



أنواع محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية

أ.حمزة محمد حمزة

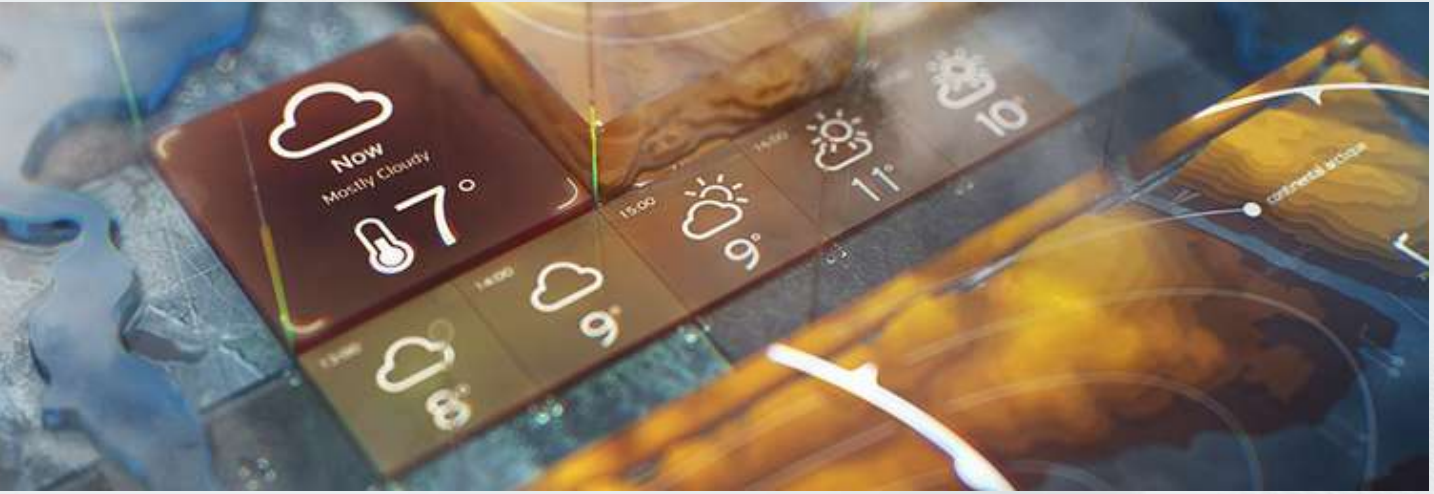
مدير عام المحطات السطحية

لم يعد تشغيل محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية مجرد خيار متاح، بل أصبح ضرورة حتمية وملحة في الوقت الراهن، بغض النظر عن الهدف من استخدامها. ويرجع ذلك إلى تعدد أنواع هذه المحطات واختلاف طرق تشغيلها ومكوناتها، مما يستدعي من القائمين على تشغيلها توخي الدقة عند اختيار النوع الأنسب لتحقيق أقصى استفادة ممكنة، وضمان استمرارية التشغيل، وتعظيم الجدوى الاقتصادية في هذا المقال سيتم التركيز بشكل أساسي على تصنيفات محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية كما وردت في منشورات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية. ويجدر التنويه إلى أن هذا العرض سيقصر على تصنيف هذه المحطات فقط، دون التطرق إلى معايير اختيار مواقع الرصد أو طرق تعريض الأجهزة داخلها.

تختلف فترات الرصد باختلاف الغرض؛ فالبحوث الفيزيائية قد تحتاج إلى رصد مستمر بالثانية أو الدقيقة، بينما تمتد الفواصل الزمنية إلى ساعات في مجالات الزراعة أو الأرصاد الجوية حيث تكون تغيرات عناصر الطقس أبطأ نسبياً، وقد تصل إلى أيام عند دراسة المناخ. كما تتطلب التنبؤات الجوية قصيرة المدى عمليات رصد متكررة بفواصل زمنية قصيرة اعتماداً على شبكة رصد عالية الكثافة ضمن نطاق جغرافي محدود، بهدف اكتشاف الظواهر الجوية الصغيرة أو تلك التي تتطور بسرعة ملحوظة.

في الوقت الراهن تُستخدم محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية بشكل متزايد لما توفره من دقة عالية وموثوقية في القياس، وهو ما ينعكس مباشرة على جودة مخرجات الأرصاد الجوية، بما في ذلك التنبؤات والتحذيرات الجوية والمعلومات المناخية الضرورية للعديد من القطاعات. وقد ساهم ذلك بشكل ملحوظ في تحسين إجراءات الحد من مخاطر الكوارث، خاصة بعد دخول اتفاقية ميناماتا (Minamata Convention on Mercury) حيز التنفيذ عالمياً في أغسطس ٢٠١٧، والتي تحظر إنتاج واستيراد وتصدير أجهزة القياس التي تحتوي على الزئبق.





مما عزّز من الاعتماد على محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية بشكل ملحوظ، بعد استبعاد الأجهزة التقليدية التي تعتمد على الزئبق. والجدير بالذكر أن محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية تتيح إمكانية قياس معظم العناصر الجوية المطلوبة سواء للأغراض السينوبتيكية أو المناخية أو لأغراض الطيران، وذلك من خلال نظام واحد متكامل، مما أسهم في تعزيز كفاءة عمليات الرصد وفعاليتها، والحصول على بيانات أكثر دقة وموثوقية تساعد في اتخاذ قرارات مناسبة في مختلف المجالات.

تعتمد محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية على تقنيات متقدمة لرصد وقياس وتوصيف العناصر الجوية بدقة عالية، مع التركيز على تلبية متطلبات تطبيقات محددة. وترتبط هذه العملية ارتباطاً وثيقاً بدقة الرصد في النطاق الزمني والمكاني للتطبيق (Spatial and Temporal Resolution). وبناءً على ذلك، يتم تصنيف نطاقات الأرصاد الجوية المكانية أفقياً إلى أنواع متعددة، بحيث يلائم كل تصنيف هدفاً أو استخداماً معيناً، على النحو التالي:

متناهي الصغر (Microscale):

يختص هذا النطاق بالظواهر الجوية التي تحدث ضمن مساحة تقل عن مائة متر، مثل عمليات التبخر أو الرصد الجوي الزراعي، حيث يتم التركيز على تفاصيل دقيقة ضمن مساحة محدودة جداً.

الطوبوغرافي أو المحلي (Toposcale or Local):

يشمل هذا النطاق المسافات بين مائة متر حتى ثلاثة كيلومترات تقريباً، ومن أمثلته دراسة تلوث الهواء في مناطق محددة أو مراقبة الأعاصير المحلية التي تؤثر على منطقة جغرافية صغيرة نسبياً.

المتوسط (Mesoscale):

يغطي هذا النطاق المسافات الممتدة من ثلاثة إلى مائة كيلومتر، ويشمل ظواهر مثل العواصف الرعدية.

الكبير (Large):

يغطي هذا النطاق مسافات من مائة إلى ثلاثة آلاف كيلومتر تقريباً، ويشمل ظواهر جوية مثل الجبهات الهوائية أو السحب الكبيرة الممتدة عبر مناطق جغرافية شاسعة.

واسع النطاق (Planetary):

وهو الذي يتجاوز نطاق ثلاثة آلاف كيلومتر، مثل الموجات العليا الطويلة في طبقة التروبوسفير، والتي تؤثر على الغلاف الجوي على نطاق كوكبي.

يختلف الإطار الزمني للقياس تبعاً لطبيعة التطبيق، فقد يكون دقائق في مجال الطيران بسبب الحاجة الشديدة إلى المتابعة الدقيقة.

محطة الرصد الجوي الأوتوماتيكية (AWS[١])، وفقاً لتعريف المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، هي "محطة أرصاد جوية تقوم بقياس عناصر الطقس وإرسال البيانات بشكل تلقائي[٢]". وعندما يتكون نظام الرصد الجوي من محطة أوتوماتيكية بالإضافة إلى وحدات لمعالجة البيانات وإرسالها، يُشار إليه في هذه الحالة بنظام مراقبة الطقس الأوتوماتيكي (AWOS[٣]) أو نظام المراقبة السطحية الأوتوماتيكي (AWOS[4]). ورغم وجود هذه التصنيفات المختلفة، أصبح من الشائع استخدام مصطلح (AWS) بشكل عام للدلالة على هذه الأنظمة بغض النظر عن اختلاف التفاصيل التقنية أو المكونات.

يتم تصنيف محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية من حيث آلية القياس إلى نوعين رئيسيين: النوع الأول هو النظام الأوتوماتيكي بالكامل (Fully Automated) حيث يتم قياس جميع العناصر الجوية تلقائياً دون الحاجة إلى تدخل بشري مباشر، أما النوع الثاني فهو النظام الجزئي (Partially Automated) وأحياناً يسمى المختلط (Mixed System)، إذ يجمع بين القياسات الأوتوماتيكية لبعض العناصر والرصد البشري لعناصر أخرى. هذان النوعان يشكلان الأساس في تصنيف محطات الرصد من حيث آلية العمل ودور العنصر البشري فيها ضمن منظومة الرصد.

كما تنقسم محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية من حيث التشغيل، بحسب تصنيف لجنة أدوات وطرق الرصد (CIMO[١])، كجزء من نظام رصد متكامل، إلى نوعين رئيسيين:

- محطات الرصد غير المتصلة (Offline AWSs): تقوم بقياس وتسجيل البيانات محلياً دون إرسالها إلى أي جهة أخرى، وهي محطات استخدامها محدود نظراً لكون بياناتها لا تمثل الظروف الجوية في الوقت الفعلي، بالإضافة إلى صعوبة اكتشاف الأعطال فور حدوثها.
- محطات الرصد اللحظي (Real-Time AWS): تقوم هذه المحطات بإرسال البيانات بشكل مباشر وفي الوقت الفعلي، مما يجعلها الخيار الأمثل للحصول على بيانات آنية ومتابعة الظروف الجوية بشكل مستمر وفعال.

1 - AWS: Automatic Weather Station

2 - دليل أدوات وطرق الرصد، المجلد الثالث - نظم الرصد

3 - AWOS: Automated Weather Observation System

4 - ASOS: Automated Surface Observing System

5 - CIMO : Commission of Instruments and Methods of Observation



عملياً، يعتمد تصنيف محطات الرصد الجوي الأوتوماتيكية بشكل أساسي على معيارين رئيسيين هما الكفاءة والموثوقية، إلى جانب عوامل أخرى مثل الاعتبارات المالية والتقنية. وبشكل عام يمكن تلخيص التصنيف على النحو التالي:

المحطات الخفيفة (Light AWSs):

وهو أبسط الأنماط وأقلها كلفة، حيث تقتصر على قياس عناصر طقس محدودة مثل الهطول (كالأمطار) و/أو درجة حرارة الهواء، وإرسال البيانات في الزمن الفعلي.

المحطات الأساسية (Basic AWSs):

مخصصة لقياس العناصر الجوية الأساسية والرئيسية، وتشمل درجة الحرارة والرطوبة وسرعة واتجاه الرياح وهطول الأمطار وأحياناً الضغط الجوي. كما تتضمن نظاماً لجمع البيانات ومصدراً للطاقة ونظام اتصالات لتخزين البيانات وإرسالها تلقائياً، وتستخدم لتوفير معلومات دقيقة وموثوقة لأغراض متنوعة.

المحطات الموسعة (Extended AWSs):

تطوير للمحطات الأساسية مع إضافة عناصر قياس إضافية مثل الإشعاع الشمسي، وفترة سطوع الشمس، ودرجة حرارة التربة، والتبخّر، وغيرها. وهي مصممة كنظام شامل لجمع بيانات موثوقة على المدى الطويل، خاصة في البيئات المتنوعة أو المواقع النائية.

محطات الرصد البصري الأوتوماتيكي:

نسخ مطورة من المحطات الأساسية أو الموسعة، وتضيف إمكانيات رصد إضافية مثل مدى الرؤية، وارتفاع قاعدة السحب، بالإضافة إلى حالة الطقس الحالية. وغالباً ما يُشار إليها بمصطلحات مثل (AWOS) أو (ASOS).

كما تتوفر أنواع أخرى تُصنّف ك محطات رصد أوتوماتيكية منخفضة التكلفة (Low-cost AWS)، وتتميز بانخفاض سعرها وصغر حجمها وسهولة تركيبها إلى جانب استهلاكها المحدود للطاقة. وتنقسم هذه الفئة إلى ثلاث مجموعات رئيسية، أولها:

محطات الرصد المضغوطة (Compact AWSs):

تُعد أنظمة قياس متكاملة (Integrated) صغيرة الحجم تُثبّت على صاري خفيف الوزن مزود بأذرع، مع صندوق يحتوي على وحدة معالجة البيانات ومصدر للطاقة. وفي بعض الحالات يمكنها تسجيل البيانات (Data logging) وإرسالها، كما أن استبدال أي مكون فيها أمر سهل نسبياً باستخدام قطع غيار متوفرة تجارياً (Off-the-shelf) من السوق المحلي.





محطة رصد مضغوطة Compact AWS

رغم أن هذه المحطات تتميز بسهولة الاستخدام وانخفاض التكلفة، فإن لها بعض العيوب الواضحة من أبرزها ضعف متانة الصاري وخفة وزنه، ما يجعله عرضة للعطل أو السقوط أثناء الظواهر الجوية القاسية. بالإضافة إلى ذلك، تفتقر هذه الأنظمة إلى القدرة على الربط مع أجهزة أخرى من جهات خارجية (Third-party)، كما لا يمكن معايرة كل عنصر على حدة، مما يزيد من درجة عدم اليقين (Uncertainty) في القراءات بشكل ملحوظ. ولهذا السبب غالباً ما يستخدمها الهواة في مجال الأرصاد الجوية (Hobby Meteorologists)، بينما يفضل المتخصصون الاعتماد على أنظمة أكثر موثوقية ودقة.

تُعد محطة الرصد المحمولة (Portable) نموذجاً من المحطات المضغوطة صغيرة الحجم وخفيفة الوزن وسهلة النقل، ويستخدمها الباحثون وفرق الطوارئ والهواة نظراً لسهولة تثبيتها في مواقع متنوعة وجمع بيانات العناصر الجوية بشكل سريع. غير أن بياناتها تفتقر إلى الدقة العالية والموثوقية الكاملة، كما أن مدى القياس فيها محدود، مما يجعل استخدامها أقرب إلى كونه مرجعاً استرشادياً للحصول على تصور عام عن حالة الطقس أكثر من كونه مصدراً دقيقاً للمعلومات.

أما محطات الرصد "الكل في واحد" (All-in-one AWS)، فهي تمثل حلاً متكاملًا يهدف إلى تبسيط عمليات قياس عناصر الطقس المختلفة، إذ تضم وحدة واحدة (Single Unit) صغيرة الحجم تحتوي على عدة عناصر قياس مدمجة يمكن تثبيتها بسهولة على صاري قصير.

كما تتيح هذه المحطات إمكانية إضافة ملحقات مثل وحدات تخزين البيانات أو بطاريات لدعم النظام بالطاقة، مع قدرتها على نقل كميات محدودة من البيانات، الأمر الذي يجعلها خياراً عملياً في بعض التطبيقات الميدانية التي تتطلب سرعة في التركيب والتشغيل.



محطة رصد محمولة Portable AWS

ورغم أن سهولة تركيب هذه المحطات تُعد من أبرز مميزاتهما، إلا أن هناك بعض الاعتبارات الفنية المؤثرة على كفاءتهما، من أهمها ضرورة تثبيت جميع عناصر القياس على ارتفاع واحد، بغض النظر عن المتطلبات المثالية لكل عنصر، مما قد يؤثر سلباً على دقة القياس وجودة البيانات.

قد يؤدي التركيب غير الصحيح إلى تداخل بين عناصر القياس فيؤثر كلٌ منها في الآخر. بالإضافة إلى ذلك، في حال تعطل أحد عناصر القياس فإن الأمر يتطلب إصلاح الوحدة بالكامل أو استبدالها نظراً لصعوبة صيانة كل عنصر بشكل منفصل، كما أن الشركة المصنّعة هي الجهة الوحيدة التي تستطيع معايرتها، وهو ما لا يمكن تنفيذه محلياً في معظم الأحيان. علاوة على ذلك، فإن إضافة ملحقات مثل وحدات تخزين البيانات أو البطاريات يؤدي إلى زيادة في التكلفة الإجمالية.

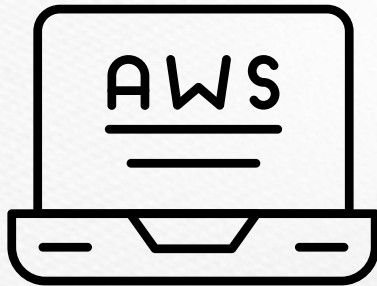
كما أن تصنيع غالبية مكوناتها من مواد خفيفة الوزن كالبلاستيك قد يقلل من متانة الأجهزة مقارنة بالمحطات التقليدية المصنوعة من مواد أكثر صلابة. لذلك، رغم أن هذا النوع من المحطات يوفر حلاً عملياً وسهولة في التركيب، إلا أن هناك تحديات تقنية وفنية ينبغي أخذها بعين أخذها في الاعتبار عند الاعتماد عليها.

مع أن محطات الرصد المضغوطة ومحطات "الكل في واحد" فعلياً تقدم حلاً متكاملاً و شاملة لتجميع و عرض البيانات ، بالإضافة إلى الخدمات السحابية (Cloud Services) التي تتيح الوصول للمعلومات في أي وقت ومن أي مكان من خلال واجهات الويب أو التطبيقات التفاعلية (API) المتوافقة مع مختلف أنظمة معالجة البيانات.

إلا أن هذه البرامج تفرض قيوداً على إمكانية توسيع شبكات الرصد لعدم توافق أنواع محطات الرصد المختلفة مع بعضها البعض، سواء كانت مضغوطة أو من نوع "الكل في واحد"، مما يؤدي إلى صعوبات وتحديات كبيرة في تكامل شبكة الرصد عند تطوير أو توسيع البنية التحتية للشبكة.

استناداً إلى ذلك ، فقد أكدت لجنة أدوات وطرق الرصد (CIMO) بشكل صريح أن هذه المحطات لم تحقق المتطلبات اللازمة حتى الآن، كما ورد بالنص في دليل أدوات الرصد رقم ٨ ، المجلد الثالث، إصدار ٢٠٢٤ :

"Such equipment does not yet satisfy the CIMO requirements."



محطات الرصد "المستقلة" أو "القائمة بذاتها" (Stand-alone Instruments):

(أ) وهذا النوع يعتمد على أجهزة قياس ذكية (Intelligent) تندرج ضمن تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) الحديثة وتتميز بإرسال البيانات مباشرة إلى وحدة معالجة البيانات دون الحاجة لاستخدام الكابلات مع استهلاك منخفض للطاقة، ويتم نقل البيانات عبر نطاق ترددي محدود باستخدام تقنيات مثل الواي فاي أو البلوتوث أو الإنترنت مما يتيح جمع البيانات بكفاءة عالية. الميزة الرئيسية لهذا النوع من المحطات في المرونة العالية للمستخدم في اختيار العناصر المراد قياسها بغض النظر عن شروط التعريض والموقع مما يسمح بتحديد مواقع تركيب مناسبة.

تشغيل هذا النوع من النظم وإدارته ما يزال معقدًا إلى حد ما، ولم يصل بعد إلى مستوى الاعتماد بشكل موثوق (Proven)، كما أن هناك احتمالية لحدوث تداخل في نطاق إرسال البيانات قد يؤدي أحيانًا إلى فقدان جزء من البيانات أثناء النقل وعدم إمكانية الوصول إليها، الأمر الذي يؤثر سلبيًا على فعالية النظام ومميزاته بشكل ملحوظ. من ناحية أخرى، حتى الآن لم تتوسع الشركات المتخصصة في تصنيع أجهزة الأرصاد الجوية في إنتاج أجهزة مصممة خصيصًا لهذا النوع من المحطات، ومعظم الأجهزة المتوفرة حاليًا تنتجها شركات تكامل للإلكترونيات (Electronics Integrators) وليست مصممة خصيصًا لمجال الأرصاد الجوية، هذا الوضع ينعكس على جودة البيانات ودقتها، وغالبًا لا تتوافق مع معايير وتوصيات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية في هذا الشأن، لذلك يتم تصنيف هذه المحطات ضمن فئة "منخفضة التكاليف"، وغالبًا ما تُستخدم في المشاريع التي تتطلب حلولاً اقتصادية وسريعة دون التركيز على أعلى مستويات الدقة أو الاعتمادية.

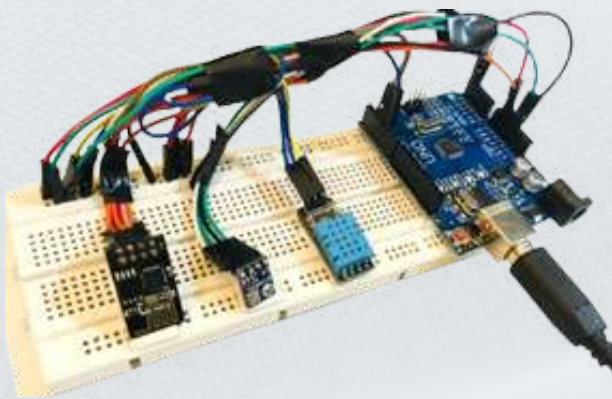
في الواقع، إن غالبية الجهات المصنعة لمحطات الرصد الأوتوماتيكية منخفضة التكلفة تعتمد عادةً على تصميم ومواصفات نموذج واحد فقط وتعتبره ممثلًا (Represent) لجميع الوحدات المنتجة، وعلى ذلك لا يتم عادةً إجراء اختبار قبول (Acceptance Testing) أو معايرة منفصلة لكل وحدة على حدة.

تُعد البرمجيات العمود الفقري والعنصر الأساسي والمحوري في عمل محطات الرصد الأوتوماتيكي سواء من حيث التشغيل أو التكلفة، وتنقسم البرمجيات بشكل أساسي إلى نوعين رئيسيين: البرامج التطبيقية (Application) وتتولى معالجة البيانات وتنظيمها بشكل عام، وبرامج النظام (System) المسؤولة عن ضبط إعدادات أجهزة القياس وكافة مكونات محطة الرصد، وهي تشمل جميع البرمجيات الضرورية لتطوير وتشغيل برامج التطبيق.

من أبرز المتطلبات الجوهرية في تصميم برمجيات محطات الرصد أن تتميز بالبساطة والمرونة بحيث لا يكون تصميمها معقدًا بشكل مبالغ فيه، إلى جانب القدرة على التكيف مع أي تغييرات أو تحديثات مستقبلية بحيث يكون من السهل تعديلها أو إضافة أجهزة جديدة عند الحاجة دون صعوبة، بالإضافة إلى سهولة صيانتها لضمان سرعة التعامل بكفاءة ودون تأخير مع أي مشكلات تشغيلية قد تطرأ أثناء التشغيل.



محطة رصد "القائمة بذاتها" Stand-alone



تندرج محطات الرصد الأوتوماتيكية من حيث تصميم البرمجيات إلى فئتين أساسيتين، النوع الأول هو المحطات المستقلة " قائمة بذاتها" (Stand-alone) وهي أنظمة تعتمد كلياً على برمجيات مغلقة توفرها الجهة المصنعة ولا يُسمح للمستخدم بإجراء أي تعديل عليها أو تطوير إلا من خلالها فقط، هذه الأنظمة تناسب الجهات التي تحتاج إلى حلول جاهزة ومستقرة دون الحاجة لتخصيص أو تغييرات متكررة. أما النوع الثاني فيتسم بقدر أكبر من المرونة، إذ يحتوي على جهاز لتسجيل البيانات (Data-logger) يسمح للمستخدم إمكانية تعديل البرمجيات بما يتناسب مع الأجهزة المرتبطة به. هذا النظام يناسب الجهات التي تبحث عن تخصيص وتطوير متواصل بما يلزم متطلباتهم التشغيلية.

رغم هذا الاختلاف، يظل نظام التشغيل في كلا النوعين قائم على برمجيات مدمجة (Embedded Operating System) مصممة خصيصاً لأجهزة محددة مدمجة في نظام الرصد لا يمكن للمستخدم تعديلها وتُعرف بالبرمجيات الثابتة (Firmware). بالإضافة إلى ذلك، هناك خيار ثالث يعتمد على معالجة البيانات من خلال الربط المباشر بين أجهزة القياس وجهاز كمبيوتر يعمل بنظام تشغيل مثل (Unix) أو (Windows) للاستفادة من الإمكانيات المتقدمة لهذه الأنظمة مع التأكيد على أهمية توفير أنظمة حماية متطورة وإجراء التحديثات والترقيات بشكل مستمر للحفاظ على أمان البيانات وحماية النظام من أي تهديدات رقمية محتملة.

يُمثل النظام المركزي للمعالجة (CPU) النواة الأساسية لإدارة ومراقبة وتجميع ومعالجة البيانات، يعتمد هذا النظام على منصتين أساسيتين، أولهما منصة التجميع (Collecting Platform) وهي المسؤولة عن مراقبة الاتصالات الفعلية مع شبكة الرصد الجوي مع الأخذ في الاعتبار أن هذه الشبكة غالباً ما تضم محطات رصد متنوعة وغير متجانسة وغير موحدة من حيث المصادر ووسائل الاتصال وبروتوكولات نقل البيانات. من المهام الجوهرية لهذه المنصة أيضاً تحديد المحطات الأوتوماتيكية غير النشطة (Silent AWSs) ومتابعة حالة إرسال واستقبال البيانات وتوقيتها. أما المنصة الثانية، فهي منصة للمعالجة (Processing platform) وتركز على مراقبة جودة البيانات الخام (Raw Data) والتحقق منها بجانب إجراء الحسابات الضرورية المبنية على القيم المقاسة (مثل حساب نقطة الندى).

كما تتولى تشفير البيانات وإرسالها من خلال النظام العالمي للاتصالات السلكية واللاسلكية (GTS) بهدف تحقيق أقصى درجات الأمان والموثوقية في نقل البيانات.

جدير بالذكر، أنه كما يمكن القيام بمعالجة البيانات مباشرةً في محطة الرصد الأوتوماتيكية ذاتها ويتوقف ذلك على نوعية شبكة الاتصالات المستخدمة وحجم البيانات المرسله والغرض المطلوب من محطة الرصد الأوتوماتيكية، ما عدا محطات الرصد الجوي المخصصة لخدمة الطيران، فيجب أن تتم المعالجة من خلال نظام الرصد الأوتوماتيكي لضمان نقل البيانات بشكل مباشر وفوري إلى مراقبة الحركة الجوية (ATC).

تعتمد طبيعة العمليات التي تنفذها وحدة المعالجة المركزية بشكل أساسي على نوع محطة الأرصاد الجوية الأوتوماتيكية والغرض من استخدامها، ليست كل العمليات موحدة دائماً إذ تقتصر أحياناً على جمع البيانات فقط، بينما في حالات أخرى تتوسع لتشمل سلسلة من الإجراءات التقنية، هذه الإجراءات تشمل العديد من المهام الأساسية مثل تهيئة النظام (Initialization).



وأخذ العينات من الأجهزة (Sampling of output) وتحويل المخرجات إلى بيانات أرصاد جوية، وإجراء التحويلات الرياضية اللازمة لتقديم البيانات بالصورة الخطية (Linearization)، وتحديد المتوسطات، وإمكانية الإدخال اليدوي للرصداً عند الحاجة، ومتابعة جودة البيانات واختزالها (Data Reduction) عند الحاجة لتسهيل المعالجة والتخزين. إلى جانب ذلك، يتم تنسيق الرسائل وفحصها والتحقق من صحتها، بالإضافة إلى تخزين البيانات ونقلها وعرضها بطريقة منظمة وفعالة. مع العلم أنه من الضروري التنويه إلى أهمية أن تسبق عملية التحويلات الرياضية إلى الصورة الخطية عملية احتساب القيم المتوسطة لضمان الحصول على نتائج دقيقة وموثوقة.

يجدر بالذكر أن مراقبة الجودة ليست مجرد خطوة إضافية محصورة في مرحلة واحدة، بل هي إجراء أساسي يمكن تنفيذه في مراحل مختلفة من دورة معالجة البيانات. فمن الممكن تنفيذها مباشرة بعد أخذ العينة، أو بعد الحصول على القياسات الجوية، أو في مرحلة لاحقة بعد الإدخال اليدوي للبيانات وتنسيق الرسائل، أو حتى في النظام المركزي. في الغالب، يتم توزيع مسؤولية مراقبة الجودة بين المحطة الأوتوماتيكية والنظام المركزي، مما يساهم فعلياً في تعزيز دقة النتائج بشكل كبير. في المقابل، إذا تم تجاهل أو إهمال أي خطوة من خطوات فحص الجودة، فسوف تزداد احتمالية وجود أخطاء غير مكتشفة ضمن البيانات. أما فيما يتعلق بالتحويل الرياضي إلى الصورة الخطية، فقد يكون مدمجاً ضمن الجهاز نفسه أو وحدة تكييف الإشارات (signal conditioners).

عند اختيار محطة رصد جوية أوتوماتيكية، ينبغي النظر إلى عدة اعتبارات جوهرية تتجاوز وضع الجانب المالي في المقام الأول. فهناك اعتبارات متعددة يجب أخذها في الحسبان، على سبيل المثال ضرورة تحديد الغرض والهدف من المحطة بشكل واضح، وكذلك وضوح احتياجات المستخدم بدقة لتسهيل عملية انتقاء النظام الأكثر ملاءمة للاحتياجات الفعلية، وذلك تماشياً مع توصيات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية. كما أن المواصفات الفنية لعناصر القياس تكتسب أهمية خاصة، فيجب التأكد من أنها خضعت لاختبارات معملية دقيقة تحت شروط محددة وظروف تشغيل قاسية لضمان قدرتها على العمل بكفاءة ومواجهة الظروف الجوية المختلفة. إضافة إلى ذلك، تُعد جودة البيانات ودقتها عنصرين جوهريين لا يمكن التهاون فيهما، فهما يحددان مدى موثوقية القياسات المأخوذة من المحطة.

لذا فإن المحطات الاحترافية (Professional)، رغم ارتفاع تكلفتها المبدئية والتي تتطلب استثماراً أولياً مرتفعاً، أثبتت عملياً على المدى الطويل أنها أكثر كفاءة وفعالية، وأكثر اقتصادية، وتوفر توازناً أفضل بين التكلفة والجودة، خاصة عند مقارنتها بمحطات منخفضة التكلفة، التي قد تبدو مغرية في البداية بسبب سعرها المنخفض، إلا أن الاعتماد عليها عادة ما يؤدي إلى زيادة النفقات نتيجة ارتفاع تكاليف التشغيل، الأعطال المتكررة، والحاجة المستمرة للصيانة والمعايرة.

بالإضافة إلى احتمالية كبيرة لانحراف غير مقبول في البيانات وعدم دقتها. في كثير من الأحيان، تتجاوز مجموع النفقات وتكاليف صيانة هذه المحطات وتكرار استبدالها ما تم توفيره عند الشراء، خصوصاً إذا نظرنا إلى عمر المحطة على مدار عشر سنوات، حيث يُوصى باستبدالها من ثلاث إلى سبع مرات خلال هذه الفترة، مع ضرورة إجراء الصيانة والمعايرة مرتين سنوياً.

لذلك يتضح أنها لا تعتبر الحل "الأقل تكلفة" فالسعر المنخفض لمحطة الرصد الجوية لا يعني بالضرورة انخفاض التكلفة الإجمالية، بل قد يؤدي إلى نتائج عكسية عند احتساب التكلفة الإجمالية على المدى البعيد.

لذا من الأفضل التركيز على عوامل الكفاءة والاعتمادية عند اتخاذ قرار محطات الرصد الجوي، وعدم الاكتفاء بالنظر إلى السعر الأولي فقط، وذلك لضمان دقة البيانات واستمرارية عمليات الرصد الجوي. لذا تعتبر المحطات الاحترافية التي توفر توازناً أفضل بين التكلفة وجودة الأداء، خياراً أكثر اقتصادياً على المدى الطويل.

عند النظر للأمر من منظور عملي، يمكن تحقيق خفض واضح تكاليف تشغيل محطات الرصد الأوتوماتيكية الاحترافية بشكل ملحوظ من خلال تطبيق واتباع إجراءات أكثر فعالية وكفاءة بدلاً من الاكتفاء باتباع أساليب تقليدية لخفض النفقات، بمعنى آخر، تحسين الأداء التشغيلي لا يتحقق فقط عبر تقليص النفقات بشكل مباشر، بل من خلال تطبيق سلسلة من الإجراءات الدقيقة و المحددة والمدرسة لتحقيق خفض ملموس في التكاليف التشغيلية لهذه المحطات.

من بين هذه الإجراءات تأتي الصيانة الدورية المنتظمة و الفعالة بأنواعها المختلفة، سواء كانت الصيانة الوقائية (Preventive) أو الصيانة التصحيحية (Corrective) أو الصيانة تكييفية (Adaptive) كعنصر أساسي للحفاظ على كفاءة المحطات ، بالإضافة إلى إجراء عمليات الإصلاح عند الضرورة و المعايرة المستمرة والفحص المتواصل لجودة البيانات من العوامل الجوهرية التي تضمن دقة النتائج. بالتالي، تبني هذه الممارسات بشكل منهجي يضمن الحفاظ على الأداء الأمثل لأنظمة الرصد الجوي وكفاءتها وضمان دقة النتائج المستخلصة من البيانات ما ينعكس إيجابياً على تقليل التكاليف التشغيلية بشكل ملموس على المدى البعيد.



محطة رصد جوي أوتوماتيكية بمحطة أرصاد مطار طابا