

## استخدام التحليل الثيرموديناميكي للتوقع قصير المدى للعواصف الرعدية في وسط المملكة العربية السعودية

فهد بن محمد الكلبي

أستاذ مشارك، قسم الجغرافيا، جامعة الملك سعود،

الرياض، المملكة العربية السعودية

(قدم للنشر في ١٥ / ١ / ١٤٢٩هـ، وقبل للنشر في ١٢ / ٦ / ١٤٢٩هـ)

**ملخص البحث.** بالرغم مما تجلبه العواصف الرعدية من خير لوسط المملكة من خلال ما تسقطه من أمطار، بقدرة الله، إلا أنها تتسبب في أحيان كثيرة في كثير من الأضرار؛ بسبب ما يصاحبها من رعد وبرق، وسيول مفاجئة، ورياح قوية، وبرد. لذلك تأتي هذه الدراسة محاولة لاستخدام التحليل الثيرموديناميكي لوضع معايير وقيم حدية لمتغيرات ميثورولوجية عديدة لتوقع العواصف الرعدية في وسط المملكة قبل حدوثها بساعات تتراوح بين ٨ و ١٦ ساعة تقريبا. وقد تحقق ذلك من خلال دراسة ٢٤ حالة جوية لمحطة مدينة الرياض في الفترة ما بين ١٩٩٤ و ٢٠٠٠م وذلك باستخدام العديد من الأساليب الإحصائية والميثورولوجية. وبناءً على ذلك وضعت قيم حدية لبعض المتغيرات المدروسة التي أتضح أن لتغير قيمها ارتباطاً وثيقاً بتغير حالة الجو من مستقر إلى غير مستقر. ومن خلال تحليل عناصر الأرصاد تم تحديد النمط الثيرموديناميكي للغلاف الجوي الذي يتكون قبيل حدوث العواصف الرعدية. وللتأكد من جودة تلك القيم الحدية وتلك الأنماط لتوقع العواصف الرعدية فقد تم اختبارها من خلال تطبيقها على خمس حالات جوية مستقلة.

وقد اتضح أن هناك نمطين جويين ثيرموديناميين مصاحبين للعواصف الرعدية فوق وسط المملكة، أحدهما شتوي والآخر خريفي ربيعي. وقد تبين من ضمن العدد الكبير من المتغيرات المدروسة أن هناك أحد عشر متغيراً في فصل الشتاء وتسعة متغيرات في فصل الخريف والربيع يتكون لها قيم مميزة قبيل نشوء العواصف الرعدية. وبينت النتائج أنه يجب عدم الاعتماد على متغير واحد أو متغيرين ضمن المتغيرات المذكورة لتوقع العواصف الرعدية فوق وسط المملكة فحسب بل يجب فحص المتغيرات المذكورة مجتمعة كما تم تطبيقه في هذه الدراسة. تبين من تحليل عناصر الأرصاد أن شكل النموذج لثيرموديناميكي  $Skew T Log P$  الممثل للتوزيع الراسي لعناصر الأرصاد قبيل نشوء العواصف الرعدية مميز ويمتاز بخصائص واضحة تمكن من التوقع القصير

للعواصف الرعدية في المنطقة. وأخيرا خلصت هذه الدراسة، من خلال التطبيق العملي على حالات جوية مستقلة إلى أن القيم الحدية والنماذج لثيرموديناميكية لنمط استقرار الجو من عدمه أعطت نتائج جيدة يمكن الاعتماد عليها للتوقع قصير المدى للعواصف الرعدية في وسط المملكة.

## مقدمة

تعد العواصف الرعدية في كثير من مناطق العالم من أهم مظاهر الطقس التي يجب توقعها والاستعداد لها لكي يمكن تقليص الأضرار البشرية والمادية الناتجة عنها. والعواصف الرعدية تحدث في أغلب مناطق العالم وبالذات في العروض الوسطى والمدارية<sup>(١)</sup>. وبحكم موقع وسط المملكة العربية السعودية الفلكي والجغرافي فإنه يتعرض لعواصف رعدية ما بين فترة وأخرى خلال العام وبالذات في فصل الربيع. وبالرغم مما تجلبه هذه العواصف من أمطار يعم بها النفع، بإذن الله، إلا أنها قد تتسبب في خسائر بشرية ومادية. من هنا تأتي هذه الدراسة لتغطية تلك الإشكالات محاولة لمعرفة الأنماط الجوية التي تسبق العواصف الرعدية في وسط المملكة وفهم الديناميكيات الجوية التي تؤدي إلى حدوثها في كل فصل من فصول العام ومعرفة الأنماط الثيرموديناميكية للمقطع الرأسي لطبقة التروبوسفير قبيل حدوث العواصف الرعدية ليتم وضع معايير وقيم حدية تساعد في التوقع قصير المدى للعواصف الرعدية فوق منطقة الدراسة.

## مشكلة البحث

في كثير من الأحيان تحدث العواصف الرعدية في وسط المملكة بشكل مفاجئ وسريع خلال ساعات قلائل دون أن تكون تلك العواصف ضمن التوقعات الجوية حتى وإن كانت التوقعات الجوية التي تصدرها رئاسة الأرصاد وحماية البيئة قد وضعت احتمالاً لسقوط الأمطار. وحدثت تلك العواصف الرعدية بشكل مفاجئ ودون أن توضع في الحسبان، يترتب عليه كثير من الأضرار البشرية والمادية في المنطقة، وذلك نتيجة لما يصاحب هذه العواصف من سيول جارفة ورياح شديدة وبرق ورعد شديد وفي بعض الأحيان سقوط حبات من البرد. هذه هي مشكلة البحث والبحث يسعى لتقصي إمكانية توقع تلك العواصف الرعدية قبيل حدوثها بساعات مما سوف يمكن من الحد من أثارها السلبية.

## أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في أن التوقع قصير المدى للعواصف الرعدية في وسط المملكة سوف يمكن من الاستعداد لها وبالتالي الحد من أثارها السلبية والمتمثلة في الأضرار البشرية الكثيرة والأضرار المادية الضخمة التي تحدث سنويا نتيجة لعدم الاستعداد

(١) Barry, R.G. & Richard J. Chorley, *Atmosphere Weather and Climate*. New York, Routledge, (2001)

وضرورياً<sup>(٢)</sup>. ومن أهم الأمور التي يجب توافرها عند التوقع قصير المدى للعواصف الرعدية هو فهم بيئة الجزء السفلى من الغلاف الجوي للمنطقة المدروسة وخصائصه التيرموديناميكية<sup>(٣)</sup>. في هذا البحث تحقق ذلك من خلال دراسة الوضع المتيورولوجي الذي يسبق تكوّن العواصف الرعدية في وسط المملكة وتم بناء نماذج تبين حالة المقطع الرأسي لطبقة التروبوسفير فوق وسط المملكة قبيل حدوث تلك العواصف الرعدية. تم هذا من خلال استخدام التحليل التيرموديناميكي مع العديد من الأساليب المتيورولوجية والإحصائية الأخرى. إن تحليل معلومات السبر الجوي قبيل حدوث العاصفة الرعدية يساعد كثيرا في التوقع القصير المدى لها<sup>(٤)</sup> لذلك تم في هذا البحث بناء النماذج التيرموديناميكية المسماة *Skew T Log P Thermodynamic Diagrams* وفقا للتوزيع الرأسي لقيم  $T$  و  $Td$  للحالات المدروسة باستخدام برنامج *Radio Observation (RAOB)*<sup>(٥)</sup> وقد

للسيول الجارفة والرياح شديدة وحالات البرق والرعد الشديدة وسقوط البرد. كذلك هناك أهميته أخرى لهذا البحث وهو قلة توفر مثل هذه الدراسات على مناطق المملكة.

### أهداف البحث

يمكن تلخيص أهداف هذا البحث على النحو التالي:

- ١- معرفة الوضع التيرموديناميكي العلوي فوق وسط المملكة قبيل حدوث العواصف الرعدية (ما بين ٨ إلى ١٦ ساعة).
- ٢- معرفة الظروف المتيورولوجية المؤدية لحدوث العواصف الرعدية وسط المملكة.
- ٣- معرفة نمط المقطع الرأسي لطبقة التروبوسفير (*Troposphere Vertical Sounding*) فوق وسط المملكة قبيل حدوث حالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي لكل فصل من فصول السنة ومن ثم تحديد الأنماط المصاحبة للعواصف الرعدية.
- ٤- تحديد إمكانية توقع العواصف الرعدية في وسط المملكة قبيل حدوثها بساعات قليلة بعد تحقيق الأهداف الثلاثة السابقة.

### منهجية البحث وأساليبه ومعلوماته

#### ١- منهج البحث وأساليبه

يعدُّ ابتكار أساليب علمية لتوقع العواصف الرعدية في أي إقليم جغرافي جهداً مهماً

(٢) enry, L. H, A Static Stability Index for Low-Topped Convection.

*Weather and Forecasting*, 15, 246-254, (2000)

(٣) NOAA, National Weather Service, Capabilities of Thermodynamic

and Kinematics Severe Weather Parameters. *How to Use the Parameters in Severe Weather Forecasting and Warning Operations*. 1, 5-121, (2006)

(٤) Fedonov, A. V. and G. Philonder, A Stability Analysis of Tropical

Ocean-Atmosphere Interaction: Bridging Measurements and Theory for El Nino., *Journal of Climate*, 14, 3086-3101. (2001).

(٥) Haklander, A.J and Delden, A.V, Thunderstorm predictors and their

forecast skill for the Netherlands. *Atmospheric Research*, 67, 273-299, (2003), & Mueller C.K, James W. Wilson, and N. Andrew Crook, The Utility of Sounding and Mesonet Data to Now cast Thunderstorm Initiation. *Weather and Forecasting*, 8 (1), 132-146 . (1993)

العاصفة الرعدية في هذه الدراسة على أنها "تلك الحالة الجوية التي يصاحبها برق ورعد ونسقط معها أمطار تبلغ نحو ٥ ملم أو أكثر. بناءً على ذلك يمكن القول إن هذا البحث يتبع المنهج الاستدلالي من خلال الاستدلال على حالة طبقة التروبوسفير فوق وسط المملكة قبيل حدوث العواصف الرعدية بناءً على دراسة حالات معينة، وذلك للاستدلال على نمط الغلاف الجوي فوق المدينة قبيل حدوث العواصف مما يساعد على توقعها.

اعتمد التحليل الثيرموديناميكي والميتورولوجي للحالات المدروسة على فحص متغيرات عديدة لتحقيق فهم أدق للحالات وبالتالي إمكانية توقع حدوث العواصف الرعدية بشكل أدق، وقد سميت تلك المتغيرات في هذه الدراسة بالمتغيرات الأساسية وهي على النحو التالي:

١- مؤشرات عدم الاستقرار الجوي التالية:  
*K Index (KI), Lifted Index (LI), Shoultter Index (SI), Total Total Index (TTI), Sweat Index, (Sweat I).* ويجب الإشارة إلى أن هناك تفاوتاً في جودة تلك المؤشرات في الكشف عن حالة استقرار الجو من عدمه. لذلك من المستحسن استخدام نتائج تلك المؤشرات مجتمعة وليست منفردة<sup>(٨)</sup>. ولكل واحد من

اختيرت محطة الرياض العلوية لتمثل المناطق المدروسة وهي المناطق الوسطى من المملكة لكونها تتوسط تلك المناطق ولكون حالة الجو العلوية فوق الرياض لا تختلف كثيراً عن بقية مناطق وسط المملكة<sup>(٦)</sup>.

تحدث العواصف الرعدية في وسط المملكة بشكل رئيس في فصل الربيع، إلا أنها قد تحدث في فصلي الشتاء والخريف<sup>(٧)</sup>. لذلك درست أربع وعشرون حالة جوية منها ست حالات استقرار جوي وثمانية عشر حالة عدم استقرار جوي موزعة على الفصول الثلاثة الشتاء والربيع والخريف (ملحق ٢ بين بعض الأمثلة). فحصت كل حالة درست على حدة ومن ثم تم تحديد قيم حدية للمتغيرات المدروسة لتصنيف حالة الجو إلى مستقر، عدم استقرار ضعيف، عدم استقرار متوسط، وعدم استقرار قوي. وقد استخدمت هذه القيم الحدية لعدم الاستقرار القوي مع النماذج الثيرموديناميكية المستنبطة لتوقع العواصف الرعدية. وللتأكد من جودة التوقع، تم تطبيق التوقع على خمسة أيام حدثت فيها عواصف رعدية حادة وهذه الأيام مستقلة ليست من ضمن الأربع والعشرين حالة المدروسة والمحللة (جدول ٣ و٤). وقد عُرِّفت

(٦) ألكليبي ٢، فهد محمد، فاعلية مؤشرات عدم الاستقرار الجوي الرياضية المعمول بها في وسط المملكة العربية السعودية. سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، ٦٥، ٤٠-١، (٢٠٠٤م).

(٧) العيوني، سمير بن حمزة، "الأنماط الجوية المرتبطة بالعواصف الرعدية الشديدة في المملكة العربية السعودية"، رسالة دكتوراه مقدمة لتقسيم الجغرافيا بكلية الآداب بجامعة الملك سعود. (٢٠٠٥م).

(٨) ألكليبي ٢، فهد محمد، مرجع سابق، فاعلية مؤشرات عدم الاستقرار الجوي الرياضية المعمول بها في وسط المملكة العربية السعودية. سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، ٦٥، ٤٠-١، (٢٠٠٤م).

١٢- السماكة بين مستوى ١٠٠٠ ملليبار ومستوى ٥٠٠ مليا (1000mb-500mb Thickness)  
 ١٣- نوع التآفق الهوائي Wind Advection Type  
 وبعد أن تم بناء النماذج للمقطع الرأسي لطبقة التروبوسفير (Composed Vertical Sounding Model) فوق وسط المملكة فحصت جودة هذه النماذج لتوقع العواصف الرعدية لأيام لم تدخل ضمن الأربع والعشرين حالة المدروسة وتم التعامل مع تلك الحالات بوصفها معلومات مستقلة تماما عن معلومات الدراسة (Set of Independent Data). والهدف من ذلك هو التأكد من جودة النماذج لتوقع العواصف الرعدية مستقبلاً.

## ٢- معلومات البحث

تنقسم معلومات البحث إلى قسمين: الأول يتعلق بالمعلومات السطحية وهي معلومات الطقس اليومية لرئاسة الأرصاد وحماية البيئة والثاني يتعلق بالمعلومات العلوية وهي أيضا من رئاسة الأرصاد وحماية البيئة المسماة Temp Data. وقد اختيرت الحالات الجوية المدروسة بناءً على بعض المعايير الميئورولوجية، ومن ثم تم تطبيق أسلوب العينة العشوائية الطبقيّة على معلومات يومية تشمل أكثر من ٢٥٥٠ حالة للفترة من يناير ١٩٩٤ حتى ديسمبر ٢٠٠٠م. اختيرت العينة بعد تقسيم الأيام إلى طبقتين:

تلك المؤشرات معادلة رياضية يمكن الرجوع لها في ملحق ١.

٢- الرطوبة النسبية على طول المقطع الرأسي لطبقة التروبوسفير فوق وسط المملكة، خاصة ما بين المستويين ١٠٠٠ ملليبار و٧٠٠ ملليبار.

٣- طبقات الانقلاب الحراري Temperature Inversion Layers على طول المقطع الرأسي لطبقة التروبوسفير فوق وسط المملكة.

٤- سرعة الرياح واتجاهها في كل مستوى علوي.

٥- المستويات المعنوية Significant Levels

مثل:

Convective Condensation Level (CCL), Lifted Condensation level (LCL), Level of Free Convection (LFC), and Equilibrium Level (EL).

٦- مناطق الطاقة السالبة والموجبة (Areas of

Positive and Negative Energy) وذلك لتحديد آليه تصاعد الفقاعة الهوائية أثناء الحالة المدروسة (Bouncy Mechanism) وتحديد مقدار الطاقة الداعمة لحالات عدم الاستقرار الجوي.

٧- تحليل درجة حرارة نقطة الندى Dew point

Temperature عند السطح وعند مستوى ٨٥٠ ملليبار.

٩- عمق درجة حرارة نقطة الندى Dew

Point Depression DPD

١٠- درجة حرارة التصاعد الحملاني

(Convective Temperature)

١١- مستوى التجمد (Freezing Level).

ونماذجها التيرموديناميكية أن أهم المتغيرات التي يحدث في قيمها فرق واضح ما بين حالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي في فصل الشتاء عشرة متغيرات هي :

- ١- درجة الحمل *Convective Temperature Tc*
- ٢- درجة الحرارة السطحية *Surface Temperature T*
- ٣- درجة حرارة نقطة الندى السطحية *Surface Dew Point Temperature Td*
- ٤- سرعة الرياح السطحية *Surface Wind Speed*
- ٥- سرعة الرياح القصوى العلوية *Upper Maximum Wind Speed*
- ٦- عمق درجة حرارة نقطة الندى *Dew Point Depression DPD*
- ٧- مستوى التكاثف الحملاني *Convective Condensation Level CCL*
- ٨- مستوى التكاثف الرفعي *Lifted Condensation level LCL*
- ٩- مستوى التجمد *Freezing Level*
- ١٠- قيم مؤشرات عدم الاستقرار الجوي *LI, SI, KI, TTI, SWI*

وقد فحصت قيم تلك المتغيرات فحصاً دقيقاً لجميع الحالات الشتوية المدروسة وأمكن بناء جدول للقيم الحدية التي تصاحب حالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي بدرجاته المختلفة لفصل الشتاء (جدول ١).

الأولى تمثل أيام ذات استقرار جوي والثانية تمثل أيام ذات عدم استقرار جوي. ويرجع سبب اختيار هذه الفترة الزمنية إلى توفر المعلومات المسماة *Temp Data* متوفرة بشكل منتظم ومكتمل فقط للفترة التي امتدت من ١٩٩٤ يناير حتى ديسمبر ٢٠٠٠ م. هذه الفترة تعد فترة كافية جداً لمثل هذا النوع من الدراسات الجوية لأننا نحتاج إلى عدد قليل من الحالات الجوية خلال فترة تمتد سبع سنوات. حالات هذه الدراسة هي ٢٩ حالة ولم يكن من الصعب أن نحصل على ٢٩ حالة جوية من مجموع ٢٥٥٥ حالة جوية خلال سبع سنوات.

### النتائج

أوضح من التحليل التيرموديناميكي والميتيورولوجي للمتغيرات السابقة لكل الحالات المدروسة وبناء نماذجها التيرموديناميكية *Skew T Log P Thermodynamic Diagrams* أن هناك نمطين لحالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي وهما النمط الشتوي والنمط الربيعي الخريفي الذي يشمل حالات الربيع والخريف. وفي الفقرة التالية سوف نستعرض هذين النمطين كل على حدة.

### النمط الشتوي

يحدث هذا النمط عادة في ثلاثة أشهر هي ديسمبر ويناير وفبراير. وقد تبين من الفحص الدقيق ومن التحليل التيرموديناميكي للحالات الشتوية

الجدول رقم (١). القيم الحدية للمتغيرات الأساسية لاستقرار الجو من عدمه في فصل الشتاء بناءً على الفحص الدقيق لجميع الحالات المدروسة.

حالة الجو وقيمها الحدية				المتغير
عدم استقرار	عدم استقرار	عدم استقرار	استقرار	
أكثر من ١١	٨ - ١١	٨ - ٥	أقل من ٥	T (c)
أكثر من ٨	٨ - ٦	٥ - ٣	أقل من ٣	Td (c)
أكثر من ٨	٨ - ٥	٥ - ٢	أقل من ٢	SFC wind speed (Knt)
أقل من ٢٢	٢٢ - ٢٧	٢٧ - ٣٣	أكبر من ٣٣	Tc (c)
أكثر من ١٢٠	١٢٠ - ١٠٠	١٠٠ - ٨٠	أقل من ٨٠	Upper Max W speed (knt)
أقل من ٩٥٠٠	-١١٠٠٠	١١٠٠٠ - ١٢٥٠٠	أكثر من ١٢٥٠٠	Freezing Level (ft)
أقل من ٣	٣ - ٥	٥ - ٧	أكثر من ٧	SFC DPD (c)
أقل من ٥٠٠٠	-١٠٠٠٠	١٠٠٠٠ - ١٧٠٠٠	أكثر من ١٧٠٠٠	CCL (ft)
أقل من ٢٠٠٠	٢٠٠٠ - ٦٠٠٠	- - ١٠٠٠٠	أكثر من ١٠٠٠٠	LCL (ft)
أقل من ٠	٠ - ٥	٥ - ١٥	أكثر من ١٥	LI
أقل من ٤	٤ - ٩	٩ - ١٦	أكثر من ١٦	SI
أكثر من ٢٧	٢٦ - ٢٠	٢٠ - ١٢	أقل من ١٢	KI
أكثر من ٤٤	٤٤ - ٣٤	٣٤ - ٢٠	أقل من ٢٠	TTI
أكثر من ٣٣٠	٣٣٠ - ٢٥٠	٢٥٠ - ١٠٠	أقل من ١٠٠	SWI

- النمط الربيعي والخريفي**
- ١- درجة الحمل *Convective Temperature Tc*
- ٢- درجة حرارة نقطة الندى السطحية *Surface Dew Point Temperature Td*
- ٣- سرعة الرياح السطحية *Surface Wind Speed*
- ٤- سرعة الرياح القصوى العلوية *Upper Maximum Wind Speed*
- ٥- عمق درجة حرارة نقطة الندى *Dew Point Depression DPD*
- يحصل هذا النمط في الغالب في أربعة أشهر هي أكتوبر ونوفمبر ومارس وأبريل. وقد تبين من الفحص الدقيق للحالات الجوية لهذين الفصلين ومن التحليل الثيرموديناميكي لتلك الحالات أن أهم المتغيرات التي يحصل فرق واضح في قيمها ما بين حالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي هي ثمانية متغيرات هي:

- ٦- مستوى التكاثف الحملاني *Convective Condensation Level CCL*
- ٧- مستوى التكاثف الرفعي *Lifted Condensation level LCL*
- ٨- قيم مؤشرات عدم الاستقرار الجوي *LI, SI, KI, TTI, SWI,*
- وقد فحصت قيم تلك المتغيرات فحصاً دقيقاً لجميع الحالات الربيعية والخريفية المدروسة وأمكن بناء جدول للقيم الحدية التي تصاحب حالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي بدرجاته المختلفة لهذين الفصلين (الجدول رقم ٢).

الجدول رقم (٢). القيم الحدية للمتغيرات الأساسية لاستقرار الجو من عدمه في فصلي الخريف والربيع بناءً على الفحص الدقيق لجميع الحالات المدروسة.

حالة الجو وقيمها الحدية				المتغير
عدم استقرار قوي	عدم استقرار متوسط	عدم استقرار ضعيف	استقرار	
أقل من ١٣	١٣ - ٩	٩ - ٤	أقل من ٤	Td (c)
أقل من ١٢	١٢ - ٨	٨ - ٤	أقل من ٤	SFC wind speed (Knt)
أقل من ٢٧	٢٧ - ٣٥	٣٥ - ٤٠	أكبر من ٤٠	Tc (c)
أكثر من ١٢٠	١٢٠ - ١٠٠	١٠٠ - ٨٠	أقل من ٨٠	Upper Max W speed (knt)
أقل من ٤	٤ - ٦	٦ - ٨	أكثر من ٨	SFC DPD (c)
أقل من ٣٠٠٠	٣٠٠٠ - ٨٠٠٠	-١٢٠٠٠	أكثر من ١٢٠٠٠	CCL (ft)
أقل من ١٠٠٠	١٠٠٠ - ٣٠٠٠	-٦٠٠٠	أكثر من ٦٠٠٠	LCL (ft)
أقل من ٠	٠ - ٥	٥ - ١٠	أكثر من ١٠	LI
أقل من ٢	٢ - ٥	٥ - ١٠	أكثر من ١٠	SI
أكثر من ٣٠	٣٠ - ٢٥	٢٥ - ٢٠	أقل من ٢٠	KI
أكثر من ٤٥	٤٥ - ٣٥	٣٥ - ٣٠	أقل من ٣٠	TTI
أكثر من ٣٥٠	٣٥٠ - ٢٥٠	٢٥٠ - ١٠٠	أقل من ١٠٠	SWI



٨٥ و٩٠ عقدة/الساعة<sup>(٩)</sup>.

وجود تغير تقديمي في تغير اتجاه الرياح بالارتفاع *Wind*  
Feering.

### التطبيق العملي لنتائج الدراسة

اختيرت خمس حالات جوية نشطة صاحبتهها عواصف رعديّة حادة، اثنتان منها شتوية وثلاث خريفية وربيعية. بعد ذلك تم فحص النموذج الثيرموديناميكي لتلك الحالات. ومن الجدير بالذكر أن زمن حدوث تلك الحالات الجوية يسبق حدوث العواصف الرعدية بحوالي ٨ إلى ١٦ ساعة، أي في توقيت  $Z = 00:00$  وهو وقت إطلاق بالون السبر الجوي *Radiosond* الأول فوق وسط المملكة. قيم المتغيرات للحالات الشتوية مبيّنة في الجدول رقم (٣). ويتضح من الجدول مطابقة كبيرة بين تلك القيم والقيم الواردة في العامود الرابع في (الجدول رقم ١). التي تمثل قيم تلك المتغيرات لعدم الاستقرار الجوي القوي الشتوية والذي يكون غالباً عواصف رعديّة بعضها حادة.

ويجب أن نشير هنا أن تلك القيم للفصول الثلاثة والواردة في جدول ١ و٢ هي قيم مبنية على فحص الحالات المدروسة وقد تتداخل أحياناً، لذا يجب نأخذ ذلك في الحسبان، عند استخدام تلك القيم الحدية لتوقع حالة استقرار الجو، عدم الاعتماد على متغير واحد أو اثنين منها لتوقع حالة استقرار الجو من عدمه بل يجب فحصها وتطبيقها مجتمعة لنحصل على نتائج أفضل. وبالإضافة إلى القيم الحدية السابقة التي يمكن الحصول عليها من النموذج الثيرموديناميكي لوحظ بصرياً أن نموذج حالات عدم الاستقرار الجوي في الفصول الثلاثة يتسم بالآتي:

- ١- تقارب في خطي مسار  $T, Td$  في مستوى السطح حتى ٥٠٠ مليون
- ٢- ميلان واضح لمسار  $T$  لليسا
- ٣- وجود منطقة طاقة موجبة *Positive Energy Area* كبيرة وواضحة المعالم.
- ٤- وجود نوع من الانقلاب الحراري في المستويات ما بين ٨٥٠ مليون و٥٠٠ مليون.
- ٥- وجود رياح علوية على ارتفاعات تتراوح ما بين ١٠٠٠٠ إلى ١٣٠٠٠ مترتفوق ١٠٠ عقدة/الساعة مع العلم أن متوسط سرعة التيار النفث فوق أجواء المملكة في أشهر الشتاء هي بين

(٩) ألكليبي ١، فهد محمد. تحديد التباينات المكانية والفصلية لخصائص التيارات النفثة فوق أجواء المملكة العربية السعودية. إصدارات مركز بحوث كلية الآداب، جامعة الملك سعود، ٩٧، ١-٤٧، (٢٠٠٤).

## الجدول رقم (٣). قيم المتغيرات الأساسية للعواصف الرعدية المختبرة لفصل الشتاء.

القيمة قبل حدوث العاصفة الرعدية ما بين ٨ إلى ١٦ ساعة		المتغير
١٩٩٥/١٢/٢٠	١٩٩٦/١/١٠	
١١	١٣	T (c)
١٠	١٠	Td (c)
٨	٦	SFC wind speed (Knt)
٢١	٢٧	Tc (c)
١٢٢	١٣٥	Upper Max W speed (knt)
١٠٠٠٠	٩٢٠٧	Freezing Level (ft)
١	٣	SFC DPD (c)
٤١٥٧	٧٦٩٤	CCL (ft)
٥٨٠	١٤٥٢	LCL (ft)
٩	٧	LI
٣	٢	SI
٣٢	٢٧	KI
٤٥	٤٧	TTI
٣٢٧	١٤٩	SWI

يبين أن هناك تقارباً في خطي مسار  $T$  ,  $Td$  في مستوى السطح حتى ٥٠٠ ملليبار، ميلان واضح لمسار  $T$  ليسار، وجود منطقة طاقة موجبة  $Energy$   $Positive$  كبيرة وواضحة المعالم، وجود نوع من الانقلاب الحراري في المستويات بين ٨٥٠ ملليبار و ٥٠٠ ملليبار. كل هذه دلائل على وجود حالة نشطة من عدم الاستقرار الجوي وهذا يدعم صحة توقع العاصفة الرعدية الشتوية

تبين الأشكال ١ و ٢ النماذج التيرموديناميكية للحالتين الشتوية الموضحة في الجدول رقم (٣). توضح هذه النتائج جودة القيم الحدية والنماذج التيرموديناميكية في توقع العواصف الرعدية الشتوية قبل حدوثها بين ٨ و ١٦ ساعة في فصل الشتاء في وسط المملكة وذلك بناءً على معلومات السبر الجوي  $Radiosond$  والتي يتم الحصول عليها  $Z = 00:00$ . التحليل البصري للشكلين

بناءً على القيم الحدية. والتي يتم الحصول عليها  $Z = 00:00$ . التحليل البصري<sup>(١٠)</sup> أما بالنسبة للحالات الخريفية والربيعية المختبرة فقيم متغيراتها مبينة في الجدول رقم ٤ ويتضح من الجدول مطابقة كبيرة بين تلك القيم والقيم الواردة في العامود الرابع في الجدول رقم ٢ والتي تمثل قيم تلك المتغيرات لعدم الاستقرار الجوي القوي الربيعية والخريفية والذي يكون غالباً عواصف رعدية حادة. تبين النماذج التيرموديناميكية للحالات الخريفية والربيعية الثلاث في الجدول رقم ٤ والمبينة في الأشكال ٣ و٤ و٥ جودة القيم الحدية وجودة النماذج التيرموديناميكية في توقع العواصف الرعدية الخريفية الربيعية قبل حدوثها بين ٨ و ١٦ ساعة في فصلي الخريف والربيع في وسط المملكة وذلك بناءً على معلومات السبر الجوي *Radiosond* والقيم الحدية.

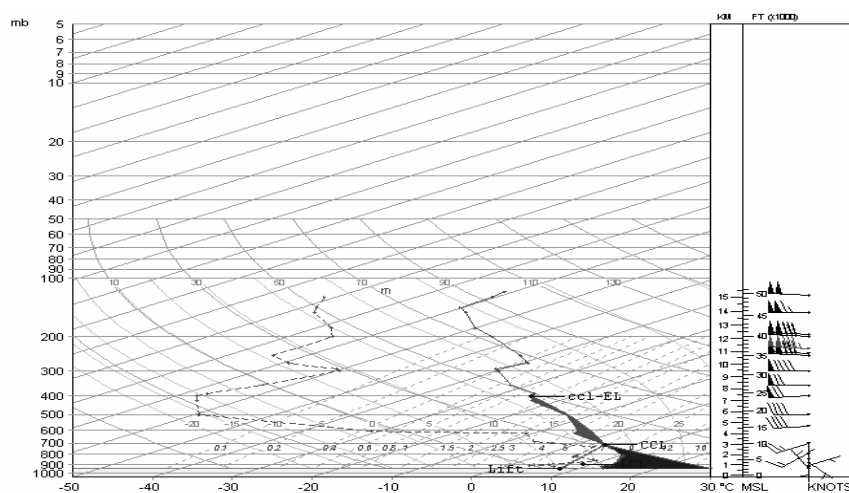
الجدول رقم (٤). قيم المتغيرات الأساسية للعواصف الرعدية المختبرة لفصلي الخريف والربيع.

القيمة قبل حدوث العاصفة الرعدية ما بين ٨ إلى ١٦ ساعة			المتغير
١٩٩٥/٣/٢١	١٩٩٦/٣/٢٢	١٩٩٧/١١/١١	
١٩	١٥	١٨	T (c)
١٦	١٥	١٧	Td (c)
١٣	١٠	٨	SFC wind speed (Knt)
٣٠	٢٦	٣١	Tc (c)
٩٨	١٢٤	٨٦	Upper Max W speed (knt)
١٠٥٥٦	١٠١٣٣	١١١٦٥	Freezing Level (ft)
٣	٠	١	SFC DPD (c)

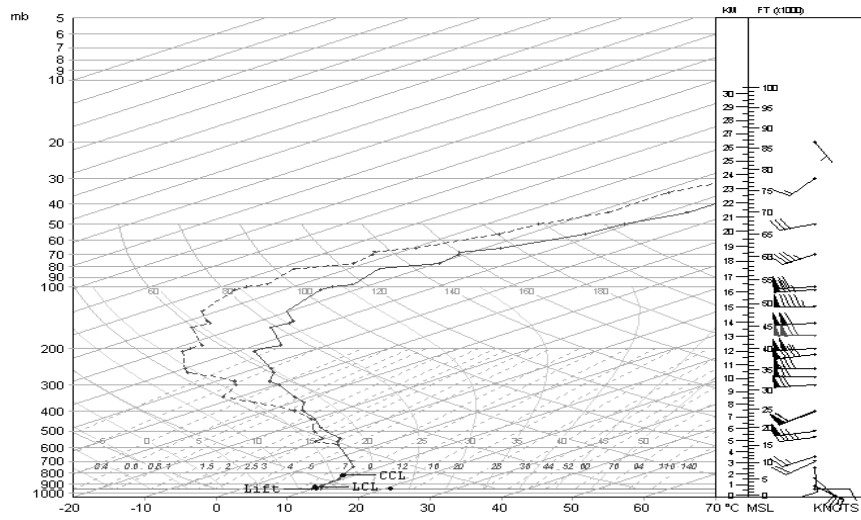
(١٠) ألكليبي، فهد محمد. تحديد التباينات المكانية والفصلية لخصائص التيارات النفاثة فوق أجواء المملكة العربية السعودية. إصدارات مركز بحوث كلية الآداب، جامعة الملك سعود، ٩٧، ١ - ٤٧، (٢٠٠٤)

تابع الجدول رقم (٤).

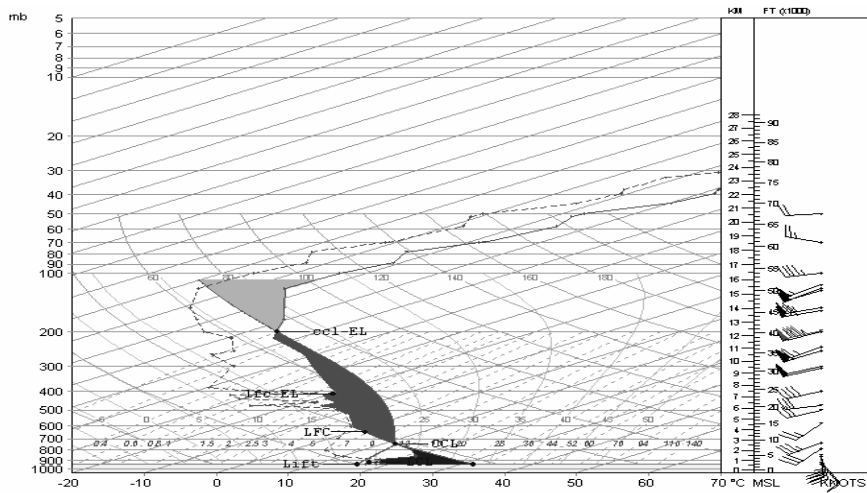
القيمة قبل حدوث العاصفة الرعدية بين ٨ و ١٦ ساعة			المتغير
١٩٩٥/٣/٢١	١٩٩٦/٣/٢٢	١٩٩٧/١١/١١	
٨٣٠٧	٦٠٤٠	٦٦٧٦	CCL (ft)
١١٢٩	٣٣٧	٦٢٩	LCL (ft)
٠	٣	١,٥ -	LI
٦	٢	١ -	SI
٢٥	٣٣	٣٣	KI
٤١	٤٥	٥١	TTI
٢٢٧	١٩٥	٣٨٢	SWI



الشكل رقم (١). المقطع الرأسي للغلاف الجوي ليوم ١٠/١/١٩٩٦ وهو يبين حالة عاصفة رعدية شتوية حادة.

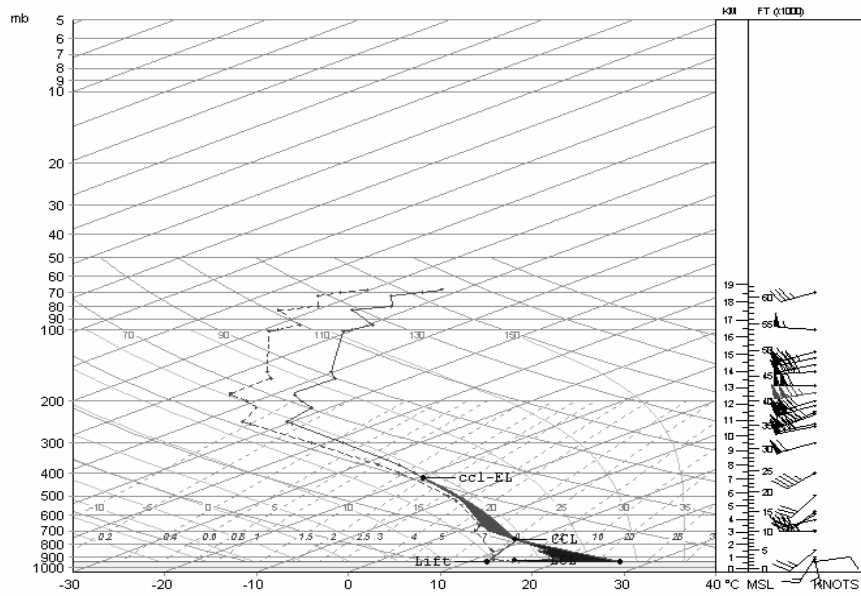


الشكل رقم (٢). المقطع الرأسي للغلاف الجوي ليوم ١٩٩٥/١٢/٢٠ وهو يبين حالة عاصفة رعدية شتوية حادة.

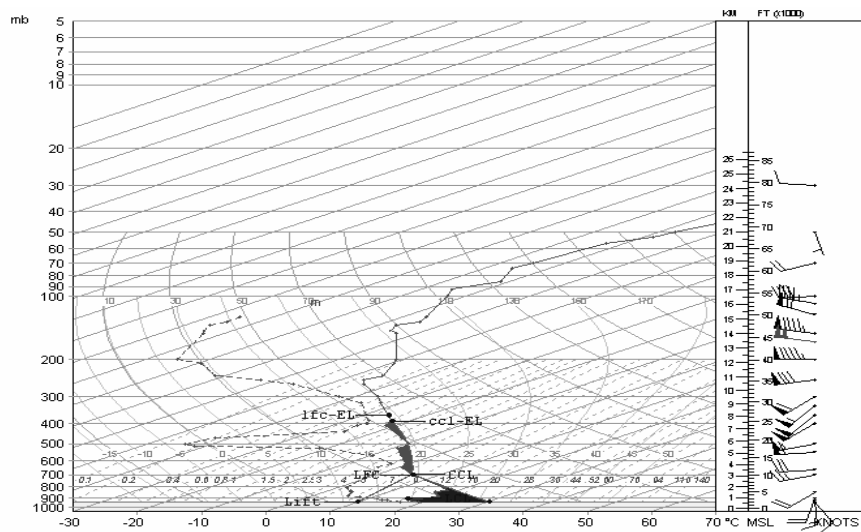


الشكل رقم (٣). المقطع الرأسي للغلاف الجوي ليوم ١٩٩٧/١١/١١ وهو يبين حالة عاصفة رعدية خريفية حادة.

فهد بن محمد الكليبي: استخدام التحليل التيرموديناميكي للتوقع قصير المدى للعواصف الرعدية...



الشكل رقم (٤). المقطع الرأسي للغلاف الجوي ليوم ٢٢/٣/١٩٩٦م. وهو يبين حالة عاصفة رعدية رباعية حادة.



الشكل رقم (٥). المقطع الرأسي للغلاف الجوي ليوم ٢١/٣/١٩٩٥م. وهو يبين حالة عاصفة رعدية رباعية حادة.

## الخلاصة والتوصيات

## أ) الخلاصة

يمكن تلخيص أهم نتائج هذه الدراسة على النحو التالي:

١- اتضح أن هناك نمطين جويين ثيرموديناميين مصاحبين للعواصف الرعدية فوق وسط المملكة أحدهما شتوي والآخر خريفي ربيعي.

٢- هناك تشابه كبير في النمط الجوي الثيرموديناميكي المصاحب للعواصف الرعدية فوق وسط المملكة في فصلي الخريف والربيع.

٣- ضمن العدد الكبير من المتغيرات والمؤشرات الثيرموديناميكية المدروسة اتضح وجود عشرة متغيرات في فصل الشتاء وثمانية متغيرات في فصل الخريف والربيع لها قيم متميزة تتضح قبيل نشوء العواصف الرعدية بين ٨ و ١٦ ساعة.

٤- اتضح أنه يجب عدم الاعتماد فقط على متغير واحد أو متغيرين ضمن المتغيرات والمؤشرات المذكورة لتوقع العواصف الرعدية فوق وسط المملكة فحسب بل يجب فحص المتغيرات والمؤشرات المذكورة مجتمعة كما تم تطبيقه في هذه الدراسة.

٥- اتضح من تحليل عناصر الأرصاد أن شكل النموذج الثيرموديناميكي  $Skew T Log P$  الممثل للسبر الجوي قبيل نشوء العواصف الرعدية شكل مميز ويمتاز بخصائص واضحة من أهمها أن هناك تقارباً في خطي مسار  $T, Td$  من مستوى السطح حتى ٥٠٠ ملليبار، ميلان واضح لمسار  $T$  اليسار، وجود منطقة طاقة

موجبة  $Energy Area Positive$  كبيرة وواضحة المعالم، وجود نوع من الانقلاب الحراري في المستويات ما بين ٨٥٠ ملليبار و ٥٠٠ ملليبار.

٦- وأخيراً خلصت تلك الدراسة من خلال التطبيق العملي على حالات جوية مستقلة أن القيم الحدية والنماذج الثيرموديناميكية المقترحة في هذه الدراسة لنمط استقرار الجو من عدمه أعطت نتائج جيدة يمكن الاعتماد عليها في توقع العواصف الرعدية فوق وسط المملكة قبيل حدوثها ما بين ٨ ساعات و ١٦ ساعة.

## ب) التوصيات

بناءً على نتائج هذه الدراسة يمكن الخروج بثلاث توصيات هي:

١- تطبيق نتائج هذه الدراسة للتوقع القصير المدى (٨ ساعات إلى ١٦ ساعة) للعواصف الرعدية بشكل عام والعواصف الرعدية بشكل خاص فوق وسط المملكة.

٢- إجراء دراسات مماثلة على بقية مناطق المملكة لبناء نماذج ثيرموديناميكية ووضع قيم حدية تساعد على التوقع القصير المدى للعواصف الرعدية.

٣- كشف البحث وجود قصور واضح في الأبحاث المرتبطة بالتوقع الجوي القصير المدى في المملكة؛ لذلك توصي هذه الدراسة بتكثيف الأبحاث المرتبطة بالتوقع الجوي القصير المدى للظواهر الجوية في المملكة نظراً لتأثير الظواهر الجوية على كثير من الجوانب الاقتصادية والاجتماعية.

## المراجع

## المراجع الأجنبية

- Barry, R.G. & Richard J. Chorley, *Atmosphere Weather and Climate*. New York, Routledge, (2001)
- Fedonov, A. V. and G. Philonder, A Stability Analysis of Tropical Ocean-Atmosphere Interaction: Bridging Measurements and Theory for El Nino., *Journal of Climate*, 14, 3086-3101. (2001).
- Haklander, A.J and Delden, A.V, Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands. *Atmospheric Research*, 67, 273-299, (2003).  
<http://www.phys.uu.nl/~nvdelden/Thunderst.Predictors.pdf>
- Henry, L. H, A Static Stability Index for Low-Topped Convection. *Weather and Forecasting*. 15, 246-254, (2000).
- Mueller C.K, James W. Wilson, and N. Andrew Crook, The Utility of Sounding and Mesonet Data to Now cast Thunderstorm Initiation. *Weather and Forecasting*, 8 (1), 132-146 . (1993).
- NOAA, National Weather Service, Capabilities of Thermodynamic and Kinematics Severe Weather Parameters. *How to Use the Parameters in Severe Weather Forecasting and Warning Operations*. 1, 5-121, (2006),  
<http://www.wdtdb.noaa.gov/Courses/dloc/svrparams/howto.htm>
- Petterssen, S., *Weather Analysis and Forecasting*, McGraw Hill, New York, (1956).

## المراجع العربية

- الشهاوي، محمد أحمد، *العلوم الجوية وتطبيقاتها: التنمية باستخدام الأرصاد الجوية*، دار الفكر العربي، القاهرة، (٢٠٠٠)، .
- الكليبي ١، فهد محمد. تحديد التباينات المكانية والفصلية لخصائص التيارات النفاثة فوق أجواء المملكة العربية السعودية. *إصدارات مركز بحوث كلية الآداب، جامعة الملك سعود*، ٩٧، ١ - ٤٧، (٢٠٠٤).
- الكليبي ٢، فهد محمد، فاعلية مؤشرات عدم الاستقرار الجوي الرياضية المعمول بها في وسط المملكة العربية السعودية. *سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية*، ٦٥، ١ - ٤٠، (٢٠٠٤).
- الكليبي، فهد محمد، مؤشرات رياضية مقترحة لتحديد حالة الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي في وسط المملكة العربية السعودية. *مجلة جامعة الملك سعود، الآداب*، ١٧، ٣٩٩ - ٤٢٨. (٢٠٠٥).
- العيوني، سمير بن حمزة، "الأنماط الجوية المرتبطة بالعواصف الرعدية الشديدة في المملكة العربية السعودية"، رسالة دكتوراه مقدمة لقسم الجغرافيا بكلية الآداب بجامعة الملك سعود. (٢٠٠٥).



## ملحق رقم (١). معادلات مؤشرات عدم الاستقرار الجوي المدروسة

في هذا البحث فحصت قيم خمس مؤشرات عدم استقرار جوي وهي :

١- مؤشر شولتر (*Showalter Index (SI)* :

يعتمد هذا المؤشر على الفرق بين درجة الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليون ودرجة حرارة فقاعة الهواء عند ٥٠٠ مليون لو رفعت رفعا ذاتيا جافا إلى ذلك المستوى من مستوى التكاثف التصاعدي الذي تم تحديده اعتمادا على قيم درجة الحرارة ودرجة حرارة الندى عند مستوى ٨٥٠ مليون. ومستوى التكاثف التصاعدي والمسمى *Lifting Condensation Level LCL* هو الارتفاع الذي يجب أن ترفع الفقاعة إليه من مستوى معين رفعا ذاتيا جافا لتصبح مشبعة وتبدأ في التكاثف. لذلك يحسب هذا المؤشر على النحو التالي :

$$SI = T500 - T*500$$

حيث :

$T500$  = درجة الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليون.

$T*500$  = درجة حرارة فقاعة الهواء عند ٥٠٠ مليون لو رفعت رفعا ذاتيا جافا إلى ذلك المستوى من مستوى التكاثف

التصاعدي *LCL* والذي تم تحديده اعتمادا على قيم درجة الحرارة ودرجة حرارة الندى عند مستوى ٨٥٠ مليون.

تحدد قيم هذا المؤشر درجة الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي. فإذا كانت قيم هذا المؤشر سالبة أشارت إلى أن الهواء المرفوع من مستوى ٨٥٠ مليون سوف يكون ذا حركة علوية موجبة (صعود) *Positive Bouncy* قبل أن يصل إلى مستوى ٥٠٠ مليون. وقد ذكرنا سابقاً أن الصعود في الهواء يشير إلى عدم استقرار جوي والهبوط فيه إلى استقرار جوي. لذلك كلما كانت قيم هذا المؤشر سالبة أشار ذلك إلى صعود أكبر وعدم استقرار جوي أكبر. أما إذا كانت القيم موجبة فهذا يشير إلى أن الفقاعة ذات حركة علوية سالبة (هبوط) *Negative Bouncy*. وهذا يعني استقرار جوي وكلما زادت القيم الموجبة أشار ذلك إلى استقرار جوي أكبر.

٢- مؤشر الرفع *Lifted Index LI*

يشابه هذا المؤشر مؤشر شولتر والفرق بينهما أن درجة حرارة الفقاعة عند مستوى ٥٠٠ مليون في هذا المؤشر يحددها رفع فقاعة الهواء رفعا ذاتيا جافا من مستوى التكاثف التصاعدي (*LCL*) الذي حدد بناءً على قيم متوسط نسبة المزج *Mixing Ratio* في وسط الطبقة الحدية (حوالي ٩٠٠ متر) وليس بقيم درجة الحرارة ودرجة حرارة الندى عند ٨٥٠ مليون كما هي الحال في مؤشر شولتر. وهذا المؤشر أفضل من مؤشر شولتر في الحالات التي تكون فيها قيم الرطوبة في وسط الطبقة الحدية وأولها عالية ولكنها لا تمتد إلي ٨٥٠ مليون.

ويمكن حساب مؤشر الرفع (*LI*) على النحو التالي :

$$LI = T500 - T*500$$

حيث :

$T500$  = درجة الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليون.

$T*500$  = درجة حرارة فقاعة الهواء عند مستوى ٥٠٠ مليبار لو رفعت له رفعا ذاتيا جافا من مستوى التكاثف التصاعدي (LCL) الذي تم تحديده اعتمادا علي قيم متوسط نسبة المزج *Mixing Ratio* في وسط الطبقة الحدية (حوالي ٩٠٠ متر).  
و كما هي الحال في مؤشر شولتر فإن قيم هذا المؤشر تحدد درجة الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي. فإذا كانت قيم هذا المؤشر سالبة فهذا يشير إلى أن الهواء المرفوع من وسط الطبقة الحدية سوف يكون ذا حركة علوية موجبة (صعود) *Positive Bouncy* قبل أن يصل إلى مستوى ٥٠٠ مليبار. لذلك كلما كانت قيم هذا المؤشر سالبة أشار ذلك إلى صعود أكبر وعدم استقرار جوي أكبر. أما إذا كانت القيم موجبة فهذا يشير إلى أن الفقاعة ذات حركة علوية سالبة (هبوط) *Negative bouncy* ويكون هناك عدم ميل للتصاعد، وهذا يعني استقرار جوي وكلما زادت القيم الموجبة أشار ذلك إلى استقرار جوي أكبر

### ٣- مؤشر *K Index (KI)*

يعتبر مؤشر *K* أحد أهم مؤشرات عدم الاستقرار الجوي؛ لأنه يحدد احتمال حدوث العواصف الرعدية. وهو يعتمد على التغير الرأسى في درجة الحرارة *Vertical Temperature Lap Rate* وعلى كمية الرطوبة في الجزء السفلي من الغلاف الجوي والامتداد الرأسى للطبقة الرطبة. لذلك يستخدم هذا المؤشر العديد من المحددات وهي: ١- الفرق بين درجة الحرارة في المستويين ٨٥٠ مليبار و ٥٠٠ مليبار لفهم نمط التغير الرأسى في درجة الحرارة. ٢- درجة حرارة الندى عند ٨٥٠ مليبار لفهم كمية الرطوبة في الجزء السفلي من الغلاف الجوي. ٣- عمق درجة حرارة الندى *Dew Point Depression DPD* عند مستوى ٧٠٠ مليبار. وعمق درجة حرارة الندى عند أي مستوى هو الفرق بين درجة الحرارة الحقيقية ودرجة حرارة الندى في ذلك المستوى وكلما صغرت قيم عمق درجة حرارة الندى أشار ذلك إلى وجود رطوبة نسبية عالية في ذلك المستوى والعكس صحيح. ويمكن حساب مؤشر *K* رياضياً على النحو التالي:

$$KI = (T850 - T500) + Td850 - DPD700$$

حيث:

$$T850 = \text{درجة الحرارة عند مستوى ٨٥٠ مليبار.}$$

$$T500 = \text{درجة الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليبار.}$$

$$Td850 = \text{درجة حرارة الندى عند مستوى ٨٥٠ مليبار.}$$

$$DPD700 = \text{عمق درجة حرارة الندى عند مستوى ٧٠٠ مليبار.}$$

وكلما زادت قيمة هذا المؤشر أشار ذلك إلى احتمال أكبر لحدوث العواصف الرعدية. عالمياً تم اعتماد قيم معينة تربط مؤشر *K* باحتمالية حدوث العواصف الرعدية (NWSTC, 1991). هذه القيم موضحة في الجدول ١.

## جدول القيم الحدية لمؤشر KI التي تحدد حدوث العواصف الرعدية

قيم مؤشر K	نسبة احتمالية حدوث العواصف الرعدية
$K < 10$	صفر
٢٠ إلى ١٥	٢٠٪
٢٥ إلى ٢١	٢٠ إلى ٤٠٪
٣٠ إلى ٢٦	٤٠ إلى ٦٠٪
٣٥ إلى ٣١	٦٠ إلى ٨٠٪
٤٠ إلى ٣٦	٨٠ إلى ٩٠٪
$K > ٤٠$	قرب ١٠٠٪

## ٤- مؤشر جمع المجموع Total Totals Index TTI

يستخدم هذا المؤشر لتحديد المناطق المحتملة لحدوث العواصف الرعدية. وقد سمي بهذا الاسم لأنه جمع مؤشرين حملتا نيين وهما مؤشر الجمع الرأسي Vertical Totals (VT) ومؤشر الجمع الأفقي المقطعي أو Cross Totals (CT). ويمكن حساب VT و CT على النحو التالي :

$$Vt = T850 - T500$$

$$Ct = Td850 - T500$$

و منهما نحصل على مؤشر جمع المجموع (TTI) على النحو التالي :

$$TTI = (T850 + Td850) - 2(T500)$$

حيث:

$$T850 = \text{درجة الحرارة الفعلية عند مستوى } ٨٥٠ \text{ مليار.}$$

$$Td850 = \text{درجة حرارة الندى عند مستوى } ٨٥٠ \text{ مليار.}$$

$$T500 = \text{درجة الحرارة الفعلية عند مستوى } ٥٠٠ \text{ مليار.}$$

وهذا يشير إلى أن هذا المؤشر يعتمد على عناصر هي :

الاختلاف الرأسي في درجة الحرارة بين مستويين ضغطيين وهما ٨٥٠ و ٥٠٠ مليار من خلال توظيفه مؤشر الجمع

الرأسي VT .

كمية بخار الماء في الجزء السفلي ودرجة الحرارة العلوية من خلال توظيفه المؤشر الجمع الأفقي المقطعي CT والذي يعتمد على

كمية الرطوبة في أعلى الطبقة الحدية وهو مستوى ٨٥٠ مليار وعلى درجة الحرارة في مستوى عدم التفرق Non divergence Level وهو

مستوى ٥٠٠ مليار.

تنحصر القيم الحدية لهذا المؤشر على النحو التالي :

- ٤٤ تعني احتمالية واردة لحدوث نشاط تصاعدي وحدوث عواصف رعدية .

- من ٤٥ إلى ٥٠ تعني احتمالية مهمة لحدوث عواصف رعدية ولكن احتمالية ضعيفة لأن تكون تلك العواصف الرعدية حادة.
  - من ٥١ إلى ٥٥ تعني احتمالية متوسطة لحدوث عواصف رعدية حادة.
  - أكثر من ٥٥ احتمالية قوية لحدوث عواصف رعدية حادة .
- وقد أثبتت الدراسات حول استخدام مؤشر *TTI* أن القيم الحدية للمؤشر والتي يعتمد عليها في تحديد احتمالية حدوث العواصف الرعدية تتفاوت بشكل واضح حتى في البلد الذي بني فيه هذا المؤشر وهي الولايات المتحدة ( *NWSTC, 1991* )

#### ٥- مؤشر سويت (*Sweet Index (SWI)*)

هذا المؤشر في البداية بنته القوات الجوية الأمريكية *USAF* وهو يستخدم لتقدير احتمال حدوث العواصف الرعدية الحادة في كتلة هوائية معينة وهو يعتمد على خمسة محددات تعد مهمة لحدوث العواصف الرعدية الحادة وهذه المحددات :

- ١- كمية بخار الماء أسفل طبقة التروبوسفير ويعتمد ذلك على حساب درجة حرارة الندى عند ٨٥٠ مستوى مليبار. قيمة مؤشر جمع المجموع *TTI* .
- ٢- التيار النفاث أسفل طبقة التروبوسفير ويعتمد ذلك على حساب سرعة الرياح عند مستوى ٨٥٠ مليبار.
- ٣- التيار النفاث في وسط طبقة التروبوسفير ويعتمد ذلك على حساب سرعة الرياح عند مستوى ٥٠٠ مليبار.
- ٤- قيم التآفق الدافئ *Warm Advection* (الجران الأفقي الدافئ) ويعتمد ذلك على حساب تغير اتجاه الرياح التقدم *Veering of Wind* بين المستويين ٨٥٠ و ٥٠٠ مليبار (*Veering between 850 mb and 500 mb*) ويمكن التعبير عن مؤشر سويت رياضياً على النحو التالي :

$$SWI = 12D + 20 (T - 49) + 2F8 + F5 + 125 (S + 0.2)$$

حيث :

$D$  = درجة حرارة الندى عند ٨٥٠ مليبار (دائماً عندما تكون القيمة سالبة فإنها تعتبر صفراً).

$F8$  = سرعة الرياح عند مستوى ٨٥٠ مليبار بالعقدة.

$F5$  = سرعة الرياح عند مستوى ٥٠٠ مليبار بالعقدة.

$S$  = جيب التمام للفرق بين اتجاه الرياح عند ٨٥٠ مليبار و ٥٠٠ مليبار.

$T$  = قيمة مؤشر جمع المجموع *TTI* وعندما تكون هذه القيمة أقل من ٤٩ فإن الجزء

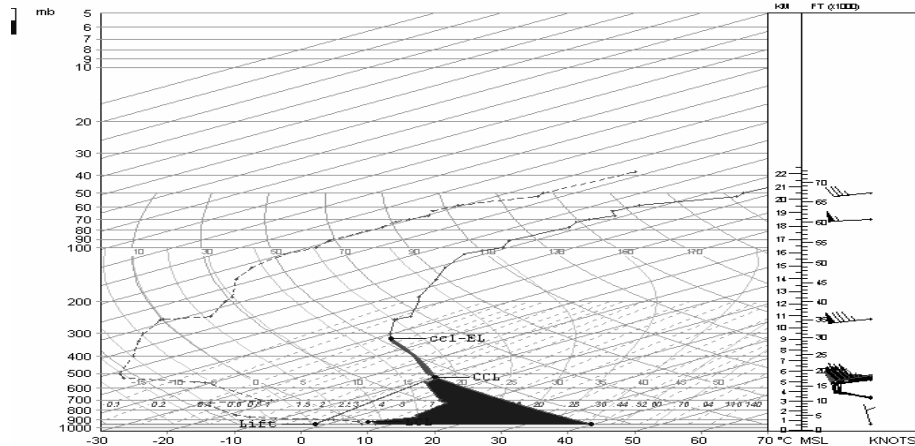
$20 (T-49)$  في المعادلة يعتبر صفراً.

وقد اعتمدت قيم حدية معينة لهذا المؤشر تستخدم لتوقع العواصف الرعدية

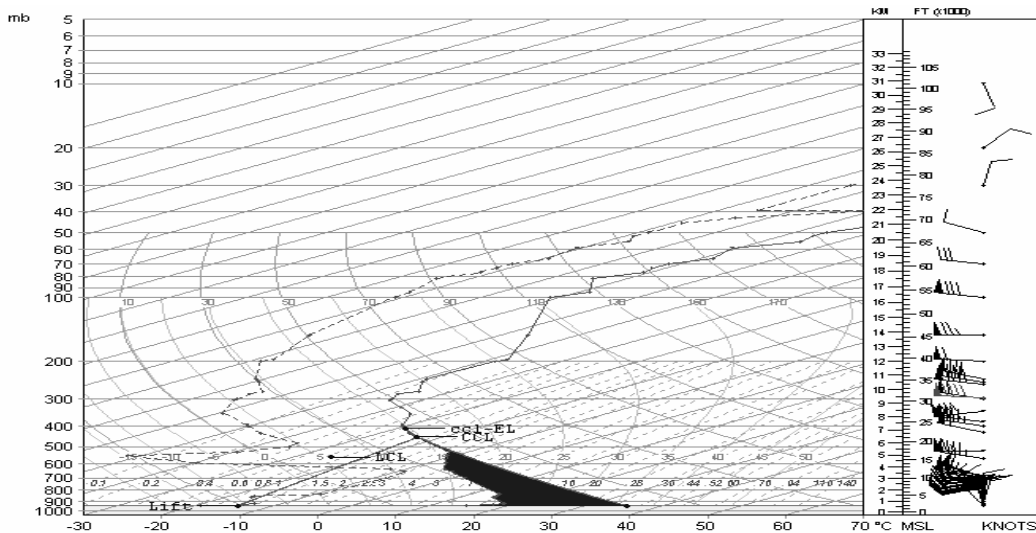
وهي :

- ٣٠٠ تشير إلى احتمالية حدوث عواصف رعدية حادة.
- ٤٠٠ تشير إلى احتمالية حدوث عواصف رعدية حادة جداً التي ينشأ معها عواصف الترنادو *Tornadoic Storms* .

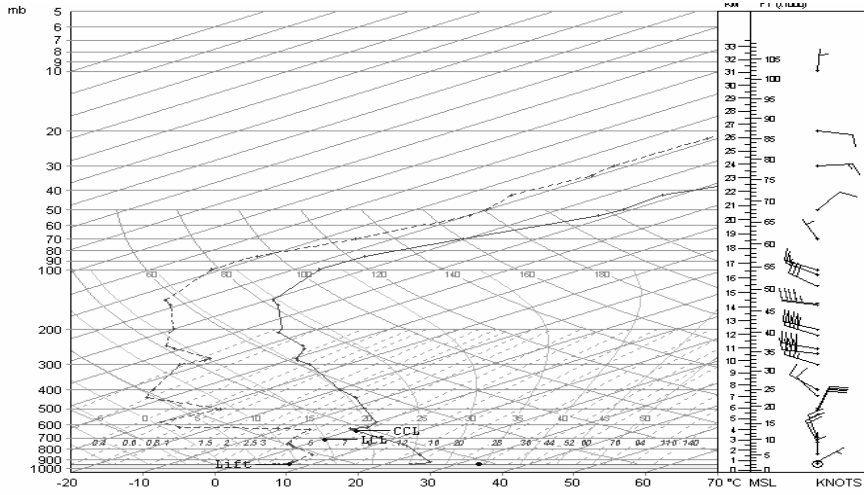
## ملحق رقم (٢)

ملحق رقم (٢). أمثلة للنماذج التيرموديناميكية *Skew T Log P Diagrams* لحالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي المدروسة

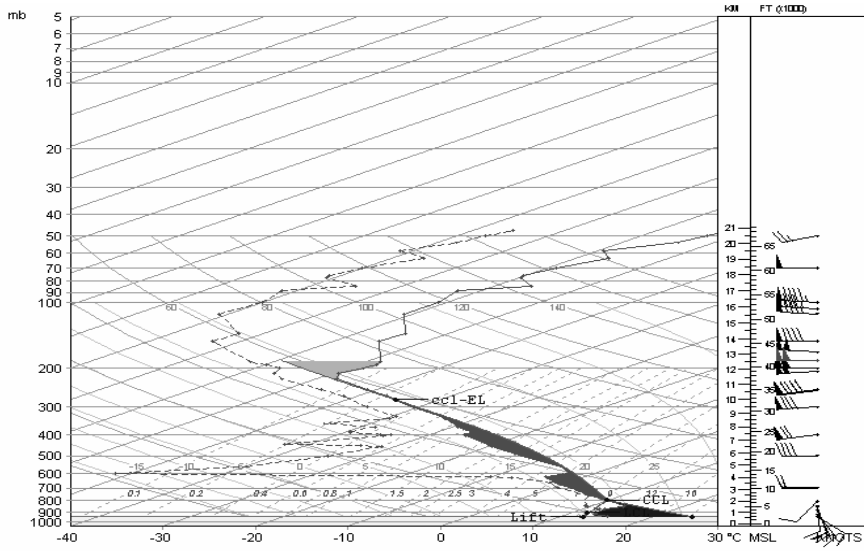
نموذج ١٩٩٨/١/٢٢ يمثل حالة استقرار جوي شتوية



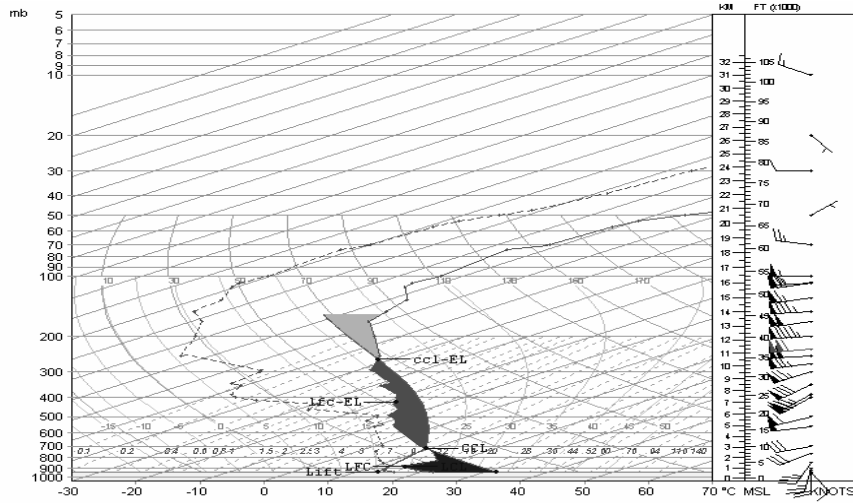
نموذج ٢٠٠٠/٣/٢٩ يمثل حالة استقرار جوي ربيعية



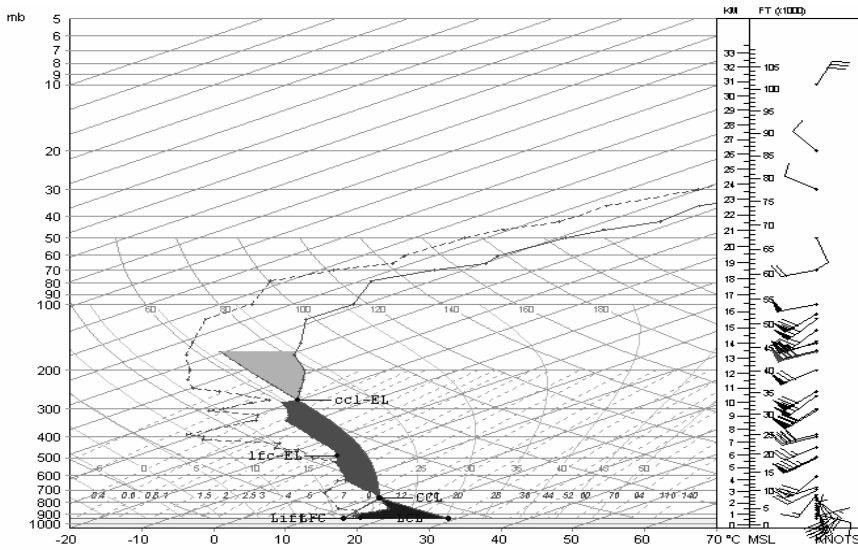
نموذج ١٩٩٥/١٠/٢٧ يمثل حالة استقرار جوي خريفية



نموذج ١٩٩٥/١٢/١٠ يمثل حالة عدم استقرار جوي شتوية



نموذج ١٩٩٦/٣/٢٣ يمثل حالة عدم استقرار جوي ربيعية



نموذج ٢٠٠٠/١١/١٨ يمثل حالة عدم استقرار جوي خريفية

## Employing Thermodynamic Analysis for Short-time Thunderstorms Forecasting in Central Saudi Arabia

**Fahad M. Alkolibi**

*Associate Professor, Geography Department, King Saudi University, KSA*

(Received 15/1/1429H; accepted for publication 12/6/1429H.)

**Abstract.** Though it brings rain to the central part of Saudi Arabia, thunderstorms has negative effect through torrential rain, strong wind, hail, thunder, and lightening. Thus, this study applies thermodynamic analysis in attempt to suggest some criteria and thresholds for sever thunderstorm short-time forecasting for the region. This was achieved by studying 24 weather cases occurred between 1994 and 2000 in Riyadh. Many statistical and Meteorological techniques were employed in this study. Based on that, threshold values for some meteorological variables related to atmospheric stability variation were suggested. Also, through optical examination for the thermo dynamical models for the studied cases, the thermo dynamical patterns associated with sever thunderstorms were defined. To determine how robust the suggested values and models that are related to sever thunderstorms, it have been examined by applying it in five independent weather cases that are not included in the studied cases.

It has been found that there are two defined meteorological patterns associated with sever thunderstorms, one pattern for winter and the other for spring and fall. It have been found that there are ten variables for winter and eight variables for spring and fall that have distinct thresholds values related to thunderstorms development. Also, it has been found that we should not relay on one or two variables to forecast thunderstorms, but the defined variables should be collectively examined as it has been applied in this study. Through visual examination, it has been found that the pattern of the thermodynamic diagrams, 8 to 16 hours before the development of thunderstorms, is distinguished. Finally, by applying these criteria on five independent cases, it has been found that they are good for short-time forecast of thunderstorms for the central part of Saudi Arabia.