

توزيع الأقطاب

في جميع الممالك العربية

الدكتور هاشم بن سليمان الأحيد

© إبراهيم بن سليمان الاحيدب : ١٤٢٦هـ

مهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الاحيدب : إبراهيم بن سليمان

توزيع الامطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية - ٢٥ - الرياض

... ص ... سم

ردمك : ٤-٦٦٩-٣٨-٩٩٦

١- السعودية - المناخ ٢- الامطار السعودية أ- العدوان

ديري ٥٥١٠٥٧٨١٣٥٣١ ٢١/٤٥٥١

رقم الايداع : ٢١/٤٥٥١

ردمك : ٤-٦٦٩-٣٨-٩٩٦

مقدمة :

يتناول الكتاب الأمطار ، توزيعها ، و العوامل المؤثرة عليها في جنوب المملكة العربية السعودية . و هو ترجمة ملخصة لرسالة الدكتوراه ، و هي بعنوان :

Precipitation Distribution in The Southwest of Saudia Arabia

توزيع الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية . وقد تقدم بها للكتاب لجامعة و لاية أريزونا للحكومية لنيل درجة للدكتوراة في الجغرافيا المناخية . و تتناول الدراسة التوزيع الزماني و المكاني للأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية ، و تشمل المنطقة الواقعة ما بين اليمن جنوبا إلى دقرة للعرض ٢١ شمالا ، و البحر الأحمر غربا و خط الطول ٥ ٤ شرقا . و يتألف الكتاب من خمسة فصول ، موزعة على النحو التالي :

الفصل الأول : جغرافية المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية .

الفصل الثاني : استعراض للدراسات السابقة لأمطار المناطق الجبلية .

الفصل الثالث : الطرق و الأساليب الإحصائية التي استخدمت في تحليل و دراسة الأمطار .

الفصل الرابع : تحليل الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية .

الفصل الخامس : خاتمة البحث و التوصيات .

وختلما أمل أن يجد المختصون المهتمون بالدراسات الجغرافية و المناخية و الطقسية و الهيدرولوجية ، و غيرهم من طلاب العلم في الكتاب النفع و الفائدة المرجوة من نشره .

و الله الموفق و المعين ،

المؤلف

الفصل الأول :

جغرافية المنطقة الجنوبية الغربية

الخصائص :

تشمل الدراسة الجنوب الغربي من المملكة العربية السعودية وتقع المنطقة بين جمهورية اليمن الشمالي جنوباً ودائرة العرض ٢١ شمالاً، والبحر الأحمر غرباً وخط الطول ٤٥ شرقاً (شكل ١) ويسود المنطقة، على وجه العموم، المرتفعات العالية المتباينة. ويمكن تقسيم سطح المنطقة إلى ثلاثة أقسام رئيسية (شكل ٢) :-

(١) منطقة ساحل البحر الأحمر وتعرف بساحل تهامة.

(٢) السلسلة الجبلية.

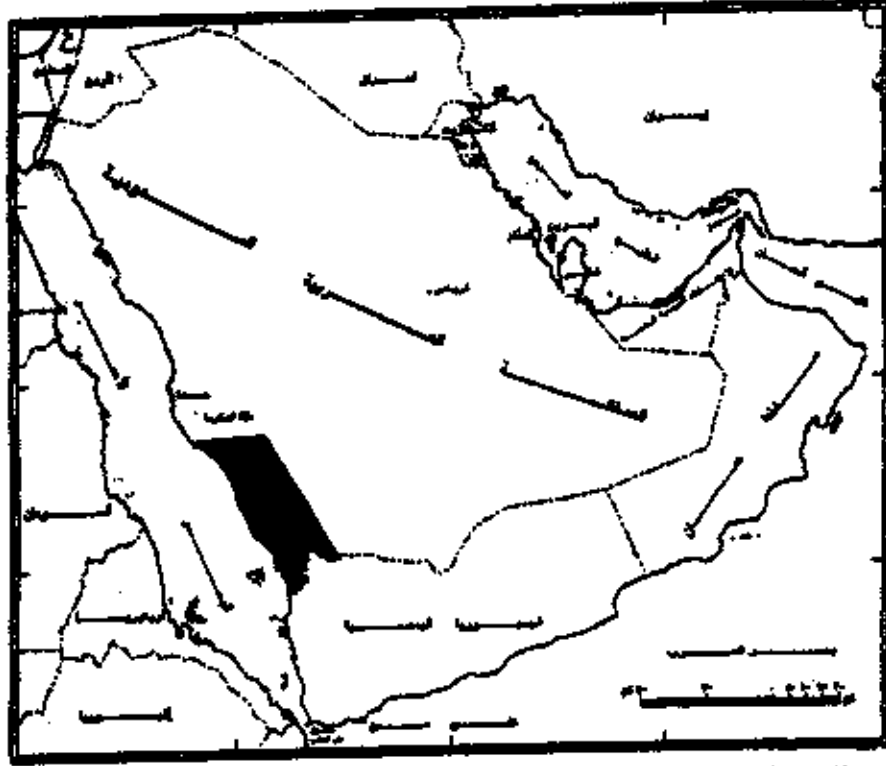
(٣) الهضبة.

ساحل البحر الأحمر (سهل تهامة) :

سهل ساحلي ضيق ويمتد من الشمال إلى الجنوب على طول البحر الأحمر ويحد من الشرق بالمرتفعات الغربية. ويزداد اتساع ساحل البحر الأحمر كلما اتجهنا جنوباً. حيث يبلغ اتساعه حوالي ٤٠ كم بالقرب من جيزان ويحرف ساحل البحر الأحمر بتهامة الحجاز في الشمال وفي الجنوب بتهامة عسير. ويتميز الساحل بوجه عام بدرجة حرارة عالية. ويبلغ المتوسط السنوي لدرجة الحرارة مثلاً في صبيا ٣١,٥م، ويعدى حرارى صغير. فتتخفف درجة الحرارة في صبيا إلى ٢٧م في شهر يناير وترتفع إلى ٣٥م في شهر يوليو. وتتميز المنطقة أيضاً برطوبة عالية. ويبلغ متوسط الرطوبة في صبيا ٦٦٪، وتصل إلى أكثر من ٩٨٪ في شهور الشتاء، وتتنخفض في الصيف. وتصل نسبة الرطوبة في شهر يوليو إلى ٣٧٪. ويتميز ساحل البحر الأحمر بقلة الغطاء النباتي وندرته.

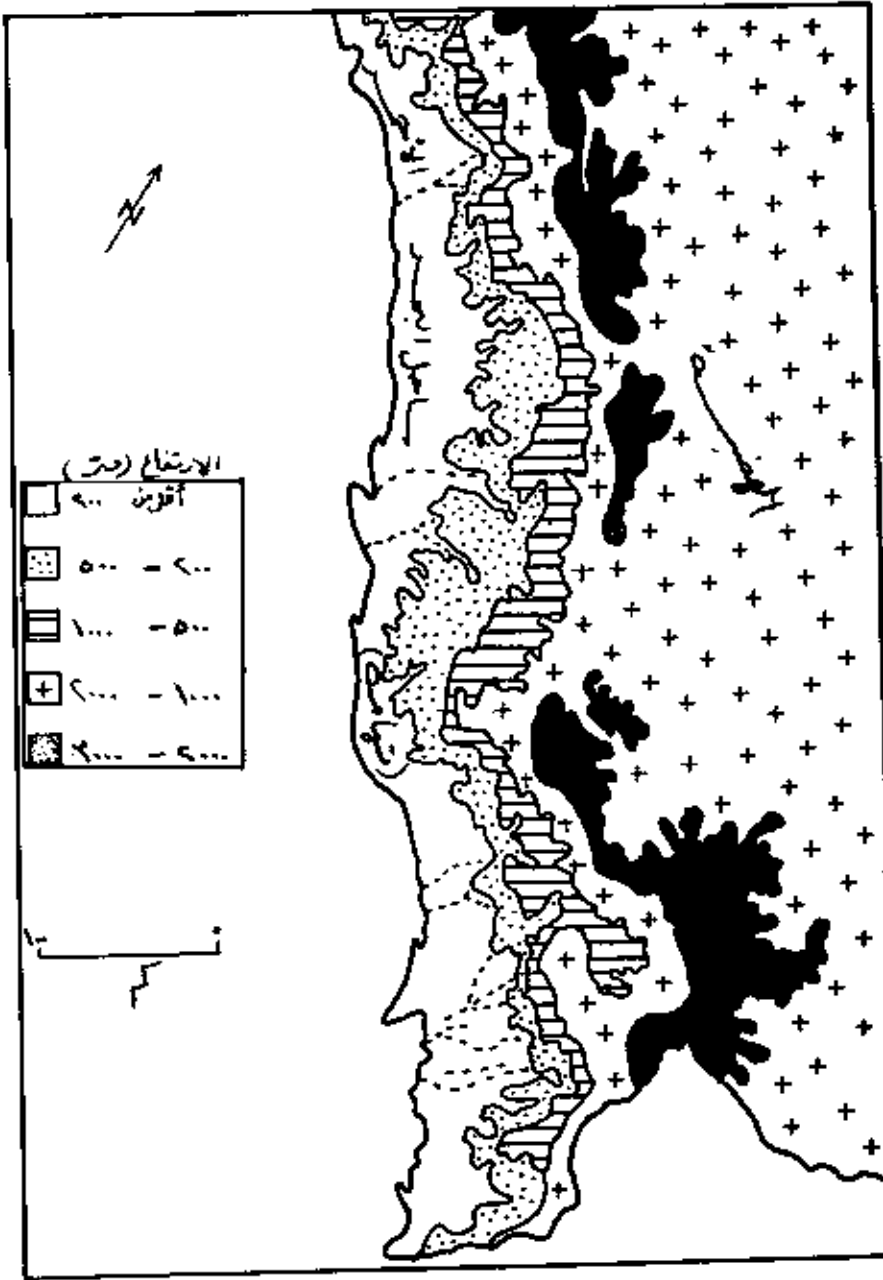
السلسلة الجبلية :

تمتد السلسلة الجبلية من الشمال إلى الجنوب موازية للبحر الأحمر، ويحرف الجزء الشمالي من المرتفعات بجبال الحجاز وفي الجنوب حيث منطقة عسير تعرف بجبال عسير. وتتحدر الجبال انحداراً سريعاً وفجائياً نحو ساحل البحر الأحمر، وتشكل متحدرات فجائية نحر الغرب حيث توجد الجروف والحواف الصخرية، وتتحدر الجبال انحداراً



المصدر: الإدارة العامة للمساحة العسكرية - ١٤٢٢هـ

شكل (١) موقع منطقة الدراسة



شكل (٢) طوبوغرافية المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية

تدرجياً نحو الشرق ويقل ارتفاعها كلما اتجهنا شرقاً ويختلف عرض السلسلة الجبلية ما بين ٣٠ إلى ١٤٠ كم، ويزداد عرضها كلما اتجهنا جنوباً، حيث نجد إن عرضها يزداد قرب الحدود اليمنية. ويتراوح ارتفاع السلسلة الجبلية ما بين ١٦٠٠ إلى ٣٠٠٠ متر، ولكن ارتفاعها في الغالب أكثر من ١٨٠٠ متر، ويبلغ أعلى ارتفاع لها في منطقة السود حيث يصل ارتفاعها إلى حوالي ٣١٥٠ متر.

وتشكل المناطق المرتفعة من السلسلة الجبلية منطقة تقسيم للمياه وتنحدر منها الأودية إلى المناطق المنخفضة. وتأخذ الأودية اتجاهات مختلفة فنجد البعض منها ينحدر غرباً نحو ساحل البحر الأحمر مثل وادي ضمد، ووادى بيش، ووادى عتود، ووادى حلى، ووادى بيا، ووادى ناران، ووادى الليث، والبعض من الأودية يتجه نحو الجنوب الشرقي مثل وادي هبونة، والبعض يتجه إلى الشرق والشمال الشرقي مثل وادي تثليث، وادي بهشة، وادي رينة، ووادى تربة.

وعلى العموم، فإن جميع الأودية التي تقطع المرتفعات الجبلية تعتبر أودية جافة إلا في فترات سقوط الأمطار فقد يجري البعض منها لفترات قصيرة ثم تجف، وقد أقيم العديد من السدود على هذه الأودية لحجز مياهها.

ويسود المناطق المرتفعة جو مناخي معتدل وتقل درجة الحرارة بزيادة الارتفاع، ويبلغ متوسط درجة الحرارة في أبها ١٧.٤م، ومتوسط نسبة الرطوبة ٦١٪. وتسقط الأمطار على المنطقة طوال العام ويصل المعدل السنوي للأمطار حوالي ٥٠٠ ملم وقد يزيد عن ذلك في بعض المناطق كما في جبل فيفا حيث يصل معدل الأمطار السنوي إلى ٦٥٥ ملم. وتغطي المرتفعات بعض النباتات مثل نبات العرفج، والحمصيات والزيتون البري (أشجار العتم) وأشجار العرعر السنط وغيرها من الأشجار والأعشاب التي تعيش في المناطق المرتفعة والمشابهة لأجواء المرتفعات الجنوبية. وتزيد كثافة الأشجار في المناطق الغزيرة الأمطار.

الهضبة :

تقع الهضبة إلى الشرق من المرتفعات الجبلية وتنحدر تدريجياً نحو الشرق ويزداد ارتفاعها كلما اتجهنا غرباً نحو المرتفعات الجبلية. وهي على العموم هضبة منبسطة يتراوح ارتفاعها من ٢٠٠ إلى ١٨٠٠ متر وتقطعها عدة أودية، تبدأ من الغرب حيث

المرتفعات الجبلية وتتجه نحو الشرق والشمال والشمال الشرقي ومن أهم هذه الأودية وادي نجران ووادي حبوثة ووادي تثلث وروافده ووادي بيشة وروافده ، ووادي رنة وروافده وغيرها من الأودية التي تقطع الهضبة إلى هضاب صغيرة. وهي عبارة عن أودية جافة وقد تجرى لمدة قصيرة بعد سقوط الأمطار. وتزداد درجة الحرارة والمدى الحرارى كلما اتجهنا شرقا وابتعدنا عن المرتفعات الجبلية، وتقل الأمطار على وجه العموم كلما اتجهنا شرقا. والغطاء النباتي والأعشاب في الهضبة قليلة وتزداد كثافتها كلما اتجهنا غربا حيث تنخفض درجة الحرارة وتزيد كمية الأمطار.

ومما سبق يتبين أن المنطقة الجنوبية الغربية بشكل عام منطقة جبلية باستثناء الشريط الساحلي الضيق المعروف بسهل تهامة.

مناخ المنطقة الجنوبية الغربية :

يمكن تقسيم مناخ المنطقة الجنوبية الغربية حسب تصنيف كوبن (Koppen Classification) إلى ثلاثة أنواع :

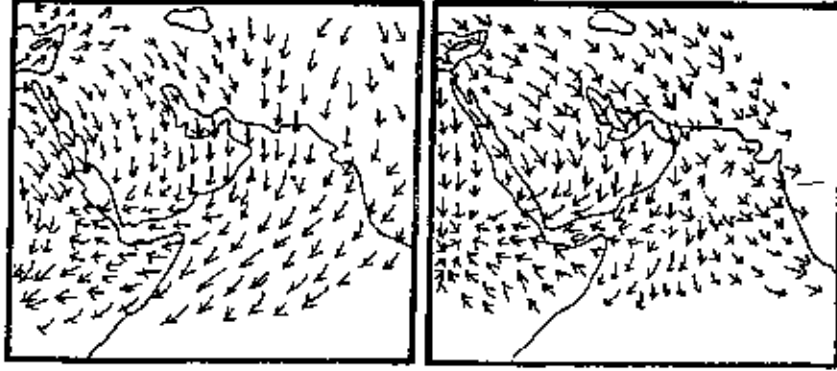
(١) المناخ الصحراوي الحار الجاف (BWh)، ويتمثل في ساحل البحر الأحمر أو سهل تهامة.

(٢) المناخ الحار شبه الجاف (BSh)، ويتمثل في الهضبة.

(٣) المناخ المعتدل الدافئ شبه الجاف (Cw)، ويتمثل في مرتفعات عسير.

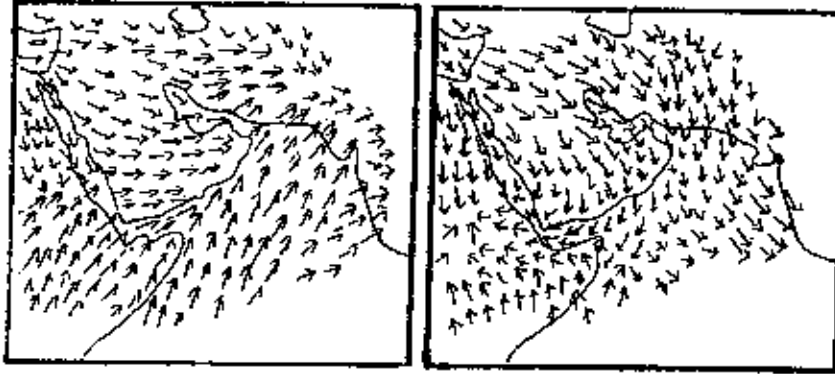
ومناخ المنطقة الجنوبية الغربية هو نتيجة لتأثير الحركة الهوائية المحلية (Local Circulation) (Taha et al., 1981, and Almawled 1982) التي تحدث بسبب اختلاف تضاريس وطبوغرافية المنطقة، وتأثير الحركة الهوائية العامة فوق المنطقة وما حولها (General Circulation). ويختلف اتجاه الهواء الذي يهب على المنطقة من فصل لآخر، ففي فصل الشتاء تكون الرياح شمالية وشمالية شرقية، وفي فصل الصيف تكون شمالية غربية إلى جنوبية غربية.

ويعتبر فصلا الربيع والخريف فترتين انتقاليتين بين فصلي الصيف والشتاء. وتكون الرياح غير ثابتة الاتجاه (شكل ٣). ويبلغ معدل الأمطار السنوي في المنطقة حوالي ٤٠٠ ملم، ولكن قد يزيد المعدل في بعض المناطق الجبلية على ٦٠٠ ملم. ويختلف



يناير

إبريل



يوليو

أكتوبر

شكل (٣) الرياح التي تهب على الجزيرة العربية

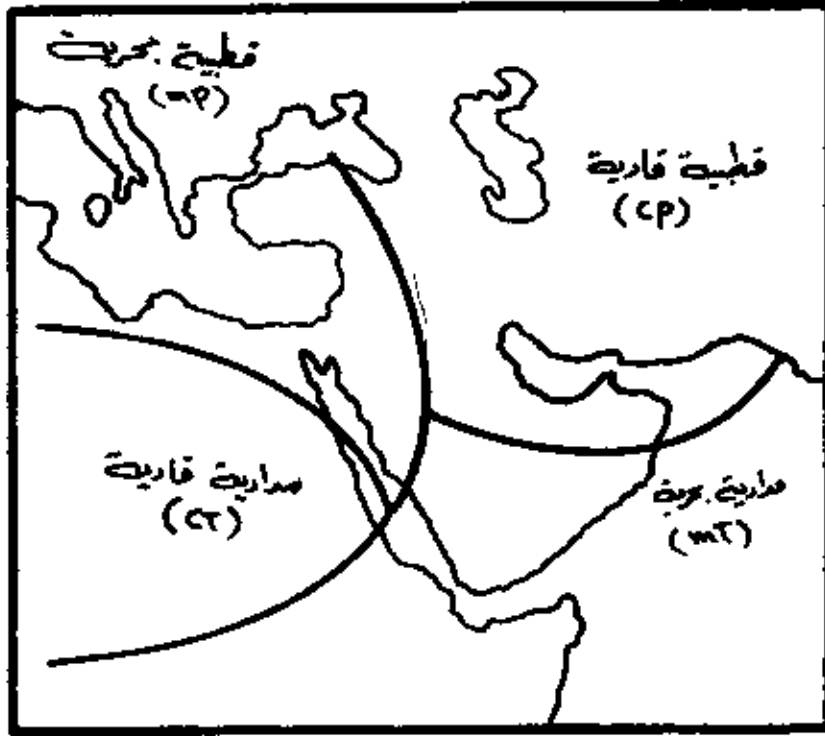
(after hastenrath et al 1979)

المعدل الشهري لدرجة الحرارة من منطقة لأخرى، فمثلا يبلغ معدل درجة الحرارة في كياذ (Kiyat) والتي تقع على ساحل البحر الأحمر على ارتفاع ٢٠ متر حوالى ٢٠-٣٠م. وفي الحيفة (Al Heifa) على ارتفاع ١٠٩٠ متر، يبلغ المعدل الحرارى فيها ٢٥م، وفي أبها (Abha) على ارتفاع ٢١٩٠ متر، يبلغ معدل درجة الحرارة حوالى ١٨ر٣م، وفي النماص (Al Nimas) على ارتفاع ٢٦٠٠ مترا، يبلغ معدل درجة الحرارة حوالى ١٥م. ويختلف معدل سرعة الرياح من منطقة لأخرى، ففي أبها (Abha)، يبلغ معدل سرعة الرياح حوالى ٨ر٢ كم/ الساعة، وفي الحوش (Kwash) حوالى ١٢م/الساعة. وتهب على المنطقة الرياح من الجنوب الغربى وتعرف بالرياح الموسمية الجنوبية الغربية، ومن الجنوب الشرقى وتعرف بالرياح الموسمية الجنوبية الشرقية. ويختلف معدل الرطوبة النسبية في المنطقة من جهة لأخرى. فتبلغ نسبة الرطوبة في أبها (Abha) حوالى ٥٩ر٢٪، و٥٥ر٦٪ في بلجرشى (Baljurshi)، و٤٣ر٣٪ في بيشة (Bisha). أيضا يختلف معدل التبخر الشهري في المنطقة، ففي أبها (Abha) يبلغ المعدل الشهري للتبخر ٢٦٤ ملم، و٢٨٣ ملم في بيشة (Bisha).

العوامل المؤثرة في مناخ المنطقة الجنوبية الغربية :

يتأثر مناخ المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة بالكتل الهوائية التى تمر فوق المنطقة والحركة العامة للرياح (الشكل ٤) إلى جانب العوامل الطبوغرافية المحلية التى تؤدى إلى اختلاف المناخ فى مسافة قصيرة من الأرض. والكتل الهوائية التى تمر فوق المنطقة والحركة العامة للرياح التى تؤثر على مناخ المنطقة هي :

- (١) الكتلة القطبية القارية (The Polar Continental air mass)
- (٢) الكتل المدارية القارية (The Tropical Continental air masses)
- (٣) التيار النفاث شبه المدارى (The Sub tropical Jet Streams)
- (٤) التيار المدارى النفاث الشرقى (The Tropical Easterly Jet Streams)
- (٥) منطقة الرهو أو الركود الاستوائى (المنخفض الاستوائى)
(The Intertropical Convergence Zone)
- (٦) منطقة الالتقاء فوق البحر الأحمر (منخفض البحر الأحمر)
(The Red Sea Convergence Zone)



شكل (4) الكتل الهوائية التي تؤثر على مناخ الجزيرة العربية
(after Al-Qwrashi, 1981)

(٧) منخفض البحر المتوسط (The Mediterranean Depression).

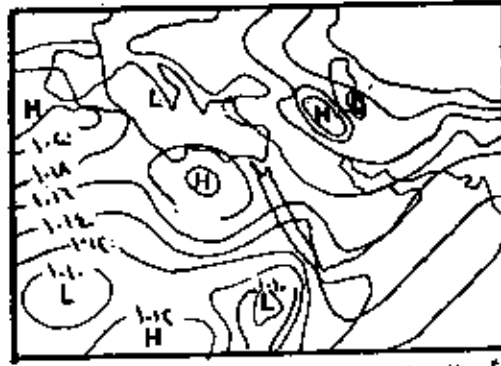
ويختلف تأثير الكتل الهوائية والرياح الممامة والمحلية على مناخ المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة من فصل لآخر وهذا يرجع إلى اختلاف مقدار الضغط، ومقدار انحداره (Pressure gradient) ما بين مناطق الضغط المرتفع (High Pressure) والضغط المنخفض (Low Pressure) حول الجزيرة العربية (شكل ٥). وفيما يلي وصف موجز لمدى تأثير الكتل الهوائية والرياح على مناخ المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة.

الكتل الهوائية القطبية القارية : (Polar Continental Air Masses (CP)

تنشأ الكتل الهوائية القطبية القارية (CP) فوق وسط قارة آسيا خلال فصل الشتاء (شكل ٥). وتتميز الكتل الهوائية القارية بأنها باردة وجافة وقليلة السحب. ويرجع هذا إلى أن هذه الكتل تنشأت في مناطق باردة جدا وجافة بعيدة عن المؤثرات البحرية. وتتصف أيضا الكتل الهوائية القطبية بأنها رابدة ومستقرة (Stable)، ولكن قد تتغير بعض خصائصها عندما تعبر فوق مسطحات مائية دافئة مثل بحر قزوين أو الخليج العربي. وحينما تهب الكتل الهوائية القطبية القارية على الجزيرة العربية خلال فصل الشتاء فإنها تجلب للجزيرة العربية هواء باردا وجافا. ولكنها لا تؤثر على الجزيرة العربية في فصل الصيف بسبب زحف وتقدم مصدر نشأتها شمالا نتيجة لتعامد الشمس على مدار السرطان (٢٣ر٥ شمالا) في فصل الصيف.

الكتل الهوائية المدارية القارية: (Tropical Continental Air Masses (CT)

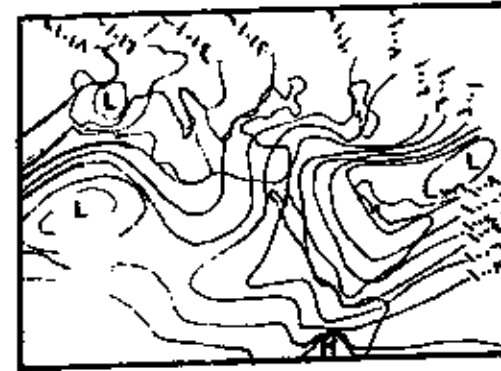
تنشأ الكتل القارية المدارية فوق المناطق الصحراوية في شمال إفريقيا خلال فصل الصيف وفي نهاية فصل الربيع وبداية فصل الخريف حيث ترتفع درجة الحرارة في الصحراء. وتتميز الكتل الهوائية المدارية القارية بأنها كتل حارة وجافة. وتؤثر الكتل الهوائية المدارية القارية على الشمال الغربي من الجزيرة العربية، فتعهب رياح الخماسين الجافة والاضطرابات الهوائية الصحراوية في نهاية فصل الربيع وفي أول فصل الخريف، وتتحرك من الغرب إلى الشرق عابرة الجزء الشمالي من البحر الأحمر (Taha et al 1981). وقد تكتسب هذه الرياح بعض الرطوبة أثناء عبورها فوق البحر الأحمر ولكنها تكون قليلة جدا بسبب ضيق البحر الأحمر.



أ- الشتاء



ب- الربيع



ج- الصيف

شكل (5) متوسط الضغط البحري

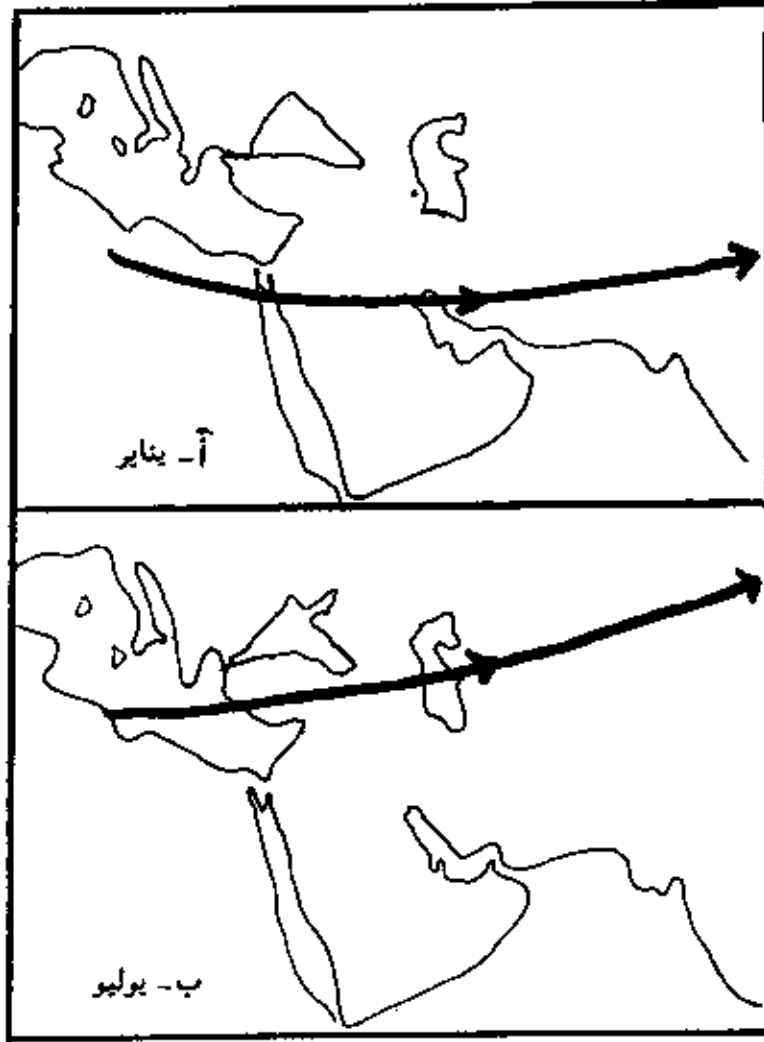
(after Al-Qwrashi, 1981)

التيار النفاث شبه المدارى : (The Subtropical Jet Stream (STJ)

التيار النفاث شبه المدارى هو عبارة عن حزام من الرياح الشديدة السرعة فى الطبقات العليا من الجو، ويتجه من الغرب نحو الشرق. ويمر الجزيرة العربية ما بين دائرتى العرض ٢٣ و٢٧ شمالا، وعلى ارتفاع ١٣ كم وتبلغ أقصى سرعته نحو ١٢٠ كم. ويغطى التيار النفاث شبه المدارى منطقة يقدر عرضها بحوالى ٥ درجات، ويختلف مكانه فى فصل الصيف عنه فى فصل الشتاء، فى حدود ١٠ درجات، حيث يزحف ١٠ درجات نحو الشمال فى فصل الصيف (نصف الكرة الشمالى) بسبب تعامد الشمالى على مدار السرطان، ويزحف ١٠ درجات جنوبا فى فصل الشتاء. حينما تتعامد الشمس على مدار الجدى (نصف الكرة الجنوبي) (شكل ٦). ويعتبر التشتت الهوائى (Divergence) فى الجزء العلوى لطبقة التروبوسفير حول التيار النفاث شبه المدارى، والالتقاء الهوائى (Convergence) فى الأجزاء السفلية عاملين أساسيين مسئولين عن نشأة الظواهر التصاعدية التى تلاحظ فى غير فصل الصيف. وأيضا يعتبر التشتت الهوائى العلوى والالتقاء الهوائى السفلى عاملين مهمين فى نشوء الظواهر المناخية الصغيرة والمعلية كالتنخفضات الصحراوية. وفى فصل الشتاء، يزحف بعض الأحيان التيار النفاث القطبى نحو الجنوب ويتحد مع التيار النفاث شبه المدارى وينتج عن اتحاد هذين التيارين جبهة باردة (Al Quarshi, 1981).

التيار النفاث المدارى الشرقى : (Tropical Easterly Jet Stream (TEJ)

ينشأ التيار النفاث المدارى الشرقى (TEJ) خلال فصل الصيف فى الطبقات العليا فوق جنوب آسيا عند دائرة العرض ١٥ شمالا، وعلى ارتفاع ١٦ كم. وتصل سرعته إلى أكثر من ١٠٠ عقدة. ويعتبر التباين والاختلاف الحرارى للهواء فوق آسيا والبحر العربى والمحيط الهندى عاملا رئيسيا فى نشأة التيار النفاث المدارى الشرقى، حيث الهواء البارد فوق البحر العربى والمحيط الهندى والهواء الدافئ فوق آسيا (Al Quarshi, 1981)، ويتميز التيار النفاث المدارى الشرقى بموقع الحزام الرئيمى للأمطار الصيفية إلى الجهة اليمنى أو الشمالية من المحور، وذلك عكس اتجاه الرياح السريعة، وعلى اليسار فى اتجاه الرياح السريعة ما عدا فى المناطق التى تؤثر فيها المرتفعات.



شكل (٦) متوسط موقع التيار النفاث شبه المدارى عند ارتفاع ٤٠٠
مليبار

(after Beaumont et al 1976)

منطقة الزهر أو الركود الاستوائي (المنخفض الاستوائي)

(Inter Tropical Convergence Zone)(ITCZ)

منطقة صعود الهواء ما بين المدارين هي منطقة التقاء الرياح التجارية الشمالية الشرقية والرياح التجارية الجنوبية الشرقية وتختلف خصائصها من منطقة لأخرى نتيجة لعوامل مختلفة كطوبوغرافية المنطقة، وتوزيع اليابس والماء وغيرها من العوامل الطبيعية. ويحذف نطاق الزهر الاستوائي خلال فصل الصيف شمالا إلى دائرة العرض ٢٠ شمالا. ويقدر الوقت ما بين الانقلاب الصيفي وبلوغ منطقة الزهر الاستوائي أقصى حد له في الشمال نحو ستة أسابيع (Solet, 1980). ويتأثر مناخ المملكة العربية السعودية بمنطقة الزهر الاستوائي وخاصة كمية الأمطار ومدتها وتوزيعها.

منطقة التقاء الهواء فوق البحر الأحمر أو (منخفض البحر الأحمر) :

(The Red Sea Convergence Zone (RSCZ)

منطقة التقاء الهواء فوق البحر الأحمر هي منطقة التقاء الهواء القادم من الشمال الغربي بالهواء القادم من الجنوب الشرقي. وتتقابل هذه التيارات الهوائية فوق البحر الأحمر من شهر أكتوبر إلى شهر مايو. ويختلف موقع التقاء الهواء فوق البحر الأحمر من يوم لآخر، ولكن متوسط موقعها في الشتاء عند دائرة العرض ٢٠ شمالا. وتتحرك المنطقة جنوبا إلى دائرة العرض ١٥ شمالا. وتمتاز منطقة التقاء الهواء فوق البحر الأحمر برياح رابطة أو خفيفة متعددة الاتجاهات. وفي أثناء فصل الصيف، تسقط الأمطار حول البحر الأحمر بسبب التقاء الكتل الهوائية الشمالية الغربية بالجنوبية الغربية.

(Pedgley, 1966 ab)

منخفض البحر المتوسط : (The Mediterranean Depression)

يمتاز مناخ البحر المتوسط بالحرارة والجفاف صيفا، والاعتدال والرطوبة شتاء، وتسقط أمطار البحر الأبيض نتيجة لارتفاع درجة حرارة مياه سطحه خلال فصل الشتاء. فمثلا درجة حرارة مياه البحر في شهر يناير أعلى من درجة حرارة الهواء الذي يعلوه بحوالي ٤م، وأثناء مرور الهواء البارد على البحر الدافئ ينشأ تيارات صاعدة، ويتميز الهواء بعدم الاستقرار (Un Stable). وينتج عن استمرار صعود الهواء إلى أعلى نشوء

المحيط ومقوِّط أمطار إحصائية وطوبوغرافية. ويعتبر وصول الهواء البارد إلى البحر المتوسط وصعود الهواء إلى أعلى ونشوء السحب الركامية عاملاً مهماً في نشوء منخفضات البحر المتوسط. وتدخل بعض منخفضات المحيط الأطلسي إلى البحر المتوسط على شكل منخفضات سطحية نتيجة لانحدار الضغط بين المنطقتين (شكل ٥). وينشأ منخفض المحيط الأطلسي (المنخفضات الصحراوية). ومنخفضات البحر الأبيض المتوسط الغربية في حوض جبال الألب والبرانس. وتتحرك المنخفضات الصحراوية ومنخفضات البحر المتوسط الغربية نحو الشرق (Barry and Chorley 1982). وتتأثر المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية بمنخفضات البحر المتوسط في فصل الشتاء والربيع وخاصة عندما تندمج وتتحد مع المنخفض السوداني.

المناخ الفصلي للجنوب الغربي من المملكة العربية السعودية :

يختلف مناخ المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية من فصل لآخر، ويرجع هذا إلى تأثير المنطقة بعدة أنواع مناخية.

فصل الشتاء : في فصل الشتاء تقع المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة تحت تأثير الهواء القادم من الشمال (شكل ٣). وتتأثر المنطقة أيضاً بهواء البحر المتوسط والمنخفضات المصاحبة له، والتي تتجه نحو الشرق عبر شمال الجزيرة العربية. وتلتقي الكتل الهوائية فوق البحر الأحمر مكونة منخفض البحر الأحمر والذي ينساب إليها الهواء الغربي ثم يتحرك نحو المرتفعات العالية فيصعد إلى أعلى فتسقط الأمطار على المنطقة.

فصل الربيع : وفي فصل الربيع (مارس-إبريل)، يكون اتجاهات الهواء غير واضحة وثابتة كما هو في فصل الشتاء (شكل ٣)، فالرياح الموسمية الشمالية الشرقية فوق البحر العربي غير ثابتة، وتزداد الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية في القوة. أيضاً لا تزال منطقة التقاء الكتل الهوائية موجودة جنوباً فوق البحر الأحمر (Red Sea Convergence Zone). فتسقط الأمطار في الربيع على جنوب غرب المملكة السعودية نتيجة لتأثير كل من التقاء الكتل الهوائية فوق جنوب البحر الأحمر، ولهبوب الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية.

فصل الصيف : وفي فصل الصيف (يونيو-أغسطس)، تكون اتجاهات الهواء التي تهب

على المنطقة واضحة وثابتة، فالرياح الموسمية الجنوبية الغربية تهب من منطقة خط الاستواء وتعمق إلى داخل جنوب آسيا، وتهب الرياح الشمالية الغربية على المنطقة وتتقوى بالرياح الموسمية الجنوبية الغربية وينشأ عن ذلك منطقة التقاء وتتجمع فوق خليج عدن والأجزاء الجنوبية من الجزيرة العربية

(Hastenrath, Hafaz, and Kaczmarczyk 1979) ويؤحف التيار
التناث الغربي شمالاً، (Westerly Jet Stream) ويقع التيار المناوي الشرقي
(Tropical Easterly Jet Stream) عند دائرة العرض ٢٠ شمالاً. ومتوسط
ارتفاع مركزه حوالي ١٦ كم (١٥٠ مليوناً).

وفي فصل الصيف تكون المنطقة تحت تأثير الهواء الرطب القادم من الجنوب
الغربي، وتسقط بسببه الأمطار على جنوب غرب المملكة العربية السعودية.

فصل الخريف : ويعتبر فصل الخريف (أكتوبر-نوفمبر) فترة انتقالية من فصل الصيف
إلى فصل الشتاء، وتكون الجهات الهواء غير ثابتة وواضحة. كما هو في فصل
الصيف أو الشتاء كما تكون ضعيفة السرعة. وتبدأ الرياح الشمالية الغربية في
القوة ويزداد تكرارها بينما تبدأ الرياح الموسمية الجنوبية الغربية تضعف ويقل
تأثيرها على المنطقة.

كما سبق، يتبين أن مناخ المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية يختلف
من فصل لآخر، ويرجع هذا التباين والاختلاف إلى تأثير العوامل المحلية والدورات العامة
للرياح التي تهب فوق وحول المنطقة.

الفصل الثاني :

استعراض الدراسات السابقة لأمطار المناطق الجبلية



يمكن تقسيم الدراسات السابقة التي تعرضت لمناخ الجبال وعلاقة الأمطار بالمرتفعات إلى خمسة أقسام هي :-

- (١) الأمطار الجبلية والنماذج.
- (٢) علاقة الأمطار بالارتفاعات.
- (٣) العوامل التي تؤثر على علاقة الأمطار بالارتفاعات.
- (٤) قياس الأمطار وتحليلها.
- (٥) الطرق الإحصائية التي استخدمت في تحليل ودراسة الأمطار.

الأمطار الجبلية أو التضاريسية والنماذج :

(Orographic Precipitation and Models)

تسقط الأمطار حينما يصعد الهواء الرطب إلى أعلى لأن الهواء الصاعد يبرد مع الارتفاع إلى أعلى ويشككثف بخار الماء ثم يرجع مرة أخرى إلى الأرض على شكل أمطار. ويصعد الهواء إلى أعلى نتيجة لثلاثة عوامل رئيسية هي :-

تيارات الحمل الصاعدة (Convictional)، والجبهات (Frontal)، والتضاريس (Orographic).

وتعتبر التضاريس أهم العوامل ارتباطا بهذه الدراسة. وتحدث الأمطار التضاريسية (Orographic Precipitation) نتيجة لاصطدام الهواء بالموجز الجبلية ثم صعوده إلى أعلى حيث تنخفض درجة حرارته مع الارتفاع مما يؤدي إلى تكثفه وسقوطه على شكل أمطار أو ثلج. ونتيجة لذلك فإن كمية الأمطار التي تهطل على السفوح الجبلية المقابلة للرياح (Windward Slope) تكون أغزر وأكثر من الأمطار التي تهطل على السفوح المظاهرة لاجتاه الرياح (Lee ward Slopes). ويمكن أن تكون الجبال أيضا مصدرا حراريا وخاصة حينما تكون السماء صافية وخالية من السحب فتتكون السحب التصاعدية (Pedgley 1970). وإن دراسة الأمطار التضاريسية وتوزيعها وغزارتها يتطلب المعرفة والإلمام التام بما يلي :-

(١) العوامل العامة التي تؤثر على حركة الرياح، وسرعتها واتجاهاتها، واستقرار الجو ودرجاته في المناطق الجبلية.

(٢) فيزياء السحب والأمطار وخاصة ما يتعلق منها بالتكاثف والتبخر في السفوح الجبلية المقابلة للرياح (Wind ward Slopes) والسفوح الجبلية المظاهرة لها (Lee ward Slopes).

(٣) حركة الرياح المحلية والعامة فوق وحول الجبال (Sarker, 1966).

لقد قام العلماء بإعداد دراسات مختلفة لمعرفة مدى تأثير التضاريس والمرتفعات على الأمطار. وقد اعتمدت هذه الدراسات على عدة عناصر ومقومات. وقد تطورت وتحسنت هذه الدراسات نتيجة لتوفير المعلومات المناخية وتطوير التكنولوجيا. وقد حاولت الدراسات القديمة اختبار مدى تأثير التضاريس على الأمطار السنوية (Lee, 1911, Henry 1919). وقامت الدراسات التي أتت بعدها بدراسة تأثير التضاريس على الأمطار الفصلية، وكذلك تأثير العوامل الطبيعية المختلفة على الأمطار في المناطق الجبلية، وكذلك معرفة أهمية الأحوال الجوية للطقس بالنسبة للأمطار التضاريسية (Donely, and Mitchel, 1939 and Spreen, 1947).

واستخدمت الدراسات الحديثة للأمطار التضاريسية وعلاقتها بالمرتفعات النماذج الطبيعية، والنماذج الإحصائية، وكذلك اهتمت بتوزيع الأمطار الإعصارية في المناطق الجبلية إلى جانب العوامل والمقومات التي استخدمت في الدراسات السابقة (March and Wallace 1979).

وقد قام العلماء بوضع عدة نظريات وطرق للشرح والتنبؤ بالأمطار التضاريسية. وقد ساعدتهم في ذلك التطور العلمي والتكنولوجي كالتصوير الجوي وغيره مما سهل متابعة وملاحظة توزيع وارتفاع السحب وغيرها من الظواهر الجوية التي تساعد على دراسة الأمطار التضاريسية (Barr, 1981). وقد وضع بكل في عام ١٩٠٦ (Pockel, 1901) نظرية لشرح كيفية تكون الأمطار على سفوح الجبال. وقد استخدم بكل معادلة ديناميكية لحساب سرعة حركة الهواء الرأسية، والكثافة الناتجة عن ارتفاع الهواء على سفوح الجبال. واستنتج بكل بأن زاوية المنح أكثر أهمية من الارتفاع نفسه في تقدير كمية الأمطار الساقطة على سفح الجبل. ووضع أيضا ساكر في عامي ١٩٦٦ و١٩٦٧

(Saker, 1966, 1967) نموذجاً ديناميكياً للأمطار التضاريسية في منطقة غرب غاتز الهندية (Western Ghats of India). ويفترض النموذج الرياضي الذي استخدمه ساكر جواً رطباً مع تبريد ذاتي معتمداً على معادلات خطية (Wet Saturated atmosphere with pseudo lapse rate based on linearized equations).

وقد أعطت دراسات ساكر نتائج طيبة في معرفة الكمية العظمى للأمطار الساقطة في المنطقة. وكذلك طور كلتون في عام ١٩٧٦ (Colton, 1976) نموذجاً عددياً ليشابه ويحاكي الأمطار التضاريسية (To simulate orographic precipitation). وقد استنتج كلتون بأن استخدام النماذج العددية يمكن أن تعطى نتائج طيبة لمعرفة توزيع الأمطار في المناطق التضاريسية حيث تلعب الجبال دوراً كبيراً في توزيع الأمطار.

علاقة الأمطار بالمرتفعات : (Precipitation Elevation Relationship)

لقد أوضحت الدراسات السابقة التي تناولت الأمطار في المناطق الجبلية بأنه توجد علاقة وارتباط ما بين زيادة ونقص المعدل السنوي للأمطار والمرتفعات على سطح الكرة الأرضية (Bonacina, 1945). وتعتبر الجبال من أهم العوامل التي تؤثر على توزيع وكمية الأمطار الساقطة (Lee 1911, Donley and Mitchell 1939, Bonacia الساقطة 1945 Peck and Brown 1962, Chang 1973, and Wolfson 1975).

وقد ذكر بونسينا في عام ١٩٤٥ (Bonacina, 1945) بأنه حينما يكون المعدل السنوي للأمطار الساقطة أكثر من ٥٠٠٠ ملم في المناطق المنارية، و ٢٥٠٠ ملم خارج النطاق المناري فإن الارتفاع هو العامل الرئيس في طول هذه الكمية من الأمطار. وعلى العموم، فإن المناطق المرتفعة تهطل عليها كميات من المطر أكثر وأغزر من المناطق المنخفضة (Peattie 1966, Brown and Coherne 1972, Ryden 1972, and Pecl 1973)

وقد وجد أن أكبر معدل سنوي للأمطار في العالم يكون في المناطق الجبلية، حيث تعترض الجبال الرياح الرطبة وترغمها على الصعود إلى أعلى (Critchfield, 1974) وتوجد أدلة كثيرة على أهمية المرتفعات ومدى تأثيرها على الأمطار. وقام ولفسون في عام ١٩٧٥ (Wolfson, 1975) بدراسة تأثير التضاريس على توزيع الأمطار في فلسطين ووجد أن الأمطار في جبال الكرمل تزيد ٤٣ ملم كلما زاد ارتفاع الجبل ١٠٠

متر و٢٨ ملم في الجهات العلوية من جبال الجليل الغربية، و٢٦ ملم في الجهات العلوية من جبال الجليل الشرقية. كما لاحظ لو نجلى في دراسته التي أعدها في عام ١٩٧٥ (Longley, 1975) بأن كمية الأمطار تقل مع انخفاض الأودية.

وقد أوضحت الدراسات أيضا بأن المعدل السنوي للأمطار يزداد مع زيادة الارتفاع. وأشار ويتمور في دراسته عام ١٩٧٣ (Whitmore, 1973)، بأن متوسط الأمطار السنوي يزداد بالتدرج حوالي ٣٠ ملم كلما زاد الارتفاع ١٠٠ متر، ولاحظ بالشين وزميله باي في عام ١٩٤٨ (Balchine and Pye 1948) بأن هناك علاقة ما بين المجموع الشهري للأمطار والارتفاعات، حيث يزيد المجموع الشهري مع زيادة الارتفاع.

وقد وجد بك وزميله براون في عام ١٩٦٢ (Peck and Brown 1962) أنه توجد علاقة جيدة ما بين الأمطار والارتفاعات في ولاية يوتا الأمريكية لكل من الفترات الزمنية التالية : أكتوبر-إبريل، ومايو-سبتمبر. وفي خارج نطاق الولايات المتحدة الأمريكية، وجد تشاوان وزميله لوكوود في عام ١٩٧٤ (Chuan and Lockwood 1974) بأن هناك علاقة وثيقة ما بين الأمطار الشهرية ومتوسط الارتفاعات في وسط بنيز (Center Pennines). أيضا وجد نيولت في عام ١٩٧٤ (Nieuwolt, 1974) أن مجموع كمية الأمطار السنوية تزيد مع زيادة الارتفاع في المناطق المتوسطة الارتفاع والعالية ما عدا المرتفعات الجبلية العالية جدا حيث تقل كمية بخار الماء في الجو.

ولكن العلاقة ما بين المرتفعات وكثافة الأمطار غير واضحة تماما. وقد ذكر لينسلي في عام ١٩٥٨ (Linsely, 1958) في دراسته لعلاقة كثافة الأمطار بالمرتفعات في شمال كاليفورنيا، بأنه توجد علاقة موجبة ما بين كثافة الأمطار والارتفاعات، وبلغ معامل الارتباط (٠.٨٨) وبلغ الخطأ المعياري (٠.٦٧) بوصة لكل ساعة. ولكن كوبر في دراسته عام ١٩٦٧ (Cooper, 1967) لم يجد أن هناك علاقة ما بين كثافة الأمطار في فصل الربيع والصيف والارتفاعات في مساحة قدرها ٥٣ ميلا مربعا، وارتفاعها ٣٥٠٠ متر في جنوب ولاية إنديانا الأمريكية. وقد لاحظ ششورمرهورن في دراسته عام ١٩٦٧ (Schermerhorn, 1967) أن الارتفاع وحده لا يشرح كثيرا اختلاف الأمطار الشتوية في غرب ولايتي أوريجين وواشنطن الأمريكيتين. وقد وجد دهار وزميله راخكه في دراستهما في عام ١٩٨١ (Dhar and Rahecha 1981) أن العلاقة ما بين الارتفاعات وكمية الأمطار الموسمية في جبال الملايا ضعيفة، وقد بلغ

عامل الارتباط بينهما (٠.١٨٨) فقط، وأن الأمطار لا تزيد بزيادة الارتفاع. ولكن معظم الدراسات التي تناولت علاقة الأمطار بالمرتفعات تشير إلى أن هناك علاقة إيجابية ما بين كمية الأمطار وارتفاع التضاريس (Smith, 1979).

وعلى العموم، فإن كمية الأمطار تزيد مع زيادة الارتفاع حتى نقطة معينة من الارتفاع. ويختلف ارتفاع هذه النقطة من مكان لآخر ومن وقت لآخر، ولكن في الغالب لا يتجاوز ارتفاعها ١٠٠٠-١٠٠٠ قدم (Bonacina, 1945). وتسقط أكبر كمية من الأمطار فوق قاعدة السحاب حيث تكون نسبة التشبع عالية جداً، وقد أشار برى في كتابه «طقس ومناخ الجبال» (Barry 1981) بأن لاوسشر (Lauscher) قام بدراسة شاملة للعالم في عام ١٩٧٦، وقد استخدم معلومات للأمطار لـ ١٣٠٠ محطة موزعة على العالم، وقد صنفها لاوسشر إلى ثلاث مجموعات هي :-

(١) محطات تقع على ارتفاع أقل من ١٠٠٠ متر.

(٢) محطات تقع على ارتفاع ما بين ١٠٠٠-٢٠٠٠ متر.

(٣) محطات تقع على ارتفاع ما بين ٢٠٠٠-٣٠٠٠ متر.

وتغطي هذه المحطات ١٠ دوائر عرضية من دوائر العرض و ٢٠ خطاً من خطوط الطول. وقد وضع لاوسشر خمسة أنواع للكميات العظمى من الأمطار (شكل ٧) هي:-

(١) مدارية (Tropical (T)، وتهطل أكبر كمية من الأمطار على ارتفاع ما بين ١٠٠٠-١٥٠٠ متر.

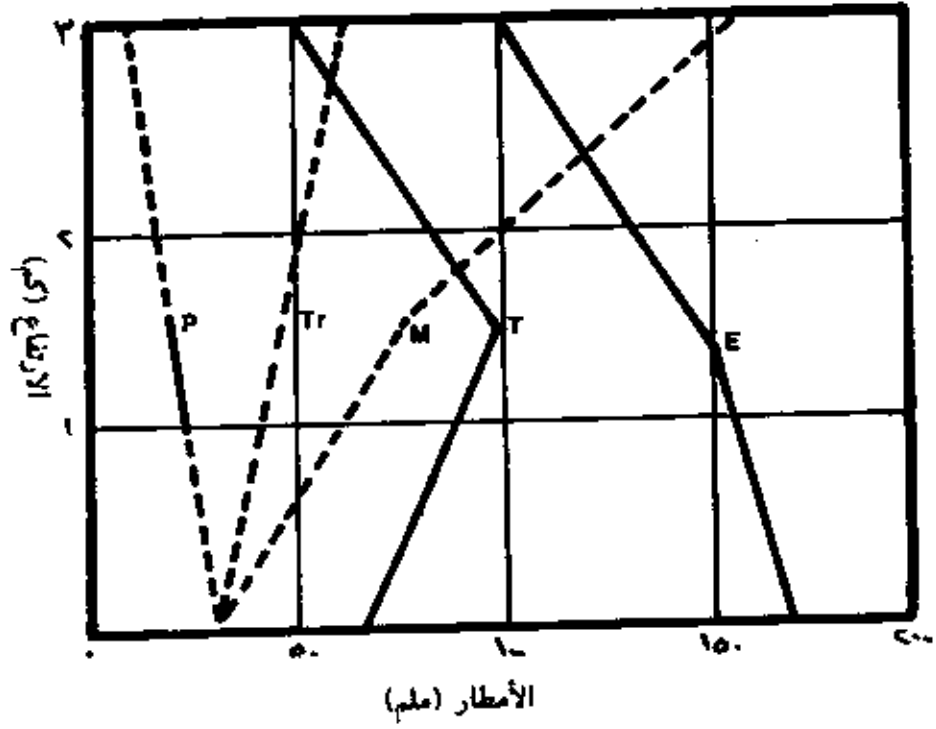
(٢) استوائية (Equatorial (E) وتهطل الكمية العظمى من الأمطار بالقرب من سطح البحر، وتقل كلما زاد الارتفاع.

(٣) النوع الانتقالي (Transition Type (Tr)، ويشمل المنطقة شبه المدارية وتزيد الأمطار قليلاً مع زيادة الارتفاع، وتعتمد قسرة الأمطار وارتفاعها على العوامل المحلية.

(٤) العروض الوسطى (Mid-Latitude (M)، وفيها تزيد كمية الأمطار مع زيادة الارتفاع.

(٥) النوع القطبي (Polar Type (P) وتسقط الكمية العظمى من الأمطار قرب سطح البحر وخاصة في منطقة البحار المفتوحة.

ويختلف ارتفاع نقطة الكمية العظمى من الأمطار من منطقة لأخرى، ويرجع هذا إلى

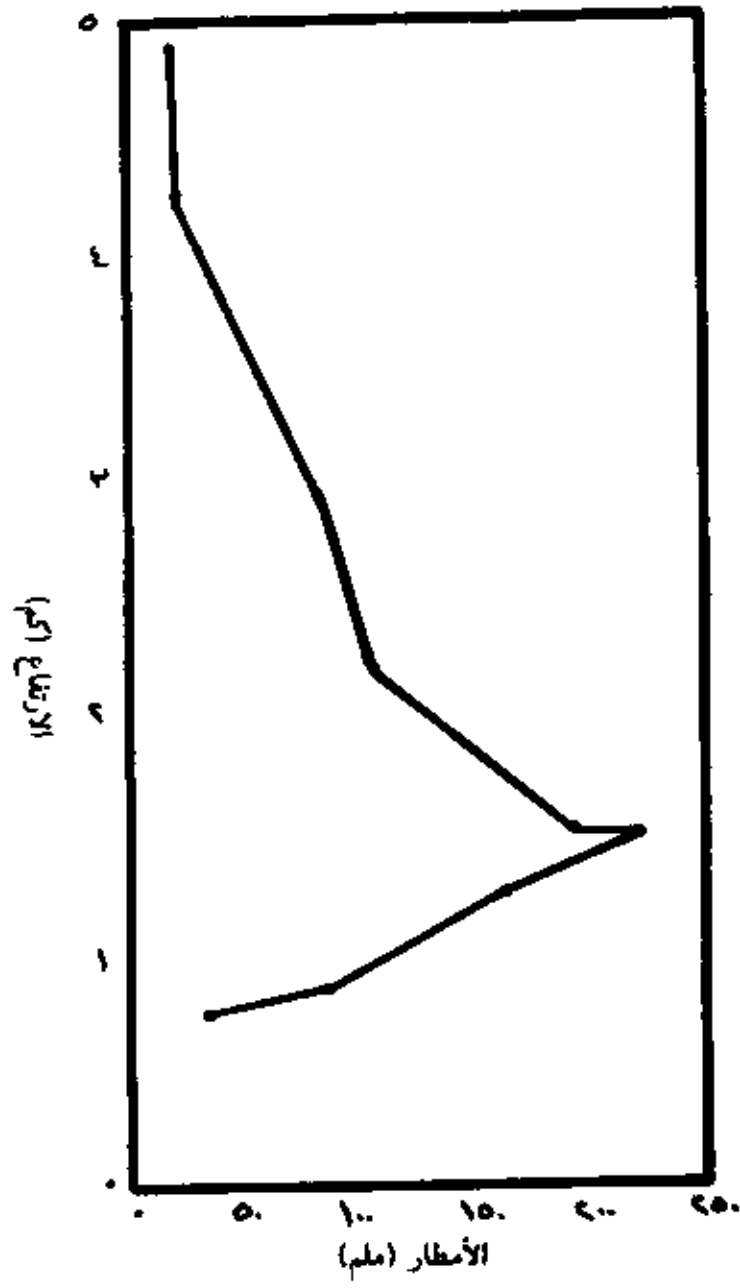


شكل (٧) المتوسط السنوي للأمطار عند دوائر عرض مختلفة في المنطقة الاستوائية (E), المدارية (T), والعروض الوسطى (M), والمنطقة القطبية Polar region (P), والمنطقة الانتقالية بين دائرتي عرض 30° و 60° (TR) (after Barry 1981)

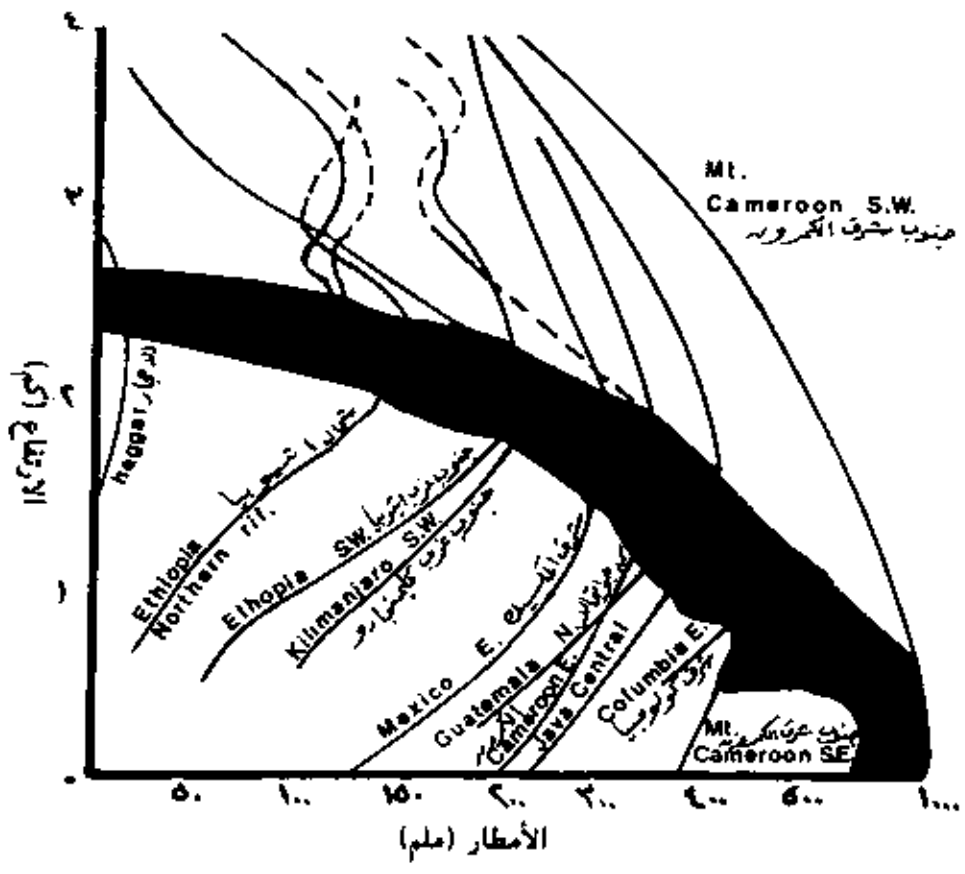
تأثير العوامل الطبيعية المحلية والعامّة. وعلى الصّوم فإن ارتفاعها يكون أعلى في فصل الصيف عنه في فصل الشتاء (Varney, 1920). فمثلا في شرق إفريقيا، ارتفاع الكمية العظمى من الأمطار في جبال كينيا وجبال كليمنجارو هو ١٥٠٠ مترا، ثم تبدأ كمية الأمطار تقل مع الارتفاع (شكل ٨) (Flohn, 1972). وذكر برى أيضا في كتابه «طقس ومناخ الجبال» (Barry 1981) بأن لاور Lauer وجد أن الكمية العظمى من الأمطار التي تسقط على السفح الجنوبي من جبال الكيمرون في غرب إفريقيا تسقط بالقرب من السفح بسبب الرياح الموسمية، ولكن في السفح الشمالي الشرقي من الجبال والتي تهب عليها الرياح التجارية أن الكمية العظمى من الأمطار تسقط على ارتفاع ١٥٠٠ مترا (شكل ٩).

وتهطل الكمية العظمى من الأمطار على السفوح الكاربية للهضبة المكسيكية على ارتفاع ما بين ٦٠٠-١٤٠٠ مترا. ولكن يلاحظ أيضا أن هناك منطقة أخرى ثانوية تزيد عندها الأمطار وتقع على ارتفاع ٣٠٠٠ مترا، ويرجع هذا إلى تأثير تيارات الحمل الصاعدة. وقد لاحظ أيضا لاور Lauer وجود ظاهرة مشابهة لها في إثيوبيا حيث يصل الهواء الدافئ المشبع بالرطوبة إلى الهضبة على طول الأودية حيث تزيد تيارات الحمل الصاعدة، وتسقط أكبر كمية من الأمطار على ارتفاع ما بين ٢٠٠٠-٢٥٠٠ مترا. وتسقط الكمية العظمى من الأمطار في المناطق الصحراوية على ارتفاع ٢٥٠٠ مترا كما هو في منطقة الأحجار بالجزائر، ويرجع هذا لتأثير تيارات الحمل الصاعدة (شكل ٩) (Barry 1981).

ويتأثر ارتفاع الكمية العظمى من الأمطار بعوامل ومؤثرات عديدة (Mechanism) كطبيعة الأمطار، وخصائص الكتل الهوائية، وكمية بخار الماء الموجودة في الجو، وسرعة الرياح. وحيث أن مقدار بخار الماء في الهواء يقل كلما زاد الارتفاع في الطبقات السفلية من الغلاف الجوي، فإن كمية الأمطار تقل مع الارتفاع (Barry 1981) وقد ذكر برايس في عام ١٩٨١ (Price 1981) بأنه كلما صعد الهواء وبرد فسوف تقل كمية الأمطار، ويرجع هذا إلى أن نسبة كبيرة من الرطوبة قد سقطت على السفوح السفلية من الجبال بالإضافة إلى أن انخفاض درجة الحرارة والضغط في المرتفعات العليا يخفض من قدرة الهواء على تحمل المزيد من بخار الماء، ومقدار بخار الماء عند ارتفاع ٣٠٠٠ متر يساوي $\frac{1}{3}$ مقداره عند سطح البحر.



شكل (A) الكمية العظمى للأمطار على جبال كليمنجارو
(after Flohn 1972)



شكل (٩) مناطق الكمية العظمى للأمطار في مناطق مختلفة الارتفاعات (after Barry 1981)

وأفادت بعض الدراسات التجريبية أنه من الممكن أن تكون العلاقة ما بين الأمطار والارتفاع عكسية أي أنها تقل مع الارتفاع. فقد وجد لى فى عام ١٩١١ (Lee 1911) أن كمية الأمطار تزيد مع زيادة الارتفاع من بطن الوادى العظيم بمنطقة السيرا بالولايات المتحدة حتى ارتفاع ١٥٠٠ متر على السفح الغربى منه. ويزيد معدل كمية الأمطار بشكل ملحوظ من الأجزاء السفلية من المرتفعات حتى ارتفاع ١٥٠٠ متر ويعد يقل معدل زيادة الأمطار مع زيادة الارتفاع. وأشارت دراسة أخرى مشابهة لجبال سنك (Snake mountains) بالولايات المتحدة بأن الأمطار فى نهر تنسى يزيد مقدارها مع زيادة الارتفاع ولكن هذه الزيادة لا تستمر فقد سجلت محطات الأمطار الموجودة على جبال سنك والتي تقع على ارتفاع ١٥٠٠ متر. كميات أقل من الأمطار عن الكمية التى سجلتها محطات الأمطار الموجودة فى الوادى ولمدة ١٤ سنة (Shallshow, 1953).

ووجد ستور وزميله فرجيسون فى عام ١٩٧٢ (Storr and Ferguson) بأن الكمية العظمى من الأمطار فى منطقة حوض كريك (Creek basin) تهطل عند ارتفاع ٢٣٦٠ متر وليس على قمة المنطقة والتي يبلغ ارتفاعها ٢٦٦٠ متر.

وأفادت الدراسة التى قام بها هرمان فى عام ١٩٧٢ (Herrman 1972) بأن الأمطار فى شمال غرب سيرانفادا دي سانتا مارتا فى كولومبيا (Sierra Nevada de Santa Marta/Colombia) تزيد من ٣٥٠ ملم عند سطح البحر إلى ٢٥٠٠ ملم عند ارتفاع ١٦٠٠ متر، بينما تبلغ كمية الأمطار ١٨٠٠ ملم عند ارتفاع ٤٠٠٠ متر. وفى منطقة جبال الهملايا، تهطل الكمية العظمى من الأمطار خلال فترة الأمطار الموسمية عند ارتفاع ٢٠٠٠ متر أو أقل من ذلك الارتفاع بقليل. وقد أشار دهار وزميله راخكه فى عام ١٩٨١ (Dhar and Rakhecha 1981) بأنه توجد فى جبال الهملايا منطقتان للكمية العظمى من الأمطار، واحدة تقع عند ارتفاع ما بين ٦٠٠-٨٠٠ متر، والثانية عند ارتفاع ما بين ٢٠٠٠-٢٤٠٠ متر. وفى إفريقيا، أوضح نيولت فى عام ١٩٧٤ (Nieuwolt, 1974) أن ارتفاع منطقة الكمية العظمى من الأمطار والتي بعدها تبدأ العلاقة العكسية ما بين كمية الأمطار الساقطة والارتفاع، حيث تقل الأمطار كلما زاد الارتفاع هو ما بين الارتفاع ٢٦٠٠ و٣٤٠٠ متر، وأشار نيولت بأن العلاقة العكسية بين الأمطار والارتفاع فى مناطق أخرى من جبال المناطق المدارية تبدأ تقريبا عند ارتفاع

١٥٠٠ متر. أيضا وجد ويتسور في عام ١٩٧٣ (Whitamore, 1973) بان متوسط الأمطار السنوي يزيد تدريجيا ٣٠ ملم لكل زيادة ١٠٠ متر حتى ارتفاع ١٣٠٠ متر وبعد هذا الارتفاع يزيد متوسط الأمطار قليلا مع زيادة الارتفاع.

العوامل التي تؤثر على علاقة الأمطار بالمرتفعات :

تتأثر علاقة الأمطار بالمرتفعات بعدة عوامل طبيعية وجوية مختلفة، ومن أهمها حالة الجو، وحالة الطقس، وأنواع الأعاصير والتوزيع الفصلي، وسرعة الرياح واتجاهاتها، وانحدار سفح الجبل، واتجاه الجبال والمسافة من مصدر الرطوبة. ويختلف مدى تأثير هذه العوامل على علاقة الأمطار بالمرتفعات من عامل لآخر. ونظرا لأهمية هذه العوامل فسوف نستعرض كل عامل على حدة، ومعرفة مدى تأثيره على علاقة الأمطار بالمرتفعات.

حالة الجو: (Atmospheric Condition)

تؤثر حالة الجو تأثيرا كبيرا على الأمطار التضاريسية (Smallshaw, 1973; Smith 1979; Price 1981 and Barry 1973). أن الجبال يقدر ما هي مواقع عدم استقرار في الجو الطبيعي فهي أيضا مواقع مثالية لالتزال الصناعي للأمطار (Price 1981). وتؤثر حالة الجو على التوزيع الجغرافي للأمطار. وتلاحظ أن توزيع الأمطار في المناطق الجبلية معقد وغير متجانس، ويرجع هذا إلى اختلاف الأحوال الجوية في المناطق الجبلية في مسافة قصيرة (Nieuwolt, 1974 and Cotton, 1976) وتزيد كمية الأمطار الإعصارية عندما تصطم كتلة هوائية غير مستقرة (Unstable) بجبل، وفي حالة استقرار (Stability) الكتلة الهوائية، فإن تأثير الجبال على الأمطار يقل أو يتعدم تماما وتكون الأمطار المساقطة على المنطقة عبارة عن أمطار إعصارية. وقد قام البيوت وزميله شفافيرز عام ١٩٦٢ (Elliot and Shaffers 1962) بدراسة الأمطار التضاريسية في الجبال الغربية بالولايات المتحدة الأمريكية، وأفادت الدراسة أن الغالبية العظمى من الأمطار التضاريسية والتي تسقط على المنطقة تكون مصحوبة بحالة جوية غير مستقرة. وتسقط على المناطق العلوية من الجبال كمية أمطار أقل من تلك التي تسقط على المناطق المنخفضة والسبب هو أن السحب الضحلة التي تكونت لا تعطى فرصة كافية لذرات الأمطار (Precipitation Particles) لأن تنمو عن طريق التصادم والتلاحم أو

التلاحق (To grow by Collision and Coalescence) مع قطرات السحب الصغيرة قبل أن تصل إلى سطح الأرض. أيضا تؤثر الدورات الهوائية المحلية التي تحدث ما بين قمة الجبل والوادي، على توزيع المطر في الوادي. ونلاحظ في بعض الأحيان أن بطن الوادي يكون جافا بعكس الجهات العلوية. فمثلا توجد أودية جافة من أجزاء من جبال هندوكوش Hindu Kush وجبال كاراكوم Karakoram وجبال الهملابا Himalayas. وتختلف هذه المناطق الجافة تماما عن الجبال المجاورة والتي تكسوها كميات كبيرة من الثلوج (Price, 1981)، وأشار يونسينا في عام ١٩٤٥ (Bonacina, 1945) إلى أهمية عدم استقرار الجو في زيادة الأمطار التضاريسية. ولاحظ دوغلاس وزميله جلاس بول في عام ١٩٤٧ (Douglas and Glasspoole 1947) بأن عدم استقرار الجو يعتبر عنصرا غير مهم في الأمطار التضاريسية في الجهات الدافئة.

حالة الطقس وأنواع الأعاصير : (Synoptic Situation and Storm Types)

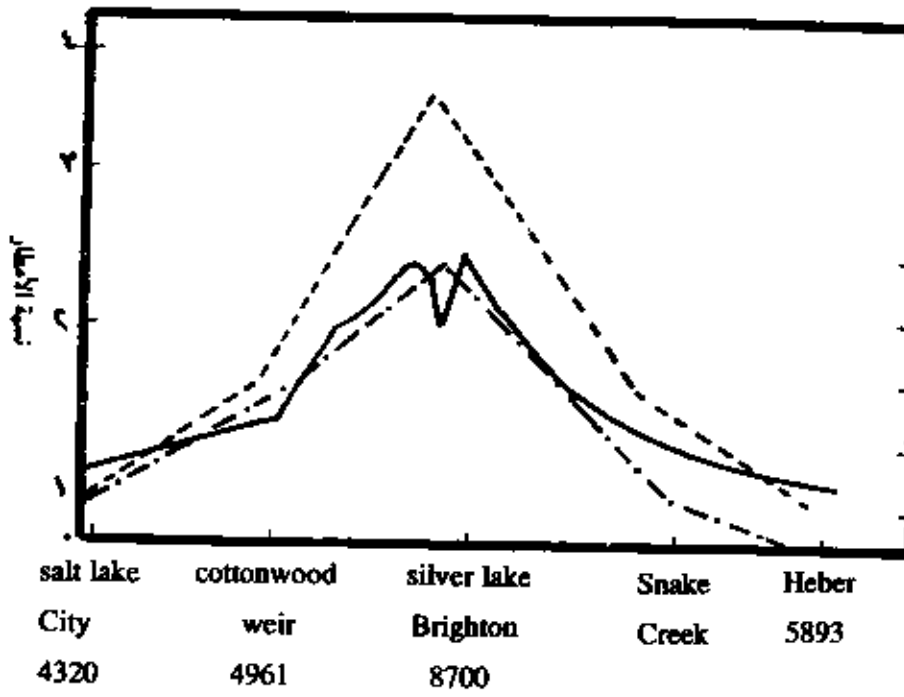
تؤثر حالة الطقس وأنواع الأعاصير على الأمطار التضاريسية من ناحية الكمية والتوزيع الجغرافي. وذكر ويليمز وزميله بيك في عام ١٩٦٢ (Williams and Peck 1962) في دراستهما للأمطار في جبال واساتش (Wasatch Mountains) في ولاية يوتا بأن الأمطار في المنخفضات الإعصارية الباردة تكون أقل من الأمطار في المنخفضات الدافئة (شكل ١٠)، وتسقط الأمطار بكميات أكبر على المناطق الأقل ارتفاعا منها على المناطق العالية الارتفاع حينما تكون المنخفضات الإعصارية في الطبقات العلوية من الجو باردة. وقد لاحظ دوغلاس وزميله جلاس بول في عام ١٩٤٧ (Douglas and Class Poole 1947) أن تأثير المرتفعات على الأمطار في بريطانيا يكون قويا وواضحا عندما يهب الهواء الجنوبي الشرقي في مقدمة جبهة هوائية باردة حيث يكون الجو رطبا وفي حالة غير مستقرة. أيضا، تهطل الأمطار على جبال سان جوان بولاية كلورادو (San Juan Mountains, Clorado) بكميات كبيرة بسبب الأعاصير الشتوية التي تهب من الجنوب الشرقي والشمال الغربي ونتيجة لارتفاع درجة الحرارة في الطبقات العليا من الجو. وكذلك تساعد الأعاصير القادمة من الغرب أو الجنوب الغربي على زيادة كمية الأمطار على المناطق الجبلية (Barry 1981).

وذكر يونسينا في عام ١٩٤٥ (Bonacina 1945) أن الأمطار لا تسقط دائما حينما يصطدم الهواء بالمرتفعات الجبلية، ولكن لابد أن يكون الهواء قد تأثر بالحالة

Generalized topography

--- NoN-Coid low storm ratio

-- Coid low storm ratio



شكل (١٠) قطاع للتضاريس والأمطار عبر جبل واستش Wasatch Mountain بالقرب من سولت ليك (after williams and peck 1962) salt lake city

العامية للجور. أيضا، أشار ساير في عام ١٩٥٦ (Sayer, 1956) بأن الأمطار التضاريسية تكون غزيرة إذا وجد هواء دافئ ورياح شديدة السرعة ورطوبة عالية. وقد استنتج هانسون في عام ١٩٨٢ (Hanson, 1982) بأن الأمطار السنوية التي تسقط على منطقة تقسيم المياه الجبلية في جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية تختلف، ولكن اختلافاها ليس نتيجة لارتفاع المنطقة فقط بل نتيجة لاختلاف الموقع، فمحطات المطر التي تقع باتجاه الرياح تسقط عليها كميات من المطر أكثر من كميات المطر التي تسقط على محطات المطر التي تقع في عكس اتجاه الرياح (Windshadow) على الرغم من وقوعها على نفس الارتفاع. وتختلف كمية الأمطار الشتوية في منطقة تقسيم المياه الجبلية بسبب تأثير الزوايا الإعصارية التي تتحرك من الغرب والجنوب الغربي نحو المنطقة.

الأنماط الفصلية : (Seasonal Patterns)

يؤثر اختلاف فصول السنة تأثيرا كبيرا في توزيع الأمطار الجغرافي، وكذلك على علاقة الأمطار بالمرتفعات. ويعتمد تأثير الفصول على طبيعة السنة

(Merva, et al, 1976) وذكر فرني في عام ١٩٢٠ (Varney 1920) ولويل وزميله أليسون في عام ١٩٥٠ (Luil and Ellison 1950) بأن معدل زيادة الأمطار مع زيادة الارتفاع يختلف من فصل لآخر، ويكون معدل الزيادة قليلا في فترة الصيف الجاف.

قوة الرياح وسرعتها : (Wind force and Speed)

تؤثر قوة الرياح وسرعتها على علاقة الأمطار بالمرتفعات. وتتوزع الأمطار توزيعا متجانسا في المنطقة إذا كانت الرياح التي تهب عليها هادئة وخفيفة السرعة، بينما يختلف توزيعها بزيادة سرعة الرياح. وتسبب الرياح القوية في سقوط الأمطار على السفوح المظاهرة (Leeward Slopes) لاتجاه الرياح بدلا من سقوطها على قمة السفوح المواجهة للرياح (Windward slope) (Balchin and pye 1948). وتكون كمية الأمطار الساقطة على السفوح الجبلية المكشوفة التي تهب عليها الرياح قليلة لأن الرياح السريعة تؤدي إلى زيادة زاوية سقوط الأمطار (Lee 1972, and Sharon 1980) وذكر هافيند في دراسته التي أعدها عام ١٩٦٥ (Havind, 1965) أنه من الصعب

المحصل على صورة جيدة لتوزيع الأمطار في المناطق الجبلية التي تهب عليها الرياح دائما. وكذلك أوضحت الدراسة أن الأمطار الساقطة تكون قليلة في الجهة الجبلية التي تقع في مهب الرياح وتسقط أكبر كمية من الأمطار في السفوح المواجهة لاجتياح الرياح. ومن الاستعراض السابق يتضح أن الرياح تلعب دورا كبيرا في توزيع الأمطار، ولذلك فإنه يجب وضع الرياح وسرعتها بعين الاعتبار عند دراسة الأمطار وتوزيعها وقياسها في منطقة الدراسة.

الانحدار : (Slope)

يؤثر انحدار سفح الجبل على عملية سقوط الأمطار تأثيرا كبيرا، ويزداد مقدار تأثير السطح بزيادة درجة انحداره وميلته. وحينما يصطفم الهواء بجبل فإنه يضطر إلى الصعود إلى أعلى ويكون صعوده بدرجات متفاوتة وتزداد سرعته بزيادة مقدار انحدار سفح الجبل (Price, 1981).

وتعتبر السفوح الجبلية إحدى العوامل المحلية التي تؤثر على مقدار كمية الأمطار الساقطة على المنطقة (Henry 1919; Boncina, 1945 and Neiuwolt 1974) وقد ذكر بكل في دراسته عام ١٩٠١ (Pockel 1901) بأن انحدار سفح الجبل المرجح للرياح يؤثر على الأمطار أعظم من تأثير ارتفاع الجبل عليها.

اتجاه الجبال : (Mountain Orientation)

يؤثر اتجاه الجبال على علاقة الأمطار بالمرتفعات. ففي المناطق الساحلية يصطفم الهواء المشبع بالرطوبة بالجبال التي تمتد على طول السواحل، ثم يصعد الهواء الرطب إلى الطبقات العليا من الجو ويبرد ويتكاثف فتسقط الأمطار بكميات كبيرة بسبب تأثير المرتفعات. ويستثنى من ذلك المناطق التي تتوازي فيها الجبال مع الرياح التي تهب على المنطقة حيث لا يكون للجبال تأثير على الأمطار. فشلا في جنوب كاليفورنيا، تسقط الأمطار بكميات غزيرة على ساحل لوس أنجلوس المنخفض، بينما تكون الأمطار قليلة على جبال سانتا أنز (Santa Inez) وجبال سان جبريل (Gabriel Price 1981) Mountains بسبب توازي الجبال مع الرياح السائدة. ووجد سنيغا وزميله كالفن في عام ١٩٧٨ (Sneva and Calvin 1978) أن معامل الارتباط (Correlation Coefficient) لمحطات الأمطار ذات الاتجاه الجنوبي الغربي-الشمال الشرقي أكبر من

معامل الارتباط للمحطات ذات الاتجاه الجنوبي الشرقي - الشمال الغربي أيضا الأودية الموازية لاتجاه الرياح قد تسقط عليها كميات من الأمطار تساوي أو تكون أكثر من الأمطار التي تسقط على سفح الجبل الجانبي، بينما الأودية المتعامدة لاتجاه مع الرياح السائدة من المحتمل أن تكون جافة "Dryholes" (Price, 1981).

الوضع بالنسبة لاتجاه الرياح (Lee Ward and Windward Position)

يؤثر ارتفاع المنطقة على توزيع الأمطار. وتسقط الأمطار على السفوح الجبلية المواجهة للرياح السائدة (Wind Ward) بكميات أغزر من الأمطار التي تسقط على السفوح الجبلية المظاهرة لاتجاه الرياح السائدة (Lee Ward) (Pockel, 1901, Sims, 1981). ويختلف تأثير الوضع حسب اتجاه وسرعة الهواء الرطب السائد، وارتفاعه، وانتظام المنطقة الجبلية. (World Meteorological Org. 1973) وتكون السفوح الجبلية المظاهرة لاتجاه الرياح السائدة (Leeward Wind) مناطق قليلة المطر ويطلق عليها مناطق ظل المطر (Rain Shadow Zones) وخاصة عندما تكون الرياح السائدة خفيفة السرعة، أما إذا كانت الرياح الحاملة للرطوبة شديدة السرعة فإنه من المحتمل أن تسقط أكبر كمية من الأمطار على السفوح الجبلية المظاهرة لاتجاه الرياح وليس على السفوح المواجهة لاتجاه الرياح (Balchin and Pye 1984 and Pacl 1973) وتعرف هذه المنطقة بالمنطقة غزيرة المطر (Spill over zone) وتمتد هذه المنطقة بعيدا خلف الحافة الجبلية في حالة تساقط الثلج أكثر منها في حالة سقوط الأمطار (World Meteorological Organization 1973) فعلى سبيل المثال، أشار يوشينو في دراسة عام ١٩٧٥ (Yoshino 1975) بأن أكبر كمية من الأمطار في منطقة جبال كيريشينا Kirishima باليابان تهطل على السفوح الجبلية المواجهة للرياح السائدة، ولكن في حالة هبوب رياح التيفون على المنطقة، فإن أكبر كمية من الأمطار تهطل على السفوح المظاهرة لاتجاه الرياح بسبب قوة سرعة الرياح.

وعلى العموم، فإن كمية الأمطار تزيد مع زيادة ارتفاع السفوح الجبلية المواجهة لاتجاه الرياح، ولكن الأمطار تسقط على السفوح الجبلية المظاهرة لاتجاه الرياح حيث تقع منطقة ظل المطر (Rain Shadow Zone) وقد تصاب المنطقة بالجفاف (Peattie, 1966). فعلى سبيل المثال في الغات الغربية بالهند Western Ghats India، تصل كمية الأمطار الساقطة فيها سنويا حوالي ٥٠٠٠ ملم ولكن في السفوح

المظاهرة لها في حضية الدكن، يبلغ معدل الأمطار الساقطة حوالى ٣٨٠ ملم فقط (Price, 1981). وفي هاواي (Hawaii)، يبلغ معدل كمية الأمطار الساقطة سنويا على الجهات المواجهة لاجتياح الرياح السائدة أكثر من ١١٤٣٠ ملم، بينما يبلغ مقدار المعدل السنوى على السفوح الجبلية المظاهرة للرياح السائدة حوالى ٥٥٨ ملم فقط (Peattie 1966) وقد وجد بأن عام ١٩٧٢ (Pan 1972) أن كمية الأمطار التى تسقط على السفوح الجبلية المواجهة للرياح السائدة فى جبال تاتون شان Tatumshan وهستش Hsuch أكثر من الأمطار التى تسقط على السفوح الجبلية المظاهرة لاجتياح الرياح السائدة على المنطقة. وعلى العموم، فإن زيادة الارتفاع يعنى زيادة كمية الأمطار على السفوح الجبلية المواجهة لهبوب الرياح السائدة (Balchin and Pye 1948)

المسافة من مصادر الرطوبة : (Distance from Moisture Sources)

تعتبر المسافة من مصدر الرطوبة إحدى العوامل التى تؤثر على الأمطار. وتقل كمية الأمطار كلما زادت المسافة من مصدر الرطوبة، أى أن هناك علاقة عكسية بين كمية الأمطار والمسافة من مصدر الرطوبة. وقد وجد وتيسور فى دراسته عام ١٩٧٣ (Whitmore 1973) أن عامل المسافة من مصدر الرطوبة يحتل المركز الثانى بعد الارتفاع فى التأثير على الأمطار السنوية فى جنوب إفريقيا. أيضا ذكر ويلز عام ١٩٢٢ (Wells 1922) بأن المسافة من البحر تلعب دورا مهما فى توزيع الأمطار فى ولاية أوريجن بالولايات المتحدة الأمريكية .

قياس الأمطار وتحليلها :

يستعرض هذا الجزء من البحث المواضيع التى لها علاقة بقياس كمية الأمطار، وتناسق تسجيل الأمطار، وتقدير المعلومات المفقودة، والطرق الإحصائية التى استخدمت فى دراسة الأمطار والتنيز بكمياتها فى مناطق مختلفة من العالم.

قياس الأمطار :

يعتبر المطر العنصر الأساسى فى الدورة المائية (Hydrological Cycle) ، ويعتبر تقدير كمية الأمطار الساقطة على منطقة ما مهم جدا لتخطيط المشاريع المائية، وتصميم المشروعات المختلفة، والتنيز بمقدار المياه الجارية على سطح الارض. ومقدار كمية الأمطار

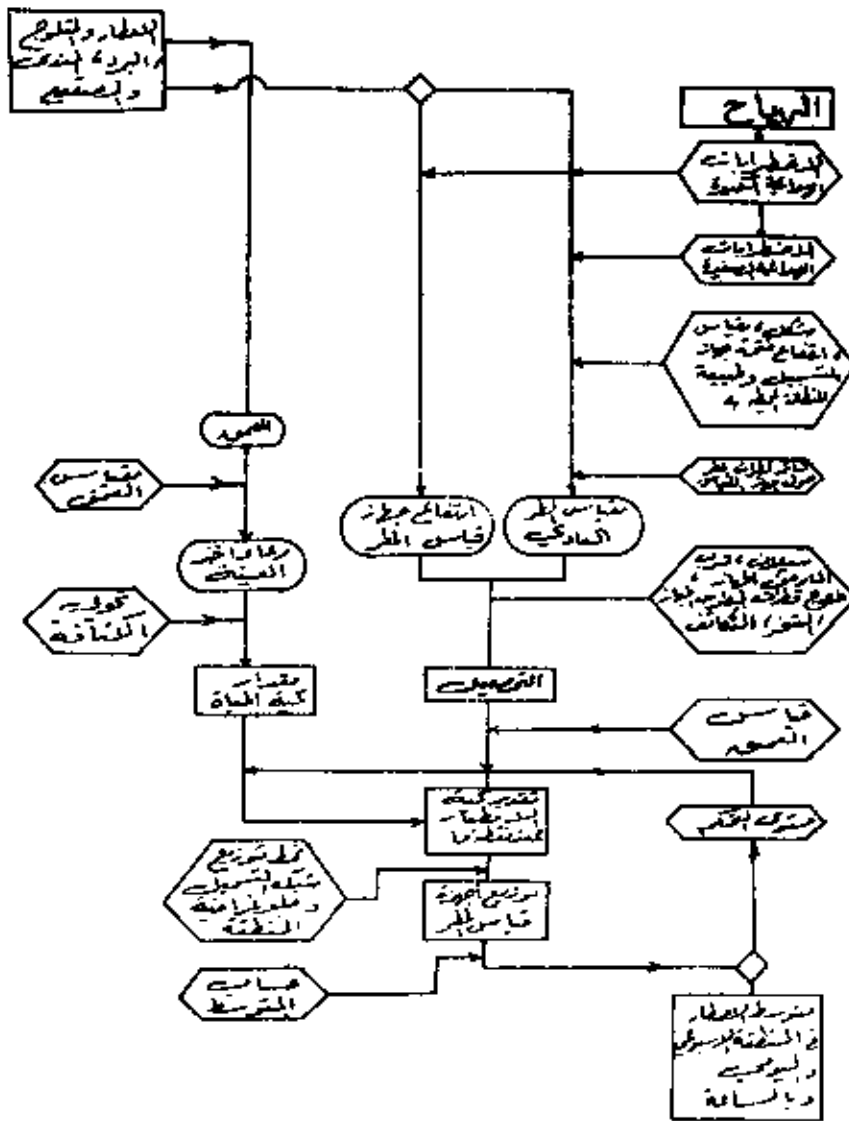
التي تغذي مصادر المياه، وغير ذلك من البرامج والمشاريع التي تعتمد على الأمطار (Gole et al, 1972 and Dunne and Leopold 1978) ويعتمد دقة تقدير كمية الأمطار على مدى صحة تسجيل الأمطار (Rechard 1972) وعدم دقة التسجيل ووجود الأخطاء في التسجيل له آثار سيئة على الدراسات التي تهتم بدراسة مصادر المياه، والتنبيؤ بكميات المياه التي تجري على سطح المنطقة، وكذلك على الدراسات التي تهتم بدراسة المياه التي تغذي مصادر مياه الشرب والزراعة (Hamon, 1971 and Peck, 1973).

ويعتبر الحصول على قياسات صحيحة ودقيقة للأمطار في المناطق الجبلية من أصعب الأمور نتيجة لاختلاف الأحوال الجوية والطقس فوق مسافة قصيرة في المناطق الجبلية وذلك لاختلاف التضاريس والارتفاعات وتباينها في المنطقة (Colton 1976, and Marcus 74) ويعتبر المعلومات عن مقدار كمية الأمطار وتوزيعها في المناطق الجبلية في العالم قليلة جدا بسبب قلة محطات قياس الأمطار في المرتفعات العالية. ونجد أن أكبر عدد من محطات قياس المطر تقع في المناطق الجبلية قليلة الارتفاع، وأقل عددا في المناطق الجبلية المتوسطة الارتفاع بينما تندر محطات الرصد في المرتفعات الجبلية العالية (Vuglinski, 1972). وبالإضافة إلى قلة عدد محطات رصد الأمطار في المناطق الجبلية، تبرز صعوبات وعقبات أخرى منها صعوبة زيارة بعض المناطق الجبلية والقيام بتسجيل الأمطار أو فحص الأجهزة في بعض شهور السنة لأنها مناطق غير مأهولة بالسكان (Chang 1973).

وتعتبر سجلات الأمطار التي يتم الحصول عليها بواسطة وعاء قياس المطر المعروف (Standard Rainguage) معلومات غير صحيحة ودقيقة جدا، ولكن يمكن استخدامها كمؤشر (Index) لكمية الأمطار الساقطة على المنطقة (Pierrehumbert 1976) وهناك عدة عوامل تساعد على وجود أخطاء في قياس المطر كما هو موضح في الشكل (١١).

ومن أهم هذه العوامل موقع وعاء تسجيل المطر، وسرعة الرياح واتجاهها، ونوع الأمطار الساقطة، وشكل وعاء تسجيل الأمطار، وحماية وعاء التسجيل أو عدمها، وارتفاع فتحة وعاء التسجيل.

وتعتبر الرياح العامل الرئيسي في نشوء أخطاء في تسجيل الأمطار وقياسها



شكل (١١) مصادر الأخطاء في قياس الأمطار (after Rodda et al, 1962)

(Popov, 1972). وتؤثر الرياح على زاوية سقوط الأمطار مما ينتج عنه اختلاف التوزيع الممطر للأمطار (Lee, 1972). وقد استنتج شارون في عام ١٩٨٠ (Sharon 1980) أن زاوية سقوط المطر تنحرف من ٤٠-٦٠ درجة ومن المحتمل أن تصل إلى ٧٠ درجة عندما تكون سرعة الرياح في الإعصار ١٠ أمطار/ثانية. ويؤثر هذا على صحة ودقة قياس المطر. ويزداد مقدار الخطأ مع زيادة سرعة الرياح، ويكون أكبر تأثيراً في حالة سقوط الثلوج فيه في حالة سقوط الأمطار (Larson and Peck 1974, Povo 1972, and Gray 1973). وقد تصل نسبة الخطأ إلى ١٠٠٪ (Sokolov and Chapman 1974). وذكر بويوف في عام ١٩٧٢ (Popov 1972) أنه حينما تكون الرياح في المناطق القطبية تتجاوز حداً معين من السرعة فإن وعاء التسجيل سوف تسقط عليه كمية من الثلوج أكبر من الكمية الحقيقية التي تسقط في حالة ركود الهواء. ويؤدي انخفاض سرعة الرياح إلى زيادة كمية الأمطار المسجلة لأن الأمطار تسقط على وعاء التسجيل بدون تأثير الرياح. ويلعب ارتفاع وعاء تسجيل المطر دوراً كبيراً ومهماً في صحة ودقة تسجيل المطر، وكلما زاد ارتفاع وعاء تسجيل المطر عن سطح الأرض كلما زادت سرعة الرياح والاضطرابات الهوائية وكلما قلت كمية الأمطار المسجلة (Wand & Felton 1979) وعلى هذا فإن نسبة خطأ التسجيل تزداد بزيادة ارتفاع جهاز قياس التسجيل مما يجعله مكشوفاً ومعرضاً لتأثير الرياح القوية (Sevrak 1974). وذكر زهيديكوف وزميله ليفين في عام ١٩٧٢ (Zhidikov and Levin 1972) أنه توجد علاقة كبيرة بين سرعة الرياح ومجموع الأمطار الشهرية التي تسقط خلال فصل الصيف والشتاء. أيضاً من العوامل التي تساعد على عدم تسجيل المطر هو بروز حافة وعاء مقياس المطر المعروف فوق سطح الأرض. وقد أشار هامون في عام ١٩٧١ (Hamon 1971) إلى أن ضعف العلاقة ما بين الأمطار والارتفاع يرجع أساساً إلى عدم قدرة وعاء تسجيل المطر العادي الغير محمي (Unshielded rain gauge) على استقبال الأمطار الساقطة وخاصة الثلج، حينما يكون وعاء تسجيل المطر مكشوفاً ومعرضاً للرياح. وفي الغالب، فإن وعاء تسجيل المطر الذي يقع في مناطق قليلة الارتفاع يكون في مناطق غير مكشوفة تماماً حيث تنتشر الأشجار، ولكن أوعية تسجيل المطر التي تقع في المرتفعات العالية تكون مكشوفة ثقلة الأشجار (Sevrak 1974). وللتخفيف من تأثير الرياح على تسجيل الأمطار فقد تم اختراع وتطوير عدة أنواع من أوعية تسجيل الأمطار (Rain gauges)، ووسائل طرق

لحمايتها من الرياح والتخفيف من سرعتها، ولكن لم يتم حتى الآن اختراع أو تطوير جهاز لتسجيل المطر أو طريقة لحماية الجهاز من الرياح ويقضى على هذه المشكلة في جميع الظروف ولكل أنواع التساقط

(Weiss and Kresge 1962 Peattie) 1966; Bochkov and struzer. 1972; Peck 1973; Larson and Peck 1974; and Rodda and Downing and law 1976).

وقد تم تطوير مصدات للرياح للتخفيف من تأثير الرياح على ميلان زاوية سقوط المطر، وبالتالي الحصول على معلومات أفضل للكمية انساقطة من المطر على المنطقة. وقد أوضح رتشارد في عام ١٩٧٢ (Rechard 1972) بأن أوعية قياس المطر الغير محمية والغير مسورة الموجودة في الجبال القطبية تسجل كمية من الأمطار أقل من الكمية التي تسجلها أوعية التسجيل التي تحتوى على حامية ومصد للرياح، وتسجل أوعية التسجيل التي تحتوى على حامية من الرياح وسور حولها كميات أكبر من الأمطار من أوعية التسجيل الغير مسورة والمحتوية على حامية ومصد للرياح. ومن الطرق التي استخدمت للتخفيف من تأثير الرياح على أجهزة قياس الأمطار وضع جهاز قياس المطر في حفرة (Rodda 1972). وذكر نف في عام ١٩٧٧ (Neff 1977) بأن وضع وعاء تسجيل المطر في حفرة غير محمية (Shallow Pit) في الأرض ومساواة حافة الوعاء مع سطح الأرض وعدم بروزها هو من أفضل الطرق الحالية المستخدمة لتسجيل الأمطار الساقطة. ولكن هذه الطريقة تحتاج إلى مساحة واسعة وإلى صيانة مستمرة أكثر مما تحتاجه أوعية تسجيل المطر العادية، ولهذا نجد أن استخدامها قليل جداً ولا تستخدم كشبكة تسجيل (Pierrehumbert 1976).

ومن الاستعراض السابق. يتضح جلياً أن من الأهمية بمكان أن يؤخذ بعين الاعتبار توزيع محطات تسجيل الأمطار ومدى دقة وعاء التسجيل حينما نرغب في دراسة علاقة الأمطار بالمرتفعات أو دراسة توزيع الأمطار.

تناسق وتألف بيانات الأمطار: (The Consistency of the Precipitation Data)

تعتبر دقة معلومات سجل الأمطار وصحة الأرقام مهم جدا للباحث. وتعتمد صحة نتائج البحث على مدى صحة ودقة المعلومات المعطاة عن الأمطار والمستخدمة في البحث. ويحدد الهدف من البحث نوعية المعلومات المطلوبة وكذلك مدى دقتها. وقد طور عدد من الطرق والأساليب لفحص مدى تجانس المعلومات وكذلك تقدير الأرقام المفقودة من السجل.

وعلى العموم، فإنه لا بد من التأكد من تجانس الإحصائيات المناخية طوال فترة التسجيل والتي سوف تستخدم في البحث والدراسة. وتساعد عدة عوامل مختلفة على عدم تجانس معلومات سجل الأمطار كتنقل محطة تسجيل الأمطار من مكانها إلى مكان آخر، والتغير في النظام المائي (The Hydrological System)، وغو الأشجار حول جهاز تسجيل المطر، وتغيير طريقة التسجيل، واستخدام حامية أو مصددة الرياح حول جهاز التسجيل لتخفيف من سرعة الرياح، بينما التغير في معلومات السجل نتيجة للعوامل المناخية لا يؤدي إلى عدم تجانس المعلومات لأن جميع محطات التسجيل في المنطقة سوف تتأثر بهذا التغير (Linsley et al 1982) وتستخدم المحطات القريبة في تعديل سجل المحطة المختلفة عن المحطات الأخرى، ويشترط في المحطات المستخدمة في التعديل أن تكون قريبة من المحطة التي يراد تعديل سجلها، وأن تقع هذه المحطات في نفس البيئة ولا يزيد بعدها عن 8- كم من المحطة المعدل سجلها (Thom 1971).

وقد طورت عدة أساليب وطرق واستخدمت لفحص ومعرفة مدى تناسق سجل الأمطار. وقد طورت ماريان في عام 1937 (Marian 1937) طريقة تعرف باسم تحليل الحجم المزدوج (Double Mass Analysis) لفحص المعلومات التي سجلت عند المحطة. وتتلخص هذه الطريقة بأن تقارن مجموع الأمطار السنوية أو الفصلية للمحطة المطلوب تعديلها بمتوسط مجموع الأمطار السنوية أو الفصلية للمحطات المحيطة بها. ويجب التأكد من تجانس سجلات المحطات المحيطة والتي سوف تستخدم في تعديل سجل المحطة غير متجانسة السجل، وكذلك استبعاد المحطة التي لا تتجانس معلوماتها (Linsley et al 82) ومن الأمور التي يجب التأكد منها هو معرفة تاريخ المحطة لمعرفة إذا كان هناك تغيير في موقعها (Dunne and leopard 1978).

وقد وجهت بعض الانتقادات لطريقة تحليل الحجم المزدوج منها أن المحطات المستخدمة في تعديل المحطة قد تحتوي على بعض الأخطاء، ولكن يذكر شولز (Schulz 1974) بأن هذا الانتقاد الموجه لطريقة تحليل الحجم المزدوج ليس مهماً إلا حينما يكون عدد المحطات المستخدمة في التعديل قليلاً جداً.

تقدير المعلومات المفقودة (الناقص) من السجل :

فقدان بعض المعلومات من السجل لفترة أو لفترات قصيرة أمر طبيعي. ويرجع هذا إلى عدة عوامل مختلفة ومتعددة منها إغلاق محطة التسجيل، وتعطل المحطة، أو غياب الراصد. هذه العوامل وغيرها قد تتسبب في عدم استمرار التسجيل وفقدان بعض المعلومات عن الأمطار في فترة من الفترات.

ويجب تقدير المعلومات المفقودة قبل استخدام السجل. وقد طور العلماء عدة طرق وأساليب لتقدير المفقود من المعلومات في سجلات المطر. ويعتمد استخدام هذه الطرق على مقدار نسبة المعلومات المفقودة من سجل المطر. فمثلاً، إذا كان نسبة المفقود من المعلومات لا يتجاوز ١٠٪ من المعلومات التي سجلت في المحطة، فإن من الممكن استخدام المعدل الحسابي للمحطات المحيطة بالمنطقة (Linsley et al 1982)، ولكن إذا كانت نسبة المفقود من المعلومات في السجل أكثر من ١٠٪ يمكن استخدام عدة طرق كطريقة الارتباط أو التلازم وطريقة الانحدار (The Correlation and Regression Techniques) أيضاً يمكن استخدام الطريقة التالية لتقدير المفقود من سجل المعلومات، وتسمى طريقة النسب العادية (Normal Ratios)*.

* ويمكن استخدامها بتطبيق المعادلة التالية

(Dunne and Leopold 1978).

$$PA = \left(\frac{1}{3} \frac{NA}{NB} PB + \frac{NA}{NC} PC + \frac{NA}{ND} PD \right)$$

حيث إن :

PA, PC, PD مقدار الأمطار التي سجلت في المحطات الثلاث المحيطة بالمحطة A ذات المعلومات المفقودة. NA, NC and ND. الأمطار التي سجلت في المحطة لفترة طويلة.

وقد استخدمت طريقة أخرى لتقدير المفقود من البيانات من قبل مصلحة الأرصاد الجوية الأمريكية U.S. National Weather ، وشرحها لينسلي وزملاؤه في عام ١٩٨٢ (Linsley et al 1982). وتتلخص الطريقة باستخدام أربع محطات تسجيل. تقع كل محطة تقريبا من المحطة التي يراد تعديل سجلها. ويقدر المطر عند المحطة كمتوسط معياري Weighted Average للمحطات الأربع. وتقع كل محطة في مربع ويوصل بينها بخطوط تتجه شمالا-جنوبا وشرقا-غربا. وتتقاطع عند المحطة التي يرغب تقدير معلوماتها. وتكون كل محطة هي الأقرب في مربعها إلى منطقة التقاطع التي قدرت فيها الأمطار. والمعدل لكل محطة يساوي ما يعادل مربع المسافة ما بين المحطة (نقطة التقاطع) وتضرب الأمطار عند كل محطة بعامل ثقلها ثم إضافة المعامل الأربعة إلى بعضها البعض ثم تقسم على مجموع المعامل فنحصل على تقدير للأمطار عند منطقة التقاطع.

وعلى العموم، كل الطرق التي وصفت في السابق تعطي نتائج طيبة في المناطق المنبسطة والمستوية والتي تسقط عليها الأمطار الإعصارية

(Dunne and Leopold 1978). وتكون المناطق التي تتفاوت فيها كميات الأمطار، والمناطق الجبلية، أو المناطق قليلة المحطات، ولأنواع معينة من الأعاصير يمكن استخدام طريقة خطوط تساوي المطر (Isohytal Method).

وتعطي طريقة خطوط تساوي المطر نتائج أفضل لتقدير المفقود من البيانات من الطرق التي ذكرت سابقا

(Gray,1973,Hielmfell and Cassidy 1975,Dunne and leopold 1978).

الفصل الثالث :

الطرق والأساليب الإحصائية التي استخدمت

في تحليل ودراسة الأمطار

لقد طورت عدة أساليب وطرق إحصائية واستخدمت في دراسة توزيع الأمطار، ومعرفة مدى علاقتها بالمرتفعات وغيرها من العوامل التضاريسية الأخرى. ومن هذه الأساليب والطرق التي استخدمت التحليل التوافقي Harmonic Analysis لدراسة توزيع الأمطار الزماني والمكاني. وكذلك استخدمت طرق عديدة لتقدير كمية متوسط الأمطار الساقطة على المنطقة. وفيما يلي استعراض مختصر لبعض الطرق والأساليب المستخدمة في تحليل الأمطار ودراساتها.

الطرق التي استخدمت في دراسة علاقة الأمطار بالمرتفعات :

طورت عدة أساليب وطرق إحصائية واستخدمت في دراسة علاقة الأمطار بالمرتفعات. واستخدم دونسلي وزميله ميشل في عام ١٩٣٩ (Donsley and Mitchell 1939) معادلة الخط المستقيم (Straight-Line Equation) والتي طورها ليسبينكوت (Lippinot) في عام ١٨٩٩ لكي يدرس علاقة الأمطار بالمرتفعات*.

واستعمل سيرين في عام ١٩٤٧ (Spreen 1947) الرسوم الارتباطية (Graphical Correlation Technique) باستخدام متوسطات الأمطار لمدة ١١ سنة (١٩٢٠-١٩٣٠) في غرب ولاية كلورادو الأمريكية.

وقد درس سيرين مدى علاقة الأمطار بالمرتفعات والعوامل التضاريسية والجيولوجرافية الأخرى كانهندار سفوح الجبال واتجاهاتها. وذكر سيرين بأن نتائج الدراسة التي تم الحصول عليها باستخدام طريقة الرسوم الارتباطية جيدة. واستخدم لينسلي في عام ١٩٥٨ (Linsley 1958) الرسوم الارتباطية المتصلة المحور (Coaxial Method of

* وتكتب المعادلة كما يلي :-

$$R=R+K (A/100)$$

حيث أن :

R and R المعدل السنوي للأمطار بالهيرة عند أعلى محطة وأخفض محطة.

A الفرق بين المرتفعات بالقدم.

K قيمة ثابتة لكل منطقة.

(Graphical Technique) لمعرفة مدى الارتباط ما بين كثافة الأمطار كعامل ثابت أو معتمد (Dependent Variable) وبين العوامل التضاريسية والمناخية كعامل مستقل (Independent Variables). والعوامل التضاريسية هي الانحدار، والارتفاع واتجاه الجبال، والحوجز، وطبيعة بيئة المنطقة. ويبلغ معامل الارتباط لطريقة الرسوم الارتباطية المتحدة المحور (٠.٨٨) والخط المعياري يساوي (٠.٦٧) بوصة/ساعة.

واستخدم يتوين في عام ١٩٦٩ (Unwin 1969) تحليل الاتجاه السطحي (Trend Surface Analysis) لدراسة وتحليل توزيع الأمطار. وتستخدم هذه الطريقة أقل معيار تربيعي لكي يناسب معلومات التوزيع المساحية العالية النوعية والمتعددة الجوانب.

لتناسب معلومات توزيع الأمطار في المنطقة.

للسطح المستقيم For Linear Surface

$$X_n = b_0 + b_1 u + b_2 v,$$

للسطح التربيعي For a Quadratic Surface

$$X_n = C_0 + C_1 U + C_2 v + C_4 uv + C_5 v^2$$

للسطح المكعب for a Cubic Surface

$$X_n = d_0 + d_1 u + d_2 v + d_3 u^2 + d_6 u^3 + d_7 u^2 + d_8 u^2 v + d_9 v^3.$$

حيث أن :

قيمة توزيع مناطق المتغيرات

X_n

The value of the Areal Distribution Variables

الترباط الجغرافي Geographic Coordination

U, V

وأفادت نتيجة استخدام طريقة تحليل الاتجاه السطحي (Trend Surface Analysis) بأن هذه الطريقة، تعطي نتائج إيجابية أفضل من النتائج التي يتم الحصول عليها باستخدام تحليل الانحدار. ويمكن تلخيص النتيجة التي تم الحصول عليها باستخدام تحليل الاتجاه السطحي (Trend Surface Analysis) كما يلي :-

% Reduction in Sum
of Squares

(R)	معامل الارتباط	الطريقة
٧٩ر٣٠	Multiple Linear Regression	الانحدار الخطي
٨٢ر٥٠	Quadratic Trend Surface	سطح تربيعي الاتجاه
٨٤ر٨٩	Cubic Trend Surface	سطح مكعبي الاتجاه

وذكر يتبين أن طريقة تحليل الاتجاه (Trend Method) يمكن أن تستخدم وتعطي نتائج أفضل من طريقة تحليل الانحدار لأن طريقة الاتجاه Trend Method تستخدم متعدد الحدود (Polynomial) وهو أفضل من المستويات (Planes) التي تناسب طريقة تحليل الانحدار التقليدية.

كما استخدم ولفسون في عام ١٩٧٥ (Wolfson, 1975) طريقة الانحدار التدريجي (Stepwise Regression Technique) لمعرفة مدى تأثير العناصر الطبوغرافية (Topographical Parameters) على توزيع الأمطار في فلسطين.

وقد قسم ولفسون منطقة الدراسة إلى إحدى عشرة منطقة. واستخدم أسلوب الانحدار التدريجي (Stepwise Regression) لكي يجد مدى العلاقة ما بين الأمطار من عام ١٩٣١ إلى ١٩٦١ والعناصر الطبوغرافية (ارتفاع المحطة، المسافة بين المحطة والبحر المتوسط، وموقع المحطة من دائرة العرض ٣٢ ٢٠ شمالاً). وأوضحت الدراسة بأن استخدام الانحدار التدريجي يعطي نتائج ايجابية جيدة لتقدير كمية الأمطار في فلسطين. ويختلف هذا التقدير عن الأرقام المسجلة في بيانات الأمطار ما بين ٥ إلى ١٠٪ فقط.

كما استخدم تيلور في عام ١٩٨٠ (Taylor 1980) أسلوب تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression Analysis) لشرح اختلاف معدل الأمطار السنوي في كاليفورنيا. واعتبر الأمطار كمتغيرات تابعة (Dependent Variable) والارتفاع، وخط العرض، والمسافة من البحر كمتغيرات مستقلة (Independent Variable) وقد أعطى استخدام أسلوب الانحدار المتعدد نتائج ايجابية عالية، وبلغ معامل الانحدار

(١٩٣٩٢ ر٠). وذكر تيلور أن استخدام أسلوب تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression Analysis) يعطى شرحاً جيداً للأمطار وكذلك للتنبؤ بها. وكذلك استخدام مولنو وزملائه في عام ١٩٨٠ (Molnau et al 1980) أسلوب تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression Analysis) لمعرفة نسبة اختلاف المعدل السنوي للأمطار كمتغير تابع (Dependent Variable) والعوامل الأخرى منفردة أو مجتمعة وهي الارتفاع، وانحدار السفوح، والغطاء النباتي، وحالة البيئة العامة، وحالة التربة المائية كمتغيرات مستقلة (Independent Variables). وقد اختبر مولنو وزملائه مدى علاقة تأثير كل عامل مستقل منفرداً على المطر، وكذلك اختبروا مدى تأثير أكثر من عامل مستقل على المطر. وذلك باستخدام متغيرين مستقلين، وثلاثة وأربعة وخمسة متغيرات مستقلة، بينما استخدم المطر كمتغير تابع. وقد وجد أن العلاقة الإجمالية المتسلسلة بمعامل التحديد (R²) (٢) (Coefficient of Determination) كما يلي :-

المتغير Variable	قيمة (٢) R ²
حالة التربة المائية	٠,٠١٦
حالة البيئة	٠,٠٢١
الانحدار	٠,١٢٢
الارتفاع	٠,٤٩٨
الغطاء النباتي	٠,٥٠٩
الارتفاع و الغطاء النباتي	٠,٦٣٧
الارتفاع و الغطاء النباتي و البيئة و الانحدار	٠,٦٥٦
الارتفاع و الغطاء النباتي و البيئة و الانحدار و حالة التربة المائية	٠,٦٥٧

ومن النتيجة نلاحظ أن قيمة معامل التحديد (R²) لكل من الارتفاع والغطاء النباتي معا يساوي (٠,٦٣٧)، بينما يساوي معامل التحديد لكل المتغيرات الخمسة المستقلة مجتمعة (٠,٦٥٧)، وبلغ معامل الارتباط (٠,٨٨١).

ودرس دهار وزميله راخكه في عام ١٩٨١ (Dhar and Rakheha 1981) العلاقة ما بين الأمطار والارتفاعات في جبال الهملايا وقد استخدمتا طريقة تحليل الأتعداد كثير الحدود المتعامدة.

(Technique of Orthogonal Polynomial Regression Analysis)

وقد تم فحص عدة أنواع من كثير الحدود Polynomial of Different Type باستخدام اختبار الطالب (Student (T) Test) للحصول على أفضل ما يناسب. وقد وجد دهار وزميله بأنه يمكن دراسة الأمطار والارتفاعات باستخدام الدرجة الرابعة من تحليل الأتعداد كثير الحدود المتعامدة عند مستوى الدلالة ٩٥٪.

(Polynomial of the Fourth Degree at a 95% level of Significance)

وقد تم الحصول على العلاقة بين الأمطار (Y) ومتوسط الارتفاعات (X) في وسط الهملايا باستخدام المعادلة التالية :

$$R=21.8-40.58X+40.12X^2-12.40X^3+1.06X^4.$$

وكذلك استخدم دهار وزميله الطريقة النسبية (Ratio Method) لدراسة الأمطار في وسط الهملايا. وتم الحصول على علاقة منحنية (Curvilinear Relation) بين نسبة الأمطار Rainfall Ratio والارتفاعات. ويمكن توضيح العلاقة بين نسبة الأمطار (R) Rainfall Ratio والارتفاعات Elevation (X) بالكيلومتر كما يلي :-

$$R=1.43-1.98X+1.46X^2-0.03^3-0.09 X^4$$

وقد استنتج دهار وزميله أن استخدام الأسلوب التحليلي كثير الحدود المتعامدة Orthogonal polynomial Analysis والطريقة النسبية Ratio Method في دراسة علاقة الأمطار بالارتفاعات في منطقة الهملايا تعطيا نتائج متقاربة.

وقد استخدمت عدة طرق وأساليب لدراسة الأمطار وتوزيعها في المناطق الجبلية. وذكر بعض الباحثين على أن سبب اختلاف توزيع الأمطار في المناطق الجبلية. يرجع إلى تأثير عامل الارتفاع. ولكن بعض الباحثين أضاف عوامل طبوغرافية ومناخية تؤثر على توزيع الأمطار في المناطق الجبلية إلى جانب الارتفاع. ومن استعراض الدراسات السابقة يتضح أنه لا يوجد طريقة أو أسلوب تحليلي يستطيع أن يشرح ويحلل توزيع الأمطار في

المناطق الجبلية، ويرجع هذا إلى أن كل منطقة جبلية لها خصائصها الطبوغرافية والمناخية.

التحليل التوافقي (ر) : (Harmonic Analysis)

يعتبر التحليل التوافقي إحدى الطرق الجيدة والتي يمكن استخدامها في دراسة الاختلافات الدورية لعناصر المناخ المختلفة. ويساعد التحليل التوافقي على معرفة وفهم التغيرات والتذبذبات المنتظمة (Panofsky and Brier 1958).

ويمكن أن يستخدم أسلوب التحليل التوافقي للحصول على وصف جيد ومعقول لتوزيع الأمطار وكذلك يمكن استخدامه لرسم خرائط لتوزيع الأمطار الزمني والمكاني (Horn and Bryson 1960, Sabbagh and Bryson, 1962; Shulman and Le-blanc 1974 and Barry and Perry 1973) والهدف من التحليل التوافقي (Harmonic Analysis) هو توضيح المنحنيات المعقدة أو غير المنتظمة رياضياً كمجموعة جبرية لمجموعات من المنحنيات (Horn and Bryson 1960). ويمكن تمثيل المنحنى كمجموعة من عدة منحنيات الجيب (ر) (Since Curve)

(Scott and Shulman 1979)

ويمكن أن يوصف المتوسط الشهري للأمطار لمدة ١٢ شهراً باستخدام ستة تماثل توافقية (Six Harmonics). وكذلك يمكن الحصول على أفضل منحنى للمعلومات الأصلية عن طريق تعديل (Adjusting) المدى الراسي (Amplitude)، الذي يعتبر نصف الاختلاف ما بين الحد الأعلى والحد الأدنى من منحنى الجيب. وتحريك شكل الزاوية Phase Angle (abscissa) والتي تحدد الوقت من السنة الذي يحدث فيه الكميات العظمى والصغرى (Sabbagh and Bryson 1962). وحيث أن طول الشهر يختلف من شهر لآخر، فقد تم تعديل طول الشهر إلى ٣٠.٤٤ يوماً. ويساوي ١٢/١ من السنة (Horn and Bryson 1960) وتستخدم قيم التساوي بشكل الزاوية Phase Angle لأي تحليل توافقي (Harmonic) لرسم خطوط وتعريف بخطوط التساوي (Isochrones)، ونصف تقريباً توزيع أوقات الكميات العظمى للتحليل التوافقي. وتوضع خطوط تساوي المدى (The Isofines of the Amplitude) أهمية التحليل التوافقي. وتلتقي خطوط التساوي في خط واحد يعرف بخط الالتقاء (Nodal Line) أو بنقطة الالتقاء (Nodal Point)، وتشير إلى المنطقة الانتقالية من

نظام مطر لآخر (Shulaman and Lebland 1974) ويساوي المدى للتحليل التوافقي صفر. وعلى هذا فإن شكل الزاوية (Phase Angle) يمكن أن يكون له أي قيمة (Horn and Bryson 1960).

التحليل التوافقي الأول The First Harmonic : هو عبارة عن متعنى واحد له حد أعلى وحد أدنى. ويشير إلى أن الأمطار تميل وتتجه نحو الاختلاف السنوي. ويعدّل (adjust) هذا المتعنى ليعطى أفضل وصف رياضى للاتجاه السنوي. ويعطى المدى (amplitude) مقياس اختلاف الأمطار ما بين الحد الأعلى والحد الأدنى للأمطار السنوية. فمثلا، إذا كان منحنى الأمطار لحظة ما يتصف باختلاف سنوي كبير (Strong Annual Variation) فإن المدى (Amplitude) للتحليل التوافقي الأول (First Harmonic) سوف يكون كبيرا، أما إذا كان الاختلاف السنوي للأمطار قليلا فإن المدى للتحليل التوافقي الأول سوف يكون صغيرا.

التحليل التوافقي الثاني The Second Harmonic : ويتألف التحليل التوافقي الثاني من متعنى جيب (Since Curve) وحدين أعلى وحدين أدنى، ويصف الاتجاه شبه السنوي لمنحنى الأمطار، وإذا كان المنحنى له حدان «قمتان» للأمطار لكل ستة شهور فإن المدى (Amplitude) للتحليل التوافقي الثاني (Second Harmonic) سوف يكون كبيرا بينما يكون المدى للتحليل التوافقية الأخرى صغيرا.

التحليل التوافقي الثالث : The Third Harmonic والرابع Fourth Harmonic والخامس (The Fifth Harmonic)، والسادس (The six Harmonic) : تصف على التوالي اختلاف الأمطار لكل أربعة شهور وثلاث شهور، وشهرين وأربعة اعشار الشهر وشهرين في منحنى المطر، (Horn and Bryson, 1966). وعلى العكس، يتصف أفضل تحليل توافقي يناسب منحنى المطر الملاحظ بمدى (Amplitude) كبير، ويكون المدى للتحليل التوافقية الأخرى التي لا تناسب منحنى المطر صغيرا.

(Shulman and Leblang 1974, Scott and Shulman 1979).

وتتميز التحليلات التوافقية الستة (The Six Harmonics) بأنها غير مرتبطة بعضها ببعض. ولذا فإنه يمكن مناقشة كل تحليل توافقي على حدة مستقلا عن التحليلات التوافقية الأخرى. وكذلك لا يشرح اثنان من التحليلات الستة نفس التباين. ويمكن أن

يضاف التباين (Variance) الذي ينتج عن كل تحليل توافقي إلى بعضها البعض. وعلى سبيل المثال، إذا كان مقدار التباين للتحليل التوافقي الأول (٣٠٪) والثاني (٥٠٪)، والثالث (١٥٪)، فإنه يمكن إضافتها إلى بعضها حيث يبلغ مقدار التباين (٩٥٪) من الاختلاف في المطر. ويعنى هذا أن التحاليل الثلاثة مجتمعة تشرح (٩٥٪) من المصروح الكلى من التباين وعلى ضوء النتيجة للتحاليل التوافقية الثلاثة نلاحظ أن (٩٥٪) من تباين المطر قد تم شرحه بالتحاليل التوافقية الثلاثة فلا داعى لعمل تحليل توافقي أخرى (Panofsky and Brier 1958). ولكن بعض منحنيات الأمطار تتطلب استخدام التحاليل التوافقية الستة للحصول على وصف أفضل لمنحنى الأمطار الملاحظ.

وذكر هورن وزميله برايسون في عام ١٩٦٠ (Horn and Bryson 1960) أن المحطة التى تميل فيها الأمطار نحو الاختلاف السنوى، فأن المدى (Amplitude) للتحليل التوافقي الأول سوف يكون كبيراً. ولكن من المحتمل أن يكون لها تحليل توافقي ثانى على الرغم من صغر المدى، والحقيقة أن وجود التحليل التوافقي الثانى لا يعنى أن المنحنى الملاحظ للمطر له قمتان، بل أن التحليل التوافقي الأول وحده لا يمكن أن يصف تماماً المنحنى، أما إذا امكن وصف منحنى المطر تماماً بمنحنى جيب واحد، فإن كل التناقضات الأخرى (Amplitudes) تساوى صفر. وعلى وجه العصور، فإنه من الصعب أن نجد منحنيات بسيطة وسهلة للأمطار*.

* والشكل العام للتحليل التوافقي Harmonic Analysis للدورة السنوية كما يلى

(Panofsky and Brier 1955):

$$X = \bar{X} + \sum_{i=1}^{i=N/2} \left[A_i \sin \left(\frac{360}{P} it \right) + B_i \cos \frac{360}{P} it \right]$$

حيث أن:

X = المعدل السنوى.

N = عدد حالات التسجيل.

I = رقم التحليل التوافقي.

P = الفترة الرئيسية للبيانات (الدورة السنوية) المدة تساوى ١٢ شهراً).

t = شكل الزاوية Phase Angle

ويتم الحصول على شكل الزاوية (Phase Angle)، ويوضح بالوقت من السنة باستخدام مقدار الزاوية. وقد تم اختيار الأصل $\omega = 0$ على أن يكون الخامس عشر من شهر ديسمبر. ويمكن توضيح الاثنى عشر شهرا كل 30. فمثلا يوضح شهر يناير (30)

بواحد، الخامس عشر من شهر فبراير (60) باثنين، والخامس عشر من شهر مارس (90) بثلاثة. وهكذا (Scott and Shulman 1978). والتباين الذي ينتج عن التحليل التوافقي (ith Harmonic) (ماعدا التحليل التوافقي الأخير يساوي نصف مربع المدى (half of amplitude Squared)، والتباين للتحليل التوافقي الأخير يساوي مربع المدى amplitude Squared (C1/2) (Panofsky and Brier 1959).

وقد استُخدمت عدة دراسات وبحوث أسلوب التحليل التوافقي - Harmonic Analy- sis في وصف توزيع الأمطار الزمني Temporal والمكاني Spatial

Coefficient معامل A,B

والعاداة للمعامل هي :

$$A_i = \frac{2}{N} \sum [X \sin (\frac{360}{P} it)]$$

$$B_i = \frac{2}{N} \sum [X \cos (\frac{360}{P} it)]$$

ويمكن جمع الجيب Since وجيب التمام Cosine ليشكلان نموذجاً واحداً.

$$C_i = \cos [(\frac{360}{P} i) (t \cdot i)]$$

حيث أن :

$$C_i = \frac{1}{2} (A_i^2 + B_i^2)$$

معطى بواسطة

t_i معطى بواسطة $(A_i / B_i) P/360 \arctant (A_i / B_i)$. حيث أن C_i المدى Amplitud للتحليل التوافقي و t_i الوقت الذي يكون فيه الحد الأعلى للتحليل التوافقي A_i .

(الجغرافى). فمثلا، استخدم هورن وبرايسون عام ١٩٦٠ (Horn and Bryson 1960) التحليل التوافقى لمعرفة توزيع الأمطار الزمنى فى الولايات المتحدة الامريكية، مستخدما معدل الأمطار من عام ١٩٢٩ إلى ١٩٥٠. واستخلص هورن وزميله برايسون أن التحليل التوافقى له عدة مزايا منها أنه يعطى فرصة لتحليل وقت نزول الأمطار فى مناطق مختلفة. وكذلك لمعرفة المناطق الانتقالية للأمطار من نوع معين من الأمطار إلى نوع آخر. وهى مهمة فى التحاليل الأصولية (Genetic Analysis). وذكر هورن وبرايسون بأن من عيوب التحليل التوافقى أنه لا يوضح الكمية الحقيقية للأمطار، فلا بد من استعراض الأشكال حتى يتسنى الحصول عليها. واختتم هورن وبرايسون بأن التحليل التوافقى أسلوب ذو قيمة عالية يمكن استخدامه كأداة فى الدراسات المناخية.

واستخدم سباح وبرايسون فى عام ١٩٦٢ (Sabbagh and Bryson 1962) التحليل التوافقى فى دراستهما لتوزيع الأمطار فى كندا. وقد رجنا أن التحليل التوافقى الأول والثانى يشرحان نسبة كبيرة من التباين فى منحنى الأمطار السنوى فى المنطقة، وأتتهما (الأول والثانى) يعطيان صورة جيدة لتوزيع الأمطار فى كندا. وقد استخلص الباحثان من دراستهما أن التحليل التوافقى أداة وأسلوب جيد يمكن أن يستخدم فى دراسة الأمطار وتوزيعها. واستخدم، أيضا شولمان ولبلانج فى عام ١٩٧٤ (Shulman and Leblang 1974) التحليل التوافقى لتحليل ودراسة معدل الأمطار لمدة ٣٠ سنة (١٩٣١-١٩٦٠) لأربعة وثلاثين (٣٤) محطة فى ولاية نيوجرسى New Jersey وسبع عشر (١٧) محطة فى المناطق المحيطة فى ولاية دلاوير Delaware وبنسلفانيا Pennsylvania ونيويورك New York. وأوضحت الدراسة أن التحليل التوافقى الأول أفضل التحاليل التوافقية فى الأجزاء الداخلية والشمالية الغربية من ولاية نيوجرسى وتقل أهميته كلما اتجهنا نحو الساحل. وذكر الباحثان بأن استخدام التحليل التوافقى لتحليل الأمطار يعطى صورة جيدة لتوزيع الأمطار الزمانى والمكانى فى ولاية نيوجرسى.

وقد استخدم سكوت وشولمان فى عام ١٩٧٩ (Scott and Shulman 1979) التحليل التوافقى فى تحليل ودراسة الأمطار الفصلية فى الشمال الشرقى للولايات المتحدة الأمريكية وتغيرها خلال فترة طويلة من الزمن، واستخدما التحليل التوافقى لتحليل الأمطار الشهرية لمدة ٣٠ سنة (١٩٤٠-١٩٧٠) لمائتى محطة (٢٠٠) رصد

تقع في الشمال الشرقي للولايات المتحدة الأمريكية. وقد أوضحت نتائج الدراسة أن التحاليل الثلاثة الأولى (الأول والثاني والثالث) تشرح الجزء الأكبر من تباين واختلاف الأمطار في منطقة الدراسة.

والى جانب الدراسات السابقة المذكورة، عملت عدة دراسات خارج الولايات المتحدة الأمريكية واستخدمت التحليل التوافقي لدراسة وتحليل التوزيع الزماني والمكاني للأمطار. وقد ذكر بارى وبيري في كتابهما المناخ الأرصادي والتطبيقي في عام ١٩٧٣ (Barry and Perry 1973) بعض الدراسات مثل تحليل الأمطار في الهند والتي أعدها ليتو ووايت في عام ١٩٦٤ (Lettau and White 1964)، وتوزيع الأمطار في جنوب إفريقيا، والتي أعدها مكلي وهسترات في عام ١٩٦٦ (Mc Gee and Hastenrath 1966) وتحليل الأمطار الشهرية في منطقة السكا وغرب كندا والتي أعدها والكر في عام ١٩٦٤ (Walker 1964).

تقدير كمية الأمطار: (Estimating Precipitation Depth)

رسم خرائط لتوزيع الأمطار السنوية والشهرية فوق سطح الكرة الأرضية مهم جدا للميزانية المائية Water Budget ومهم أيضا لتقدير معدل هطول الأمطار وتوزيعها السنوي فوق المنطقة (Povov, 1972). ويعتمد التقدير الصحيح لمقدار الأمطار الساقطة على المنطقة على مدى صحة ودقة القياس (Rechard 1972).

ويعتمد التقدير الجيد للأمطار فوق منطقة ما على كثافة محطات الرصد، وحجم ونوع الإعصار، فعلى سبيل المثال، في المناطق الصحراوية حيث أن الأمطار أصلها عواصف رعدية محلية، يكون تقدير كمية الأمطار أصعب منه في المناطق التي تسقط أمطارها نتيجة لأعاصير عامة. أيضا، فإنه من الصعب تقدير متوسط الأمطار وتوزيعها في المناطق الجبلية نتيجة لاختلاف الأحوال الجوية والطقس في مسافة قصيرة بسبب اختلاف الارتفاعات والتضاريس (Dunne and Leopold 1978). وكذلك يصعب تقدير متوسط كمية الأمطار في المناطق الجبلية بسبب قلة أو عدم توفر البيانات المناخية للمناطق الجبلية لقلة عدد محطات الأرصاد والتسجيل في المناطق الجبلية العالية (Vuglinski, 1972)

وقد طورت عدة طرق وأساليب لتقدير كمية الأمطار الساقطة على مناطق مختلفة من

العالم. وهناك ثلاث طرق معروفة استخدمت لتقدير متوسطات الأمطار وهي المتوسط الحسابي Arithmetic Mean، وطريقة ثيسين Thiessen Method، وطريقة خطوط تساوي المطر Isohyetal Method. ولكل من الطرق الثلاثة المستخدمة (المتوسط الحسابي، طريقة ثيسين وخطوط تساوي المطر) مميزاتا وعيوبها. وسوف يتم مناقشة كل طريقة على حدة مع ذكر مزاياها وعيوبها.

المتوسط الحسابي : (Arithmetic Mean)

المتوسط الحسابي هو عبارة عن متوسط الأمطار فوق المنطقة*.

ومن مزاياه أنه يمثل أسهل طريقة للحصول على مقدار متوسط الأمطار في المنطقة (Linsley et al 1982). وتعطى نتائج جيدة إذا كانت شبكة محطات الأرصاد كثيرة وفي المناطق المنبسطة المتشابهة التضاريس (Gray, 1973, Dunne and Leopold 1978, Lee 1980 and Linsley et al 1982) ومن عيوب طريقة المتوسط الحسابي أنها تعطي تقديرات غير جيدة للأمطار في المناطق المتباينة الأمطار والتضاريس وفي المناطق التي تتوزع فيها محطات الرصد والتسجيل توزيعا غير متجانس. وهذا العيب يمكن التغلب عليه إذا أخذ بعين الاعتبار تأثير الارتفاعات وتجانس توزيع المحطات عند اختيار موقع محطات الرصد والتسجيل (Linsley et al 1982).

* ويمكن الحصول عليه باستخدام النموذج التالي :-

$$P_a = \frac{\sum_{S=1}^n P_S}{n}$$

حيث أن :

PS محطة المطر

n مجموع محطات المطر

طريقة ثيسين : (Thiessen Method)

تعرف هذه الطريقة بطريقة ثيسين نسبة إلى واضعها الفرد ثيسين في عام ١٩١١ (Alfred Thiessen). والغرض من شبكة ثيسين Thiessen Polygon هو تقسيم المنطقة المطلوب تقدير الأمطار فيها إلى عدة أقسام والتي من المحتمل أن تحتوي على بعض محطات تسجيل للأمطار (Diskin 1969). ويفترض أن مقدار الأمطار عند أي نقطة يساوي كمية الأمطار عند أقرب محطة (Butler 1967). وكذلك يفترض أن هناك اختلاف خطي بين المحطات (Sneva and Calvin 1978, Gray 1973 and Linsley et al 1982) * وقد طورت وحسنت طريقة ثيسين عدة مرات. فعلى سبيل المثال، اقترح ديسكن في عام ١٩٦٩ (Diskin 1969) استخدام الحاسب الآلي Computer للحصول على متوسط ثيسين ووضع برنامجا لذلك معتمدا على نظام مونتى كارلو Monte Carlo Procedure. وفي عام ١٩٧٠، طور ديسكن (Diskin 1970) برنامجا آخر لحساب وتقدير متوسط ثيسين، ويعتمد هذا البرنامج على غطاء منظر ومتشابه من المستطيلات تحيط بحدود منطقة تصريف المياه. وفي عام ١٩٧٨ طور سنيفا وكالفين (Sneva and Calvin 1978) شبكة ثيسين Thiessen Grid واستخدامها في دراسة الأمطار في شرق ولاية أوريجن الأمريكية. ومن مزايا طريقة ثيسين أنها تناسب المناطق التي لا يتجانس فيها توزيع محطات الرصد والتسجيل (Gray 1973)، وفي المناطق التي تتفاوت فيها كمية الأمطار تفاوتاً كبيراً (Dunne and Leopold 1978). وتعطى طريقة ثيسين نتائج طيبة لتقدير كمية الأمطار أقرب إلى الصحة من التقديرات التي يتم الحصول عليها عن طريق استخدام المتوسط الحسابي (Linsley et al 1982).
وكما أن لطريقة ثيسين مزايا فإن لها عيوباً أيضاً. ومن عيوبها أنها لا تأخذ بعين الاعتبار تأثير الأعاصير (Sneva and Calvin 1978). وكذلك فإنه لا بد من تغيير رسم شبكة ثيسين الذي يتم إعداده باستخدام طريقة ثيسين كلما حصل تغيير في شبكة

* 1982. ويمكن الحصول على متوسط ثيسين Thiessen Mean باستخدام النموذج التالي :

$$P_i = \frac{1}{A} \left(\sum_{S=PS}^n AS \right)$$

محطات رصد الأمطار (Linsley et al 1982)، ومن عيوب طريقة ثيسين أيضا، أنها لا تأخذ بعين الاعتبار تأثير التضاريس والمرتفعات (Sneva and Calvin 1978; Dunne and Leopold 1978, Lee 1980 and Linsley et al 1982) وكذلك استخدام طريقة ثيسين وإعداد شبكة ثيسين يحتاج إلى وقت طويل وتعطى نتائج مشابهة ومقاربة من النتائج التي يتم الحصول عليها عن طريق استخدام طريقة المتوسط الحسابي العادية إلا إذا كان توزيع محطات تسجيل الأمطار غير متجانس (Dunne and Leopold 1978).

طريقة خطوط تساوي المطر : (Isohyetal Method)

طريقة تساوي الخطوط هي الطريقة الثالثة من الطرق الشائعة الاستخدام لتقدير متوسطات الأمطار وتعتبر طريقة خطوط التساوي أكثر الطرق الشائعة استخداما للحصول على متوسط الأمطار الساقطة. ويساوي خط التساوي متوسط الأمطار عند خطوط التساوي*. وتعتمد دقة وصحة نتائج طريقة خطوط تساوي المطر على خبرة المحلل. وقد اقترح كوان وزملاؤه في عام ١٩٦٨ (Kwan et al 1968) برنامجا للحاسب الآلي (Computer) لرسم الخطوط المتساوية على خرائط وتقدير كمية الأمطار. ومن مزايا طريقة خطوط تساوي المطر أنها تأخذ في الاعتبار انحدار الأمطار القوي الذي يحدث نتيجة لتأثير التضاريس أو الأعاصير الرعدية (Dunne and Leopold 1978)، وأنها تعطى تقديرا أفضل وأصح للأمطار في المنطقة (Johnston and Cross 1949).

* ويمكن تمثيل طريقة الخطوط المتساوية للمطر كما يلي :-

$$P_i = \frac{1}{A} \left(\sum_{C=1}^n PC AC \right)$$

حيث أن :

n = عدد أقسام المنطقة.

Pi = متوسط الخطوط المتساوية.

PC = المتوسط الحسابي في حدود الخطوط المتساوية، وأفضل النتائج للحصول على المتوسط يعتمد على طول كل خط من خطوط التساوي (Lee 1980).

Gray (1982) and Lee (1980) وكذلك تأخذ طريقة خطوط تساوي المطر في الاعتبار تأثير الارتفاعات والبيئة واتجاه حركة الأعاصير (Ward 1975)، ويمكن أيضا أن يرسم منحني لمقدار الأمطار في المنطقة من النتائج التي يتم الحصول عليها باستخدام طريقة خطوط تساوي المطر (Schultz 1974). وبما أن لطريقة خطوط تساوي المطر مزايا فإن لها عيوباً أيضاً منها أن دقة وصحة نتائج طريقة خطوط تساوي المطر تعتمد على خبرة المستخدم لها (Lee, 1980; and Linsley 1982) وكذلك تحتاج وقت طويل لرسم الخطوط وإعدادها وتعطى نتائج مشابهة لنتائج طريقة المتوسط الحسابي إلا إذا كان توزيع محطات الأمطار غير متجانس (Dunne and Leopold 1978).

ومن الاستعراض السابق يتضح أن لكل طريقة من الطرق الثلاث الشائعة الاستخدام لتقدير متوسطات الأمطار مزاياها ولها كذلك عيوبها. واستخدام هذه الطرق أو أحدها يعتمد على عوامل مختلفة منها : نوع التماثل (مطر، ثلج) وتضاريس المنطقة، ومستوى صحة تقدير المطر المطلوب، والقرص من البحث، وخبرة المستخدم، والوقت والمال المتوفر لدى المستخدم.

✓

الفصل الرابع :

تحليل الأمطار في جنوب غرب

المملكة العربية السعودية

بيانات الأمطار : Precipitation Data

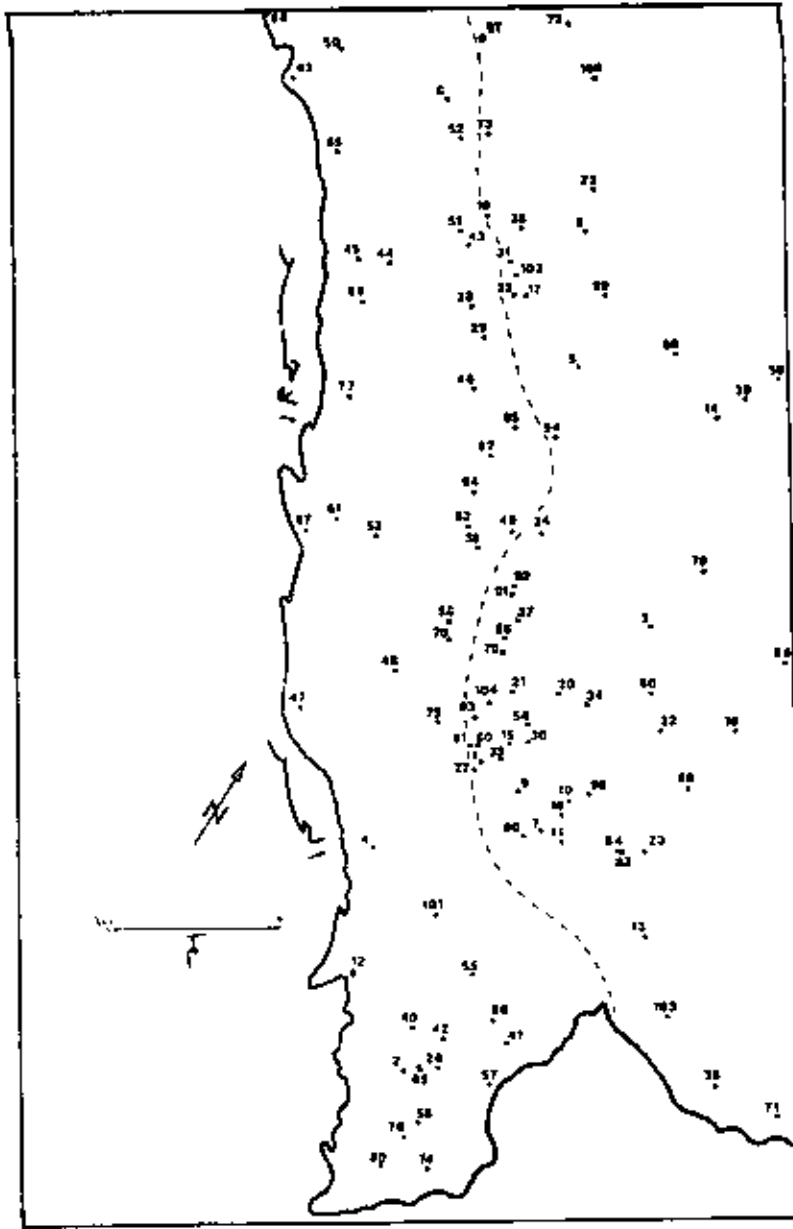
لقد تم استخدام المتوسط الشهري والسنوي للأمطار لمدة عشر سنوات (١٩٧١ - ١٩٨٠) لمائة وأربع محطات منتشرة في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، منطقة الدراسة (شكل ١٢). وقد قام بجمع وإعداد البيانات الإحصائية ونشرها قسم الهيدرولوجيا التابع لقسم المياه بوزارة الزراعة والمياه بالمملكة العربية السعودية بالرياض. ومن استعراض وفحص البيانات الإحصائية لاحظ الباحث أن نسبة المفقود من البيانات لهذه الفترة قليل جدا، ولا يصل إلى (١٠٪) من البيانات. وعلى ضوء ذلك، فقد تم تقدير المعلومات والبيانات المفقودة باستخدام المتوسط الحسابي للمحطات المحيطة أو تقديره من خرائط الأمطار التي أعدها الباحث.

تحليل الأمطار في جنوب غرب المملكة :

تقد استخدمت عدة طرق وأساليب لتحليل ودراسة الأمطار وعلاقتها بالمرتفعات، وتوزيعها الزماني والمكاني في جنوب غرب المملكة العربية السعودية. هذه الطرق هي : الطريقة التريبيعية (SAS) (Rsquare Procedure)، وطريقة خطوط تساوي المطر (Isohyetal Method)، وطريقة التحليل التوافقي (Harmonic Analysis). أيضا لقد تم استخدام طريقة تحليل الارتباط (Correlation Analysis) وتحليل الانحدار (Regression Analysis). وقد استخدم الحاسب الآلي التابع لجامعة ولاية أريزونا الحكومية بتمبي Arizon State University Tempe: AZ وبمساعدة الحاسب الآلي، فقد تمت دراسة علاقة الأمطار بالمرتفعات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، واعتبرت المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية للأمطار كمتغيرات تابعة أو معتمدة (Dependent Variables) والارتفاعات كمتغيرات مستقلة (Independent Variable).

تقدير كمية الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية :

قبل استخدام طريقة معينة لتقدير كمية الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، تمت المقارنة بين الطرق الثلاث الشائعة الاستخدام لتقدير متوسط كمية الأمطار (المتوسط الحسابي، وطريقة ثيسين، وطريقة خطوط تساوي المطر) لمعرفة الطريقة المناسبة



شكل (١٢) موقع أجهزة قياس المطر في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية.

لتقدير الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة وذلك باستخدام البيانات لثلاث وعشرين محطة. وتقع المحطات ما بين البحر الأحمر وجبل السودة وتوزع توزيعاً غير متجانس وعلى ارتفاعات مختلفة من ٢٠ متراً (محطة القحمة على البحر الأحمر و ٢٨٢ متراً في أعلى مرتفعات جبال عسير (محطة السودة).

وأفادت نتائج التجربة والاختبار بأن طريقة خطوط تساوي المطر تعطي نتائج أفضل وأدق لتقدير كمية الأمطار وتوزيعها في المنطقة المتباينة التضاريس من الطرق الأخرى (المتوسط الحسابي وطريقة ثيسين). ويرجع هذا إلى تباين وتعقيد تضاريس المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة وإلى التوزيع العشوائي لمحطات تسجيل الأمطار في المنطقة. وعلى ضوء نتائج التجربة والمقارنة، فقد تم استخدام طريقة خطوط تساوي المطر لرسم المتوسط الحسابي Mean والوسيط Median للأمطار في منطقة الدراسة.

التحليل التوافقي : (Harmonic Analysis)

لقد استخدم أسلوب التحليل التوافقي Harmonic Analysis لوصف توزيع الأمطار الزمني والمكاني في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية. وبرنامج التحليل التوافقي الذي استخدم في هذه الدراسة أعده وكتبه الدكتور الابن روبرت بولدين في شهر مايو من عام ١٩٨٢ م (Dr. Robert Balling, Jr. May 1982) (انظر الملحق ا).

المتوسط الحسابي والوسيط للأمطار : (Mean and Median Precipitation)

لقد تم رسم وإعداد خرائط للمتوسطات الحسابية والوسيطات الشهرية والفصلية والسوية للأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، وتم تحليلها ومناقشتها.

توزيع الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية :

تتوزع الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة توزيعاً غير متجانس. ويرجع عدم تجانس توزيع الأمطار في المنطقة إلى عدة عوامل طبوغرافية ومناخية. ومن العوامل الطبوغرافية موقع محطات الرصد، الارتفاع، وانحدار السفوح، واتجاه الجبال، واتجاه الرياح والموقع بالنسبة لاتجاه الرياح، والمسافة من مصدر الرطوبة. والعوامل المناخية التي تؤثر على توزيع الأمطار تشمل حالة الجو العاصم، والطقس، ونوع

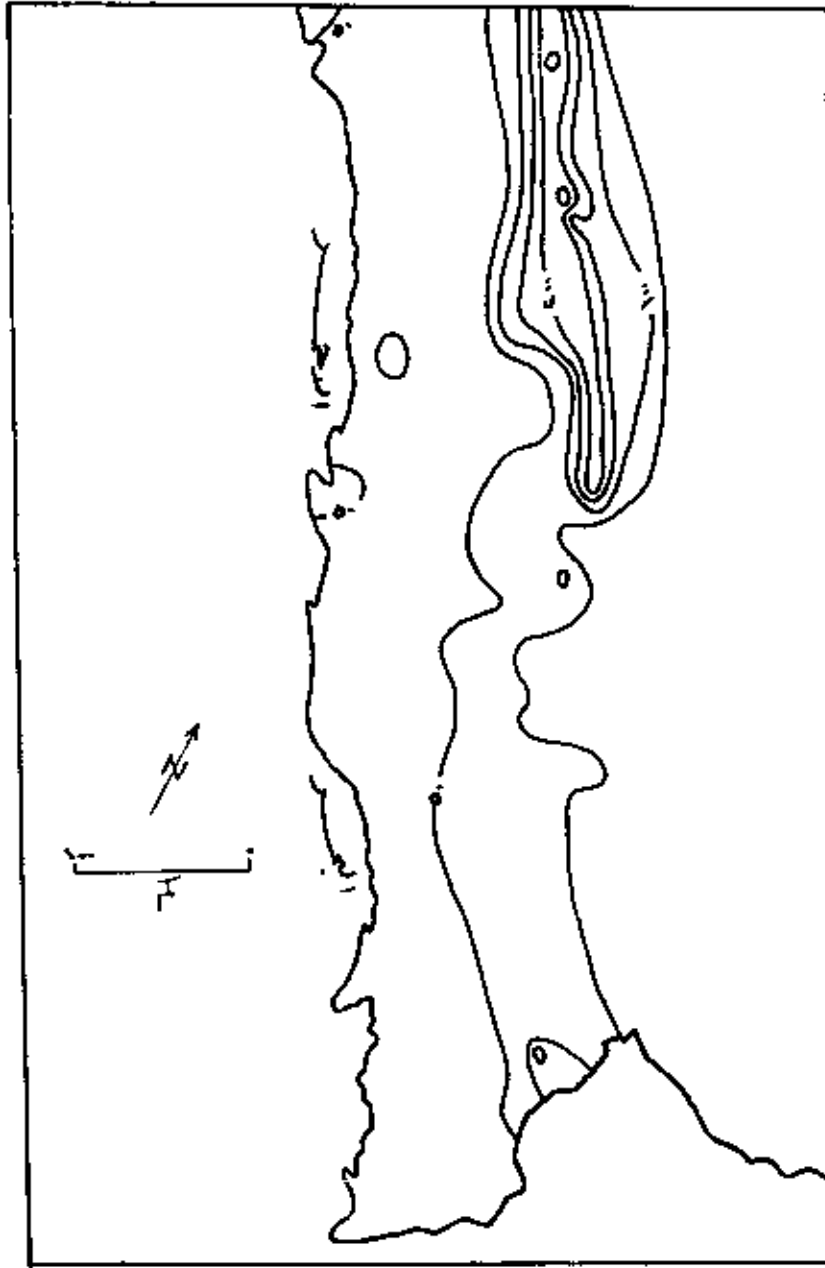
الأعاصير، والتغيرات الفصلية ومرعة الرياح وأجهاتها، ودرجة الحرارة. وما سبق يتضح أن مقدار الأمطار التي سجلت تعتمد على ظروف طوبوغرافية ومناخية عدة يجب أخذها في الاعتبار عند الدراسة والتحليل.

وقد استخدم المتوسط الحسابي والوسيط للأمطار للحصول على صورة أفضل لتوزيع الأمطار الشهري والفصلي والسنوي في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية. ويرجع سبب استخدام المتوسط والوسيط في دراسة توزيع الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية لأنها تقع في نطاق المناطق الجافة أو شبه الجافة، ومن خصائص الأمطار في المناطق الجافة أو شبه الجافة أنها تتفاوت تفاوتاً كبيراً من شهر لآخر ومن فصل لآخر ومن سنة لأخرى، وتوضح الأشكال ١٣ إلى ٢٢ مدى التفاوت والاختلاف الكبير ما بين توزيع الأمطار باستخدام المتوسط والوسيط. وعلى العموم، فإن مدى الاختلاف يكون كبيراً على المحطات التي استخدم المتوسط الحسابي في إعدادها. ومدى الفرق يختلف من مكان لآخر ومن فصل لآخر.

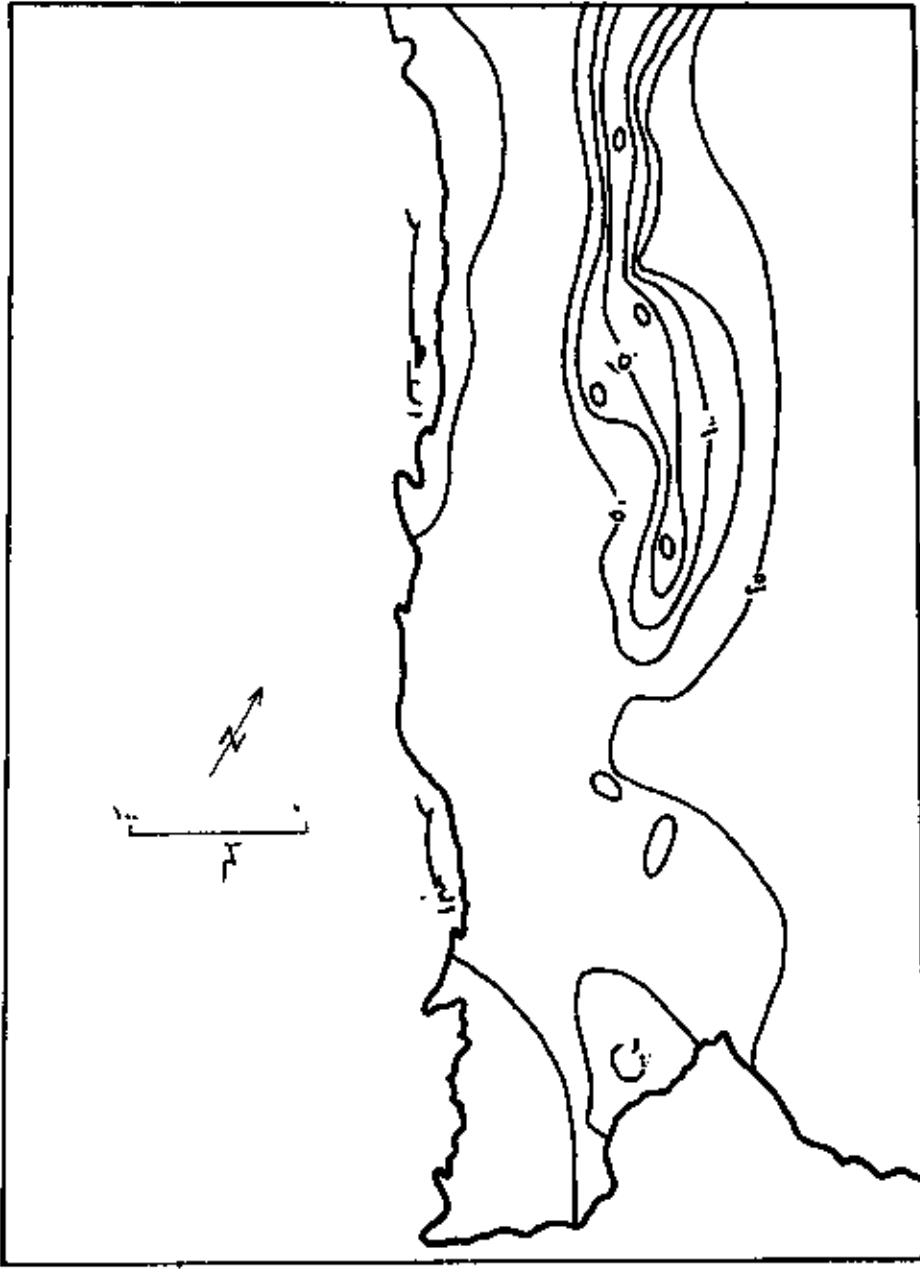
أمطار الشتاء في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

خلال فصل الشتاء - من ديسمبر إلى يناير (December - January)، تقع المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة تحت تأثير منخفض البحر المتوسط والمنخفض السوداني. ومنخفض البحر الأحمر. وتتأثر المنطقة برياح البحر المتوسط الغربية المصحوبة بالمنخفض والتي تعبر المنطقة الشمالية من الجزيرة العربية ويصل تأثيرها المنطقة الجنوبية الغربية. وتلتقي الرياح فوق البحر الأحمر وتشكل منخفض جوي فوق البحر الأحمر The Red Sea Convergence zone، وتهيمن طوال فترة الشتاء. ويؤثر منخفض البحر المتوسط كثيراً على الحالة الجوية في المنطقة الجنوبية الغربية ويجلب إليها المطر، وخاصة عندما يندمج مع المنخفض السوداني. وتنتشر الأمطار في فصل الشتاء في جنوب غرب المملكة.

ويوضح الشكلان ١٣ و ١٤ أن أكبر كمية من الأمطار تسقط على الأجزاء الشمالية من جبال عسير ويأتي بعدها السفوح الشرقية من الجبال وأقلها المناطق المنخفضة. ويوضح الشكلان ١٣ و ١٤ أيضاً، أن الأمطار في غرب الجبال تزيد مع زيادة الارتفاع، وتسقط كميات لا بأس بها من الأمطار على التلال الواقعة في سفوح الجبال. ونلاحظ أن أعلى متوسط ووسيط للأمطار الشتوية خلال عشر سنوات (الجدول ١ و ٢)، تسقط على



شكل (١٣) متوسط (Mean) الأمطار الشتوية (مم)



شكل (١٤) الوسيط (Median) للأمطار الشتوية (علم)

المناطق الشمالية المرتفعة من جهال عسير وعلى تلال السفوح الجبلية، وأن أعلى متوسط ووسيط للأمطار الشتوية سجلت في منطقة الباحة على ارتفاع ٢١١٠ متراً، ويبلغ المتوسط ٢٥٣ ملم والوسيط ٢٤٤ ملم (الجدول ١ و ٢). وسبب هطول أكبر كمية من الأمطار في منطقة الباحة هو أن المنطقة مكشوفة للرياح الشمالية الغربية وبالتالي تتأثر بها.

وتعتبر منخفضات البحر المتوسط والمنخفض السوداني، ومنطقة الالتقاء الهوائي فوق البحر الأحمر عوامل مستوثة عن توزيع الأمطار الشتوية في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة. ويصل تأثير منخفض البحر المتوسط إلى المنطقة الجنوبية عندما يرتبط ويندمج مع المنخفض السوداني.

جدول (١) متوسط القيم العليا العشر للأمطار الشتوية التي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة.

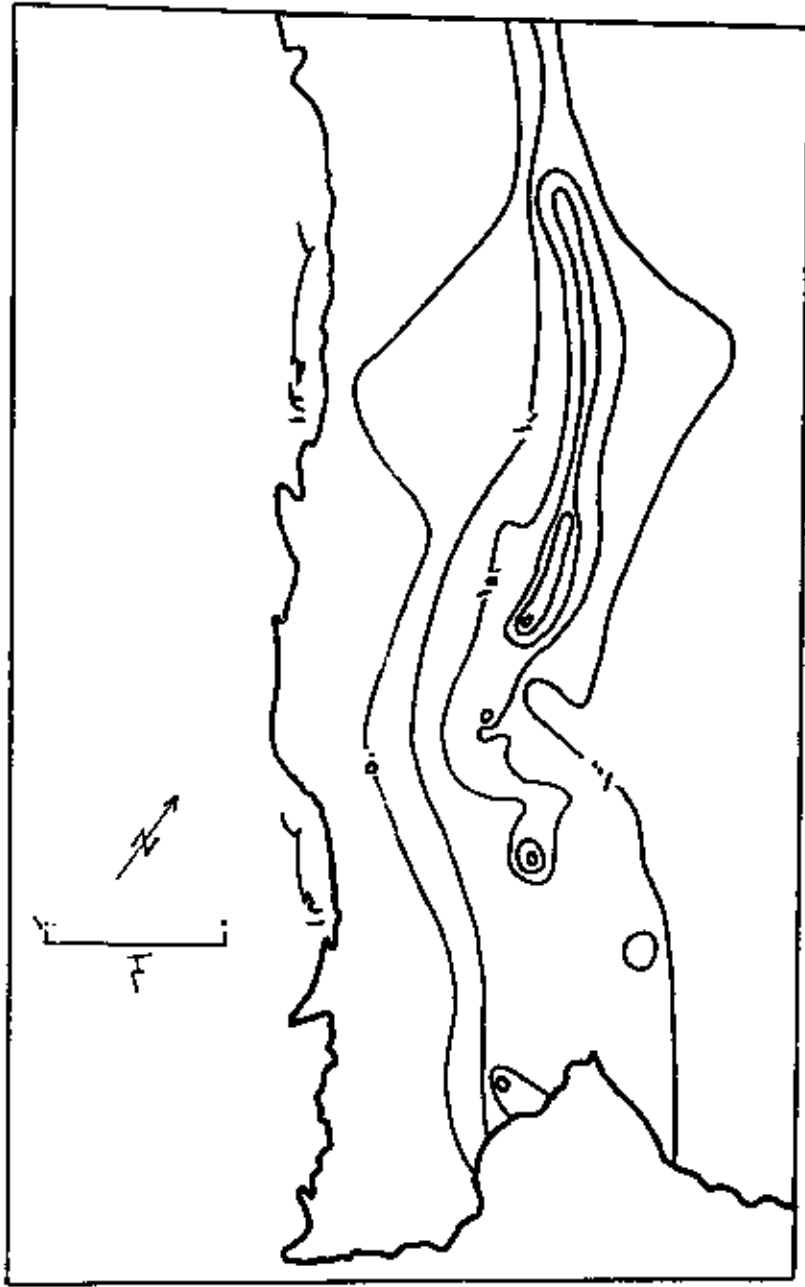
المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (ملم)
الباحة	TA 343	٢١١٠	٢٥٣
عقبة بني مالك	TA 229	١٨٢٠	٢١٣
التماص	B 002	٢٦٠٠	١٧٨
المنق	B 001	٢٤٠٠	١٦٩
بلجرشي	B 003	٢٤٠٠	١٦٧
الأجاعدة	B 101	-	١٦٢
الزينة	J 127	٤٤٠	١٤٥
حصن الحبس	J 137	٣٩٨	١٤٥
ترعة ثقيف	JA 228	١٨٢٠	١٤٣
ثلوث بني عامر	B 216	٢٠٠٠	١٤٠
الفانجة	J 131	٣٧٠	١٤٠
جبل فينيا	SA 110	٨٦٠	١٣٦
تنومة	A 120	٢١٠٠	١٣٥

جدول (٢) الوسيط للقيم العليا العشر للأمطار الشتوية التي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة.

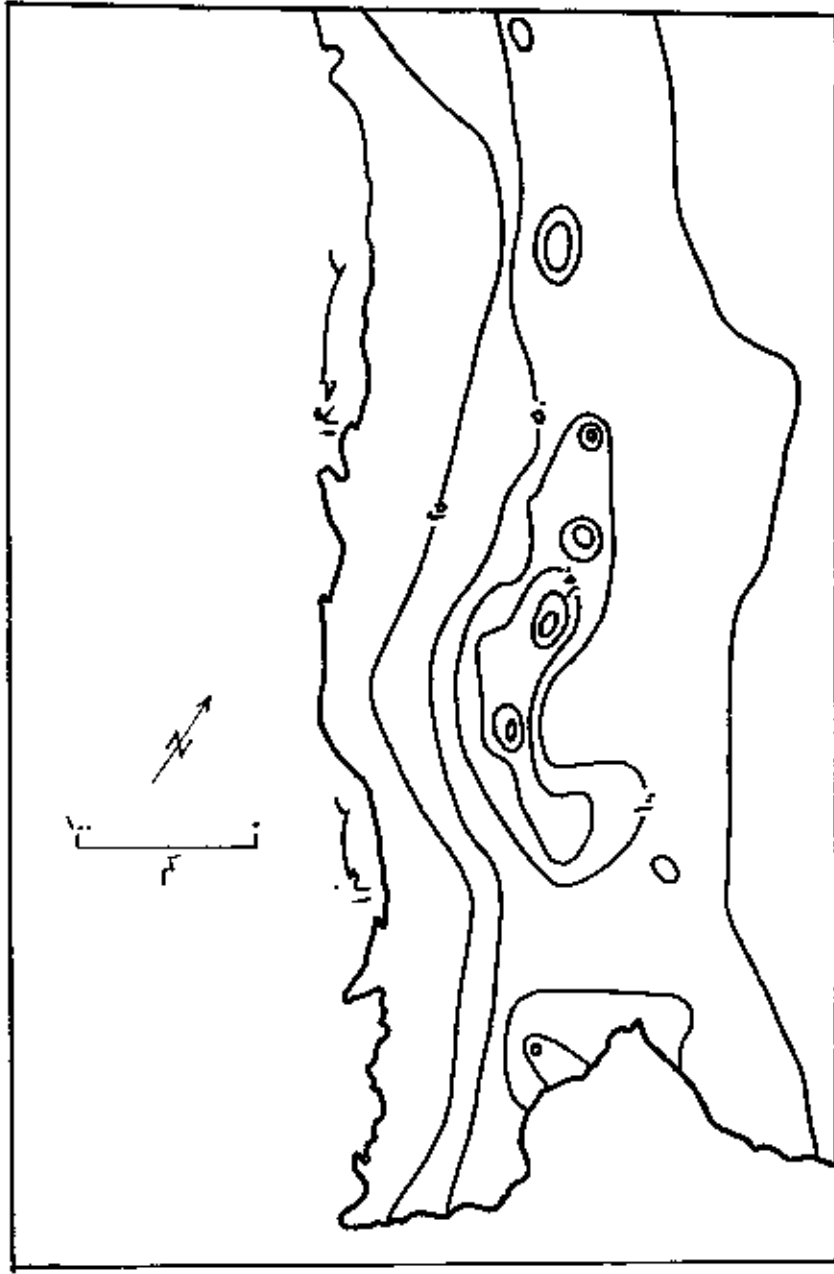
اسم المحطة	رقم المحطة	ارتفاع المحطة (م)	الأمطار (ملم)
الباحة	TA 343	٢١١٠	٢٤٤
عقبة بنى مالك	TA 229	١٩٨٠	٢٠٠
النماص	B 002	٢٦٠٠	١٧٨
المنطق	B 001	٢٤٠٠	١٧٦
بلجرشي	B 003	٢٤٠٠	١٦٨
القائفة	J 131	٣٧٠	١٤١
ثلوث بنى عامر	B 216	٢٠٠٠	١٤٠
جبل فيفيا	SA 110	٨٦٠	١٣٦
الأجاعة	B 101	-	١٣٦
وادي فيفا	B 212	٢٢٤٠	١٣٦
ترعة ثقيف	TA 228	١٨٢٠	١٣١
تومة	A 211	٢١٠٠	١٢٧

أمطار الربيع في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

تنتشر الأمطار انتشارا واسعا خلال فصل الربيع في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية (شكل ١٥ و ١٦). ويوضح الشكلان ١٥ و ١٦ أن كمية الأمطار تزداد تدريجيا من البحر الأحمر حتى القمة والجرف الجبلي (Escarpment) حيث تهطل أكبر كمية من الأمطار، وإلى الشرق من الجرف، تبدأ الأمطار تقل مع انخفاض الارتفاع. وعلى العموم، تسقط أكبر كمية من الأمطار خلال فصل الربيع على المرتفعات الجبلية والهضبة، بينما تقل كمية الأمطار خلال فصل الربيع في المناطق المنخفضة والتي تقع إلى الغرب من المرتفعات على طول ساحل البحر الأحمر. ويوضح المتوسط والوسيط لأمطار الربيع ولثة عشر سنوات (جدول ٣ و ٤) أن أكبر كمية من الأمطار تهطل على المناطق المرتفعة على طول الجبال الجنوبية الغربية من المملكة. وتبين أيضا أن عشر محطات من الرصد والتي سجلت أعلى كمية للأمطار خلال فصل الربيع تقع على ارتفاع ما بين ٢٠٠٠ و ٢٨٢٠ مترا. ونلاحظ أيضا أن الأمطار التي تسقط على السفح الشرقي للمرتفعات وعلى الهضبة أغزر من الأمطار التي تسقط على منطقة



شكل (١٥) متوسط أمطار الربيع (ملم)



شكل (١٦) الوسيط لأمطار الريح (ملم)

ساحل البحر الأحمر بسبب أن محطات الصنح الشرقي من الجبال مكشوفة وتعرض لتأثير الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية وإلى تأثير الرياح الشمالية الغربية القادمة من منخفض البحر المتوسط. ويوضح الجدولان ٣ و ٤ أن أكبر كمية من أمطار الربيع تسقط على منطقة العباله على ارتفاع ٢٤٨٠ مترا. ويبلغ مقدار متوسط الأمطار ٢٦٤ ملم والوسيط ٢٤٧ ملم.

وتسقط كميات كبيرة من الأمطار خلال فصل الربيع على المناطق المرتفعة من جبال عسير والهضبة، ويرجع هذا إلى تأثير عدة عوامل مشتركة منها اختلاف درجة الحرارة اليومية بين اليباس والماء مما ينتج عنه حركة هوائية محلية بين اليباس والماء. وتتسبب الحركة الهوائية المحلية اليومية في هطول الأمطار على المنطقة بعد الظهر. وكذلك امتداد المرتفعات الجبلية من الشمال إلى الجنوب محاذاة للبحر الأحمر يرغم الهواء الدافئ الرطب على الصعود إلى أعلى ويبرد تدريجيا مع الارتفاع ويتكاثف ثم يرجع مرة أخرى

جدول (٣) المتوسط للقيم العليا العشر لأمطار الربيع التي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة.

المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (ملم)
العباله	A 206	٢٤٨٠	٢٦٤
بلسمر	A 127	٢٢٥٠	٢٣٤
السودة	A 118	٢٨٢٠	٢٣٢
انماص	B 002	٢٦٠٠	٢٢٥
السودة	A 203	٢٨٢٠	٢٢٢
الأبهاان	A 312	٢٤٤٠	٢١٨
تتية	A 121	٢٣٠٠	٢١٢
تنومة	A 120	٢١٠٠	٢١٠
ثلوث بنى عامر	B 216	٢٠٠٠	١٩٨
تنومة	A 211	٢١٠٠	١٩٥

جدول (٤) الوسيط للقيم العليا العشر لأمطار الربيع والتي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة.

المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (مم)
العباله	A 206	٢٤٨٠	٢٤٧
بلصمر	A 126	٢٢٥٠	٢٤٠
نهبان	A 312	٢٤٤٠	٢٢٨
السودة	A 203	٢٨٢٠	٢٢٣
التصاص	B 002	٢٦٠٠	٢٢١
السودة	A 118	٢٨٢٠	٢٢٠
ثلوث بنى عامر	B 210	٢٠٠٠	١٩٨
علكم	A 106	٢٢٠٠	١٩٨
أبها	B 001	٢١٩٠	١٨٤
تنية	A 121	٢٣٠٠	١٨٣
الفدة	A 306	٢٤٩٠	١٨٢

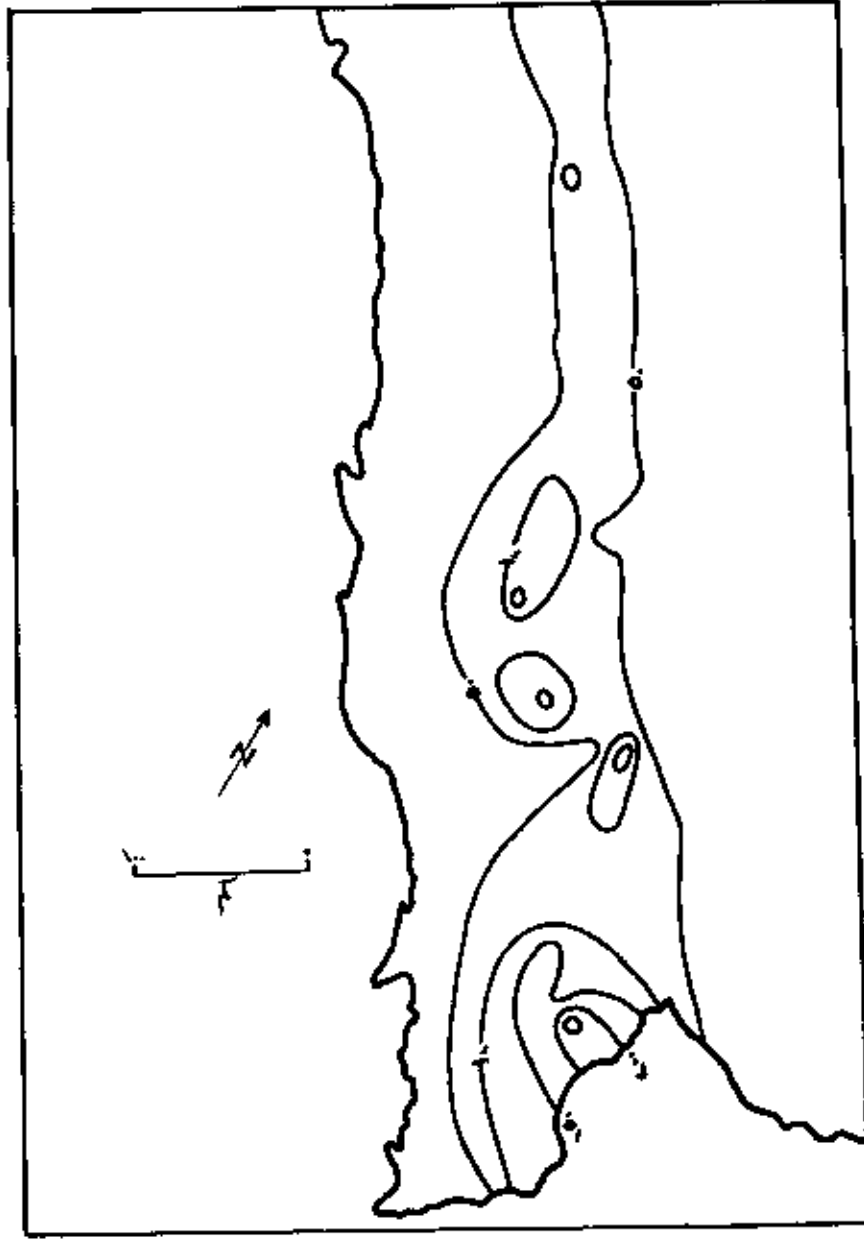
إلى الأرض على شكل أمطار على طول السفوح الجبلية. أيضا، اختلاف تضاريس المنطقة وتباينها يؤدي إلى اختلاف وتباين درجة الحرارة وعدم استقرار الهواء القريب من السطح. كذلك تتأثر المنطقة بالرياح الموسمية الجنوبية الشرقية وتعتبر عاملا رئيسيا مهما في سقوط الأمطار على المنطقة خلال فصل الربيع. وتهب الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية من البحر العربي على جبال عسير والمناطق المرتفعة، وهي عبارة عن رياح دافئة ورطبة وعندما تصل إلى المناطق الجبلية والمرتفعة فأنها تضطر إلى الصعود إلى أعلى لارتفاع المنطقة فتتكثف وتضع حمولتها على شكل أمطار فوق الهضبة والسفوح الشرقي من الجبال. وإلى جانب العوامل السابقة الذكر، تتأثر المنطقة الجنوبية الغربية بالمنخفض البحر المتوسط خلال فصل الربيع وخاصة عندما يلتحم ويتدمج بالمنخفض السوداني.

وتستنتج مما سبق أن عدم مجانس التضاريس واختلاف الارتفاعات، وعدم استقرار الهواء في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي، واختلاف درجة الحرارة بين اليابس والماء، وهبوب الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية على المنطقة، وتأثير منخفضات البحر المتوسط، وتقدم المنخفض السوداني إلى الغرب والجنوب الغربي من المملكة، فإن أكبر كمية من الأمطار تسقط على المناطق الجبلية والأراضي المرتفعة في جنوب غرب المملكة تكون في فصل الربيع.

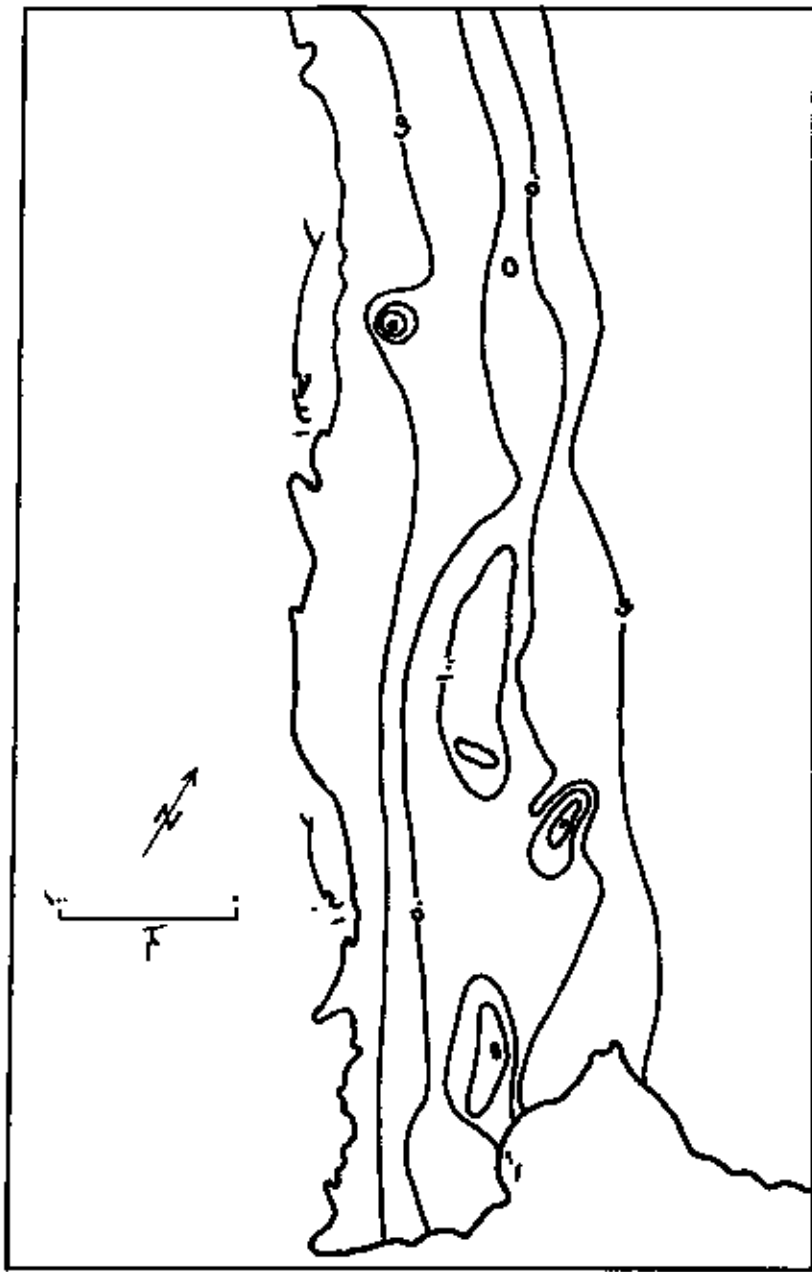
أمطار الصيف في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

خلال فصل الصيف (يونيو - أغسطس)، تكون الرياح التي تهب على المنطقة واضحة الاتجاهات، ويزحف الضغط العالي شبه المداري (Subtropical High Pressure) والتيار النفاث الغربي (Westerly Jet Stream) شمالا نتيجة لتعامد الشمس على مدار السرطان صيفا، وبالتالي لا يؤثران على مناخ الجنوب الغربي من المملكة العربية السعودية. وفي فصل الصيف، يتكون حوض المنخفض الجوي (Trough of Low Pressure) فوق منطقة تمتد من الهند والباكستان عبر الجزيرة العربية. ويعرف بالمنخفض الموسمي (Thermal Monsoon Through) وتهب الرياح الجنوبية الغربية فوق الجزء الجنوبي من الجزيرة العربية، ويتصف هواؤها بأنه رطب وغير مستقر (Unstable)، وتسقط حمولتها على المناطق التي تمر عليها ويعتمد ذلك على طبيعة سطح المنطقة وطبوغرافيتها. وتعتبر منطقة الالتقاء الاستوائية (الجهة الاستوائية) (Intertropical Convergence Zone) إحدى سمات فصل الصيف، وتزحف شمالا إلى دائرة العرض ٣٠° ١٦' (Alguarshi, 1981). كما يلاحظ وجود التيار النفاث الاستوائي خلال فصل الصيف فقط فوق الجزيرة العربية عند دائرة العرض ٢٠ درجة شمالا على ارتفاع ١٦ كم (١٥٠٠ م) (Hastenratn, Hafez and Kaczmarczyk 1979). وتعتبر الرياح الموسمية الجنوبية الغربية المصدر الرئيسي للأمطار الصيفية. وتمتاز الرياح الموسمية الجنوبية الغربية بهواء معتدل رطب، وتهب على المنطقة الجنوبية الغربية وتمتد شمالا وقد يصل تأثيرها إلى مدينة جدة، وخاصة عندما يتفاعل المنخفض الموسمي مع المنخفض السوداني (Meteorology and Environmental Protection Ad. 1979). وتنقل الرياح الموسمية الجنوبية الغربية معها كميات من الرطوبة من المحيط الهندي والبحر العربي وتزيد كمية رطوبتها أثناء مرورها بالبحر الأحمر. وعندما تصل الرياح الموسمية الرطبة إلى جنوب غرب المملكة العربية السعودية فإنها تصطدم بالجبال وتضطر إلى الصعود إلى أعلى وتبرد ثم توضع حمولتها على هيئة أمطار.

وتنتشر الأمطار الصيفية في المنطقة الجنوبية الغربية ولكنها غير متجانسة التوزيع كما هو موضح في الشكلين ١٧ و ١٨ فنجد أن أكبر كمية من الأمطار تسقط على مناطق التلال الجبلية بسبب طبوغرافية المنطقة المعقدة. وتوجد الجبال في المنطقة من



شكل (١٧) متوسط الأمطار الصيفية (مم)



شكل (١٨) الرسيط لأمطار الصيف (ملم)

الشمال إلى الجنوب مما يجعل الرياح الموسمية الجنوبية الغربية تكون عامودية عليها. ويلاحظ من الشكلين ١٧ و ١٨ أن الأمطار بوجه عام، تزيد كلما زاد ارتفاع المنطقة. ويلاحظ أيضا أن الأمطار تسقط بكميات غزيرة على التلال الجبلية التي تقع تحت قدم المرتفعات العليا والسفح الغربي للجبال أكثر من كميات المطر التي تسقط على السفح الشرقي من الجبال ويرجع هذا إلى أن الرياح الموسمية الجنوبية الغربية تضع معظم حملتها من الماء على قمة المرتفعات والسفوح الغربية منها. ولذا فإن كمية الأمطار تقل في شرق المرتفعات.

وخلال فصل الصيف، تقل الأمطار من الجنوب إلى الشمال، وتسقط كميات من الأمطار على التلال الجنوبية من الجبال أغزر من الأمطار التي تسقط على القمة والمناطق المحيطة بها، (انظر جدول ٥ و ٦). وبين الجدولان ٥ و ٦ بأن الكمية العظمى لتوسط الأمطار خلال فصل الصيف تسقط فوق المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة هي ٢٢٤ ملم وتكون على جبل فيفا على ارتفاع ٨٦٠ مترا. وبلغ الحد الأعلى لتوسط خلال فصل الصيف ١٧٨ ملم في منطقة عردة على ارتفاع ٢٢٣ مترا. وعموما، فإن أكبر كمية للأمطار الصيفية في المنطقة تسقط على المرتفعات القليلة الارتفاع وليس على المرتفعات العالية. وذلك أن التلال الجنوبية تكون عامودية بالنسبة للرياح الموسمية الجنوبية الغربية، أيضا تقع هذه التلال في أقصى الجنوب حيث تصطدم بها الرياح الموسمية الجنوبية الغربية الرطبة قبل أن تصطدم بالمرتفعات العليا.

وتعتمد الأمطار الصيفية التي تحدث نتيجة لتأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية على تعمق الرياح الموسمية الجنوبية نحو الداخل والتي تتأثر بموقع المنخفض الاستوائي. وتسقط الأمطار على المناطق الساحلية والسفوح الغربية من الجبال يوميا نتيجة لاختلاف درجة الحرارة اليومية بين البحر الأحمر والمنطقة اليابسة المحيطة به.

جدول (٥) المتوسط للقيم العليا العشر للأمطار الصيفية والتي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (مم)
جبل فيفا	SA 110	٨٦٠	٢٢٤
القره	A 306	٢٤٩٠	١٧٦
علكم	A 106	٢٢٠٠	١٦٤
عردة	SA 104	٢٢٣	١٦٤
وادي ضد	SA 129	١٥٠	١٦٣
هروب	A 126	٥٤٠	١٦٠
صلح	SA 111	٩٠٠	١٥٦
محايل	SA 113	٤٥٠	١٥٦
رجال المع	SA 116	٧٠٠	١٦١
السودة	A 203	٢٨٢٠	١٤٩
سوق عيبان	SA 140	٣٠٥	١٤٨

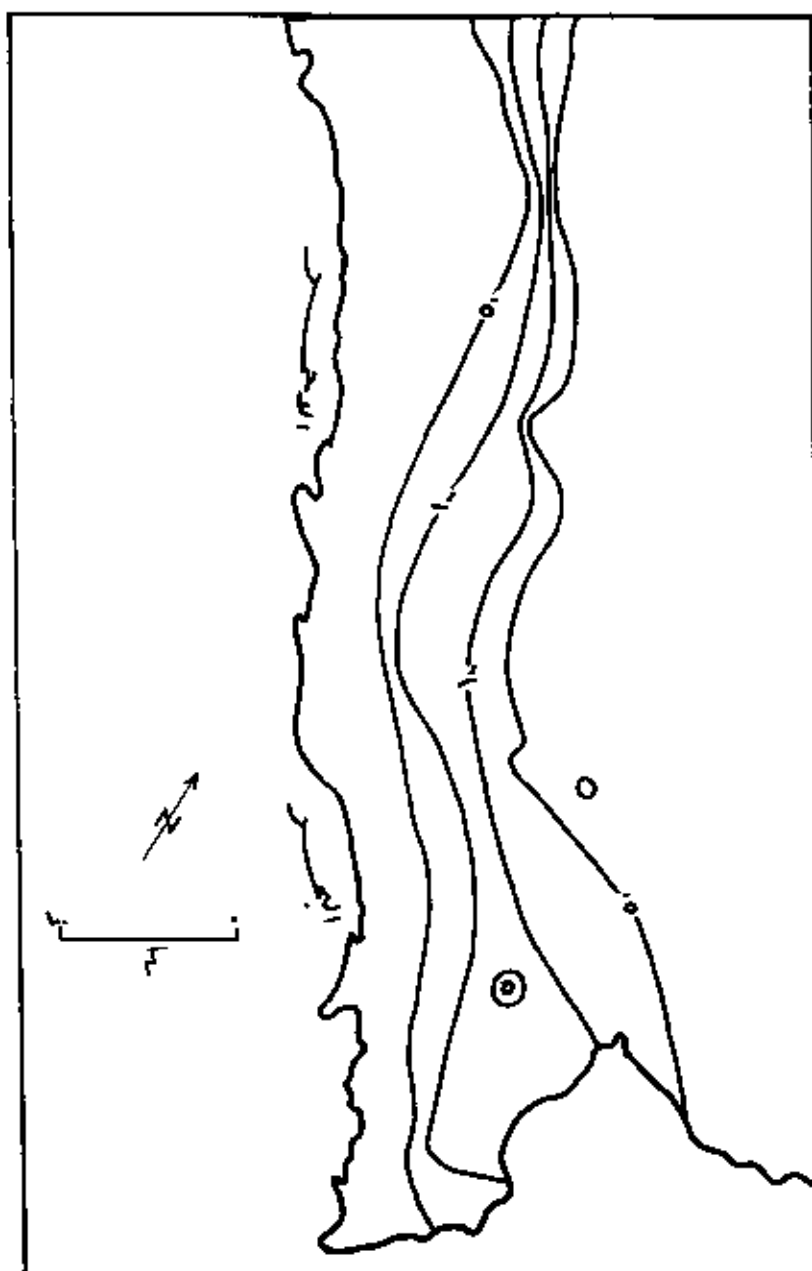
جدول (٦) الوسيط للقيم العليا العشر للأمطار الصيفية والتي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (مم)
عردة	SA 104	٢٢٣	١٧٨
القره	A 306	٢٤٩٠	١٧٣
جبل فيفا	A 110	٨٦٠	١٦٨
هروب	A 126	٥٤٠	١٦٨
سوق عيبان	SA 140	١٤٨	١٦٨
علكم	A 106	٢٠٠٠	١٦٠
السودة	A 203	٢٨٢٠	١٥٦
رجال المع	SA 116	٧٠٠	١٥٥
السودة	SA 118	٢٨٢٠	١٥١
الشفص	A 210	٢٦٢٠	١٤٠
الملكى	SA 001	١٩٠	١٣٤
محايل	SA 113	٤٥٠	١٣٠

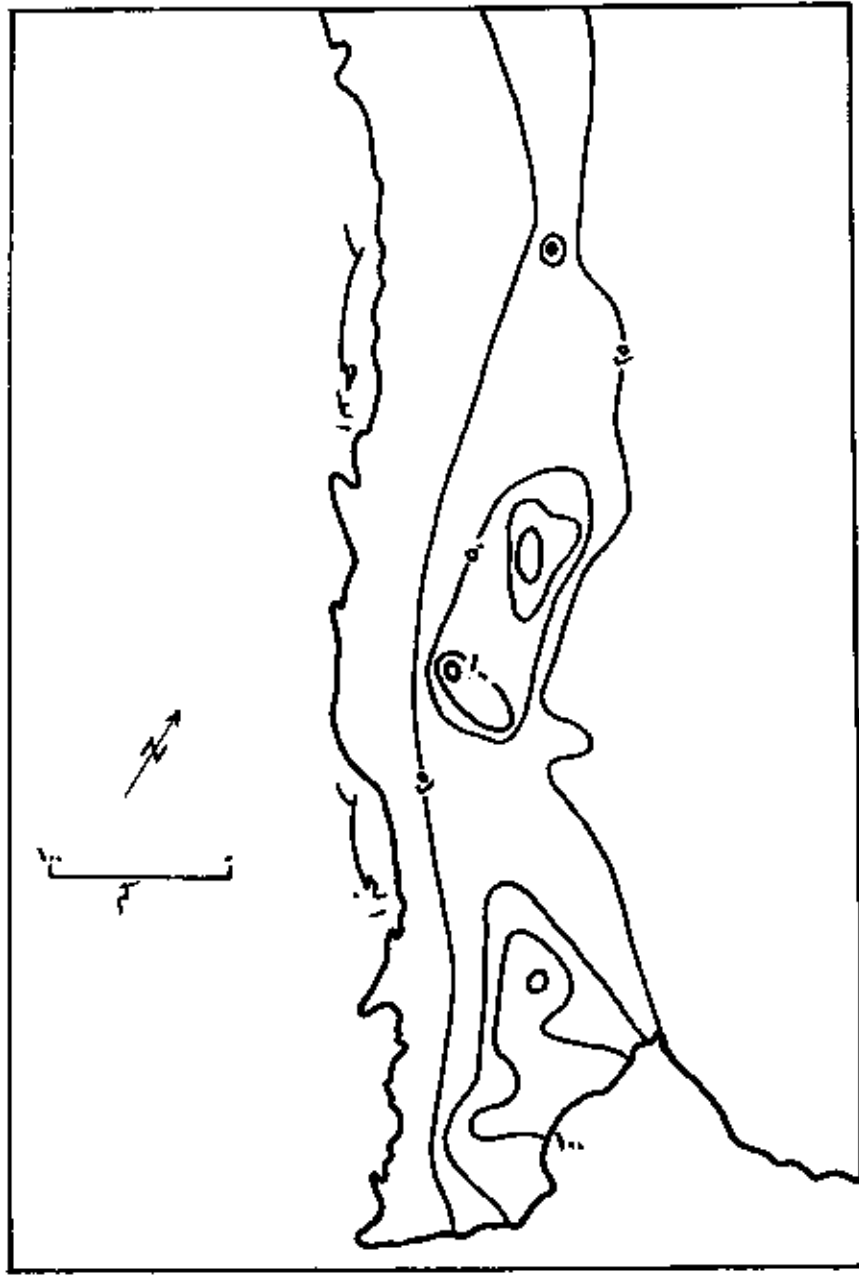
أمطار الحريف في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

يعتبر فصل الحريف (سبتمبر - نوفمبر) فترة انتقالية من فصل الصيف إلى فصل الشتاء. وتتميز هذه الفترة بأن اتجاهات الهواء فيها غير ثابتة وواضحة كما في فصل الصيف أو الشتاء وتكون الرياح ضعيفة السرعة. ويبدأ تأثير منخفض البحر المتوسط، بينما يبدأ تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية في التراجع والضعف. وفي بداية فصل الحريف (سبتمبر) تقع المنطقة تحت تأثير المنخفض الموسمي، والمنخفض السوداني الذي ينشط منخفض البحر الأحمر (Meteorological and En. Pr. Ad. 1978, 1979). وفي آخر فصل الحريف، تقع المنطقة تحت تأثير منخفض البحر الأحمر ومنخفض البحر المتوسط، وتزدى إلى سقوط الأمطار على الأجزاء الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية.

وتنتشر الأمطار خلال فصل الحريف في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة (شكل ١٩ و ٢٠). ولكنها أقل كمية من الأمطار الساقطة على المنطقة خلال فصل الربيع أو الصيف أو فصل الشتاء. ويوضح الشكلان ١٩ و ٢٠، أن الأمطار خلال فصل الحريف تكون أغزر على التلال الجبلية منها على المناطق المرتفعة، وأن أعلى قيم للأمطار (المتوسط والوسيط) التي سجلت خلال فصل الحريف تقع على التلال الجبلية (جدول ٧ و ٨). وبين الجدولان ٧ و ٨ أن أعلى كمية للأمطار سقطت خلال فصل الحريف عند محطة هروب على ارتفاع ٥٤٠ متراً، وبلغ المتوسط للمطر ١٧٨ ملم والوسيط ١٥٣ ملم. ويلاحظ أن مقدار الأمطار التي هطلت على محطات التلال الجبلية أغزر من الأمطار التي هطلت على القمة والسفح الشرقي للجبال، والسبب هو أن المحطات التي تقع على التلال الجبلية تكون مكشوفة ومعرضة لتأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية وخاصة في بداية فصل الحريف. وتسقط الأمطار خلال فصل الحريف على المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة نتيجة لتأثير كل من منخفضات البحر المتوسط، ومنخفض البحر الأحمر والمنخفض السوداني والمنخفض الموسمي.



شكل (١٩) متوسط أمطار الخريف (ملم)



شكل (٢٠) الوسيط لأقطار الخريف (علم)

جدول (٧) المتوسط للقيم العليا العشر لأمطار الخريف والتي سجلت لمدة عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة

المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (مم)
هروب	A 128	٥٤٠	١٧٨
قرن البحر	SA 108	٤٢٠	١٥٢
عمرة	SA 104	٢٢٣	١٣٠
ملاكي	SA 001	١٩٠	١٢٨
وادي ضمد	SA 129	١٥٠	١٢٧
سوق عيبان	SA 140	٣٠٥	١١٥
بارك	SA 105	٣٩٠	١١٤
الجادية	SA 133	٨٠	١٠٩
جبل صلح	SA 111	٩٠٠	١٠٧
رجال المع	SA 116	٧٠٠	١٠٥

جدول (٨) المتوسط للقيم العليا العشر لأمطار الخريف والتي سجلت لمدة عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة

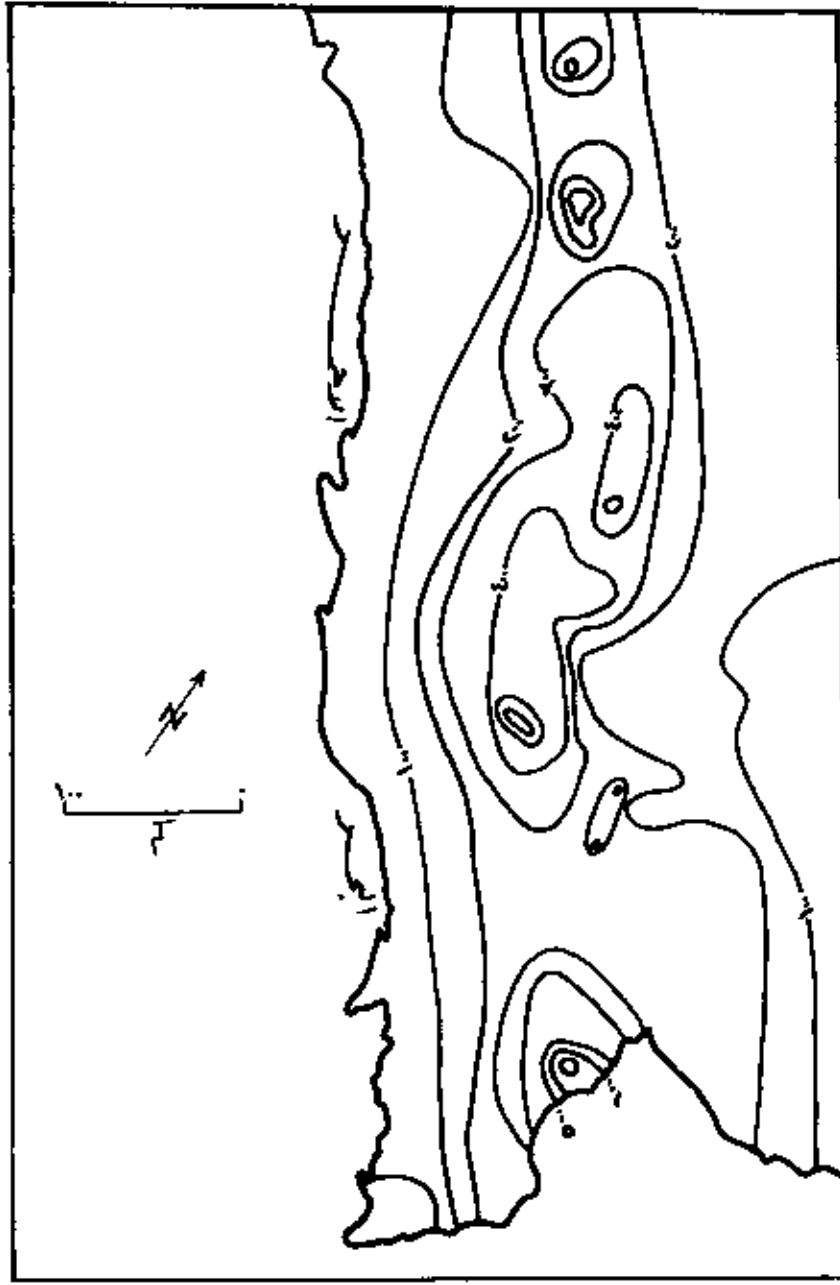
المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (مم)
هروب	A 126	٥٤٠	١٥٣
قرن البحر	SA 108	٤٢٠	١٤٦
عمرة	SA 104	٢٢٣	١٢٧
وادي ضمد	SA 129	١٥٠	١٢١
حصن الحيس	T 137	٣٩٨	١١٧
جبل صلح	SA 111	٩٠٠	١١١
بارك	SA 105	٣٩٠	١١٠
رجال المع	SA 116	٧٠٠	١٠٧
طرقوش	SA 138	٥٧٠	١٠٦
الغاط	SA 139	٤٥٠	١٠٦
جبل فيفيا	SA 110	٨٦٠	١٠٦
الحوش	SA 003	٣٥٠	١٠٣

الأمطار السنوية في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة: Annual Precipitation:

لقد تم رسم خرائط للمتوسط والوسيط للأمطار السنوية الساقطة على المنطقة الجنوبية الغربية (الشكل ٢١ و ٢٢). ويوضح الشكلان ٢١ و ٢٢ أن كمية الأمطار السنوية الساقطة على المنطقة الجنوبية الغربية بأنها غير متجانسة التوزيع وأنها تختلف من مكان لآخر، ولكنها على العموم، تزيد مع زيادة الارتفاع.

ويلاحظ أن بعض المحطات التي تقع على التلال الجبلية للسفوح الغربية من الجبال تسقط عليها كميات من الأمطار أكبر من كميات الأمطار الساقطة على المحطات الأخرى حتى المحطات التي تقع على مرتفعات عالية، والسبب في ذلك أن الجبال الجنوبية الغربية تمتد من الشمال نحو الجنوب وبذلك تكون عمودية بالنسبة للهواء القادم من الجنوب الغربي، وتكون حاجزا للهواء وترغصه على الصعود إلى أعلى فيتكاثف ثم يطر. أيضا يوضح الشكلان ٢١ و ٢٢ بأن كمية الأمطار تقل كلما اتجهنا شرقا من الجرف الجبلي (Escarpment) وتعرف هذه المنطقة بأنها منطقة الظهير (Leeward) أو ظل المطر (Rainshadow) لأن معظم الأمطار تسقط على السفح الغربي من الجبال التي تهب عليها الرياح (Windward). وتسقط أعلى كمية للأمطار السنوية على جبل فينيا ارتفاع ٨٦٠ مترا. ويبلغ المتوسط السنوي للأمطار في جبل فينيا ٦٥٥ ملم والوسيط ٦٩١ ملم (الجدول ٩ و ١٠). ويبين الجدولان ٩ و ١٠ بأن الأمطار تسقط على المناطق العالية والمنخفضة على حد سواء. وأن الكمية العظمى للأمطار لا تسقط دائما على المناطق العالية أو القمة في المنطقة، وأن الارتفاع وحده ليس العامل الرئيسي في توزيع الأمطار السنوية في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة. ويوضح الجدولان ٩ و ١٠ أن ٤ محطات من العشر محطات التي سجلت عندها القيم العليا العشر للأمطار السنوية تقع في المناطق القليلة الارتفاع وهي جبل فينيا (٨٦٠ م) ورجال المع (٧٠٠ م) وهروب (٥٤٠ م) ومحايل (٤٥٠ م)، وتقع جميعها في منطقة التلال الجبلية من السفوح الغربية للسلسلة الجبلية، وتعرض لتأثير الرياح السائدة. والمحطات الست الأخرى التي تسقط عندها كميات كبيرة من الأمطار هي الباحة (٧١١٠ م) والسودة (٢٨٢٠ م) والنصاص (٢٦٠٠ م) والفرقة (٢٤٩٠ م)، وعقبة بني مالك (١٨٢٠ م) والندق (٢٤٠٠ م).

وتقع هذه المحطات في المناطق المرتفعة وتتأثر بالرياح السائدة في المنطقة. ومن مقارنة الجدولان ٩ و ١٠ ببعض، نلاحظ أن مقدار الأمطار السنوية يختلف حينما نستخدم



شكل (٢١) المتوسط السنوي للأمطار (ملم)



شكل (٢٢) الوسيط للأمطار السنوية (ملم)

المتوسط أو الوسيط الحسابي. فعلى سبيل المثال، نجد أن المتوسط السنوي للأمطار عند جبل فيفيا هو ٦٥٥ ملم بينما الوسيط السنوي للأمطار هو ٦٩٦ ملم. ويختلف مركز المحطة حينما نستخدم المتوسط والوسيط. فمثلا تحتل الباحة المركز الثاني في السجل عندما نستخدم المتوسط الحسابي. ولكنها تتراجع وتحتل المركز الرابع من بين المحطات عندما نستخدم الوسيط. ويرجع اختلاف المقدار السنوي للأمطار حينما نستعمل طريقة المتوسط أو الوسيط الحسابي إلى التباين والاختلاف في مقدار كمية الأمطار السنوية المساقطة على المنطقة من سنة إلى أخرى وهذه من خصائص المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية.

التوزيع الجغرافي للأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية باستخدام التحليل التوافقي:

يمكن استخدام التحليل التوافقي (Harmonic Analysis) للحصول على وصف جيد وكذلك رسم خرائط لتوزيع الأمطار الزماني والمكاني. ويتألف للتحليل التوافقي من ستة تحليلات توافقية (Six Harmonics) غير مترابطة، ولا يشرح اثنان منهما نفس التباين. ويمكن مناقشة كل تحليل توافقي على حدة مستقلا عن التحاليل التوافقية الأخرى. وإضافة التباين Variance التي يشرحه كل تحليل توافقي إلى بعضها. والتحليل التوافقي الأول هو عبارة عن منحنى (Cruve) يتألف من قمة عظمى واحدة ونهاية صفرى واحدة، ويصف الأمطار التي تتجه وقيل نحو الاختلاف السنوي. وهو منحنى معدل يعطى أفضل وصف رياضي.

جدول (٩) متوسط التقييم العليا العشر للأمطار السنوية والتي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (ملم)
جبل نيفيا	SA 110	٨٦٠	٦٥٥
الهاحة	TA 343	٢١١٠	٥٤٧
السودة	A 118	٢٨٢٠	٥١٦
رجال المع	SA 116	٧٠٠	٥٠٧
النماص	B 002	٢٦٠٠	٥٠٥
الغرة	A 306	٢٤٩٠	٧٩٧
هروب	A 126	٥٤٠	٤٩٦
عقبة بنى مالك	TA 229	١٨٢٠	٤٨٣
المنطق	B 001	٢٤٠٠	٤٦٦
محايل	SA 113	٤٥٠	٤٥٥

جدول (١٠) الوسيط للتقييم العشر العليا للأمطار السنوية والتي سجلت خلال عشر سنوات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة :

المحطة	رقم المحطة	الارتفاع (م)	الأمطار (ملم)
جبل نيفيا	SA 110	٨٦٠	٦٩١
النماص	B 002	٢٦٠٠	٥٦٠
رجال المع	SA 116	٧٠٠	٥٤٨
الهاحة	TA 343	٢١١٠	٥٣٧
السودة	A 118	٢٨٢٠	٥٢٤
هروب	A 126	٥٤٠	٥٢٣
السودة	A 203	٢٨٢٠	٥١٣
محايل	SA 113	٤٥٠	٥٠٦
الغرة	A 306	٢٤٩٠	٤٨٩
عقبة بنى مالك	TA 229	١٨٢٠	٤٦٩

للاجهاد السنوي للأمطار. والتحليل التوافقي الثاني، يتألف من منحنيات الجيب وله قمتان عظيمتان ونهبتان صغريتان. ويصف التحليل التوافقي الثاني الاتجاه شبه السنوي لمنحنى الأمطار. التحليل التوافقي الثالث والرابع والخامس، والسادس تصف اختلاف المطر لكل أربعة شهور وثلاثة شهور وشهرين وعشرى الشهر وشهرين في منحنى المطر. ويتألف التحليل التوافقي الذي يناسب منحنى المطر الملاحظ من مدى كبير (Large Amplitude)، بينما يكون مدى التحاليل التوافقية الأخرى التي لا تناسب منحنى المطر الملاحظ صغيراً. ويمثل شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الوقت من السنة الذي تسقط فيه الكمية العظمى من الأمطار.

وقد تم استخدام وتوظيف التحليل التوافقي في دراسة وتحليل توزيع الأمطار الزمني والمكاني في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة. وقد تم وضع خرائط لتوضيح نتائج التحاليل التوافقية. وسوف يتم بوجه عام مناقشة التباين (Variances) الذي تم شرحه بواسطة التحاليل التوافقية الستة، وكذلك شكل الزوايا (Phase Angles) للتحاليل التوافقية الستة، بينما سوف يتم مناقشة التباين (Variance) وشكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الأول والثاني والثالث بشيء من التفصيل لأن التحاليل التوافقية الثلاثة السابقة الذكر تشرح ٨٠٪ من مجموع التباين الذي نتج عن التحاليل التوافقية الستة.

التباين الذي خفض باستخدام التحاليل التوافقية الستة :

(Variance Reduced by the Six Harmonics)

يختلف التباين الذي خفض باستخدام التحاليل التوافقية الستة من تحليل توافقي لأخر. ويفسر التحليل التوافقي الأول (٤٦٪) من مجموع التباين والتحليل التوافقي الثاني (١٣٪) والتحليل التوافقي الثالث (٢١٪) والتحليل التوافقي الرابع (٩٪) والتحليل التوافقي الخامس (٦٪) والتحليل التوافقي السادس (٥٪) فقط من مجموع التباين.

وتفسر التحاليل التوافقية الثلاثة الأولى (The First Three Harmonics) (٨٠٪) من مجموع التباين، بينما تفسر التحاليل التوافقية الأخيرة (٢٠٪) من مجموع التباين. وتشرح التحاليل الثلاثة الأولى معظم العوامل والمؤثرات الطبيعية التي

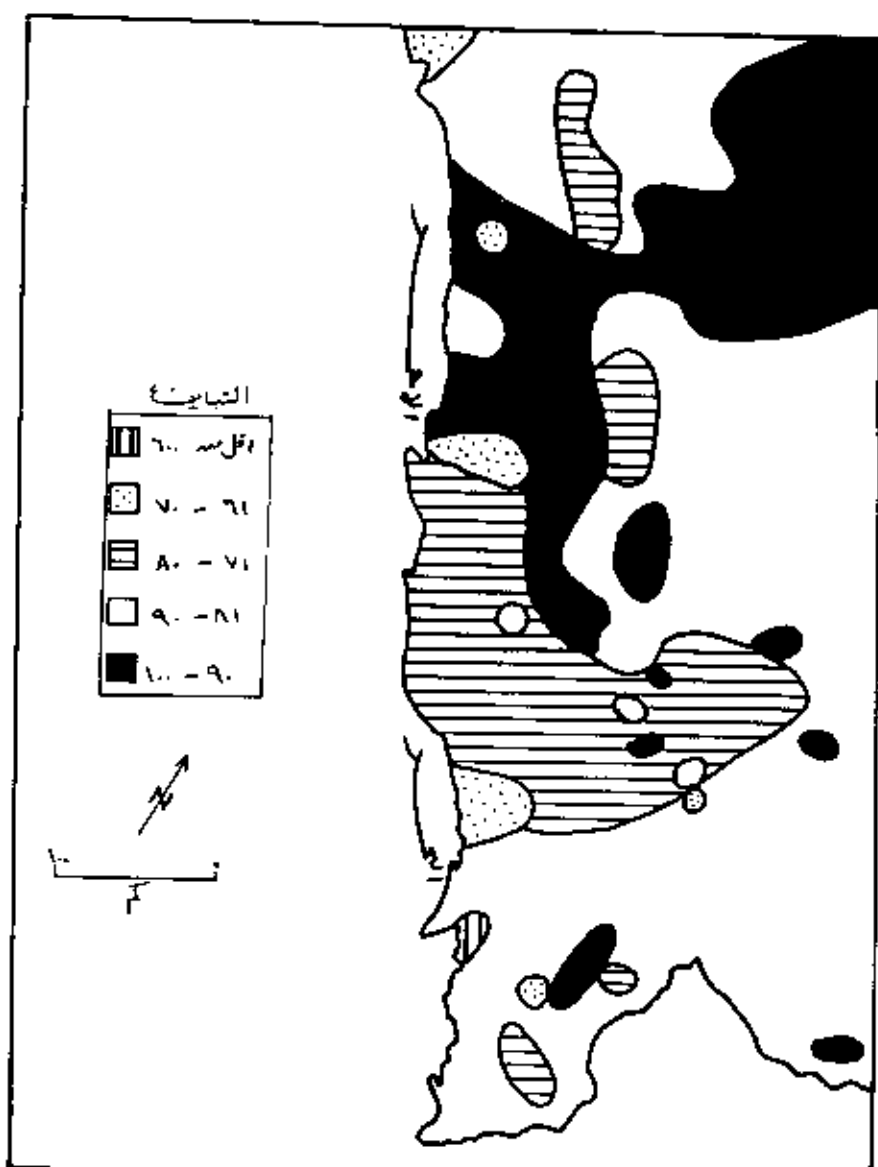
تؤثر على توزيع الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة (الشكل ٢٣). وتختلف أهمية التحاليل التوافقية من تحليل لآخر (الشكل ٢٤). ومن استعراض الشكل ٢٤ نجد أن التحليل التوافقي الأول يحتل المركز الأول من بين التحاليل التوافقية الأخرى، ويخضع أكبر قيمة للتباين لثمان وسبعين محطة. وتتنوع هذه المحطات في مناطق مختلفة من المنطقة الجنوبية الغربية، بينما تقع المحطات الأخرى التي يكون فيها مقدار التباين للتحليل التوافقي الأول صغيرا على امتداد جبال عسير، وساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية (الشكل ٢٤). ونجد أن ست محطات من المحطات التي لها تباين منخفض في التحليل التوافقي الأول تحصل على تباين مرتفع في التحليل التوافقي الثاني. والمحطات الست هي بجران (١٧ ٣٣) شمالا و ٤٤ ٦٤ شرقا، والفاط (١٩ ٠٣) شمالا و ٠٢ ٤٢ شرقا، والمظيلف (١٩ ٣٢) شمالا و ٤١ ٠٣ شرقا، وعشيلة (١٩ ٤١) شمالا و ١٩ ٤١ شرقا ومحطة وادي دوقة (٤٤ ٦٩) شمالا و ٤١ ٤ شرقا. وسبعة عشر محطة تحصل على تباين أكبر باستخدام التحليل التوافقي الثالث، وتقع على طول جبال عسير وتلالها الجبلية، وتقع بعض المحطات على ساحل البحر الأحمر كمحطة الدرب وليث وضبيعة (الشكل ٢٤). والتحليل التوافقية الثلاثة الأخيرة (الرابع والخامس والسادس) تعطى تباينا منخفضا لكل المحطات باستثناء محطة القوز. وأعلى قيمة للتباين لمحطة القوز تم تخفيضها عن طريق التحليل التوافقي السادس، فمقدار التباين الذي تم تخفيضه بواسطة طريق التحليل التوافقي الأول هو (١٧٪)، والثاني (١٪) فقط، والثالث (٥٪)، والرابع (١٨٪) والخامس (٣٦٪) والتحليل التوافقي السادس (٤٣٪).

شكل الزاوية للتحاليل التوافقية الستة : Phase Angle of the Six Harmonics

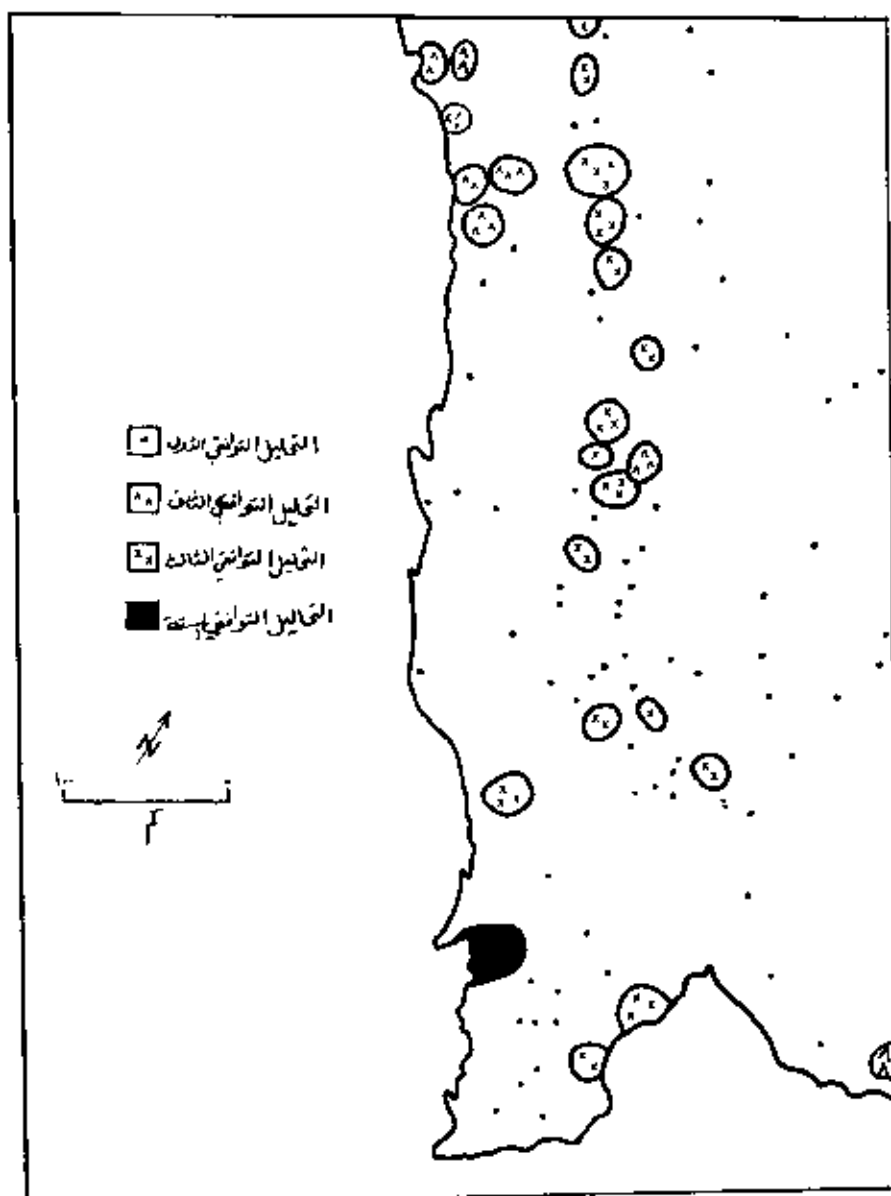
يختلف الوقت الذي تهطل فيه الكمية العظمى من الأمطار على المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية من محطة لأخرى. ويرجع اختلاف أوقات سقوط الأمطار على المنطقة الجنوبية الغربية لتأثر المنطقة بأكثر من نظام مناخي.

ويوضح المدى (Amplitude) والتباين (Variance) للتحاليل التوافقية الستة أنه ليس هناك تحليلا توافقيًا واحدًا يناسب تمامًا منحني الأمطار ويصف توزيعها في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، ويرجع هذا إلى عاملين رئيسيين :-

١- تأثير أكثر من نظام مناخي على المنطقة.



شكل (٢٣) التباين (variance) نتيجة للتحليل التوافقية الثلاثة (الأول، الثاني، الثالث).

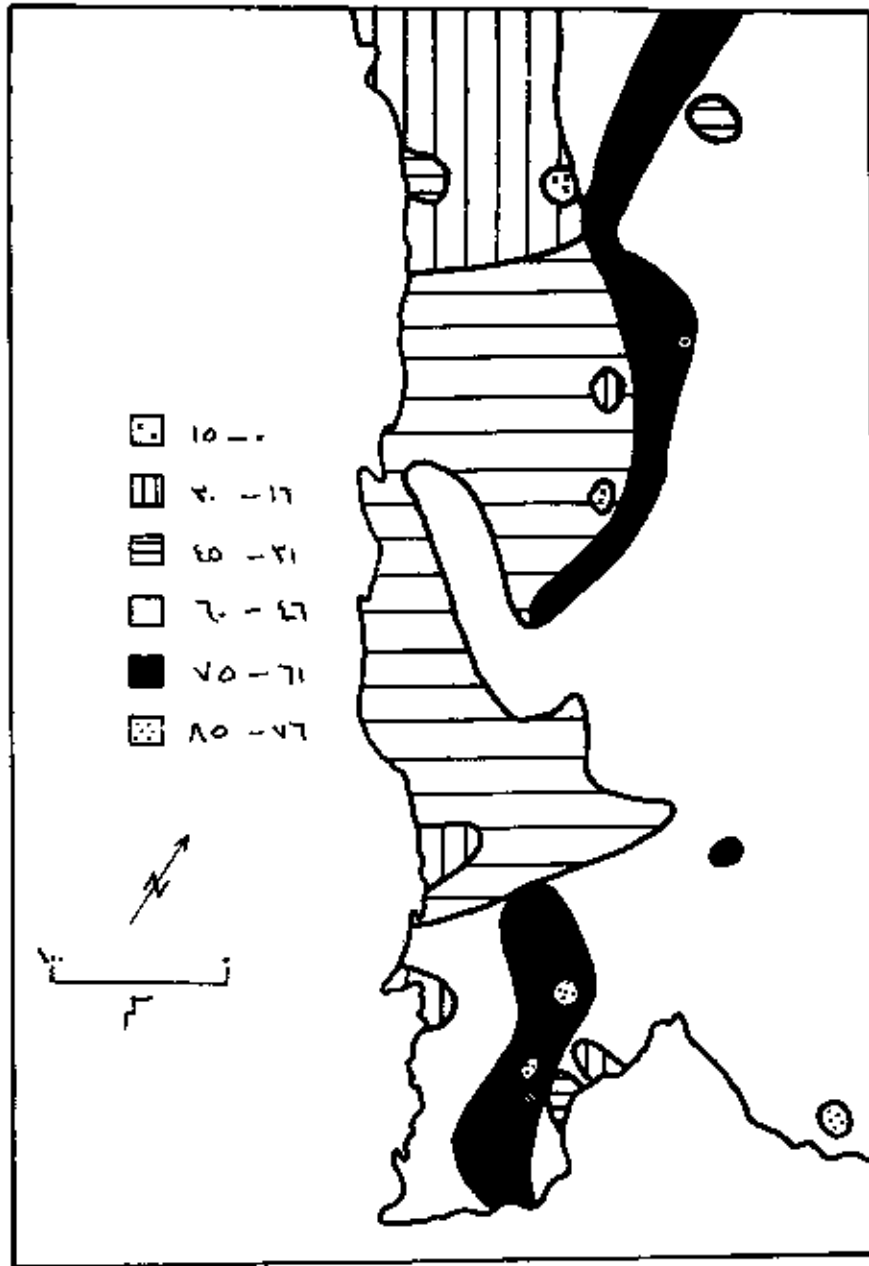


شكل (٧٤) أهمية التعايش التوافقية

ويبين الشكل ٢٤ أن التحليل التوافقي الأول هو أهم التحاليل التوافقية الستة ويحتل التحليل التوافقي الثالث المركز الثاني، بينما يحتل التحليل التوافقي الثاني المركز الثالث. وتفيد أقيام المدى والتباين التي تم الحصول عليها بتطبيق التحاليل التوافقية الستة أن ثمان وسبعون من المحطات الموجودة في المنطقة قبيل أمطارها نحو الاختلاف السنوي ولها نهاية عظمى واحدة وصغرى واحدة. وست محطات قبيل الأمطار فيها نحو الاختلاف شبه السنوي ولها قمتان عظيميان ونهائيتان صغيرتان وتسع عشرة محطة تختلف فيها الأمطار كل أربعة شهور، ومحطة واحدة تختلف فيها الأمطار كل شهرين (الشكل ٢٤). وتقع المحطات التي قبيل فيها الأمطار نحو الاختلاف السنوي في كل مكان من المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، ويختلف الوقت الذي تسقط فيه أكبر كمية من الأمطار.

التباين للتحليل التوافقي الأول : (Variance of the First Harmonic)

التحليل التوافقي الأول هو عبارة عن منحني له نهايتان، كبيرى وصغرى، ويصف الاختلاف السنوي للأمطار. ويبلغ التباين للتحليل التوافقي الأول الذي تم الحصول عيه ما بين (٠.٨) و (٨٢٪) من مجموع التباين (الشكل ٢٥). ويوضح الشكل ٢٥ بأن أعلى قيمة للتباين تم الحصول عليها باستخدام التحليل التوافقي الأول هو لمحطة هروب، حيث بلغ (٨٢٪)، بينما أقل قيمة للتباين تم الحصول عليه هو لمحطة حصن الحبس (٨٪) (١٩٥٨ شمالاً و ٤١ ٢٠ شرقاً). ويختلف مقدار التباين الذي تم الحصول عليه باستخدام التحليل التوافقي الأول من محطة لأخرى. ويشير الشكل ٢٥ الى وجود ست مناطق هيمنة. وهذه المناطق موضحة بالنسب المئوية كما يلي : - ١٦ ، ١٥ - ٣٠ ، ٣١ - ٤٥ ، ٤٦ - ٦٠ ، ٦١ - ٧٥ ، ٧٦ - ٨٥٪. وتشمل المنطقة الأولى (١٥ - ٠٪) أربع محطات فقط هي : حصن الحبس (٨٪)، نجران (٩٪)، والقاط (١٤٪) وقلوة (١٤٪)، وتغطي المنطقة الثانية (١٦ - ٣٠٪)، الشمال الغربي من ساحل البحر الأحمر. أيضا تشمل عدة مناطق أخرى صغيرة كثريران (٢٨٪)، والغرب (١٩٪)، والقوز، (١٧٪)، وجبل صليح (٢٨٪). وتغطي المنطقة الثالثة (٣١ - ٤٥٪) منطقتين رئيسيتين هما منطقة ساحل البحر الأحمر وشرق الهضبة، وإلى جانب هاتين المنطقتين الرئيسيتين تشمل المنطقة الثالثة مناطق أخرى صغيرة مثل جبل قينيا



شكل (٢٥) التباين (variance) نتيجة لتحليل التوافقى الأول
 Phase Angles of the first Harmonic

(٣٣٪) وطريق العقين (٤٤٪)، وترعة ثقيف (٤١٪). أما المنطقة الرابعة ٤٦ - (٦٠٪)، فتشمل أكبر جزء من المنطقة الجنوبية الغربية كما هو موضح في الشكل ٢٥. وتمتد من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي. وتشمل المنطقة الخامسة (٦١ - ٧٥٪) منطقتين. المنطقة الأولى كما هو موضح في الشكل ٢٥ عبارة عن منطقة طويلة ضيقة تمتد على طول جبال عسير. والمنطقة الثانية، تشمل التلال الجبلية الواقعة إلى الجنوب الغربي من جبال عسير. أما المنطقة السادسة والاختيرة (٧٦ - ٨٠٪) فتشمل ثلاث محطات فقط هي محطة هروب (٨٢٪)، ووادي ضمد (٧٧٪)، وبيسر عسك (٧٧٪).

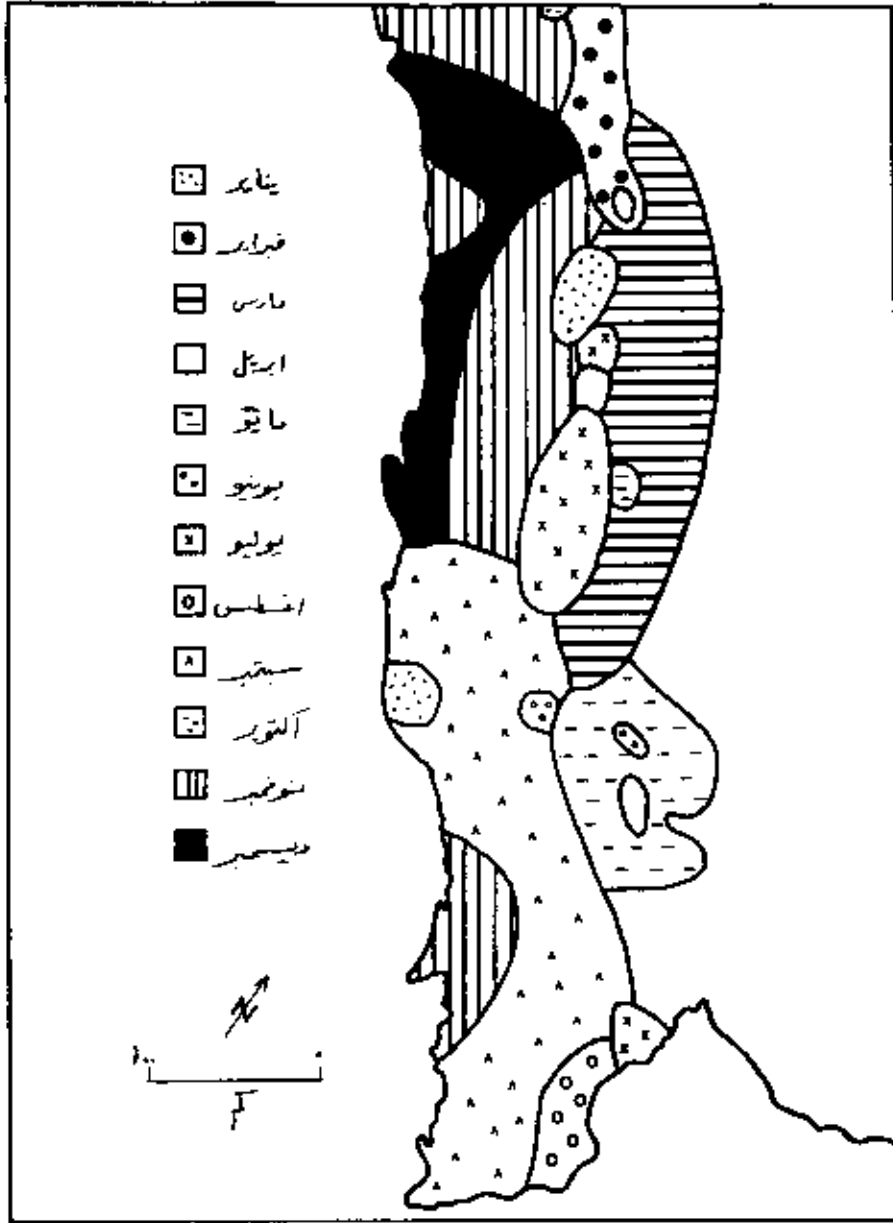
شكل الزاوية للتحليل التوافقي الأول : (Phase Angle of the First Harmonic)

يوضح شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الأول الوقت الذي تسقط فيه الكميات العظمى من الأمطار على المنطقة. وشكل الزاوية للتحليل التوافقي الأول (التجاه سنوي مع حد واحد أعلى وأدنى للأمطار) معقد كما هو موضح في الشكل ٢٦ بسبب تعقيد وتباين سطح المنطقة. ولنغرض مناقشة شكل الزاوية للتحليل الأول، يمكن تقسيم المنطقة إلى أربع مناطق هي: منطقة ساحل البحر الأحمر، والتلال الجبلية، وجبال عسير، والهضاب.

- منطقة ساحل البحر الأحمر :

يختلف شكل الزاوية (Phase Angle) على طول ساحل البحر الأحمر من شهر سبتمبر إلى فبراير. وتسقط الكمية العظمى من الأمطار على طول ساحل البحر الأحمر في فصل الخريف والشتاء. ويختلف وقت هطول الكمية العظمى من الأمطار على طول ساحل البحر الأحمر من محطة لأخرى، وكذلك يختلف حسب الموقع، فالمحطات التي تقع بالقرب من البحر الأحمر يختلف وقت نزول الكمية العظمى عليها من الأمطار عن المحطات المتعصقة في اليابسة وتبعد قليلا عن البحر. فمثلا الوقت الذي تسقط فيه الكميات العظمى من الأمطار على محطة القوز ٨ ١٧ شمالا و ٢٧ ٤٢ شرقا) تقريبا هو ٢١ نوفمبر، بينما يكون وقت نزوله على محطة قحمة (٠ ١٨ شمالا، ٤٠ ٤١ شرقا) هو ١٣ يناير. ووقت نزول الكمية العظمى من الأمطار على محطة مخوش (٣٨ ١٨ شمالا، ١٩ ٤١ شرقا) ومحطة كباد (٤٤ ١٨ شمالا و ٤١ ٢٤ شرقا) ومحطة شواق (٥٩ ١٩ شمالا و ٣٧ ٤٠ شرقا) هو شهر ديسمبر. وفي الشمال

Phase Angles of the First Harmonic



شكل (٢٦) شكل الزاوية (phase angle) للتحليل التوافقي الأول

الغربى من ساحل البحر الأحمر، تهطل الكمية العظمى من الأمطار على محطة ليث (٩٠
٢٠ شمالا و ١٧٠ ٤٠ شرقا)، ومحطة مجرمة فى شهر يناير.

وبالإضافة إلى الاختلاف فى وقت نزول الكمية العظمى من الأمطار بالقرب من البحر
الأحمر، فإن وقت نزولها يختلف كلما اتجهنا شرقا نحو الداخل من البحر الأحمر، فمثلا،
وقت هطول الكمية العظمى من الأمطار على سوق عيبان (١٩٠ ١٧ شمالا و ٤٣٢
شرقاً) هو شهر نوفمبر، وعلى محطة وادى دوقة هو شهر ديسمبر. ونلاحظ أنه كلما
اتجهنا شرقا، فإن وقت هطول الكمية العظمى من الأمطار على المنطقة يكون تقريبا فى
شهر سبتمبر ونوفمبر (الشكل ٢٦).

- متطلة التلال الجبلية :

يختلف شكل الزاوية (Phase Angle) للكمية العظمى من الأمطار الساقطة على
طول التلال الجبلية لجبال عسير من محطة لأخرى (انظر شكل ٢٦). وفى الجزء الشمالى
من التلال الجبلية، يكون وقت هطول الكميات العظمى من الأمطار فى فصل
الخريف والشتاء، كالمناطق الساحلية. مثلا، تسقط الكميات العظمى من الأمطار على
محطة اضم (٢٧٠ ٢٠ شمالا و ٥٤٠ ٤٠ شرقاً) فى شهر نوفمبر، وعلى محطة المنطق
(٩٠ ٦٠ شمالا و ١٧٠ ٤١ شرقاً) فى شهر فبراير، وتسقط على محطة الزندة (٤٠ ١٩
شمالا و ٣٢٠ ٤١ شرقاً) ومحطة الفانجة (١٩٠ ٢٨ شمالا و ٣٦٠ ٤١ شرقاً) فى شهر
فبراير.

وفى وسط التلال الجبلية، تسقط الكمية العظمى من الأمطار تقريبا فى فصل
الصيف (يونيو - أغسطس). فعلى سبيل المثال، وقت نزول الكمية العظمى من الأمطار
على محطة تريان (٢٦٠ ١٩ شمالا و ٥٠٠ ٤١ شرقاً) ومحطة الماجدة (- ١٩٠
شمالا و ٥٠٠ ٤١ شرقاً) ومحطة الخوش (- ١٩٠ شمالا و ٥٣٠ ٤١ شرقاً) والبارك (٣٢٠
١٨ شمالا و ٢٢٠ ٤٢ شرقاً)، ومحطة طرغوش (٢٨٠ ١٨ شمالا و ٤٢٠ ٤٢ شرقاً)،
وعلى محطة محايل (٢٢٠ ١٨ شمالا و ٢٢٠ ٤٢ شرقاً) فى شهر يوليو، بينما تسقط
على محطة الثلوث (١٦٠ ١٩ شمالا و ٤٨٠ ٤١ شرقاً) فى شهر إبريل. وفى التلال
الجبلية الجنوبية، تسقط عليها الكميات العظمى من الأمطار فى شهر يوليو وأغسطس.
ولكن المحطات التى تقع على الحافة الغربية من التلال الجبلية، تسقط عليها الأمطار فى
شهر سبتمبر (شكل ٢٦).

- جبال عسير :

يختلف وقت نزول الكمية العظمى من الأمطار على شمال جبال عسير عنه في الأجزاء الجنوبية منها (الشكل ٢٦). وفي الجزء الشمالي من جبال عسير، يكون وقت هطول الكمية العظمى من الأمطار هو آخر شهر يناير وأول شهر فبراير. وعلى سبيل المثال، وقت سقوط الكمية العظمى من الأمطار على ترعة ثقيف (٤٥.٢ شمالاً و ٥١.٤ شرقاً) وعقبة بنى مالك يكون في شهر فبراير. وفي وسط جبال عسير، يكون وقت نزول الكمية العظمى من الأمطار في شهر مارس (الشكل ٢٦)، وكما هو واضح من الشكل ٢٦ فإنها تكون على شكل شريط ضيق يمتد على طول الجبال. وفي الجزء الجنوبي من جبال عسير، يكون وقت سقوط الكمية العظمى من الأمطار في شهرى إبريل ومايو. وإلى الشرق من جبال عسير، تسقط الكمية العظمى من الأمطار على الهضبة في شهر إبريل (الشكل ٢٦).

ومن مقارنة وقت سقوط الكمية العظمى من الأمطار على المنطقة والتي تم الحصول عليها بتطبيق واستخدام التحليل التوافقي الأول بوقت سقوط الكمية العظمى للأمطار على المنطقة من واقع سجل المطر الذي تم تسجيله بواسطة محطات تسجيل المطر في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، نلاحظ أن شكل الزاوية للتحليل التوافقي الأول (Phase Angle of First Harmonic) وخمسين محطة تطابق وقت نزول الكمية العظمى من الأمطار كما هو موجود في سجل المطر (الجدول ١١). وأن شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الأول لتسع وأربعين محطة يختلف قليلاً عن وقت سقوط الكمية العظمى للأمطار والموجود في سجل المطر. ويتراوح اختلاف تقدير وقت سقوط الكمية العظمى للأمطار الساقطة والتي تم الحصول عليها باستخدام التحليل التوافقي الأول عن وقت نزول الكميات العظمى من الأمطار الموجودة في سجل المطر ما بين $1 \pm$ - ٢٧ يوماً. وتختلف مقادير التحليل التوافقي الأول عن السجل ما بين $1 \pm$ - ١٠ أيام في ست عشرة محطة، وما بين $11 \pm$ - ٢٧ يوماً في تسع عشرة محطة (جدول ١٢).

جدول (١١) شكل الزاوية (Phase Angle) لتحليل التوافقى الأول و المطابقة لوقت سقوط الكميات العظمى من الأمطار الموجودة فى السجل

المحطة	رقم المحطة	وقت سقوط الكمية العظمى من الأمطار
أبو جينة	B 208	إبريل
المعيق	B 220	إبريل
الفرازة	A 311	إبريل
الغرة	A 303	مايو
الخرجة	A 104	إبريل
الحيفة	B 005	إبريل
المعنة	B 209	إبريل
آل تاجر	A 108	إبريل
القرعاء	A 110	إبريل
الجوف	A 105	إبريل
طريق المعيق	TA 340	إبريل
عمرة	SA 104	أغسطس
الزندة	J 127	يناير
بنى مالك	A 112	مايو
بنى سار	A 113	إبريل
بشر عسكر	N 308	إبريل
بيشة	B 004	إبريل
وادي ضد	SA 129	أغسطس
وادي الدوقة	J 139	ديسمبر
الفاتحة	J 131	يناير
قحمة	SA 115	يناير
الفاط	SA 139	يناير
فلود	J 124	مايو
الحنى	A 201	ديسمبر
هروب	SA 126	مايو
عبالة	A 206	سبتمبر
جبل صلح	SA 111	إبريل
الأجاعة	B 110	أغسطس
مشرفة	A 326	إبريل
مخوش	SA 117	إبريل
سجربة	J 122	ديسمبر
مجران	N 001	ديسمبر
قفل	SA 136	إبريل
		أغسطس

تابع جدول (١١)

ديسمبر	T 129	سوق الأحد بنى زيد
إبريل	A 117	صبح
إبريل	B 129	صبح
أغسطس	SA 137	سامطة
مايو	A 118	السودة
مايو	A 203	السودة
إبريل	A 119	سرات عبيدة
إبريل	SA 121	سوق الثلوث
مارس	B 113	تغليت
إبريل	A 121	تقنية
مارس	A 120	تومة
مايو	A 128	تيهان
مايو	A 123	تندحة
إبريل	B 114	تبالة
إبريل	B 222	رنية العليا
إبريل	N 103	ظهران الجنوب

أيضاً أوضحت النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام التحليل التوافقي الأول بأن وقت نزول الكمية العظمى للأمطار لثمان عشرة محطة يختلف عن وقت نزول الكمية العظمى للأمطار الموجودة في السجل، ويتراوح الاختلاف ما بين $\pm 1 - 2$ شهراً (جدول ١٣).

جدول (١٢) شكل الزاوية للتحليل التوافقي الأول والتي تختلف

قليلا ($\pm 1-27$ يوما) عن وقت سقوط الكمية العظمى

للأمطار الموجودة في السجل

عدد الأيام	الرقم	المحطة
١٢ +	J 119	أضم
٧ +	A 106	علكم
٢ +	B 101	الأجاعة
٣ +	A 213	المعلا
١٢ +	B 001	المنطق
٣ -	A 107	الوين
٢٧ +	A 210	الشعف
١٥ -	J 126	المخوارة
٤ +	A 216	عشران
١٦ +	TA 343	الباحة
٨ +	B 003	يلجرشي
١٢ -	SA 105	البارك
٦ -	A 127	بلسمر
٢٠ -	SA 110	نجيل فيفا
٢٠ -	J 137	حصن الحيس
١٥ -	SA 108	قرن البحر
١٩ +	J 107	غميقة
١١ +	S 142	محطة حلي
٩ -	SA 004	كياذ
٢ +	J 108	ليث
٢ +	SA 001	ملاكي
١٥ -	J 001	الظليلف
٢٧ -	SA 113	معايل
٢ -	TA 238	قعا بني حارث
٧ +	SA 118	سوق الأحد
١١ +	A 207	سرات عبيدة
٥ -	J 120	شوانق
٧ -	SA 140	سوق عيبان
٢٠ -	SA 138	طوقوش
١٩ -	A 211	تنومة
١ +	SA 120	ترهبان
٢٠ +	TA 228	ترعة ثقوف
٢٠ -	TA 215	وادي تربة
٢٤ +	SA 204	وادي بيش
٤ -	A 124	الزهرة

جدول (١٣) شكل الزاوية للتحليل التوافقي الأول والتي تختلف قليلا

(± ١ - ٢ شهرا) عن وقت سقوط الكمية العظمى للأمطار

الموجودة في السجل

عدد الشهور	رقم المحطة	المحطة
٢ +	A 001	أبها
١ +	SA 101	أبو عريش
٢ -	SA 102	الدرى
١ -	B 217	أدومة
٢ -	A 103	الأمير
٢ -	A 306	انقرة
٢ -	SA 125	القوز
١ -	B 002	التماص
٢ -	TA 219	بنى سار
١ +	SA 107	ضمد
١ -	J 308	عشيلة
١ -	J 121	هرجاب
١ -	SA 133	الجادية
١ -	SA 003	الحوش
١ -	SA 122	المجاردة
١ -	SA 116	رجال المع
١ -	B 216	تلوث بنى عامر
١ +	B 212	وادي فيق

التباين للتحليل التوافقي الثاني: (Variance of The Second Harmonic)

يصف التحليل التوافقي الثاني الاتجاه شبه السنوي للأمطار، وله حدان أعلى وأدنى للأمطار. ويبلغ التباين الذي تم الحصول عليه باستخدام التحليل التوافقي الثاني ما بين (٠.٠ - ٤٩٪) ومجموع مقدار التباين للتحليل التوافقي الثاني أقل من مجموع التباين للتحليل التوافقي الأول، ويستثنى من ذلك التباين لإحدى عشرة محطة فإن مقدار التباين لهذه المحطات أكبر باستخدام التحليل التوافقي الثاني. ويعتبر

التحليل التوافقي الثاني في بعض المناطق الصغيرة أهم من التحليل التوافقي الأول. وعلى سبيل المثال، بلغ مقدار التباين لمحطة حصن الحيس (٣٩٪) للتحليل التوافقي الثاني، بينما بلغ مقداره لنفس المحطة باستخدام التحليل التوافقي الأول (٨٪) فقط، وبلغ التباين لمحطة نجران باستخدام التحليل التوافقي الثاني (٤٢٪) بينما بلغ التباين للمحطة باستخدام التحليل التوافقي الأول (٩٪). أيضا، بلغ مقدار التباين لمحطة انفاط باستخدام التحليل التوافقي الأول (٣٩٪) بينما مقدار التباين الذي تم الحصول عليه باستخدام التحليل التوافقي الأول لنفس المحطة (١٤٪).

ويمكن تقسيم التباين الذي تم الحصول عليه باستخدام التحليل التوافقي الثاني إلى أربع مستويات : من ٠ - ١٥ ، ١٦ - ٣٠ ، ٣١ - ٤٥ و ٤٦ - ٦٠ (انظر الشكل ٢٧). وبين الشكل ٢٧ أن المنطقة الأولى (١ - ١٥٪) تمتد من الشمال إلى الجنوب وتشمل التلال الجبلية وجبال عسير، والجزء الغربي من الهضبة. وتغطي المنطقة الثانية (١٦ - ٣٠٪) الجزء الشرقي من الهضبة وساحل البحر الأحمر ومنطقة صغيرة في الجنوب. أما المنطقة الثالثة (٣١ - ٤٥٪) فتشمل المنطقة الوسطى من ساحل البحر الأحمر. والمنطقة الرابعة والأخيرة (٤٦ - ٦٠٪) تشمل فقط محطة واحدة وهي محطة شواق حيث بلغ مقدار التباين للتحليل التوافقي الثاني (٤٩٪).

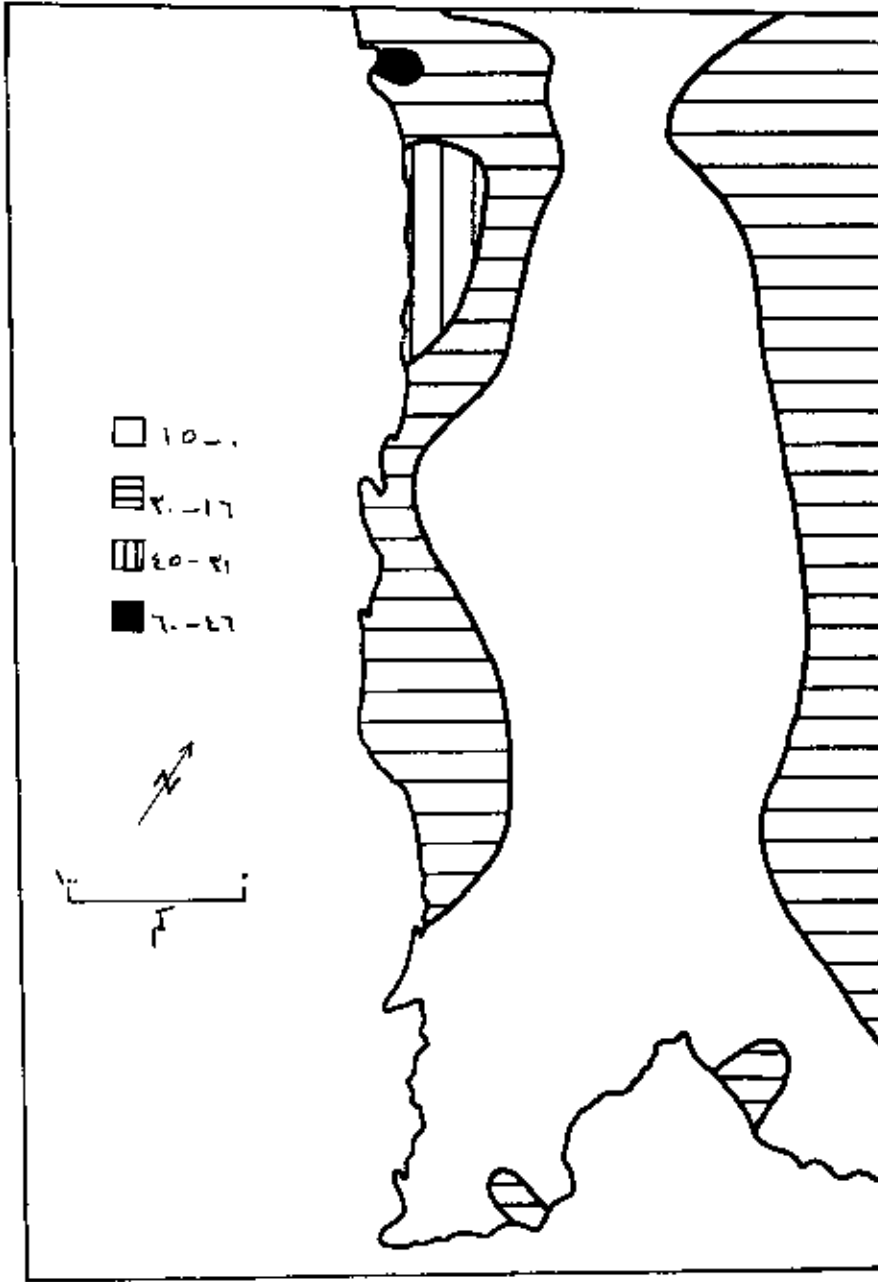
شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الثاني :

(Phase Angle of the Second Harmonic)

يدل شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الثاني على وقت هطول الكمية العظمى للأمطار. ويصف التحليل التوافقي الثاني الاتجاه شبه السنوي للأمطار في المنحنى الأصلي وله حدان عظيميان وصغيران. ويتصف شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الثاني بأنه معقد كما يتبين من الشكل ٢٨ - ولتسهيل المناقشة قسمت المنطقة إلى أربع مناطق هي : ساحل البحر الأحمر، والتلال الجبلية، وجبال عسير، والهضبة.

- ساحل البحر الأحمر :

تسقط الكمية العظمى من الأمطار على الشمال الغربي من منطقة ساحل البحر الأحمر في شهر ديسمبر و شهر يونيو، وعلى غرب الساحل في شهر يناير ويوليو، ما



شكل (٢٧) التباين (variance) نتيجة للتحليل التوافقي الثاني

عند محطة الكياد (٤٤° ١٨ شمالاً و ٢٤° ٤١ شرقاً) ومحطة مغوش (٣٨° ١٨ شمالاً و ١٩° ٤١ شرقاً) حيث تسقط الكميات العظمى من الأمطار على هذين المحطتين في شهري ديسمبر ويونيو. وفي الجنوب الغربي من منطقة ساحل البحر الأحمر تسقط أكبر كمية للأمطار في شهري فبراير وأغسطس.

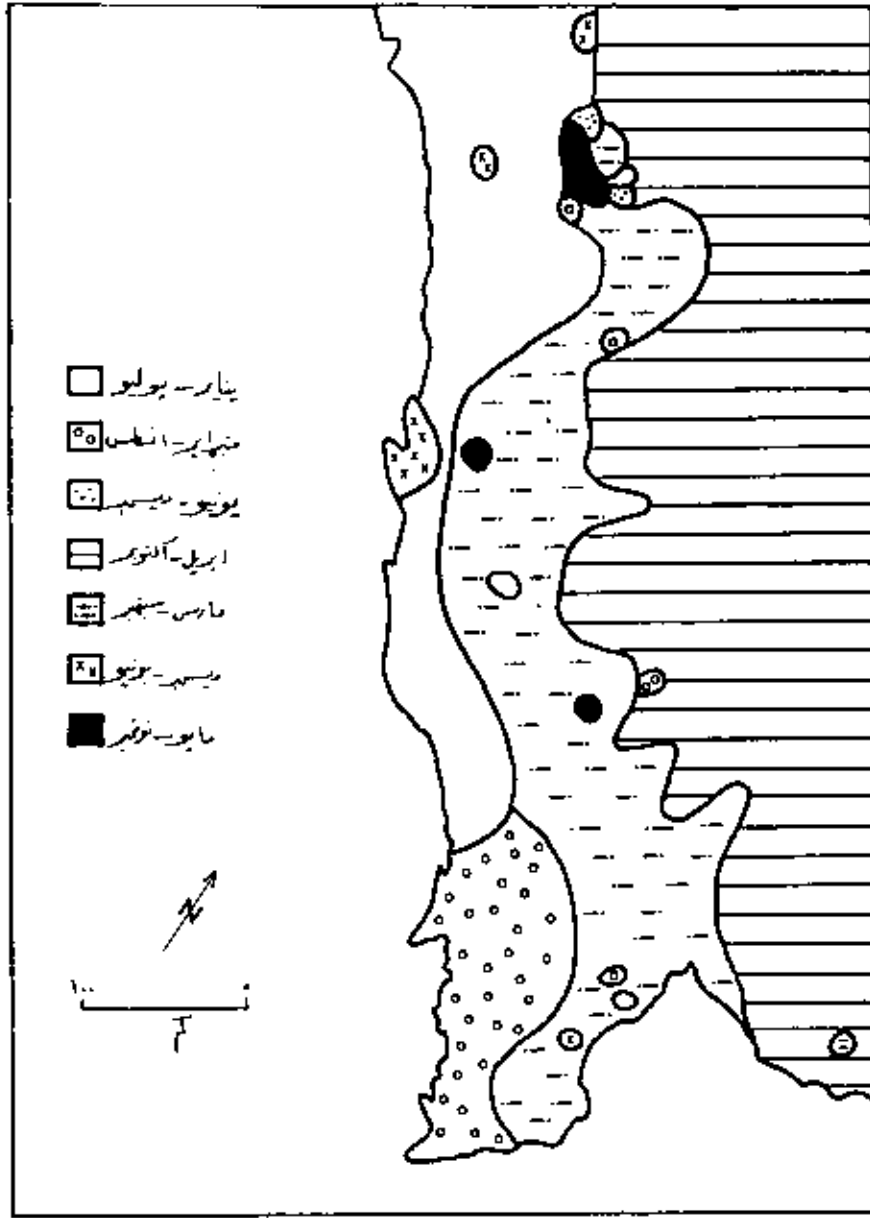
- التلال الجبلية :

يختلف شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الثاني في منطقة التلال الجبلية من محطة لأخرى (الشكل ٢٨). ووقت هطول الكمية العظمى للأمطار على محطة أضم (٢٧° ٢٠ شمالاً و ٥٤° ٤٠ شرقاً) هو شهري فبراير وأغسطس. بينما يختلف وقت نزول الكمية العظمى للأمطار على محطة حصن الحيس (٥٨° ١٩ شمالاً و ٢٠° ٤١ شرقاً) ومحطة قلوة (٥٧° ١٩ شمالاً و ١٧° ٤١ شرقاً) عن وقت نزوله على محطة أضم على الرغم من أنها تقع قريباً في نفس الموقع، فوقت نزول الكمية العظمى للأمطار على محطة حصن الحيس هو شهر ديسمبر وشهر يونيو، بينما يكون على محطة قلوة في شهر مايو. أيضاً، يلاحظ أن وقت هطول الكمية العظمى للأمطار على محطة مغواة (٤٦° ١٩ درجة شمالاً و ٢٦° ٤١ شرقاً) هو شهري فبراير وأغسطس.

وفي الشمال الأوسط ووسط التلال الجبلية، تسقط الكميات العظمى من الأمطار في شهري مايو ونوفمبر وشهري إبريل وأكتوبر (الشكل ٢٨). وفي الجنوب الغربي من التلال الجبلية، تسقط الكميات العظمى من الأمطار تقريباً في شهري مارس وسبتمبر مع بعض الاستثناءات. وعلى سبيل المثال يكون وقت هطول الكميات العظمى من الأمطار على محطة سوق عيبان (١٩° ١٧ شمالاً و ٢٠° ٤٣ شرقاً) في شهري مايو ونوفمبر وعلى محطة جبل فيفيا (١٦° ١٧ شمالاً و ٠٨° ٤٣ شرقاً) تسقط الكمية العظمى من الأمطار في شهري يناير ويوليو. وتسقط الكميات العظمى للأمطار على جبل صلح (٣° ١٧ شمالاً و ٠٥° ٤٣ شرقاً) في شهري ديسمبر ويونيو.

- جبال عسير :

يوضح الشكل ٢٨ شكل الزاوية (Phase Angle) وقت سقوط الكمية العظمى من الأمطار في منطقة جبال عسير. ويلاحظ من الشكل ٢٨ أن وقت هطول الكمية العظمى من الأمطار على الأجزاء الشمالية من جبال عسير غير متجانس، شبيه بمنطقة التلال



شكل (٢٨) شكل الزاوية (phase angle) لتحليل التوافق الثاني

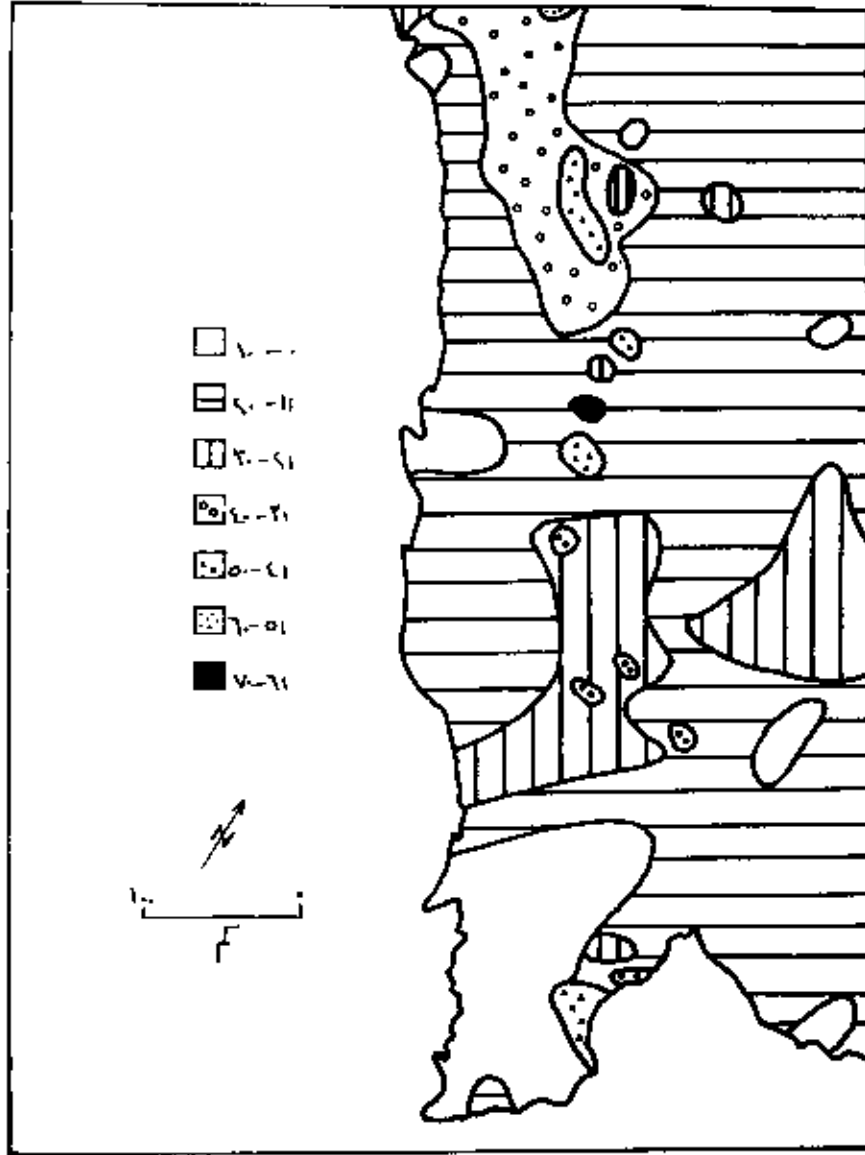
الجبالية. فعلى سبيل المثال، تسقط الكمية العظمى من الأمطار على محطة ترعة ثقيف (٤٥. ٢٠ شمالا و ٥١. ٤٠ شرقا) في شهرى يونيو وديسمبر، وعلى محطة بنى سار (٧. ٢٠ شمالا و ٢٦. ٤١ شرقا) تسقط أكبر كمية للأمطار في شهرى مارس وسبتمبر وعلى محطة الباحة (٤٤. ١٩ شمالا و ٣٥. ٤١ شرقا) تسقط الكمية الكبرى من الأمطار في شهرى يونيو وديسمبر. وفي الجزء الجنوبي من جبال عسير. نلاحظ أن الكمية العظمى من الأمطار تسقط في شهرى مارس وسبتمبر (الشكل ٢٨).

- الهضبة :

يلاحظ من الشكل ٢٨ تجانس شكل الزاوية (Phase Angle) للحد الأعلى للأمطار المساقطة على الهضبة والأجزاء الشرقية من جبال عسير. وتسقط الكميات العظمى من الأمطار على طول الهضبة وشرق جبال عسير في شهرى إبريل وأكتوبر.

التباين للتحليل التوافقى الثالث : (Variance of the Third Harmonic)

يصف التحليل التوافقى الثالث اختلاف الأمطار كل أربعة شهور في منحنى الأمطار المسجلة. ويبلغ مقدار التباين الذى تم الحصول عليه باستخدام التحليل التوافقى الثالث من (١ - ٦٦٪) كما هو فى الشكل ٢٩. ويمكن تقسيم التباين للتحليل التوافقى الثالث الى ٧ مناطق هى : ٠ - ١٠ ، ١١ - ٢٠ ، ٢١ - ٣٠ ، ٣١ - ٤٠ ، ٤١ - ٥٠ ، ٥١ - ٦٠ و ٦١ - ٧٠٪. وتشمل المنطقة الأولى (٠ - ١٠٪) مناطق عديدة من المنطقة الجنوبية الغربية للمملكة، وتشمل المحطات التى تقع فى الجنوب الغربى من ساحل البحر الأحمر والمحطات التى تقع على الحافة الجنوبية للتلال الجبلية، هذا إلى جانب بعض المناطق الصغيرة حيث ينخفض مقدار التباين للتحليل التوافقى الثالث (الشكل ٢٩). والمنطقة الثانية للتباين (١١ - ٢٠٪) تشمل مناطق عديدة من المنطقة الجنوبية الغربية، وتوجد على طول منطقة ساحل البحر الأحمر، وفى التلال الجبلية وجبال عسير وفى الهضبة. والمنطقة الثالثة للتباين (٢١ - ٣٠٪) تشمل منطقتين وهما : الجزء الجنوبي من جبال عسير، ووسط الهضبة وتشمل أيضا مناطق أخرى صغيرة. أما المنطقة الرابعة للتباين (٣١ - ٤٠٪) فتشمل بشكل رئيسى الأجزاء الشمالية الغربية من التلال الجبلية ومناطق أخرى صغيرة على طول جبال عسير، وتشمل المنطقة الخامسة (٤١ - ٥٠٪) عدة مناطق على طول التلال الجبلية وجبال عسير.



شكل (٢٩) التباين (variance) نتيجة لتحليل التوافق الثالث

وتشمل المنطقة السادسة من التباين (٥١ - ٦٠٪) محطة واحدة تقع على التلال الجبلية لجبال عمير وهي محطة أضم، وتقع إلى الشمال من التلال الجبلية ويبلغ مقدار التباين عندها ٥٢٪. أما المنطقة السابعة للتباين والأخيرة (٦١ - ٧٠٪) فتشمل محطة واحدة فقط وهي محطة لجران حيث بلغ مقدار التباين (٦٦٪).

شكل الزاوية للتحليل التوافقي الثالث : Phase Angle of the Third Harmonic

يوضح الشكل ٣٠ شكل الزاوية (Phase Angle) للتحليل التوافقي الثالث. ويبين الشكل ٣٠ أن وقت هطول الكمية العظمى للأمطار على الجزء الشمالي من المنطقة الجنوبية الغربية للمملكة هو شهر ديسمبر. إبريل وشهر أغسطس. ويلاحظ أن بعض المحطات التي تقع في الشمال يكون وقت سقوط الكمية العظمى من الأمطار عليها في شهر إبريل، أغسطس، وشهر ديسمبر.

وفي الجزء الأوسط من ساحل البحر الأحمر وفي وسط التلال الجبلية، يكون وقت نزول الكمية العظمى من الأمطار في شهر يناير ومايو وشهر سبتمبر. وفي بعض المناطق من جبال عمير والتلال الجبلية، تهطل الكميات العظمى من الأمطار في شهر ديسمبر وإبريل وأغسطس. وفي الجنوب والشرق من جنوب غرب المملكة، تسقط الكميات العظمى من الأمطار تقريبا في شهر إبريل، وأغسطس وديسمبر.

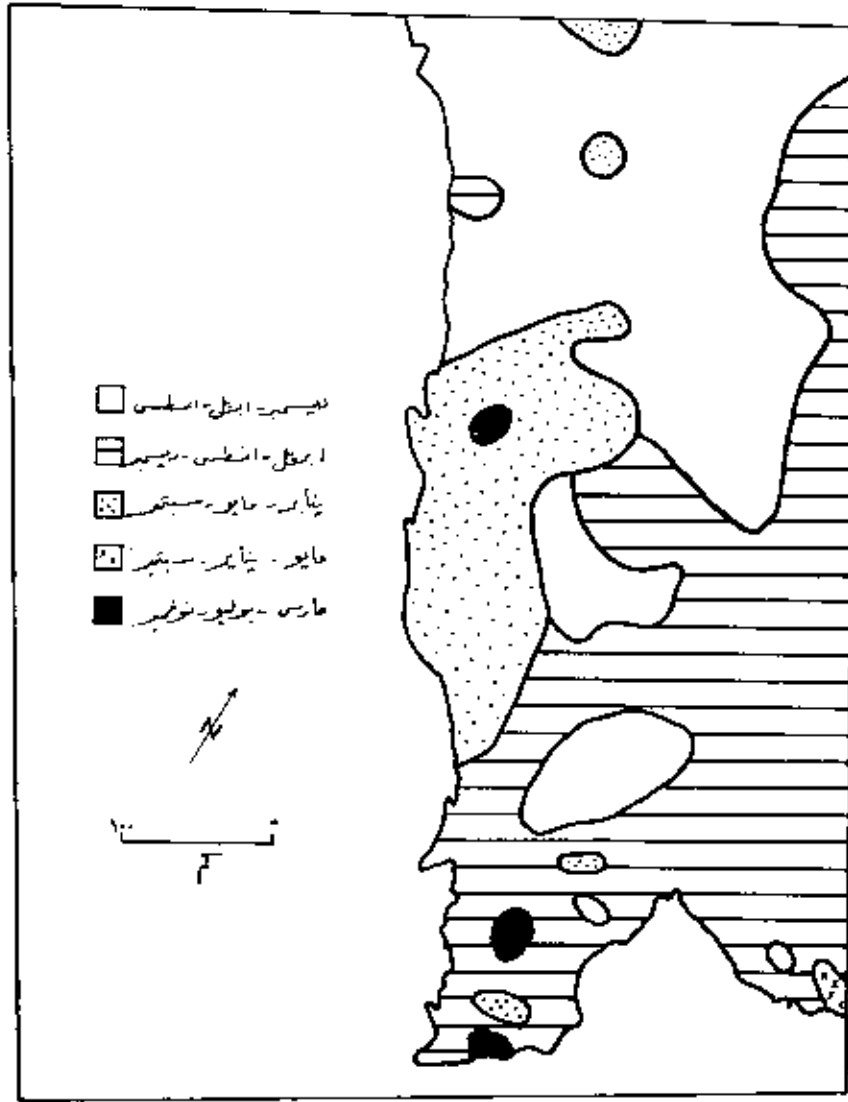
ويتضح من الشكل ٣٠ أن وقت نزول الكمية العظمى للأمطار، على الجنوب الغربي من المملكة معقد جدا، وأن الكميات العظمى للأمطار تسقط في أوقات مختلفة ويرجع هذا التباين إلى تأثير العوامل الطبيعية المحلية المختلفة.

ملخص نتائج التحليل التوافقي :

يبين المدى (Amplitude) والتباين (Variance) اللذان تم الحصول عليهما بتطبيق واستخدام طريقة التحليل التوافقي أنه لا يوجد أسلوب تحليلي توافقي مناسب تماما لمنحنى الأمطار ويصف توزيع الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية. ويمكن إرجاع ذلك إلى سببين رئيسيين هما :

١- تأثير المنطقة بأكثر من نوع ونظام مناخي.

٢- عدم تجانس وتشابه طوبوغرافية وسطح المنطقة.



شكل (٣٠) شكل الزاوية (Phase angle) للتحليل التوافقي الثالث

وقد أوضحت نتائج التحليل والدراسة أن التحليل التوافقي الأول يشرح (٤٦٪) من مجموع التباين، والتحليل التوافقي الثاني يشرح (١٣٪)، والتحليل التوافقي الثالث (٢١٪)، والتحليل التوافقي الرابع (٩٪)، والتحليل التوافقي الخامس (٦٪)، والتحليل التوافقي السادس يشرح فقط (٥٪) من التباين الذي تم الحصول عليه باستخدام التحليل التوافقية الستة.

وتشرح التحليل التوافقية الثلاثة الأولى (الأول، الثاني والثالث) (٨٠٪) من مجموع التباين. وبينما تشرح التحليل التوافقية الثلاثة الأخيرة (الرابع، الخامس والسادس) (٢٠٪) من مجموع التباين. وتوضح نتائج المدى (Amplitude) والتباين (Variance) للتحليل التوافقية الستة أن التحليل التوافقي الأول هو أهم التحليل التوافقية الستة، ويحتل التحليل التوافقي الثالث المركز الثاني، بينما يحتل التحليل التوافقي الثاني المركز الثالث في الأهمية. أيضا أوضحت النتائج أن ثمان ومنبعين من محطات تسجيل المطر المنتشرة في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة والمستخدمة في الدراسة تتجه فيها الأمطار نحو الاختلاف السنوي وأن منحني الأمطار له نهايتان كبيرى وصغرى. وأن ست محطات تكون الأمطار فيها شبه سنوية وأن منحني الأمطار له نهايتان كبيران ونهايتان صغيران وتسع عشرة محطة تختلف فيها الأمطار كل أربعة شهور، ومحطة واحدة تختلف فيها الأمطار كل شهرين.

علاقة الأمطار بالمرتفعات في جنوب غرب المملكة :

تزيد كمية الأمطار على وجه العموم، كلما زاد ارتفاع المنطقة. وتختلف علاقة الأمطار بالمرتفعات من محطة لأخرى، ومن شهر لآخر، ومن فصل لآخر بسبب اختلاف تضاريس وعدم تجانس طبوغرافية المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية. وكذلك إلى تأثير المنطقة بأكثر من نوع ونظام مناخى. ففي فصل الصيف، تقع المنطقة تحت تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية وفي الشتاء تتأثر المنطقة بمنخفض البحر المتوسط. وفي فصل الربيع، تقع المنطقة تحت تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية، وفي فصل الخريف تقع المنطقة تحت تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية ومنخفض البحر المتوسط. وإلى جانب العوامل المناخية السابقة (الرياح الموسمية الجنوبية الغربية، والرياح الموسمية الجنوبية الشرقية، ومنخفضات البحر المتوسط) تتأثر المنطقة الجنوبية الغربية وخاصة ساحل البحر الأحمر والسفوح الغربية من الجبال بمنخفض البحر الأحمر من شهر أكتوبر

- إلى شهر مايو، ونسيم البحر خلال فصل الربيع والخريف.

ونظرا لتباين واختلاف طوبوغرافية المنطقة، وعدم تشابه موقع محطات تسجيل الأمطار، واختلاف مصدر الرطوبة، فقد تم تقسيم محطات تسجيل الأمطار الموجودة في المنطقة الجنوبية الغربية لغرض دراسة وتحليل مدى علاقة الأمطار بالمرتفعات إلى منطقتين هما :

- ١- المحطات التي تقع غرب جبال عمسير وتشمل المحطات التي تقع على التلال الجبلية وعلى ساحل البحر الأحمر ويبلغ عددها خمس وأربعون.
- ٢- المحطات التي تقع على السفح الشرقي لجبال عمسير وتشمل المحطات التي تقع على الجبال والهضبة ويبلغ عددها ثمان وخمسين محطة. وفيما يلي مناقشة علاقة الارتفاع بالمتوسطات الشهرية، والفصلية، والسوية للأمطار في المنطقتين (ملحق ٢).

العلاقة بين متوسطات الأمطار الشهرية والارتفاعات

(محطات ساحل البحر الأحمر والتلال)

لقد أوضحت نتائج دراسة وتحليل علاقة متوسطات الأمطار الشهرية بالارتفاعات لمنطقة ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية أن معامل التحديد (٢)

R^2 Coefficient of determination للعلاقة ما بين متوسطات الأمطار الشهرية والارتفاعات خمس وأربعين محطة على العموم جيد أي أن هناك علاقة ما بين كمية الأمطار الساقطة والارتفاعات في المنطقة وتزداد كمية الأمطار بزيادة الارتفاعات. ويبلغ معامل التحديد (٢) لاثني عشر شهرا ما بين (٠.١٣) في شهر أكتوبر إلى (٠.٥٧) في شهر مارس (انظر الجدول ١٤) ويوضح الجدول ١٤ بأن قيمة (٢) مرتبط بالارتفاع. باستثناء شهر يناير إذ بلغ قيمة (٢) (٠.١٦) ولشهر أكتوبر (٢) = ٠.١٣ وتبلغ قيمة (٢) لشهر فبراير، ومارس، وأبريل، ومايو، ويونيه ما بين (٠.٥٢) و (٠.٥٧). وتفيد النتيجة لهذه الشهور الخمسة، بأن أكثر من (٥٠٪) من الأمطار في هذه الشهور تحدث نتيجة لتأثير الارتفاعات فقط. أيضا، تفيد النتائج أن

العلاقة بين الأمطار في شهر أغسطس والارتفاعات جيدة، ويبلغ معامل التحديد (R²) (٠,٤٥). وعلى العموم، فإن الأمطار على طول ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية تزيد كميتها كلما زاد الارتفاع (الملحق ٢).

جدول (١٤) علاقة متوسطات الأمطار الشهرية والسنوية بالارتفاعات

(محطات منطقة البحر الأحمر والتلال الجبلية)

الارتفاع	(قيمة R ²)	الشهر
٠,١٦		يناير
٠,٥٣ *		فبراير
٠,٥٧ *		مارس
٠,٥٣ *		إبريل
٠,٥٥ *		مايو
٠,٥٢ *		يونيو
٠,٢٩ *		يوليو
٠,٤٥ *		أغسطس
٠,٣١ *		سبتمبر
٠,١٣		أكتوبر
٠,٣٣ *		نوفمبر
٠,٢٢ *		ديسمبر
٠,٦٥ *		المعدل السنوي

*Significant at the 0.05 Level

مستوى الدلالة هو ٠,٠٥

العلاقة بين متوسطات الأمطار الشهرية والارتفاعات (محطات الجبال والهضبة) :

أوضحت نتائج التحليل بأن العلاقة بين متوسطات الأمطار الشهرية والارتفاعات لثمان وخمسين محطة على طول الجبال والهضبة تختلف من شهر لآخر، ويبلغ معامل التحديد (R²) ما بين (٠,١٣) و (٠,٦٠) (الجدول ١٥).

وتوجد علاقة بين المتوسط الشهري للأمطار خلال شهر مايو، وشهر يوليو، وشهر

أغسطس والارتفاعات، ويبلغ معامل التحديد (٢) لهذه الشهور كما يلي : شهر مايو (٠.٦٠) و (٠.٥٤) لشهر يوليو، و (٠.٢٤) لشهر أغسطس. ومن النتائج التي تم الحصول عليها يتبين لنا أن الأمطار على طول المرتفعات والهضبة تزيد كلما زاد الارتفاع في معظم شهور السنة.

جدول (١٥) علاقة متوسطات الأمطار الشهرية والسنوية بالارتفاعات

لمحطات منطقة الجبال والهضبة.

(قيمة ر٢)

الارتفاع	الشهر
٠.١٧	يناير
٠.١٨ *	فبراير
٠.٣٧ *	مارس
٠.٢٨ *	إبريل
٠.٦٠ *	مايو
٠.٢٨ *	يونيو
٠.٥٤ *	يوليو
٠.٤٤ *	أغسطس
٠.٢٦ *	سبتمبر
٠.١٩	أكتوبر
٠.٣٢ *	نوفمبر
٠.١٣ *	ديسمبر
٠.٥٣ *	المعدل السنوي

*Significant at the 0.05 Level

مستوى الدلالة هو ٠.٠٥

علاقة الأمطار الفصلية بالارتفاعات :

تختلف كمية الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة من فصل لآخر، نتيجة لتأثيرها بعدة عوامل مناخية مختلفة. مثلاً، في فصل الصيف تقع المنطقة تحت تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية، وخلال فصل الشتاء، تتأثر المنطقة بمنخفض البحر المتوسط. وفي فصل الربيع، تقع المنطقة تحت تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الشرقية

ومنخفض البحر الأبيض المتوسط. هذا إلى جانب تأثير العوامل المحلية المختلفة كتقسيم البحر. وقد قسمت المحطات إلى قسمين : -

١- المحطات التي تقع على ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية.

٢- المحطات التي تقع على الجبال والهضاب. وتم فحص وتحليل علاقة الأمطار الفصلية بالارتفاعات في كلا المنطقتين.

علاقة المتوسطات الفصلية للأمطار بالارتفاعات (محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية)

تقد أوضحت التحاليل أنه توجد علاقة وارتباط ما بين الأمطار الفصلية والارتفاعات في منطقة ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية. ويبلغ معامل التحديد (٢) لفصل الصيف والخريف والشتاء وفصل الربيع ما بين (٠,٣٢) و (٠,٦٠) (انظر الجدول ١٦). ويلاحظ من الجدول ١٦ أن الأمطار الفصلية في منطقة البحر الأحمر والتلال الجبلية تزيد كميتها مع زيادة الارتفاع ولكن كمية الأمطار تختلف من فصل لآخر. ويشرح الارتفاع وحده (٦٠٪) من توزيع الأمطار في منطقة البحر الأحمر والتلال الجبلية خلال فصل الربيع، و (٤٩٪) في فصل الصيف، و (٣٢٪) لكل من فصلي الخريف والشتاء.

جدول (١٦) علاقة الأمطار الفصلية بالارتفاعات لمنطقة ساحل البحر الأحمر

والتلال الجبلية.

الارتفاع	(قيمة ٢)	الفصل
٠,٤٩ *		الصيف
٠,٣٢ *		الخريف
٠,٣٢ *		الشتاء
٠,٦٠ *		الربيع

*Significant at the 0.95 Confidence Level

مستوى الدلالة هو ٠,٩٥ .

علاقة المتوسطات الفصلية للأمطار بالارتفاعات (محطات الجبال والهضبة) :

لقد أوضح اختيار وفحص متوسطات الأمطار الفصلية لثمان وخمسين محطة والتي تقع على طول الجبال والهضبة، أنه توجد علاقة وارتباط بين متوسط الأمطار الفصلي والارتفاعات في المناطق الجبلية والهضبة (الجدول ١٧). وبلغ مقدار معامل التحديد (٢) بسبب تأثير الارتفاعات (٠,٥٠) لفصل الصيف و (٠,٣٧) لفصل الخريف، و (٠,١٧) لفصل الشتاء، و (٠,٥٥) لفصل الربيع، ومن نتيجة التحليل يتضح أن الارتفاعات تلعب دورا كبيرا في توزيع الأمطار في منطقة الجبال والهضبة، ويشرح الارتفاع وحده (٥٠٪) من توزيع الأمطار في فصل الصيف، و (٥٥٪) من توزيع الأمطار في فصل الربيع، ولكن الارتفاع يلعب دورا أقل في فصلي الخريف والشتاء حيث تقدر نسبته في هذين الفصلين ب (٣٧٪) و (١٧٪) على التوالي.

جدول (١٧) علاقة المتوسطات الفصلية للأمطار بالارتفاعات

(محطات الجبال والهضبة)

(قيمة R٢)

الارتفاع	الفصل
٠,٥٠ *	الصيف
٠,٣٧ *	الخريف
٠,١٧ *	الشتاء
٠,٥٥ *	الربيع

*Significant at the 0.95 Confidence Level

مستوى الدلالة هو ٠,٩٥ .

علاقة المتوسطات السنوية للأمطار بالارتفاعات :

لقد أوضح تحليل المتوسط السنوي للأمطار لمدة عشر سنوات (١٩٧١ - ١٩٨٠)، أنه توجد علاقة وارتباط ما بين المتوسط السنوي للأمطار والارتفاعات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، فكمية الأمطار تزيد مع زيادة الارتفاع في المنطقة. وبلغ معامل التحديد (٢) والذي نتج عن الارتفاع وحده (٦٥٪) للمحطات الواقعة في منطقة ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية، و (٥٣٪) للمحطات الواقعة على المرتفعات

الجبيلية والهضبة.

كما سبق يتضح أن الحصول على نتائج أفضل لعلافة الأمطار بالارتفاعات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة يتطلب تقسيم المحطات الموجودة في المنطقة إلى قسمين : -

١- المحطات التي تقع على ساحل البحر الأحمر والتلال الجبيلية.

٢- المحطات التي تقع على المرتفعات الجبيلية والهضبة بسبب طبيعة سطح وطبوغرافية المنطقة والاتجاه الشمالي الجنوبي لجبال عسير.



الفصل الخامس

خاتمة البحث

يهدف البحث إلى دراسة وتحليل علاقة الأمطار بالارتفاعات والتضاريس وإلى توزيعها في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية. وقد استخدمت عدة أساليب وتحاليل كطريقة خطوط تساوي المطر (Isohyetal Method) والتحليل الترافقي (Harmonic Analysis) وتحليل الارتباط (Correlation Analysis) وتحليل الانحدار (Regression Analysis) لتحليل ودراسة توزيع الأمطار وعلاقتها بالارتفاعات والتضاريس في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، ومن الدراسة والبحث يمكن استخلاص عدة نتائج :

- ١- تتوزع الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة توزيعاً غير متجانس ومتشابه بسبب تأثيرها بعدة عوامل مناخية وطقوغرافية. وتنتشر الأمطار في كل مكان من المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة ولكن يختلف مقدارها من مكان لآخر ومن فصل لآخر. فخلال فصل الشتاء تسقط الكمية العظمى من الأمطار على الأجزاء الشمالية من جبال عسير، نتيجة لكونها مكشوفة وتتأثر بالهواء الشمالي الغربي. وخلال فصل الربيع تهطل أكبر كمية من الأمطار على المرتفعات العالية والهضبة، بينما تكون كمية الأمطار أقل على المناطق المنخفضة في غرب الجبال وعلى طول ساحل البحر الأحمر بسبب تأثير المرتفعات العالية والهضبة بالرياح الموسمية الجنوبية الشرقية والتي تعتبر المصدر الرئيسي للرطوبة في هذا الفصل. وخلال فصل الصيف، تسقط الكمية العظمى من الأمطار على التلال الجبلية والسفح الغربي للجبال، بينما تكون أقل على السفح الشرقي للجبال بسبب تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية والتي تضع معظم حملاتها من الرطوبة على التلال الجبلية وعلى السفح الغربي للجبال. ويرجع هذا إلى تأثير اتجاه جبال عسير الشمالي - الجنوبي والذي يحد من استمرار الرياح الموسمية الجنوبية الغربية من أن تتعمق شرقاً نحو الداخل. وخلال فصل الخريف، تسقط أكبر كمية من الأمطار على التلال الجبلية والجانب الغربي من الجبال، بينما تكون كمية الأمطار أقل على المناطق الجبلية المرتفعة والسفح الشرقي من الجبال والهضبة وذلك بسبب أن التلال الجبلية تكون مكشوفة وتتأثر بالرياح الموسمية الجنوبية الغربية وخاصة في أول فصل الخريف.
- ٢- على العموم، المحطات التي تقع على التلال الجبلية للسفح الغربي من الجبال تسقط

عليها الأمطار بكميات أغزر من الأمطار التي تسقط على المحطات الأخرى، حتى المحطات التي تقع على المرتفعات العالية. وأغزر الأمطار السنوية تسقط على جبل فيفا والذي يبلغ ارتفاعه ٨٦٠ مترا ويبلغ مقدار متوسط الأمطار السنوية الساقطة عليه ٦٥٥ ملم. ويرجع هذا أساسا إلى اتجاه جبال المنطقة الجنوبية الغربية الشمالي - الجنوبي والذي يكون تقريبا عموديا للهواء الرطب القادم من الجنوب الغربي. وتشكل الجبال حاجزا للهواء الجنوبي الغربي وتمنعه من الاستمرار والتعمق نحو الداخل مما يضطره للصعود إلى أعلى وينتج عنه الأمطار التضاريسية.

٣- يختلف الارتفاع ومستوى الكمية العظمى من الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة من فصل لآخر. وليس بالضرورة أن تسقط الكمية العظمى من الأمطار على المرتفعات العالية. ففي فصل الشتاء سجل متوسط الكمية العظمى للأمطار والذي بلغ ٢٥٣ ملم عند محطة الباحة على ارتفاع ٢١١٠ متر لأنها مكشوفة مما يجعلها تتأثر بالهواء القادم من الشمال الغربي. وخلال فصل الربيع، تسقط الكمية العظمى من متوسط الأمطار والذي بلغ ٢٦٤ ملم على محطة العيالة على ارتفاع ٢٤٨٠ متر لأنها مكشوفة لتأثير الهواء القادم من الجنوب الشرقي. خلال فصل الصيف، تهطل الكمية العظمى من الأمطار على جبل فيفا على ارتفاع ٨٦٠ مترا بسبب تعامد الرياح الموسمية الجنوبية الغربية على التلال الجبلية، وكذلك تقع التلال الجبلية بعيدا نحو الجنوب حيث تعترض من الرياح الموسمية الجنوبية الغربية قبل المرتفعات الأخرى فتسقط كميات كبيرة من الأمطار عليها، وخلال فصل الخريف، فإن أكبر كمية للأمطار تسقط على محطة هروب على ارتفاع ٥٤٠ وبلغ معدلها ١٧٨ ملم بسبب تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية على المنطقة.

٤- توضح نتائج التحليل التوافقي أنه لا يوجد تحليل توافقي واحد يناسب تماما منحى متوسط الأمطار المسجلة ويشرح شرحا كاملا توزيع الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية بسببين رئيسيين :-

- ١- تأثير أكثر من نوع ونظام مناخي على المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة.
- ٢- تباين واختلاف تضاريس المنطقة.

ويختلف مقدار التباين الذي تم الحصول عليه باستخدام التحليل التوافقي الستة

من تحليل توافقى لأخر. والتباين الذى نتج عن التحاليل التوافقية الستة هو (٤٦٪) للتحليل التوافقى الأول و (١٣٪) للتحليل التوافقى الثانى، و (٢١٪) للتحليل التوافقى الثالث، و (٩٪) للتحليل التوافقى الرابع، و (٦٪) للتحليل التوافقى الخامس و (٥٪) للتحليل التوافقى السادس.

٥- بلغ مقدار التباين للتحاليل التوافقية الثلاثة الأولى (الأول والثانى والثالث) (٨٠٪) من مجموعة التباين، بينما مقدار التباين للتحاليل التوافقية الثلاثة الاخيرة (الرابع، الخامس والسادس) (٢٠٪) من مجموع التباين الذى تم الحصول عليه من التحاليل التوافقية الستة - وتشرح التحاليل التوافقية الثلاثة الأولى معظم العوامل الطبيعية المسنولة والمؤثرة على توزيع الأمطار فى المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة.

ويعتبر التحليل التوافقى الأول أهم التحاليل التوافقية الستة. ويأتى بعده التحليل التوافقى الثالث ثم التحليل التوافقى الثانى حيث يحتل المركز الثالث.

٦- توضح نتائج التحاليل التوافقية الستة أن الأمطار لثمان وسبعين محطة رصد فى المنطقة قبيل وتتجه نحو الاختلاف السنوى، ولها قمة واحدة وحد أدنى واحد. وست محطات، قبيل فيها الأمطار إلى الاختلاف شبه السنوى ولها قمتان عظيمتان ونهايتان صغريتان. وتسع عشرة محطة تختلف فيها الأمطار كل أربع شهور، ومحطة واحدة تختلف فيها الأمطار كل شهرين. وتنتشر المحطات التى تتجه فيها الأمطار نحو الاختلاف السنوى فى كل مكان من المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة. وتوجد المحطات التى تتجه الأمطار فيها نحو الاختلاف شبه السنوى بالقرب من البحر الأحمر. وتقع المحطات التى تختلف فيها الأمطار كل أربعة شهور على طول التلال الجبلية لجبال عسير.

٧- يعتبر التحليل التوافقى الأول أفضل التحاليل التوافقية الستة لوصف وتوزيع الأمطار فى المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية، وخاصة شرقاً من السفح الشرقى لجبال عسير، والهضبة، والتلال الجنوبية الغربية من الجبال حيث تتجه الأمطار فى هذه المناطق نحو الاتجاه السنوى. ولكن التحليل التوافقى الأول، يعطى شرحاً ضعيفاً لتوزيع الأمطار فى منطقة التلال الجبلية حيث تختلف فيها الأمطار كل أربع شهور أو للمحطات التى تقع بالقرب من البحر الأحمر، والتى

تختلف فيها الأمطار كل ست شهور.

٨- يختلف وقت هطول الكمية العظمى من الأمطار لتحليل التوافقي الأول في مسافات قصيرة على طول منطقة ساحل البحر الأحمر ، والتلال الجبلية، وجبال عسير بسبب طبيعة سطح المنطقة حيث تختلف اختلافا كبيرا ونتيجة لتأثير أكثر من نظام مناخي على المنطقة. ويختلف وقت سقوط الكمية العظمى من الأمطار على طول ساحل البحر الأحمر ويختلف من محطة لأخرى على الرغم من قصر المسافة بينها. وعلى سبيل المثال، وقت هطول الكمية العظمى من الأمطار على محطة القوز (٦٧ - ٦٨ شمالا و ٢٧ ٤٢ شرقا) تقريبا هو ٢١ نوفمبر بينما على محطة القحمة (٦٨ - ٦٩ شمالا و ٤٠ ٤١ شرقا) يكون ١٣ يناير. وإلى الشرق من جبال عسير وفي منطقة الهضبة، تهطل الكمية العظمى من الأمطار في شهر إبريل، حيث تتأثر المنطقة بالرياح الموسمية الجنوبية الشرقية خلال فصل الربيع.

٩- لقد تم اختيار وتحليل علاقة متوسطات الأمطار الشهرية بالارتفاعات وتقسيم محطات المنطقة إلى قسمين :-

١- محطات التلال الجبلية وساحل البحر الأحمر .

٢- محطات المرتفعات الجبلية والهضبة.

ويبلغ معامل التحديد (٢) لعلاقة المتوسطات الشهرية للأمطار بالارتفاعات لمحطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية ما بين (٠,١٦) لشهر يناير و (٠,٥٧) لشهر مارس. ومن قيسة معامل التحديد (٢) يتضح أن الارتفاع يلعب دورا كبيرا في توزيع الأمطار في المنطقة. ويعتبر الارتفاع مسئولاً عن أكثر من ٥٠٪ من توزيع الأمطار في شهر فبراير (٢ = ٠,٥٣) ومارس (٢ = ٠,٥٧) وإبريل (٢ = ٠,٥٣) ومايو (٢ = ٠,٥٥) وشهر يونيو (٢ = ٠,٥٢). وبلغت قيمة معامل التحديد (٢) لمحطات المرتفعات الجبلية والهضبة ما بين (٠,١٧ و ٠,٦٠) ويعنى هذا أن الأمطار الشهرية تزيد مع زيادة الارتفاع. ويعتبر الارتفاع وحده مسئولاً عن أكثر من (٥٠٪) من توزيع الأمطار في شهر يوليو (٢ = ٥٤) وشهر مايو (٢ = ٠,٦٠).

١٠- لقد تم تحليل علاقة المتوسطات الفصلية للأمطار بالارتفاعات، وكذلك قسمت

المنطقة إلى قسمين : -

١- محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية.

٢- محطات المرتفعات الجبلية والهضبة.

وقد بلغ معامل التحديد (٢) لعلاقة متوسط الأمطار التصليية بالارتفاع لمحطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية ما بين (٠.٤٩) و (٠.٦٠) وبلغ لمحطات المرتفعات الجبلية والهضبة ما بين (٠.١٧) و (٠.٥٥) وبذا مقدار معامل التحديد (٢) على أن علاقة متوسطات الأمطار التصليية بالارتفاعات تختلف من فصل لآخر.

١١- تختلف علاقة الأمطار السنوية بالارتفاعات حسب موقع المحطة. وبلغت قيمة معامل التحديد (٢) لمحطات المرتفعات الجبلية والهضبة (٠.٥٣) بينما بلغ معامل التحديد (٢) لمحطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية (٠.٦٥) ويتضح من قيمة معامل التحديد (٢) أن علاقة الأمطار السنوية بالارتفاعات أقوى في منطقة ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية.

١٢- يتم الحصول على نتائج أفضل لعلاقة الأمطار بالارتفاعات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية عن طريق تقسيم المنطقة الرئيسية إلى منطقتين بسبب تعقيد سطح المنطقة وعدم تجانسها.

١٣- لا يوجد علاقة واضحة في خرائط توزيع الأمطار والرسوم التوضيحية في الملحق (٢) بين الأمطار وخطوط الطول والعرض في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة. ولكن توضح النتائج إنه توجد علاقة بين الارتفاعات والأمطار في منطقة ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية، ومنطقة المرتفعات الجبلية والهضبة.

العوصيات :

- تعتبر المعلومات المتوفرة والتي تتعلق بطقس ومناخ المملكة العربية السعودية محدودة جدا وقهر كافية. ويرجع هذا إلى ثلة المعلومات المسجلة الصحيحة والتي قصر فترة التسجيل. وعلى ضوء هذا يمكن اقتراح الأمور التالية : -
- ١- تمييز المنطقة الجنوبية الغربية بأنها منطقة جبلية تتباين فيها الارتفاعات مما يؤدي

إلى اختلاف طقس ومناخ المنطقة في مسافة قصيرة ونشوء المناخات المحلية وتعتبر محطات الرصد الجوى الحالية الموجودة في الطبقات العليا في المنطقة غير كافية لإعطاء معلومات صحيحة دقيقة للأحوال الجوية والمناخية في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة. ولذا يستحسن وضع محطات رصد جوى إضافية في الطبقات العليا من الجو وكذلك على السطح. أيضا يستحسن وضع مزيد من محطات رصد الأمطار في المنطقة وخاصة في المناطق التي لا توجد فيها محطات رصد للأمطار أو في المناطق التي تتباعد فيها محطات رصد الأمطار بعضها عن بعض، وخاصة في المنطقة التي تقع بين الجرف الجبلي (escarpment) والبحر الأحمر حيث أن محطات رصد الأمطار الحالية قليلة وتعطى معلومات قليلة وغير كافية عن كمية الأمطار وتوزيعها على السفح الجبلي الغربي للجبال وعلى ساحل البحر الأحمر .

٢- للحصول على معلومات وفهم جيد لتوزيع الأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية، يفضل القيام بدراسات ميدانية لمعرفة مدى تأثير الرياح الموسمية الجنوبية الغربية والرياح الموسمية الجنوبية الشرقية، وتأثير منخفضات البحر المتوسط وكذلك معرفة تأثير منخفض البحر الأحمر والعوامل المحلية الأخرى التي من الممكن أن تؤدي إلى اختلاف طقس ومناخ المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، وكذلك القيام بدراسات ميدانية لمعرفة مدى علاقة الأمطار بطبوغرافية وارتفاعات المنطقة بالتفصيل. وأن تستخدم الدراسة الميدانية أجهزة لرصد الأمطار وسرعة الرياح واتجاهاتها ونسبة الرطوبة.

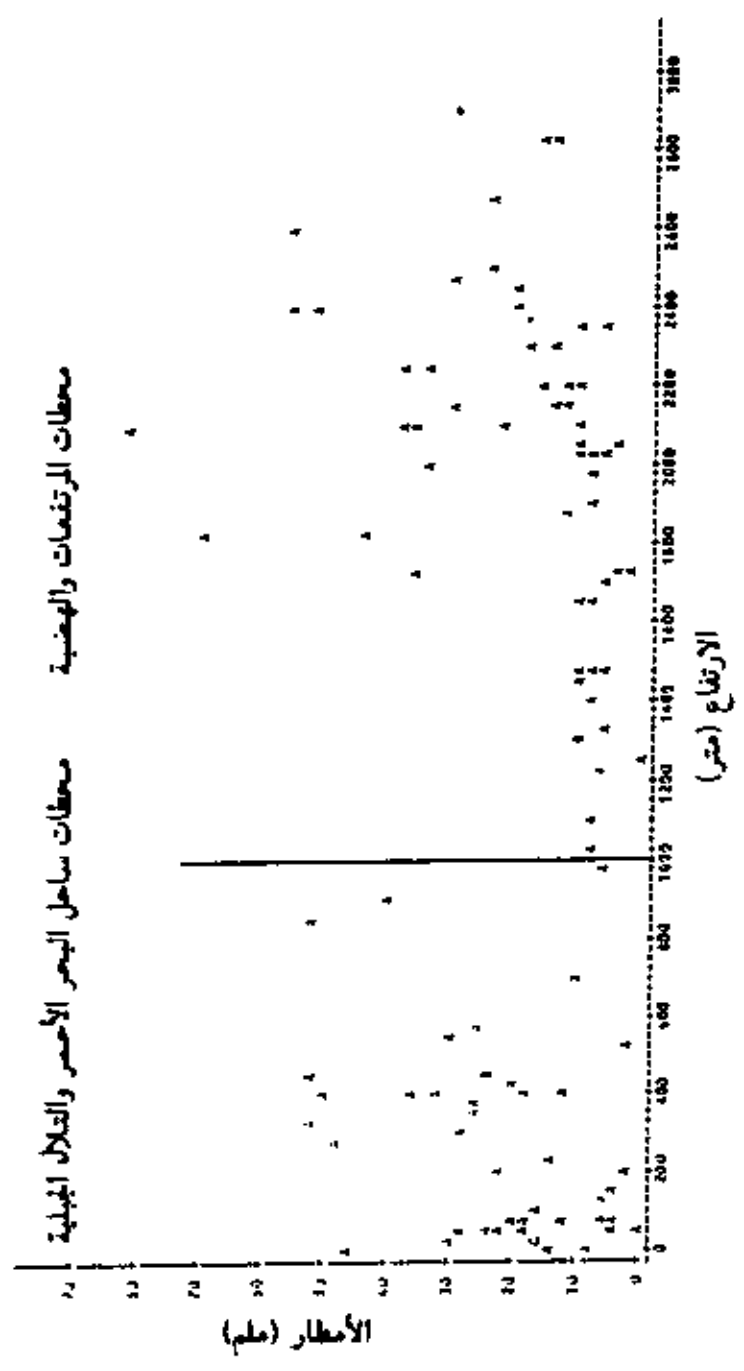
ويراعى أن تكون الأجهزة قريبة من بعضها حتى تعطى صورة أفضل. فمثلا يمكن القيام بدراسة ميدانية لمعرفة توزيع الأمطار وكميتها في المنطقة ما بين السودة والبحر الأحمر . وتوضع محطات تسجيل الأمطار والرياح على شكل خطين تقطع المنطقة من قمة جبال عسير إلى البحر الأحمر كما يلي :-

(١) وضع ٤ أجهزة قياس مطر و ٤ أجهزة لقياس سرعة واتجاه الرياح بين قمة جبل السودة وقحمة على البحر الأحمر.

(٢) وضع ٦ أجهزة قياس للمطر و ٦ أجهزة لقياس سرعة الرياح واتجاهها بين قمة جبل السودة والبحر الأحمر على طول وادي عتود.

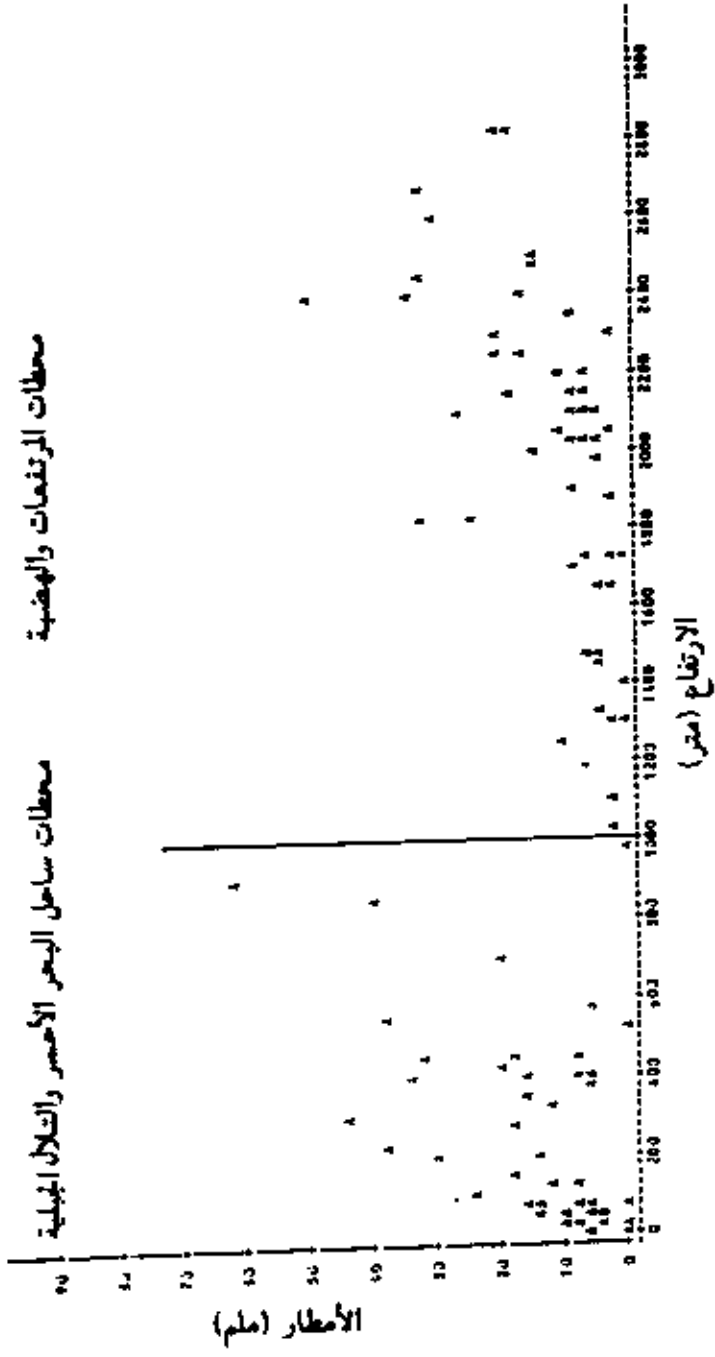
ولا شك أن نتائج هذه الدراسة وغيرها من الدراسات الميدانية في المنطقة سوف تعطى معلومات أفضل لتوزيع الأمطار وكميتها في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة، وكذلك مدى علاقة الأمطار بالارتفاعات في المنطقة.

علاقة الأمطار في شهر ديسمبر بالارتفاع



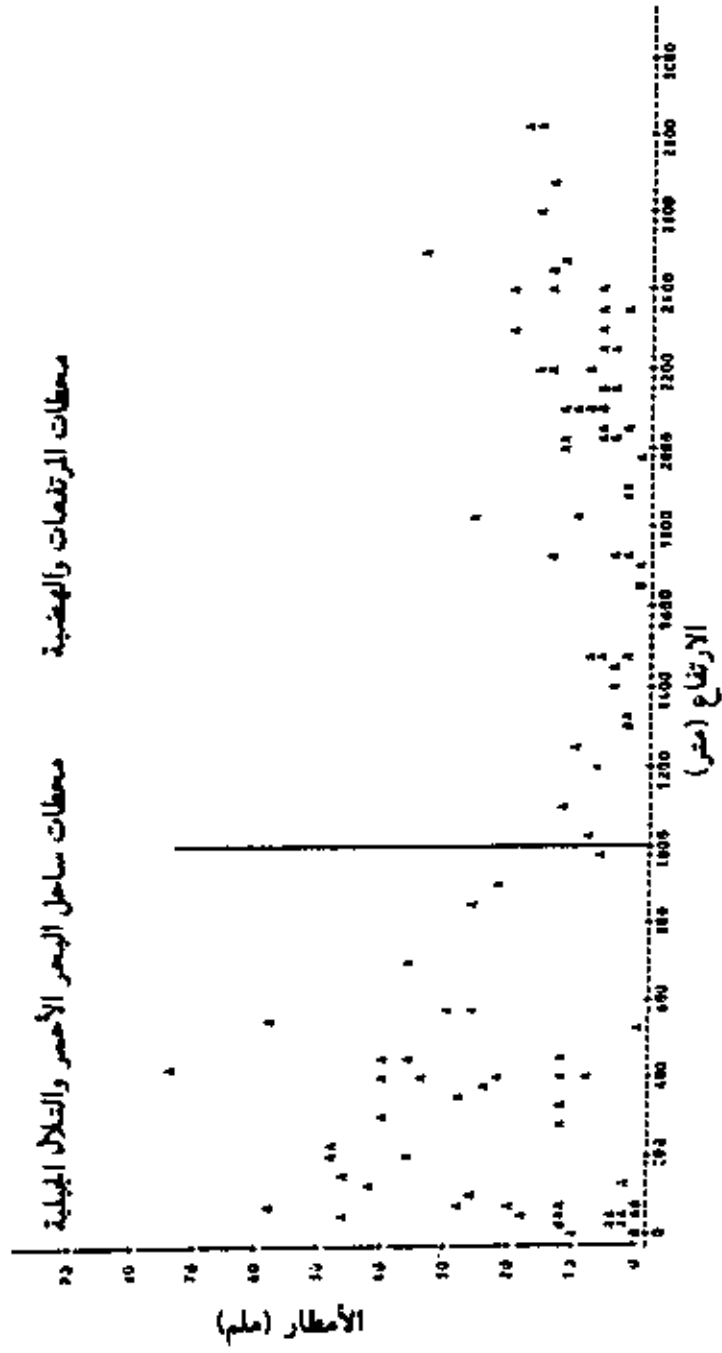
علاقة الأمطار في شهر نوفمبر بالارتفاع

محطات الارتفاعات والهضبة محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية

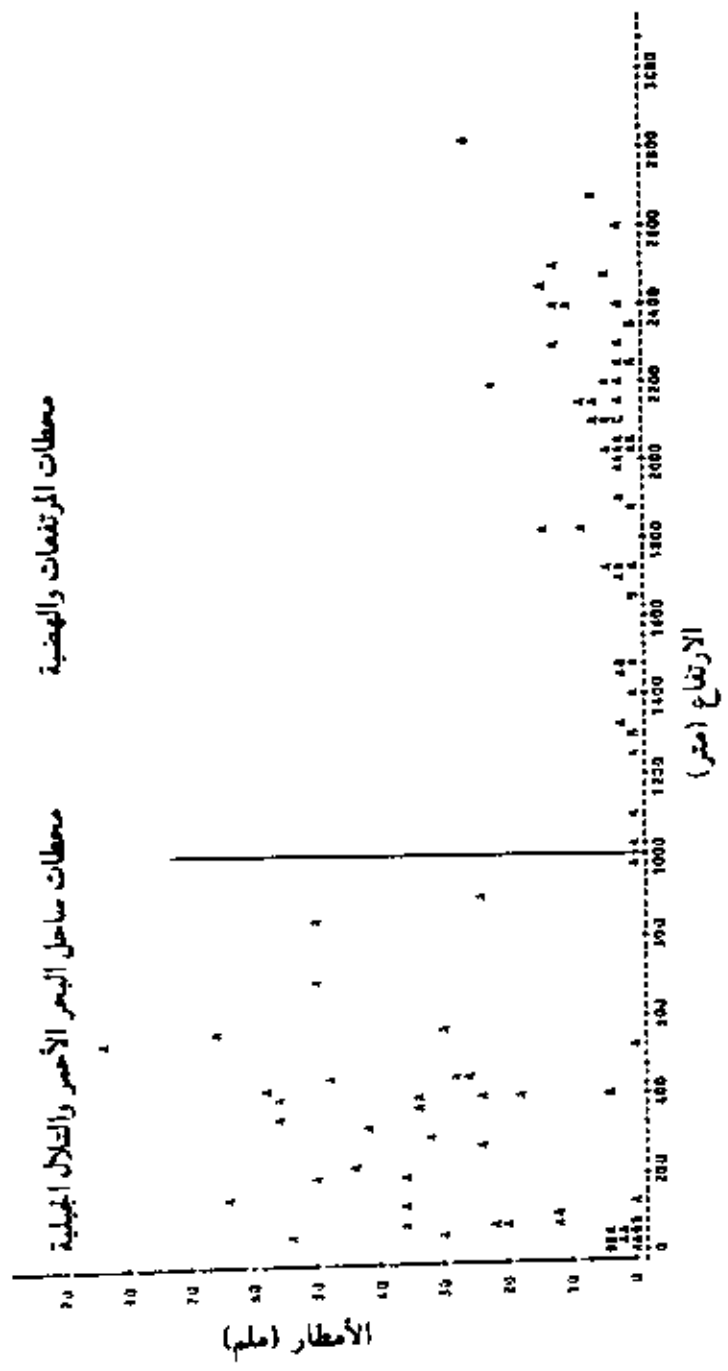


ملاحة الأمطار في شهر أكتوبر بالارتفاع

محطات المرتفعات والهضبة محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية

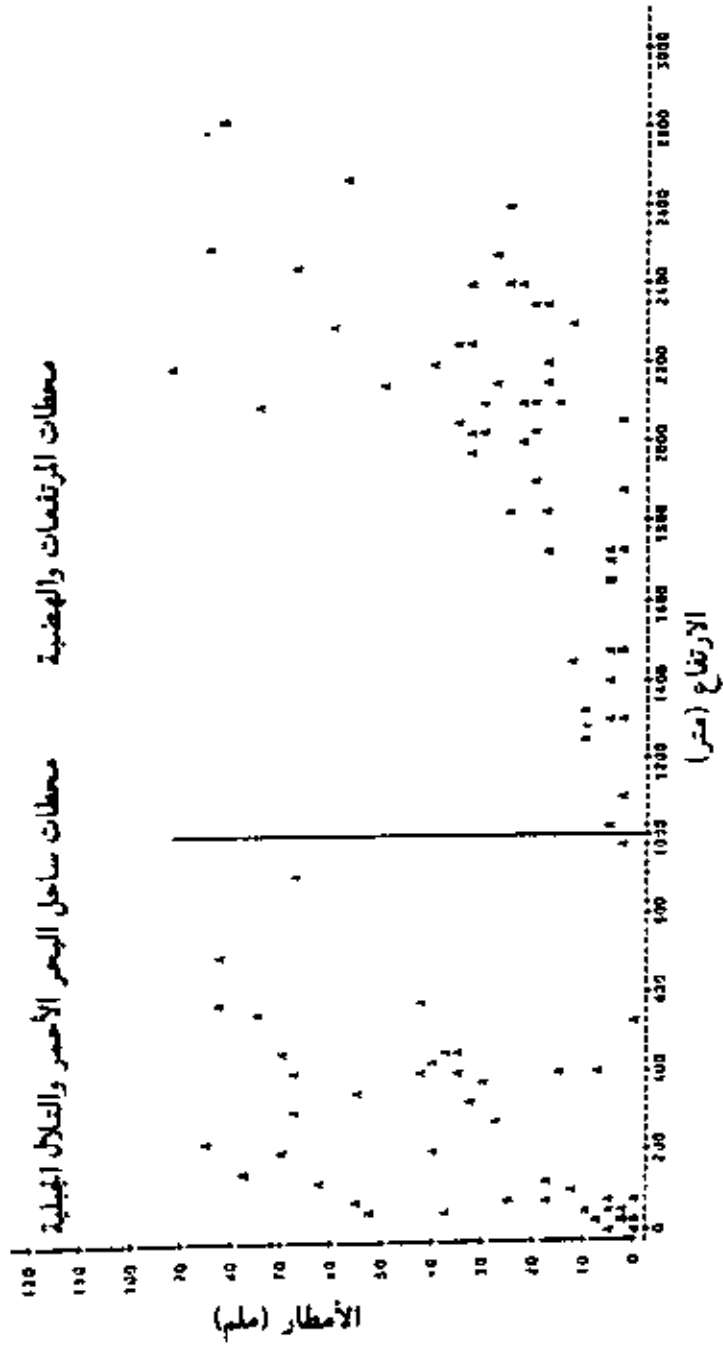


علاقة الأمطار في شهر سبتمبر بالارتفاع



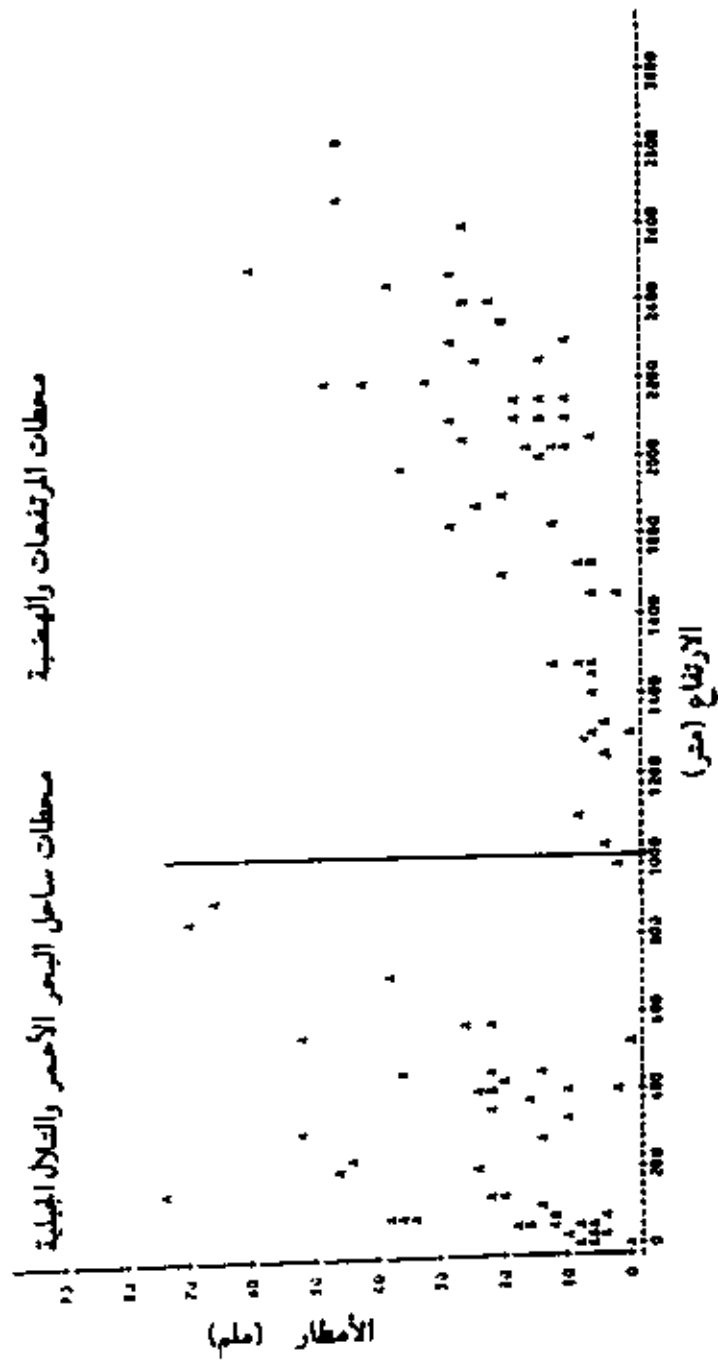
علاقة الأمطار في شهر أغسطس بالارتفاع

محطات المرتفعات والهضبة محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية



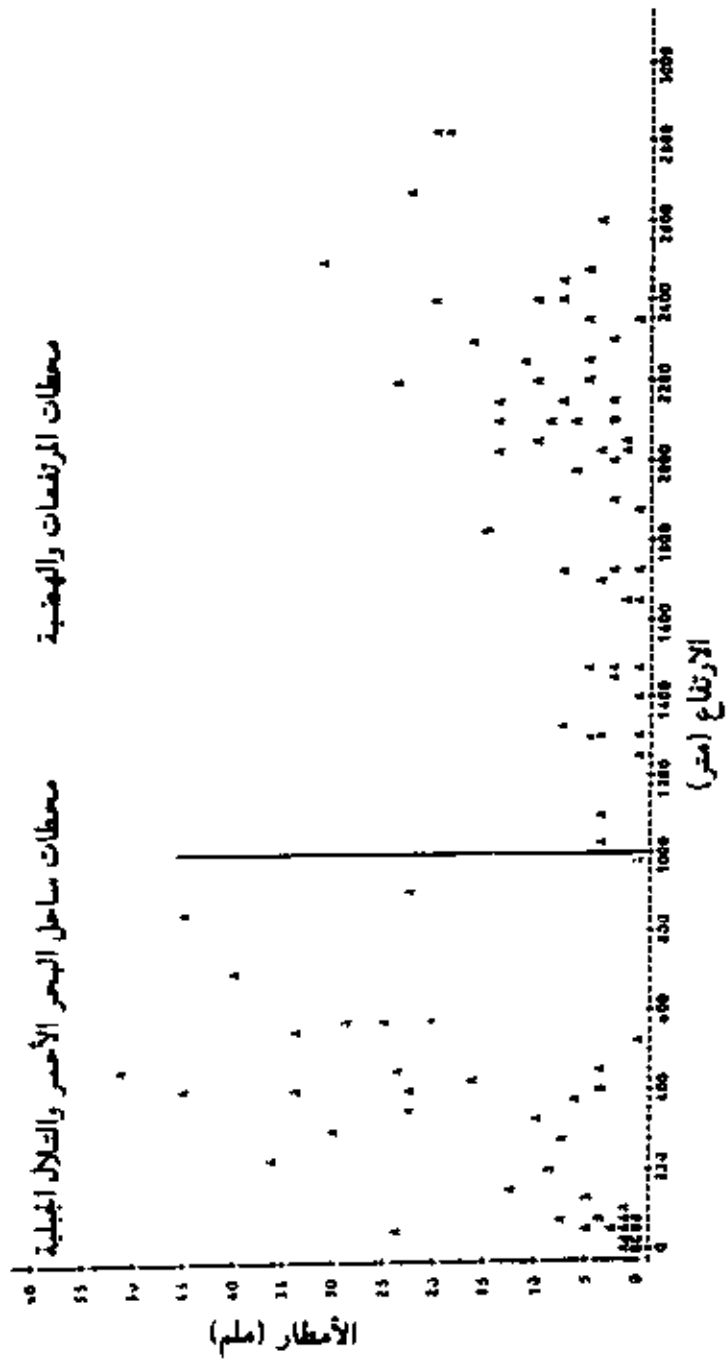
علاقة الأمطار في شهر يوليو بالارتفاع

محطات المرتفعات والهضبة محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية



علاقة الأمطار في شهر يونيو بالارتفاع

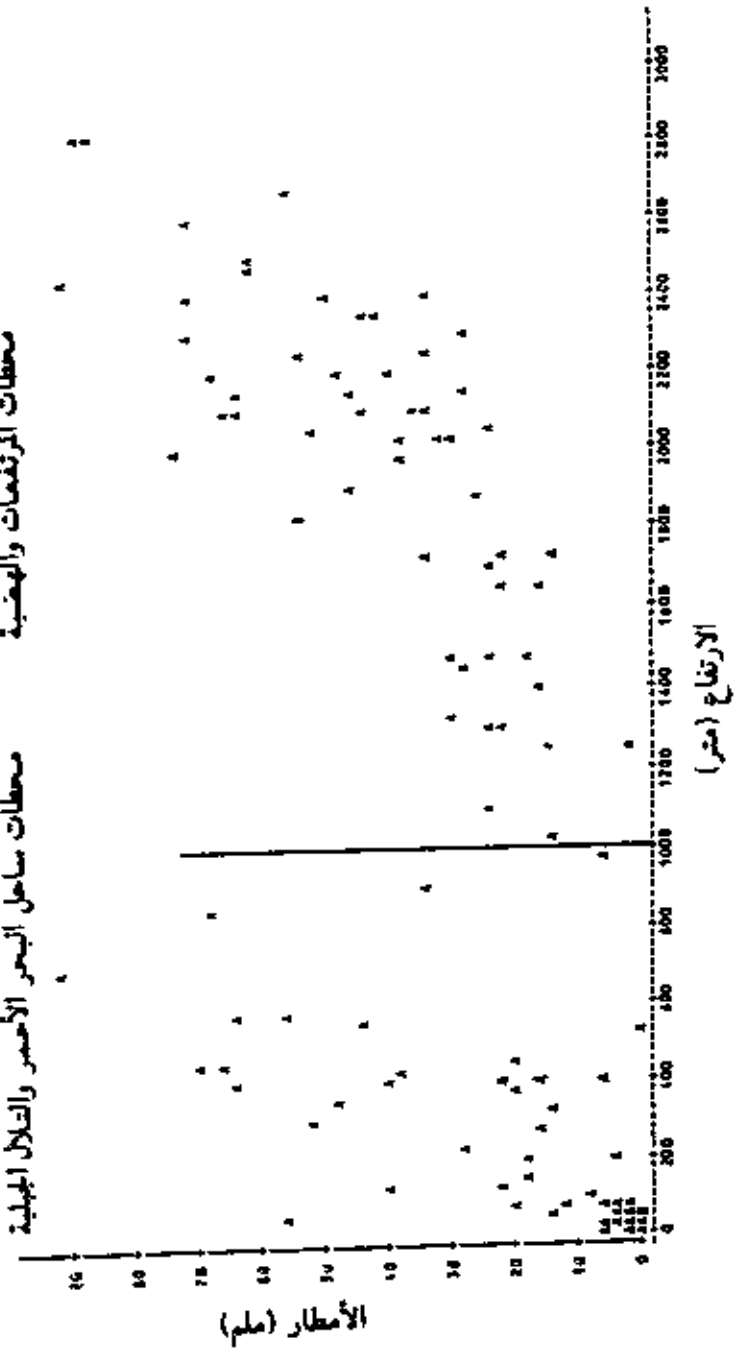
محطات المرتفعات والهضبة محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية



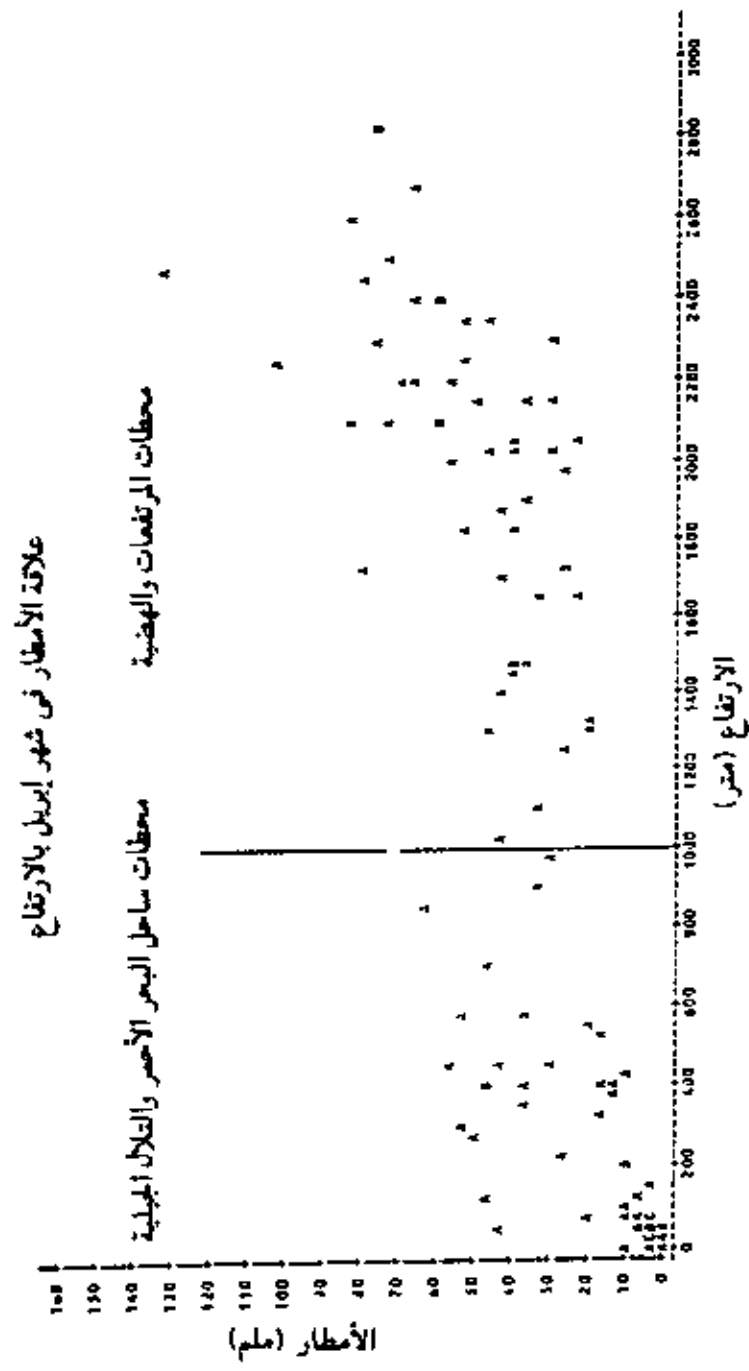
علاقة الأمطار في شهر مايو بالارتفاع

محطات المرتفعات والهضبة

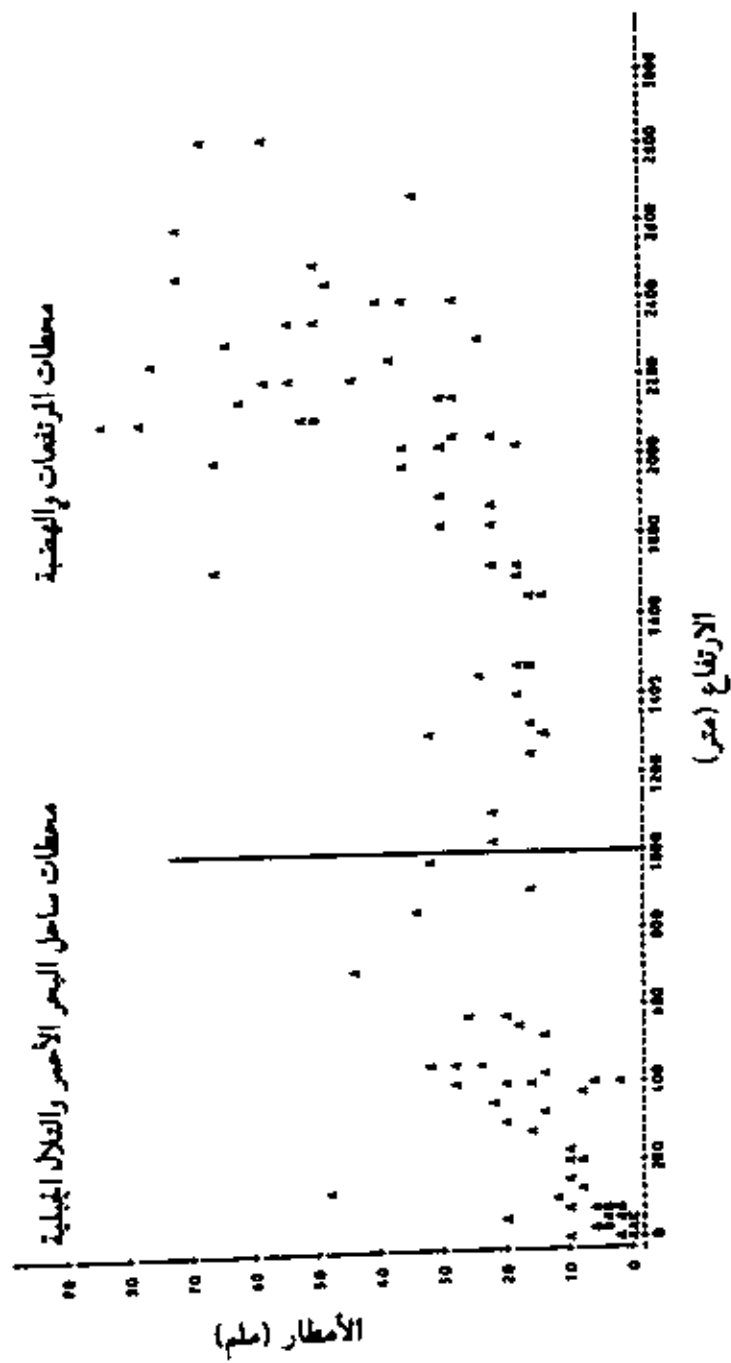
محطات ساحل البحر الأحمر والتلال الجبلية



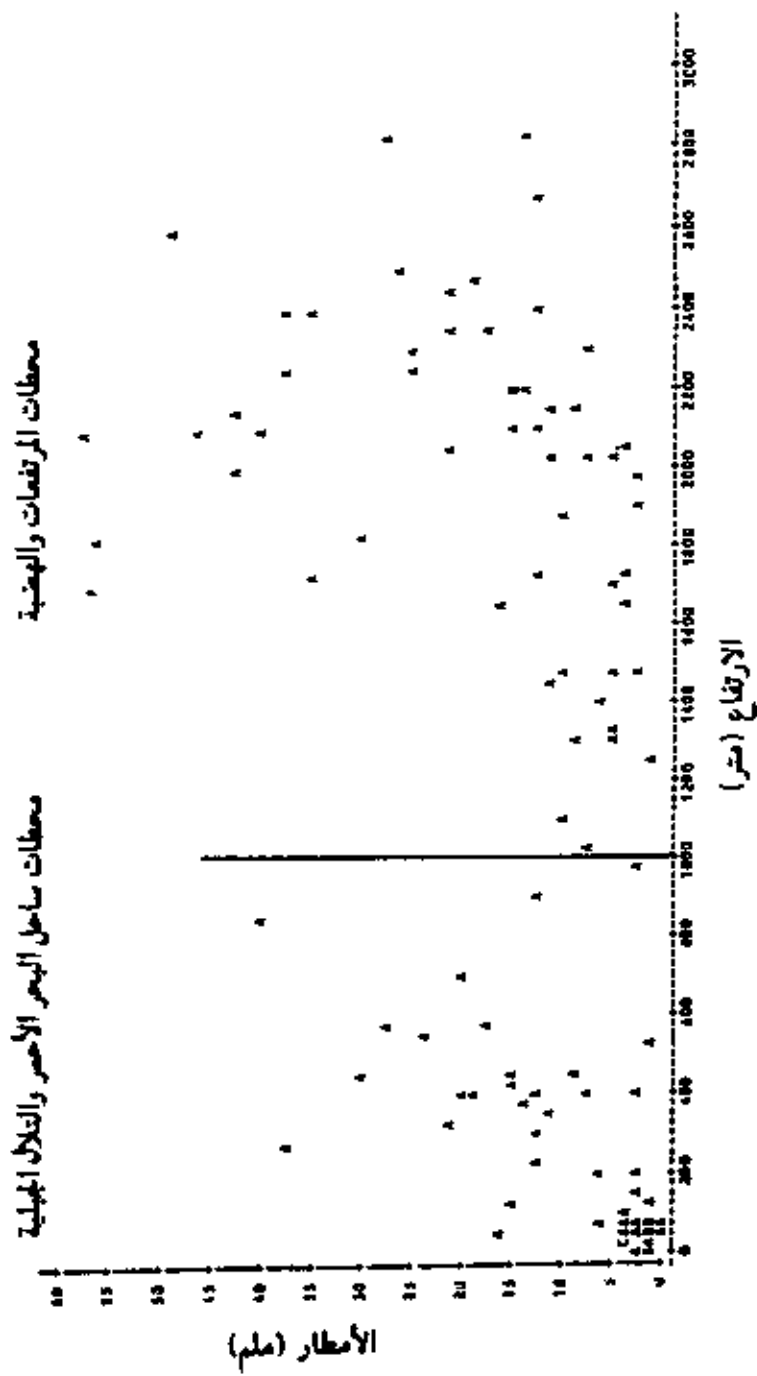
علاقة الأمطار في شهر إبريل بالارتفاع



العلاقة بين الأمطار في شهر مارس والارتفاع

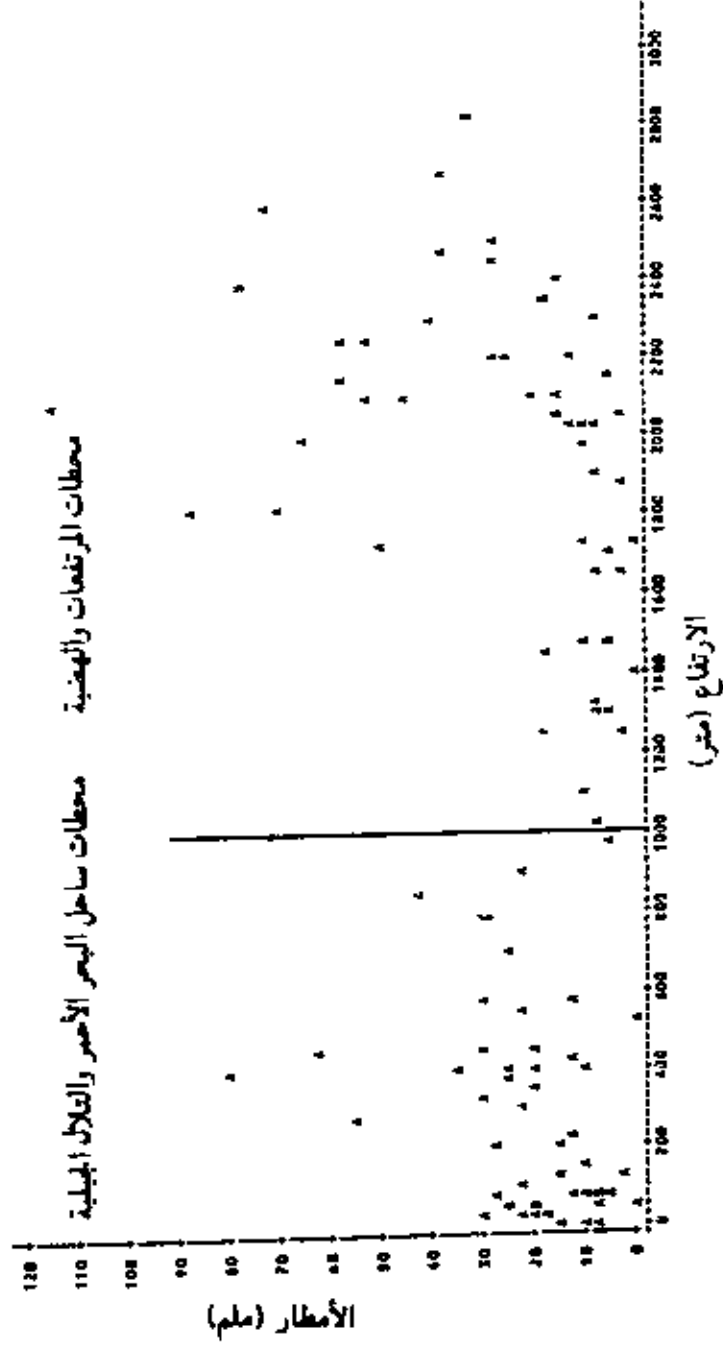


علاقة الأمطار في شهر فبراير بالمرتفعات



ملحق (٢)

علاقة الأمطار في شهر يناير بالارتفاع




```

41 MIN (I) = FCREST + DISCRT + (1-1.0) * (DISCRT * 2.0)
MAX = POSITION OF MAXIMA
MIN = POSITION OF MINIMA
GO TO 50
42 DO 43 I=1,R
MIN (I) = FCREST + (1-1.0) * (DISCRT * 2.0)
43 MAX (I) = FCREST + DISCRT + (1-1.0) * (DISCRT * 2.0)
50 DO 44 I=1,R
MAX (I) = MAX (I) * N/(2.0 * PI)
44 MIN (I) = MIN (I) * N/ (2.0 * PI)
WRITE (11,18) INDS,R,EMEAN,
FSID,AMP,AMPSTD,VAR,CUMVAR,MAX(1)
18 FORMAT (214,8T8.3)
119 FORMAT (10X,F10.3,59X,'1')
16 FORMAT (12F6.0)
100 CONTINUE
1000 CONTINUE
STOP
END
/*
//GO.SYSIN DD *
// GO. FTIOFOOI DD DSN = WYL. AG. ISA. SAUDI. DISP =
SHR
// GO. FTIFOOL DD DSN = WYL. AG. ISA. HARMOUT,
DISP = SHR
//EXEC WNOTIFY

```

ALL HARMONICS

```
AMPSTD = AMP / (2.0 * FMEAN)
DO 33 X = 1,N
FSUM = 0.0
DO 34 Rc = 1,R
34 FSUM = FSUM + (A (Rc) * SIN (2 * PI * Rc * X/P) + B
(Rc) * COS (2 * PI * Rc * X/P))
33 FFIT (X) = FMEAN + FSUM
FFIT = TIME SERIES CALCULATED FROM A HARMONIC
FIT WRITE (6,17) (FFIT (X), X=1,N)
17 FORMAT (12F6.1)
*****
```

COMPUTATIONS TO FIND MAXIMA AND MINIMA POINTS

```
ZERO = (ATAN (-B (R)/A (R)))/R
FCREST = ZERO + 2.0 * PI / (4.0 * R)
DISCRT = 2.0 * PI / (2.0 * R)
ZERO = POINT WHERE HARMONIC CROSSES THE AXIS
FCREST = POINT WHERE FIRST CREST APPEARS
DISCRT = DISTANCE BETWEEN CRESTS (1/2
WAVELENGTH)
37 IF (FCREST. LE. 0.0) GO TO 39
38 IF (FCREST. LE. DISCRT) GO TO 40
FCREST = FCREST - DISCRT
GO TO 38
39 FCREST = FCREST + DISCRT
IF (FCREST. LE. 0.0) GO TO 39
40 CRCHK = A (R) * SIN (2.0 * PI * R * FCREST)/P)
IF (CRCHK. LT. 0.0) GO TO 42
DO 41 I = 1,R
MAX (I) = FCREST + (I-1.0) * (DISCRT * 2.0)
```

```

READ (10,10) F (1), I = 1,N)
10 FORMAT (24 X 5 F8.4/7F8.4)
*****

COMPUTATIONS FOR MEAN AND STANDARD
DEVIATION
SUMX = 0.0
SUMXX = 0.0
DO 31 I = 1,N
SUMX = SUMX + E (1)
31 SUMXX = SUMXX + E (1) * E (1)
FMEAN SUMX/N
FSTD = SQRT (ABS) (SUMXX- (SUMX * SUMX/N)/(N))
FMEAN = MEAN OF THE DATA
FSTD = STANDARD DEVIATION OF THE DATA
*****

CUMVAR = 0.0
DO 100 R 1,NR
ASUM = 0.0
BUSM = 0.0
DO 32 X = 1,N
THETA = 2 * P I * R * X/ P
ASUM = ASUM E (X) * SIN (IHETA)
32 BSUM = BSUM + E (X) * COS (THETA)
A (R) = (2.0/N) * ASUM
B (R) = (2.0/N) * BSUM
AMP = SQRT (A (R) * A (R) + B (R) * B (R))
VAR = (A (R) * A (R) + B (R) * B (R))/ (2.0 * FSTD * FSTD)
CUMVAR = CUMVAR + VAR
AMP = AMPLITUDE OF THE HARMONIC
VAR = VARIANCE EXPLAINED BY A HARMONIC
CUMVAR = CUMULATIVE EXPLAINED VARIANCE FOR

```

ملحق (١)
برنامج التحليل العوافقي

HARMONIC ANALYSIS PROGRAM

// JOB CLASS = J
// EXEC EORTVCG
// EORI-SYSIN DD *

C THIS PROGRAM PERFORMS HARMONIC ANALYSIS
ON ANY IIAE-SERIES.

OUTPUT INCLUDES AMPLITUDES, VARIANCE
EXPLAINED, MEANS, STANDARD

DEVIATIONS, AND MAXIMUM AND MINIMUM CRESTS.

WRITTEN FOR THE CLIMATOLOGY PROGRAM,
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY,

UNIVERSITY OF NEBRASKA BY DR. ROBERT BALLING,
MAY, 1982.

DIMENSION E (100), EEIT (100) MIN (100), MAX (100) A
(100), B(100) INTEGER P, X,R,RC

REAL MAX, MIN

PI = 3.1417

N = 12

P = 12

NR = 6

NDS = 105

NDS = NUMBER OF DATA SETS

N = NUMBER IN DATA POPULATION

P = FUNDAMENTAL PERIOD

NR = NUMBER OF HARMONICS REQUESTED

DO 1000 INDS = 1, NDS

altitude and locality in South Africa as determined by multiple curvilinear regression analysis. In *Distribution of precipitation in mountainous areas*, Vol. 1, No. 326, pp. 188 - 200. Geneva : World Meteorological Organization.

Williams, P., and E. Peck. 1962. Terrain influences on precipitation in the intermountain west as related to synoptic situations. *J. Appl. Met.* 1 : 343 - 349.

Winkler, R., A. Murphy, and R. Katz. 1983. The value of climate information : A decision - analytic approach. *J. Climatology* 3 : 187 - 197.

Wolfson, N. 1975. Topographical effects on standard normal of rainfall over Israel. *Weather* 30 (5) : 138 - 145.

World Meteorological Organization. 1973. **Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation**. WMO 332. Geneva : Secretariat, World Meteorological Organization.

Yoshino, M. 1975. Climate in a small area : **An introduction to local meteorology**. Tokyo : University of Tokyo Press.

Zhidikov, A. and A. Levin. 1972. About vertical gradients of liquid precipitation in mountains. In *Distribution of precipitation in mountainous areas*. Vol. 2, No. 326, pp. 204 - 211. Geneva : World Meteorological Organization.

- Thom, H. 1971. Some methods of climatological analysis. Tech. Note No. 81, WMO-No. 199, TP 103. Geneva : World Meteorological Organization.
- Unwin, D. 1969. The areal extension of rainfall records : An alternative model : J. Hydrol. 7 : 404 - 413.
- Varney, B. 1920. Monthly variations of the precipitation altitude relation in the central Sierra Nevada of California. Mon. Wea. REv. 4 (11) : 648 - 650.
- Vuglinski, V. 1972. Methods for the study of laws for the distribution of precipitation in medium - high mountains illustrated by the Vitim River Basin. In Distribution of precipitation in mountainous areas, Vol. 2, No. 326, pp. 311 - 321. Geneva : World Meteorological Organization.
- Wang, J., and C. Felton. 1979. Instruments for physical instrumental measurements. Vol. 1. Oakland, CA : Milieu Information Service, Inc.
- Ward, R. 1975. Principles of hydrology. 2nd Ed. New York : McGraw-Hill.
- Weiss, L., and R. Kresge. 1962. Indications of uniformity of shore and off-shore precipitation for southern Lake Michigan. J. Appl. Met. 1 : 271 - 274.
- Wells, E.L. 1972. Precipitation in Oregon. Mon. Wea. Rev. 50 (8) : 405 - 410.
- Whitmore, J.S. 1973. The variation of mean annual rainfall with

- Sneva, F.A., and L.D. Calvin. 1978. An improved Thiessen grid for eastern Oregon : An interstation correlation study determining the effect of distance, bearing, and elevation between stations upon the precipitation correlation coefficient. *Agri. Met.* 19 : 471 - 483.
- Sokolov, A.A., and T.G. Chapman. 1974. *Methods for water balance computation; An international guide for research and practice.* Paris. :UNESCO Press.
- Solot, S. 1950. General circulation over the Anglo-Egyptian and adjacent regions. *Bull. Am. Met. Soc.* 31 : 55 - 94.
- Spren, W.C. 1947. A determination of the effect of topography upon precipitation. *Trans. Am. Geophys. Union* 28 (2) : 285 - 290.
- Storr, D., and H. Ferguson. 1972. The distribution of precipitation in some mountainous Canadian watersheds. In *The distribution of precipitation in mountainous areas*, vol. 2, no. 326, pp. 243-263. Geneva : World Meteorological Organization.
- Taha, M., S. Harb, M. Nagib, and A. tantawy. 1981. The climate of the Middle East. In *The climates of southern and western Asia*, ed. K. takahashi and H. Arakawa, *World Survey of Climatology*, Vol. 9, pp. 153 - 155. New York : Elsevier Scientific Publications.
- Taylor, p. 1980. A pedagogic application of multiple regression analysis. *J. Geography* 65 (3) : 203 - 212.
- Thiessen, A. 1911. Precipitation average for large areas. *Mon. Wea. Rev.* 39 : 1082 - 1084.

- Schermerhorn, V.P. 1967. Relations between topography and annual precipitation in western Oregon and Washington. *Water Resources Res.* 3 (3) : 707 - 711.
- Schulz, E. 1974. Problems in applied hydrology. Water Resource Publication. Ft. Collins : Colorado State University.
- Scott, C., and M. Shulman. 1979. An areal and temporal analysis of precipitation in the northeastern United States. *J. Appl. Met.* 18 : 627 - 633.
- Severuk, B. 1974. The use of stereo, horizontal, and ground level orifice gauges to determine a rainfall - elevation relationship. *Water Resources Res.* 10 (6) : 1138 - 1141.
- Sharon, D. 1980. The distribution of hydrologically effective rainfall incident on sloping ground. *J. of Hydrol.* 46 : 165 - 185.
- Shulman, M., and R. Leblang. 1974. Areal and temporal analysis of New Jersey precipitation using harmonic analysis. *Trans. New York Acad. of Sci.* 36 : 783 - 792.
- Sims, P. 1981. Variations of rainfall catch in a small upland valley. *Weather* 36 (7) : 197 - 201.
- Small shaw, J. 1953. Some precipitation studies of the Tennessee Valley Authority. *Trans. Am. Geophys. Union* 34 (4) : 583 - 588.
- Smith, R.B. 1979. The influence of mountains on the atmosphere. *Advances in Geophysics* 21 : 87 - 280.

areas, Vol. 2, No. 326, pp. 13 - 26. Geneva : World Meteorological Organization.

Rodda, J. 1972. On the question of rainfall measurement. In World water balance. Proceedings of the Reading Symposium, July 1970, Vol. 1, pp. 173 - 186. Paris : IASH - UNESCO, World Meteorological Organization.

_____ R. Downing, and F. Law. 1976. Systematic hydrology. Boston : Butterworth & Co.

Ryden, B. 1972. On the problem of vertical distribution of precipitation especially in areas with great height differences. In Distribution of precipitation in mountainous areas, Vol. 2, No. 326, pp. 362 - 371. Geneva : World Meteorological Organization.

Sabbagh, M., and R. Bryson. 1962. Aspects of the precipitation climatology of Canada investigated by the method of harmonic analysis. In Spatial analysis, ed. B. Brian and D. Marble, pp. 250 - 265. Englewood Cliffs, NJ : Prentice - Hall, Inc.

Sarker, R. 1966. A dynamical model of orographic rainfall. Mon. Wea. Rev. 94 (19) : 555 - 572.

_____ 1967. Some modifications in a dynamical model of orographic rainfall. Mon. Wea. Rev. 95 (10) : 673 - 684.

SAS Institute Inc. 1982. SAS User's Guide : Statistics, 1982 Edition. Cary, NC : SAS Institute Inc., 584 pp.

Sawyer, J. 1956. The physical and dynamical problems of orographic rain. Weather 11 (12) : 375 - 381.

- in mountainous areas. In *Distribution of precipitation in mountainous areas*, Vol., 1, No. 326, pp. 5 - 16. Geneva : World Meteorological Organization.
- _____ and M. Brown. 1962. An approach to the development of isohyetal maps for mountainous areas. *J. Geophys. Res.* 67 (2) : 681 - 694.
- Pedgley, D. 1966a. The Red Sea Convergence Zone, Part 1 - The horizontal pattern of winds. *Weather* 21 (10) : 350 - 358.
- _____ 1966b. The Red Sea Convergence Zone, Part 2 - Vertical structure. *Weather* 21 (11) : 394 - 406.
- _____ 1970. Heavy rainfalls over Snowdonia. *Weather* 25 (8) : 340 - 350.
- _____ Pierrehumbert, C. 1976. Assessment of areal rainfall. In *The watershed management on range and forest land*, ed. H. Heady, D. Falkenhorg, and J. Riley, pp. 33 - 37.
- Pockels, F. 1901. The theory of the formation of precipitation on mountain slopes. *Mon. Wea. Rev.*
- Popov, E. 1972. Continental precipitation and evaporation, A review of problems related to hydrological cycle and water balance studies. In *World water balance. Proceedings of the Reading Symposium, July 1970*, Vol. 1, pp. 165 - 173. Paris : IASH - UNESCO. World Meteorological Organization.
- Price, L. 1981. *Mountains and man*. Los Angeles : University of California Press, Ltd.
- Rechard, P. 1972. Winter precipitation gauge in windy mountainous areas. In *Distribution of precipitation in mountainous*

- Molnau, M., W. Rawls, D. Curtis, and C. Warnick. 1980. Gauge density and location for estimating mean annual precipitation in mountainous areas. *Water Resources Bull.* 16 (3) : 428 - 432.
- Neff, I. 1977. How much rain does a rain gauge gauge ? *J. Hydrol.* 35 : 213 - 220.
- Nieuwolt, S. 1974. The influence of aspect and elevation on daily rainfall : Some examples from Tanzania. In *Agroclimatology of the highlands of eastern Africa*, No. 389, pp. 16 - 29. Geneva : World Meteorological Organization.
- Pacl, J. 1973. Orographic influences on distribution of precipitation : physiographical factors and hydrological approaches. In *Distribution of precipitation in mountainous areas*, Vol. 1, No. 326., pp. 67 - 72. Geneva : World Meteorological Organization.
- Pan, P. 1972. Precipitation in Taiwan mountainous areas. In *Distribution of precipitation in mountainous areas*, Vol. 2, No. 326, pp. 309 - 313. Geneva : World Meteorological Organization.
- Panofsky, H., and G. Brier. 1958. *Some applications of statistics to meteorology*. University Park, PA : The Pennsylvania State University.
- Peattie, R. 1966. *Mountain Geography*. New York : Greenwood Press.
- Peck, E.L. 1962. Snow measurement predicament. *Water Resources Res.* 8 (1) : 244 - 248.
- _____ 1973. Discussion of problems in measuring precipitation

engineers, New York : McGraw-Hill Book Co.

Longley, R. 1975. Precipitation in valleys. *Weather* 1 30 (9) : 294 - 300.

Luil, H. W., and L. Ellison. 1950. Precipitation in relation to altitude in central Utah. *Ecology* 31 (3) : 479 - 484.

March, W.J., and J.R. Wallace. 1979. An investigation into the effect of storm type on precipitation in a small mountain watershed. *Water Resources Res.* 15 (2) : 298 - 304.

Marcus, M.G. 1974. Investigations in alpine climatology : The St. Elias Mountains, 1963 - 1971. Icefield Ranges Research Project, Scientific Results. American Geographical Society Report 4, pp. 13 - 25 : New York : Arctic Institute of North America and American Geographical Society.

Marriam, C.F. 1937. A comprehensive study of the rainfall on the Susquehanna Valley. *Trans. Am. Geophys. Union* 18 (2) : 471 - 476.

Merva, G.E., N.D. Stromman, and E.H. Kidder. 1976. Rainfall variations as influenced by wind and topography. *J. Appl. Met.* 15 : 738 - 732.

Meteorology and Environmental Protection Administration (MEPA).

_____ 1978. Annual environmental report. Jeddah.

_____ 1979. Annual Environmental Report. Jeddah.

MINK, J.F. 1960. Distribution pattern of rainfall in the Leeward Koolau Mountain, Oahu, Hawaii. *J. Geophys. Res* 65 (9) : 2869 - 2876.

- Assn. Am. Geog. 50 : 157 - 171.
- Hovind, E.L. 1965. Precipitation distribution around a windy mountain peak. *J. Geophys. Res.* 70 (14) : 3271 - 3278.
- Johnstone, D., and W. Cross. 1949. *Elements of applied hydrology*. New York : The Ronald Press.
- Kwan, J., P. Riley, and R. Amisial. 1968. A digital computer program to plot isohyetal maps and calculate volumes of precipitation. In *The use of analog and digital computers in hydrology*, Vol. 1, pp. 240 - 248. New York : IAHS/AIHS, UNESCO.
- Larson, L., and E. Peck. 1974. Accuracy of precipitation measurements for hydrologic modeling. *Water Resources Res.* 10 (4) : 857 - 863.
- Lee, C.H. 1911. Precipitation and altitude in the Sierra. *Mon. Wea. Rev.* 29 (7) : 1092 - 1099.
- Lee, R. 1972. an optographic technique for evaluating the exposure of precipitation gauge sites in mountain areas. In *The distribution of precipitation in mountainous areas*, Vol. 2, No. 326, pp. 62 - 71. Geneva : World Meteorological Organization.
- _____ 1980. *Forest hydrology*. New York : Columbia University Press.
- Linsley, R.K. 1958. Correlation of rainfall intensity and topography in northern California. *Trans. Am. Geophys. Union* 39 (1) : 15 - 18.
- Linsley, R.M. Kohler, and J. Paulhus. 1982. *Hydrology for*

Meteorological Organization.

- Gray, D.M., ed. 1973. Handbook on the principles of hydrology. New York : Water Information Center.
- Hamon, R.W. 1971. Reynolds Creek, Idaho. In Agricultural research service precipitation facilities and related studies. ARS 41 - 176, pp. 25 - 35. Washington, D.C. : U.S. Department of Agriculture.
- Hanson, C. 1982. Distribution and stochastic generation of annual and monthly precipitation on a mountainous watershed in southwest Idaho. Water RESOURCES Bull. 18 (5) : 876 - 883.
- Hastenrath, A., A. Hafez, and E.B. Kaczmarczyk. 1979. A contribution to the dynamic climatology of Arabia. Arch. Met., Geophy., Biok. 27 : 103 - 120.
- Henry, H.J. 1919. Increase of precipitation with altitude. Mon. Wea. Rev. 47 : 33 - 41.
- Herrmann, R. 1972. Vertically differentiated water balance in torpical high mountains - with special references to the Sierra Nevada de Santa Marta, Columbia. In World water balance, Proceedings of the Reading Symposium, July, 1970, Vol. 2, pp. 262-273. Paris : IASH - UNESCO, World Meteorological Organization.
- Hjelmfelt, A., and J. Cassidy. 1975. Hydrology for engineers and planners. Ames, Iowa : Iowa State University Press.
- Horn, L., and R. Bryson. 1960. Harmonic analysis of the annual march of precipitation over the United States. Annals

- Diskin, M. 1969. Thiessen Coefficients by a Monte Carlo procedure. *J. Hydrol.* 8 : 323 - 335.
- _____ 1970. On the computer evaluation of thiessen weights. *J. Hydrol.* 2 : 69 - 78.
- Donley, D.E. and R.L. Mitchell. 1939. The relation of rainfall to elevation in the southern Appalachian Region. *Trans. Am. Geophys. Union.* 20 (4) : 711 - 721.
- Douglas, C., and J. Glasspoole. 1947. Meteorological conditions in heavy orographic rainfall in the British Isles. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 73 : 11 - 43.
- Duckstein, L., M. Fogel, and J. Thames. 1973. Elevation effects on rainfall : A stochastic model. *J. Hydrol.* 18 : 21 - 35.
- Dunne, T., and L. Leopold. 1978. *Water in environmental planning.* San Francisco : W. Freeman and Company.
- El-Khatib, Abdel Basset. 1980. *Seven green spikes.* Jeddah, Saudi Arabia : Dar Al asfahani.
- Elliott, R., and R. Shaffer. 1962. The development of quantitative relationships between orographic precipitation and air-mass parameters for use in forecasting and cloud seeding evaluation. *J. Appl. Met.* 1 : 218 - 228.
- Flohn, H. 1972. Comments on water budget investigations, especially in torpical and subtropical mountain regions. *World Water Balance* 2 : 251 - 261.
- Gole, C.V., G. Kulkarni, and G. Khatavkar. 1972. Study of orographic effect on optimum number of rain gauges. In *Distribution of precipitation in mountainous areas*, Vol. 2, No. 326, pp. 421 - 431. Geneva : World

- Chidley, T., and K. Keys. 1970. A rapid method of computing areal rainfall. *J. Hydrol.* 12 : 15 - 24.
- Chuan, Goh Kim, and J. Lockwood. 1974, An assessment of topographical controls on the distribution of rainfall in the central Pennines. *Met. Mag* 103 : 275 - 287.
- Colton, D. 1976. Numerical simulation of the orographically induced precipitation distribution for use in hydrologic analysis. *J. Appl. Met.* 15 (12) : 1241 - 1251.
- Cooper, C.F. 1967. Rainfall intensity and elevation in southern Idaho. *Water Resources Res.* 3 (10) : 131 - 137.
- Critchfield, H. 1974. *General climatology*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, Inc.
- Department of Water Resources Development, Division of Hydrology. 1981. Rainfall report for the period 1971 - 75. Vol. 1, No. 98. Riyadh, Saudi Arabia : Ministry of Agriculture.
1981. Rainfall report for the period 1976-80. Publication No. 98, Vol. 1. Riyadh, Saudi Arabia : Ministry of Agriculture.
- _____ 1981. Rainfall and temperature report for 1980. Publication No. 96. Riyadh, Saudi Arabia : Ministry of Agriculture.
- Dhar, O., and P. Rakhecha. 1981. The effect of elevation on monsoon rainfall distribution in the Central Himalayas. In *International symposium on monsson dynamics*, ed. J. Lighthill and R. Pearce, pp. 253 - 260. Cambridge : Cambridge University Press.

application. London : Methuen & Co. Ltd.

- Beaumont, P., G.H. Blake, and J. Wagstaff. 1976. *The Middle East; Geography Study*. New York : John Wiley & Sons.
- Bochkov, A., and L. Struzer. 1972. Estimation of precipitation as water balance element. In *World water balance, Proc. of the Reading Symposium, July, 1970*. Vol. 1., pp. 186 - 193. Paris : IASH - UNESCO, World Meteorological Organization.
- Bonacina, L. 1945. Orographic rainfall and its place in the hydrology of the globe. *Quart. J. Roy. Met. Society* 71 : 41 - 5 .
- Brooks, C., and N. Carruthers. 1978. *Handbook of statistical methods in meteorology*. London : Her Majesty's Stationary Office.
- Brown, L.H., and J. Coheme. 1972. A study of the agroclimatology of the highlands of eastern Africa. In *Tech. Note 175*, pp. 41 - 65. Geneva : World Meteorological Organization.
- Butler, S. 1957. *Engineering hydrology*. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice - Hall, Inc.
- Chang-Jen-Hu. 1967. The Indian summer monsoon. *Geog. Rev.* 57 (3) : 373 - 396.
- Chang, M. 1973. Effect of topography and site exposure on precipitation distribution in mountainous areas. ph. D. Dissertation, Department of Hydrology, West Virginia University, Morgantown.

REFERENCE LIST

- Akin, J.E. 1971. Calculation of mean areal depth of precipitation. *J. Hydrology* 12 : 363 - 376.
- Al-Mawled, F. Al. 1982. Climate of the west of Saudi Arabia. Masters thesis. Department of Geography. King Saud University, Riyadh (in Arabic).
- Al-Qurashi, Mohameed D. 1981. Synoptic climatology of the rainfall in the southwest region of Saudi Arabia. Research Paper. Dept. of Geography, Western Michigan, Kalamazoo.
- Ayoade, J.O. 1983. Introduction to climatology for the tropics. New York : John Wiley & Sons.
- Balchin, W. and N. Pye. 1948. Local rainfall variations in Bath and the surrounding district. *Quart. J. Roy. Met. Society* 74 : 361 - 378.
- Barry, R. 1969. Precipitation. In *Water, earth, and man*, ed. R. Chorley, pp. 113 - 129. New York : Methuen & Co., Ltd.
- 1981. *Mountain weather and climate*. New York : Methuen & Co., Ltd.
- Barry, R. and R. Chorley, 1982. *Atmosphere, weather and climate*. New York : Methuen.
- Barry, R., and A. Perry. 1973. *Synoptic climatology methods and*

فهرس المحتويات

صفحة	محتويات البحث
٧	الفصل الأول : جغرافية المنطقة الجنوبية الغربية
٩	- التضاريس
٩	- المناخ
٢٥	الفصل الثاني : استعراض الدراسات السابقة لأمطار المناطق الجبلية.
٢٧	- الأمطار الجبلية والنماذج
٢٩	- علاقة الأمطار بالمرتفعات
٣٧	- العوامل التي تؤثر على علاقة الأمطار بالمرتفعات
٤٣	- قياس الأمطار وتحليلها
	الفصل الثالث : الطرق والأساليب الإحصائية التي استخدمت في تحليل
٥١	ودراسة الأمطار.
	الفصل الرابع : تحليل الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية
٦٩	السعودية.
٧١	- بيانات الأمطار
٧١	- الطرق و الأساليب التي استخدمت في تحليل الأمطار في جنوب
	غرب المملكة
٧٣	- توزيع الأمطار في جنوب غرب المملكة
٧٤	- أمطار الشتاء
٧٨	- أمطار الربيع
٨٣	- أمطار الصيف
٨٨	- أمطار الخريف

٩٢	- الأمطار السنوية
	- التوزيع الزمني والمكاني (الجغرافي) للأمطار في المنطقة الجنوبية الغربية باستخدام التحليل التوافقي.
٩٥	
١١٩	- علاقة الأمطار بالمرتفعات في جنوب غرب المملكة
١٢٧	الفصل الخامس : خاتمة البحث والتوصيات
١٥٢	-الملاحق
١٦٦	-المراجع