تفسير صور الأقمار الصناعية

(الجبهات الباردة)

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

مقدمة

عندما تلتقى كتل هوائية مختلفة الصفات (حرارة، ضغط، رطوبة، رياح، .....الخ) ولا تختلط مع بعضها وتظل منفصلة بسبب إختلاف كثافتها، فيسمى الحد الانتقالى الفاصل بين تلك الكتل الهوائية المختلفة بالجبهه (Front).

ويوجد عدة جبهات مختلفة وهي:

الجبهات الباردة (Cold Front).

الجبهات الدافئة (Warm Front).

الجبهات الثابتة (Stationary Front).

الجبهات المتحدة (Occluded Front).

ولتفسير صور الأقمار الصناعية أهمية عظمى فى دقة وسرعة التنبؤ بالطقس ومراقبة حركة السحب على مدار الساعة. فسوف نناقش تلك الجبهات من خلال تفسير صور الأقمار الصناعية فى سلسلة من المقالات عن طريق فهم أعمق للتغيرات الفيزيائية والديناميكية للكتل الهوائية المكونة لكل نوع من تلك الجبهات. وفى هذا المقال سوف نستعرض الجبهات الباردة بأنواعها.

نموذج تخيلى للجبهة الباردة

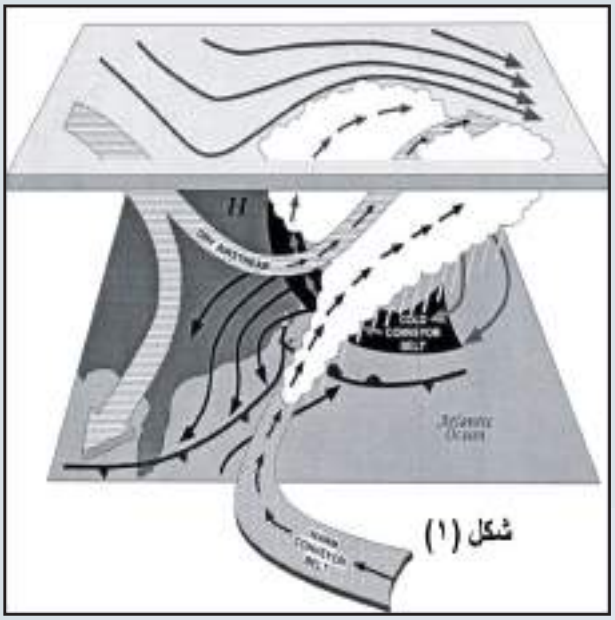
(Cold front conceptual model)

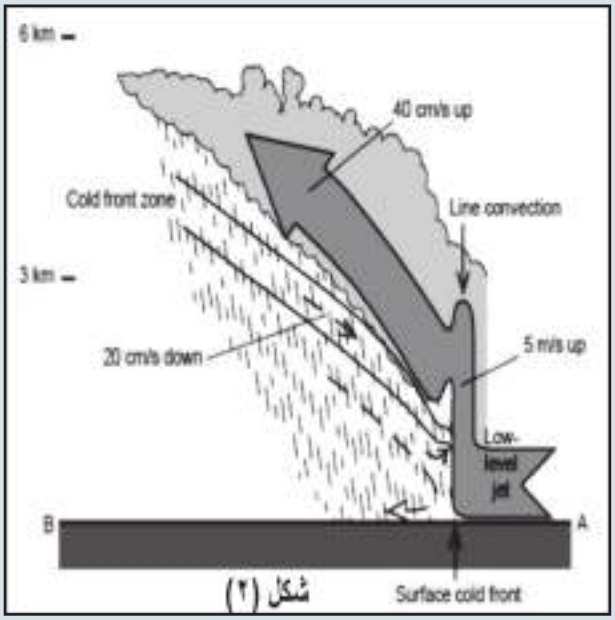
على الجبهة الباردة ترتبط وجود السحب المصاحبة للجبهه بالتيارات الهوائية الرطبة الصاعدة فى القطاع الدافئ للجبهة والتى تسمى «بالحزام الناقل الدافئ - WCB - Warm Conveyor Belt» والذى يستمر فى الصعود إلى طبقات الجو العليا والذى يصل أحياناً إلى مستوى التروبوبوز. هذا الحزام الناقل يكون مسئولاً عن كل تغيرات الطقس التى تصاحب الجبهة سواء على سطح الأرض أو فى طبقات الجو العليا. يوضح شكل (١) نموذج لتدفق الكتل الهوائية والرياح المصاحبه للجبهة الباردة التقليدية .

يستمر صعود هذا الحزام الناقل الدافئ أمام الجبهة أمام الجانب البارد إلى أن يتقابل مع الهواء البارد والجاف الهابط من طبقات الجو العليا.

تتركز الغيوم والمطر فى مؤخرة الجبهة الباردة المرسومة فى الخرائط السطحية. على الجبهة نفسها، الهواء قد يصعد بسرعة خلال طبقة من الغلاف الجوى بعمق ٢-٣ كم، وظهور شريط ضيق من الأمطار الغزيرة يسمى شريط من التيارات الحملية. قبل هذا الشريط يوجد التيار الهوائى النفاث على مستوى منخفض داخل الحزام النقال الدافئ (WCB). خلف الجبهة السطحية، حيث الصعود يتباطئ، يقل هطول الأمطار شيئاً فشيئاً حتى يتلاشي.

من الصعوبة بمكان وجود علاقة بين الطقس على السطح ومكان ظهور حزم السحب فى صور الأقمار الصناعية وذلك لوجود سحب عالية تظهر كمظلة


شكل (١)



شكل (٢)

تحجب جميع التغيرات الفيزيائية التى تحدث أسفل منها. فنادراً مانجد إرتباط بين قمم السحب الباردة فى صور الأشعة تحت الحمراء والمناطق الأكثر هطولاً، شكل (٢).

تشكيلات السحب المصاحبة للجبهات الباردة:

تظهر الجبهات الباردة فى صور الأقمار الصناعية كحزمة سحب على شكل منحنى سينوبتكى المقياس (Synoptic Scale Cyclonical Curved).

■ فى صور الاشعة تحت الحمراء (IR) والصور المرئية (VIS) تظهر السحب متباينة المظهر بين اللون الأبيض ودرجات اللون الرمادى المختلفة.

■ فى حين تظهر حزم السحب فى صور بخار الماء (WV) باللون الرمادى وبعض البقع و/أو أشرطة بيضاء والتى تدل على سحب ذات السُمك الكبير المغموس داخل سحب أخري.

ويمكن تقسيم الجبهات الباردة إلى مرحلتين: جبهة الأنا وجبهة الكاتا الباردتين. تلك المرحلتان تظهران فى صور الأقمار الصناعية ببعض الإختلافات البسيطة فى نسيج وشكل السحب.

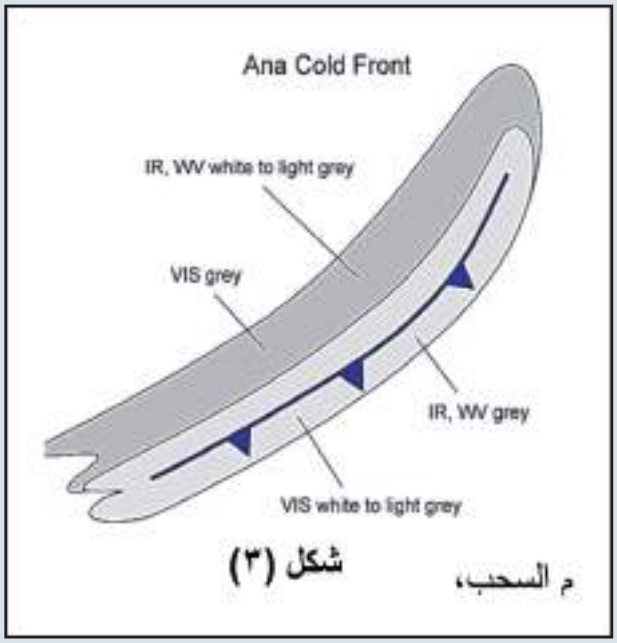
تشكيلة السحب فى جبهات الآنا والكاتا الباردة:

جبهة الأنا الباردة:

■ عادةً يظهر نسيج السحب فى شكل متجانس النسيج، شكل (٣).

■ فى الصور المرئية (VIS)، تظهر السحب البيضاء إبتداءً من مقدمة شريط السحب إلى المنطقه المتوسطة، دلالةً على قلة بخار الماء فى السحب، شكل (٤).

■ فى صور الأشعة تحت الحمراء (IR) وصور بخار الماء (WV) فتظهر السحب البيضاء إبتداءً من مؤخرة شريط السحب إلى المنطقه المتوسطة، دلالةً على برودة وإرتفاع قمم السحب، غالباً مع السحب الرعدية (CB) المغموسة فى سحب أخري،

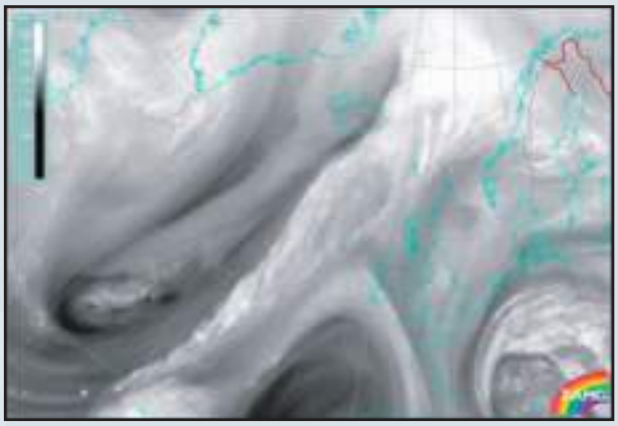


شكل (٣)

م السحب،

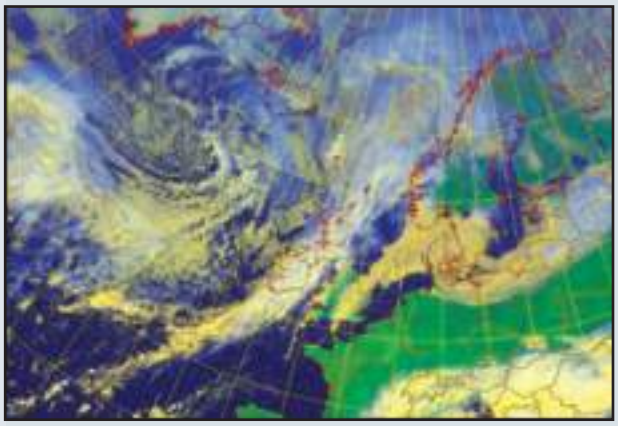
شكل (٤). فى ٤ أكتوبر ٢٠٠٥ الساعة ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى وكان هناك جبهة آنا باردة فوق المحيط الاطلسي. وشوهدت موجة فى طبقات الجو العليا على حزمة سحب الجبهة جنوب أيسلندا.

٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - صورة بخار الماء WV 6.2 من متيوسات ٨

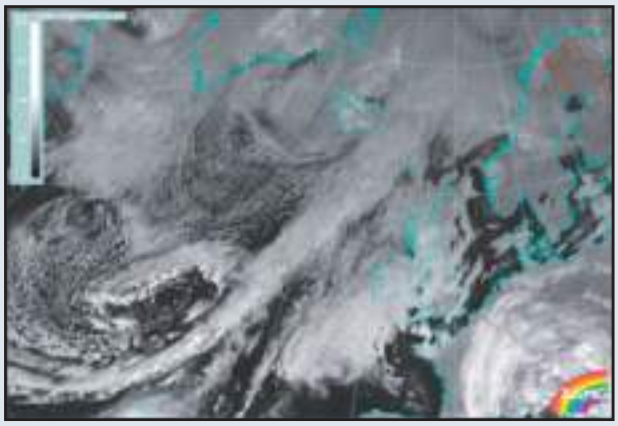


٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - صورة الأشعة تحت الحمراء IR 10.8 من متيوسات ٨

٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - صورة RGB 012 . 0.8 . 0.6 من متيوسات ٨



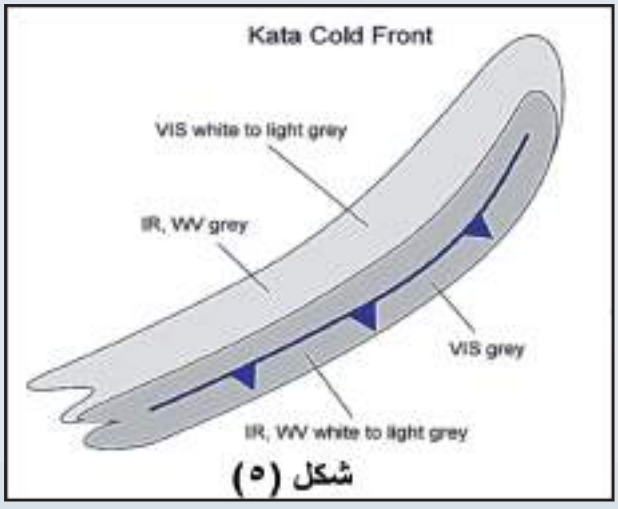
٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - صورة مرئية VIS 0.8 من متيوسات ٨



جبهة الكاتا الباردة:

- **يظهر تجانس للسحب فى صور الأقمار الصناعية، شكل (٥).**
- **فى الصور المرئية (VIS)، تظهر السحب البيضاء إبتداءً من مؤخرة شريط السحب إلى المنطقه المتوسطة، دلالةً على قلة بخار الماء فى السحب، شكل (٦).**
- **فى صور الأشعة تحت الحمراء (IR) وصور بخار الماء (WV) فتظهر السحب البيضاء إبتداءً من مقدمة شريط السحب إلى المنطقه المتوسطة، دلالةً على برودة وإرتفاع قمم السحب، غالباً مع السحب الرعدية (CB) المغموسة فى سحب أخري، شكل (٦).**

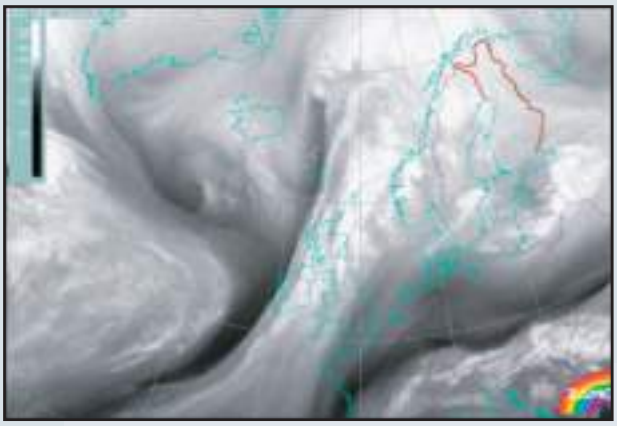
ليس من السهولة التفرقه بين جبهات الأنا والكاتا الباردة. ولكن لابد من ملاحظة أن الجبهة الباردة غالباً تبدأ بمرحلة الأنا وتدريجيا تتحول للكاتا.



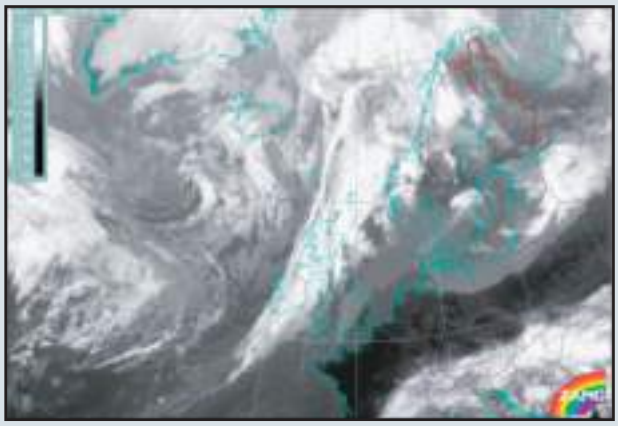
شكل (٥)

شكل (٦) : فى ١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ الساعة ١٢,٠٠ عالمى كانت هناك جبهة كاتا باردة تمتد فوق اسكتلندا وايرلندا:

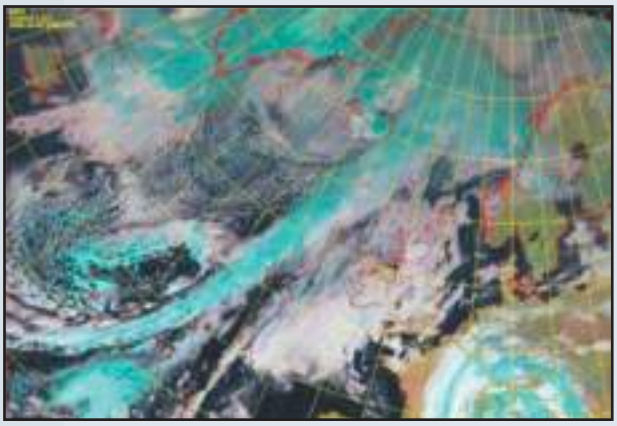
١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - صورة بخار الماء WV 6.2 من متيوسات ٨



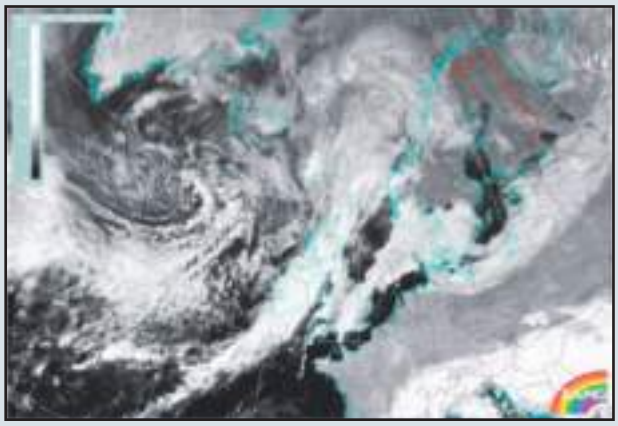
١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - صورة الأشعة تحت الحمراء IR 10.8 من متيوسات ٨



٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - متيوسات ٨ صورة RGB 1.6. 0.8 . 0.6



١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - الصورة المرئية VIS 0.8 من متيوسات ٨



التفسيرات الفيزيائية لجبهة الأنا والكاتا الباردة:

تشكل الجبهات عموما داخل الحدود المتوازية بين كتل الهواء الباردة والحارة. فالعملية الفيزيائية لتكوين الجبهات الباردة هى حركة الهواء البارد ليحل محل الهواء الدافئ. الهواء الدافئ يصعد على طول تلك الحدود فى حين يهبط الهواء البارد خلف تلك الحدود الفاصلة. إذا كان هناك كمية رطوبة كافية، فالحركة الصاعدة للهواء الدافئ يؤدى إلى تكثف بخار الماء ومنها تتكون وتتطور أشكال السحب ومن ثم هطول الأمطار.

يمكن وصف جبهات آنا وكاتا الباردتين على حد سواء من وجهة نظرية الجبهات الكلاسيكيه ومن حيث أحزمة الهواء الناقلة (Conveyer Belts). الميزة الرئيسية التى تفصل بين الأنواع المختلفة من الجبهات الباردة هو اتجاه التيارات النفاثة بالنسبة إلى الجبهة فى المستويات المتوسطة والعليا من التروبوسفير:

أ - فى حالة جبهة الآنا الباردة:

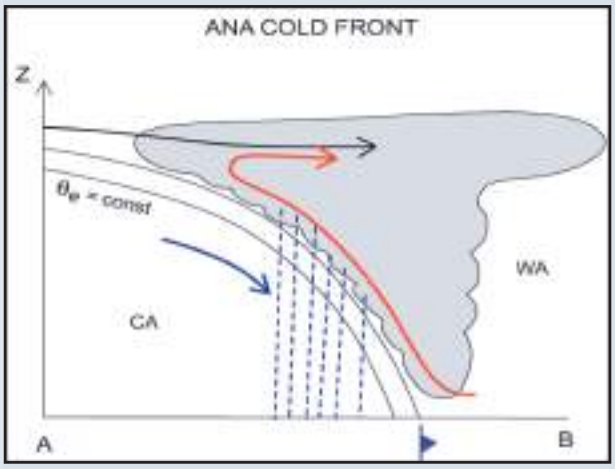
محور التيار الهوائى النفاث و الكتلة الهوائية الجافة يكونان موازيان لحزمة السحب المشكلة للجبهة الباردة، شكل (٧)، وتكون حافة السحابة الخلفية مقطوعة بحدة واضحة. وتفسر فيزيائياً كالتالي:

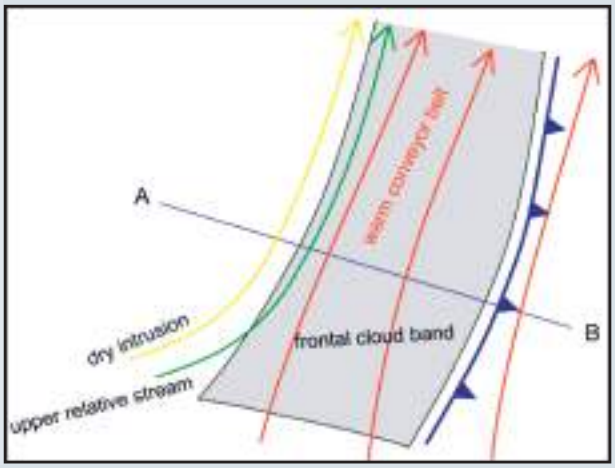
- يتحرك الهواء البارد بسرعة فى اتجاه عكس الهواء الدافئ، مما ينشأ تقاربا داخل المنطقة الموازية بين الكتلتين الهوائيتين الباردة والدافئة.
- التقارب يجبر الهواء الدافئ على الصعود على طول مقدمة سطح الهواء البارد. حزمة السحب المتكونة تميل إلى الخلف كلما إرتفعت لأعلي.

- يقع التشكيل الأساسى من السحب وهطول الأمطار خلف الجبهة على سطح الأرض.
- باستثناء حالة وجود رياح قوية فى طبقات الجو العليا تُجبر السحب المرتفعة على الإمتداد ناحية التيارات الهابطة أمام الجبهة الباردة فى المستوى السطحي.
- تكون درجة حرارة الجهد المكافئة (Θe) مقصوراً على مناطق صعود وهبوط الهواء أمام وخلف الجبهة ولكن على نطاق الجبهة نفسها تظل (Θe-) قيمتها ثابتة دلالة على ثبات الجهد.

وفقا لنظرية الحزام الناقل:

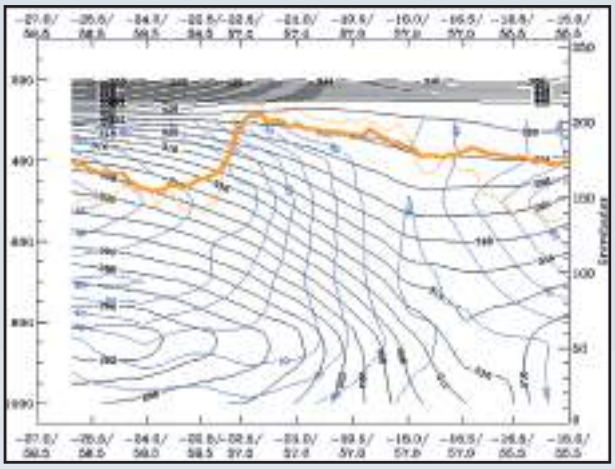
- ترتبط حزمة السحب المصاحبة للجبهة وهطول الأمطار بالحزام الناقل الدافئ الصاعد (السهم الأحمر) ، الذى يتقهقر للخلف أثناء الصعود أثناء حركة الجبهة، مما يسبب ظهور حزمة السحب والأمطار خلف الجبهة على سطح الأرض، شكل (٧، ٨، ٩).



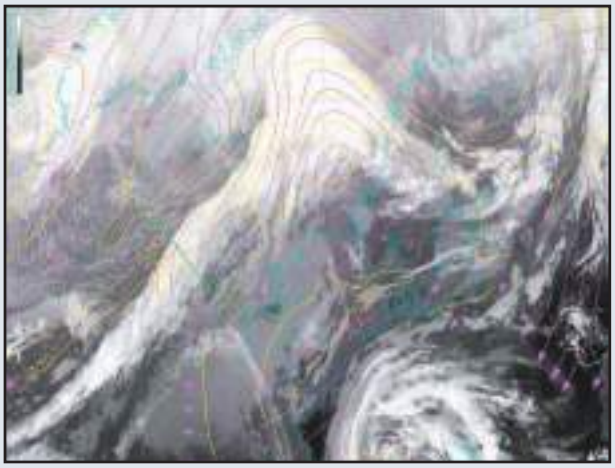


شكل (٧)

شكل (٨) : ٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢،٠٠ بالتوقيت العالمى - المقطع الرأسى خلال الخط الواصل بين النقطتين A و B: أسود: خطوط تساوى Θe، الأزرق: الرطوبة النسبية، البرتقالى الرقيق: قيم تباين الأشعة تحت الحمراء، البرتقالى السميك: قيم تباين بخار الماء



شكل (٩) : ٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢،٠٠ بالتوقيت العالمى - الصورة IR 10.8 من المتيوسات ٨؛ أرجواني: التيارات النسبية عند مستوى الحرارة ٣٠٨ -K، أصفر: إيسوبارس -K: 308 الأخضر: يمثل المقطع العرضى الرأسى فى الأشكال السابقة.



- بالتوازى مع الحزام الناقل الدافئ هناك تيار هوائى جاف (السهم الأصفر). الحافة الخلفية الحادة للسحب الجبهيه تمثل الانتقال بين تيارين من الحزام الناقل الدافئ والتيار الجاف، شكل (٧، ٨، ٩).

ب- فى حالة جبهة الكاتا الباردة،

يقطع التيار الهوائى النفاث حزمة السحب المشكلة للجبهة الباردة.

يتم إنحسار صعود الهواء الدافئ عن طريق الهواء الهابط الجاف الذى يغزو منطقة حزم الغيوم من خلف الجبهة الباردة، وبالتالى تبدأ السحب المرتفعة فى

التبدد (الإنقشاع).

تظهر حزم من السحب الرئيسية وهطول الأمطار أمام الجبهة السطحية.

وفقا لنظرية الحزام الناقل:

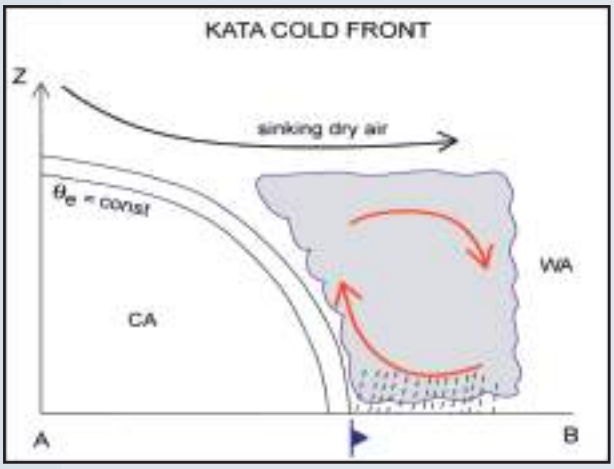
يتم إحتجاز الحزام الناقل الدافئ الصاعد بتأثير غزو الهواء الجاف الساقط من أعلي.

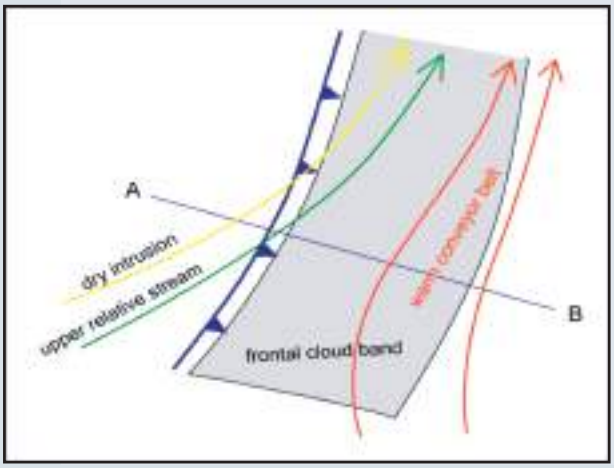
يتدفق الهواء الجاف من المستويات العليا من التروبوسفير أو من المستويات الدنيا من الإستراتوسفير، ويعبر الجبهة الباردة من الخلف، شكل (١٠، ١١، ١٢).

الحزام الناقل الدافئ يميل للحركة إلى الأمام بالنسبة لحركة الجبهة الباردة. لذلك، فإن حزم غيوم الجبهة وهطول الأمطار تميل إلى التحرك أمام الجبهة السطحية، شكل (١٠).

قمم السحب فى منطقة جريان الهواء الجاف تكون منخفضة نسبيا، بينما على الحافة الأمامية تكون قمم السحب عالية. تشير هذه المنطقة إلى ما يسمى بالجبهة الباردة العليا. كتلة الهواء التى أزيحت بواسطة غزو الهواء الجاف تكون أكثر برودة من الهواء داخل الحزام الناقل الدافئ. الغزو الجاف يبرد الهواء العلوى وكذلك الهواء أمام الجبهه، شكل (١٠، ١١، ١٢).

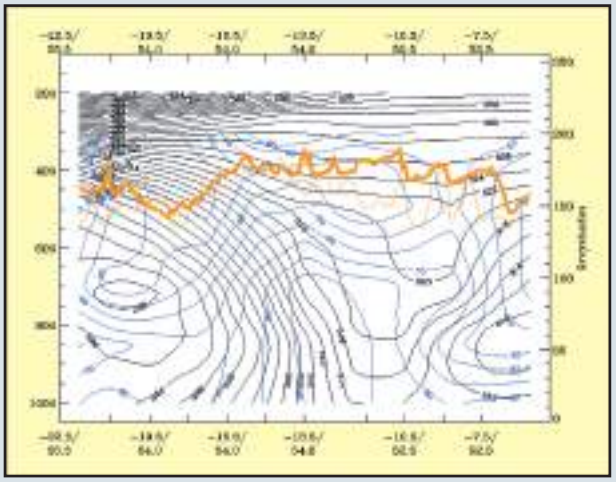
الجبهة الباردة. درجة حرارة الجهد المكافئة Θe للهواء التيار النسبى العلوى تكون أقل. والنتيجة هى تكون طبقة هوائية غير مستقرة مشروطه بالقرب من الحافة الأمامية من حزمة السحب الأمامية. ويمكن ملاحظة ذلك عند تحول السحب الطبقيه إلى السحب الحملية، شكل (١٠، ١١، ١٢).



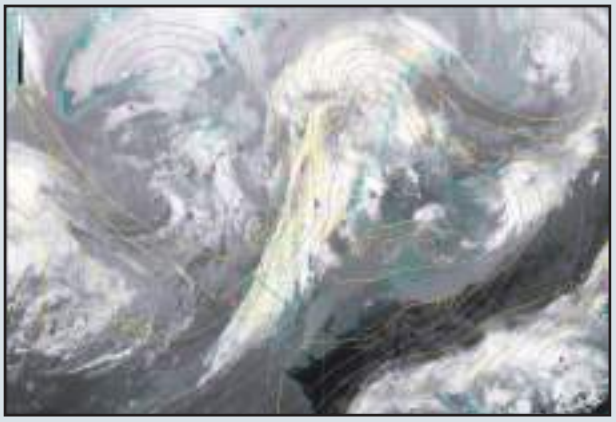


شكل (١٠)

شكل (١١) : ١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - المقطع الرأسى خلال الخط الواصل بين النقطتين A و B؛ أسود: خطوط تساوى Θe، الأزرق: الرطوبة النسبية، البرتقالى الرقيق: قيم وضوح الأشعة تحت الحمراء، البرتقالى السميك: قيم وضوح بخار الماء



شكل (١٢) : ١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ بالتوقيت العالمى - الصورة IR 10.8 من المتيوسات 8؛ أرجواني: التيارات النسبية عند مستوى الحرارة 308K، أصفر: إيسوبارس 308K؛ الأخضر: يمثل المقطع العرضى الرأسى فى الأشكال السابقة



مفاتيح التنبؤات العددية لتحديد مكان الجبهة:

السمك المكافئ

(Equivalent thickness): hpa850/ 500

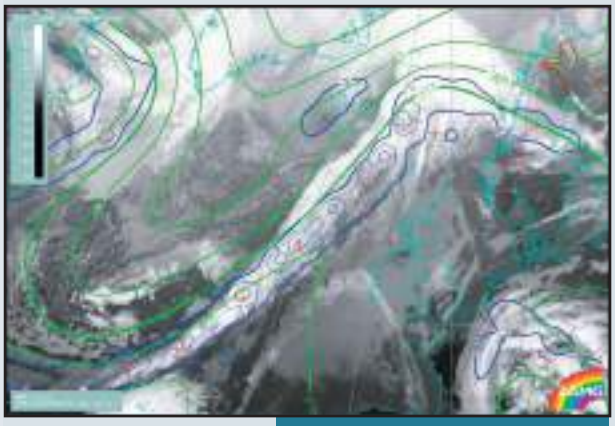
- **جبهة الآنا الباردة : يكون أعلى انحدار للسمك داخل نطاق حزمة السحب، شكل (١٣).**
- **جبهة الكاتا الباردة: يكون أعلى انحدار للسمك خلف نطاق حزمة السحب، شكل (١٤).**

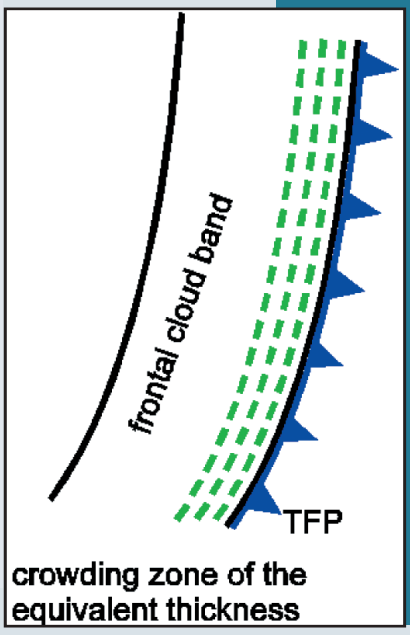
دليل الجبهة الحرارى

(Thermal Front Parameter)

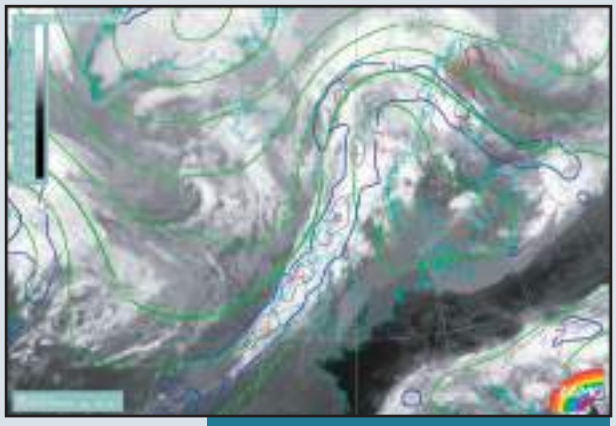
$$TFP = - \nabla |\nabla T| . \frac{\nabla T}{|\nabla T|}$$

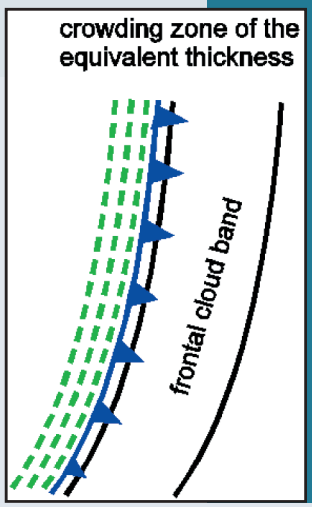
- **جبهة الآنا الباردة : يكون أقصى قيمة فى الجزء الأمامى لحزمة السحب، شكل (١٣).**
- **جبهة الكاتا الباردة: يكون أقصى قيمة فى الجزء الخلفى لحزمة السحب، شكل (١٤).**





شكل (١٣): ٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ توقيت العالمي- الصورة IR 10.8 من المتيوسات ٨: الأزرق: - ٨٥٠/٥٠٠ هكتوبسكال لدليل الجبهة الحرارى (TFP) والأخضر: - السمك المكافئ ٨٥٠/٥٠٠ هكتوبسكال





شكل (١٤) : ١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ توقيت العالمى - الصورة IR 10.8 من المتيوسات ٨: الأزرق: - ٨٥٠/٥٠٠ هكتوبسكال لدليل الجبهة الحرارى (TFP) والأخضر: - السمك المكافئ ٨٥٠/٥٠٠ هكتوبسكال

الإنتقال الأفقى لدرجة حرارة الهواء (Temperature Advection):

$$TA = - V . \nabla T$$

يكون هناك تدفق دافئ ضعيف نسبياً أمام الجبهة الباردة، فى حين التدفق البارد يكون قوياً خلف الجبهة الباردة. لكن على الجبهة نفسها يكون TA = 0

- **جبهة الآنا الباردة : يكون TA = 0 فى الجزء الأمامى لحزمة السحب، شكل (١٥).**
- **جبهة الكاتا الباردة: يكون TA = 0 فى داخل حزمة السحب، شكل (١٦).**

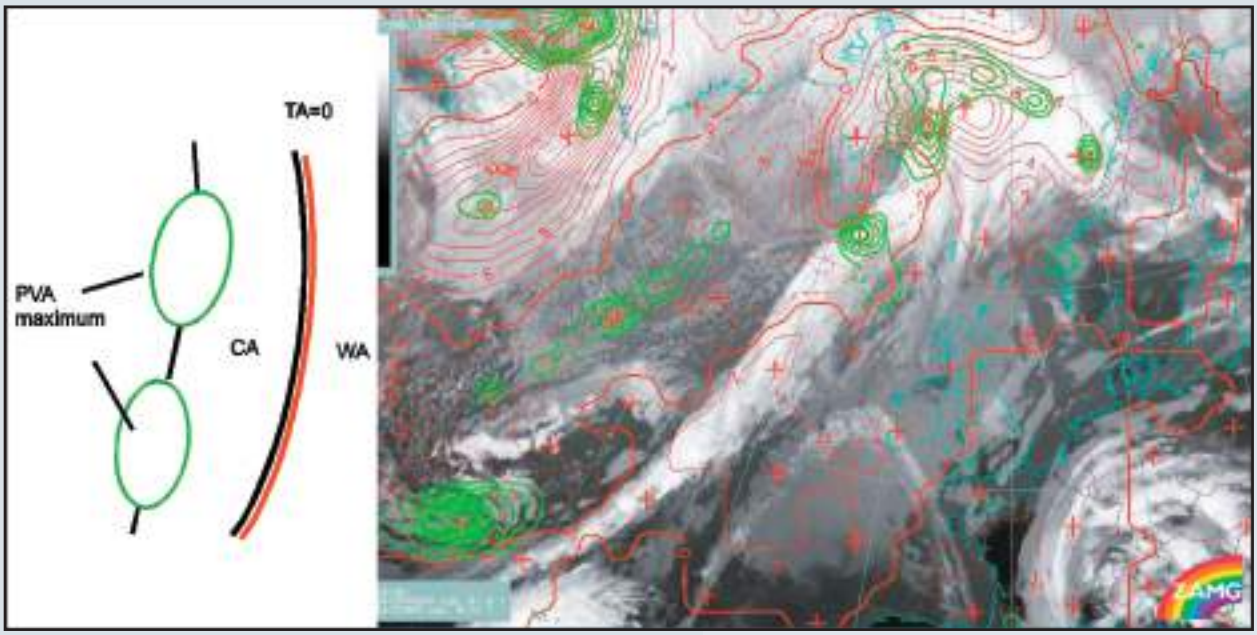
التدفق الدوامى الموجب (PVA) فى المستويات العليا (Positive Vorticity Advection)

ويمكن ملاحظة أعلى قيمة PVA بالقرب من الحافة الخلفية لحزمة السحب مما يدل على انتشار حوض المنخفض العلوى و/أو الاقتراب من أثر التيار الهوائى النفاث العلوي

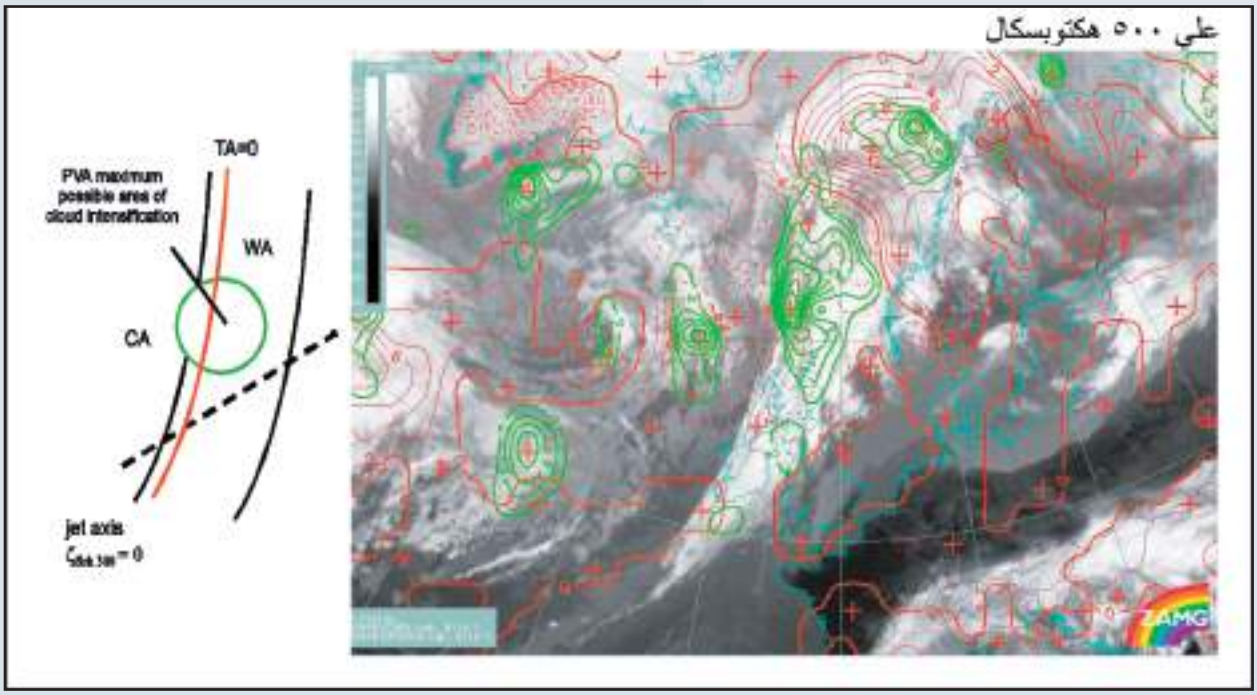
● جبهة الآنا الباردة : يسير التيار النفاث خلف حزمة السحب وموازى لها. التيار النفاث يعبر النظام الجبهى فى منطقة نقطة الإطباق (Occlusion) ، شكل (١٥).

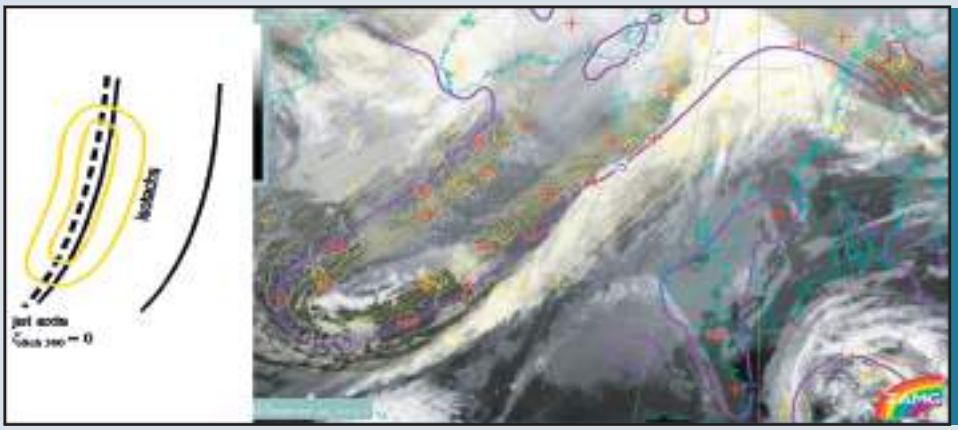
● جبهة الكاتا الباردة : يقطع التيار النفاث حزمة السحب ويبدأ فى فصل حزم السحب الأساسية عن السحب التى تدور حول مركز المنخفض الجوي، شكل (١٦).

شكل (١٥): ٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ توقيت العالمى - الصورة IR 10.8 من المتيوسات ٨؛ الأحمر: - الإنتقال الأفقى لدرجة حرارة الهواء بين ٥٠٠/١٠٠٠ هكتوبسكال، والأخضر: - التدفق الدوامى الموجب (PVA) على ٥٠٠ هكتوبسكال

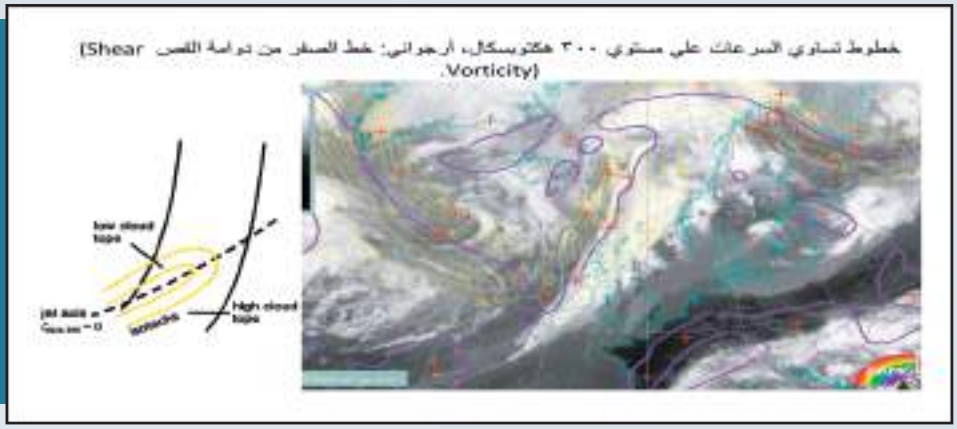


شكل (١٦): ١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ توقيت العالمى - الصورة IR 10.8 من المتيوسات ٨؛ الأحمر: - الإنتقال الأفقى لدرجة حرارة الهواء بين ٥٠٠/١٠٠٠ هكتوبسكال، والأخضر: -التدفق الدوامى الموجب (PVA) على ٥٠٠ هكتوبسكال





شكل (١٧): ٤ أكتوبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ توقيت العالمى - الصورة IR 10.8 من المتيوسات ٨؛ الأصفر: خطوط تساوى السرعات على مستوى ٣٠٠ هكتوبسكال، أرجواني: خط الصفر من دوامة القص (Shear Vorticity).



شكل (١٨): ١٩ سبتمبر ٢٠٠٥ / ١٢,٠٠ توقيت العالمى - الصورة IR 10.8 من المتيوسات ٨؛ الأصفر: خطوط تساوى السرعات على مستوى ٣٠٠ هكتوبسكال، أرجواني: خط الصفر من دوامة القص (Shear Vorticity).

خطوط تساوى السرعات على مستوى ٣٠٠ هيكتوباسكال

- فى حالة جبهة الآنا الباردة: التيار النفاث يجرى خلف وموازى لحزام السحب بزاوية حادة. يقطع التيار النفاث نظام الجبهة عند نقطة الإطباق.الجبهة تكون فى ناحية المرتفع الجوى على يمين مقدمة التيار النفاث، شكل (١٧).
- فى حالة جبهة الكاتا الباردة: يقطع التيار النفاث حزام السحب. عند نقطة قطع التيار النفاث للجبهة فإن حزام السحب سيكون جزء منة ناحية المرتفع الجوى على يمين مقدمة التيار النفاث والجزء الآخر ناحية المنخفض على يسار مقدمة التيار النفاث، شكل (١٨).

دوامة القص على مستوى ٣٠٠ هيكتوباسكال (Shear Vorticity):

خط الصفر لدوامة القص:

- فى حالة جبهة الآنا الباردة: خط الصفر قريب ومتوازى مع حافة السحب الخلفية، شكل (١٧).
- فى حالة جبهة الكاتا الباردة: خط الصفر يقطع الجبهة الباردة. وعادة ما يصاحب الانتقال من قمم السحب المنخفضة فى جهة المنخفض إلى قمم السحب العالية على الجانب الآخر من الجبهة جهة المرتفع الجوي، شكل (١٨).

المراجـــع

ZAMG -a Research Institute of the Austrian Federal Ministry of Education, Science and Research-. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 1190 Vienna Hohe Warte 38 Phone: +43136026, website: http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm.

BADER M. J. FORBES G. S., GRANT J. R. LILLEY R. B. E. and WATERS A. J. (1995): Images in weather forecasting - A practical guide for interpreting satellite and radar imagery; Cambridge University Press.