تولد منخفضات العروض الوسطى فى صور الأقمار الصناعية

(أنواعها)

د. عبدالله عبدالرحمن عبدالله
مدير عام الإدارة العامة لتدريب الفنيين على الرصد الجوي ندبا
المراجعة العلمية: د. أشرف صابر

استعرضنا فى المقالة السابقة مقدمة عن كيفية تحديد بعض المفاتيح والمؤشرات الرئيسية لتولد منخفضات العروض الوسطى والدلائل والمواصفات الأساسية لأنماط السحب التى تسبق تكَون المنخفضات، واستعرضنا أنماط السحب F & C & E والتى من خلال طرق تكونها وانحنائها ودورانها يمكن أن نتوقع نشوء الدوامات الهوائية التى تتطور بدورها فى تكوين المنخفضات فى العروض الوسطى.

فى هذا المقال سوف نستعرض أنواع المنخفضات المتكونة فى العروض الوسطى وإمكانية التنبؤ بها من خلال ملاحظتنا لآنماط السحب سالفة الذكر من صور الأقمار الصناعية، وكذلك الاستدلال عليها من بعض العناصر الجوية والتى يمكن الحصول عليها ببساطة من مخرجات نماذج التنبؤات العددية.

وفقاً للتصور الأولى لتقسيم «مكلينن ونيل» McLennan and Neil (١٩٨٨) وتطويره عن طريق «يونج» Young (١٩٩٣) فيمكن تقسيم أنواع تولد المنخفضات تبعاً للتقسيم التالى:

■ **عن طريق السحب الركامية الشديدة أوسحب الكُما (enhanced Cu or comma clouds)**

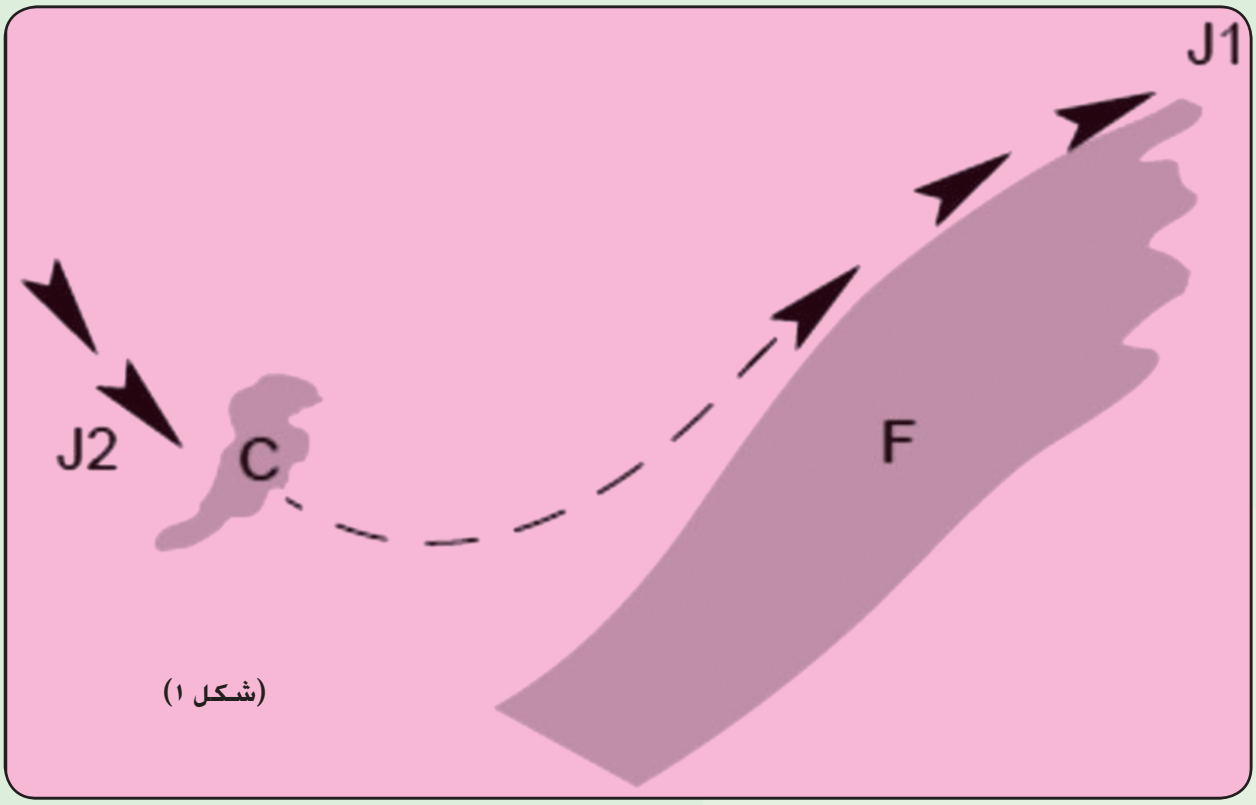
- فى الهواء البارد العلوى Cold Air.
- بالإطباق الفورى Instant Occlusion.
- بإنفصال التدفق العلوى Split flow.

■ **عن طريق حزمة السحب الرئيسية للجبهة Main frontal cloud band:**

- الامتداد الرئسى للحوض (الترف) meridional trough
- الترف المفلطح، التدفق المتشتت Flat trough ، diffluent flow
- الموجة المحفزة لتولد المنخفضات induced wave
- الحوض المفلطح، التدفق المتجمع Flat trough، confluent flow (cloud head)

فمن الواضح فى النهاية أنه يوجد سبعة أنواع من تولد المنخفضات جميعها متولدة إما من السحب الركامية الشديدة وسحب الكُما أو من حزمة سحب الجبهة الأساسية.

سوف نستعرض فى هذة المقالة تولد المنخفضات عن طريق السحب الركامية الشديدة أوسحب الكُما،



(شكل ١)

على أن نستكمل تولد المنخفضات عن طريق حزمة السحب الرئيسية للجبهة.

١- التطور عن طريق السحب الركامية الشديدة أو سحب الكُما (enhanced Cu or comma clouds)

يتولد هذا النوع من المنخفضات فى أماكن حوض الهواء العلوى واسع النطاق (upper trough)، عادة مع التدفق الطبيعى أو التدفق المتجمع نسبياً Confluent flow. فإذا كان هناك تجمع من السحب الركامية القوية أو سحب الكُما Comma على منطقة ممتدة من الهواء البارد العلوي، سحابة من النوع C، مصاحبة لحوض علوى قصير الموجة قادمة من الجهة البارده من مركز الترف العلوى الرئيسى، فإنه من الممكن أن تلتقى تلك السحب C مع حزمة السحب الرئيسية للجبهة الباردة F (شكل ١). وهذا يعتمد على المسافة الفاصلة بين السحب F و C.

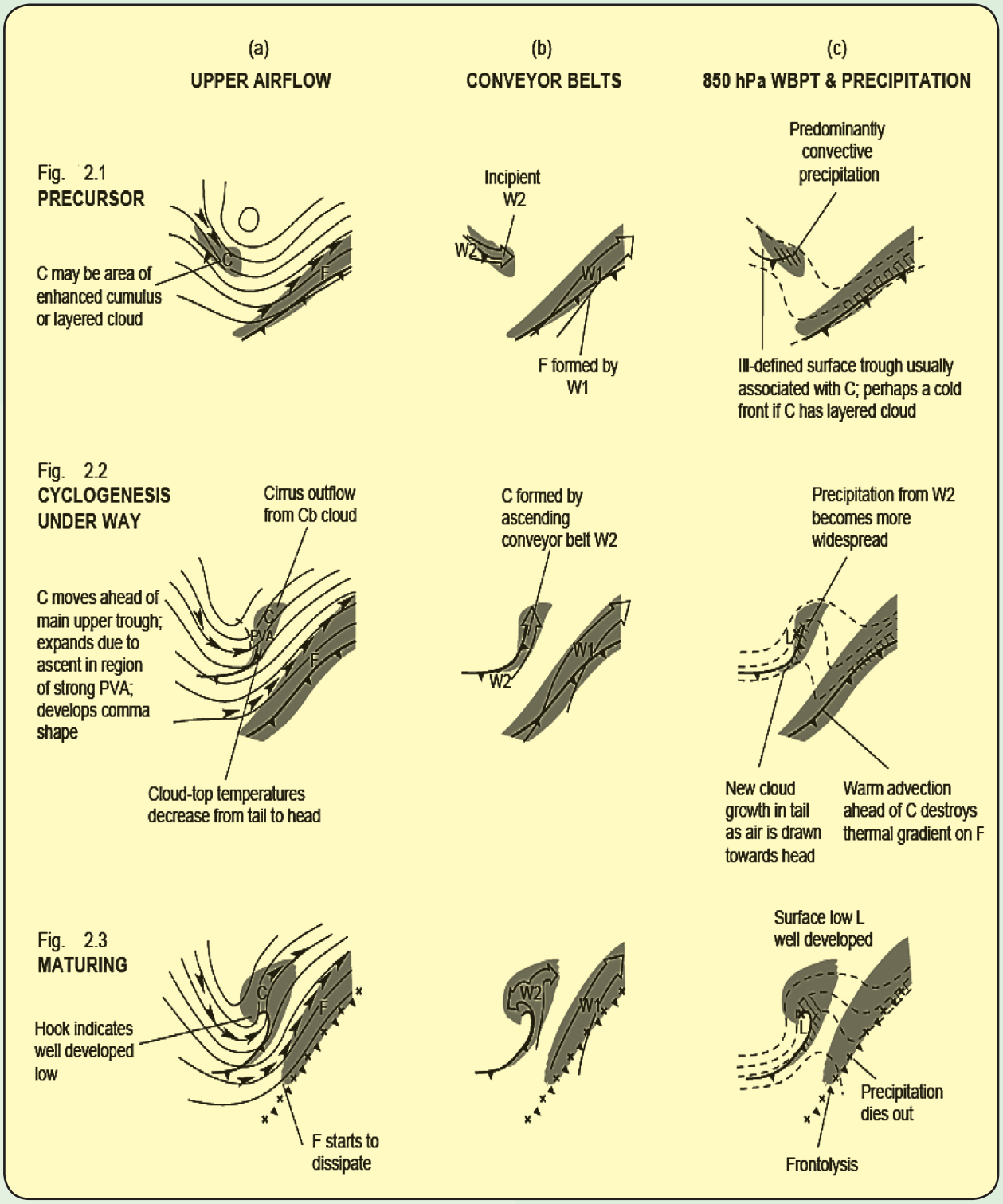
من الشائع أن تقتصر عملية تولد المنخفضات على الهواء البارد إذا كانت مسافتها أكبر من حد معين. حددها العالم مارشال Marshall (١٩٨٢) بمسافة ٣٥٠ ميلاً بحريًا (٦٠٠ كم) بين منطقة الحركة الدورانية الموجبة (Positive Vorticity Advection PVA) الناشئة أمام حوض الموجة القصيرة، C، وحزمة السحب F المصاحبة للجبهة الباردة على سطح الأرض. باستخدام صور الأقمار الصناعية، يفترض مسافة ٣٠٠ كم بين الغيوم C و F لإندماجهم مع بعضهم البعض لتولد المنخفض أما إذا كانت المسافة أكبر من ٣٠٠ كم، فمن المرجح أن تتطور C وحدها لتكون حالة منفصلة لتكوين منخفض جوى.

١-١- تولد منخفضات العروض الوسطى فى الهواء البارد (Cold air cyclogenesis)

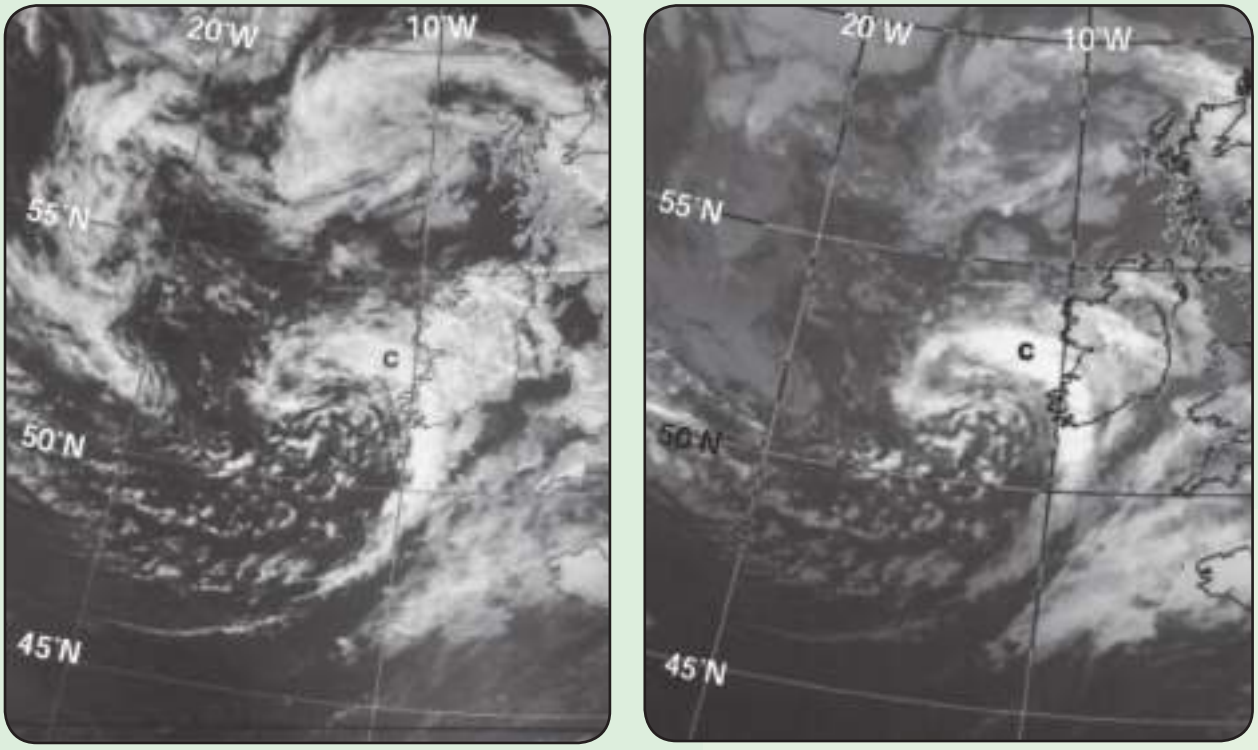
الأشكال التوضيحية (٢-١ إلى ٢-٣) توضح تطور منطقة سحب الكُما C أو السحب الركامية الشديدة وموضعها:

- على يمين حوض الهواء العلوى «الترف» (Upper Trough) فى التدفق الصاعد (Upstream).
- متحركة حول موضع الترف العلوى، تدور وتتسع، مع حركة Ci المتحركة مع التدفق الهابط «للترف».

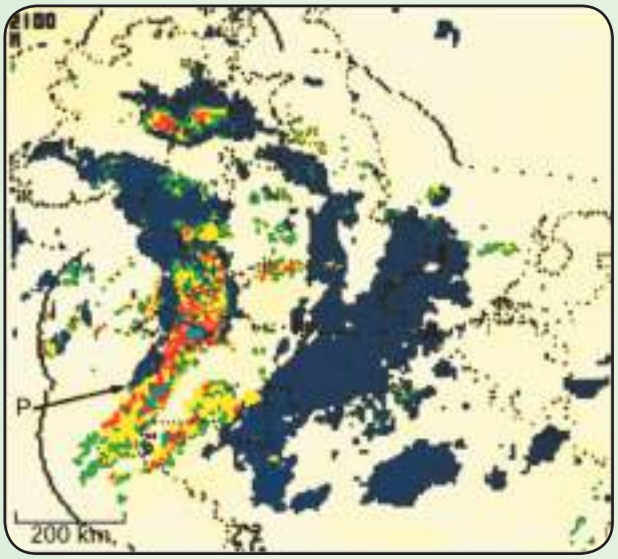
سحابة الكُما من الممكن أن تظهر بدايتها فى



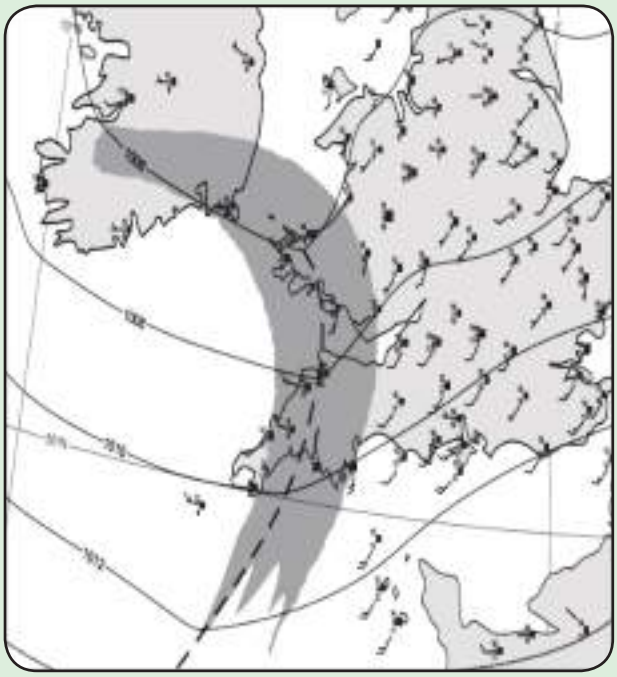
(شكل ٢): مخطط لتولد منخفضات العروض الوسطى فى الهواء البارد العلوى. (a) نمط التدفق العلوى على ٣٠٠ هـ.ب ومكان وشكل السحاب C & F كما يظهروا فى صور الأشعة تحت الحمراء IR. (b) نموذج للتدفق الهوائى عن طريق احزام النقال W١ & W٢. خطوط OW عل ٨٥٠ هـ.ب وأماكن هطول الأمطار. شكل ٢-١ مرحلة ماقبل تكون المنخفض. شكل ٢-٢ مرحلة أثناء تكون المنخفض. شكل ٢-٣ مرحلة تطور المنخفض.



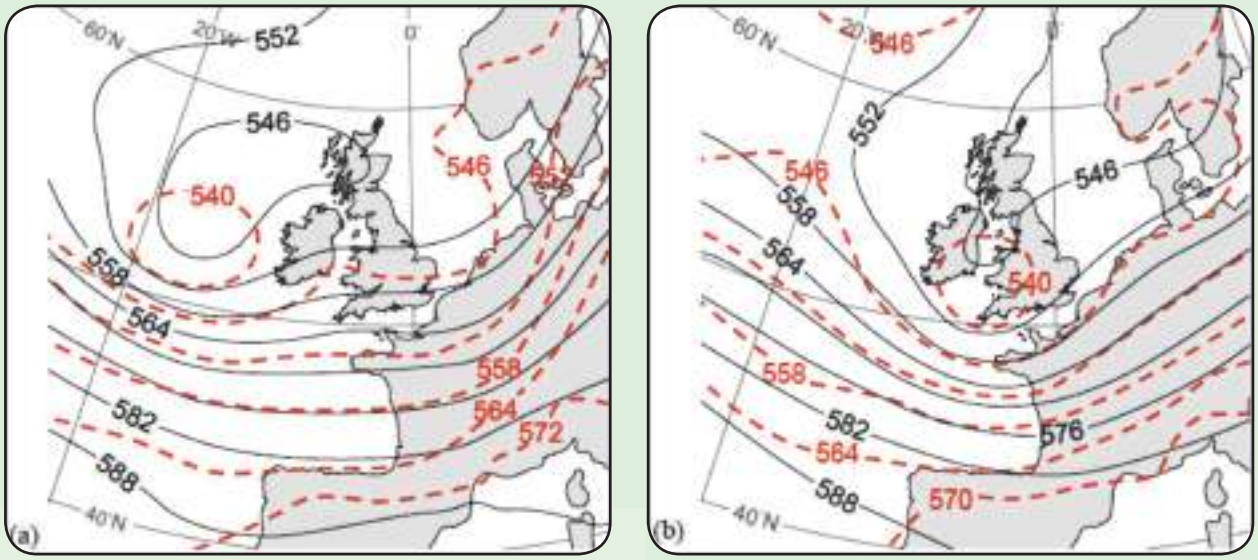
(شكل ٣): (a) الصورة المرئية VIS، (b) صورة الأشعة تحت الحمراء IR، عل منطقة الأطلنطى وغرب أوروبا ساعة ١٥:٢٤ ت.ع ليوم ١٩٩١/٦/٢٦. السحابة C هى سحابة الكُـما.



(شكل ٤): صورة IR بصورة الرادار ساعة ٢١:٠٠ ت.ع فى ١٩٩١/٦/٢٦ على غرب أوروبا، موضحاً سحابة الكُمـا وهطول الأمطار P داخلها، يمثل التظليل الأزرق الداكن درجات حرارة قمم السحب من ١٥ إلى ٤٥ درجة مئوية، تشير الألوان الأخرى إلى معدلات هطول الأمطار (ملليميتر/ ساعة): الأخضر ٠,٣-١ والأصفر ١-٣ والأحمر ٣-١٠ والأزرق الفاتح ١٠-٣٠.



(شكل ٥): تحليل خريطة السطح مع رصدات المحطات في نفس وقت (شكل-٤) الخط الثقيل المتقطع يمثل موضع الحوض السطحي (الترف)، ومنطقة السحابة الرئيسية الموجودة في صورة الأشعة تحت الحمراء IR



(شكل ٦): خطوط الإرتفاعات (على مستوى ٥٠٠ هـ.ب) مع خطوط سمك الطبقة (٥٠٠-١٠٠٠ هـ.ب) (خطوط حمراء متقطعة) من مخرجات التنبؤات العدديه (a) عند ساعة ١٢:٠٠ ت.ع فى ١٩٩١/٦/٢٦، (b) عند ساعة ٠٠:٠٠ ت.ع فى ٦/٢٧.

تحليل خريطة السطح كموجة قصيرة. بمرور الوقت، مع تطور وزيادة التباين الحرارى فى مكان الموجة القصيرة، تظهر مراحل تكون الجبهه الباردة.

مثال ١:

شكل ٣ يبين نموذج واضح للسحابة C فى هواء المنطقة القطبية والتى تحتوى على سحب طبقية وحملية. وبعد خمس ساعات ونصف، فوق جزر بريطانيا، فإن السحابه C تكون مصاحبة لـ :

- حزام الأهطول P (شكل ٤) والموجود معه عناصر الحمل (هطول الأمطار الأكبر من ١٠ ملليميتر/ ساعة فى بعض الأماكن، خصوصاً فى مؤخرة سحب الكُما C عند صعود الحزام النقال W٢ بسرعه، (شكل ٢).
- ظهور الحوض الهوائى (الترف) على السطح بوضوح (شكل ٥).
- تطور الترف العلوى علس مستوى ٥٠٠ هـ . ب نتيجة للتباين الحرارى الذى يؤدى إلى ظهور الغزو الهوائى البارد فى مدة ١٢ ساعة، شكل ٦.

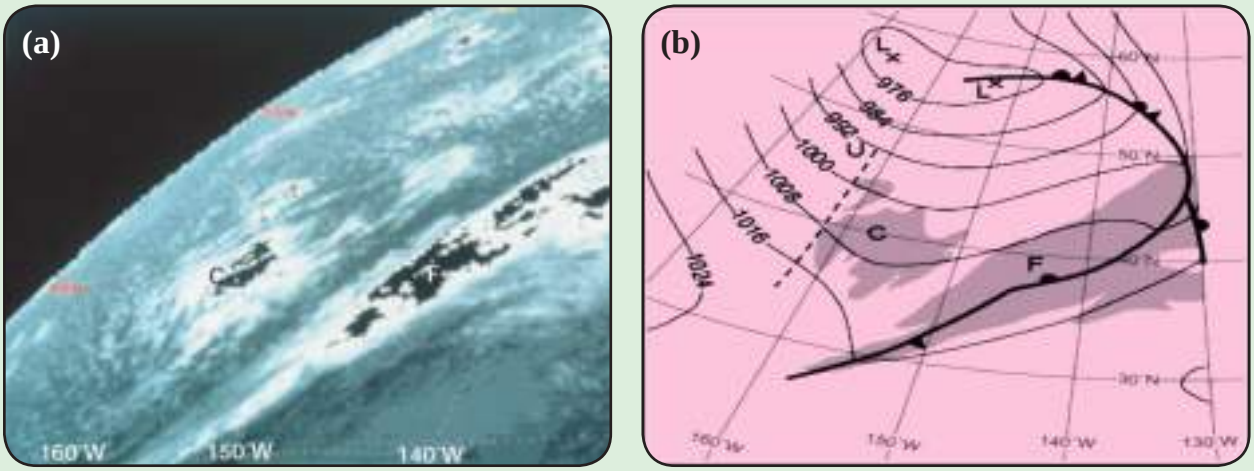
مثال ٢:

الأشكال من ٧ إلى ٩ توضح تولد منخفضات العروض الوسطى فوق المحيط الهادئ. منطقة السحابة C (الشكل ٧) تظهر أمام الحوض العلوى (الترف) U. فى هذه المرحلة يمكن ملاحظة بعض الدوامات عند مشاهدة صور الأقمار الصناعية المتحركة مع عدم ظهور المنخفض الجوى على خريطة السطح. بالرغم من ذلك ، فى غضون ١٢ ساعة (الشكل ٨) ، تظهر سحابة الكُما واضحة مع منخفض جوى على خريطة السطح، مع وجود رياح سطحية قوية تصل إلى ٣٥ عقدة. ولم تتأثر السحابة الأمامية F بهذا التطور باستثناء تشكيل موجة الجبهه الرئيسية وإقتراب السحابة C من السحابة F تمهيداً لإندماجهم فى مرحلة نشاط المنخفض الجوى، (شكل ٩).

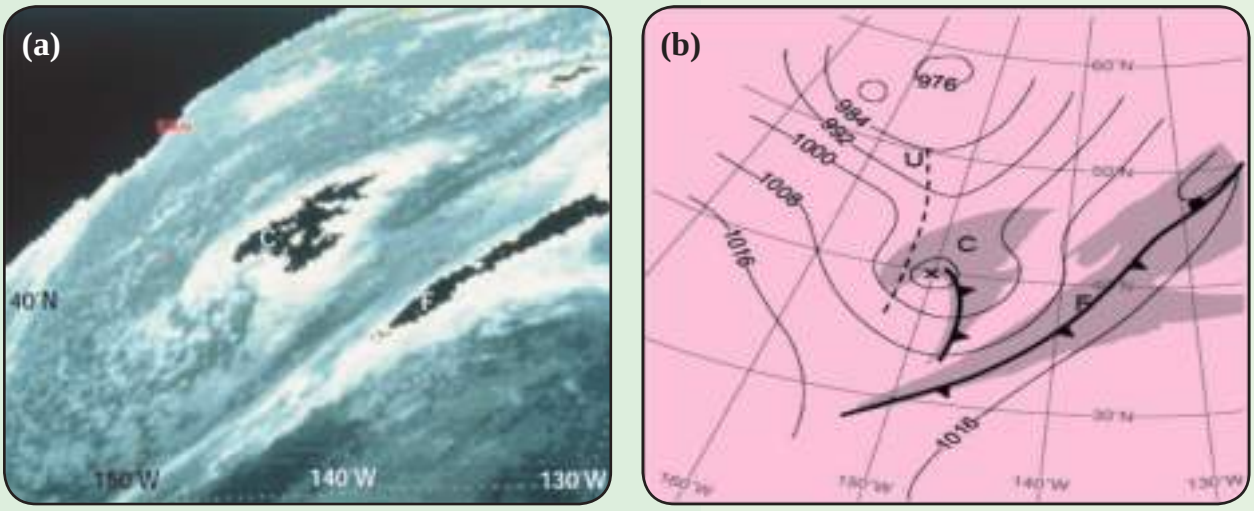
١-٢ تولد منخفضات بتفاعل (اندماج) سحابة الكمُا مع حزمة السحب الرئيسية للجبهه F:

١- تولد المنخفضات بالإطباق الفورى Instant Occlusion

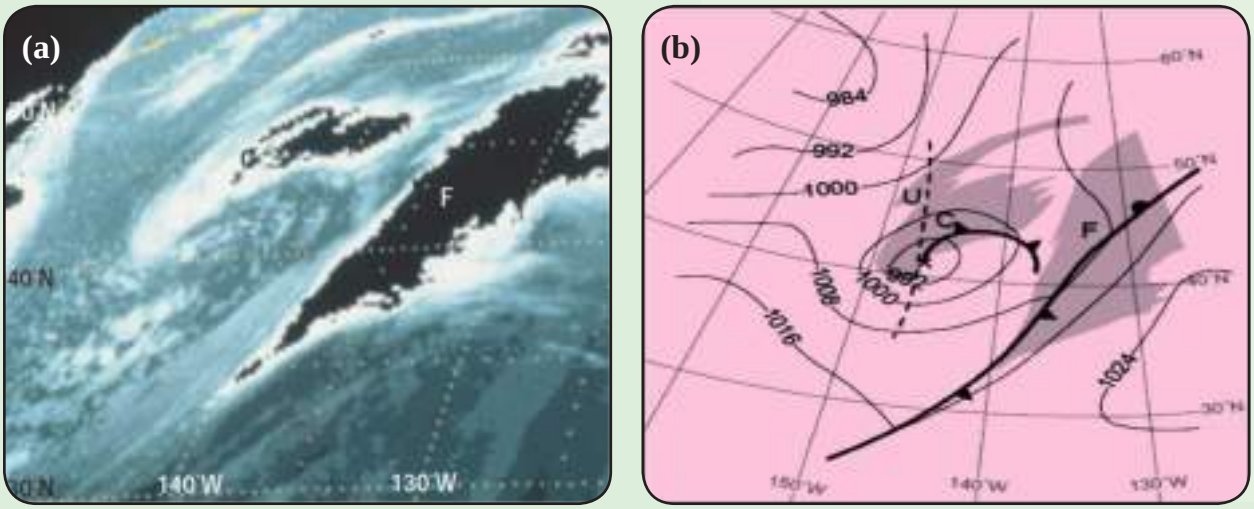
يتم عرض أشكال التطور من (شكل ١٠-١) إلى (شكل ١٠-٣). (تشكيل السحب C فى مراحلها المبكرة من التطور تظهر كما ذكرناها سابقاً فى الشكل ٢-١). من السمات الهامة والواضحة فى هذا النوع هو تطور سحابة الـ C وظهور سحابة الـ N الجديدة بين C و F حيث يلتقى الإثنان معاً (شكل ١٠-٢) فى منطقة الحركة الصاعده العنيفه أمام حوض الموجة القصيرة المتولدة. يعمل الغزو الدافئ الشديد



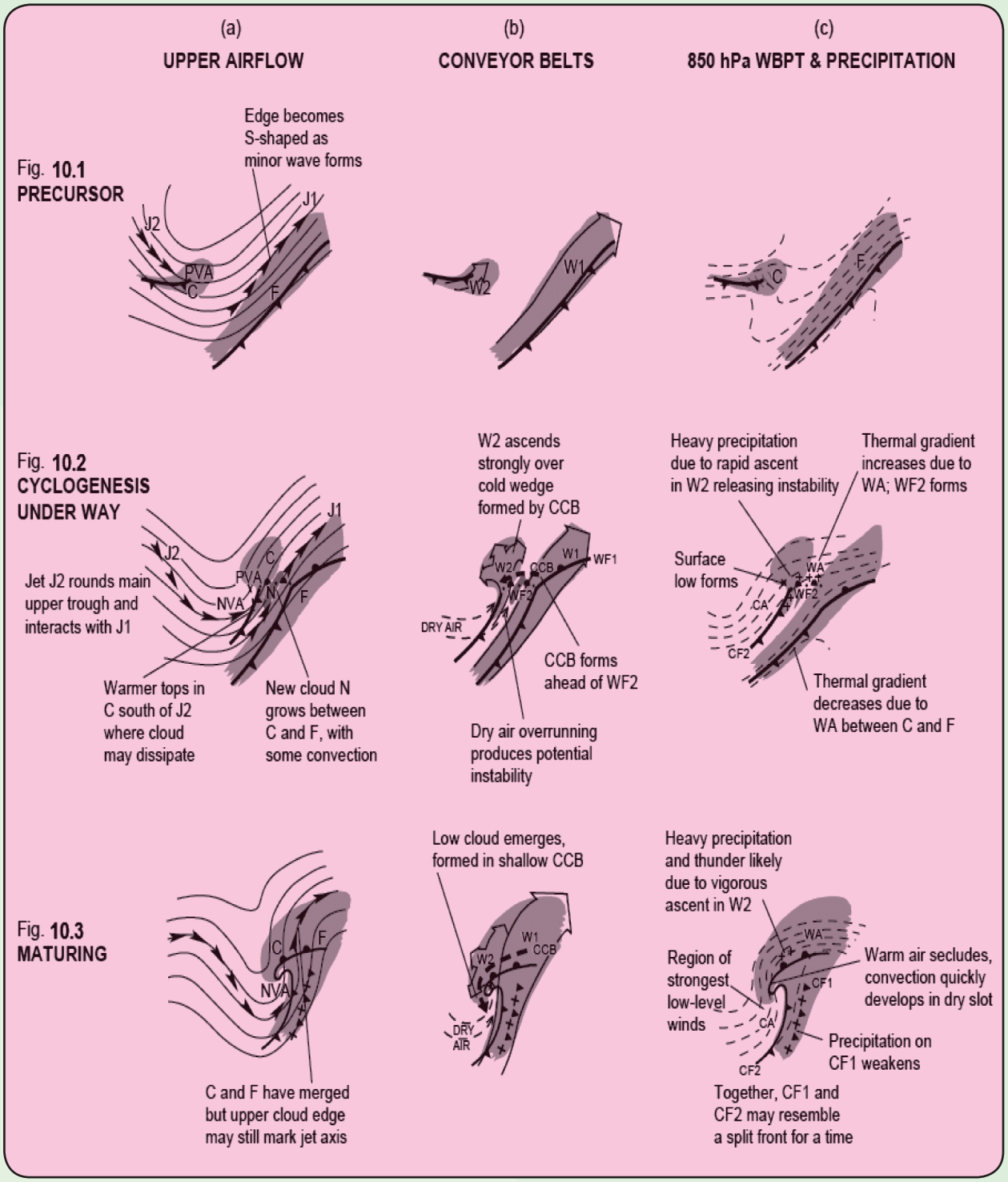
(شكل ٧): (a) صورة الأشعة تحت الحمراء GOES المحسنة ساعة ١٢:٠٠ ت.ع فى ١٩٨٦/١٢/٢٠ (قمم السحب الأبرد باللون الأسود).
(b) تحليل السطح ومناطق السحاب فى نفس الوقت. الـ C و F تعبر عن مناطق السحب؛ يعبر U عن الحوض العلوى (الترف).



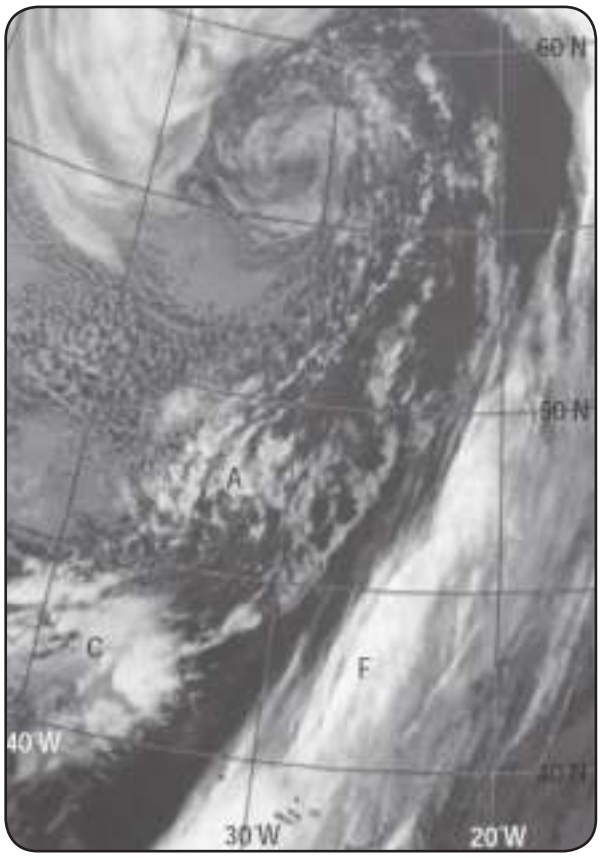
(شكل ٨): كما فى (شكل ٧) عند ساعة ٠٠:٠٠ ت.ع يوم ١٩٨٦/١٢/٢١

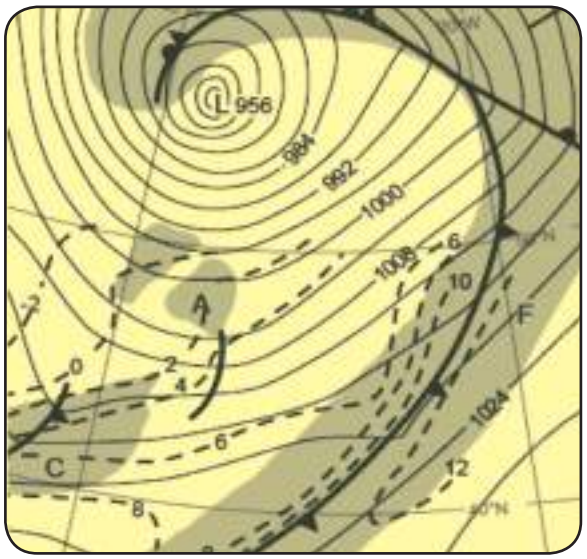


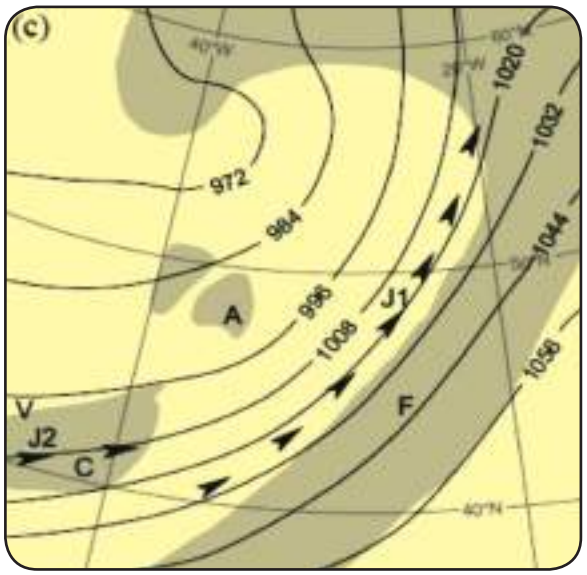
(شكل ٩): كما فى (شكل ٧) عند ساعة ١٢:٠٠ ت.ع يوم ١٩٨٦/١٢/٢١



(شكل ١٠): مخطط لتولد منخفضات العروض الوسطى بتفاعل (اندماج) سحابة الكمـــا مع حزمة السحب الرئيسية للجبهه F. (a) نموذج التدفق العلوى على ٣٠٠ هـ.ب ومكان وشكل السحاب C & F كما يظهروا فى صور الأشعة تحت الحمراء IR. (b) نموذج للتدفق الهوائى عن طريق الحزام النقال W١ & W٢. (c) خطوط OW على مستوى ٨٥٠ هـ.ب وأماكن هطول الأمطار. شكل ١٠-١ مرحلة ماقبل تكون المنخفض. شكل ١٠-٢ مرحلة أثناء تكون المنخفض. شكل ١٠-٣ مرحلة تطور المنخفض.







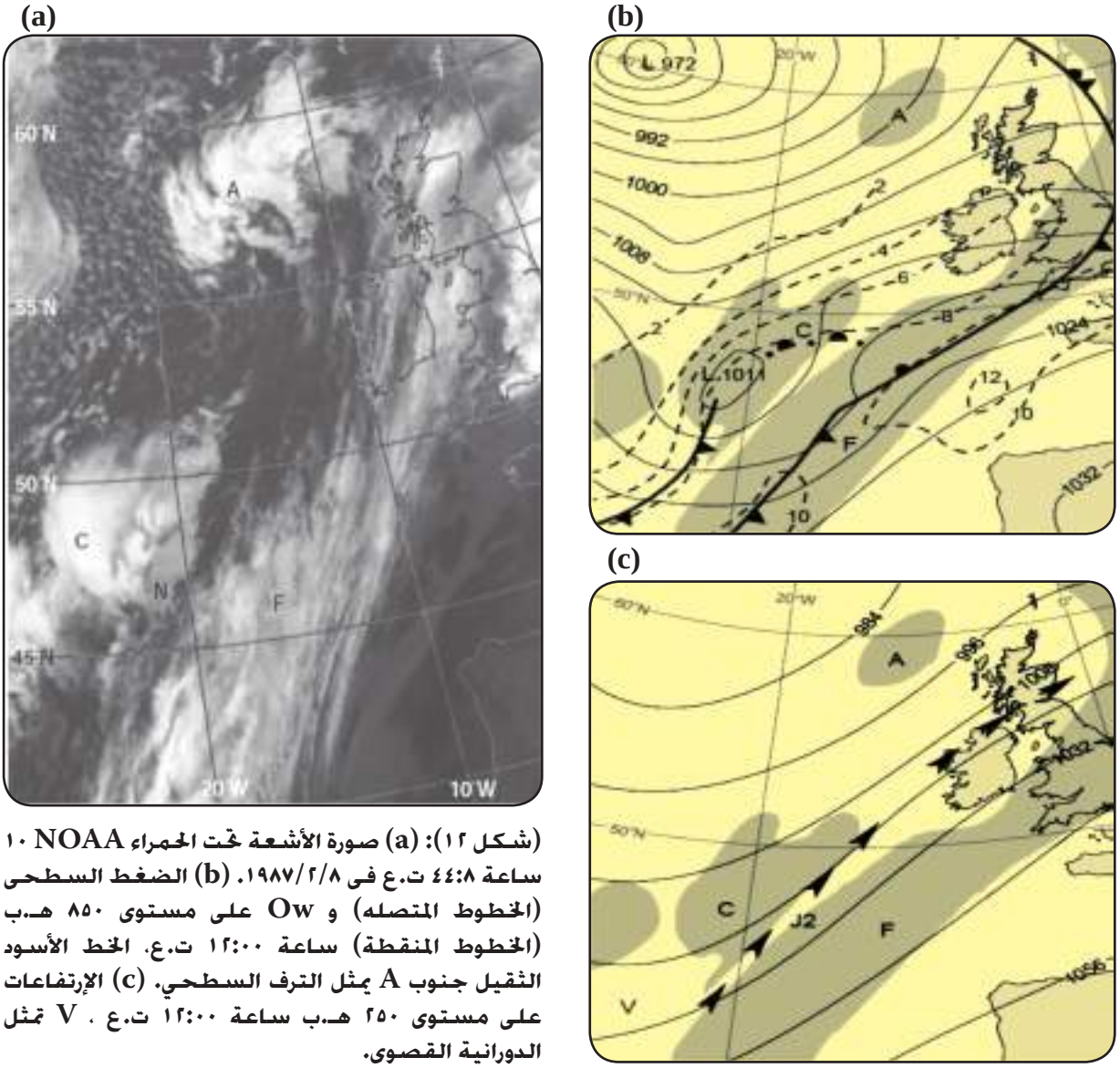
(شكل ١١): (a) صورة الأشعة تحت الحمراء NOAA ٩ ساعة ٠٩:١٩ ت.ع فى ١٩٨٧/٢/٧. (b) تحليل السطح (الخطوط المتصله) و Ow على ٨٥٠ هـ.ب (الخطوط المنقطة) ساعة ١٢:٠٠ ت.ع. الخط الأسود الثقيل جنوب A يمثل الترف السطحي. (c) خطوط الإرتفاعات على مستوى ٢٥٠ هـ.ب ساعة ١٢:٠٠ ت.ع ، V تمثل الدورانية العنيفة.

(WA: Warm Advection) أمام السحابة C فى لعب دوراً هاماً على تطور التباين الحرارى وبدوره يعمل على زيادة نشاط منطقة الجبهة نفسها. مع زيادة تعمق المنخفض الجوى على السطح، يتطور الحزام النقال البارد CCB والذى بدوره يساعد فى إندماج السحب F و N و C.

مثال:

المثال التالى يوضح العديد من جوانب هذا النوع من التطور. هناك نوعان من السحب العنقودية A و C(الشكل ١١ (a))، أمام حوض (ترف) الموجة القصيرة ، يتحركوا حول حافة الترف العلوى المتسع (الشكل ١١ (b)). ولكن تتطور الـ C بشكل أسرع من السحابة A بسبب:

- الـ C تكون مصاحبة لدوامة شديدة (V) فى الجانب البارد من التيار الهوائى النفاث J2، (الشكل ١١ (c)).
- التباين والتدرج الحرارى يكون أقوى بالقرب من السحابة C عنه من السحابة A مع ظهور غزو الهواء البارد (Cold Advection CA) بوضوح فى



(شكل ١٢): (a) صورة الأشعة تحت الحمراء NOAA ١٠ ساعة ٤٤:٨ ت.ع فى ١٩٨٧/٢/٨. (b) الضغط السطحى (الخطوط المتصله) و Ow على مستوى ٨٥٠ هـ.ب (الخطوط المنقطة) ساعة ١٢:٠٠ ت.ع. الخط الأسود الثقيل جنوب A يمثل الترف السطحي. (c) الإرتفاعات على مستوى ٢٥٠ هـ.ب ساعة ١٢:٠٠ ت.ع . V تمثل الدورانية القصوى.

منطقة التدفق الصاعد للسحابة C.

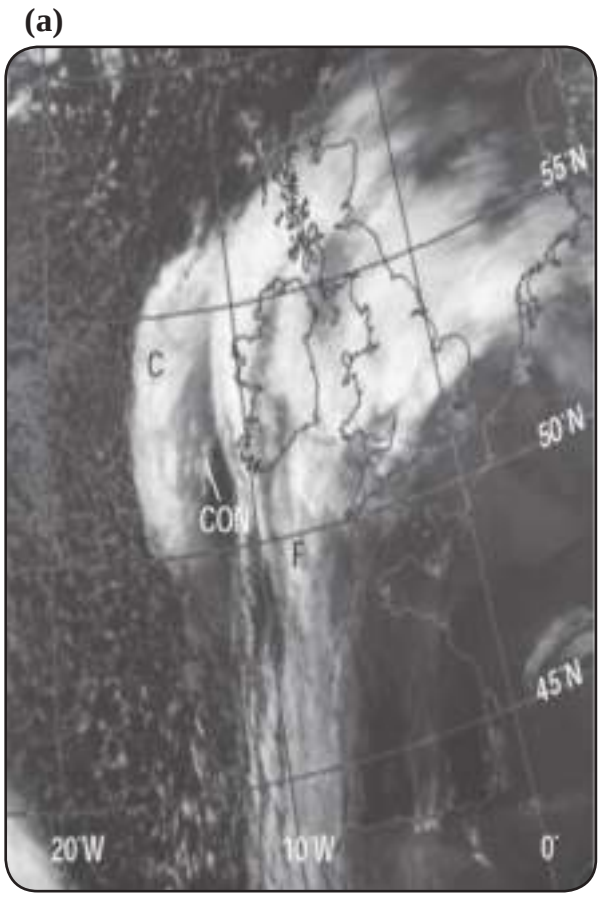
- السحابة C تغطى مساحة أكبر من السحابة A، كما أنها تحتوى على طبقة سحابية أكبر تيارات الحمل تكون أكثر وضوحاً وتأثيراً.

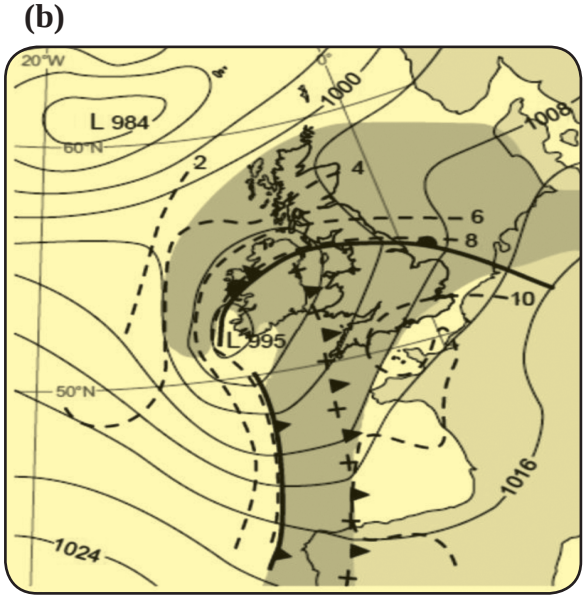
علامات أخرى يمكن رؤيتها بوضوح فى هذه الحالة وهى كالتالى:-

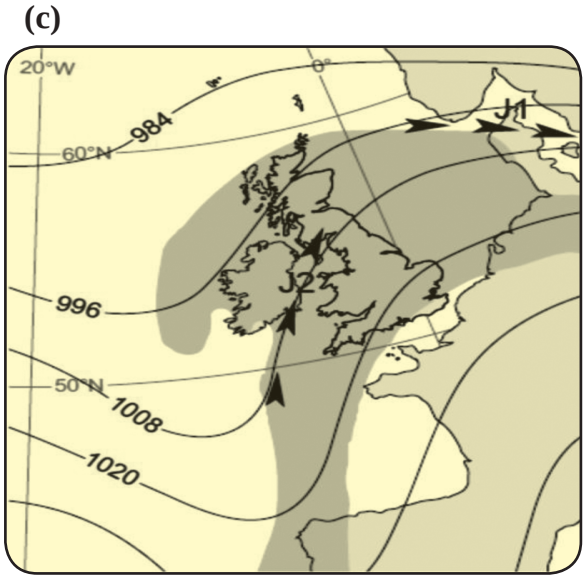
نمو السحابه الجديده N (الشكل ١٢ (a)) تبدأ بملىء الفراغ بين السحابتين C و F. كذلك ينشأ غزو دوامة موجبة (Positive Vorticity Advection PVA) أمام الترف العلوى القوى (الشكل ١٢ (c)) ، والذى بدوره ينتج صعوداً قوياً يؤدى إلى تطور السحابة C.

ظهور غزو دافئ (Warm Advection WA) أمام السحابة C يعزز من التباين فى قيم Ow على مستوى ٨٥٠ هـ.ب، مما يؤدى إلى تولد الجبهه الدافئه للسحابة C ويضعف تباين خطوط Ow على السحابة F (الشكل ١٢ (b)).

الجبهة الباردة (المرتبطة بـ السحابة C) توضح الانتقال الأساسى للهواء البارد ، حيث يوجد غزو بارد





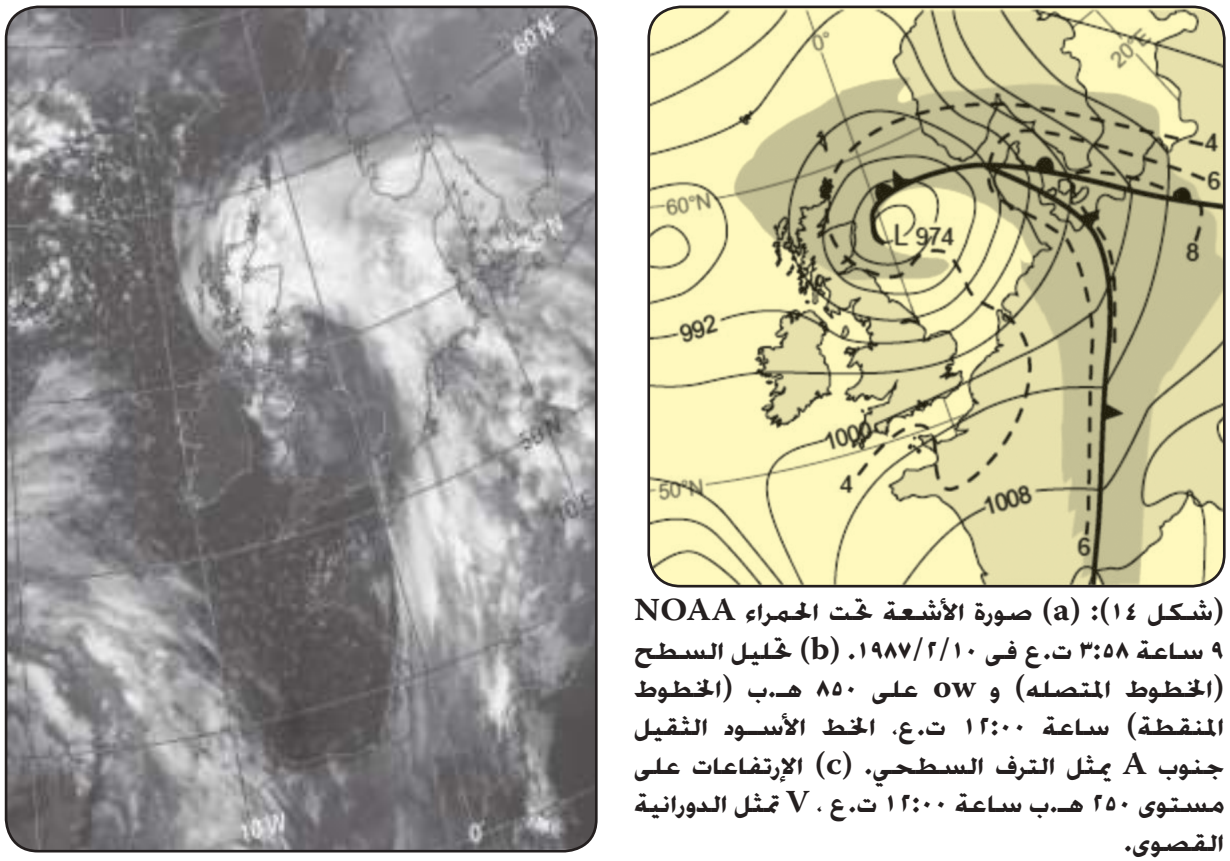


(شكل ١٣): (a) صورة الأشعة تحت الحمراء NOAA ١٠ ساعة ٢٢:٨ ت.ع فى ١٩٨٧/٢/٩. (b) تحليل السطح (الخطوط المتصلة) وOw على ٨٥٠ هـ.ب (الخطوط المنقطة) ساعة ١٢:٠٠ ت.ع. الخط الأسود الثقيل جنوب A يمثل الترف السطحي. (c) الإرتفاعات على مستوى ٢٥٠ هـ.ب ساعة ١٢:٠٠ ت.ع . V تمثل الدورانية القصوى.

قوى (CA) (الشكل ١٢ (b)).

- تتطور السحابة C إلى شكل خطاف واضح (الشكل ١٣ (a))، حول الإنحناء الداخلى (حول مركز المنخفض) من التباين القوى لخطوط Ow على مستوى ٨٥٠ هـ.ب (الشكل ١٣ (b)).
- الهواء الجاف ، المتقدم من الجنوب ، يتحرك أعلى الهواء الرطب الدافئ بين السحابتين C و F؛ صعود كتلة هوائيه بقوة بفعل جهد الهواء الغير المستقر، يؤدى إلى تشكيل سريع لرخات المطر والعواصف الرعدية (CON فى الشكل ١٣(a)).
- تبدأ مقدمة السحابة F فى التبدد (الشكل ١٣ (a)) وهى منطقة الهبوط جنوب المنخفض الجوى.

فى أغلب الأحيان ، يكتمل تعمّق المنخفض الجوى عند إندماج السحابتين C وF. غالباً ما تكون منطقة الهواء الدافئ منحصرة بالقرب من مركز المنخفض. فى هذا الخصوص يتكون منخفض جوى جديد عند نقطة الإلتقاء الثلاثية (نقطة إلتقاء الجبهة الباردة والجبهة الدافئة وجبهة الإطباق) وتتعمق بمقدار ٢٠



(شكل ١٤): (a) صورة الأشعة تحت الحمراء NOAA ٩ ساعة ٣:٥٨ ت.ع فى ١٩٨٧/٢/١٠. (b) تحليل السطح (الخطوط المتصله) و ow على ٨٥٠ هـ.ب (الخطوط المنقطة) ساعة ١٢:٠٠ ت.ع. الخط الأسود الثقيل جنوب A يمثل الترف السطحي. (c) الإرتفاعات على مستوى ٢٥٠ هـ.ب ساعة ١٢:٠٠ ت.ع . V تمثل الدورانية القصوى.

هـ.ب (الأشكال ١٤ (b) ، ((a)) ، بسبب التيارات الصاعدة من الجهة اليسرى من مقدمة التيار الهوائى النفاث J٢ والجهة اليمنى من مؤخرة التيار الهوائى النفاث J١ (الشكل ١٣ ((c)).

٢- انفصال تدفق الهواء العلوى Split flow

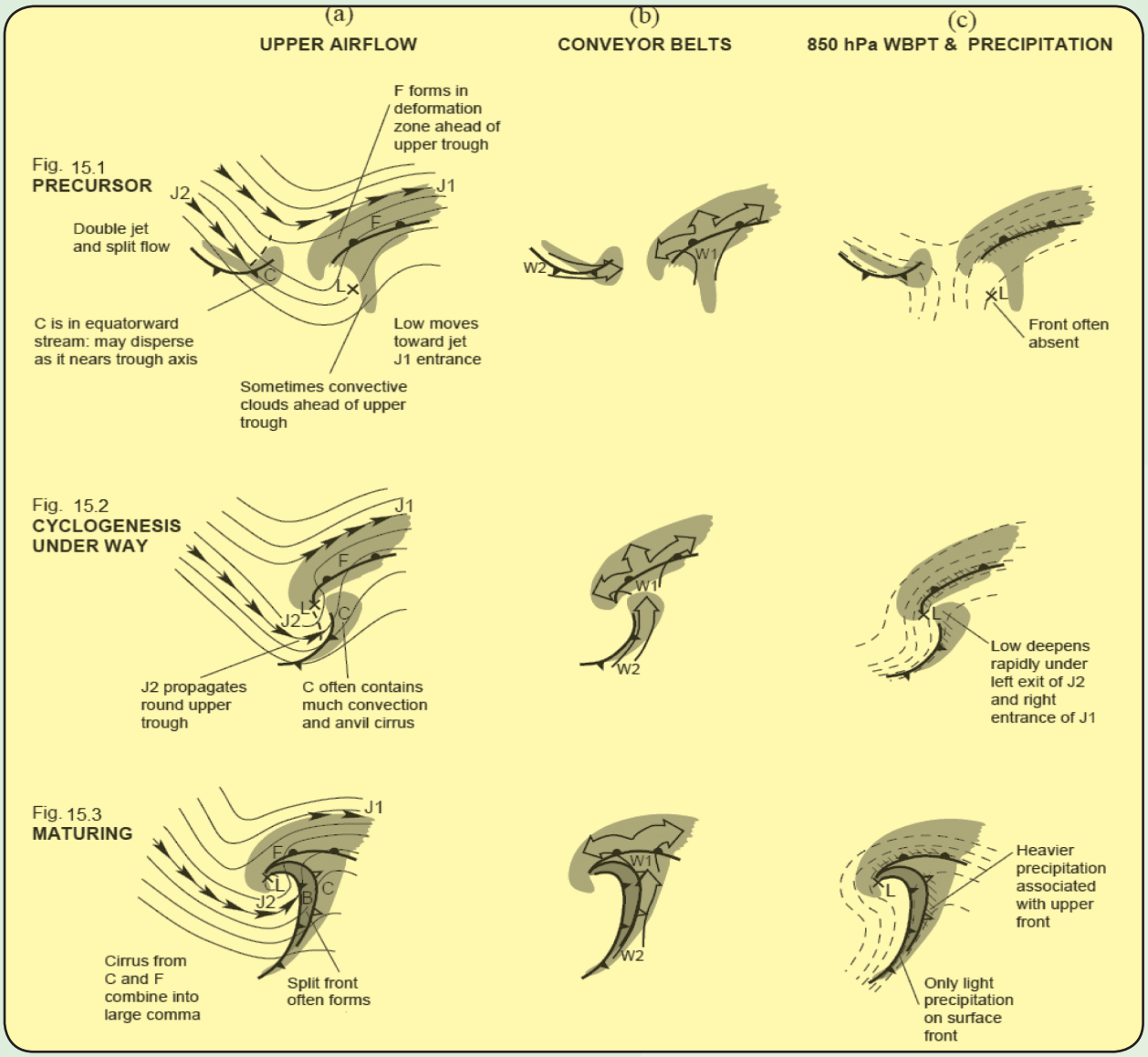
يحدث تولد منخفضات العروض الوسطى من انفصال تدفق الهواء العلوى بشكل رئيسى فى مناطق شرق سلاسل الجبال ولكن بصورة أقل تكرارًا من الأنواع الأخرى.

يمكن رؤية مراحل التطور لهذا النوع من تولد المنخفضات فى العروض الوسطى من خلال النماذج الموضحة فى شكل ١٥. الفرق الرئيسى لهذا النوع عن الأنواع السابقة هو أن السحابة C تدور حول الترف العلوى الأساسى لتندمج مع السحابة F من جهة الجنوب (من مؤخرتها).

فوق الأرض، قد يكون الجهه الاستوائيه من السحابة F خاليًا من السحب بسبب وجود الهواء الجاف على المستويات المنخفضة والذى بدورة يقلل تيارات الحمل التى تساهم بشكل رئيسى فى بناء السحب وفى كثير من الأحيان يوجد بعض تيارات الحمل من الجهه الاستوائية وشرق مركز المنخفض الجوى الرئيسى وفى مقدمة الترف العلوي، ولكن لايوجد بشكل واضح جبهة باردة محددة المعالم.

مثال:

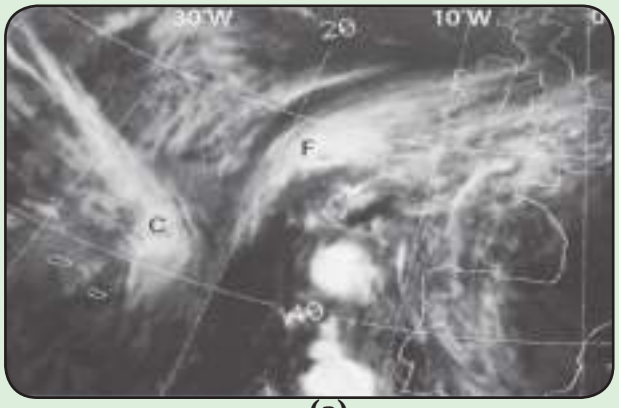
شكل ١٦ يُعد مثالًا نادرًا على تولد منخفضات العروض الوسطى من إنفصال تدفق الهواء العلوى على شرق المحيط الأطلنطى وغرب أوروبا. شكل ١٧ يوضح توزيعات الإرتفاعات فى بداية الحاله على مستوى ٥٠٠ هـ.ب، وتوزيعات الضغط على مستوى السطح فى شكل ١٨ (a).



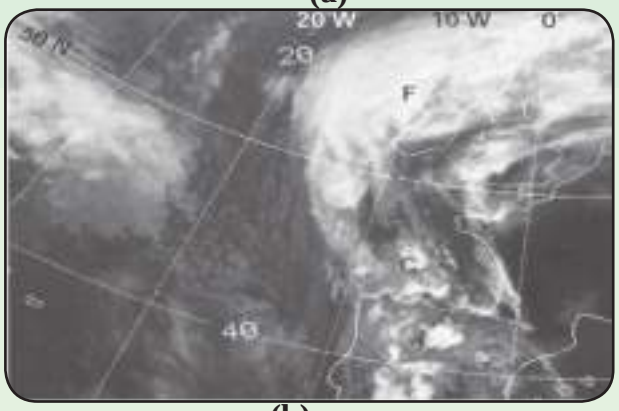
(شكل ١٥): مخطط لتولد منخفضات العروض الوسطى من إنفصال تدفق الهواء العلوي. (a) نموذج التدفق العلوى على ٣٠٠ هـ.ب ومكان وشكل السحاب C & F كما يظهروا فى صور الأشعة تحت الحمراء IR (b) نموذج للتدفق الهوائى عن طريق الحزام النقال W١ & W٢. (c) خطوط OW على مستوى ٨٥٠ هـ.ب وأماكن هطول الأمطار. شكل ١٥-١ مرحلة ماقبل تكون المنخفض. شكل ١٥-٢ مرحلة أثناء تكون المنخفض. شكل ١٥-٣ مرحلة تطور المنخفض.

(b) شكل ١٦: صور الأشعة تحت الحمراء من ميتيوسات (a) ساعة ٠٩:٠٠ ت.ع يوم ٢٦ أكتوبر ١٩٨٩ ،(b) ساعة ١٢:٠٠ ت.ع يوم ٢٧ أكتوبر ، (ج) ٠١:٠٠ ت.ع يوم ٢٨ أكتوبر. C و F هى أماكن السحب الرئيسية ؛ المنطقة B تعبر عن قمم السحب الأكثر دفئا وهى جزء من جبهة الانقسام (Split Front)؛ و UU هى الجبهة فى طبقات الجو العليا.

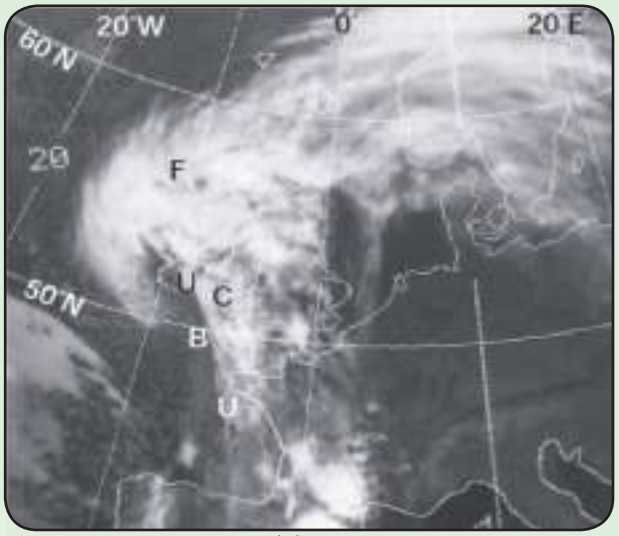
فى اليوم التالي، عندما تتحرك السحابة C باتجاه الشمال أمام الترف العلوى (شكل ١٦ (c) ، (b)) ، تصبح السحابة منتظمة على طول نطاق الجبهه. وفى نفس توقيت الصورة فى شكل (١٦ b) فإن الضغط الجوى بمركز المنخفض يقل ليصل إلى ٩٩١ هـ.ب (شكل ١٨ b). وبعد ١٢ ساعة يزداد تعمق المنخفض بأكثر من ١٣ هـ.ب شكل (١٨ c).



(a)



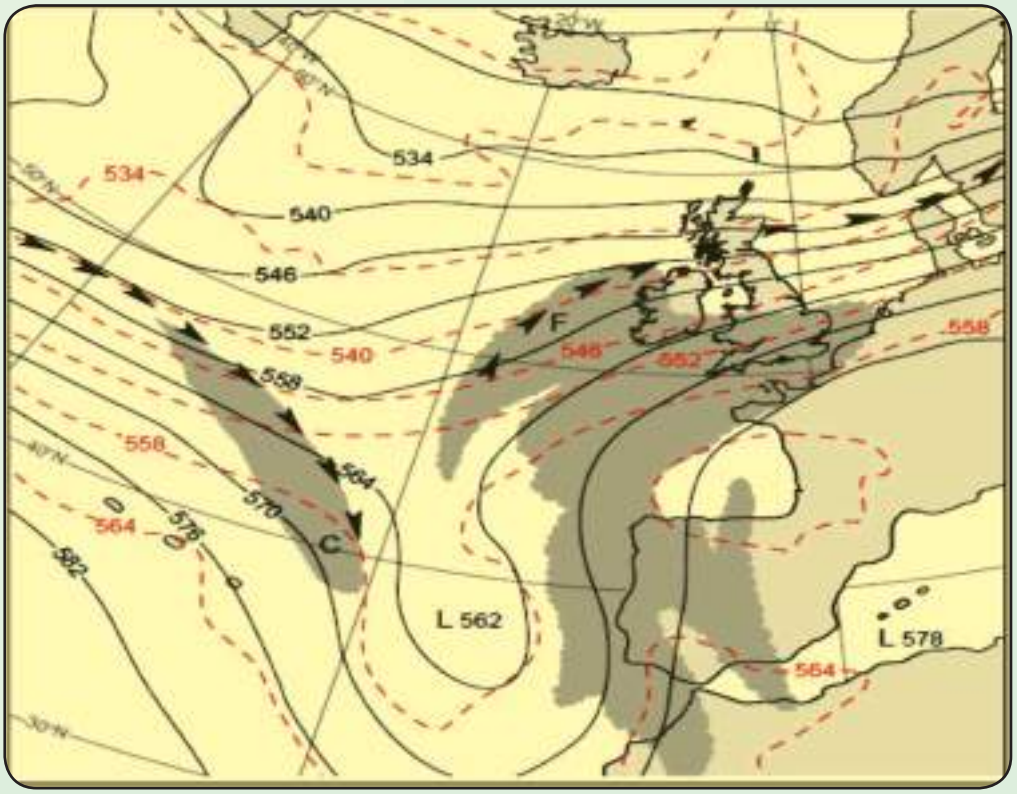
(b)



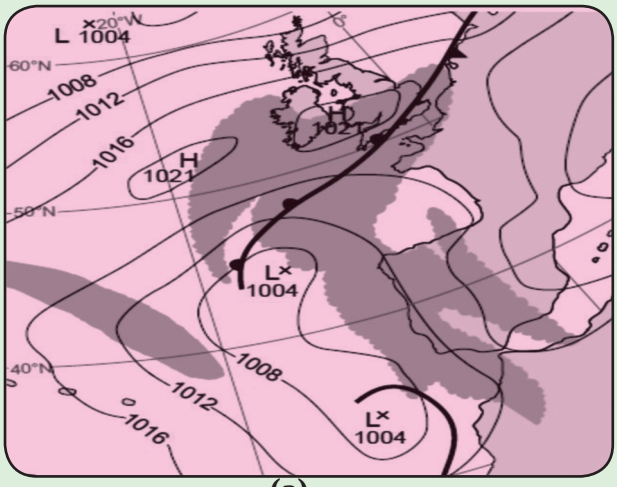
(c)

تتشكل السحابة F فى منطقة التشوه (Deformation Zone) ولايوجد دلائل واضحة على وجود جبهة باردة واضحة المعالم. بعد ذلك يتم إنتقال السحب الحملية فى اتجاة الشمال فى مقدمة الترف العلوى باتجاه F. وتتحرك السحابه C حول الترف (الشكل ١٦ (a)). حيث تفقد الكثير من تجانسها فى منطقة الدوامات الموجبة PVA خلف الترف.

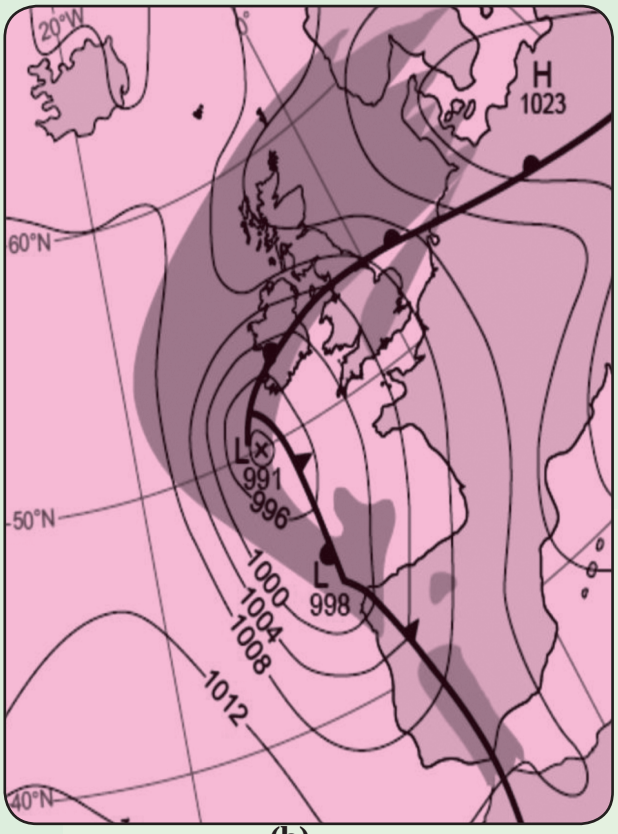
(a) (c)



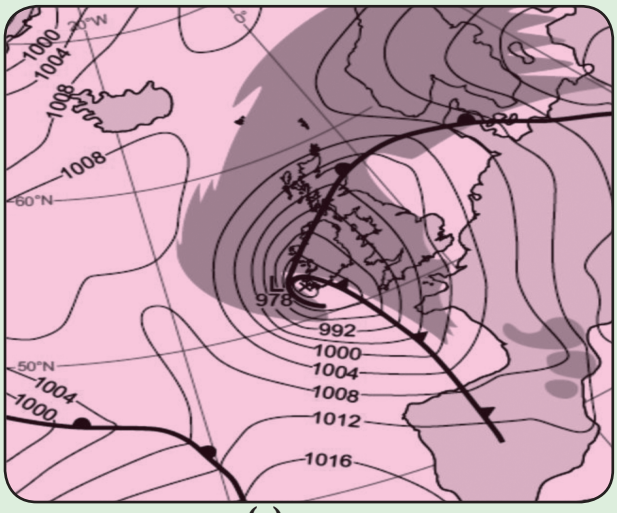
شكل ١٧: تحليل التنبؤ العددى ساعة ١٢:٠٠ ت.ع يوم ٢٦ أكتوبر ١٩٨٩ . يظهر خطوط الإرتفاعات على مستوى ٥٠٠ هـ.ب (خطوط متصلة سوداء). وخطوط سُمك الطبقة ٥٠٠-١٠٠٠ هـ.ب (خطوط حمراء متقطعة). C و F هما مناطق السحب الظاهرة فى الشكل - ١٦.



(a)



(b)



(c)

شكل ١٨: تحليل الضغط الجوى على السطح فى
(a) ١٢٠٠ ت.ع ليوم ٢٦ أكتوبر ١٩٨٩.
(b) ١٢٠٠ ت.ع ليوم ٢٧ أكتوبر ١٩٨٩.
(c) ٠٠٠٠ ت.ع ليوم ٢٨ أكتوبر ١٩٨٩. الخطوط الثقيلة هى الترف السطحى.

المراجـــع

M. J. Bader, G. S. Forbes, J. R. Grant, R. B. E. Lilley, A. J. Waters, (1995):
Images in weather forecasting, ¡A practical guide for interpreting satellite and radar imagery, Great Britain the University Press, Cambridge.

Marshall, T. A. (1982)
Weather Satellite Picture Interpretation (London, Directorate of Naval Oceanography and Meteorology, Ministry of Defense).

McLennan, N. and L. Neil (1988):
Marine bombs program (phase II). Pacific Region tech. note 88 - 002.

Young, M. V. (1993):
Cyclogenesis: interpretation of satellite and radar images for the forecaster. Forecasting Research division tech. report 73 (Bracknell, UK, Meteorological Office), unpublished.