متطلبات إنتاج الأقمار

د. محمد الماجد / د. خالد الدكان

تتطلب برامج إنتاج الأقمار الاصطناعية كغيرها من الصناعات المتقدمة والدقيقة، وضع خطط وأهداف مدروسة بدءاً بالفكرة، ومروراً بمراحل التصميم والتطوير والتصنيع، وانتهاءً بالاختبارات الأرضية والتشغيلية قبل وبعد الإطلاق.

ومما لاشك فيه أن إنتاج الأقمار الاصطناعية التجارية والعلمية والعسكرية - بخلاف أقمار الهواة التي يمكن إنتاجها في معامل صغيرة وبتكلفة مقبولة - يتطلب منشآت متخصصة ومتقدمة للإنتاج والاختبار، إضافة إلى بنية تحتية مساندة عالية التكاليف، إلا أن التقدم التقني الهائل في مجال الإلكترونيات والبصريات والاتصالات جعل تكلفة إنتاج الأقمار الاصطناعية في انخفاض مستمر. وتبقى مهمة القمر الرئيسية هي المحدد النهائي لحجم وعمق الدراسات الهندسية المطلوبة لخط الإنتاج المناسب والمنشآت اللازمة.

تستخدم الأقمار الاصطناعية أساساً في مهام عديدة، مثل: أنظمة الاتصالات العلمية، والبث التلفزيوني، كما تشكل نواة أنظمة الاستشعار عن بعد كالتصوير أو المسح الضوئي. إضافة إلى ذلك فإن لها مهاماً علمية بحتة بغرض اختبار أجهزة أو قطع لم يتم اختبارها في الفضاء، أو اختبار أنظمة جديدة وتحديد مدى دقة تجاوبها وفعاليتها. وللأقمار الاصطناعية تطبيقات ومهام عسكرية بحتة مثل التشويش والتنصت كأحد أساليب الحرب الإلكترونية.

تكلفة الإنتاج

تعتمد تكلفة إنتاج الأقمار الاصطناعية بشكل أساسي على المهام المراد تحقيقها من قبل القمر الاصطناعي، فكلما زادت مهامه زاد تعقيده وزادت تكلفته ودقة تصنيعه، ومن الأمور الأساسية هو تحديد مهمة القمر بشكل جلي وواضح، لأن ذلك يتعلق بالتكلفة، حيث إن إضافة بعض المهام أو التحسين في مهام أخرى - قد لاتخدم المهمة الأساسية أحياناً - تؤدي إلى مضاعفة التكلفة. فمثلاً، نجد أن محاولة تحسين دقة تصوير الكاميرا الرئيسية في قمر الاستشعار عن بعد بنسبة ٥٠٪ قد يؤدي إلى زيادة تكلفة تصنيعه بنسبة تتجاوز الـ ١٠٠٪ نتيجة انعكاس التغيير في حجم الكاميرا على حجم ووزن القمر الكلي، وكذلك إلى ازدياد تعقيد عملية تصنيع المنظار. عليه يجب على القائمين على تصنيع القمر تحديد المهام بدقة والالتزام بها حتى نهاية المشروع.

وبشكل عام يمكن القول إن تحديد مهمة القمر مرتبطة بقيود أساسية منها الاقتصادية، مثل: مدى توفر الدعم الكافي لإنتاج الأقمار، وكذلك الرغبة السياسية، حيث أن الأقمار الاصطناعية هي من أفضل الطرق لمعرفة مايحصل على سطح الأرض دون التقيد بحدود جغرافية؛ فأهمية الفضاء لدى الدول لاتقل أهمية عن الحدود الأرضية المتفق عليها. أما القيود العلمية والمعرفية فهي التي تعطي التمكين لدولة ما السيطرة على الفضاء، ومن ثم الإمساك بزمام التقنية الفضائية.

يمكن تصنيف تكلفة الأقمار الاصطناعية حسب المهام المناطة بها إلى ما يلي:

● أقمار الهواة والتعليمية

تكون أقمار الهواة والتعليمية أقل تعقيداً وتكلفة حيث تحتوي بشكل على أجهزة إرسال واستقبال إضافة إلى الأجهزة الأخرى المساندة لتشغيل القمر وتبادل المعلومات الداخلية وأسلوب تحكم وتوجيه مبسط. ولا يتطلب القمر الكثير من القدرات الصناعية ولا لأنظمة الاختبارات المتقدمة، ولكن تزداد تعقيداته عند الرغبة في زيادة مهامه كإضفاء مهمة حفظ المعلومات وتصنيفها مثلاً، وهذا يتطلب تطوير نظام الحاسب وإضافة ذاكرة كافية لاستيعاب المعلومات المراد حفظها والتعامل معها.

● أقمار مراقبة الأرض

تتطلب أقمار مراقبة الأرض (الاستشعار عن بعد) - لمعرفة أحوال الطقس مثلاً أو الملاحة، أو دراسة طبيعية الأرض من يابسة وبحار، أو حصر الموارد الزراعية، ودراسة مقدار التلوث البيئي - احتواء القمر على حمولة مناسبة (Payload) تمكنه من المسح الضوئي والتصوير. وبالتالي تتطلب منشآت متقدمة جداً للتصنيع والاختبار، وكوادر علمية ذات خبرة عالية، وهذه مكلفة جداً.

● أقمار الاتصالات والبث التلفزيوني

تعد أقمار الاتصالات والبث الثلفزيوني الأعلى تكلفة والأصعب تصنيعاً وإطلاقاً وتشغيلاً بين جميع الأنواع المختلفة من الأقمار الاصطناعية ذات الاستخدام السلمي، فهي أقمار تدور في مدارات ثابتة ومتزامنة مع الأرض، مما يعني بعدها عن الأرض، وكبر حجمها، وحاجتها إلى حماية متقدمة ضد الإشعاع والظروف الفضائية الأخرى، وبالتالي زيادة في تكاليف إنتاجها وإطلاقها.

● أقمار الأغراض العسكرية

تقوم بعض الدول المتقدمة باستخدام أقمار الاستشعار عن بعد وأقمار الاتصالات المختلفة بعد تعديلها لاستخدامها في المجالات العسكرية للتنصت ومتابعة نشاطات الدول المختلفة، وكذلك لتأمين أنظمة اتصال مشفرة لقطاعاتها العسكرية. وتصبح عمليات التصنيع والاختبار والإطلاق في هذه الحالة باهظة جداً، وتتسم بالسرية التامة. وتشكل أقمار تحديد المواقع الدقيقة أنظمة لها استخدامات مدنية في أنظمة الملاحة المختلفة، وعسكرية مثل توجيه الصواريخ إلى أهدافها.

تصميم وإنتاج الأقمار

يمر تصميم وإنتاج الأقمار الاصطناعية بمراحل عدة تسير في نسق متشابه بغض النظر عن نوعية القمر المصنع أو طبيعة مهمته، ويمكن تحديد عشر مراحل للإنتاج تبدأ بدراسة متطلبات المستخدم النهائي للقمر، وتنتهي بمراجعة كاملة لاختبارات القبول النهائية لأجل إثبات جاهزية القمر للإطلاق. وفيما يلي عرض مختصر لما يتم عمله في كل مرحلة:-

● المرحلة الأولى

تبدأ المرحلة الأولى من عملية الإنتاج بأن يحدد الفريق الفني الخاص بتصميم وإنتاج القمر ـ بعيداً عن معامل الأقمار الاصطناعية ـ متطلبات المستخدم النهائي (User Requirement Specifications - URS)، ويجب على المستفيد النهائي توضيح المهام التي سيقوم بها القمر، والمواصفات الفنية الأساسية له، ويحدد العمر الافتراضي للقمر والتكاليف المتوقعة للتشغيل. وتكون المتطلبات موثقة في مستند يسمى «متطلبات المستخدم» ويكون المرجع الأساس لأي اختلاف قد ينشأ لاحقا بين الطرفين. ولتلافي أي اختلاف في تفسير المتطلبات يقوم الطرفان بمناقشتها من خلال اجتماعات دورية يتم فيها الاتفاق على كتابة بيان مهمة القمر الرئيسية (Mission Statement) ويجب على رئيس الفريق الفني إبراز البيان للجميع والتأكد من أن العمل يسير بناءً على ذلك.

● المرحلة الثانية

تشتمل المرحلة الثانية على تحليل مهام القمر (Mission Analysis)، حيث يقوم الفريق الفني بدراسة بيان مهمة القمر، ومتطلبات المستخدم بشكل دقيق، وما هي الأهداف التي يجب تحقيقها؟ ولماذا؟؛ وذلك لكي يتم تحديد ما يحتاج القمر إلى إنجازه، كما يجب تحديد الجودة التي تتحقق بها الأهداف مع أخذ مايلي بالاعتبار:

- احتياجات الفريق.
- التقنيات المطلوبة والمتاحة.
- الحدود المسموحة بها للتكلفة.

وينصح في هذه المرحلة المبكرة من المشروع وضع المتطلبات كأرقام محددة قابلة للمفاضلة والمبادلة (tradeoffs) وتفادي تثبيتها .

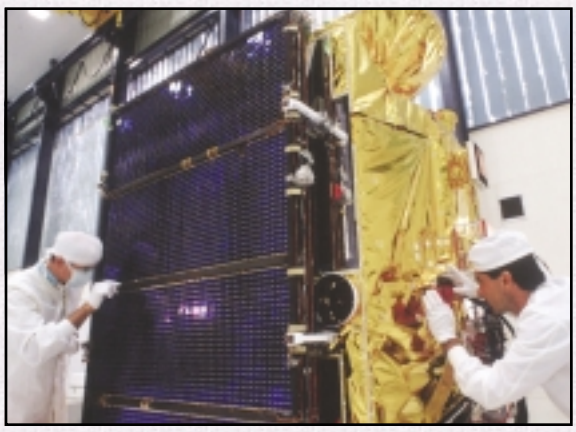
تبدأ بعد ذلك عملية تطوير مفاهيم مختلفة لتنفيذ المهمة، وتشمل التصور المبدئي للعمليات التي يمكن أن يقوم بها القمر لتحقيق الأهداف. حيث توضح عمليات القمر من نقل وتخزين المعلومات إلى أساليب التحكم به في كل مفهوم مقترح. وقد تختلف المفاهيم المقترحة في نوعية المدار الذي يجب استخدامه، والمراحل الزمنية، والتسلسل لعمليات التصميم والإنتاج.

يتم بعد ذلك تعريف مجموعة خيارات تتفاوت من ناحية عناصر المهمة الفضائية أو هيكلها. فمثلا يتم تحديد عدة خيارات حول كيفية إيصال القمر إلى مداره والجهة المنفذة، وانعكاسات ذلك على تصميم القمر والتكلفة النهائية. كما توضع تصاميم مختلفة للمحطات الأرضية المناسبة، وتحدد نوعية عمليات التحكم واستقبال البيانات (تباعاً لذلك).

تحدد التكاليف الأساسية لكل مفهوم من مفاهيم المهمة، والعوامل الرئيسة المؤثرة على الأداء: كعدد الأقمار المطلوبة، والطاقة الكهربائية اللازمة، ونوعية وارتفاع المدار، وحجم الحمولة ووزنها. وبتحديد عدد معقول من هذه العوامل يمكن تركيز الجهد التحليلي عليها لدراسة تأثيرها على التصميم، وبالتالي على التكلفة الكاملة للمشروع، مما يساعد على الوصول إلى التصاميم بالميزانية المتاحة.

تنتهي هذه المرحلة بالقيام بتحديد مفهوم المهمة المناسبة وتفصيل مايلي:

- ماهية القمر المراد تصنيعه.
- ما المهام التي يجب القيام بها.
- العمليات التي يجب أن تتم على القمر والعمليات التي تتم في المحطة الأرضية.
- المدار المناسب للمهام المطلوبة.
- التقنيات المتاحة للمصممين.
- ارتباط المهام بأنظمة محددة على القمر أو في المحطة الأرضية والميزانيات المتوفرة.



● المرحلة الثالثة

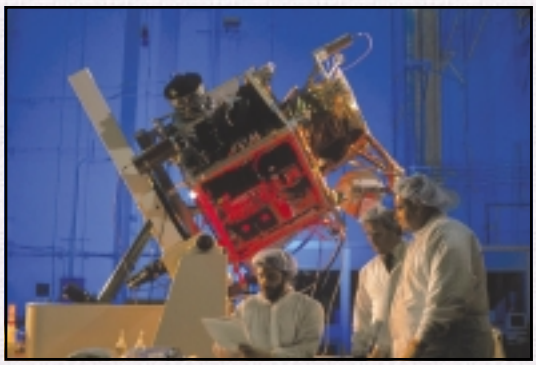
تشمل المرحلة الثالثة وضع مواصفات أنظمة القمر الفنية(System Specifications) وتسمى أحيانا مرحلة وضع المتطلبات الفنية الأساسية (Requiement Baseline)، والتي تنتج العديد من الوثائق التي

تصف بالأرقام المواصفات الهيكلية والوظيفية لأنظمة القمر المختلفة والعلاقات بينها. وتكون هذه الوثائق المرجع الأساس لتقييم تأثير القرارات الفنية المنفذة على آلية المطابقة مع المواصفات، ويمكن وضع الخطوات التالية للوصول إلى المتطلبات الفنية الأساسية:

- ترجمة متطلبات المستخدم النهائي إلى خصائص وظيفية ومزايا نظام.
- تحديد المتطلبات الوظيفية والبدء في تقسيمها إلى عناصر محددة.
- تحديد الانسياب الوظيفي وتحديد معايير الأداء لكل وظيفة.
- ترجمة الخصائص الوظيفية إلى مواصفات تقنية قابلة للقياس، والتي بدورها تصبح المتطلبات الأساسية من الأنظمة الحقيقية المطلوب تصنيعها.
- إنشاء رسم تخطيطي يوضح بجلاء جميع العلاقات بين الأجهزة الفعلية والبرمجيات وتمثيل البيانات على مستوى النظام ككل.
- تقسيم المتطلبات الوظيفية إلى متطلبات فرعية على عدة مراحل حتى الوصول إلى مستوى وظيفي محدد يتم تنفيذه بعنصر واحد فقط.
- إعادة تنفيذ ما سبق حتى يتم التأكد من شمولية المواصفات لمتطلبات المستخدم النهائي وقدرة العناصر المكونة للنظام من تنفيذه.
- اعتماد المواصفات الفنية بشكل رسمي ووضعها تحت إدارة التحكم بالتصميم والمستندات (Configuration Management).

● المرحلة الرابعة

تتمثل المرحلة الرابعة في عمل التصاميم الأولية لأنظمة القمر (Preliminary Design Phase)، حيث يبدأ العمل الجماعي لكل أفراد الفريق الفني بعمل التصاميم الأولية لكل نظام من أنظمة القمر انطلاقاً من المواصفات الفنية الرئيسة. ويضع الفريق الفني عدة مقترحات تصميمية للمفاضلة والمبادلة بينها واختيار الأنسب، ويكون التواصل بين الأعضاء في أعلى مستوياته في هذه المرحلة لما يتطلبه التصميم الأولي للقمر من تنسيق بين الأنظمة المختلفة والحرص على



● فريق عمل يتابع تصميم وتجميع قمر صناعي.

تفادي التعارض الكبير بين مواصفات نظام جزئي وآخر. فمثلاً يتطلب فريق الهيكل الكثير من المعلومات الأولية من كل نظام جزئي للقمر للوصول إلى تصور مبدئي لحجم ووزن القمر، كما يتطلب تصميم الألواح الشمسية تصوراً مبدئياً عن كمية الطاقة المطلوبة. ويستفاد من أنظمة المحاكاة المختلفة وبعض البرمجيات الخاصة للحصول على أدق القياسات للوصول إلى تصور مبدئي متكامل لكافة أنظمة القمر.

يتم تصميم الدوائر الإلكترونية المختلفة وتصنيعها بشكل مبسط مع مراعاة طبيعة المنتج النهائي، وتجرى اجتماعات عديدة لمناقشة كل نظام على حدة إلى أن يتم الوصول إلى التصميم الأولي المناسب لها.

وتختتم هذه المرحلة بتوثيق التصاميم الأولية، وآلية اختبارها، والنتائج المتوقعة، واختبار التصميم المقترح، والذي على ضوئه يقرر الاستمرار فيه من عدمه، وتجرى العديد من الاجتماعات الرسمية التي يطلق عليها اجتماعات التصاميم الأولية (Preliminary Design Reviews-PDR).

● المرحلة الخامسة

يتم في هذه المرحلة عمل التصاميم النهائية لأنظمة القمر (Critical Design Phase)، حيث يقوم كل فريق بالتركيز على تنقيح التصميم وإعادة تصنيع الأنظمة الإلكترونية باستخدام قطع إلكترونية خاصة، ويهتم بشكل كبير في شكلها وتوزيعها لتتناسب مع المتطلبات البيئية لأنظمة الفضاء. كما يتم في هذه المرحلة وضع التصاميم النهائية، وتحديد مواصفاتها الفنية ومدى مطابقتها للمواصفات الفنية الأساسية للقمر. وهنا تكون عملية توثيق التصميم في أوجها بإصدار المستندات المختلفة ـ لكل نظام ـ التي تصف بشكل دقيق كل ما يتعلق به من خصائص ميكانيكية وكهربائية وإلكترونية وبرامجية. وتشمل كذلك طرق الاختبار اللازمة للتأهيل والقبول.

تكتمل هذه المرحلة بعرض وتوثيق التصاميم النهائية وآلية اختبارها والنتائج المتوقعة، وتجرى العديد من الاجتماعات الرسمية التي يطلق عليها اجتماعات مراجعة التصاميم النهائية (Critical Design Reviews- CDR).

وبمجرد اعتماد التصاميم النهائية بشكل رسمي يتم وضعها تحت إدارة التحكم بالتصميم والمستندات (Management Configuration).

ومن الجدير بالذكر أنه بعد هذه المرحلة لايمكن تعديل أي مواصفة أو تصميم بدون استخدام الاجراءات المتبعة للتعديل في إدارة التحكم بالتصميم والمستندات مثل مقترح تعديل هندسي (Engineering Change Proposal-ECP) حيث تتم دراسة المقترح وأثر التعديل المطلوب على مدة وتكلفة المشروع قبل الموافقة أو الرفض.

● المرحلة السادسة

تتمثل المرحلة السادسة بعملية تصنيع أنظمة القمر واختبار تأهيلها (Qualification Model Phase-QM-1) ، حيث تبدأ بعمليات التصنيع الرئيسة لجميع أنظمة القمر، وذلك بعد اكتمال مرحلة التصميم والتنقيح النهائية. وتتسم هذه العمليات باستخدام قطع ومواد تتناسب مع البيئة الفضائية وهي باهظة التكاليف، ويتم التعامل معها وفق إجراءات صارمة من حيث النظافة والكهرباء الساكنة بشكل رئيس. ثم تُصَف جميع القطع، وتُرقم، وبعد ذلك تُخزَّن في ظروف بيئية مناسبة.

يجري بعد ذلك تجميع كل نظام في القمر على حدة باستخدام الأجزاء المناسبة، ومن ثم تُجرى الاختبارات التأهيلية الخاصة بأنظمة الأقمار الاصطناعية، والتي قد تشمل:

- الاهتزازات الميكانيكية لمحاكاة ظروف الإطلاق.
- التذبذب الحراري مع التفريغ الهوائي لمحاكاة التغيرات الكبيرة في درجات الحرارة في المدار.

ـ التوافق الكهرومغناطيسي الشامل للتأكد من حماية النظام من التداخل الكهرومغناطيسي وعدم تسببه في ذلك.
ـ التعرض للإشعاع بجرعات معجلة.

يجب التنويه هنا إلى أن هذه الاختبارات تُجرى ضمن الحدود القصوى المتوقعة في الفضاء، والتي يحتمل أن يتعرض لها القمر في فترات قصيرة فقط، وقد ينتج عن هذه الاختبارات بعض الضرر لهذه الأنظمة. ويجب أن تتم الاختبارات الوظيفية لأنظمة القمر تحت هذه الظروف البيئة للتأكد من قدرتها على القيام بوظائفها.

يقوم كل فريق فني بتوثيق وعمل كل التعديلات الفنية اللازمة ونتائج الاختبارات التي تمت. وتكتمل هذه المرحلة بعرض وتوثيق الأنظمة المتأهلة ونتائج اختبارها من خلال اجتماعات رسمية يطلق عليها اجتماعات مراجعة الاختبارات التأهيلية (Qualication Reviews-QR). ويتم تخزين القطع المتأهلة المجمعة بعد تصنيفها وترقيمها. وبمجرد اعتماد النتائج النهائية بشكل رسمي؛ يتم وضعها تحت إدارة التصميم والمستندات (Configuration Management).

● المرحلة السابعة

يتم في هذه المرحلة تجميع الأنظمة المكونة للقمر واختبار تأهيله (Qualification Model Phase-QM-2) في صورته النهائية تحت ظروف بيئية عالية النظافة، وتحت حماية صارمة ضد الكهرباء الساكنة. ولايتم تركيب جميع الأنظمة المكونة للقمر، حيث تركب الأنظمة بدون تكرار. فمثلاً لا يتم تركيب جميع مجسات قياس سرعة الدوران، بل يكتفى بمجس واحد ويوضع بدلاً عن المجسات الباقية قطع مكافئة لها ميكانيكياً.

وتجرى الاختبارات التأهيلية مرة أخرى على القمر ككل. ويجري القيام بالاختبارات الوظيفية للقمر تحت هذه الظروف البيئة للتأكد من قدرته على القيام بوظائفه. ويتم توثيق وعمل كل التعديلات الفنية اللازمة ونتائج الاختبارات التي تمت وعرضها من خلال اجتماع رسمي يطلق عليه اجتماع مراجعة الاختبارات التأهيلية للقمر (Satellite Qualification Review -SQR). وهنا كذلك يتم اعتماد النتائج النهائية بشكل رسمي ووضعها تحت ادارة التحكم بالتصميم والمستندات (Configuration Management).

● المرحلة الثامنة

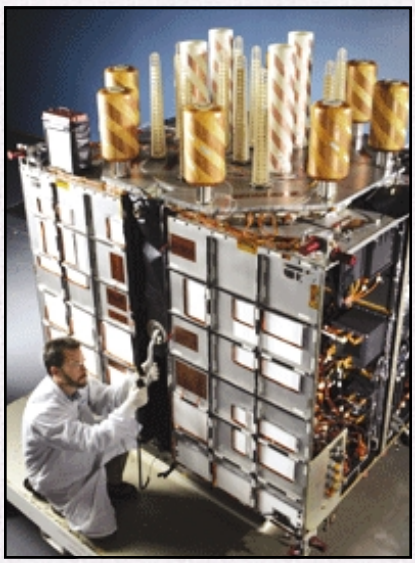
تعاد جميع العمليات التي أجريت في المرحلة السادسة لتصنيع جميع أنظمة القمر واختبار قبولها (Flight Model Phase- FM-1) ، وتتسم هذه الاختبارات بأنها ضمن الحدود المتوقعة للبيئة الفضائية التي ستعمل فيها هذه الأنظمة. ويتم عمل هذه النوعية من الاختبارات على جميع الأنظمة حتى المتكررة منها. ويجري القيام بالاختبارات الوظيفية لأنظمة القمر تحت هذه الظروف البيئة للتأكد من قدرتها على القيام بوظائفها.

يقوم كل فريق فني بتوثيق وعمل كل التعديلات الفنية اللازمة ونتائج الاختبارات التي تمت. وتكتمل هذه المرحلة بعرض وتوثيق الأنظمة المقبولة ونتائج اختبارها من خلال اجتماعات رسمية يطلق عليها اجتماعات مراجعة اختبارات القبول (Acceptance Reviews-AR).

يتم تخزين القطع المقبولة المجمعة بعد تصنيفها وترقيمها. وبمجرد اعتماد النتائج النهائية بشكل رسمي يتم وضعها تحت إدارة التحكم بالتصميم والمستندات (Configuration Management).

● المرحلة التاسعة

تتمثل هذه المرحلة في تجميع القمر واختبار قبوله (Flight Model Phase- FM-2)،



● تجميع القمر في مراحله النهائية.

النهائية بشكل رسمي ووضعها تحت ادارة التحكم بالتصميم والمستندات (Configuration Management).

ويمكن تجميعه في صورته النهائية بتكامل الأنظمة المكونة له في المرحلة الثامنة تحت ظروف بيئية عالية النظافة، وتحت حماية صارمة ضد الكهرباء الساكنة. وهنا يتم تركيب جميع الأنظمة المكونة له.

تجرى اختبارات القبول على القمر ككل مرة أخرى بالمدى نفسه. ويجري القيام بالاختبارات الوظيفية للقمر تحت ظروف بيئية للتأكد من قدرته على القيام بوظائفه. ويتم توثيق وعمل كل التعديلات الفنية اللازمة ونتائج الاختبارات التي تمت وعرضها من خلال اجتماع رسمي يطلق عليه اجتماع مراجعة اختبارات القبول للقمر (Satellite Acceptance Review-SAR). وهنا يتم اعتماد النتائج النهائية بشكل رسمي ووضعها تحت إدارة التحكم بالتصميم والمستندات (Configuration Management).

● المرحلة العاشرة

تمثل هذه المرحلة المراجعة النهائية لجاهزية القمر للإطلاق (Flight Readiness Review-FRR)، وفيها يتم عمل مراجعة نهائية للقمر وعمل اختبارات خاصة باستخدام تجهيزات المحطات الأرضية الحقيقية، وذلك بعد الانتهاء من جميع الاختبارات الوظيفية للقمر ودراسة الأداء ومطابقته لمتطلبات المستخدم. كما يتم في هذه المرحلة عمل جميع السيناريوهات المتوقعة أثناء عملية تدشين القمر ـ بحسب خطة عمل واضحة ومحددة ـ للتأكد من خلوه من أي عيوب أو خلل.

يجب أن تعاد المراجعة في موقع الاطلاق للتأكد من سلامة القمر من آثار النقل من موقع التصنيع إلى موقع الإطلاق.

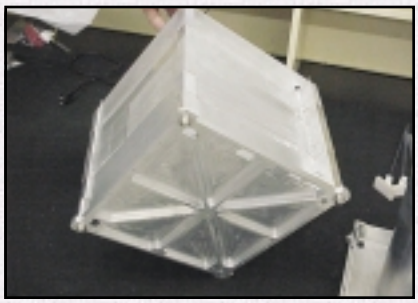
معامل إنتاج واختبار الأقمار

يتطلب إنتاج الأقمار الاصطناعية معامل خاصة تعتمد مواصفاتها على طبيعة وأهمية مراحل التصنيع. وبناءً عليه يمكن تصنيف تلك المعامل على النحو التالي:

● ورش الإعداد والتهيئة والتصنيع الميكانيكية

تشتمل هذه الورش على الآلات الرئيسة للأشغال الميكانيكية عالية الدقة كالخراطة والفرز وحفر الثقوب، وقد تستبدل تلك بآلات

● (CNC) أجهزة صغيرة للبرمجة والتشغل متعدد الأغراض.



● هيكل القمر سعودي سات.

للبرمجة والتشغيل الذاتي مثل: سي إن سي (Computer Numeric Control-CNC) بحيث تحول الرسومات الهندسية إلى لغة آلية، ومن ثم يتم التشغيل الذاتي لها والحصول على المنتج. ومن أهم وأعقد مهام التصنيع في القمر الاصطناعي هو الهيكل، وخاصة الجزء السفلي منه لما له من علاقة أساسية بقاعدة منصة الإطلاق المخصصة لتثبيت الأقمار داخل بوتقة الصاروخ . كما تشمل تلك الورش أماكن حفظ العدد الميكانيكية الخاصة بالتصنيع.

● ورش الإعداد والتهيئة والتصنيع الإلكترونية

تتضمن هذه الورش معدات فحص سلامة الألواح الإلكترونية الخام (Printed Circuit Board-PCB) ، كما تتضمن ورش الإعداد والتهيئة والتصنيع الإلكترونية الخاصة بأنظمة القمر. تصمم الورش على أساس التخلص من الدخان المتصاعد أثناء القيام بمهام اللحام. كما تحتوي هذه المنطقة على أجهزة القياس الكهربائية لفرق الجهد وشدة التيار وأجهزة السيليسكوب (Oscilloscopes). عند الانتهاء من مرحلة اللحام يتم غسل الألواح بمحاليل كيميائية خاصة والتأكد من إزالة الشوائب العالقة لما لها من آثار سلبية مثل الالتماس الكهربائي، وتلف بعض القطع الإلكترونية أو اللوح الإلكتروني بأكمله. تجفف تلك الألواح عند جهازيتها، ومن ثم تحفظ في منطقة الغرف النظيفة إلى حين استخدامها.

● منطقة الاختبارات الأرضية

نظراً لتعدد الاختبارات الأرضية لأنظمة القمر أو القمر بأكمله فقد عنيت المؤسسات والشركات المتخصصة بوفير البنية التحتية لاستيعاب كافة الأجهزة والمعدات اللازمة لها، والتي يمكن توضيحها كالتالي:

- جهاز التفريغ الآلي.
- جهاز اختبار الاهتزازات.
- جهاز اختبار التذبذب الحراري.
- منطقة اختبار التداخلات والتكافؤ المغناطيسي.
- الغرف النظيفة كمنطقة تجميع أنظمة القمر.

● جهاز قياس نسبة العوالق.

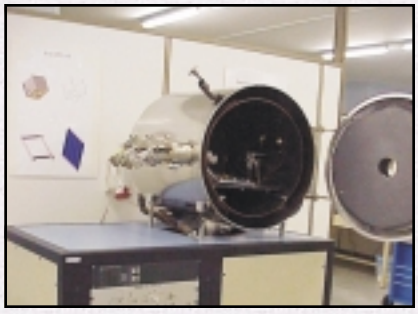
يتميز القمر الاصطناعي عن غيره من الصناعات المتقدمة الأخرى بوجوده في بيئة فضائية لها جاذبية أرضية متدنية جداً.

يجب توفير غرف نقية من العوالق الهوائية لتفادي أي ضرر قد يلحق بكفاءة المنتج وخاصة قمر الإطلاق، مثل ذرات الغبار والرائش المتبقي من عمليات التشغيل الميكانيكي؛ لأنها قد تسبب فشل مهمة القمر بأكملها إذا ما ساعدت تلك العوالق في حدوث التماس كهربائي، خصوصاً في حالة التصاقها ـ مثلاً ـ بين أرجل أحد الشرائح الإلكترونية الدقيقة، مما يسبب تلفها أو تلف اللوح الإلكتروني برمته.

تختلف الغرف النظيفة من حيث نقاوة أجوائها من عوالق الهواء المتعددة المصادر ويتم تصنيفها على أساس عدد الذرات العالقة(ذرات الغبار في مجملها) في البوصة المكعبة، وقد صممت أجهزة خاصة لهذا الغرض. وبشكل عام يمكن حفظ وتجميع أنظمة القمر في مستوى نظافة يصل إلى مستوى ـ ١٠,٠٠٠ مايعني إمكانية تواجد عوالق هوائية بمعدل ١٠٠٠٠ ذرة بحجم أكبر من نصف مايكرومتر قطر في البوصة المكعبة.

● منطقة فحص واختبار العدسات

يجب أن تكون منطقة فحص واختبار وموازنة العدسات المكونة لحمولة القمر من أنقى أماكن التجميع والاختبار لماقد تسببه العوالق الهوائية من انعكاسات للحزم الضوئية وعدم دقة الاختبارات. لذلك عنيت هذه المنطقة باهتمام من حيث النظافة والتصميم يتناسب مع مهام اختبار العدسات وتجميعاتها. تصمم هذه المنطقة بدرجة نظافة تصل إلى مستوى ـ ١٠٠٠ ما يعني إمكانية تواجد عوالق هوائية بمعدل ١٠٠٠ ذرة بحجم أكبر من نصف مايكرو متر قطري في البوصة المكعبة.



● جهاز اختبار التفريغ الهوائي.

● جهاز اختبار الاهتزازات.

● تجميع القمر سعودي سات بالغرفة النظيفة بالمدينة.