الاستقرار وعدم الاستقرار في الأحوال الجوية

إيمان عبداللطيف شاكر
اخصائى ثان أرصاد جوية
إدارة الاستشعار عن بعد
الإدارة العامة للتحاليل

عدم الاستقرار الجوى هو خاصية من خصائص النظام الجوى التى تتميز بوجود اضطراب فى ذلك النظام فى مكان ما.. أو هو زيادة واضحة فى الحركة الرأسية فى الحيز السفلى من الغلاف الجوي. إن حالة الاستقرار الجوى من عدمه تعتمد على العديد من العناصر التى من أهمها درجة التباين بين محددات حرارية ثلاثة هي:

١- معدل التغير أثناء الصعود للبيئة المحيطة
Environmental Lapse Rate (ELR)

هو تغير درجة الحرارة في البيئة بالارتفاع أو الانخفاض عن مستوى سطح البحر. ومعدل هذا التغير في طبقة التروبوسفير هو 6.5 درجة مئوية لكل 1000 متر إلا أن تلك القيمة هي معدل وتتغير من مكان إلى مكان ومن زمان إلى زمان وهذا راجع لظروف عديدة من أهمها كثافة الهواء والضغط الجوي وكمية الإشعاع الشمسي . وهذا التغير البيني في درجة الحرارة يكون بالتناقص في درجة الحرارة بالارتفاع عن سطح البحر والزيادة عند الهبوط.

٢- معدل تغير درجة الحرارة للهواء الجاف أثناء الصعود أو الهبوط
Dry Adiabatic lapse Rate (DALR)

وهو التغير في درجة حرارة فقاعة الهواء التي لم تصل بعد إلى درجة التشبع ببخار الماء والناتج بشكل رئيسي عن تغير الضغط على تلك الفقاعة وليس بسبب الاختلاط بالبيئة المحيطة. فالفقاعة الصاعدة إلى أعلى لأي سبب من الأسباب يقل الضغط عليها فتتمدد فتنخفض درجة حرارتها بسبب ما تستهلكه من طاقة للتباعد بين جزيئاتها. وهذا التغير يتبع المعادلة الرياضية التالية:

$$g/C_p = T_d$$

حيث: g = تسارع الجاذبية الأرضية ومقداره 9.81 متر/ث2 .
Cp = الحرارة النوعية للهواء عند حجم ثابت ومقداره 1004 جول/كغم/مْ.

وبالتعويض نحصل على Td مقداره 9.8°C/1000m لذلك هذا التغير الذاتي الجاف شبه ثابت مقداره 10°C/1000m ما دامت الفقاعة جافة أي لم تصل إلى مرحلة التشبع. أيضاً الفقاعة الهابطة من أعلى إلى أسفل ترتفع درجة حرارتها بنفس المقدار بسبب انضغاطها وتقلص حجمها.

٣- معدل التغير الذاتي المشبع
Saturated Adiabatic Lapse Rate (SALR)

وهو تغير في درجة حرارة فقاعة الهواء التي وصلت إلى مرحلة التشبع ببخار الماء. وهذا التغير في درجة الحرارة ناتج بشكل رئيسي عن تغير الضغط على تلك الفقاعة وليس بسبب تأثير البيئة المحيطة. فالفقاعة الهوائية المشبعة الصاعدة إلى أعلى لأي سبب من الأسباب يقل الضغط عليها وتتمدد مما يؤدي إلى

انخفاض درجة حرارتها لهذا السبب ويسبب ما تستهلكه من طاقة عند بذلها جهداً أثناء صعودها إلى أعلى. وعلى العكس من التغير الذاتي الجاف فان التغير الذاتي المشبع ليس ثابتاً بل يتراوح ما بين 4.5 °C/1000m إلى 9.5 °C/1000m تقريبا. وسبب هذا التفاوت في قيمة التغير الذاتي الرطب هو أن فقاعة الهواء عندما تصعد إلى أعلى وتنخفض درجة حرارتها ويتكثف جزء مما بها من بخار ماء وبالتالي تنطلق الحرارة الكامنة للبخر لهذا الجزء Latent Heat أثناء عملية التكثف. هذا يجعل عملية التبريد الذاتي للفقاعة اقل من تلك الخاصة بالهواء الغير مشبع ويعتمد ذلك على كمية بخار الماء في تلك الفقاعة. ففقاعة الهواء التي تحمل كمية كبيرة من بخار الماء سوف تطلق كمية أكبر من الحرارة الكامنة أثناء عملية التكاثف وبالتالي يكون تبريد الفقاعة الذاتي أثناء الصعود أقل من 10 °C/1000m بشكل واضح أما الفقاعة التي تحمل كمية قليلة من بخار الماء فسوف تطلق حرارة كامنة أقل وبالتالي يكون تبريدها الذاتي أثناء الصعود أقل من 9.8 C/1000m ولكنه أكبر من الحالة الأولى.

إن من أهم العوامل التي تلعب دور في حدوث حالات الاستقرار و عدم الاستقرار الجوي هو التفاوت بين قيم المتغيرات الحرارية الثلاثة السابقة الذكر وهي SALR،DALR،E LR وبناءا على ما سبق يمكن تقسيم الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي إلى ثلاثة أقسام رئيسية وهي:

١ - استقرار جوي مطلق

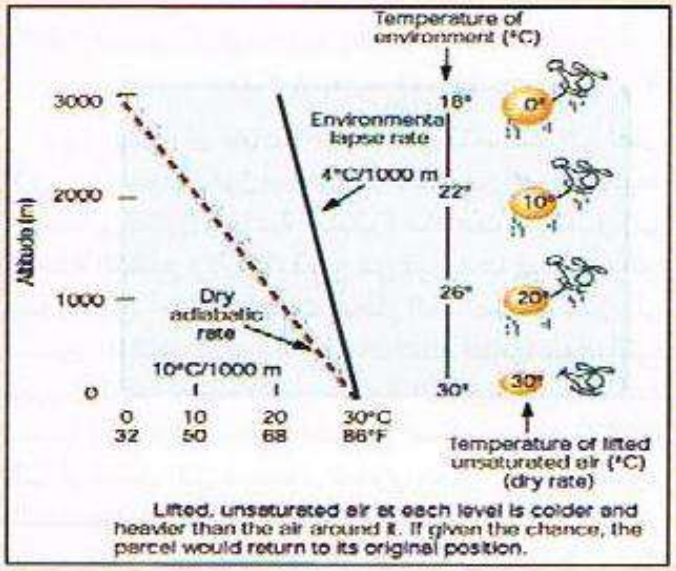
وهذا يحدث عندما يكون : SALR& DALR> ELR

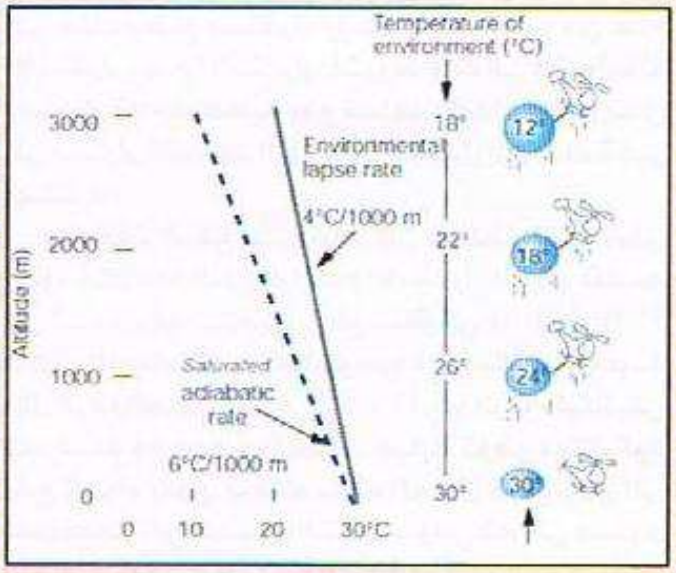
وهذا يعني أن فقاعة الهواء التي تصعد إلى أعلى سواءاً اتبعت في تبريدها تبريداً ذاتياً جافاً أو رطباً سوف تبقى دائما أبرد من البيئة المحيطة وبالتالي تكون كثافتها أكبر من كثافة الهواء المحيط بها فتهبط إلى أسفل لتكون حالة استقرار مستقرة حيث إن حالة الاستقرار الجوي مرتبطة بعدم وجود حركة رأسية للهواء وحالة عدم الاستقرار الجوي فهي مرتبطه بصعود وهبوط في الهواء.

٢ - عدم الاستقرار الجوي المطلق:

وهذا ما يحدث عندما يكون: SALR& DALR< ELR

وهذا يعني أن فقاعة الهواء التي تصعد إلى أعلى سواءاً اتبعت في تبريدها تبريداً ذاتياً جافاً أو رطباً سوف تكون دائما أدفأ من البيئة المحيطة وبالتالي تكون كثافتها أقل من كثافة الهواء في البيئة المحيطة فتصعد





شكل رقم (1) يوضح حالة استقرار جوى مطلق

إلى أعلى لتكون حالة عدم استقرار غير مستقرة. وتعتمد قوة عدم الاستقرار بشكل رئيسي على الفرق بين ELR وكل من DALR و SALR وكذلك على كمية بخار الماء في الجزء السفلي من الغلاف الجوي. فإذا كان هناك عدم استقرار جوي تام وكان هناك كمية كبيرة من بخار الماء في الجو برزت مظاهر عدم الاستقرار الجوي السابقة الذكر بشكل واضح لأن عملية التكثف كبيرة وفرصة تكون السحب كبيرة. أما إذا كان هناك حالة عدم استقرار جوي تام وكانت كمية بخار الماء في الغلاف الجوي قليلة جداً فإن مظاهر عدم الاستقرار الجوي السابقة الذكر لا تظهر وذلك لقلة السحب أو انعدامها وتوجد مظاهر اخرى لعدم الاستقرار تتمثل في إثارة الغبار المتصاعد والعواصف الترابية أحياناً.

٢- عدم الاستقرار الجوي المشروط: وتحدث هذه الحالة عندما يكون

DALR > ELR > SALR

وهذا يعني أن فقاعة الهواء التي تتصاعد إلى أعلى لأي سبب سوف تكون أبرد وأكثر كثافة من الهواء المحيط وبالتالي تكون فقاعة مستقرة مادامت لم تصل إلى مرحلة التشبع ولازالت تتبع في تبريدها تبريداً ذاتياً غير مشبع. أما إذا تشبعت ببخار الماء عندما تصل إلى مستوى التكثف Condensation Level فإنها سوف تتبع تبريداً ذاتياً رطباً فتقل عملية التبريد في الفقاعة بسبب إطلاق الحرارة الكامنة أثناء عملية التكثف إلى أن تصل إلى مستوى علوي معين يسمى مستوى التصاعد الحر Level of Free convection LFC والذي عنده تكون الفقاعة أدفأ من البيئة المحيطة فتتحول إلى فقاعة غير مستقرة. ويسمي هذا النوع من عدم الاستقرار بعدم الاستقرار المشروط لأنه في هذه الحالة يشترط تواجد عملية رفع تساعد الفقاعة لكي تصل إلى مستوى التصاعد الحر LFC لتتحول إلى فقاعة غير مستقرة.

وعمليات الرفع المتواجدة في البيئة والتي تحقق وجود مثل هذا النوع من عدم الاستقرار الجوي تنقسم إلى قسمين رفع ديناميكي ورفع ستاتيكي Static Lifting فالرفع الديناميكي مرتبط بوجود ديناميكية رفع معينة مثل الرفع الجبهي Frontal Lifting. أما الرفع الميكانيكي فمرتبط بوجود مرتفعات جبلية توفر ميكانيكية رفع للهواء الذي يرتطم بهذه الجبال مما يؤدي إلى تصاعدها إلى مستوى التكاثف ومن ثم إلى مستوى التصاعد الحر لتحدث حالة عدم الاستقرار الجوي. وكما هو الحال في الرفع الديناميكي بروز مظاهر عدم الاستقرار الجوي يعتمد على كمية بخار الماء المتوفرة في الهواء.

خريطة تي فاي The skew-T/log-P

تستخدم في رسم قطاع رأسي لدرجة الحرارة ، الرطوبة، والرياح في الغلاف الجوي. البيانات المستخدمة في رسمها يمكن ان تكون من خلال اجهزة الرايوسوند او الدروبوسوند او الطائرات او مخرجات النماذج العددية والاقمار الصناعية وذلك بهدف دراسة الاستقرار وعدم الاستقرار.

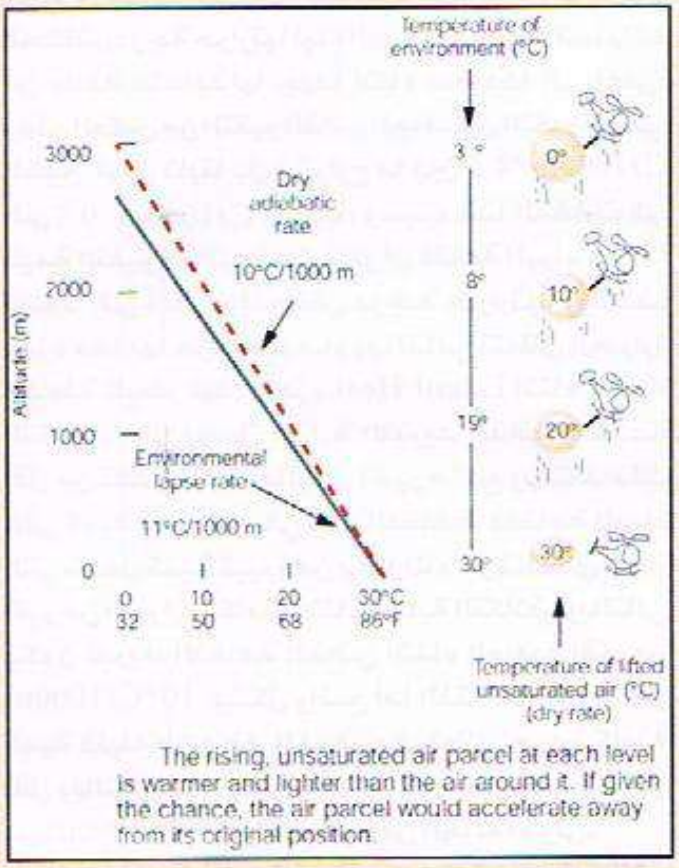
الفكرة الاساسية في رسمها:

١- حيث ان الضغط يقل كدالة لوغاريتمية مع الارتفاع . فانه يتم رسم خطوط ثابتة للضغط ولذلك سميت skew-T/log-P . قيم خطوط الضغط تتراوح من 1050 hPa اسفل الى 100 hPa اعلى تمثل كل 50 hPa.

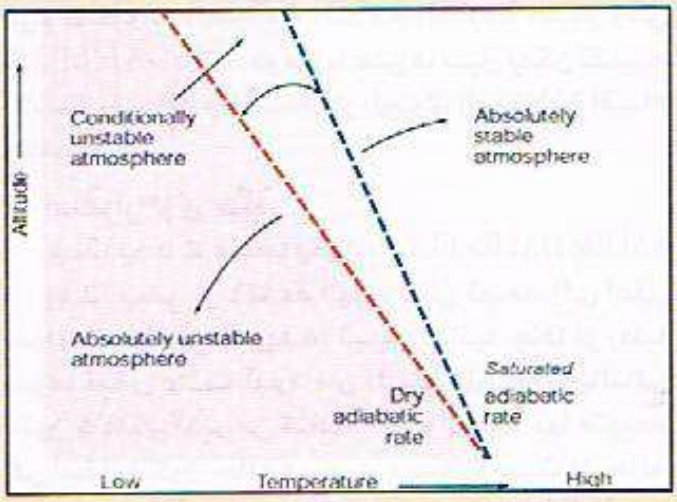
٢- خطوط Isotherms هي خطوط ثابتة للحرارة ويتم تمثيلها على شكل خطوط مستقيمة متصلة مائلة من اسفل لاعلى باتجاه اليمين.

٣- خطوط معدل التغير الذاتي الجاف لدرجة الحرارة في فقاعة الهواء

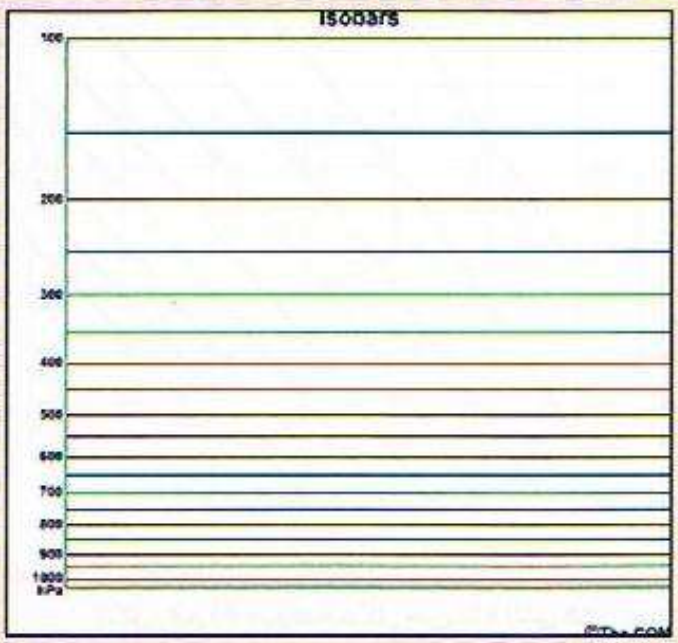
Dry adiabatic Lapse Rate.(DALR)



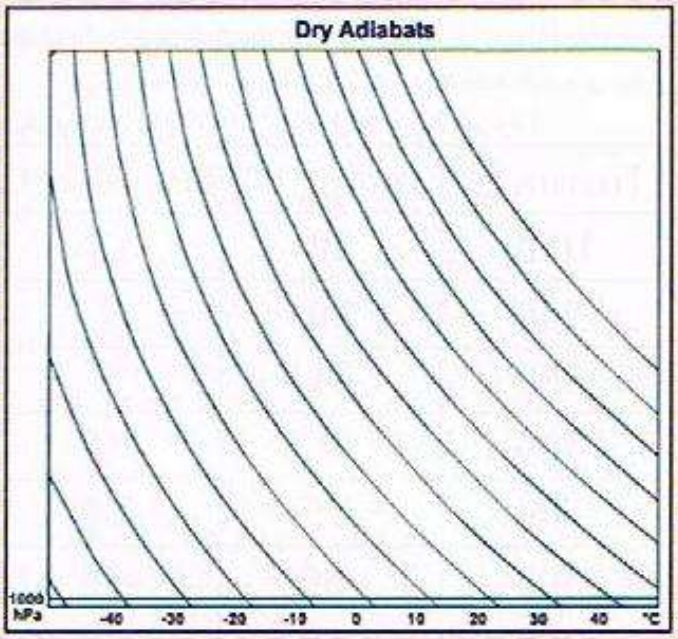
شكل رقم (2) يوضح حالة عدم استقرار جوى مطلق



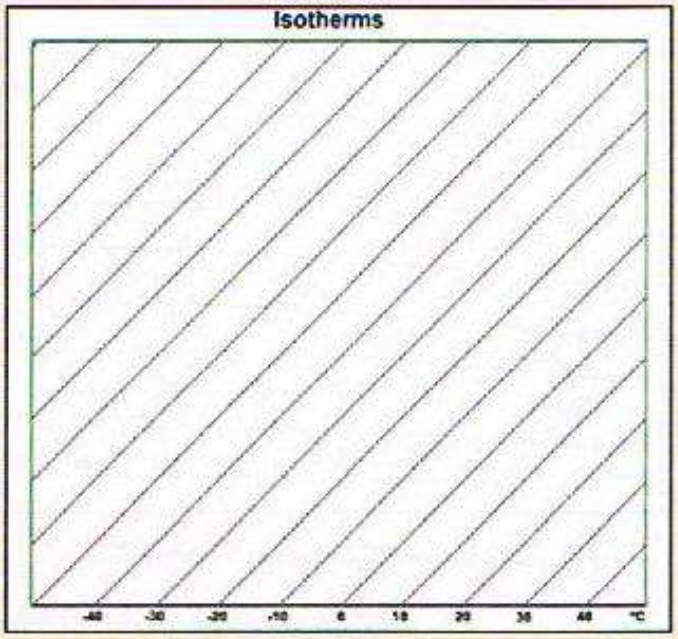
شكل رقم (3) يوضح حالة عدم استقرار جوى مشروط



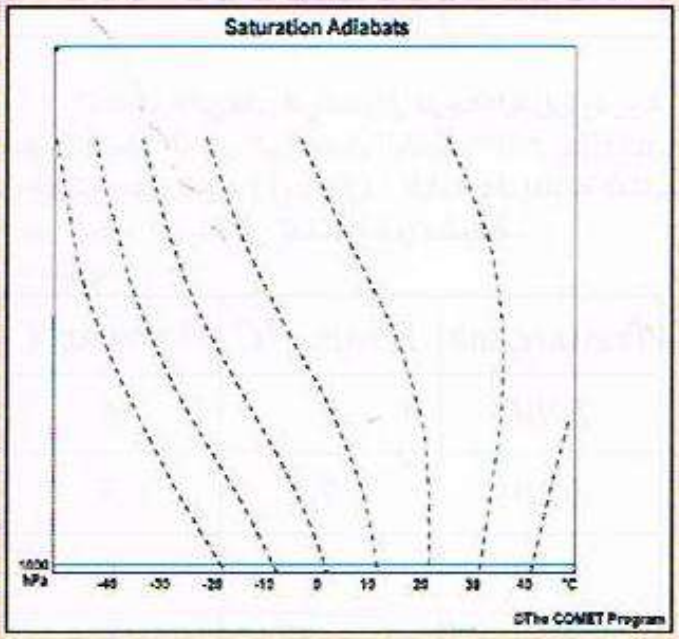
شكل رقم (4) يوضح شكل خطوط تساوى الضغط



شكل رقم (6) يوضح شكل خطوط معدل التغير الذاتي الجاف لدرجة الحرارة في فقاعة الهواء



شكل رقم (5) يوضح شكل خطوط تساوى درجات الحرارة



شكل رقم (7) يوضح شكل خطوط معدل التغير الذاتي المشبع لدرجة الحرارة في فقاعة الهواء

لدرجات حرارة جهدية ثابتة constant potential temperature يتم تمثيله بخطوط متصلة منحنية من اسفل اليمين لاعلى اليسار. وهذه الخطوط تعبر عن معدل تغير الحرارة لفقاعة الهواء الجاف تتصاعد او تهبط اديباتيكيا بدون فقد او اكتساب حرارة.

٤- خطوط معدل التغير الذاتي المشبع لدرجة الحرارة في فقاعة الهواء

Saturated Adiabatic Lapse Rate (SALR)

وتعرف ايضا pseudo-adiabats تمثل قيم ثابته لدرجة الحرارة الجهدية ويمكن رسمها بخطوط منقطة مائلة ولكن نلاحظ ان الميل والمسافات بين الخطوط تتغير مع الارتفاع ودرجة الحرارة وخاة في المتويات السفلى. خطوط التغير الذاتي المشبع تمثل معدل التغير في درجة الحرارة لفقاعة مشبعة ببخار الما ترتفع لاعلى ونلاحظ ان خطوط التغير الذاتي المشبع تبح موازية خطوط التغير الذاتي الجاف عند قيم منخفضة للرطوبة والحرارة والضغط.

٥- يتم تدوير الخريطة بزاوية ٤٥ درجة لذلك تكون

خطوط الضغط شبه أفقية (uasi-horizontal)

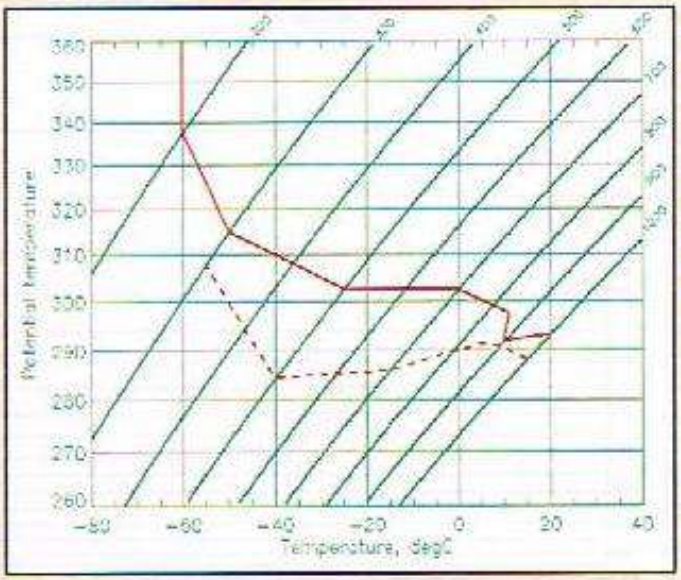
٦- يتم رسم درجة الحرارة ونقطة الندى على الخريطة (نقطة الندى تمثل كدرجة حرارة).

Pressure, mb	Temp., °C	Dew point, °C
1000	20	15
900	10	9
850	11	5
700	0	-15
500	-25	-40
300	-50	-55
200	-60	
100	-60	

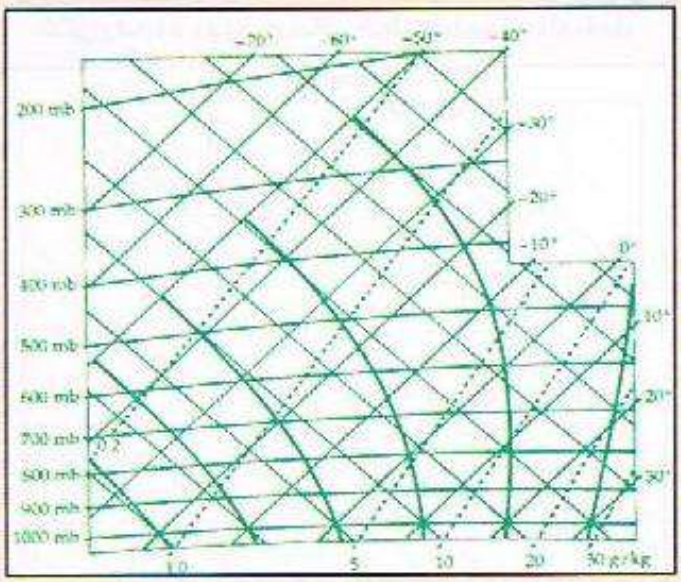
٧- تستخدم تي فاي في تحويل درجة الحرارة ودرجة حرارة نقطة الندى الى معدل الخلط mixing ratio. ووحدته جول/كجم (g kg-1) . الخطوط المائلة تمثل مسار صعود اديباتيكي لفقاعة هوا مشبعة .

مثال:

Pressure, mb	Temp., °C	Dew point, °C
1000	7	6
920	7	7
870	6	0
840	3.5	-1.5
700	-8	-16
500	-27	-36
300	-58	
250	-67	
200	-65	



شكل رقم (8) يوضح شكل خريطة التى فاى



شكل رقم (9) يوضح شكل خريطة التى فاى

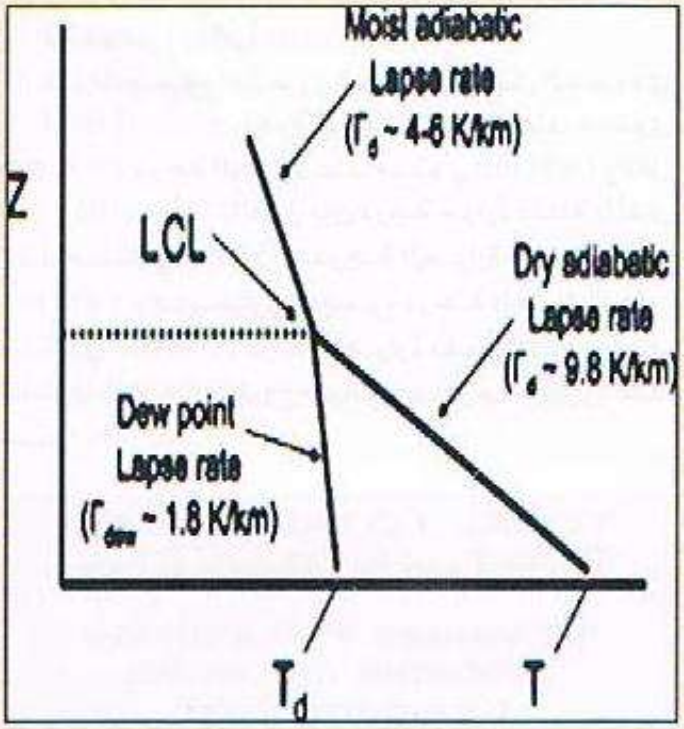
المعاملات التي يمكن حسابها من خلال:

Skew-T diagram او (Te-phi gram)

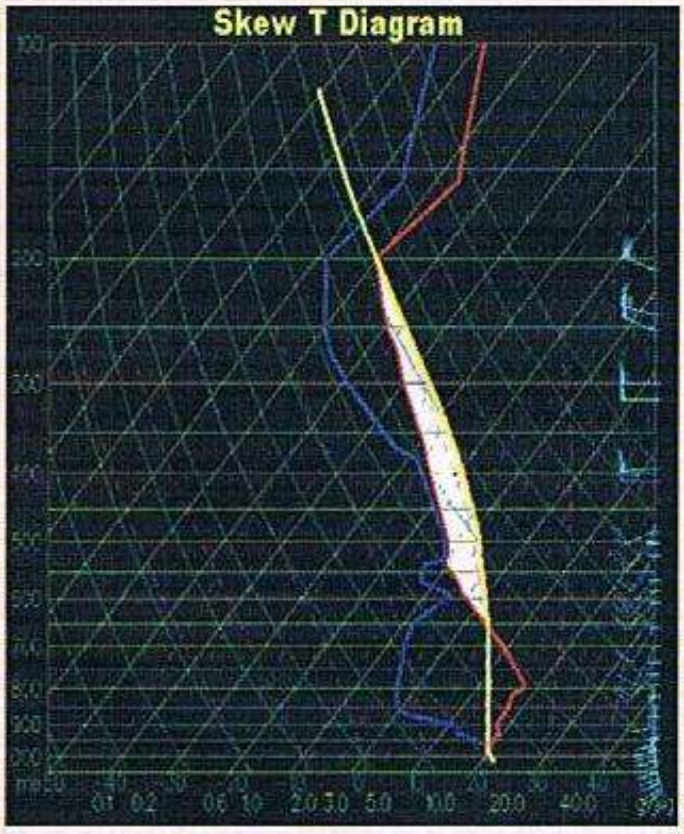
١- مستوى التكثف (lifted Condensation: Level (LCL

وهو الارتفاع الذي تصل عنده الرطوبة النسبية (RH) الى 100% عندما يبرد ذاتيا.

تزيد الرطوبة النسبية بالتبريد حيث تظل كمية بخار الماء الموجودة ثابتةعلى العكس فان ضغط تشبع البخار (saturation vapor pressure)يقل تدريجيا مع الحرارة .عند مستوى (LCL) يتكثف بخار الماء مكونا السحب.وبذلك يكون مستوى LCL مؤشرا لقاعدة السحب المتكونة ويمكن ملاحظة ذلك من خلال (Te-phi gram) او (Skew-T diagram)



شكل رقم (10) يوضح شكل مستوى LCL



شكل رقم (11) يوضح منطقة CAPE

$$CAPE = \int_{z_f}^{z_n} g\left(\frac{Tv_{parcel} - Tv_{env}}{Tv_{env}}\right) dz$$

الشكل (10) كما يتضح من الشكل فان جزئ الهواء كلما ارتفع كلما تقل درجة الحرارة وكذلك الضغط وايضا نقطة الندى وعند تساوي درجة حرارة نقطة الندى مع درجة حرارة جزئ الهواء نصل الى LCL.

معادلة ايبساي (Espy's equation):

$$h_{LCL} = \frac{T - T_d}{\Gamma_d - \Gamma_{dew}} = 125(T - T_d)$$

معادلة لورانس (Lawrence's formula):

$$h_{LCL} = (20 + \frac{T}{5})(100 - RH)$$

٢- درجة حرارة الترمومتر المبلل (Wet bulb temperature):

هي اقل درجة حرارة التي يمكن ان يبرد اليها الهواء بزيادة بخار الماء عند ثبوت الضغط

٣- مستوى التصاعد الحر (level of free convection):

وهو المستوى السفلي للمنطقة الموجبة CAPE وعندما تصل فقاعة الهواء لهذا المستوى فانه يصعد لأعلى.

٤- طاقة الوضع

Convective available potential energy (CAPE):

وهي كمية الطاقة اللازمة لتزيد من سرعة صعود جزئ الهواء لاعلى من خلال الشكل (1) فان الجزء البيض يسمى بمنطقة الطاقة الموجبة (Positive energy region) وهذه المنطقة يكون لها CAPE مقاسة بوحدة الجول لكل كيلوجرام. كلما زادت مساحة هذه CAPE كلما زادت طاقة جزئ الهواء التي تساعده على الاستمرار في الصعود لأعلى وهذه الطاقة تكون حوالي 2500J/Kg وهي الطاقة اللازمة لحدوث العواصف الصاعدة updrafts and Violent storms

CAPE Value	Convective potential
0	Stable
0-1000	Marginally Unstable
1000-2500	Moderately Unstable
2500-3500	Very Unstable
+ 3500	Extremely Unstable

٥ - معامل (Total-Totals index):

هو المجموع الجبري لكل من الكل العمودي vertical total (فرق درجة الحرارة عند مستوى 850 mb و درجة الحرارة عند مستوى 500 mb) والكل ال cross total (الفرق بين درجة حرارة نقطة الندى عند مستوي 850 mb و درجة الحرارة عند مستوى 500 mb)، وهويساوي مجموع درجة الحرارة عند مستوي 850 mb و درجة حرارة نقطة الندى عند مستوي 850 mb مطروح منهم ضعف درجة الحرارة عند مستوى 500 mb.

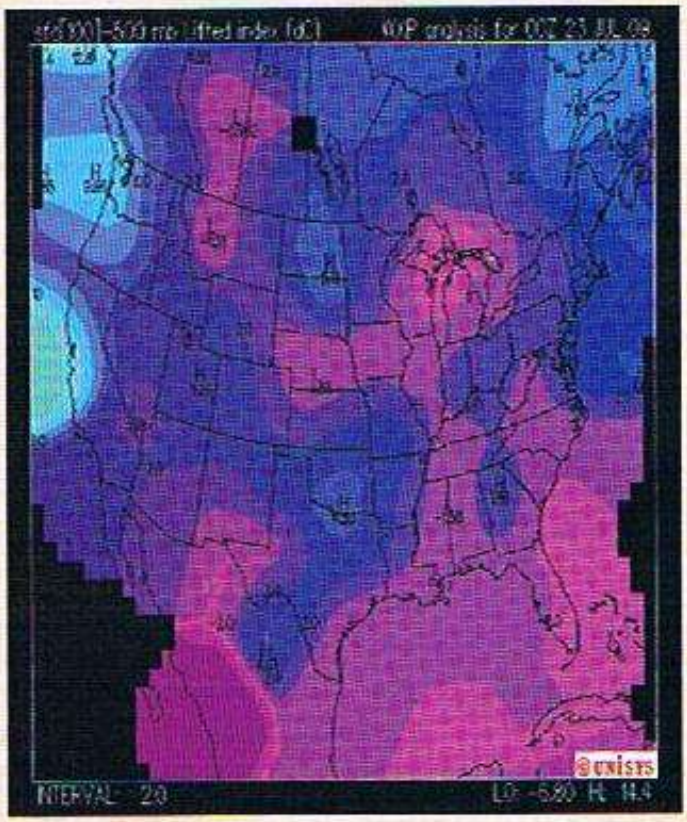
TOTAL TOTALS INDEX

$TT = T_{850} + Td_{850} - 2T_{500}$

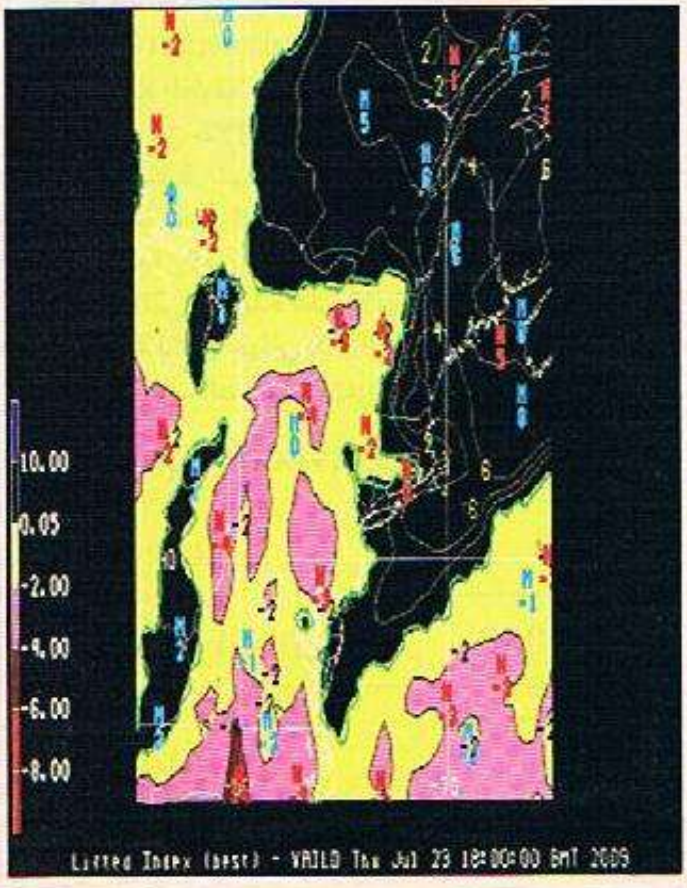
TT values +60 indicate probable moderate thunderstorms, with a possibility of scattered severe t-storms.

٦- معامل الرفع (Lifted index):

وهوفرق درجة حرارة جزئ الهواء عندما يصل الى مستوى 500 mb ودرجة حرارة البيئة المحيطة عند 500 mb. كلما كان معامل الرفع رقم سالب اكبر كلما كان الجزئ اسخن من المحيط وبذلك يستمر في الارتفاع وهنا يكون معامل الرفع مؤشر جيد لتكون السحب الرعدية .



شكل رقم (12) يوضح منطقة Lifted index



شكل رقم (13) يوضح منطقة Lifted index

LIFTED INDEX $LI = T_{500} - Tp_{500}$

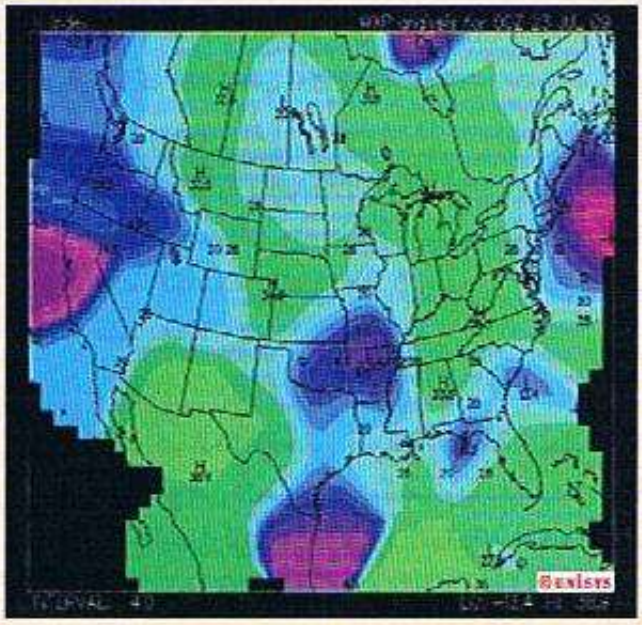
(LI)The Lifted Index			
RANGE IN K	COLOR	AMOUNT OF INSTABILITY	THUNDER STORM PROBABILITY
more 11than	BLUE	Extremely stable conditions	Thunderstorms unlikely
118 to	LIGHT BLUE	Very stable conditions	Thunderstorms unlikely
74 to	GREEN	Stable conditions	Thunderstorms unlikely
30 to	LIGHT GREEN	Mostly stable conditions	Thunderstorm unlikely
1--3 to	YELLOW	Slightly unstable	Thunderstorms possible
4--5 to	ORANGE	Unstable	Thunderstorms probable
6--7 to	RED	Highly unstable	Severe thunderstorms possible
less 7-than	VIOLET	Extremely unstable	Violent thunderstorms, tornadoes possible

٧- معامل K-index :

هو مؤشر غير جيد للعواصف الرعدية الشديدة ، الهواء الجاف عند مستوى 700mb سوف يعطي قيمة صغيرة للمعامل K

$$K\text{-INDEX} = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$$

Lifted (LI)Index	Severe Potential	*K-Index	Air mass Thunderstorm Probability
2-0 to	Weak	15>	%0near
		20-15	%20
5-3 to	Moderate	25-21	%40-21
		30-26	%60-41
6-<	Strong	35-31	%80-61
		40-36	%90-81
		40<	%100near



شكل رقم (14) يوضح شكل معامل K-index

٨- المعامل سويت (Sweat index) :

$$SWEAT = 12Td_{850} + 20(TT - 49) + 2f_{850} + f_{500} + 125(s + 0.2)$$

حيث TT هي معامل الكلي للكل (The Totals Totals index).f هي سرعة الرياح بالعقدة ، s هي

s = sin (500 mb wind direction - 850 mb wind direction).

- عندما تكون قيمة المعامل سويت 250+ تكون مؤشر لتجمع قوي strong convection
- عندما تكون القيمة 300+ فان ذلك هو نقطة بداية العواصف الرعدية الشديدة
- عندما تكون القيمة 400+ فذلك هو نقطة بداية اعصار التورنيدو

٩- درجة الحرارة الجهدية للترمومتر المبلل (Wet bulb potential temperature)

هي درجة حرارة جزئ الهواء عند مستوى 1000mb . ويمكن تحديدها برسم خط من عند درجة حرارة الترمومتر المبلل موازي لخط التشبع الاديباتيكي الى مستوى 1000mb او مستوى 200mb.

١٠- درجة حرارة الترمومتر المبلل صفر (zero :Wet bulb)

هو الارتفاع الذي تكون عنده درجة حرارة الترمومتر المبلل اقل من الصفر.

SHOWALTER INDEX SI

500Tp-500 SI = T

عندما يكون Tp500 هي درجة حرارة فقاعة الهواء الذي حمل تصاعد جاف اديباتيكي من مستوى 850 مللي بار الى مستوى التكثف lcl وتصاعد رطب اديباتيكي الى مستوى 500 مللي بار.

- عندما يكون SI values +3 ذلك يدل على امطار غزيرة وعواصف رعدية
- عندما يكون SI values -3 ذلك يدل على نشاط الحمل الحراري

١١- Wet-bulb Temperature

درجة حرارة الترمومتر المبلل TW هي اقل درجة حرارة يمكن ان يبرد اليها الهواء بزيادة بخار الماء فيه عند ثبوت الضغطوبالطبع الحرارة اللازمة للتبخير تكون مستمدة من الهواء.

١٢- Virtual Temperature

درجة الحرارة الظاهري TV هي قيمة محسوبة بناء على درجة حرارة الهواء وكمية الماء الذي يحتويه ويمكن حسابها من المعادلة الآتية:

$$T_V = T + \frac{W}{6},$$

where T_V = virtual temperature at a pressure level,

T = temperature at the pressure level, and

W = actual mixing ratio at the pressure level.

١٣- Value of perceptible water in inches

هي كمية الماء السائل على السطح بعد ان وصل كل الماء الموجود في الثلاث اطوار الى السطح.

- اكثر من 1.75 انش يمثل السبر المياه المحملة
- اقل من 0.75 انش تمثل السبر جافة إلى حد ما
- القيم العليا تستنتج الاستقرار المتوسط والأعلى مستوى وتشير أيضا منطقة ذوبان كبيرة لهبوط البرد.
- تشير مرتفعات WBZ السفلى أن الجو مستوى منخفض غالبا ما يكون باردا جدا ومستقرة لدعم البرد واسع.

بعض التعريفات:

الرطوبة المطلقة (absolute humidity)

هي عبارة عن كتلة بخار الماء الموجودة في وحدة الحجوم من الهواء ويعبر عنها بعدد جرامات بخار الماء الموجودة في متر مكعب من الهواء.

الرطوبة النسبية (relative humidity)

هي النسبة المئوية بين كمية بخار الماء الموجودة فعلا في حجم معين من الهواء والكمية اللازمة لتشبع هذا الحجم ببخار الماء في نفس درجة الحرارة.

0 to 40%	very low
to 60%	low 41
to 80%	moderate 61
to 100%	Moist 81

نسبة الخلط (mixing ratio)

وزن بخار الماء بالجرام الممزوجة بواحد كيلو جرام من الهواء الجاف.

نقطة الندى (dew point)

هي درجة الحرارة التي لو برد اليها الهواء اصبح مشبع بما فيه من بخار ماء مع ثبوت الضغط وكمية بخار الماء.

CAP

قوة ال CAP بالدرجات ، القيم اعلى من 2 تشير ان الحمل الحراري لا يحدث في ما لا يقل عن الساعات القليلة القادمة. CAP يحتاج إلى أن يكون أقل من 2 في عام قبل أن يتم كسر.

BRN: Bulk Richardson Number

(Bulk Richardson Number = (CAPE / 0-6km shear)

less than 45 Supercells

Less than 10 Environment too sheared

Teens Optimum for severe storms, good balance of CAPE and shear

Potential Temperature

درجة الحرارة التي تنطلق عند الصعود او الهبوط لفقاعة الهواء إلى مستوى 1000 ملي بار من المستوى الضغطي الموجوده فيه.

Equivalent Potential Temperature

المعروف أيضا باسم THETA-E. وهو درجة حرارة فقاعة الهواء بعد ان تنطلق كل الطاقة الحرارية الكامنة للفقاعة ثم يصل إلى مستوى 1000 ملي بار.

Convective instability

يحدث عندما تغطي طبقة جافة طبقة حارة ورطبة. الرفع في الجو يتسبب في زيادة معدل التغير في درجة الحرارة عندما تبرد الطبقة السفلى عند WALR بينما تبرد الطبقة الجافة عند DALR

Hydrolapse

الزيادة السريعة أو نقصان في نقطة الندى مع الارتفاع.