

النسق العام الذي تنتظم فيه درجات الحرارة في طبقات الجو العليا خلال المنخفضات الجوية المثلجة على الأردن

حامد الخطيب*

المقدمة

يعدُّ تساقط الثلوج فوق المرتفعات الأردنية خلال فصل الشتاء إحدى الظواهر الطبيعية المألوفة. ورغم ما تسببه هذه الظاهرة من إرباك الحياة العامة في المملكة، إلا أنها تدخل البهجة لدى كافة المواطنين على اختلاف فئاتهم. ولا تمثل الثلوج ظاهرة طبيعية دائمة في الأردن، حيث تتساقط الثلوج خلال يوم أو يومين ونادراً ما يستمر تساقطها أكثر من أربعة أيام. ومهما كان عنف العاصفة الثلجية فإن سماكة الثلوج المتراكمة فوق المناطق المستوية ضمن المرتفعات الجبلية لا تتعدى المتر.

يتأثر الأردن بعدد من العواصف الثلجية بمعدل يتراوح بين ٤ - ٥ مرات/السنة. ويتفاوت عدد هذه العواصف من سنة إلى أخرى، فقد لا يتعرض الأردن لأية عاصفة ثلجية خلال سنة من السنوات، وقد يتعرض إلى عدد منها قد يصل إلى عشر عواصف. وتعد مرتفعات عجلون الأكثر حظاً في عدد الأيام المثلجة تليها مرتفعات الشوبك، ويندرج أن تسقط الثلوج على مرتفعات يقل ارتفاعها عن ٥٠٠م فوق سطح البحر. وتتركز العواصف المثلجة في شهري كانون الثاني وشباط؛ إذ يستحوذ هذان الشهران على ٧٠% من المجموع السنوي لأيام التساقط الثلجي^(١).

وتشير ظاهرة تساقط الثلوج اهتماماً أكبر في مناطق العروض العليا؛ إذ إن معظم التساقط شمال الدائرة القطبية يكون على شكل ثلوج، وبذلك فإن ٤٠% من مساحة نصف الكرة الشمالي تكون مغطاة بالثلوج خلال فصل الشتاء، تتحسر إلى ٧% خلال فصل الصيف، ولذلك فإن الغطاء الثلجي يلعب دوراً بارزاً في التوازن الإشعاعي على سطح الكرة الأرضية لما تتمتع به هذه الغطاءات من ارتفاع نسبة

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى استجلاء النسق العام الذي تنتظم به درجات الحرارة على مستوى ٥٠٠ مليوناً أثناء تأثر الأردن بالمنخفضات الجوية المثلجة، ومدى علاقة هذا النسق بالنمط العام لهذا المستوى (٥٠٠). ولتحقيق هذه الغاية، تم تحديد منطقة الدراسة ما بين (٣٠ - ٦٥ شمالاً) و(صفر - ٤٠ شرقاً)، وحسبت درجات الحرارة ومستوى الضغط (٥٠٠) مليوناً من خرائط الطقس الألمانية عند تقاطع دوائر العرض بخطوط الطول، حيث وصل عددها ٤٠ نقطة وذلك أثناء ذروة تأثير هذه المنخفضات على الأردن بواقع يوم واحد لكل منخفض. واستخدم التحليل العنقودي لتصنيف المنخفضات التي بلغ عددها (٣٨) منخفضاً، واستخدمت نماذج تحليل سطح الانحدار من الدرجتين الأولى والثانية للكشف عن الاتجاه العام لدرجات الحرارة، كما استخدم الارتباط المكاني لتحديد المناطق الأكثر تأثراً على الحالة الجوية السائدة أثناء تأثير هذه المنخفضات الجوية على الأردن. وقد تبين أن درجات الحرارة تتناقص بالاتجاه نحو الشمال والشمال الشرقي في منطقة الدراسة، كما إن نسق توزيعها يشبه النمط العام لمستوى الضغط (٥٠٠ مليوناً)، وإن عنف المنخفضات يزداد كلما كان محور الأخدود القطبي يمتد من الشمال إلى الجنوب، وعندما يكون محور الأخدود يقع إلى الغرب من سواحل بلاد الشام. كما تبين أن الحوض الغربي للبحر المتوسط لا يؤثر كثيراً على الأردن أثناء العواصف الثلجية، وأن تساقط الثلوج يصبح مؤكداً إذا هبطت درجة الحرارة في طبقات الجو العليا دون -٣٣م وهبط منسوب (٥٠٠ مليوناً) إلى ما دون ٥٥٤٢ gpm.

* كلية إعداد المعلمين، المدينة المنورة، السعودية. تاريخ استلام البحث ٢٠٠١/٥/١٦، وتاريخ قبوله ٢٠٠٢/٣/١٤.

المناطق المدارية بوسط قارة آسيا وأمريكا الجنوبية، ويصل ارتفاعه إلى ٥٠٠٠ متر عند خط الاستواء، لدرجة يتحول فيها الثلج إلى جليد على خط الاستواء ولكن على ارتفاع يصل إلى ٤٤٠٠ متر في غينيا الجديدة Papua New Guinea^(٨).

أما في منطقة إقليم البحر المتوسط فإن الوضع المثالي لتساقط الثلوج قد جرى تحديده من خلال بعض الدراسات، نذكر منها دراسة الجهني عام ١٩٩٤ حول الظروف الجوية المرافقة لتساقط الثلوج على المرتفعات الجبلية في الأردن، وباستخدام دراسة المقطع الرأسي للغلاف الجوي من خلال معلومات الراديو ساوند في محطة مدينة المفرق الواقعة شرقي الأردن، واستعانته بتحليل لوحات التيفجرام، واستخدامه لاسلوب تحليل الانحدار المنطقي المتدرج Stepwise Logistic Regression ، فقد توصل إلى أن أفضل الظروف لحدوث التساقط الثلجي في الأردن عندما تكون الرياح السطحية غربية، ويكون مستوى ٥٠٠ مليبار عند ارتفاع ٣٢٦م، ومستوى ٢٠٠ مليبار عند ارتفاع ١٤٧٧م، وعندما تكون درجة الحرارة على مستوى ٣٠٠مليبار -٣٣م، وفي هذه الحالة فإن احتمال تساقط الثلوج فوق الأردن يكون بنسبة ٩٩%^(٩).

واستطاع Druyan et al., عام 1984 أن يطور هو وزملاؤه نموذجاً بسيطاً اقترحه عام ١٩٨٠ معتمداً فيه على سمك الغلاف الجوي بين ٥٠٠ - ١٠٠٠ مليبار والارتفاع الذي تكون عنده درجة الحرارة صفراً. فقد توصل Druyan إلى أن احتمالية تساقط الثلوج فوق مدينة القدس تكون ١٠٠% إذا تراوح الارتفاع الذي تكون عنده درجة الحرارة صفراً ما بين ٨٠٠-١٥٠٠ gpm، وعندما يكون سمك الغلاف الجوي بين ٥٠٠-١٠٠٠ مليبار يتراوح ما بين ٥٣٠٠-٥٤٥٠ gpm^(١٠).

وفي دراسة أخرى لدرويان عام ١٩٨٥ اعتمد فيها على سماكة الغلاف الجوي واتجاه الرياح، حيث يكون التساقط الثلجي مؤكداً فوق مدينة القدس بنسبة ١٠٠% إذا تراوح اتجاه الرياح ما بين الغرب والشمال (تقريباً) في الوقت

عكسها للأشعة الشمسية، وتدني معدل موصليتها للحرارة Conductivity^(١١).

ويعود الاهتمام بظاهرة الغطاءات الثلجية إلى تراجع نسبة المساحة المغطاة بالثلوج بفعل التسخين المستمر للكرة الأرضية خلال العقود القليلة الماضية، فقد بلغ معدل التراجع السنوي نحو ١٠% في نصف الكرة الشمالي خلال العقدين السابع والثامن من القرن الماضي. وينعكس هذا التراجع على كل من التصريف المائي لأنهار النصف الشمالي للكرة الأرضية، وعلى التوازن الحراري لسطح الكرة الأرضية^(١٢). ولذلك تم استخدام العديد من النماذج الإحصائية لتقدير سماكة الثلوج، وتقدير معدلات ذوبانها وما ينتج عنه من مياه جارية^(١٣). كما تم استخدام بعض النماذج الإحصائية لدراسة عرض الحدود الفاصلة بين مناطق تساقط الثلوج ومناطق التساقط المطري Rain/snow boundary خلال كل عاصفة ثلجية، وذلك لدور هذه المناطق في إحداث فيضانات عنيفة في المناطق التي توجد فوقها^(١٤). كما استخدمت بعض النماذج لدراسة المقطع الرأسي للغلاف الجوي بهدف التنبؤ بالحالة الجوية هل ستكون مثلجة أم لا، مثال ذلك النموذج المعروف Fine mesh والذي يطبق بكثافة في المملكة المتحدة^(١٥).

الأحوال الجوية المثالية لتساقط الثلوج

تتفاوت الأقاليم الجغرافية في الشروط التي يجب توفرها لكي تساقط الثلوج أثناء تأثرها بالجبهات الباردة. فعلى سبيل المثال فإن التساقط يكون ثلجاً إذا انخفضت درجة حرارة المقياس الرطب في وسط آسيا على ارتفاع ٤٠٠٠ متر عن ٤م، و٢,٥م بالارتفاع نفسه في الولايات المتحدة. وبشكل عام فإن الثلوج لا تسقط إذا كانت درجة حرارة المقياس الرطب على السطح تزيد عن ٥٦م^(١٦)، كما ان خط الثلج الدائم Snow line يختلف منسوبه من منطقة إلى أخرى. فعلى درجة ٦٠ شمالاً يبلغ منسوبه ٢٥٠٠ متر، ولكنه يقع قرب مستوى سطح البحر على الدرجة نفسها جنوب الكرة الأرضية، ويرتفع إلى ٦٥٠٠ متر في

مليبار وارتفاعه بموجب معادلة خط الانحدار التالية:

$$h = 1198.8 - 27.86 t$$

حيث ان:

$$h = \text{ارتفاع مستوى } 500 \text{ مليبار/gpm}$$

$$t = \text{درجة الحرارة عند مستوى } 500 \text{ مليبار}$$

بينما يوجد ارتباط سلبي قدره (-0,70) بين درجة الحرارة على ارتفاع 850 مليباراً وبين منسوب 850 مليباراً^(٣).

كما توصل Prezerakos إلى أن معدل سمك الغلاف الجوي بين 500 - 1000 مليبار أثناء تساقط الثلوج فوق أثينا، هو 5230 gpm، أما معدل سمك الغلاف الجوي بين 850 - 1000 مليبار فيكون 1282 gpm، ويكون معدل مستوى التجمد Freezing level 980 مليباراً، كما وجد أن معدل الفرق بين قيم الضغط الجوي على السطح والضغط الجوي عند مستوى التجمد يصل إلى 8,6 مليبار، وأن متوسط حاصل جمع درجة حرارة نقطة الندى dewpoint ودرجة الحرارة السطحية يساوي أو يقل عن درجة مئوية واحدة، وتوصل إلى أن معدل درجة حرارة المقياس الرطب على ارتفاع 850 مليباراً أثناء تساقط الثلوج على مدينة أثينا يساوي -59م^(٤).

أهداف الدراسة

ركزت جميع الدراسات التي تم استعراضها آنفاً على دراسة وتحليل المقطع العمودي للغلاف الجوي أثناء تساقط الثلوج، مستخدمة العديد من المتغيرات المناخية، ومستعينة ببيانات مستمدة من محطة راديوساوند واحدة أو عدد محدود منها. بينما ستركز هذه الدراسة على تحليل النمط الأفقي لتوزيع درجة الحرارة في طبقات الجو العليا فوق منطقة الدراسة أثناء هطول الثلج، وربط هذا النمط بالاحوال الجوية المرافقة لتساقط الثلوج، باستخدام ما يزيد عن (45) محطة موزعة على منطقة واسعة يعتقد أنها هي الأكثر تأثيراً على الفعاليات الجوية أثناء سيطرة المنخفضات الجوية الثلجية على الساحل الشرقي للبحر المتوسط.

الذي يكون سمك الغلاف الجوي بين 500 - 1000 مليبار فوق قبرص يتراوح ما بين 5300 - 5350 gpm. وعند إدخاله درجة الحرارة لكي يؤكد فصل الحالات الممطرة عن الحالات الثلجية فإن تساقط الثلج فوق القدس يكون مؤكداً بنسبة 100% إذا تراوحت درجة الحرارة السطحية بين (-52 إلى -6م°)، وكان اتجاه الرياح محصوراً بين الغرب والشمال (تقريباً) فوق بيروت. وقد استخدم درويان وزملاؤه لهذا الغرض البيانات المستخلصة من محطات الراديوساوند في كل من نيقوسيا (قبرص)، واللاذقية (سوريا)، وبيروت (لبنان)، وانقرة (تركيا)، ومحطة بيت دجن قرب مدينة يافا (فلسطين)^(١١).

كما استعرض Prezerakos الخصائص العامة للكتل الهوائية المصاحبة للمنخفضات الثلجية على مدينة أثينا ضمن ثلاثة أبحاث (1979، 1984، 1985). وقد اعتمد في ورقته الأخيرة على البيانات الخاصة بالمقطع العمودي للغلاف الجوي فوق مدينة أثينا، باستخدام لوحات التيفجرام لمحطة الراديوساوند Hellinikton الواقعة على بعد 15 كم من وسط مدينة أثينا وذلك أثناء يوم تساقط الثلج وقبل يوم ثم يومين من تساقطه وفي يوم آخر بعد تساقطه^(١٢).

وقد تبين له أنّ الحالات الجوية أثناء تساقط الثلج فوق أثينا يمكن تقسيمها إلى نمطين. يسيطر في النمط الأول ضغط جوي مرتفع فوق غرب أوروبا تكون جبال الألب مركزه، وفي النمط الثاني يسيطر ضغط جوي مرتفع على السطح فوق وسط أوروبا ويكون جنوب غرب روسيا مركزه. ومن خلال تحليله للوحات التيفجرام اتضح أن درجة الحرارة في طبقات الجو العليا أثناء تساقط الثلوج تكون -7,5م° عند مستوى 850 مليباراً، و-31,5م° عند مستوى 500 مليبار، وتكون الرياح بالدرجة الأولى شمالية في النوع الأول وشمالية شرقية في النوع الثاني، ويتراوح مستوى 500 مليبار ما بين 5270 - 5510 gpm، وتكون الرياح على هذا المستوى غربية في النوع الأول وشمالية غربية في النوع الثاني. كما توصل إلى وجود ارتباط إيجابي قدره 0,77 بين درجة الحرارة عند مستوى 500

وتساهم هذه الوضعية السنوبتكية في تدفق الهواء البارد من المناطق القطبية عبر الأخدود الى البحر المتوسط بشكل طولي مواز تقريبا لخطوط الطول meridional flow، حيث يساعد تقابل تلك الكتل الهوائية الباردة مع كتل أكثر دفئا على تكون المنخفضات الجوية، التي يزداد تعمقها بازدياد تدفق الهواء البارد من المناطق القطبية.

وبناء عليه تم تحديد منطقة الدراسة (الشكل ١) لتشمل المنطقة التي يشغلها امتداد أخدود الضغط الجوي المنخفض وبعض أجزاء المتين/الظهريين الشرقي والغربي. وبذلك، فقد انحصرت منطقة الدراسة بين درجتي عرض (٣٠- -٦٥°) شمالاً، وخطي طول (صفر - ٤٠°) شرقاً. واعتمدت نقاط تقاطع خطوط الطول بدوائر العرض (وفق خمس درجات عرض، وعشر خطوط طول)، ثم اخذت قياسات درجات الحرارة في طبقات الجو العليا من القيم المسجلة في مواقع محطات الراديوساوند المنتشرة في المنطقة باستخدام الخرائط الكنتورية لمستويات الضغط الجوي والتي تعد من قبل: (Deutscher Wetterdienst (Offenbach، ذات مقياس رسم ١: ٦٠ مليون على درجة العرض ٦٠، والخاصة بارتفاع مستوى ٥٠٠ مليون المقاس بما يسمى مترجهد أرضي (gpm)، وذلك خلال الساعة الثانية عشرة منتصف الليل أو ما يعرف بالساعة صفر بتوقيت غرينتش. كما تم حساب ارتفاع مستوى ٥٠٠ مليون مقدرًا بـ gpm من خلال خطوط تساوي الضغط المعروفة بـ (Ishypses) عند نقاط الدراسة البالغ عددها ٤٠ نقطة.

ومن خلال هذه الخرائط تم تحديد أقصى توغل للتيار القطبي النفاث نحو الجنوب مقدراً بدرجات العرض، وحددت درجة حرارة نقطة الندى في مركز الأخدود العلوي، وحسبت زاوية ميل محور الأخدود العلوي، وقدّرت زاوية اتجاه الرياح أثناء المنخفضات الجوية التي تسبب تساقط الثلوج فوق الأردن.

وبغرض تحقيق الأهداف المرجوة من هذه الدراسة، فقد اعتمدت جميع المنخفضات الجوية المثلجة على الأردن

لذلك، فإن هذه الدراسة تهدف إلى ما يلي:

١. تحليل النمط العام لتوزيع درجة الحرارة عند مستوى الضغط ٥٠٠ مليون.
٢. محاولة ربط النمط العام لتوزيع درجة الحرارة وشدة العواصف الثلجية.
٣. البحث عن امكانية استخدام هذا النمط في التنبؤ عن سقوط الثلوج اثناء عبور المنخفضات الجوية منطقة شرق البحر المتوسط.
٤. تصنيف المنخفضات الجوية المثلجة بناء على درجات الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليون.
٥. مقارنة الخصائص العامة للمنخفضات الجوية المثلجة وتصنيفها.
٦. تحديد المناطق الأكثر تأثيراً على الفعاليات الجوية اثناء العواصف الثلجية.
٧. محاولة ربط النمط العام لتوزيع درجة الحرارة والنمط العام لتوزيع الضغط الجوي عند مستوى ٥٠٠ مليون.

طرق البحث ووسائله

أولاً: طرق جمع البيانات والمعلومات

تبين أن المنخفضات الجوية التي تسبب تساقط الثلوج على شرقي البحر المتوسط وبخاصة فوق الأردن، تنشأ جميعها في الحوض الأوسط والشرقي للبحر المتوسط، ويتركز معظمها فوق جزيرة قبرص، بفعل تدفق هواء قطبي بارد على مياه البحر المتوسط الأدفأ نسبياً، وذلك بعد تشكل نظام ضغط جوي في طبقات الجو العليا، وتشمل الموجة الباردة من هذا النظام معظم غرب قارة أوروبا، بينما تسيطر الجبهة الدافئة على غرب روسيا، ويشمل قاع الموجة الذي يمثل اخدودا من الضغط الجوي المنخفض Trough فوق بعض اجزاء غرب أوروبا واواسطها والحوض الاوسط والشرقي للبحر المتوسط حتى السواحل الشمالية لقارة افريقيا.

لاستخراج معامل الارتباط بين درجات الحرارة عند النقطة ٤٠ ودرجات الحرارة في بقية النقاط عند مستوى ٥٠٠ مليون.

ب- نموذج التحليل العنقودي Cluster analysis

يهدف تطبيق هذا الأسلوب إلى تصنيف المنخفضات الجوية المعتمدة في الدراسة، باستخدام التحليل العنقودي من نوع Average Linkage وباستخدام درجات الحرارة الفعلية في طبقات الجو العليا، حيث مثلت النقاط الأربعون المتغيرات، ومثلت المنخفضات الجوية الثمانية والثلاثون الحالات الدراسية، بينما مثلت درجات الحرارة في طبقات الجو العليا عند مستوى ٥٠٠ مليون قيم هذه المتغيرات.

ج- نموذج تحليل سطح الانحدار Trend Surface Analysis

يستخدم هذا النموذج لعزل التأثيرات المحلية والعشوائية التي تؤثر على النمط العام للتباين المكاني للمتغيرات. ولهذا التحليل عدة درجات، يلغي التحليل من الدرجة الأولى معظم التأثيرات المحلية، ويعطي وزناً أكبر للظروف المحلية كلما رفعت درجة التحليل، حيث تكون خطوط تساوي الظاهرة على الخرائط التي تمثل نتائج سطح الانحدار من الدرجة الأولى خطوطاً مستقيمة، وتبدأ بالتقوس قليلاً عند رفع الدرجة إلى الثانية، وقد تصل إلى الخطوط المغلقة إذا رفعت درجته إلى الثالثة، ولا يحيد في الدراسات الجغرافية أن تزيد درجة سطح الانحدار عن (٣)، نظراً لصعوبة تحليل النتائج، ويصبح تحليلها أقرب للخيال من الواقع. ويحدد معامل التفسير R^2 وتغير مستوى الثقة درجة سطح الانحدار المعتمدة أثناء التحليل^(١٥).

ويعتبر سطح الانحدار تطويراً للأسلوب الاحصائي المعروف بالانحدار المتعدد Multiple regression بحيث تكون المتغيرات المستقلة في هذا الأسلوب الأبعاد المكانية للظاهرة، ممثلة بالبعد الأفقي (U) والبعد العمودي (V)، أو ما يعرف باحداثيات الموقع الجغرافي، أما المتغير التابع

خلال الفترة (١٩٨٠-٢٠٠٠)، ويقصد بالمنخفضات الجوية الثلجة تلك المنخفضات الجوية التي أثرت على المنطقة وبخاصة الأردن، وأحدثت تساقطاً للثلوج غطي معظم المرتفعات وربما أحدثت إرباكات في الحياة العامة، ولذلك استثنيت المنخفضات الجوية التي أحدثت تساقطاً محدوداً للثلج. وتم التأكد من هذا الأمر من خلال نشرات دائرة الأرصاد الجوية وأعداد جريدة الرأي المصورة وعلى أفلام وثائقية خاصة (مايكروفلم) مودعة لدى مكتبة الجامعة الأردنية. وقد بلغ عدد المنخفضات الجوية الثلجة ٤٨ منخفضاً أربعة منها في شهر كانون الأول، و١٩ في كانون الثاني، و٢١ في شباط وأربعة في آذار. عثر على خرائط تمثل ٣٨ منها فقط لدى دائرة الأرصاد الجوية، وتعد الحصول على بقية الخرائط سواء من المصدر أو من الأقطار العربية التي تتوفر فيها مثل هذه الخرائط، علماً بأن جميع القياسات تمت على خريطة واحدة لكل منخفض جوي، وتمثل كل خريطة ذروة تساقط الثلوج على مدينة عمان، حيث إن ذروة تساقط الثلوج على الأردن تختلف من منطقة إلى أخرى ضمن المنخفض الجوي الواحد.

ثانياً: طرق المعالجة الإحصائية

استخدمت عدة أساليب إحصائية لتحقيق أهداف هذه الدراسة، أهمها:

أ- أسلوب الارتباط المكاني Spatial correlation

يستخدم هذا الأسلوب لتحديد مناطق امتداد الكتل الهوائية فوق منطقة الدراسة، ويتم ذلك عندما يحدث تغير في النسق العام لمعامل الارتباط بين النقطة المرجعية وبقية النقاط، فضلاً عن تحديد المناطق التي لها ارتباط مباشر على الأحوال الجوية السائدة فوق الأردن أثناء العواصف الثلجية. وقد اعتمدت النقطة ٤٠ كنقطة مرجعية وهي أكثر نقاط الدراسة قرباً من الأردن، وتقع داخل العراق بمحاذاة الحدود الأردنية. وقد طبق معامل ارتباط بيرسون Pearson

هذه القيم في المواقع التي تخصصها على الخريطة، ثم يتم بعد ذلك رسم الخطوط الكنتورية، بحيث يخصص خريطة واحدة لكل درجة سطح انحدار.

مناقشة النتائج

بلغ معدل درجة الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليون في جميع المواقع ولجميع المنخفضات الجوية المثبتة (٢٦,١ - ٢٠ م ± ٢,٣٢ م)، أي بمعامل تباين يعادل ٨,٩%. وقد تفاوتت المنخفضات الجوية في معدلات درجة حرارتها من ٣٤,٢ م يوم ٢٨/١/٢٠٠٠ إلى ١٦,٦ م بتاريخ ٢/٣/١٩٩٢.

وكانت أقل درجة حرارة تم قياسها، في النقطة رقم ٨ الواقعة على تقاطع دائرة العرض ٦٠ شمالاً وخط الطول ٢٠ شرقاً شمال بحر البلطيق، حيث بلغت درجة الحرارة فوق هذه النقطة على ارتفاع ٥٠٠ مليون يوم ٢/١٥/١٩٨٥ نحو ٤٦ م، وأعلى درجة حرارة كانت فوق النقطة رقم ٣٦ الواقعة على تقاطع دائرة العرض ٣٠ شمالاً وخط غرينتش والتي تقع في الصحراء الكبرى على الطرف الجنوبي للجزائر، حيث وصلت حوالي ١٠ م في التاريخ السابق نفسه.

وبتحقق هذه الحالة من خلال الشكل (٢) يتبين أن خطوط تساوي منسوب ٥٠٠ مليون قد اتخذت وضعاً مثاليًا يمثل نموذجاً للموجة الأطلسية المنتظمة الشكل، فقد انتهى قاعها على دائرة العرض ١٥ شمالاً، أما الظهر/المتن فامتد من الصحراء الكبرى حتى بحر الشمال. وامتد الأخدود القطبي من شمال الدائرة القطبية حتى وسط السودان.

وقد انحصر نحو ٦٢% من درجات الحرارة المقاسة ضمن الفئة (-٢١ إلى -٣٠ م)، بينما انحصر ٢٤% منها ضمن الفئة (-٣١ إلى -٤٠ م)، وشملت الفئة (-١٥ إلى -٢٠ م) نحو ١٢% من درجات الحرارة، ولم تمثل الفئة الأكثر برودة (أقل من -٤٠ م) سوى ٢% فقط.

فيمثل قيم الظاهرة عند هذا الموقع. ومن خلال قيم التفسير R^2 لدرجات سطح الانحدار يمكننا ان نحدد مدى تآثر المتغير التابع بالمؤثرات المحلية اوالمؤثرات الخارجية. فاذا كان مقدار التفسير عند تطبيق سطح الانحدار من الدرجة الاولى مرتفعا والبواقي Residuals قليلة، فاننا نستطيع القول إن التأثيرات المحلية ضئيلة، وان هذه الظاهرة تتأثر بعوامل ومؤثرات تقع خارج المنطقة. وعند ارتفاع قيمة التفسير عندما نرفع درجة سطح الانحدار الى الدرجة الثانية اوالثالثة ارتفاعا طفيفا فهذا يؤكد أن الظروف المحلية ليس لها دور كبير في تباين الظاهرة.

وفي هذه الدراسة، تم اعتماد سطح الانحدار من الدرجة الأولى والدرجة الثانية وفق المعادلات التالية:

١. سطح الانحدار من الدرجة الأولى:

$$y = a + b_1u + b_2v$$

٢. سطح الانحدار من الدرجة الثانية:

$$y = a + b_1u + b_2v + b_3u^2 + b_4v^2 + b_5uv$$

حيث ان:

Y = القيمة المقدرة للمتغير التابع/درجة الحرارة المقاسة على ارتفاع مستوى ٥٠٠ مليون.

u = البعد الأفقي للموقع الذي اخذ منه المتغير التابع/مقاساً من الركن الأيسر للخرائط بالسنتيمتر.

v = البعد الراسي للموقع الذي اخذ منه المتغير التابع/مقاساً من الركن الأيسر للخرائط بالسنتيمتر.

b = معاملات سطح الانحدار وهي تشبه معاملات الميلان في الانحدار المتعدد. وتعبّر عن الوحدات التي تضاف للمتغير التابع (y) عند زيادة عدد وحدات المتغير المستقل (x) وحدة واحدة.

a = نقطة القطع، وتعبّر عن قيمة المتغير التابع عندما تكون قيمة المتغير المستقل صفراً.

ونظراً لصعوبة حل هذه المعادلات يدوياً فان حسابها اصبح سهلاً باستخدام الحاسبات الالكترونية بواسطة بعض الرزم الاحصائية المعروفة مثل (SPSS)، بحيث تكون المخرجات على شكل قيم مقدرة للمتغير التابع، ثم توضع

الجو العليا عند مستوى ٥٠٠ مليون في عملية التصنيف، بحيث مثلت النقاط المعتمدة في الدراسة (٤٠ نقطة) متغيرات مستقلة معبراً عنها بقيم درجات حرارة استمدت من الخرائط المشار إليها سابقاً.

ويبدي الشكل (٣) نتائج التحليل العنقودي الذي يمثل شجرة/ديندوغراف وتتكون من عنقودين Cluster يمثل كل عنقود منها فئة تختلف في خصائصها السنوبنتكية عن الفئة الأخرى. وتضم الفئة الأولى ١٢ منخفضاً، وتضم الفئة الثانية ٢٦ منخفضاً (الجدول رقم ١).

وباستخدام مقياس تباعد الفئات الموضح في الشكل رقم (٣) اعتمد المستوى ٢٣ لتكون عنده نقطة القطع، لان اختيار مسافة أقل من ذلك سيزيد من عدد الفئات، وقد لا يضم بعضها أكثر من منخفض جوي واحد، ويبدو من الشكل نفسه (٣) ان المنخفض رقم ٢٢ يختلف عن بقية المنخفضات المعنية بالدراسة، فقد انضم الى المجموعة الاولى متأخراً، وقد أثر هذا المنخفض على الأردن يوم ١٩٩٠/١/٢٦، واتخذ الأخدود القطبي شكل حرف (L) معكوساً (الشكل ٤)، وشمل طرفه الأفقي الذي يبدأ عند سواحل ليبيا ومصر وينتهي في منتصف المحيط الأطلسي ثلاثة منخفضات معزولة Cut-off lows، وسيطر الظهر الغربي للأخدود على معظم المحيط الاطلسي وشمل الاخدود المناظر له معظم امريكا الشمالية، وقد انعكس هذا الوضع على النسق العام لدرجة الحرارة في طبقات الجو العليا، فشد نمطها عن باقي المنخفضات.

كما يتضح من الجدول رقم (١) فإن عدد منخفضات الفئة الثانية يزيد عن ضعفي عدد المنخفضات الجوية في الفئة الأولى، وان شهر شباط هو الاكثر استحواذاً على هذه المنخفضات يليه شهر كانون الثاني ثم كانون الاول، ولم يحظ شهر اذار الا بثلاثة منخفضات مثلجة جميعها من الفئة الثانية.

ومن خلال استعراض اعداد جريدة الرأي خلال تساقط الثلوج، فقد تبين أن معظم منخفضات الفئة الثانية عذبة وشاملة صاحبها تراكم ثلجي اسمك من منخفضات الفئة

وبتقسيم منطقة الدراسة إلى أقاليم حرارية بناءً على التوزيع التكراري لدرجة الحرارة في طبقات الجو العليا، يتبين أن أبرد الأقاليم يقع في الركن الشمالي الغربي من منطقة الدراسة على سواحل شبه جزيرة اسكندنافيا، يليها المنطقة التي تقع شمال بحر البلطيق، ثم منتصف الأخدود القطبي من الشواطئ الجنوبية لبحر البلطيق حتى السواحل الشمالية للبحر المتوسط. أما أدفاً المناطق فتتمثل في المنطقة التي تقع في الركن الجنوبي الغربي من منطقة الدراسة، وتمتد من الجزائر حتى فرنسا مروراً بالحوض الغربي للبحر المتوسط، ثم المنطقة التي تحتل الركن الجنوبي الشرقي من منطقة الدراسة وتضم سواحل ليبيا ومصر وبلاد الشام والحوض الشرقي للبحر المتوسط، ثم تركيا والبلقان.

أما معدل درجة الحرارة فوق النقطة ٤٠ (وهي الأقرب للأردن) فيصل إلى $(-23,4 \pm 4,9^\circ\text{C})$ وبمعامل تباين قدره ٢١%، وان أعلى درجة حرارة تم قياسها فوق هذه النقطة كانت -15°C وذلك يوم ١٩٨٧/٢/١٢، وأقل درجة حرارة كانت -33°C يوم ٢٠٠٠/١/٢٨. أي اننا نستطيع القول إن درجة الحرارة على ارتفاع ٥٠٠ مليون أثناء تساقط الثلوج فوق الأردن تتراوح بين $(-15^\circ\text{C}$ إلى -33°C)، أما معدل منسوب مستوى ٥٠٠ مليون فوق النقطة نفسها فيصل إلى ٥٥٥٩ gpm، وقد تراوح هذا المنسوب بين ٥٥٧٠ gpm بتاريخ ٢٠٠٠/١/٣٠ و ٥٥٤٢ gpm بتاريخ ١٩٩٢/٢/٢٥. أي ان تساقط الثلوج فوق المرتفعات الأردنية يكون شبه مؤكد إذا هبطت درجة الحرارة دون -33°C وهبط منسوب مستوى الضغط ٥٠٠ مليون إلى ما دون ٥٥٤٢ gpm.

تصنيف المنخفضات الجوية المثلجة

استخدم لهذا الغرض النموذج الإحصائي المعروف بالتحليل العنقودي من نوع Average linkage حيث تبين انه الانسب بعد تطبيق الخيارات الثمانية لهذا التحليل Options. وقد استخدمت البيانات الخاصة بدرجة الحرارة في طبقات

الجدول رقم (١)

بعض الخصائص العامة للمنخفضات الجوية حسب الفئات الناتجة عن التحليل العنقودي

عام	الفئة الثانية العنيفة	الفئة الأولى الاقل عنفا	الفئة
			المتغير
٣	٢	١	عدد المنخفضات في شهر كانون الأول
١٤	٨	٦	عدد المنخفضات في شهر كانون الثاني
١٨	١٣	٥	عدد المنخفضات في شهر شباط
٣	٣	-	عدد المنخفضات في شهر آذار
٢٦,١-	٢٦,٤-	٢٦-	معدل درجة الحرارة/م
٥٥٤٨	٥٥٤٣	٥٥٥٠	معدل مستوى ٥٠٠ ملليبار/gpm
٢٠٦,٣	٢٠٦,٧	٢٠٥,٨	معدل اتجاه الرياح العلوية/درجة
٣٢,٠	٢٨,٧	٣٥,٣١	معدل تغلغل التيار النفاث نحو الجنوب
٣٥٧,٦	٣٥٧,٥	٣٥٨,٠	معدل ميل محور الأخدود القطبي بالدرجة
٥٦٧,٠	٥٣٩,٠	٥٨٨,٠	معدل طول الموجة/كم ^(*)
٤٢,٦ -	٤١,٧ -	٤٣,٤ -	معدل درجة حرارة نقطة الندى/م

درجة الحرارة يمكن قوله بالنسبة لهذا المنسوب، إذ يلعب النمط العام لتوزيع هذه القيم دوراً أكبر من قيمها ضمن المنخفضات المثلجة.

وكما هو معروف فإن تغلغل التيار القطبي النفاث نحو الجنوب بصورة أكبر يساهم في تعزيز فرص وصول المنخفضات الجوية إلى السواحل الشمالية لقارة أفريقيا وسواحل بلاد الشام. ففي السنة المطيرة ٩٢/٩١ بلغ معدل أقصى امتداد لهذا التيار نحو الجنوب في شهر شباط ٥٣٣ شمالاً، بينما وصل المعدل نفسه للسنة الجافة ٩٩/٩٨ نحو ٥٣٨ شمالاً، وزاد الفارق بصورة أوضح خلال شهر كانون الثاني، حيث وصل المعدل ٥٣٨ شمالاً و٥٤٨ شمالاً، بنفس الترتيب السابق^(١٦). وقد تبين من خلال هذه الدراسة أن تغلغل هذا التيار خلال المنخفضات العنيفة يقل عن المنخفضات الاقل عنفا بنحو ٦,٦ درجة، مما يساهم مساهمة كبيرة في جعل المنخفضات العنيفة أكثر شمولا وعمقا.

وقد تراوح اتجاه الرياح العلوية أثناء ذروة تأثير

الأولى، فكانت تعطل خلالها معظم مدارس الدولة ومعاهدها وجامعاتها، وكان يصاحبها في الغالب إقبال للطرق وبخاصة الطرق التي تقع شمال ووسط المملكة، كما تسببت هذه المنخفضات العنيفة بأضرار جسيمة في الثروة الحرجية، ويتراوح مجمل التساقط المطري لكل منخفض مثلج مقدراً بالمليمترات المطرية ما بين ٥٠ - ١٠٠ ملم. أما المنخفضات الجوية المثلجة الواقعة ضمن الفئة الأولى (الاقل عنفا)، فكانت أقل شمولا وديمومة، ونادراً ما تعطل المؤسسات التعليمية، وتكون الاريكاكات المرورية أقل حدة من سابقتها.

ولذلك نجد أن معدل درجة حرارة المنخفضات الجوية في الفئة الثانية أقل بنصف درجة تقريباً، وهو فرق ضئيل غير مؤثر، ولكنه مؤشر مهم، والأكثر أهمية في هذا المجال هو توزيع هذه الدرجات على منطقة نفوذ الأخدود. كما تبين أن معدل منسوب مستوى ٥٠٠ ملليبار ضمن منخفضات الفئة الثانية أقل بنحو ٧ gpm، وما ذكر عن

(*) يرجى مراعاة مقياس الرسم، حيث تم تقدير هذه المسافات حسب مقياس الرسم ١: ١٠٠٠٠٠٠٠ على دائرة العرض ٥٦.

ويقل امتداد الأخاديد القطبية، والعكس عندما يقل امتداد قاعدة الظهور، حيث يرافقها زيادة في عمق الموجة (ارتفاع الظهور)، ويزداد امتداد الأخاديد القطبية، بحيث تمتد الاخاديد مسافة أطول نحو الشمال، وتتوغل هذه الاخاديد اكثر نحو الجنوب. وقد بينت نتائج هذه الدراسة أن المنخفضات المتلجة الأكثر عنفاً تتميز بضيق قاعدة متونها، أو بعبارة أخرى قصر موجاتها كما هو الحال في المنخفض الذي اثر على الاردن بتاريخ ١٩٨٥/٢/٢٥، حيث سجل هذا المنخفض ادنى معدل لارتفاع مستوى ٥٠٠ مليار، اذ وصل المعدل نحو ٥٥٤٢ مليار (الشكل رقم ٥).

تتميز منخفضات الفئة الثانية/ العنيفة بارتفاع رطوبتها النسبية مقارنة بالمنخفضات الاقل عنفاً/الفئة الأولى، فقد بلغ معدل درجة حرارة نقطة الندى في هذه المنخفضات - ٤١,٧°م، ويزيد هذا المعدل نحو ١,٧°م عن المعدل نفسه في منخفضات الفئة الأولى. علماً بأنه قد تم رصد درجة حرارة نقطة الندى عند أعرق مناطق الأخدود العلوي لجميع المنخفضات المعنية بالدراسة. ونظراً لقلة الرطوبة نسبياً في بعض المنخفضات الجوية فقد كانت غزارة الثلوج أقل في هذه المنخفضات مقارنة بالمنخفضات الأوفر رطوبة. ويساهم ميل المحور وامتداده فوق المتوسط، ودرجة حرارة البحر المتوسط بدور كبير في هذا المجال يستحق الدراسة والتحصيل مستقبلاً.

الاتجاه العام لتوزع درجة الحرارة

تم تطبيق نموذجي سطح الانحدار من الدرجة الأولى والدرجة الثانية على معدلات درجات الحرارة في طبقات الجو العليا على مستوى الضغط ٥٠٠ مليار ثلاث مرات، حيث كانت معدلات درجة الحرارة في المرة الأولى في جميع المنخفضات متغيراً تابعاً، وفي المرة الثانية كانت معدلات الحرارة في منخفضات الفئة الأولى هي المتغير التابع، وفي الثالثة كانت معدلات الحرارة في منخفضات الفئة الثانية هي المتغير التابع. اما المتغيرات

المنخفضات الجوية جميعها ما بين (١٨٠ - ٢٣٠°)، أي انها تنحصر ما بين جنوبية إلى جنوبية غربية. وبذلك فان متوسط اتجاه الرياح يكون ٢٠٥° تقريباً. والفارق بين اتجاه الرياح بين منخفضات الفئتين يعادل درجة واحدة فقط، ويمكن القول إن الاتجاه الأنسب لتساقط الثلوج عندما تكون الرياح العلوية عند مستوى ٥٠٠ مليار على الأردن جنوبية غربية، ويتحقق هذا الأمر عندما يكون قاع الموجة يشغل الحوض الشرقي للبحر المتوسط، وتمتد حافتها الشرقية على طول ساحل بلاد الشام وتركيا، فتكون الرياح العلوية في هذه الحالة شمالية غربية على قبرص، وشمالية على غرب أوروبا، وجنوبية غربية على ساحل بلاد الشام. أما إذا تجاوز القاع ساحل بلاد الشام فإن فرص تساقط الثلوج تصبح أقل^(١٧)، لأن ميل محور الأخدود عن الشمال الى الغرب قليلاً، يساهم في تدفق هواء قطبي رطب ذي منشأ بحري يزيد من فعالية المنخفضات الجوية من هذا النوع، كما هو الحال في منخفضات الفئة الثانية التي تتصف بالعنف.

كما يتراوح ميل محور الأخدود القطبي بين (شرق - غرب) في حالة واحدة فقط وبين (شمال غرب - جنوب شرق) بمعدل عام قدره ٣٥٧,٦°. ولا يوجد اختلاف كبير (٠,٥°) بين ميل محاور المنخفضات المتلجة في كلتا الفئتين. ويبدو أن الاتجاه الأمثل لميل محور الأخدود لتساقط الثلوج هو الاتجاه شمال - جنوب او شمال شمال غرب - جنوب جنوب شرق، حيث يساعد هذان الاتجاهان المتقاربان في سلوك الرياح القطبية طريقاً أقصر إلى مياه البحر المتوسط الادفاً نسبياً.

تزداد فعالية المنخفضات الجوية كلما كانت الموجة في طبقات الجو العليا أقصر وأعمق، ويساهم هذا الأمر في امتداد الظهور والأخاديد فوق مساحات شاسعة متباينة في حرارتها ورطوبتها، تعمل على تنشيط الدورة العامة للغلاف الجوي، وتسمح بتطور المنخفضات الجوية. وقد تبين من خلال استعراض الخرائط الخاصة بالمنخفضات الجوية المتلجة أنه عندما تزيد قاعدة الظهور يقل ارتفاعها،

الجدول رقم (٢)

نتائج تحليل سطح الانحدار من الدرجتين الأولى والثانية على معدلات درجات الحرارة في طبقات الجو العليا عند مستوى ٥٠٠ مليبار

المقاييس	المعدل العام لجميع المنخفضات	المعدل العام لمنخفضات الفئة الأولى/الأقل عنفا	المعدل العام لمنخفضات الفئة الثانية/العنيفة
الدرجة الأولى:			
معامل الارتباط R	٠,٩٣	٠,٩٣	٠,٩٦
مقدار التفسير R ²	٠,٨٦	٠,٨٦	٠,٩١
مستوى الثقة	%٩٩	%٩٩	%٩٩
الدرجة الثانية:			
معامل الارتباط R	٠,٩٤	٠,٩٤	٠,٩٨
مقدار التفسير R ²	٠,٨٩	٠,٨٩	٠,٩٦
مستوى الثقة	%٩٩	%٩٩	%٩٩

$$y = 13.7 + 1.34(u) - 1.58(v) - 2.0(u^2) + 0.25(v^2) + 6(uv)$$

أي ان هناك ١١% من التباين في درجات الحرارة لم يستطع النموذج تفسيرها، وقد يكون ادخال بعض المناطق التي ليس لها علاقة قوية بالاخذود القطبي هو السبب في عدم تمكن هذا النموذج من تفسير مجمل النمط العام لتوزيع درجات الحرارة في طبقات الجو العليا.

ومن خلال الشكل (٦، أ) فان درجة الحرارة تتناقص كلما اتجهنا صوب الشمال-الشمال الشرقي من منطقة الدراسة، حيث يميل هذا الاتجاه نحو ٢٥° عن اتجاه الشمال وكما هو موضح بالرسم في الشكل نفسه (٦، أ). ويعتبر هذا النسق العام لتوزيع درجات الحرارة محصلة اتجاهين الاول نحو الشمال والثاني نحو الشرق، حيث تتناقص درجات الحرارة في طبقات الجو العليا من الغرب الى الشرق بمعدل ٤,٤٨°م لكل ٧٠٠ كم، بينما يكون التناقص نحو الشمال بمعدل ٢,٤٦°م لكل ٧٠٠ كم. فمن معادلة سطح الانحدار من الدرجة الاولى فان كل زيادة في المحور الافقي وحدة واحدة (اسم على الخريطة بعد التصغير) اي ما يعادل ٧٠٠ كم على الارض، يقابله نقصان في درجة

المستقلة فهي احداثيات نقاط الدراسة المعتمدة (٤٠ نقطة) وكما هو موضح في منهجية هذه الدراسة.

أولاً: نتائج تحليل سطح الانحدار الخاصة بجميع المنخفضات:

يبدو من الجدول رقم (٢) ان نموذج سطح الانحدار من الدرجة الاولى قد استطاع ان يفسر ٨٦% من تباين درجات الحرارة بطبقات الجو العليا فوق منطقة الدراسة خلال ذروة تأثير المنخفضات الجوية الثلجة على الاردن وفق المعادلة التالية:

$$y = 1.48(u) + 2.46(v) - 0.61$$

حيث ان:

y = درجة الحرارة عند مستوى الضغط ٥٠٠ مليبار.

u = البعد الافقي للموقع الذي اخذ منه المتغير التابع.

v = البعد الراسي للموقع الذي اخذ منه المتغير التابع

وعند رفع درجة سطح الانحدار الى الدرجة الثانية فقد استطاع هذا النموذج تفسير ٨٩% من تباين درجة الحرارة، وفق المعادلة التالية:

وعند رفع رتبة تحليل سطح الانحدار الى الدرجة الثانية حسب المعادلة التالية:

$$y = 20.27 - 1.99(u) - 0.76(v) + 0.33(u^2) + 1.77(v^2) + 2(uv)$$

فقد ارتفع التباين المفسر في درجة الحرارة ضمن المنخفضات الجوية الاقل عنفا الى ٨٩%. ومن خلال الشكل (١٧أ) فإن درجة الحرارة في هذه المنخفضات تتناقص كلما اتجهنا صوب الشمال-الشمال الشرقي بزاوية تميل عن اتجاه الشمال بنحو ٣٥°. ويصل معدل التناقص باتجاه الشرق نحو ١,٦٧م لكل ٧٠٠ كم، ونحو ١,٨١م كلما اتجهنا صوب الشمال.

ويبدو من الشكل (١٧ب) ان خطوط سطح الانحدار اكثر تباعدا من تباعدها في الشكل (١٦أب)، وان هذه الخطوط انحنت في الشكل (١٧أ) استجابة لنسق توزع مناسب مستوى الضغط ٥٠٠ مليبار (الشكل ٧ج). وفي هذا النسق يقع الساحل الشرقي للبحر المتوسط قاع الموجة/منتصف الاخدود العلوي، الذي تنتقل اليه الكتل الهوائية من الظهر الغربي للموجة رافعة الضغط الجوي فيه نسبيا مقارنة بالمناطق التي يحتلها الجناح الشرقي للاخدود. كما ان تحول اتجاه ميل محور الاخدود القطبي كما هو واضح في الشكل (١٧ج) من شمال غرب- جنوب شرق الى الاتجاه شمال - جنوب في منتصف الطريق بين القطب الشمالي والبحر المتوسط قد اضعف منخفضات هذه الفئة عن المنخفضات العنيفة/الفئة الثانية.

ثالثا: نتائج تحليل سطح الانحدار الخاصة بالمنخفضات الجوية العنيفة/الفئة الثانية:

استطاع نموذج سطح الانحدار من الدرجة الاولى تفسير نحو ٩١% من تباين درجات الحرارة في طبقات الجو العليا ضمن المنخفضات الجوية العنيفة بموجب المعادلة التالية:

$$y = 1.65(u) + 3.96(v) - 1.12$$

حيث ان y = معدل درجات الحرارة في طبقات الجو العليا للمنخفضات الجوية العنيفة.

الحرارة قدره ١,٤٨ م، علما بان القياسات قد اخذت من الركن الجنوبي الغربي للخريطة. ومن خلال المعادلة نفسها ايضا، فان درجات الحرارة في طبقات الجو العليا تتناقص بمعدل ٢,٤٦ م كلما اتجهنا شمالا وحدة واحدة (اسم على الخريطة بعد التصغير) اي ما يعادل ٧٠٠ كم على الارض.

ويتضح من خلال الشكل (١٦ج) ان هذا النمط يعتبر مثاليا لنشأة المنخفضات الجوية فوق الحوض الشرقي للبحر المتوسط، حيث تجري رياح الانحدار gradient wind من خلال هذا النظام (الاخايد والظهور) وتكون هذه الرياح أسرع على الجناح الغربي للأخدود منها في منتصف الأخدود، مما يؤدي إلى تخفيض سرعتها بين قمة الظهر وقاع الأخدود فينجم عن ذلك ما يسمى ظاهرة التجمع Convergence، وسوف تنتقل الكتل الهوائية من الجناح الغربي إلى قاع الأخدود، مما يؤدي إلى انخفاض الضغط الجوي فوق المناطق التي يسيطر عليها ظهر الموجة، ويزيد بذلك الضغط الجوي في قاع الأخدود، وينتج عن ذلك ظاهرة تسمى التفرق Divergence ما بين قاع الأخدود والظهر الشرقي للموجة الموجود فوق شرق تركيا، وستنتقل ظاهرة التجمع بعد ذلك الى ظهر الموجة الكائن فوق تركيا مما يساعد على انخفاض الضغط الجوي هناك، ومن ثم تتطور حالة عدم الاستقرار في المنطقة ايدانا بتساقط الامطار او الثلوج^(١٨).

ثانيا: نتائج تحليل سطح الانحدار الخاصة بالمنخفضات الاقل عنفا/الفئة الاولى:

استطاع نموذج سطح الانحدار من الدرجة الاولى تفسير نحو ٨٦% من تباين درجات الحرارة في طبقات الجو العليا (الجدول ٢) بموجب المعادلة التالية:

$$y = 2.8 + 1.67(u) + 1.81(v)$$

حيث ان :

y = معدل درجة الحرارة في طبقات الجو العليا للمنخفضات الجوية الاقل عنفا.

وبخاصة خطوط سطح الانحدار من الدرجة الثانية تتوازي مع خطوط تساوي الضغط الجوي عند مستوى ٥٠٠ مليبار، وتسمى هذه الحالة الباروتروبيك Barotropic، حيث يقل نقل الطاقة الحرارية من الشمال الى الجنوب وبالعكس، وتبقى المنطقة متأثرة بالكتل الهوائية القطبية أطول فترة ممكنة، وقد بدا ذلك واضحا عندما كانت خطوط سطح الانحدار من الدرجة الثانية لدرجة الحرارة في طبقات الجو العليا للمنخفضات العنيفة (شكل ٨، ب، ج) اكثر موازاة لخطوط تساوي الضغط عند مستوى ٥٠٠ مليبار من خطوط سطح الانحدار من الدرجة الثانية للمنخفضات الجوية الاقل عنفا، الشكل (٧، ب، ج).

الارتباط المكاني بين درجات الحرارة

أظهرت نتائج تحليل سطح الانحدار أن منطقة الدراسة لا تتجانس تماماً مع النسق العام لتوزيع درجة الحرارة في طبقات الجو العليا، حيث تقع بعض المناطق خارج هذا النسق، رغم أن اختيار موقع الدراسة قد تم بناءً على دراسة أولية لموقع الأخدود القطبي. وللوقوف عند ظاهرة عدم التجانس في النسق العام لتوزيع درجة الحرارة، تم تطبيق أسلوب الارتباط المكاني. واعتمدت النقطة ٤٠ الأقرب للأردن كنقطة مرجعية من بين جميع النقاط ليتم ربط درجات الحرارة في طبقات الجو العليا عند مستوى ٥٠٠ مليبار مع درجات الحرارة في المستوى نفسه مع بقية النقاط المعتمدة في الدراسة.

وقد أظهر هذا الأسلوب أن النسق العام لتناقص درجات الحرارة لا يكون بنفس الوتيرة ضمن منطقة الدراسة (الشكل ٩، أ)، حيث تأخذ خطوط تساوي معاملات الارتباط شكلاً يشبه إلى حد كبير النمط العام لخطوط تساوي مستوى ٥٠٠ مليبار، حيث تبدأ معاملات الارتباط ايجابية ومرتفعة نسبياً عند الركن الجنوبي الغربي لمنطقة الدراسة، ثم تأخذ بالتناقص كلما اتجهنا شمالاً حتى تتعدم هذه الصلة عندما يصل معامل الارتباط صفراً عند سواحل إيطاليا واليونان ثم تبدأ معاملات الارتباط بالتزايد ولكن بصورة

وقد ارتفع مقدار التباين المفسر في درجات الحرارة الى ٩٦% عند رفع درجة نموذج سطح الانحدار الى الدرجة الثانية وفق المعادلة التالية:

$$y = 0.24(u) - 0.94(v) - 0.64(u^2) + 0.14(v^2) + 0.49(uv) - 2.13$$

ولعل ارتفاع قيمة التباين المفسر يعود الى اشغال الاخدود القطبي في هذه المنخفضات لمعظم منطقة الدراسة، مما جعل النسق العام لدرجة الحرارة اكثر تجانسا من المنخفضات الاقل عنفا. ومن الملاحظ من خلال الشكل (٨، أ، ب) ان خطوط سطح الانحدار اكثر تقارباً وان درجات الحرارة تتناقص باتجاه الشمال-الشمال الشرقي، وان هذا الاتجاه اقرب الى الشمال بنحو ١٠ درجات مما هو عليه الحال في المنخفضات الاقل عنفا، اي ان هذه المنخفضات الجوية يرافقها اخدود قطبي اقرب الى الشمال من المنخفضات الاقل عنفا، واقرب الى المصادر البحرية، ولذلك فهي اربط ومن ثم فانها الاكثر ثلوجاً. كما تتميز هذه المنخفضات بان درجة الحرارة فيها تتناقص باتجاه الشمال بمعدل ٣،٩٦م لكل ٧٠٠ كم. اي انه يزيد عن ضعفي التناقص في درجة الحرارة بالاتجاه شمالاً في المنخفضات الاقل عنفا.

ويبدو من الشكل (٨، ب) ان خطوط سطح الانحدار من الدرجة الثانية قد تقوست بصورة معاكسة عما هو عليه الحال في الشكل (٧، ب)، ويمثل هذا التقوس ايضا استجابة للنسق العام لمناسيب مستوى الضغط ٥٠٠ مليبار الشكل (٧، ج)، حيث تشكل اخدود قطبي يمتد من الشمال الى الجنوب دون ان يغير اتجاهه كما يحصل في معظم اخاديد الفئة الاقل عنفا، ومن الملاحظ ايضا ان الساحل الشرقي للبحر المتوسط قد وقع في قلب نشاط ظاهرة التجمع التي اشير اليها انفا، فالنظام باكملة يقع الى الغرب من النظام الخاص بمنخفضات الفئة الاقل عنفا.

يتضح مما سبق ان درجات الحرارة في طبقات الجو العليا تتناقص باتجاه الشمال-الشمال الشرقي، وان الاخدود القطبي يكون اكثر تأثيراً على الاردن اذا وقع غرب سواحل بلاد الشام، كما ان خطوط تساوي درجات الحرارة

المثلجة إلى شبه النظام العام الذي يسبب تكون هذه المنخفضات.

الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة فقد أمكن التوصل إلى العديد من الاستنتاجات يمكن تلخيصها فيما يلي:

١. تميل درجات الحرارة في طبقات الجو العليا عند مستوى ٥٠٠ مليبار للتناقص باتجاه الشمال-الشمال الشرقي أثناء ذروة تأثير المنخفضات الجوية المثلجة على الأردن.
٢. يزداد عنف المنخفضات الجوية المثلجة إذا اتخذ محور الأخدود القطبي اتجاهاً عاماً محاذياً أو مطابقاً لاتجاه (شمال - جنوب).
٣. يزداد عنف المنخفضات الجوية المثلجة إذا وقع محور الأخدود القطبي أثناء ذروة تأثير هذه المنخفضات على الأردن إلى الغرب من ساحل بلاد الشام.
٤. يزداد عنف المنخفضات الجوية إذا كانت وتيرة تناقص درجات الحرارة في طبقات الجو العليا نحو الشمال الشرقي كبيرة.
٥. يشبه النسق العام لتوزع درجة الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليبار بدرجة كبيرة النسق العام للضغط الجوي عند المستوى نفسه.
٦. تزداد فرص تساقط الثلوج على الأردن إذا انخفضت درجة الحرارة عند مستوى ٥٠٠ مليبار فوق الأردن عن -33°C ، وإذا انخفض منسوب مستوى ٥٠٠ مليبار عن ٥٥٤٢ gpm.
٧. يتكون النظام العام الذي يسبب تساقط الثلوج فوق الأردن من عدة كتل هوائية، تتفاوت في خصائصها الحرارية، حيث تحتل الكتل الباردة وسط الأخدود القطبي، وتشغل الكتل الدافئة نسبياً الظهور التي تحف بهذا الأخدود من الجانبين.

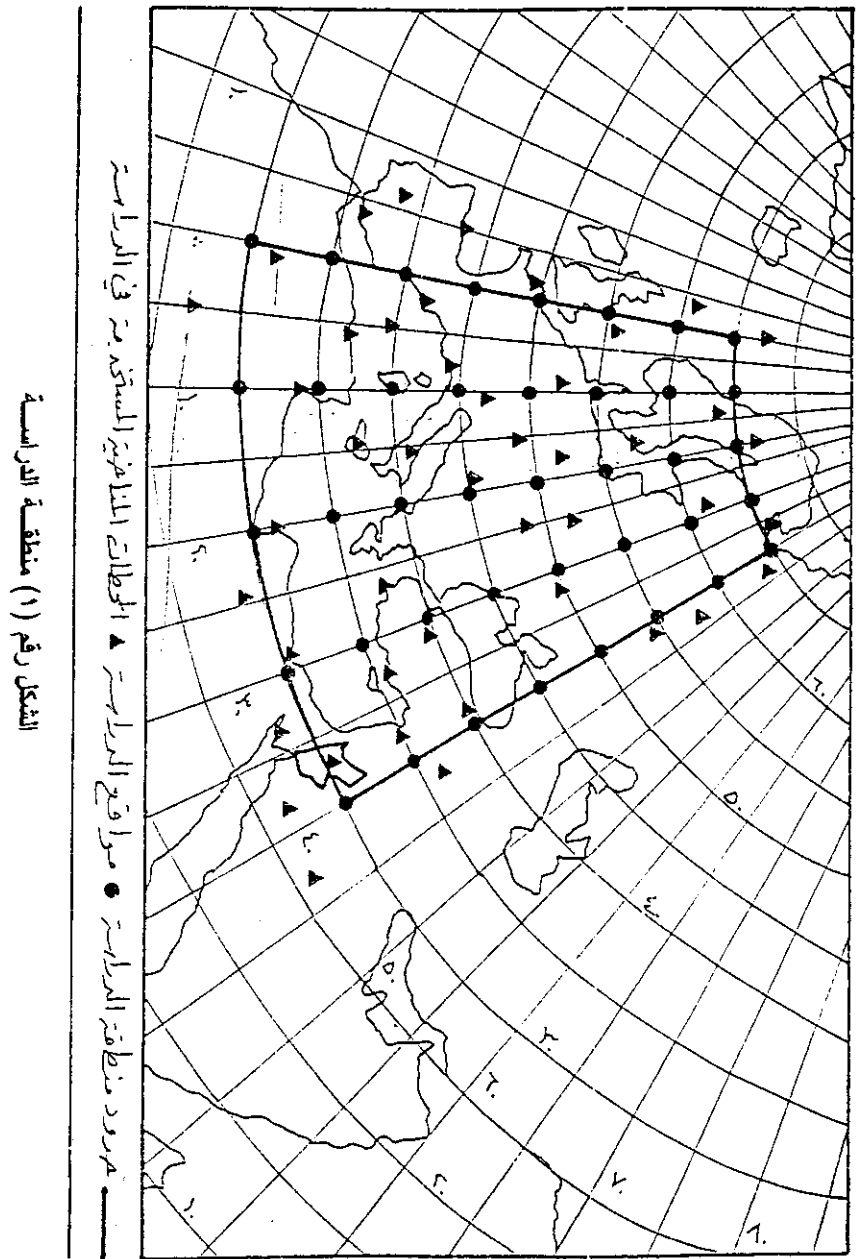
معكوسة (سالبة) حتى شمال شبه جزيرة اسكندنافيا ثم تعود القيم بالتناقص مرة أخرى مع احتفاظها بالعلاقة السلبية.

وقد عبر عن هذه العلاقة بين دوائر العرض ودرجات الحرارة بالشكل (٩، ب). فمن خلال معاملات الارتباط بين درجة الحرارة في طبقات الجو العليا عند النقطة ٤٠ وبقية النقاط وبمعرفة دائرة العرض لكل نقطة، تم تمثيل هذه العلاقة في الشكل المشار إليه (٩، ب).

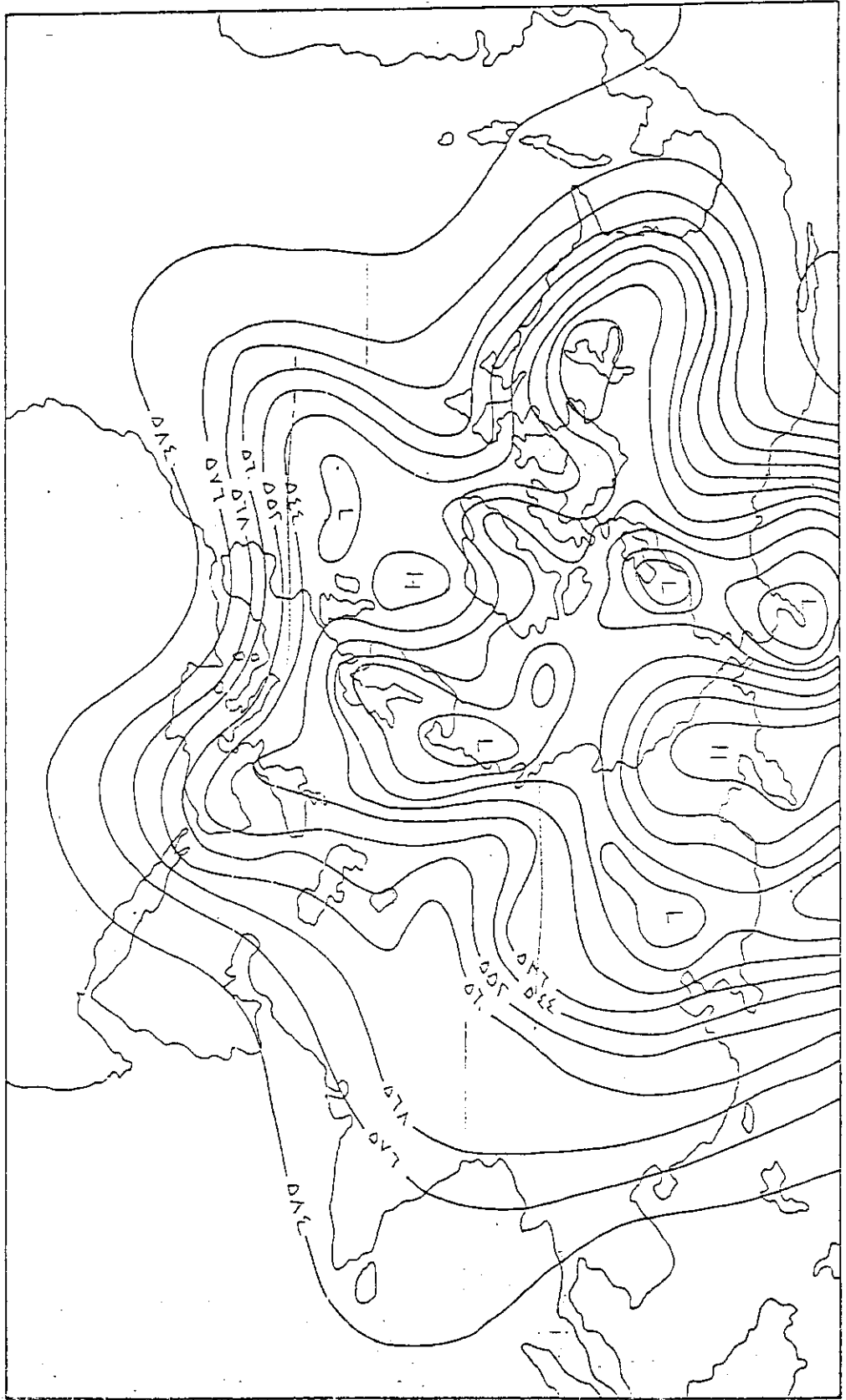
ويبين الشكل (٩ ، أ) وجود مناطق ضمن منطقة الدراسة تشذ عن النسق العام لمعاملات الارتباط فوق الحوض الغربي للبحر المتوسط وشبه جزيرة ايبيريا. ولعل هذا التباين في النسق العام يعود إلى ان النظام العام الذي يسيطر على منطقة الدراسة يحتوي على عدة كتل هوائية تتفاوت في درجة حرارتها ، مع بقاء المنطقة الشمالية ابرد من المناطق الجنوبية، فالكتل الهوائية التي تعبر المنطقة قادمة من القطب الشمالي عبر الأخدود القطبي تكون باردة، أما الكتل التي تحف بالأخدود ضمن الظهر الشرقي والظهر الغربي تكون دافئة نسبياً، يضاف إلى ذلك ان المناطق التي تقع شمال الدائرة القطبية الشمالية لا تنتمي في معظم المنخفضات الجوية المثلجة إلى شبه النظام العام الذي يسبب تكون هذه المنخفضات.

كما لوحظ شذوذ عن النسق العام لهذه المعاملات فوق الحوض الغربي للبحر المتوسط وشبه جزيرة ايبيريا. ولعل هذا التباين في النسق العام يعود إلى أن النظام العام الذي يسيطر على منطقة الدراسة يحتوي على عدة كتل هوائية تتفاوت في درجات حرارتها مع بقاء المناطق الشمالية أبرد من المناطق الجنوبية، فالكتل الهوائية التي تعبر البحر المتوسط قادمة من المنطقة القطبية عبر القارة الأوروبية تتغير خصائصها الحرارية بمجرد دخولها البحر المتوسط، كما ان الحوض الغربي للبحر المتوسط يكون في الغالب خاضعاً لتأثير متن الموجة الأطلسية الأدفأ، بينما تكون بقية أجزاء منطقة الدراسة خاضعة لسيادة الأخدود القطبي الأبرد. يضاف إلى ذلك أن المناطق التي تقع شمال الدائرة القطبية الشمالية لا تنتمي في معظم المنخفضات الجوية

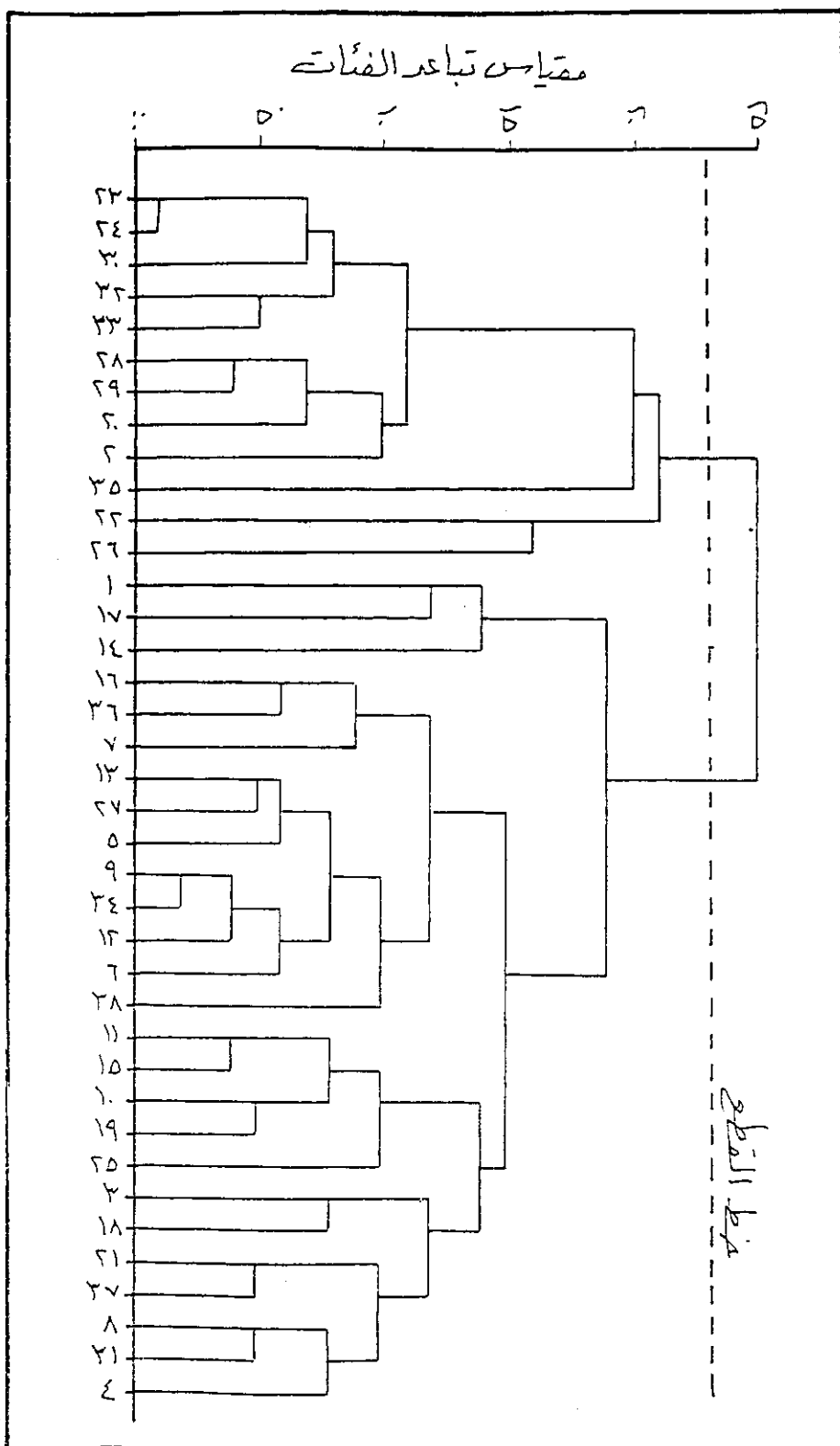
٨. يمكن اعتبار الحوض الغربي للبحر المتوسط منطقة غير مؤثرة على الحالة الجوية التي تسود الأردن أثناء ذروة المنخفضات الجوية المثلجة.
٩. كلما ارتفعت درجة حرارة نقطة الندى في طبقات الجو العليا أثناء تأثير المنخفضات الجوية المثلجة على الأردن ازداد عنف هذه المنخفضات، وازدادت كثافة ثلوجها، لأن ذلك يدل على زيادة الرطوبة النسبية وارتفاع معامل الخلط ضمن الغلاف الجوي.
١٠. يمكن استخدام أسلوب تحليل سطح الانحدار من
- الدرجة الاولى والدرجة الثانية على درجات الحرارة في طبقات الجو العليا في التنبؤ بمدى عنف المنخفضات الجوية المتوقع عبورها سواحل بلاد الشام.
١١. بينت هذه الدراسة اهمية النسق العام لتوزيع درجة الحرارة افقيا على الفعاليات الجوية اثناء ذروة تأثير المنخفضات الجوية المثلجة على الاردن، بعد ان كان ينصب معظم اهتمام المتخصصين في هذا المجال على دراسة المقطع الراسي لدرجة الحرارة.

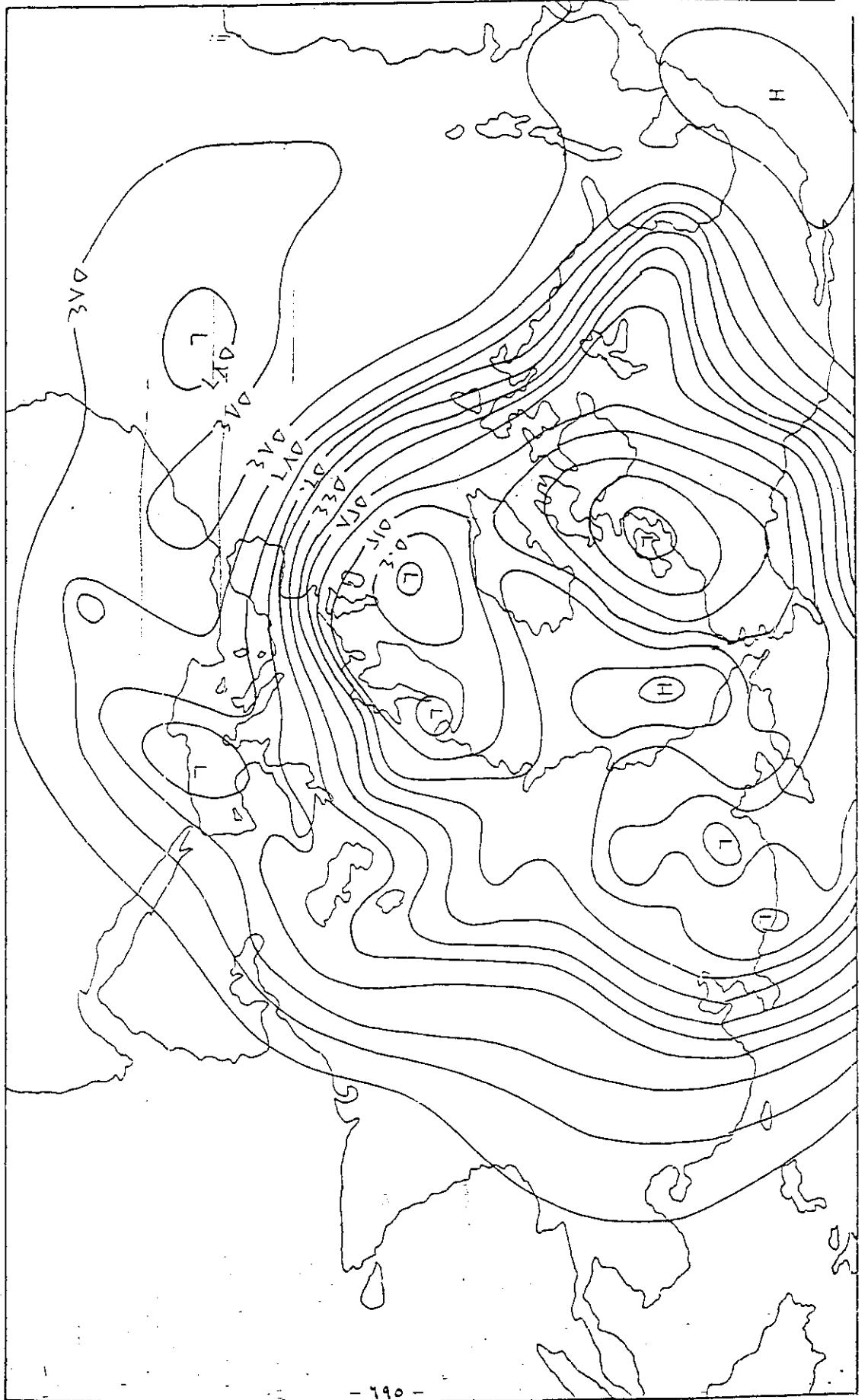


شكل - ٢ - مخطط التساوي لارتفاع سطح البحر ١٥/٢/١٩٨٥ gpm الساعة الثانية عشرة
منخفض الليل بتوقيت جرينيتش .

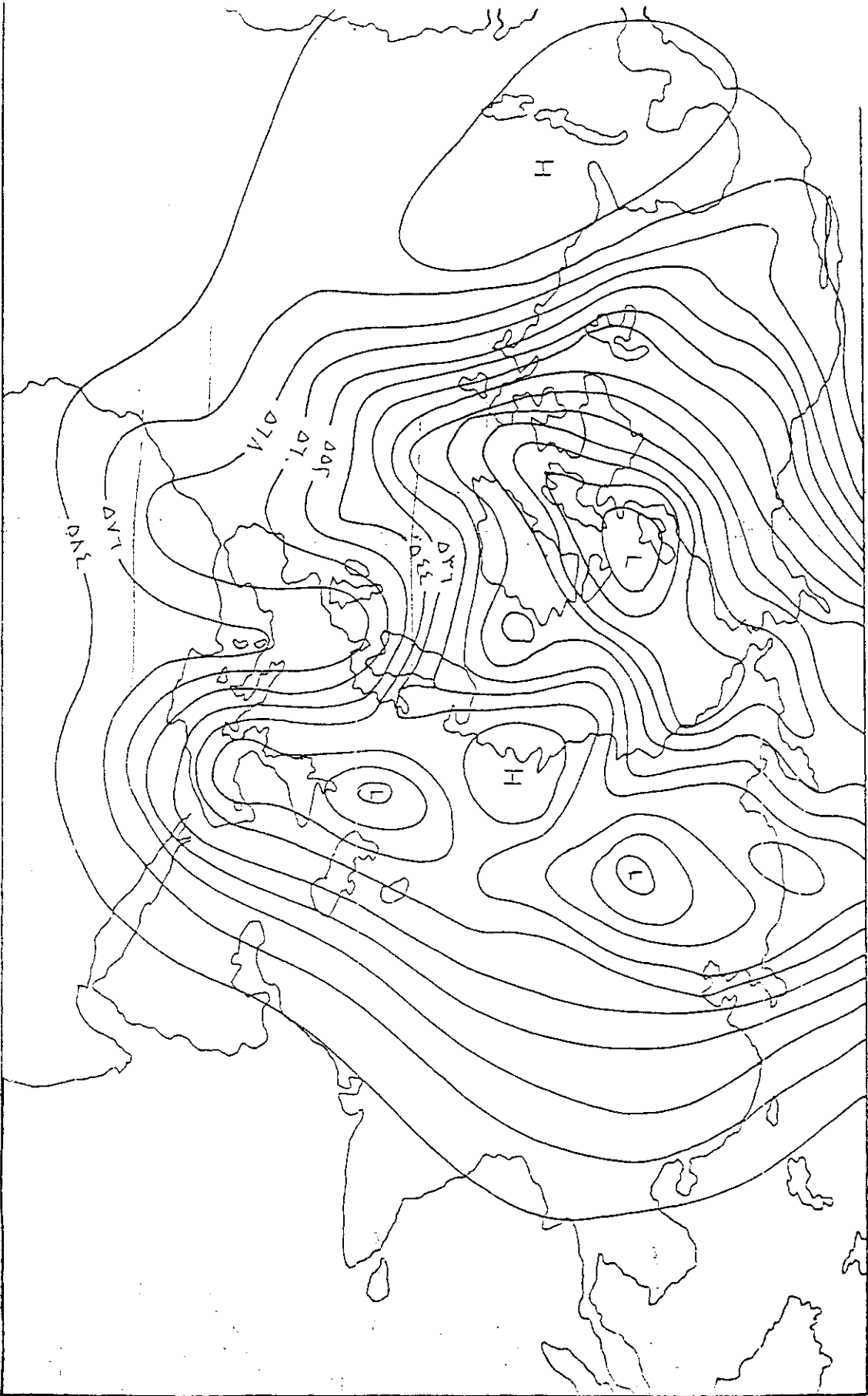


شكل ٣ - تصنيف المتخلفات الجوية المستخدمة بالتحليل العنقودي

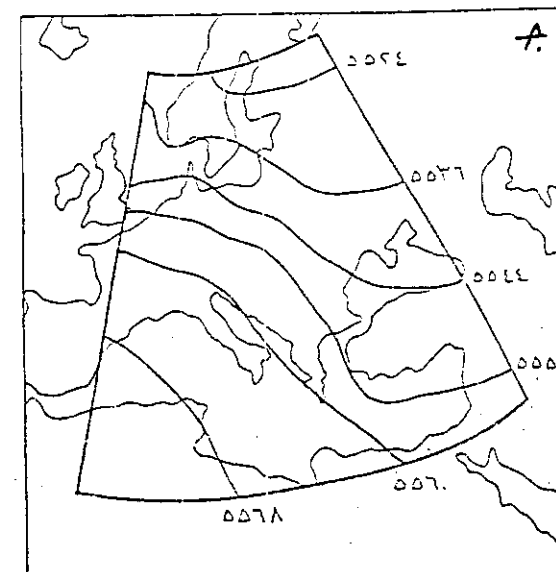
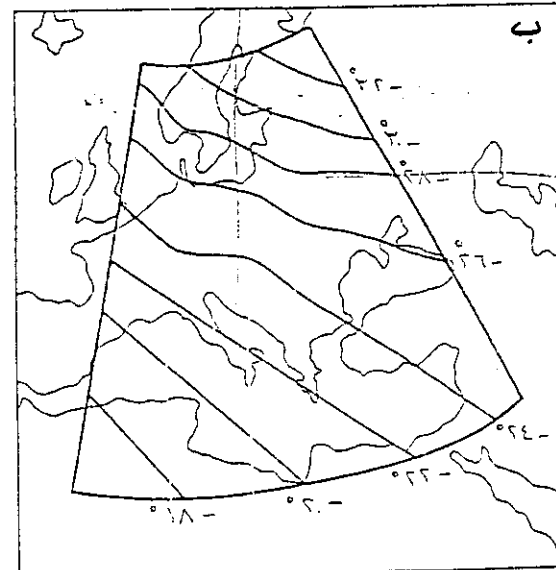
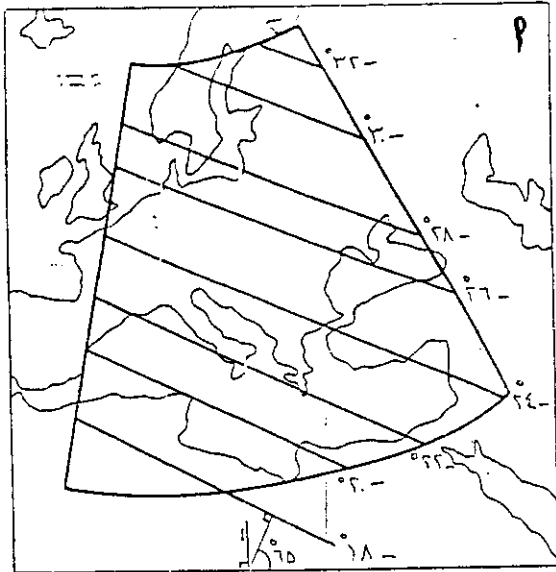




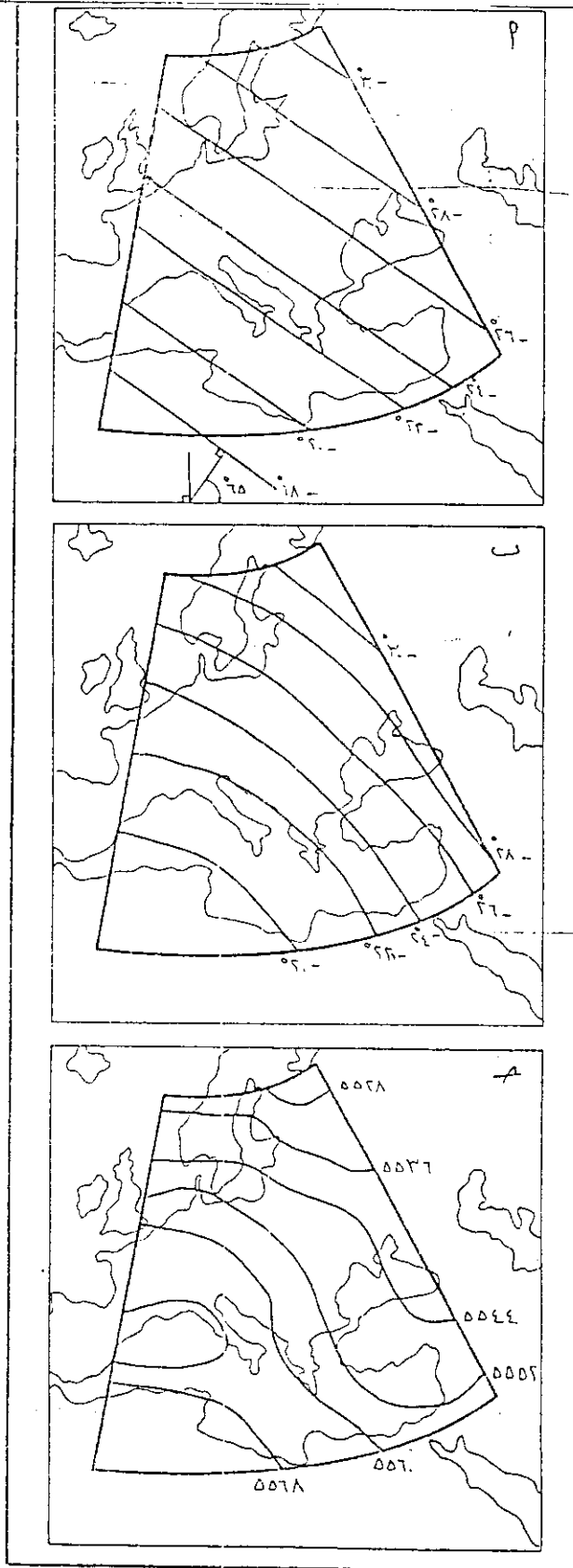
شكل ٤ - خطوط التساوي لنا حين مستوى ٥٠٠ ميلليبار بتاريخ ١٧/٣/١٩٩٠ gm ١٩٩٠ الساعة الثامنة عشر
 منتصف الليل بتوقيت كريتس.



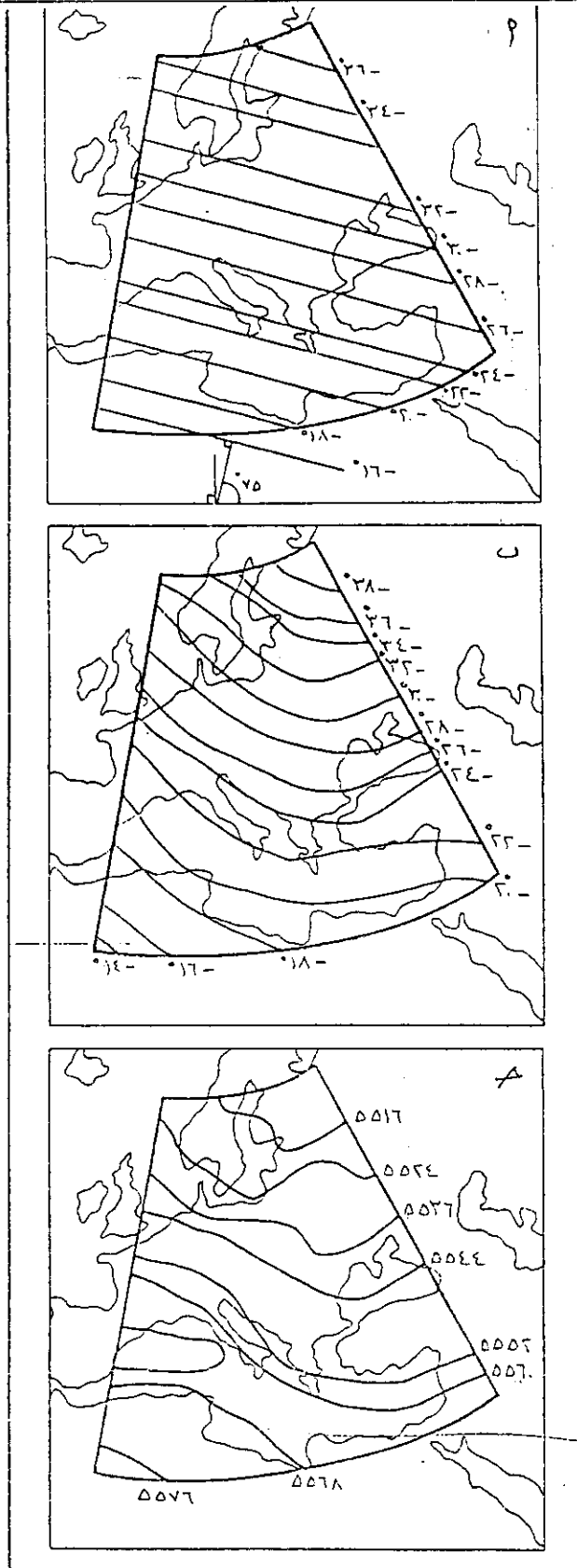
شكل ٥ - خطوط التساوي لتاريخ ٢٥/٢/١٩٨٥ gpm العازية عميقة
من نصف الليل بتوقيت غرينتش .



م : سطح انحدار من الدرجة الكوكبية لدرجات الحرارة في طبقات الجو العليا لجميع المنخفضات م
 ب : سطح انحدار من الدرجة الثانية لدرجات الحرارة في طبقات الجو العليا لجميع المنخفضات م
 ج : معدل منسوب مستوى الضغط الجوي (٥٠٠ ميلليبار) لجميع المنخفضات gpm



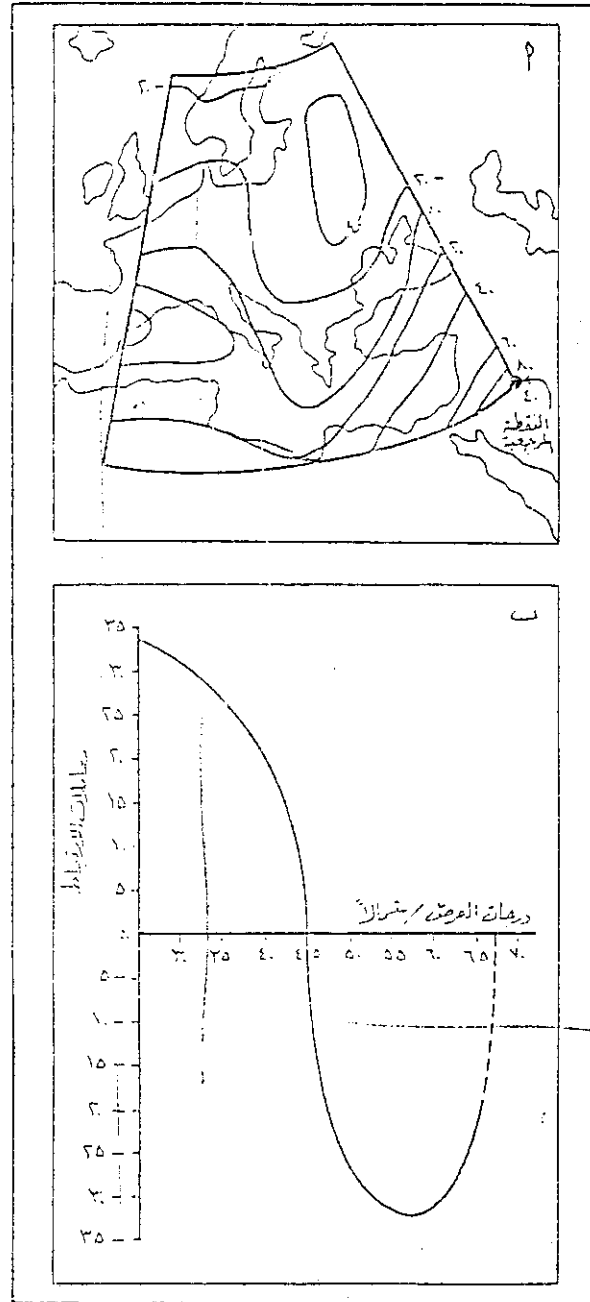
شكل -٧- P: سطح انحدر من الدرجة الأولى لدرجات الحرارة في طبقات الجو العليا / الفئة الأولى . م.
 B: سطح انحدر من الدرجة الثانية لدرجات الحرارة في طبقات الجو العليا / الفئة الأولى . م.
 A: معدل تسوية مستوى الضغط الجوي (٥٠٠ ميلليبار) الفئة الأولى. gpm



شكل - ٨ - ٩: سطح انحدار من الدرجة الأولى لدرجات الحرارة في طبقات الجو العليا / الفترة الثانية مم

٥: سطح انحدار من الدرجة الثانية لدرجات الحرارة في طبقات الجو العليا / الفترة الثانية: مم

٤: معدل مشوية مستوى الضغط الجوي (٥٠٠ ميلليبار) / الفترة الثانية: gpm.



شكل - ٩ - أ: معامل الارتباط المكاني بين درجة الحرارة في طبقات الجو العليا فوق النقطة المرصدة وبين بقية المواقع.
 ب: العلاقة بين معامل الارتباط المكاني وبين درجات العرض.

- Linacre. 1992. Ibid. 309. (٨)
- الجهني، رابح، ١٩٩٤، العواصف الثلجية في المرتفعات
الجبليّة الأردنيّة، رسالة ماجستير غير منشورة، الجامعة
الأردنيّة، ص ٨٠. (٩)
- Druyan, L. M., and H. Berger. 1984. A Rain-snow
Discrimination Study for Jerusalem, *Meteorological
Magazine*, 113: 90-96. (١٠)
- Druyan, et al., 1984, Ibid. (١١)
- Prezerakos, N. G. 1985. Air Mass Characteristics Above
Athens During Snowfall, *Meteorological Magazine*,
114, 365-380. (١٢)
- Prezerakos, 1985, Ibid. (١٣)
- Prezerakos, 1985, Ibid. (١٤)
- شحادّة، نعمان، ١٩٨٦، فصلية الأمطار في الحوض
الشرقيّ للبحر المتوسط وآسيا العربيّة، مجلة الجمعية
الجغرافيّة الكويتيّة، العدد ٨٩، ص ١٢. (١٥)
- الخطيب، حامد، مقارنة بين منظومة الغلاف الجوي على
ارتفاع ٥٠٠ ملليبار خلال سنة مطيرة وأخرى جافة، قبل
للنشر في مجلة دراسات ضمن المجلد الذي سيصدر خلال
عام ٢٠٠١. (١٦)
- Druyan, et al., 1984, Op. Cit. (١٧)
- Stringer, E.T. 1972. Foundation of Climatology, W. H.
Freeman and Company, San Francisco, 352-353. (١٨)
- الهوامش
- (١) شحادّة، نعمان، ١٩٩١، "مناخ الأردن"، دار البشير، عمان.
- (٢) Liston, G. E. 1999. Interrelationships Among Snow
Distribution, Snowmelt, and Snow Cover Depletion:
Implications for Atmospheric, Hydrologic, and
Ecologic Modeling, *Journal of Applied Meteorology*,
38, 1474-1486.
- (٣) Cline, D.W. 1998. Effect of Seasonality of Snow
Accumulation and Melt on Snow Surface Energy
Exchanges at a Continental Alpine Site, *Journal of
Applied Meteorology*, 36: 32-51.
- (٤) Bransnett, B. 1999. A Global Analysis of Snow Depth
for Numerical Weather Prediction, *Journal of Applied
Meteorology*, 38: 726-740.
- (٥) Stewart, R. E. and G. M. McFarquhar. 1987. On the
Width and Motion of a Rain/Snow Boundary, *Water
Resources Research*, 23: 343-350.
- (٦) Davies, T. And O. Hammon. 1986. Snow Forecasts
from the Meteorological Office Fine-mesh Model
During the Winter of 1985/1986, *Meteorological
Magazine*, 115: 396-404.
- (٧) Linacre, D. 1992. Climate Data and Resources,
Routledge, London, p. 305.

General Trend of Upper Atmosphere Temperature During Snow Storms Over Jordan

H. Al-Khatib*

Abstract

This study is an investigation concerning the general trend of air temperature at the altitude of the 500mb surface during snow storms which affect Jordan occasionally in winter. The objective is thus an endeavor to clarify the relationships of these conditions based on the 500mb surface. To achieve this objective, air temperature and the 500mb surface altitude were estimated in an area extending between 30°-65°N, and 0°-40°E. Thus using the German daily weather maps at the intersection of the latitudes and the longitudes mentioned above, encompasses 40 intersection points. Readings were taken for one day representing the climax period of each depression in Jordan. Cluster analysis was used to classify 38 depressions, whereas trend surface analysis explained the general spatial temperature trend. It was possible to identify the areas of Jordan which were affected most by such weather conditions during these storms using spatial correlation method. The study showed temperature decrease towards the north north-eastern parts of the investigated area, a trend which coincides with the general pattern of the 500mb level. Also, the depressions become more severe when the polar trough extends in a north-south direction especially if its axis was located to the west of the Syrian coast. The western Mediterranean basin is of meagre effect regarding the snow storms on Jordan. At temperatures below -33°C and the 500mb below 5542 gpm, snow fall is undoubtedly expected on Jordan.

* Teachers' Preparation College, Medinah, Saudi Arabia, Received on 16/5/2001 and Accepted for Publication on 14/3/2002.