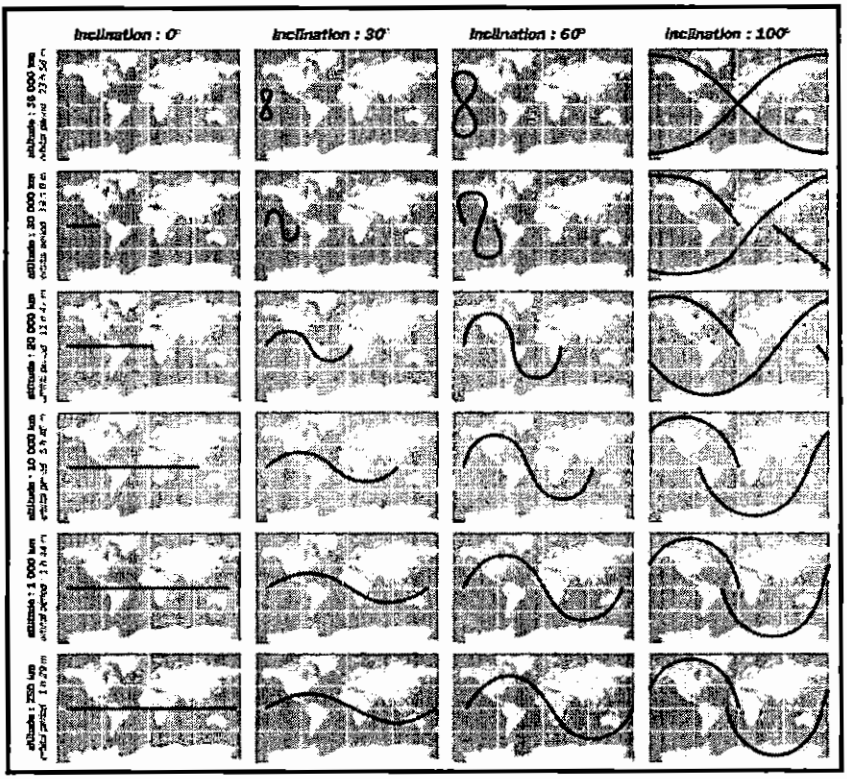
يوضح الشكل (4-8) الأشكال المختلفة التي تصف المسار الأرضي لقمر صناعي مداره دائري عند زوايا ميل وارتفاعات مختلفة وبالتالى زمن دورته مختلفة. وبعض المدارات الموضحة في الرسم لا تستخدم عمليا ولكن وضعت هنا لتوضيح التغير في شكل المسار الأرضي كلما تغير ميل المدار أو ارتفاع القمر. فإذا أنطبق مستوى المدار على دائرة الاستواء وكان ارتفاع القمر 36000 كم يكون القمر ثابت Geostationary Satellite بالنسبة لنقطة معينة على سطح الأرض. وفي هذه الحالة يكون المسار الأرضي للقمر نقطة ثابتة على سطح الأرض طوال دورة القمر في مداره. ويتيح ارتفاع القمر 36000 كم سرعة زاوية للقمر حول الأرض مساوية لسرعة دوران الأرض حول محورها، لذلك سميت الأقمار التي تحلق على هذا الارتفاع بالأقمار الثابتة. وعند تغيير ارتفاع القمر نجد حدوث إزاحة لهذه النقطة أثناء دورة واحدة للقمر حول الأرض. وتتجه هذه الإزاحة ناحية الشرق إذا قل الارتفاع (لأن سرعة القمر أعلى من سرعة الأرض حول محورها)، كما يتناسب مقدار هذه الإزاحة عكسيا مع الارتفاع. ونجد أن الإزاحة تكون على دائرة الاستواء إذا كان ميل المدار صفرا أي منطبق على دائرة الاستواء.

وعند زيادة ميل المدار من صفر إلى 30 درجة أو 60 درجة نجد انه على ارتفاع 36000 كم يكون المسار الأرضي على شكل حرف 8 باللغة الأنجليزية وتقع نقطة التماثل للحرف على دائرة الاستواء (لأن سرعة القمر مساوية لسرعة الأرض ولكن الميل أكبر من الصفر). ويعتمد ارتفاع الحرف على درجة ميل المدار، فإذا كان الميل صغيرا يصل الحرف إلى خطوط عرض صغيرة شمال وجنوب دائرة الاستواء. ويكون اقصى خط عرض يصل إليه المسار الأرضي مساويا لميل المدار.

عند تثبيت الميل وتقليل الارتفاع نجد أن حرف 8 يتفكك ليصبح منحنى له بداية ونهاية ممتد شرقا ويتماثل نصفه شمال الاستواء مع نصفه جنوب الاستواء. ونجد هنا أن تغيير الميل جعل المسار الأرضي تحدث له إزاحة شمال وجنوب الاستواء وعند تقليل الارتفاع نجد حدوث إزاحة أفقية ناحية الشرق ايضا بحيث

تكون بدايتها ونهايتها على دائرة الاستواء. ويتناسب مقدار هذه الإزاحة مع ارتفاع القمر عن سطح الأرض.

أما إذا زاد ميل المدار عن 90 درجة فيكون المدار تقهقري Retrograde Orbit وعلى ارتفاع 36000 كم يكون شكل المسار الأرضي على شكل علامة مالا نهاية ∞ وكلما قل ارتفاع القمر حدث إزاحة بين بداية الدورة للقمر ونهايتها وتتناسب الإزاحة مع ارتفاع القمر عن سطح الأرض.

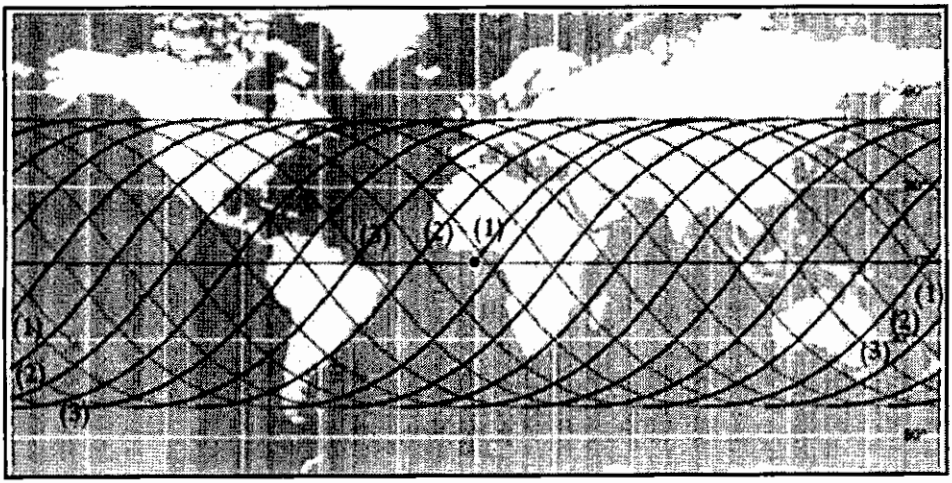


الشكل (4-8). تغير أنواع المسارات الأرضية الدائرية بتغير الارتفاع والميل.

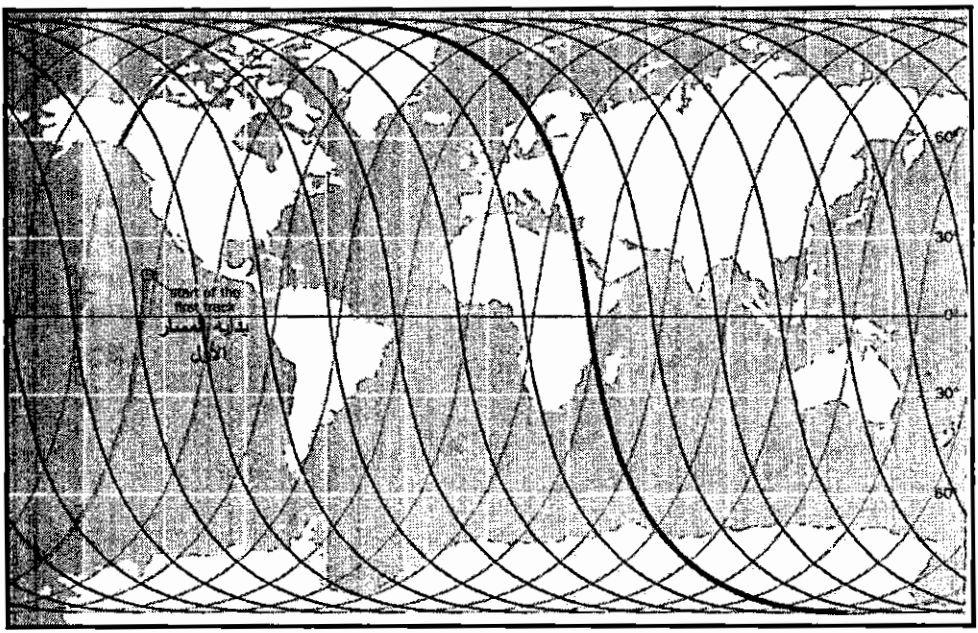
وهناك نوعان من المسارات تصاحب المدارات شائعة الاستخدام وهما موضحان في الشكل (4-9) و الشكل (4-10) حيث الأول يظهر المسار الأرضي لقمر ميل مداره متوسط وارتفاعه منخفض. وهذا النوع من المدارات يشغله أغلب المركبات الفضائية المأهولة برواد الفضاء والمحطات الفضائية. والمثال الموضح لمحطة الفضاء (المعمل الفضائي) SkyLab على مدار 24 ساعة، على ارتفاع 385 كم عن سطح الأرض وميل مداره ° 51.6 وزمن دورة مداره 92.18 دقيقة والإزاحة عند الاستواء بين بداية دورتين متتاليتين (الإزاحة) 2608.4 كم.

ولو تتبعنا مسار المحطة من نقطة البداية العقدة الصاعدة (1) وسط الخريطة عند النقطة السوداء على دائرة الاستواء نجد أن المسار يتجه إلى الشمال الشرقي إلى أن يصل إلى خط عرض ° 51.6 ثم يهبط عند الحافة اليمنى للخريطة (المنحنى الأول (1) الهابط تحت دائرة الاستواء مباشرة) ولو تتبعناه من الناحية اليسرى للخريطة نجده أيضا يمثل بالمنحنى الثاني الهابط تحت دائرة الاستواء حتى يصل جنوبا لخط عرض ° 51.6 ثم يرتفع ليقطع دائرة الاستواء عند العقدة الصاعدة (2) في منحنى صاعد يلي منحنى بداية الدورة الأولى مباشرة من الناحية الغربية. وهكذا نجد ان المحطة أثناء دورانها في مدارها تزاح كل 92.18 دقيقة
ناحية الغرب بمقدار °23 تقريبا في المسار الثاني والثالث ...إلخ. وبذلك تتم المحطة 15.62 دورة كل 24 ساعة.

يمثل الشكل (4-10) المسار الأرضي للقمر HCMM في مدار تقهقري ارتفاعه بين 600 كم إلى 900 كم. وهذا النوع من المدارات هو الذي يستخدم في أقمار الاستشعار عن بعد المتزامنة مع الشمس(مستوى مداره مواجه للشمس طوال العام). ويمثل الخط الهابط قرب خط الاستواء يسار الشكل بداية المسار والمنحنى الأسود القاتم وسط الشكل يمثل النصف الصاعد من المسار الأرضي والمنحنى الهابط والسهم عند دائرة الاستواء يسار الشكل يمثل جزء من المسار المار بالعقدة الهابطة وهكذا. ميل هذا المدار °97.5 ودورة المدار 97.2 دقيقة والإزاحة عند الاستواء بين كل مسارين متتالين 2712 كم



الشكل (4-9). المسار الأرضي للمحطة الفضائية الدولية خلال 24 ساعة.



الشكل (4-10). المسار الأرضي للمركبة الفضائية HCMM خلال 24 ساعة.

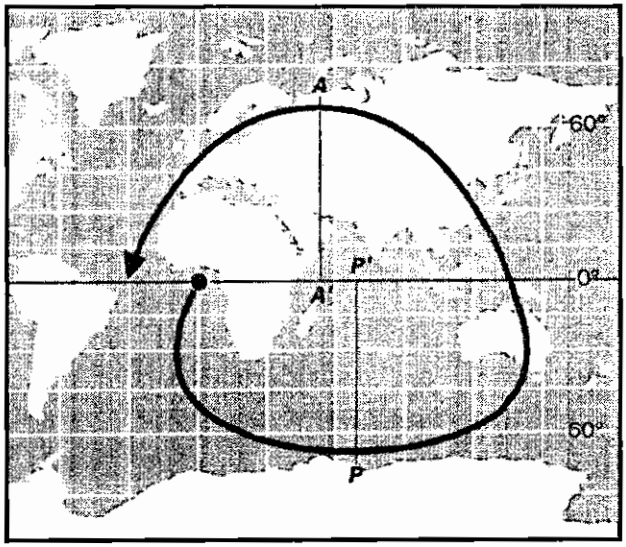
4-4-2 : المدارات الإهليجية :

تصاحب المدارات الإهليجية مجموعة واسعة التغير من المسارات الأرضية. ونقدم هنا أربعة أمثله لأقمار روسية. المثال الأول الشكل (4-11) لمسار قمر ارتفاع نقطة أوج مداره متوسط. حيث ارتفاع الأوج 66300 كم والحضيض 447 كم وميل المدار 61°. ومدة دورة القمر 21 ساعة 54 دقيقة. فنجد أن المدار يقع جزء منه في نصف الكرة الأرضية الشمالية ويكون شكله مختلفا عن نصف المدار الذى يقع فى النصف الجنوبى من الكرة الأرضية. ويكون نصف المسار الشمالي والنصف الجنوبي متماثلين بالنسبة لخط الطول (**AA'** شمالا و **PP'** جنوبا). وهذا الحال عندما يكون المحور الأعظم للمدار متعامدا على الخط العقدي (ω = 90° أو 270 °) أي عندما تكون نقطة الحضيض والأوج عند أعلى قيم خط عرض يصل إليه مدار القمر.

يمثل الشكل (4-12) قمر اتصالات مولنيا Molniya لدورة 24 ساعة. ارتفاع الأوج والحضيض 40000 كم و 400 كم على التوالي وميل المدار ° 65 وبعد نقطة الحضيض عن العقدة 270°. ومدة دورة القمر 12 ساعة. عند خط عرض ° 50 نجد

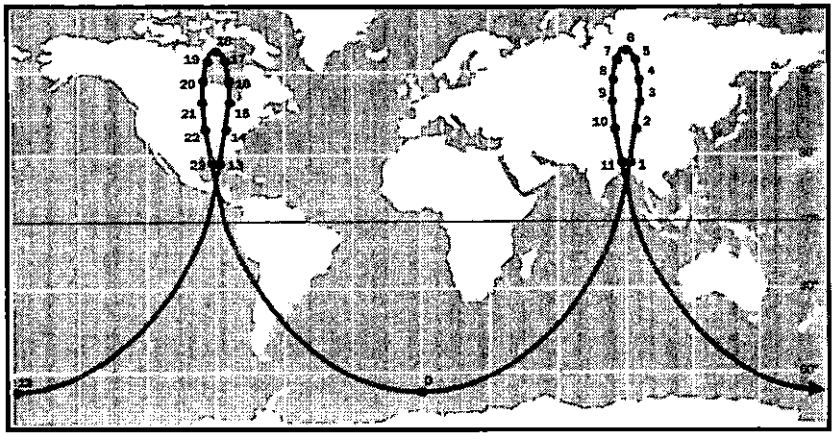
أن مسار القمر المتقدم في اتجاه الشرق يصبح أبطء من سرعة دوران الأرض ، ثم يتقهقر المسار في اتجاه الغرب ليكون على شكل حلقة. وتمثل الأرقام ساعات اليوم واتجاه حركة القمر من صعود وتقهقر وهبوط ، وتتكون هذه الحلقة عندما يكون القمر في المدار قرب الأوج. وهذا النوع من الأقمار يسمح بالبقاء فوق روسيا لأكثر من 8 ساعات. وبذلك يمكن استخدام ثلاثة أقمار على نفس المدار لمراقبة تلك الرقعة من الأرض خلال 24 ساعة. وتتكرر نفس الحلقة على أمريكا الشمالية لأكثر من 8 ساعات أيضا في الدورة التالية للقمر.

مثال آخر لمسار قمر الاتصالات مولينا الشكل (4-13) والفرق بين هذا المثال والمثال السابق أن بعد نقطة الحضيض عن العقدة هنا 280° بدلا من 270°.

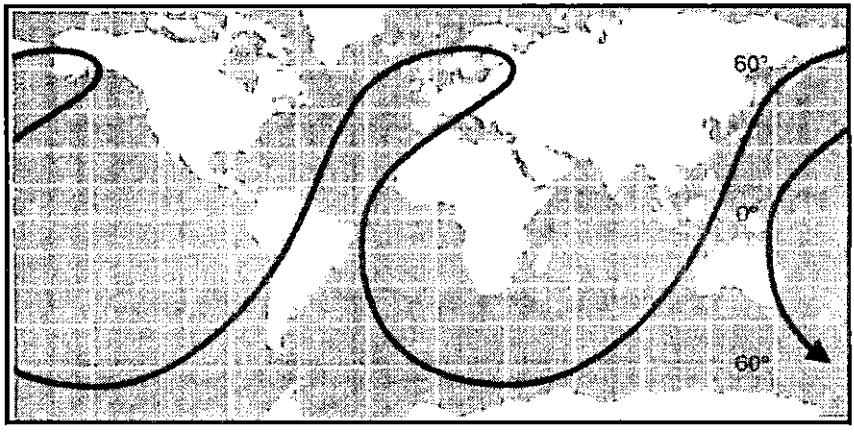


الشكل (4-11).
مسار أرضي للقمر Elektron 4 في دورة كاملة.

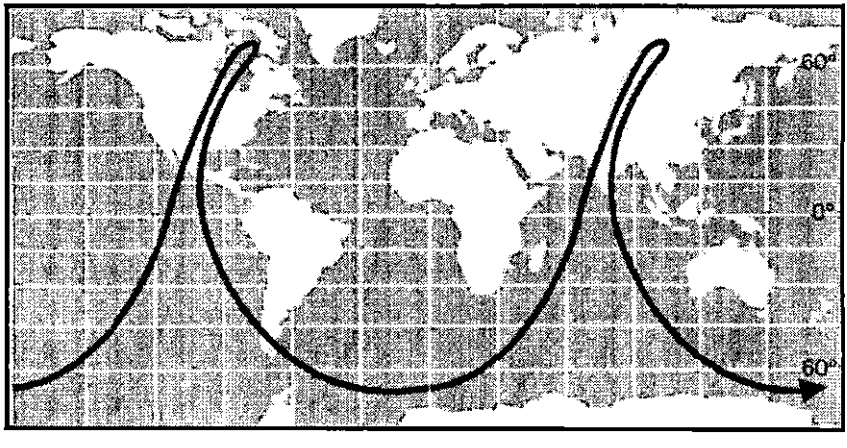
ويمثل الشكل (4-14) مدار هذا القمر من نوع مدار القمر مولينا ولكن بعد الحضيض عن العقدة 316 درجة. ويكون المسار الهابط تقهقري بين خط العرض 60 شمالا و 20 جنوبا. وتم حساب موقع القمر فى المدار بحيث يمر الأوج فوق مساحة ذات إستراتيجية عسكرية في الأطلنطي (جرينلاند) والباسفيكي (الاسكا).



الشكل (4-12). مسار قمر الاتصالات Molniya.



الشكل (4-13). مثال آخر لمسار قمر الاتصالات Molniya.



الشكل (4 -14). يمثل مسار قمر عسكري للتحذير المبكر.