الفصل الثانى

فاعليات العناصر الجوية للطقس والمناخ وملوثات الهواء الصلبة

مقدمـــة

أولا: درجة حرارة الهواء

ثانيا: ظاهرات الجو المائية

١- الرطوبة النسبية

٢- الضباب

٣- المطر

ثالثا: الرياح

رابعا: الطقس والمناخ وتوليد ونشر ملوثات الهواء الصلبة

١- الغبار الساقط

٢- الجسيمات السابحة

خلاصة الفصل

تمهيد:-

ويهدف هذا الفصل الى إبراز:

- أبعاد العلاقة المتبادلة بين العناصر المناخية بعضها ببعض.
- دور عناصر المناخ كضوابط لتلوث الهواء وكمصدر طبيعى له فـــى ذات الوقت.
- أهم الظاهرات الميترولوجية المؤثرة فى تلوث الهواء.
- تأثير بعض الظاهرات المناخية المحلية مثل نسيم البر والبحر فى منـــاخ المنطقة وتلوث الهواء.
- مساهمة عناصر الطقس والمناخ فى توليد ونشر ملوثات الهواء الصلبة.

مقدمة:-

يعتبر المناخ أهم العوامل الطبيعية المؤثره فى تلـــوث الـــهواء. إذ أن لعنـــاصره فاعلية واضحة فى التأثير على ملوثات الهواء مـــن حيـــث الإنتشـــار والتوزيـــع والتركيز والتفاعلات الكيميائية والكيميوضوئية. فضلا عن كون بعض عنـــاصره تعد من المصادر الطبيعية لتوليد ملوثات الهواء الصلبة.

وتشرح الأرصاد الجوية العالمية أهمية عناصر المنـــاخ فـــى توزيـــع ملوثات الهواء إذ تقول: (أياً كان توزيع مراكز التلوث وإنتشار الفضلات الملوثـــه فانها تتأثر إلى حد كبير بإتجاه الرياح ودرجة الحرارة) [لافون: ســـنة ١٩٧٧م. ص ٧].

وتعتمد دراسة مناخ المنطقة على بيانات أربع محطات لرصـــد المنـــاخ (الكيمومة - القطيف - الظهران - الهفوف) وخمس محطـــات لرصـــد المطـــر (رأس الخفجي - راس السفانية - رأس تنوره - العقـــير - ســـلوه) (شـــكل ٦ وجدول ٢).

ويضاف إليها بيانات تسع محطات لرصد المناخ ونوعية الـــهواء Air Quality (محطات الرصد البيئى) تتوزع فى مدينة الجبيل الصناعيـــة (شـــكل ٥ وجدول ٣).

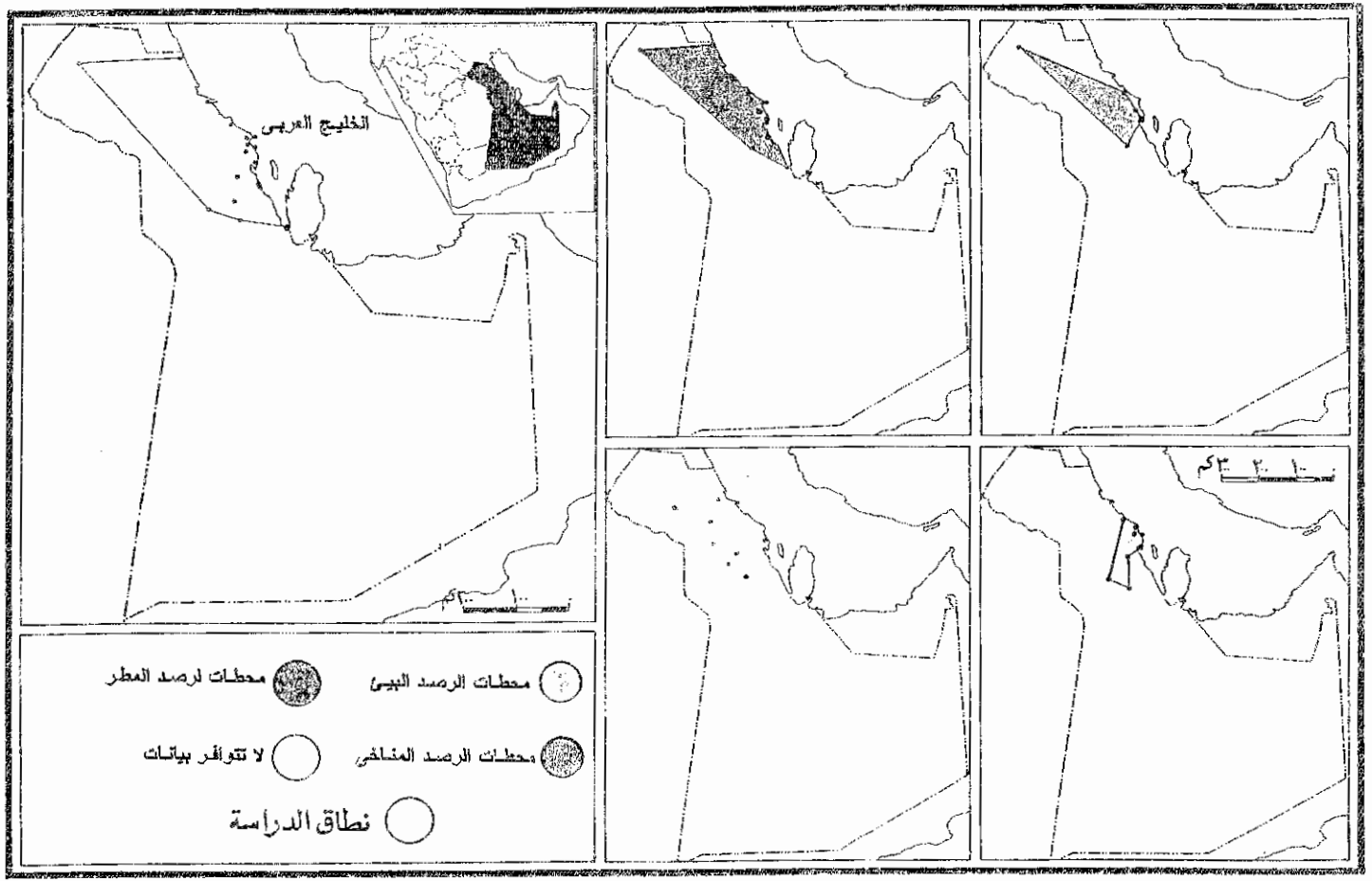
ويمكن دراسة خصائص العناصر المناخية للمنطقة على النحو التالى:

أولا: درجة حرارة الهواء.

ثانيا: ظاهرات الجو المائية (الرطوبة النسبية - الضباب - المطر).

ثالثا: الرياح.

رابعا: الطقس والمناخ وتوليد ونشر ملوثات الهواء الصلبة.



شكل ٦

محطات الدراسة فى المنطقة الشرقيه المناخيه والبيئية

أولاً: درجة حرارة الهواء

تؤثر درجة حرارة الهواء بصورة غير مباشرة فى تلوث الهواء، إذ تساعد على سرعة العديد من التفاعلات الكيميائية العضوية وغير العضوية. وهناك قاعدة تؤكد أن كل إرتفاع فى درجة حرارة الهواء بمقدار عشر درجات مئوية يؤدى إلى مضاعفة معدلات التفاعل الكيميائى [غرايبة ويحيى، سنة ١٩٨٧. ص٩٩]. وتتحكم أيضا درجة حرارة الهواء القريب من سطح الأرض فى العديد من الظاهرات الميترولوجية (فى طبقات الجو العليا) التى تتحكم بدورها فى توزيع ملوثات الهواء رأسيا فى طبقات الهواء.

وتتباين درجة حرارة سطح الأرض تبعا لمدة شروق الشمس وكثافة الإشعاع الشمسى Solar Radiation الذى يمثل مصدر الطاقة الحرارية الأرضية Earth's Heat Energy. ومن ثم تنتقل الحرارة من سطح الأرض إلى الهواء الملامس لها، لتصبح درجة حرارة الهواء إنعكاسا لما تكتسبه الأرض من حرارة بواسطة الإشعاع الشمسى.

ولقد تبع الموقع الفلكى للمنطقة (بين دائرتى عرض ١٦ و٢٩ درجة شمالا تقريبا) إرتفاع فى نصيبها من الإشعاع الشمسى وبالتالى إرتفاع فى درجة حرارة الهواء معظم شهور السنة. ويمكن تقسيم السنة وفقا لدرجة حرارة الهواء فى المنطقة إلى فصلين:

١- فصل حار ٢- فصل بارد

(١) الفصل الحار:

يمتد الفصل الحار لمدة سبعة شهور تبدأ من شهر إبريل وتنتهى فى شهر أكتوبر. وتعكس قيم المتوسطات الشهرية (جدول٤) إرتفاع درجة حرارة الهواء فى مختلف المحطات، حيث تتراوح بين ٢٥ و ٣٦ درجة مئوية.

ويكاد يختفى تأثير الموقع الجغرافى على الخليج العربى فى تلطيف درجة حرارة الهواء فى المحطات الساحلية - بسبب ضيق الخليج العربى كمسطح مائى وضحولته وبقاء مياهه المدارية - لتنحصر الفروق الحرارية بين المحطات

الساحلية والداخلية فى مدينة الجبيل الصناعية فى ثلاث درجات مئوية فقط. كما تقل الفروق إلى جزء من الدرجة المئوية عند المقارنة بين محطتى القطيف والظهران (ساحلية) ومحطتى القيصومة والهفوف (الداخلية).

ويرتفع متوسط درجة الحرارة العظمى ليتراوح بين ٤٤ درجة مئوية تقريبا فى شهر يوليو (قمة الفصل الحار) و ٣٢ درجة مئوية فى شهر إبريل. ويعد شهر إبريل – فى الواقع – شهراً انتقالياً من الفصل البارد إلى الفصل الحار. لإختلاف خصائصه الحرارية مقارنة بباقى شهور هذا الفصل[1]. إذ يتراوح المتوسط الشهرى لدرجة حرارة الهواء فى شهر إبريل بين ٢٤ و ٢٦ درجة مئوية بفارق عشر درجات مئوية عن مثيله فى شهر يوليو (شكل ٧). وينخفض أيضا متوسط درجة الحرارة الدنيا إلى ١٨ درجة مئوية ودرجة الحرارة الدنيا إلى ٤ درجة مئوية، فى حين لم تنخفض فى الشهور الاخرى للفصل الحار عن ٢٢ درجة مئوية و ١٢ درجة مئوية لكل منهما على التوالى (جدول ٤).

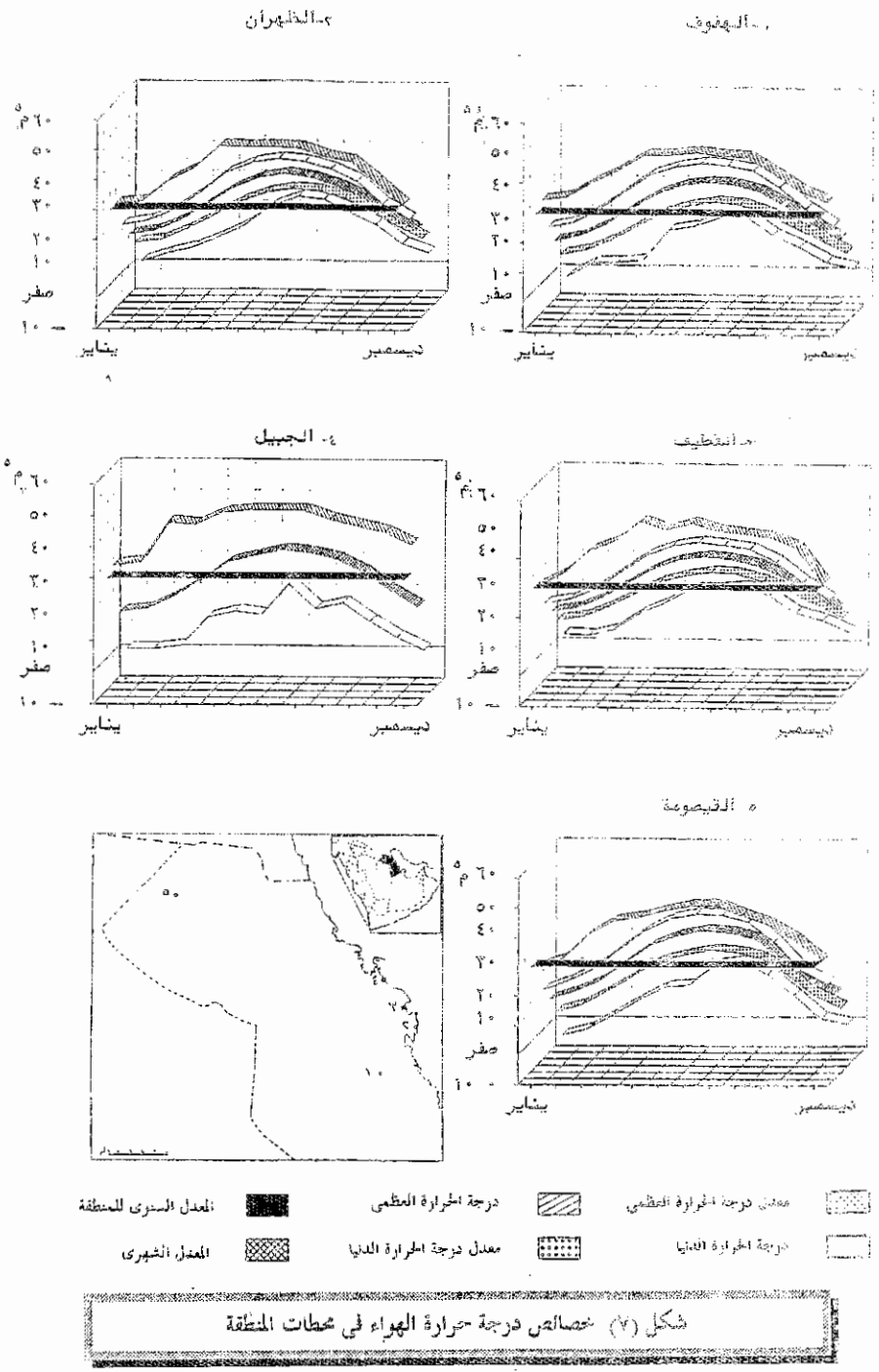
ويمكن إعتبار شهر أكتوبر شهراً انتقالياً أيضاً. إذ تميل خلاله درجة الحرارة نحو الإنخفاض الطفيف ليقترب من الفصل البارد[2].

حيث يتراوح خلاله المتوسط الشهرى بين ٢٧ و ٢٩ درجة مئوية وينخفض متوسط درجة الحرارة الدنيا ومتوسط درجة الحرارة العظمى إلى ١٨ درجة مئوية و ٣٥ درجة مئوية على التوالى (جدول ٤). بينما ترتفع درجة الحرارة العظمى إرتفاعاً كبيراً خلال شهور هذا الفصل لتصل مثلاً إلى ٥١ درجة مئوية تقريباً فى محطة القطيف الساحلية خلال شهر يوليو (شكل ٧).

---

(١) يعد شهر إبريل فصل الربيع القصير فى المنطقة إذ يمثل الفترة الانتقالية من الفصل البارد إلى الفصل الحار.

(٢) يعد شهر أكتوبر فصل الخريف فى المنطقة إذ يمثل الفترة الانتقالية من الفصل الحار إلى الفصل البارد. وهكذا تتميز المنطقة بقصر الفصلين الانتقاليين مثلها مثل سائر مناطق المناخ الصحراوى.



شكل (٧) خصائص درجة حرارة الهواء في محطات المنطقة

(٣) **الفصل البارد:**

يمتد الفصل البارد ليغطى الشهور الخمسة الباقية من شهر نوفمبر إلى شهر مارس. وتعكس قيم المتوسط الشهرى الإنخفاض الطفيف فى درجة حرارة الهواء خلال هذا الفصل إذ بلغ أقل متوسط شهرى ١٢ درجة مئوية تقريباً فى شهر يناير الذى يمثل أكثر الشهور برودة. ويتراوح أيضا متوسط درجة الحرارة خلال هذا الشهر بين ١٢ و١٦ درجة مئوية تقريباً (شكل ٧).

ويرتفع متوسط درجة الحرارة الدنيا ليتراوح بين ٦ درجات مئوية خلال شهر يناير بمحطة القيصومة (أكثر محطات المنطقة توغلا نحو الشمال وأكثرها إستقبالاً للهواء القطبى البارد شتاءً) ، وبين ١٧ درجة مئوية فى محطتى القطيف والظهران خلال شهر نوفمبر (أواخر الخريف). ويرتفع كذلك متوسط درجة الحرارة العظمى ليتراوح بين ١٨ و ٢٩ درجة مئوية (جدول ٤).

وتتعرض المنطقة خلال شهور هذا الفصل لبعض الموجات الحارة. إذ ترتفع درجة الحرارة العظمى فى شهر مارس إلى ٤٦ درجة مئوية فى أثناء هبوب رياح السموم فى مقدمة المنخفضات الجوية. وتهب هذه الرياح من جهة الجنوب من صحراء الربع الخالى فيصل هواء مدارى قارى شديد الحرارة ومحملاً بالأتربة والرمال مما يساعد على مزيد من الإرتفاع فى درجة حرارة الهواء.

وتصل كذلك بعض الموجات الباردة خلال شهر يناير إلى الأطراف الشمالية لمنطقة الدراسة حيثما تقع محطة القيصومة (٢٠ ٢٨ شمالا و ٤٧ ٧ شرقاً) فتنخفض فى هذه الأثناء درجة الحرارة الدنيا إلى ما دون الصفر المئوي. وقد بلغت أقل درجة حرارة دنيا ٤,١ درجة مئوية تحت الصفر فى شهر يناير سنة ١٩٧٨م فى محطة القيصومة.

وبلغت أيضا أقل درجة حرارة دنيا فى شهر فبراير درجتين مئويتين تحت الصفر، و ٠,٢درجة مئوية تحت الصفر فى شهر ديسمبر لذات المحطة. ويعد شهر يناير أكثر الشهور برودة حين تسجل غالبا أقل درجات الحرارة الدنيا فى المنطقة. كما أنه الشهر الوحيد الذى تنخفض فيه درجة الحرارة إلى ما دون

الصفر المئوى في محطة الهفوف (محطة داخلية تقع عند دائرة عرض ٣٠ ٢٥ شمالا وخط طول ٣٤ ٤٩ شرقاً)، بينما ترتفع فوق الصفر المئوي خلال شهرى ديسمبر وفبراير.

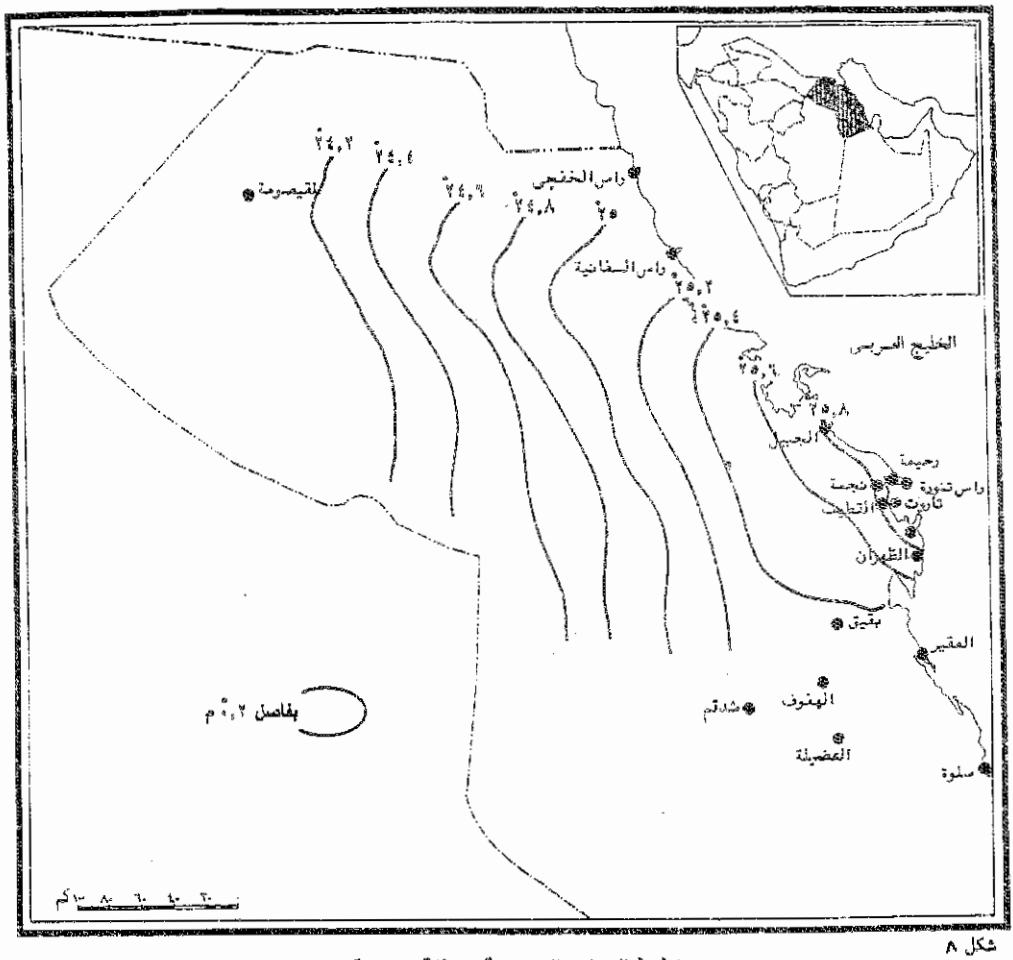
وتشير درجة الحرارة الدنيا فى المحطات الساحلية[1] (الظهران - القطيف - وبعض محطات الجبيل) إلى بعض الارتفاع النسبى حين تبقى فوق مستوى التجمد خلال شهور هذا الفصل كنتيجة مباشرة لتأثرها بدفء مياه الخليج العربى التى لا ينخفض متوسط درجة مئوية حرارتها عن ٢١ درجة مئوية خلال شهر يناير [شرف، سنة ١٩٨٠ ص١٨٩]. ويتراوح المتوسط السنوى بين ٢٥,٨ درجة مئوية فى المحطات الساحلية وبين ٢٤,٢ درجة فى الأخرى الداخلية (شكل ٨).

وهكذا يمكن الحكم على مناخ المنطقة بأنه مناخ حار وفق تحديد ترورثا Trewartha للأقاليم المناخية [Trewartha, 1980 . p.349] اذ يرتفع المتوسط الشهرى لأكثر من عشر درجات مئوية خلال ثمانية شهور فى سائر المحطات (شكل ٧).

وتتميز منطقة الدراسة بارتفاع المدى الحرارى السنوى Annual Range . ويرجع ذلك إلى تعرضها لتأثير الضغط المرتفع الاسيوى الذى يتبعه وصول الهواء القطبى القارى شتاءً . كما تخضع صيفاً لتأثير النفوذ الصحراوى

---

[1] بمقارنة درجة الحرارة الدنيا بالمحطات الساحلية بالمنطقة مع مثيلاتها فى محطة جده السعودية على ساحل البحر الاحمر نجد أنها لم تنخفض فى محطة جدة (سنة ١٩٦٦ - سنة ١٩٧٩م) عن ١١,٤ درجة مئوية. ويوصف لهذا مناخ جده بأنه معتدل شتاء، بينما يوصف المناخ هنا بأنه بارد [فايد، سنة ١٩٨٢. ص٢٩٦]. وحين نقارن ايضا مناخ محطة الهفوف الداخلية بمحطة الرياض السعودية (فى نفس دوائر العرض تقريبا) نجدها أكثر برودة من محطة الرياض التى لم تنخفض فيها درجة الحرارة الدنيا الى مادون الصفر المئوى (سنة ١٩٧٦ - سنة ١٩٨٨م) [وزارة المالية والاقتصاد الوطنى، الكتاب الاحصائى للفترة سنة ١٩٧٦ - سنة ١٩٨٨م].



شكل ٨

خطوط الحراره المتساوية لمنطقة الدراسة

المتوسط السنوى

بهوائه القارى الحار[1]. ويتراوح معدل المدى الحرارى السنوى فى المحطتين الساحليتين ومحطات الجبيل بين ١٩ و ٢٢ درجة مئوية. ويرتفع لأكثر من ذلك فى المحطتين الداخليتين ليتراوح بين ٢٠ و ٢٥ درجة مئوية، ويتفوق بذلك عن معدل المدى الحرارى السنوى للمنطقة (شكل ٩). ويعكس ذلك شدة قارية مناخ المنطقة حتى بالنسبة لمحطاتها الساحلية حيث يتجاوز المدى الحرارى السنوى ٢٠ درجة مئوية لتشبه مثيلاتها فى المناطق القارية [2] [شرف، سنة ١٩٨٥، ص ٤٦٨].

وتظهر قارية مناخ المنطقة بوضوح عند حساب درجة القارية التى يبلغ متوسطها ٦.١ و ٦.٥ و ١٣.٣ و ١٥.٥ لمحطات القيصومة والهفوف والقطيف والظهران وتتراوح بين ١٠ و ١٥. وبما أن علامة الصفر تعنى شدة القارية فإن محطة القيصومة أكثرها قارية ومحطة الظهران أقلها (شكل ١٠) [3].

---

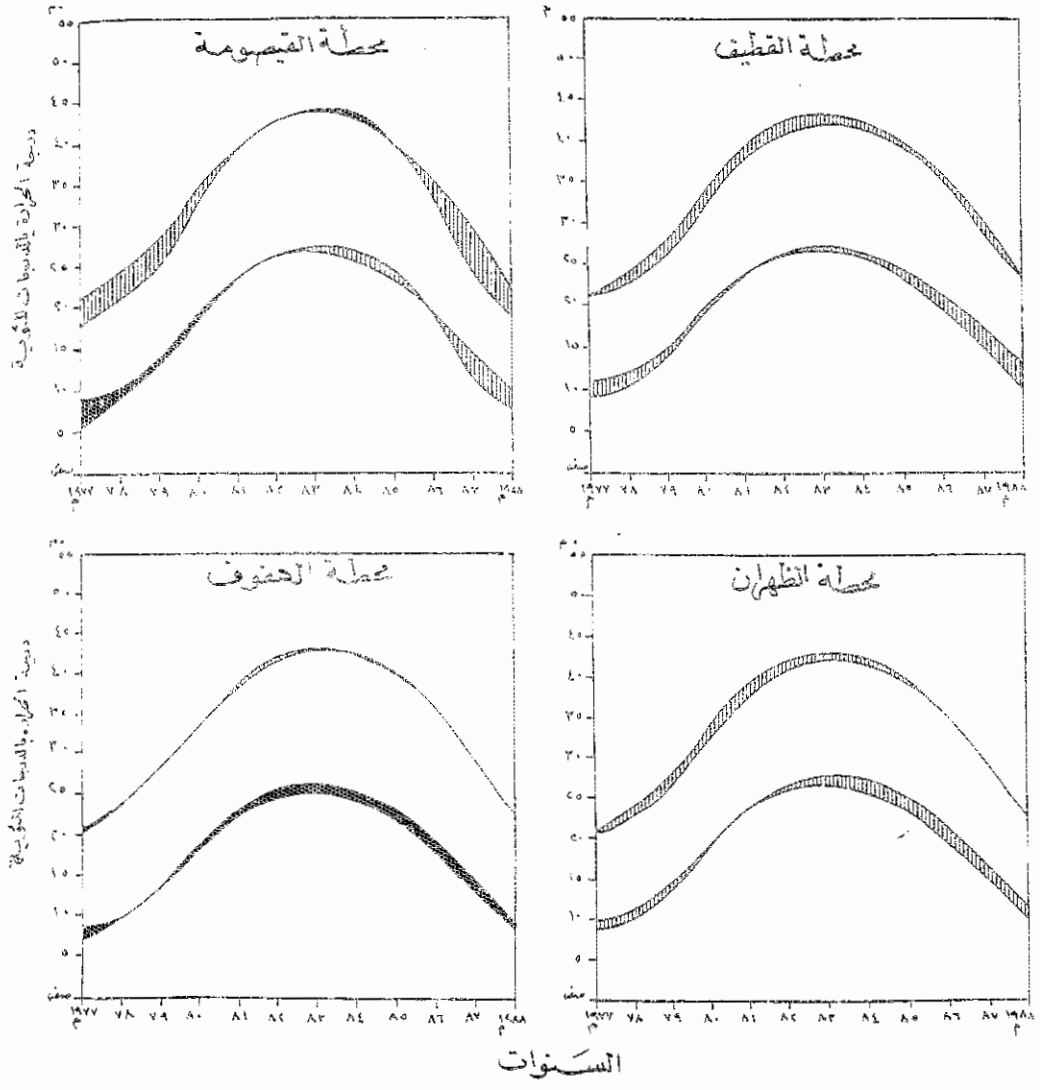
[1] ويرتفع ايضا المدى الحرارى اليومى فى المنطقة بسبب صفاء السماء وقلة السحب والغيوم وارتفاع كثافة الاشعة الشمسية وندرة الغطاء النباتى فتسخن بسرعة نهارا. ووفقا للقوانين الفيزيائية فان الاجسام التى تسخن بسرعة تبرد ايضا بسرعة وينم ذلك عن طريق الاشعاع الارضى ليلا.

[2] كما هو الحال فى محطتى الرياض وحائل بالسعودية حيث بلغ متوسط المدى الحرارى السنوى ١٩ و ٢ لكل منهما على التوالى (سنة ١٩٦٧ – سنة ١٩٧٩) [الشريف، سنة ١٩٨٤ ص ص ٦٤-٦٧].

[3]

$$\text{درجة القارية} = \frac{\text{الفرق بين متوسط درجة حرارة شهر اكتوبر وشهر ابريل بالدرجات المئوية}}{\text{المدى الحرارى السنوى لدرجة حرارة الهواء بالدرجات المئوية}} \times ١٠٠$$

وتشير درجة القارية Continental Degree إلى أن مناخ المحطات الساحلية بالمنطقة شديد القارية مقارنة بمثيله فى مدينتى الاسكندرية المصرية وبيروت اللبنانية حيث تبلغ ٤٢ و ٣٨ لكل منهما بالتوالى [عبدالحكيم، سنة ١٩٧٩، ص ص ٨٠-٨١]. وتقترب درجة القارية فى سائر محطات الدراسة من درجة القارية فى بعض المدن الداخلية مثل مدينتى اسيوط والمنيا (جمهورية مصر العربية) حيث تبلغ ٩ و ١٤ فى كل منهما على التوالى [إسماعيل، سنة ١٩٦٩، ص١٣٤].



شكل (٩) معدل المدى الحراري السنوي

ويمكن تحديد درجة تأثير عامل الجوار من الخليج العربى فى التطرف الحرارى بالمنطقة من خلال تحديد العلاقة بين البعد عن الساحل وكل من درجة القارية والمدى الحرارى السنوى. حيث يتضح زيادة القارية بمعدل ١,٧ ويرتفع المدى الحرارى السنوى بمعدل ٢,١ درجة مئوية لكل ١٠ كيلومتر بعدا عن الساحل. ويكاد ينتفى تأثير عامل التضرس فى الحد - جزئياً - من التطرف الحرارى وكذا المدى الحرارى السنوى. وتعتبر محطة القيصومة أبرز مثال على ذلك حيث ترتفع بمقدار ٣٥٧ مترا فوق مستوى سطح البحر، إلا أنها أكثر المحطات إرتفاعا فى المدى الحرارى السنوى (شكل ١٠). ويرجع ذلك إلى موقعها شمالاً حيث تتأثر كثيراً بالهواء القطبى شتاءً، وتبعد عن دفء مياه الخليج العربى فى ذات الوقت. وهكذا يصبح الموقع الجغرافى أكثر فاعلية فى تحديد خصائص درجة الحرارة مقارنةً بالارتفاع فوق مستوى سطح البحر.

هذا وتلعب درجة حرارة الهواء دوراً أساسياً وخطيراً فيما يتعلق بمشكلة تلوث الهواء. إذ تتحكم فى توزيع ملوثات الهواء على المستوى الرأسى محددة بذلك درجة تركيزها عند مستوى سطح الأرض ومن ثم أبعاد خطورتها على صحة الإنسان والبيئة. وتلعب درجة حرارة الهواء ذلك الدور من خلال ثلاث ظاهرات ميترولوجية هى:

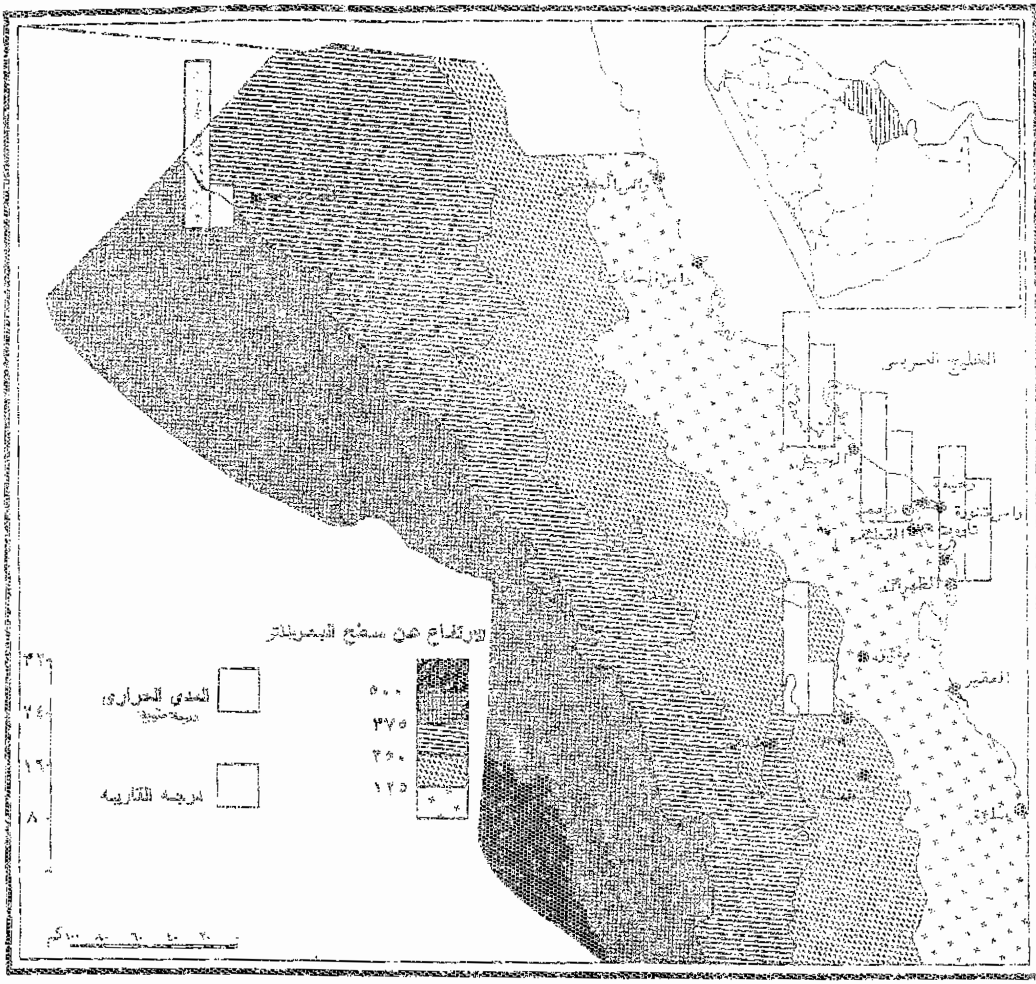
أ- الإنقلاب الحرارى ب- إستقرار الهواء السطحى ج- إرتفاع طبقة الإختلاط[1]

أ- الإنقلاب الحرارى:

يأخذ التوزيع الرأسى لدرجة حرارة الهواء إتجاهين متباينين هما: إنخفاض درجة حرارة الهواء مع الإرتفاع فوق مستوى سطح البحر (الوضع العادى)، والآخر، إرتفاع درجة حرارة الهواء مع الإرتفاع فوق مستوى سطح البحر (الإنقلاب الحرارى) وتتناقص درجة حرارة الهواء مع الإرتفاع (الإتجاه الأول) فى طبقة التروبوسفير فيما يطلق عليه التناقص الحرارى البيئى **Environmental**

---

[1] تقتصر دراسة هذه الظاهرات على محطات مدينة الجبيل الصناعية لعدم توفر البيانات اللازمة لدراستها فى المحطات الأخرى.



شكل ١٠ معدلات درجة القارية والمدى الحراري بمنطقة الدراسة

Lapse Rate أو التناقص الحراري الفعلي Actual Lapse Rate . ويختلف معدل التناقص الحراري باختلاف طبيعة الهواء حيث يحدث التناقص الحراري الاديباتي الجاف Dry Adiabatic lapse Rate عندما يصعود الهواء الجاف إلى أعلى بدون تغير في درجة حرارته عن الهواء المحيط .(*) ويبلغ هنا معدل التناقص الحراري درجة واحدة مئوية لكل مائة متر إرتفاع. بينما يحدث التناقص الحراري الاديباتي المشبع Saturated Adiabatic Lapse Rate حينما يصعد الهواء المشبع ببخار الماء إلى أعلى فتنخفض درجة حرارته ٦ر٠ درجة مئوية فقط لكل مائة متر ارتفاع(*)[Grandjean, 1976 p.9]. (٣)

ويمكن تحديد الإنقلاب الحراري عندما يصبح مدى التناقص الحراري الجوي سالباً أي تزيد الحرارة البيئية Environmental Temperature مع الإرتفاع، بمعنى أن الإنحدار الحراري Temperature Gardient موجب [Sellers, 1984. p.43].

ويحدث الإنقلاب الحراري Thermal Inversion حينما يكون تسخين الهواء غير كاف لإرتفاعه إلى أعلى، فتبقى طبقة الهواء البارد الثقيلة بالقرب من سطح الأرض بينما ترتفع فوقها طبقة الهواء الدافىء .[Wanta, 1976. p.338].

العمليات الاديباتية Adiabatic Processes هي تلك العمليات التي لا يحدث فيها تغير في الطاقة. [Sellers, 1984. p.39]

(*) يرجع ذلك الاختلاف إلى أنه حينما يبرد الهواء المشبع ببخار الماء تحدث عملية التكاثف، ويتبع ذلك إنطلاق الحرارة الكامنة Latent Heat في بخار الماء مما يؤخر عملية برودة الهواء وبالتالي ينخفض معدل التبريد الذاتي للهواء المشبع. وتقدر كمية الحرارة الكامنة التي تنطلق في الهواء عند تكاثف جرام واحد من بخار الماء بنحو ٥٣٧ كالوري (وحدة السعر الحراري) [أبوالعطا، سنة ١٩٨٧م ص١١١].

(*) تقدر معدلات التناقص الحراري مع الإرتفاع على طبقة الهواء السفلية المحصورة في إرتفاع يتراوح بين ٨ر٩ الكيلومترات الاولى من طبقة التروبوسفير السفلية. [الفندي، سنة ١٩٦٠. ص٧٥].

وقد يتكون الإنقلاب الحرارى بالقرب من سطح الأرض فيطلق عليه الإنقلاب الحرارى السطحى Surface Thermal Inversion [1] - [2] ويحدث هذا الإنقلاب الحرارى السطحى ليلا حينما يزيد الإشعاع الأرضى [3] منذ حوالى الساعة العاشرة مساءً حتى الثانية من صباح اليوم التالى. ويساعد على حدوث هذا الإنقلاب: الليالى الشتوية الطويلة والسماء الصافية وسكون الهواء والتربة الرملية (يساعد التوصيل الحرارى المنخفض للرمال على خفض درجة حرارة طبقة الهواء الملامس لسطح اليابس [Trewartha, 1980. p.38].

ويتكرر هذا الإنقلاب فى مدينة الجبيل الصناعية فى جميع فصول السنة (لتوفر الظروف المناخية التى تساعد على حدوثه) بإستثناء شهور الصيف (يونية - يولية - اغسطس) ويكثر حدوثه خلال الفصل البارد ليلاً ثم سرعان ما يتلاشى مع شروق الشمس خلال ساعات الصباح الباكر.[4]

كما يحدث إنقلاب حرارى قريباً من سطح الأرض بسبب نسيم البحر (الخليج العربى) ويطلق عليه إنقلاب نسيم البحر Sea Breeze Inversion الذى يتكون نهاراً فى مختلف شهور السنة بمدينة الجبيل الصناعية. ويصل إلى

---

[1] ويطلق عليه أيضا الإنقلاب المستقر- Static Inversion- تمييزا له عن الإنقلاب المتحرك Inversion Dynamic الذى ينتج عن نسيم الجبل ليلا و يتبعه انزلاق الهواء البارد Air Drainage إلى بطون الأودية [كربل، سنة ١٩٧٨. ص٢٨].

[2] وقد يطلق عليه أيضا إنقلاب الإشعاع Radiation Inversion لحدوثه أساسا بفعل الإشعاع الأرضى ليلا [Sellers, 1984 p.42].

[3] يشع سطح اليابس الحرارة بصورة أفضل من الهواء الذى يقع فوقه فتبرد اليابس أولا. وهكذا وعن طريق الأختلافات الاشعاعية بين الطبقة السفلى للهواء واليابس وبواسطة عملية التوصيل الحرارى Conduction، تبرد طبقة الهواء القريب من سطح اليابس أولا.

[4] قد بلغ عدد هذا النوع من الانقلابات الحرارية فى مدينة حلوان بالقاهرة فى عام ١٩٨٠م: ٢١٣ إنقلابا. يقع ٧٥ منها فى فصل الشتاء و ٥٨ فى فصل الربيع و ٥٠ فى فصل الخريف وتنخفض الى ٣٠ إنقلابا فقط فى فصل الصيف [عمر، سنة ١٩٨٨ (أ) ص١٨]. وهكذا يستحوذ فصلا الشتاء والربيع على ٦٢% من هذه الانقلابات التى ترتبط اساسا بانخفاض درجة الحرارة وصفاء السماء ليلا.

أقصى توغل له خلال شهور الصيف. ويؤدى هذا الإنقلاب إلى إرتفاع الرطوبة النسبية نهاراً في أثناء توفر اشعة الشمس وضوئها مما يتبعه زيادة فى سرعة التفاعلات الكيميوضوئية (كيميائية + ضوئية) بين ملوثات الهواء بالمنطقة. فينتج عنها ملوثات كيميوضوئية Photochemical Pollutants جديدة تضاف إلى مكونات الهواء. ولعل هذا ما يميز إنقلاب نسيم البحر عن سواه إذ يضيف ملوثات جديدة مثل غاز الأوزون.

وقد يحدث أيضا إنقلاب حرارى بعيداً عن سطح الأرض ويطلق عليه الإنقلاب المرتفع Elevated Inversion. ويرجع هذا الإنقلاب إلى صعود هواء دافىء فوق هواء أبرد قريب من سطح الارض فى أثناء إلتقاء كتلتين هوائيتين إحداهما حارة والأخرى باردة. ويتميز هذا الإنقلاب بأنه متحرك Dynamic بإمتداد تحرك الجبهة بين الكتلتين الهوائيتين فيطلق عليه أيضاً الانقلاب الجبهى Frontal Inversion. ويكثر تكراره فى النطاق الساحلى بمدينة الجبيل الصناعية خلال شهور الربيع (مارس - إبريل - مايو) فى أثناء هبوط الهواء البارد من منحدرات الضغط الجوى المرتفع نحو الخليج العربى. ويستمر هذا الإنقلاب الجبهى حتى بعد شروق الشمس وبداية تسخين الشاطىء، لكنه قد يضعف أو يتحطم فوق المناطق الداخلية بالمدينة فى أواخر شهر مايو.

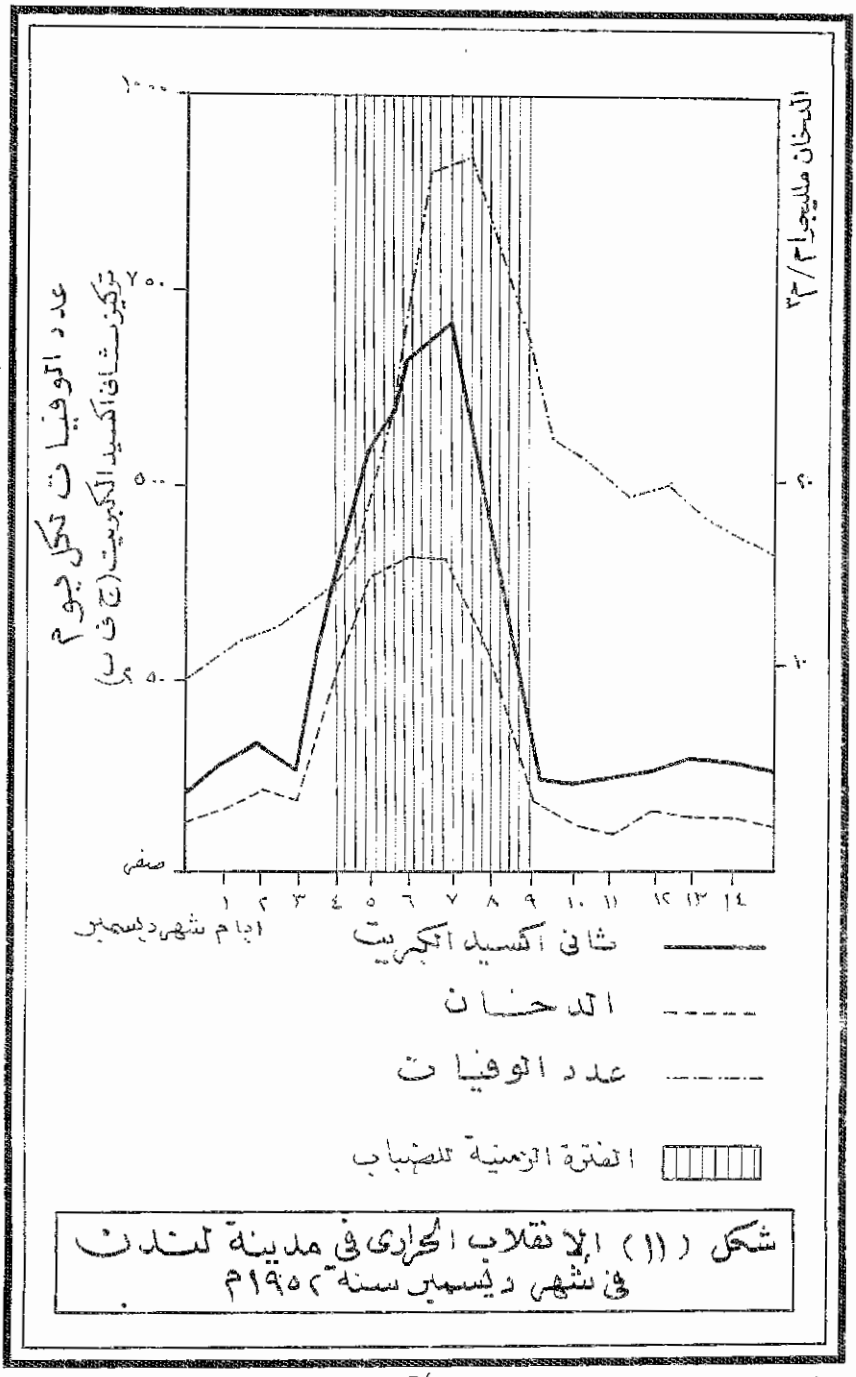
وتأتى خطورة ظاهرة الإنقلاب الحرارى[1] فى كونه يحدث على إرتفاع بضعة أمتار. ويتبعه إنحصار للهواء البارد وما يحويه من ملوثات قريباً من سطح الأرض. وهكذا تحول هذه الظاهرة دون إنتشار ملوثات الهواء وتوزيعها رأسياً، فيرتفع بالتالى تركيزها وتزيد خطورتها على صحة الانسان والبيئة .[Mills,1978. p.141]

---

[1] يبلغ المعدل السنوى لتكرار ظاهرة الانقلاب الحرارى بأسبابها المختلفة فى المدن العربية الخليجية ٣٠١ إنقلاباً. يستحوذ فصلا الخريف والشتاء معا على ٥٤% من جملتها. وتتأثر ليالى الخليج بحوالى ٨٣% من عددها السنوى [غنيمى، سنة ١٩٧٧. ص١٣]. ويدل ذلك على أنها من نوع الإنقلاب الحرارى السطحى الذى يرتبط أساسا بانخفاض درجة حرارة الهواء وصفاء السماء وسكون الرياح.

وقد كانت ظاهرة الإنقلاب الحرارى سبباً فى العديد من الكوارث الصحية لما يتبعها من تكوين طبقة كثيفة من الهواء الملوث بالقرب من سطح الأرض. ولعل أقدم الكوارث الصحية الناتجة عن هذه الظاهرة ما حدث فى وادى نهر ميوز بمدينة إنجس Ingis ببلجيكا فى ديسمبر سنة ١٩٣٠م حينما صاحب الإنقلاب الحرارى ضباب Mist قاتم من الدخان الملوث استمرت ثلاثة أيام وأدت إلى وفاة ستة وثلاثين شخصاً [أبو راضى، سنة ١٩٩١ ص٥٥]. وقد تكرر ذلك فى مدينة دونورا بولاية بنسلفانيا بالولايات المتحدة الامريكية.فى أكتوبر سنة ١٩٤٨م، حينما تكون الضباب الدخانى الذى راح ضحيته عشرون شخصا خلال يوم واحد وإصابة ستون ألف بأمراض الجهاز التنفسى [الشرنوبى، ١٩٨١. ص ١٨٩].

ولعل أشهر كوارث الإنقلاب الحرارى المقترن بمستوى عالٍ من تلوث الهواء، ما حدث فى مدينة لندن خلال الفترة من الخامس حتى التاسع من ديسمبر سنة ١٩٥٢م. حينما سيطر على المدينة نطاق من أضداد الأعاصير Anticyclones، فإنخفضت سرعة الرياح ودرجة حرارة الهواء إلى مستوى التجمد فى أثناء الضباب وتدنى مدى الرؤية خلال هذه الأيام ليبلغ فى المتوسط ٤٠٠ متراً. وبلغ ارتفاع طبقة الضباب حوالى مائة متراً أو أقل قليلاً. وقد إرتفع تركيز الدخان وكذلك ثانى أكسيد الكبريت الذى تراوح تركيزه بين ٠,١ - ١,٣٤ جزءً فى المليون [Briggs, 1985. p.168]. وقد صاحب هذا المستوى المرتفع من التلوث حدوث ظاهرة الإنقلاب الحرارى التى أدت إلى إحتجازه قريباً من سطح الأرض فارتفعت خطورته على صحة السكان (شكل ١١). وقد راح ضحيته حوالى أربعة آلاف شخص كان سبب وفاة ٨٤% منهم الإصابة بأمراض القلب والجهاز التنفسى. يضاف إليها ٧٠٤ حالة إصابة بالتهاب القصبة الهوائية [غرايبة، سنة ١٩٨٧. ص٢٦٥]. هذا ويقدر عدد الذين يموتون بسبب الأخطار الصحية لتلوث الهواء فى الولايات المتحدة الأمريكية بحوالى ٢١٠٠ شخص سنوياً [أبوراضى، سنة ١٩٩١. ص٥٥].



شكل (١) الانقلاب الحراري في مدينة لندن
في شهر ديسمبر سنة ١٩٥٢م

المصدر: غرايبة ، ١٩٨٧ ص٢٦٤

ومن الجدير بالذكر أن مدينة الدمام – إحدى مدن المنطقة – تتوفر فيها الظروف المناخية التى تساعد على إرتفاع مستوى تلوث الهواء خاصة فى فصل الصيف حينما يرتفع مستوى الرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء ويكثر تكرار انقلاب نسيم البحر نهاراً. وتصاحب هذه الظروف المناخية إستخدام كثيف لمكيفات الهواء التى ينبعث منها غاز ثانى أكسيد الكبريت والجزيئات الدقيقة العالقة التى تكون بمثابة نويات لتكون الضباب الدخانى (الضبخان Smog) فوق المدينة. ومما يزيد من هذا الإحتمال، كون مدينة الدمام أكبر مدن المنطقة من حيث عدد السكان، وموقعها الساحلى على الخليج العربى.

ب- إستقرار الهواء السطحى:

يتحدد إستقرار الهواء السطحى Atmospheric Surface Stability من خلال العلاقة بين معدل كل من التناقص الحرارى البيئى والادياباتى [Samuelsen, 1980. p.15]. فحينما يزيد معدل التناقص الحرارى البيئى عن معدل التناقص الادياباتى، ترتفع جزيئات الهواء إلى أعلى بإستمرار نتيجة لدفئه وقلة كثافته. وحينئذ يطلق على الهواء أنه غير مستقر Unstable Atmospheric Condition وتنشط الحركة الرأسية للهواء يصاحبها إنتشار رأسى لملوثاته. وحينما يقل معدل التناقص الحرارى البيئى عن معدل التناقص الادياباتى، يبرد الهواء المتصاعد ويصبح أكثر كثافة من الهواء المحيط فيهبط إلى أسفل وحينئذ يطلق على هذه الحالة إستقرار الهواء Stable Atmospheric Condition. ويكون الهواء فى حالة حيادية Neutral حينما يتعادل التناقص الحرارى البيئى مع التناقص الادياباتى [Hodges, 1977. p.78] ويتحكم فى درجة إستقرار الهواء السطحى بعض العناصر المناخية إذ يؤثر الإشعاع الشمسى Insolation سلبيا على إستقرار الهواء أثناء النهار فتساعد كثافة الأشعة الشمسية الساقطة على سرعة تسخين اليابس وبالتالى الهواء الملامس له، ويؤدى ذلك إلى خلخلة الهواء وعدم إستقراره ودفعه إلى الإنتشار رأسيا. بينما يقل تأثير الإشعاع الشمسى نهاراً فى حالة كثرة السحب والغيوم. ويؤدى الإشعاع الأرضى Terrestrial Radiation

ليلا إلى فقدان الأرض لحرارتها فتبرد بسرعة ومن ثم يبرد الهواء الملامس لـــها ويميل إلى الهبوط وترتفع درجة استقراره. وتساعد سرعة الرياح على ســـهولة إنتقال الحرارة رأسيا من اليابس إلى الهواء فينتشر رأسيا، فضلا عـــن إنتشـــاره أفقيا فى ظل الرياح شديدة السرعة.

وتؤثر درجة إستقرار الهواء فى إنتشار ملوثات الهواء على المســـتوى الرأسى من خلال تحديد إرتفاع طبقة إختلاط ملوثات الهواء، فضلا عـــن تحديـــد توزيعها الأفقى. فحينما يكون الهواء فى حالة إستقرار تتشتت وتتوزع الملوثـــات فى مستوى أفقى واحد وثابت تقريباً، بينما تنتشر فى صورة غير مســـتقيمة فـــى حالة الهواء غير المستقر [المعتاز، ســـبتمبر ســـنة ١٩٨٧. ص٧٧]. وتعتـــبر سرعة التشتت الهوائى (إنتشار الـــهواء) Atmospheric Dispersion ضروريـــة لتحديد درجة تركيز الملوثات الغازية التى تنطلق الى الهواء وقد ظهرت العديد من النماذج التى تقدر سرعة الإنتشار الهوائى أو درجة الخلط الهوائى. إذ اســـتطاع العالم باسكويل[1] Pasquill سنة ١٩٦١ أن يطـــور نموذجـــا لتصنيـــف درجـــة الإستقرار الجوى فى سبع طبقات (تعتمد على سرعة الرياح الســـطحية Surface Wind Speed والاشعاع الشمسى الساقط Incoming Solar Radiation وغطـــاء

---

[1] تحديد باسكويل لدرجات استقرار الهواء: (A) شديد التقلب (B) تقلب معتدل (C) تقلـــب خفيـــف ويصل ارتفاع الاختلاط خلال هذه الدرجات الى أقصاه (D) حيادى ويحدث خلاله اختلاط معتـــدل فى حالة توفر الاضطرابات الجوية. (E) استقرار خفيف يقل خلاله ارتفاع الاختلاط. (F) استقرار معتـــدل (G) شديد الاستقرار، ويختفى الاختلاط الرأسى للملوثات فى أثناء درجات (D), (E), (F), (G) ومن ثم تبقى ملوثات الهواء عند مستوى مصدر انبعاثها (قد يكون المدخنة مثلا). [Husain, & Others, 1981. p.723] .

السماء ليلا [Rau, 1980. p.57] تحدد درجة خلط ملوثات الهواء. [1] إذ تبين أنه كلما زادت حالة عدم استقرار الهواء إرتفع نطاق إختلاط الملوثات بعيدا عن سطح الأرض، ومن ثم تنخفض درجة خطورتها بينما ينخفض مستوى خلط الملوثات إلى أدنى مستوى له ليصبح قريبا من سطح الأرض فى حالات إستقرار الهواء. [Hodges, 1977. p.78].

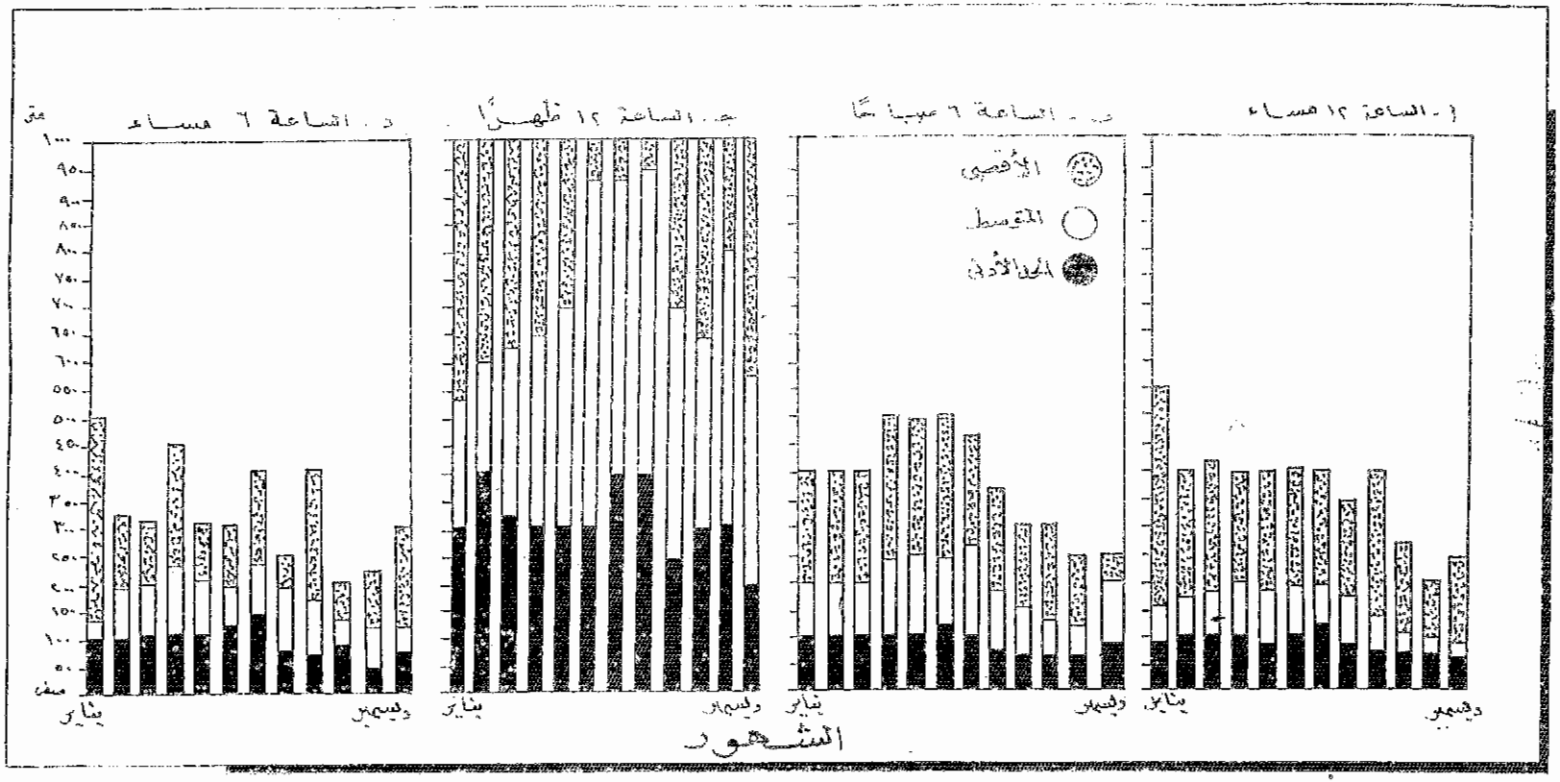
ج- إرتفاع طبقة الاختلاط:

يقصد بإرتفاع طبقة الإختلاط Mixing Layer Height أقصى إرتفاع Maximum Altitude يمكن أن تتشتت خلاله الإنبعاثات السطحية Surface Emissions للملوثات فى أثناء الإضطرابات الحرارية والميكانيكية فى الهواء الجوى [Wanta, 1976. p.339]. ويزيد إرتفاع هذه الطبقة حينما تقل درجة إستقرار الهواء لتصل إلى أعلى مستوى لها فى درجة (A) (شديد التقلب) وفى أثناء إختفاء ظاهرة الإنقلاب الحرارى ووفرة الاشعاع الشمسى. وحينئذ تنتشر ملوثات الهواء بعيدا عن مصدر إنبعاثها ويتبع ذلك إنخفاض درجة تركيزها بالقرب من سطح الأرض فتقل خطورتها. بينما يحدث العكس، فى حالة درجة إستقرار (G) (شديد الإستقرار) خاصة إذا كان مصحوبا بإنقلاب حرارى سطحى ليلاً فى الليالى الشتوية الصافية الطويلة. ويقل إرتفاع طبقة الإختلاط فيما بين درجتى الإستقرار (A)و (G) .

ويتضح الإختلاف فى إرتفاع طبقة الإختلاط بمدينة الجبيل الصناعية على مدار فصول السنة ومدار ساعات اليوم (شكل ١٢) على النحو التالى:

---

[1] وترتبط درجات الاستقرار هذه بتناقص درجة الحرارة رأسيا (بالدرجات المئوية) لكل ارتفاع (١٠٠) مترا: (A) أكثر من (-١,٩) درجة مئوية. (B) (-١,٩) - (-١,٧) درجة مئوية. (C) (-١,٧) - (-١,٥) درجة مئوية (D) (-١,٥) - (-٠,٥) درجة مئوية . (E) (-٠,٥) - (١,٥) درجة مئوية (F) (١,٥ - ٤,٠). (G) أكثر من (٤) درجة مئوية. [Rau, 1980. p.68].



شكل (١٢) ارتفاع مستوى طبقة الاختلاط فى محطات الجبيل خلال عام ١٩٨٥م

فصل الصيف (يونية - يولية - اغسطس):

يبلغ إرتفاع طبقة الإختلاط أقصى مستوى له خلال شهور الصيف حيث يصل لحوالى ١٠٠٠ متر فيما بين الساعة العاشرة صباحا والثانية بعد الظهر.[1] ويرجع ذلك لشدة الاشعاع الشمسى وإرتفاع درجة حرارة اليابس نهارا، ومن ثم يسخن الهواء الملامس وتنشط الحركة التصاعدية للرياح وسيادة حالة من عدم إستقرار الهواء. ويضاف لذلك اختفاء الانقلاب الحرارى السطحى وكذلك إنقلاب نسيم البحر الذى يضعف مع إستمرار تسخين اليابس. وهكذا تساعد الظروف الميترولوجية على زيادة إرتفاع طبقة الإختلاط ويتبع ذلك إنتشار رأسى كبير لملوثات الهواء فينخفض تركيزها وبالتالى درجة خطورتها.

فصل الخريف (سبتمبر - اكتوبر - نوفمبر):

يبدأ إرتفاع طبقة الإختلاط فى التناقص التدريجى مقارنة بمثيله صيفا. ويرجع ذلك لكثرة تكرار الإنقلاب الحرارى السطحى ليلا بعمق يتراوح بين ١٠٠ و٢٠٠ متراً خلال الفترة من الساعة السابعة مساءً إلى الساعة السادسة من صباح اليوم التالى.

فصل الشتاء (ديسمبر - يناير - فبراير):

يقل إرتفاع طبقة الإختلاط ليصل إلى أدنى مستوى له شتاءً إذ يزيد عمق الإنقلاب الحرارى السطحى ليتراوح بين ٢٠٠ و٣٠٠ مترا. ويبدأ هذا الإنقلاب فى التلاشى التدريجى الساعة الثامنة صباحا ليختفى فى العاشرة صباحاً تقريباً.

---

[1] يستخدم فى تحديد إرتفاع طبقة الاختلاط جهاز الرادار الصوتى **Acoustic Sounder** ويعتمد فى عمله على إرسال ذبذبات صوتية ذات تردد معين إلى طبقة الهواء العليا، ثم يتم استقبالها بعد إرتدادها على هيئة اشارات كهربية تترجم إلى حركة ميكانيكية تسجل على ورق رسم بيانى لتحديد نوعية طبيعة الإنقلاب الحرارى من حيث ارتفاعه وقوته. ويرصد هذا الجهاز حتى إرتفاع كيلومتر واحد فى مدينة الجبيل الصناعية.

فصل الربيع (مارس - إبريل - مايو):

يبدأ إرتفاع طبقة الإختلاط فى الزيادة التدريجية ربيعاً. ويفسر ذلك بإرجاعه لزيادة كمية لإشعاع الشمسى الساقط وإرتفاع درجة حرارة سطح الأرض وسرعة تسخين الهواء القريب من سطح الأرض - إختفاء الإنقلاب الحرارى السطحى ليلا.

وتتميزالدورة اليومية لإرتفاع طبقة الاختلاط (شكل ١٢) [1] بأنها تبدأ تدريجيا فى الزياده من السادسة صباحاً (مع شروق الشمس وإختفاء الانقلابات الحرارية) لتصل إلى أقصى مستوى الساعة الثانية عشرة ظهراً. وعندئذ تبدأ ثانية فى الإنخفاض التدريجى ثم الإنخفاض بسرعة بدءً من الساعة الرابعة بعد الظهر لتصل أخيراً إلى أدنى مستوى له فى منتصف الليل.

هذا وتجذب المدن معظم السكان حيث تتوفر الخدمات والمصالح الحكومية والجامعات وفرص العمل ومجالات الترفيه. ويحتاج هؤلاء السكان إلى متطلبات البيئة الطبيعية والإقتصادية من هواء وماء وطعام وخامات مختلفة. وتتفاعل هذه المتطلبات فى نظام للتغذية الاسترجاعية Feedback System لتصبح المدخلات الاساسية Essential Inputs مصدرا لوحدات الإخراج Outputs غير المرغوب فيها مثل الصرف الصحى والمخلفات بأشكالها المختلفة. وقد ترجع هذه المخلفات إلى النظام البيئى مرة ثانية عن طريق حلقات من التغذية الإسترجاعية بواسطة البيئة الطبيعية [مصيلحى، سنة ١٩٩٠. ص٣١٢] . وينعكس ذلك على مناخ المدن الذى يختلف بدرجات متفاوتة عن مناخ الضواحى والمناطق الريفية (جدول ٥) حيث أن تلوث هواء المدينة يشكل ويعدل مناخها وليصبح للمدينة مناخها التفصيلى (الدقيق) Microclimate الذى يعد محصلة التوازن والعلاقة المتبادلة المتداخلة Relaionship Interdependent بين المناخ وتلوث الهواء.

---

[1] تم اختيار سنة ١٩٨٥م لتمثيل إرتفاع طبقة الاختلاط فى مدينة الجبيل الصناعية لتوفر جميع البيانات اليومية على مدار شهور السنة فى سائر محطات الجبيل.

ولما تتميز به المدن من إرتفاع فى تركيز ملوثات الهواء (حيث تتركز فيها المصادر البشرية لإنبعاث الملوثات مثل الصناعة ووسائل النقل وغيرها) التى تمتص جزءً كبيراً من الأشعة الشمسية يتبعه زيادة فى سرعة التسخين لتصل إلى خمس درجات مئوية لكل يوم. وإذ لا تستطيع معدلات البرودة بواسطة الاشعاع الأرضى أن تكافئها أو تعادلها، ترتفع درجة حرارة هواء المدن [Chandler, 1968 p.6] . ويتحكم فى البنيان الحرارى للمدن: التوصيل الحرارى Heat Conduction والالبيدو Albedo والسعة الحرارية Heat Capacity لسطح الارض (المبانى والطرق والأسمنت والأسفلت والطوب ولون الطلاء)، ومدى توفر الغطاء النباتى[1] والمسطحات المائية داخل المدينة، والحرارة الناتجة عن النشاط البشرى. [Georii, 1969. p.631]. ولذا ترتفع درجة حرارة الهواء فى قلب المدن مقارنة بأطرافها وضواحيها فيما يطلق عليه ظاهرة "الجزيرة المدنية الحارة"[2] Urban Heat Island ويؤدى إرتفاع درجة حرارة هواء المدينة إلى نشأة حركة تصاعدية للهواء، فيرتفع إلى أعلى محملا بالأتربة ليحل محله هواء الضواحى والريف البارد. وتعرف هذه الرياح الخاصة بنسيم الضواحى (نسيم المزارع) Country Breeze وتعنى هبوب الرياح من الأطراف الباردة حول المدينة إلى قلب المدينة الحار [Yoshino, 1975. p.106].

---

[1] قد أوضح العالم (استلر Strahler) سنة ١٩٧٧ أن قلة الغطاء النباتى أو ندرته داخل المدن يؤدى إلى سقوط اشعة الشمس مباشرة على سطح الأرض المكشوف فتسخن بسرعة بينما يحدث العكس فى حالة وجود غطاء نباتى كثيف. إذ يسهم الغطاء النباتى فى تنشيط عمليتى التبخر والنتح وهما يستهلكان جزءا من الطاقة فيبرد الهواء نسبيا، وإذا ماتم توزيعه وتقليبه رأسيا تتعدل درجة حرارة الهواء داخل المدن. [يوسف، سنة ١٩٨٨م. ص٣٦].

[2] قد أستخدم هذا المصطلح لأول مرة فى محاضرات المناخ للعالم الانجليزى "جوردن مانيلى" Gordon Manley سنة ١٩٥٨ [Landsberg, 1981. p.83] وقد أثبت العالم ميتشل Mitchell سنة ١٩٥٣ وجود علاقة طردية واضحة بين زيادة النمو السكانى وإرتفاع حرارة المدينة. وكذلك فعل العالم Oke سنة ١٩٧٣ [Ibid, p.95] .

ويتبع هذه الحركة التصاعدية للرياح تكوين قبة غبارية Dust Dome تعكس إرتفاع حرارة الهواء في قلب المدينة [Greenwood, 1980. p.205] وتتكون هذه القبة الغبارية "الدخانية" من ثلاث طبقات: [Ibid., p.110]

طبقة سفلى: تحيط مباشرة بمستوى سطح الأرض وتحتوى على الدخان الناتج من السيارات والأتربة المنتشرة فى الطرقات.

طبقة متوسطة: تمتد فى المتوسط من إرتفاع حوالى عشرين متراً فوق مستوى سطح الأرض وتحتوى على الدخان الناتج عن الإستعمالات المنزلية خاصة مداخن التدفئة.

طبقة علوية: تمتد لمسافة يتراوح متوسطها بين ٥٠ و ٦٠ متراً فوق مستوى سطح الأرض وتحتوى على الدخان الناتج عن الصناعة.

ويختلف إتساع القبة الغبارية فوق المدينة وفقاً لسرعة الرياح، فحينما تهب رياح بسرعة ٣ر٦ متر/ الثانية تمتد القبة الغبارية إلى الضواحى المجاورة. ويحدث العكس حينما تنخفض سرعة الرياح فتنحصر هذه القبة فوق المدينة فقط[1] [غرايبة، سنة ١٩٨٧ . ص٢٧٢]، لتحجب هذه القبة حوالى ٩٠% من مقدار الأشعة فوق البنفسجية فوق المدن.[2] ومن ثم تنخفض كميتها فى المدن مقارنة بالريف [Ross, 1979, p.14].

هذا ويعتبر إرتفاع درجة حرارة هواء المدن أحد أشكال التلوث الحرارى Heat Pollution الذى يزداد وضوحا مع إتساع المدن وزيادة عدد سكانها وتعدد أوجه النشاط الاقتصادى خاصة الصناعى وزيادة كثافة الحركة المرورية وإرتفاع مستوى الدخل الفردى لسكانها. وقد لا تتضح مشكلة التلوث

---

[1] عندما تضعف تيارات الحمل (الرياح الصاعدة وما تحمله من أتربة ورمال تصل ذروتها وقت الظهيرة) قبيل الغروب فإنها ترسب ما تحمله من أتربة عند بداية الغروب، فتنخفض مدى الرؤية [أبوراضى، سنة ١٩٩١ . ص٥٦].

[2] يؤثر ذلك على صحة سكان المدينة اذ يرتفع مرضى الكساح من الأطفال فى المدن مقارنة بالريف. بينما يزيد من مرضى سرطان الجلد فى الريف مقارنة بالمدينة [غرايبة، سنة ١٩٨٧. ص٢٧٣].

الحرارى فى مدن المنطقة فى الوقت الحالى بشكل كبير لقلة عدد سكانها. ولكن عند الأخذ فى الإعتبار سرعة نمو هذه المدن سواء بالزيادة الطبيعية أو عن طريق الهجرة (استقدام الأيدى العاملة العربية وغير العربية للمنطقة)، والتركز الصناعى الضخم فى المنطقة وإستمرار الموارد التى تضمن تطوره ونموه بسرعة (سيتضح فيما بعد)، وإرتفاع مستوى دخل الفرد وما يرتبط به من زيادة فى المخلفات والنفايات، والزيادة المستمرة فى عدد السيارات الخاصة والعامة ووسائل النقل المختلفة، فإن ذلك يعنى بالضرورة أن مدن المنطقة تعانى وستعانى مستقبلا بشكل أكثر وضوحا من مشكلة التلوث الحرارى خاصة إمارة الدمام (مدن الدمام – الظهران – الخبر) وإمارة الجبيل.

وهكذا فقد اتضح من دراسة خصائص عنصر الحرارة، أن مناخ المنطقة هو مناخ حار وفق تحديد تريوارثا للاقاليم المناخية. ويختفى تأثير كل من عامل الجوار من الخليج العربى والتضرس فى خصائص الحرارة بالمنطقة إذ ترتفع درجة القارية والمدى الحرارى السنوى فى سائر المحطات. وتعتبر ظاهرة الإنقلاب الحرارى أهم الظاهرات الميترولوجية لكونها تتحكم فى إرتفاع اختلاط ملوثات الهواء. ويشيع تكرار الإنقلاب الحرارى السطحى وإنقلاب نسيم البحر (الخليج العربى) فى المنطقة، وكلاهما خطير إذ يحدث قريبا من سطح الأرض، ومن ثم تتركز ملوثات الهواء فى نطاق ضيق، فتزيد خطورتها على صحة الإنسان والبيئة. ويساعد إرتفاع درجة حرارة الهواء خلال الفصل الحار على بلوغ طبقة خلط الملوثات أقصى مستوى لها، بينما يحدث العكس خلال الفصل البارد.

ثانيا: ظاهرات الجو المائية

١- الرطوبة النسبية

تعد الرطوبة النسبية Relative Humidity أهم العناصر المناخية التى تميز مناخ منطقة الدراسة عن سواها من المناطق الداخلية بالمملكة العربية السعودية. إذ أن سائر المناطق السعودية تتمتع بوفرة فى الإشعاع الشمسى والحرارة وإرتفاع فى

معدلات التبخر وندرة فى كمية المطر. ويزيد ذلك من أهمية عنصر الرطوبة النسبية فى توضيح الإختلافات المناخية بين مناطق المملكة العربية السعودية.

وتلعب الرطوبة النسبية دوراً فعالاً فيما يتعلق بتلوث الهواء من خلال تاثيرها فى التفاعلات الكيميائية بين الملوثات الغازية. حيث يؤدى إرتفاع الرطوبة النسبية إلى سرعة اذابة الملوثات الغازية لتكوين الأحماض المختلفة التى تسبب المطر الحامضى Acid Rain. وحينما يقترن إرتفاع الرطوبة النسبية بإرتفاع درجة حرارة الهواء (الفصل الحار) تزيد سرعة التفاعلات الكيميوضوئية[1] Photochemical Reactions بين الملوثات الغازية (خاصة فى حالة إرتفاع تركيز ملوثات الهواء الصلبة (الجسيمات السابحة)[2] فيتبع ذلك إنتاج مزيدا من ملوثات الهواء.

ويؤدى إقتران إرتفاع الرطوبة النسبية بإنخفاض درجة حرارة الهواء (الفصل البارد) إلى تكوين السخام (الهباب) [3] Soot [كمونة، سنة ١٩٨٨. ص٩١]. ويرتبط إرتفاع تركيز بعض الملوثات الغازية مثل ثانى أكسيد الكبريت بعلاقة طردية مع الرطوبة النسبية (جدول ٦).

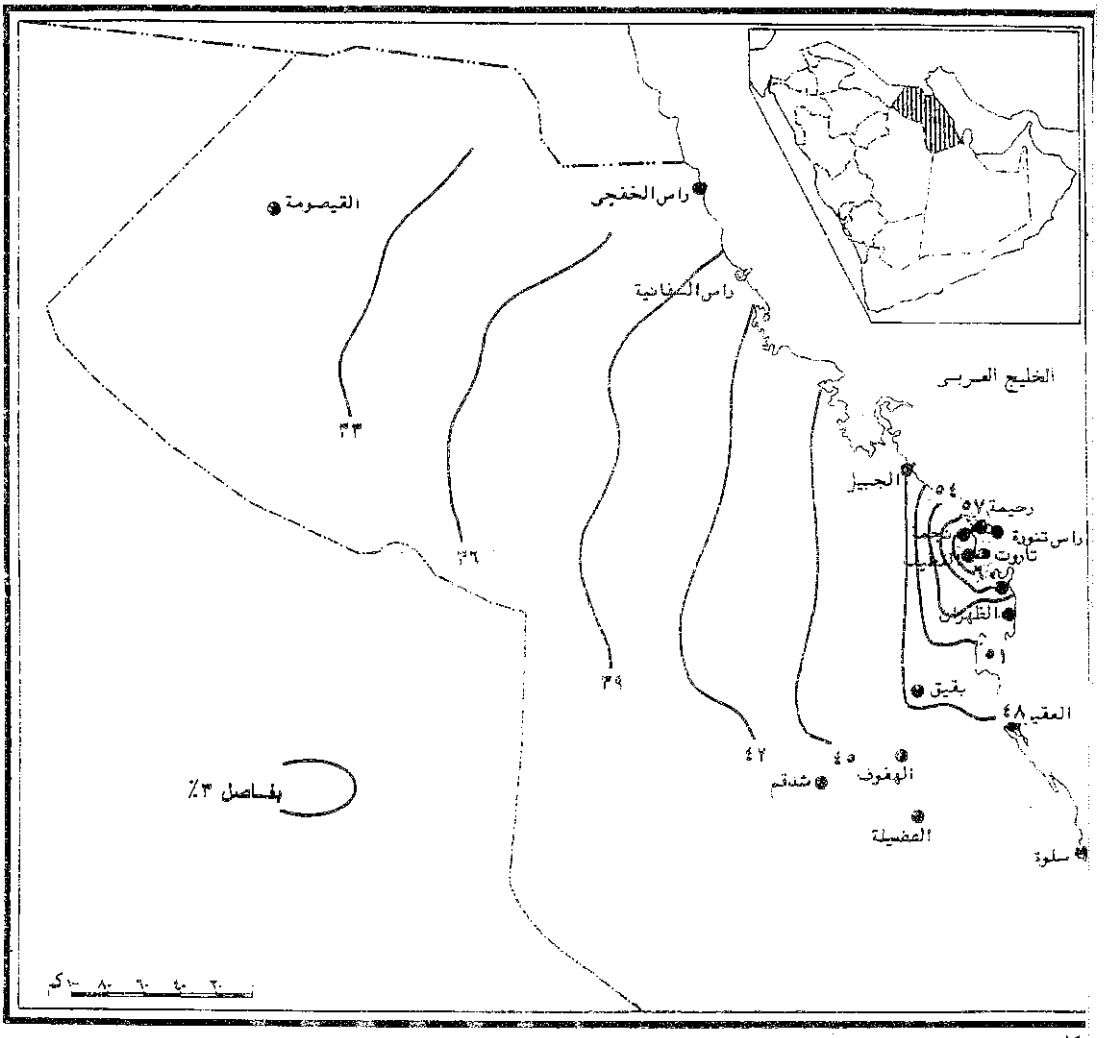
وترتفع الرطوبة النسبية فى المنطقة معظم شهور السنة كنتيجة لموقعها على الخليج العربى وسهولة توغل مؤثراته البحرية لإنخفاض السطح واستوائه فى نطاق السهول. وتعد الرطوبة النسبية فى المنطقة أهم المؤشرات البحرية للخليج العربى فى المناخ. إذ ترتفع المعدلات السنوية للرطوبة النسبية فى المحطات الساحلية قياسا بالآخرى الداخلية. وتتدرج خطوط التساوى تناقصا بالبعد عن خط الساحل لتسجل أدنى مستوياتها فى محطة القيصومة التى تبعد عن الساحل بحوالى ٢٥٠ كيلومتراً (شكل ١٣) . ويمكن دراسة خصائص الرطوبة

---

[1] التفاعلات الكيميوضوئية هى عبارة عن تفاعلات كيميائية تتم تحت تأثير ضوء الشمس ووفرة الاشعة فوق البنفسجية.

[2] يرتفع تركيز ملوثات الهواء الصلبة فى منطقة الدراسة فى الفصل الحار مع شيوع تكرار العواصف الرملية/ الترابية كنتيجة لشدة سرعة الرياح كما سيتضح فيما بعد بالتفصيل.

[3] عبارة عن جزيئات كربونية ميكروسكوبية تتجمع بعضها من بعض فى صورة سلاسل متصلة وطويلة.



شكل ١٣

خطوط الرطوبه النسبية المتساوية لمنطقة الدراسة

المعدلات السنوية

النسبية على أساس فصلى الحراره بالمنطقة (الفصل الحـــار - الفصـــل البـــارد) لإرتباطها وتأثرها بدرجة حرارة الهواء.

(أ) الفصل الحار:

تنخفض الرطوبة النسبية إنخفاضاً ملحوظاً فى ذروة هذا الفصل الحـــار (شـــهرى يولية واغسطس) فى المنطقة خاصة فى المحطات الداخلية بسبب شدة إرتفـــاع درجة حرارة الهواء من ناحية، وبعدها عن المؤثرات البحرية الرطبـــة للخليـــج العربى من ناحية أخرى. فتتراوح الرطوبة النسبية الدنيا فى محطة القيصومة بين ١% و ١٠% لشهرى يولية سنة ١٩٨٥ وإبريل سنة ١٩٨٣. كما تتراوح قيـــم المتوسط الشهرى بين ١١% و ٣١% لذات الشهرين (جدول ٧).

ويرجع ذلك الإنخفاض الحاد للرطوبة النسبية فى محطة القيصومة إلـــى كونها أكثر المحطات بعداً عن المؤثرات البحرية الشرقية مـــن ناحيـــة، وأكثرهـــا تأثرها بالمؤثرات القارية الشمالية من ناحية أخرى. وترتفع الرطوبـــة النســـبية بعض الشىء فى محطة الهفوف الداخلية مقارنةً بمحطة القيصومة كنتيجة لقربها النسبى من الخليج العربى، فضلا عن موقعها فى واحة الاحساء الزراعية حيـــث تساعد عمليات الرى للأراضى الزراعية فى زيادة الرطوبة مـــن خـــلال إرتفـــاع معدلات التبخر تحت تأثير درجات الحرارة المرتفعة.

وتتراوح الرطوبة النسبية الدنيا فى محطة الهفوف بيـــن ٤% و ٢٧% خلال شهرى مايو سنة ١٩٧٧ ويولية سنة ١٩٨١ ولم تنخفض قيـــم المتوســـط الشهرى خلال هذا الفصل عن ٣٥% (جدول ٧).

ويتراوح متوسط الرطوبة الدنيا فى محطتى القيصومة والهفوف خـــلال هذا الفصل الحار بين ٧,٣% و ٢٠% كحد أدنى فى شهر يونيـــو، وبيـــن ١٧% و٢٧% كحد أقصى فى شهر ابريل.

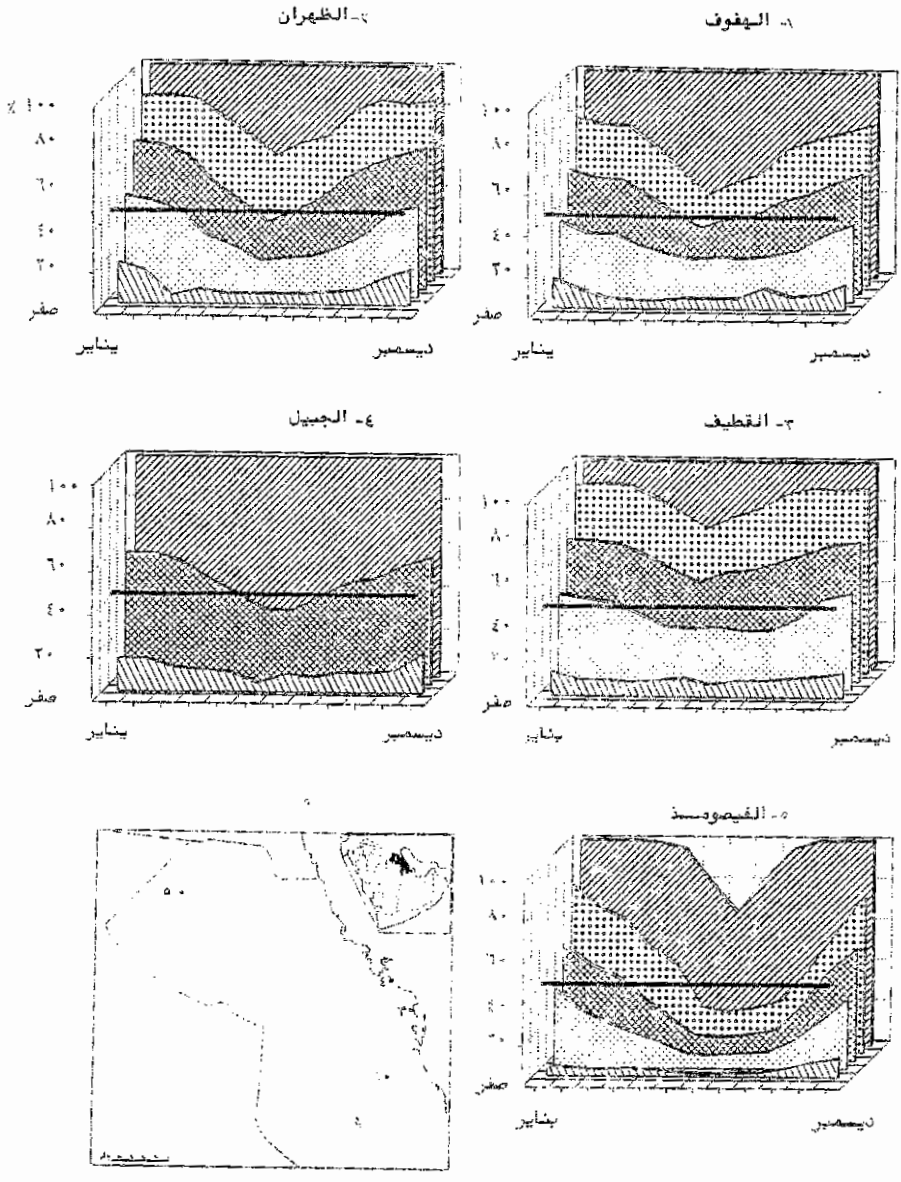
وترتفع مستويات الرطوبة النسبية فى محطتـــى القطيـــف والظـــهران الساحليتين حيث تتراوح الرطوبة النسبية الدنيا فى الأولـــى بيـــن ٦% و ٣٣% لشهرى يولية سنة ١٩٨٣ وإبريل سنة ١٩٨٨ ، بينما تقل فى الثانيـــة لتـــتراوح بين ٥% و ١٧% لشهرى يولية سنة ١٩٨٦ وإبريل ســـنة ١٩٨٦. ويـــتراوح

كذلك متوسط الرطوبة النسبية الدنيا بين ٢٩% و ١٧% كحد أدنى خلال شهر يولية، وبين ٣٠% و ٣٧% كحد أقصى خلال شهر إبريل لمحطتى القطيف والظهران على التوالى وتعكس قيم المتوسط الشهرى للرطوبة النسبية فى هاتين المحطتين إرتفاعها حتى فى ذروة هذا الفصل - شهر يولية - حينما يبلغ المتوسط الشهرى ٥٤% و ٣٧% فى كل منهما.

ويرتفع أيضاً المتوسط الشهرى للرطوبة النسبية خلال شهر يولية بالمحطات الساحلية بالجبيل مقارنة بتلك الداخلية حيث يبلغ ٤٥% فى محطة الفناتير الساحلية، و ٢١% فى محطة المنتزه الداخليه.

وترتفع الرطوبة النسبية خلال شهرى إبريل (شهر انتقالى من الفصل البارد إلى الفصل الحار ويمثل فصل الربيع القصير) وأكتوبر (شهر إنتقالى من الفصل الحار إلى الفصل البارد ويمثل فصل الخريف القصير) فى محطات المنطقة خاصة الساحلية منها. إذ يتراوح خلالهما المتوسط الشهرى بين ٦٢% و ٥٤% فى المحطات الساحلية، وبين ٣١% و ٤٢% فى الأخرى الداخلية (شكل ١٤). وتتقارب أيضا قيم متوسط الرطوبة النسبية الدنيا والعظمى خلال الشهرين الانتقاليين مع تفوق طفيف خلال شهر اكتوبر (مقدمة الفصل البارد).

ومن الجدير بالملاحظة أن الرطوبة النسبية العظمى تصل إلى ١٠٠% خلال شهرى يونية ويولية فى محطتى القطيف والظهران وتقترب منها فى سائر محطات الجبيل. وهكذا تقترن الحرارة المرتفعه بالرطوبة النسبية العالية مما يجعل مناخ المنطقة مزعجاً ويصعب تحمله من قبل سكانها مما يدفعهم الى الإستخدام الكثيف لمكيفات الهواء. ويتبع ذلك مزيداً من التلوث الحرارى الناتج عن تلك المكيفات فضلاً عن إنبعاث الغازات الملوثة للهواء والناتجة عن إستخدام الطاقة الكهربائية مثل أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت وغيرها. وتنشط سرعة التفاعلات الكيميوضوئية بين ملوثات الهواء فى ظل إرتفاع حرارة الهواء ورطوبته وتلوثه أيضاً بالغبار والأتربة كنتيجة لشدة سرعة الرياح وكثرة تكرار العواصف الترابية والرملية خلال هذا الفصل الحار.



شكل (١٤) خصائص الرطوبة النسبية (١٠٠٪) في محطات المنطقة

(ب)- الفصل البارد:

ترتفع الرطوبة النسبية خلال شهور الفصل البارد (من شهر نوفمبر إلى شهر مارس) بسبب توغل الكتل المدارية البحرية وإنخفاض درجة حرارة الهواء وكذلك سرعة الرياح ويصل إلى المنطقة هواء مدارى بحرى يندفع أحيانا من المحيط الهندى والخليج العربى فى مقدمة المنخفضات الجوية التى تتحرك من الغرب لتعبر المملكة العربية السعودية نحو الخليج العربى شرقا فيصبح الهواء رطباً ثقيلاً فوق منطقة الخليج العربى فى أواخر الخريف (شهر نوفمبر). كما ويصل الى المنطقة الهواء القطبى البحرى خلال شهور الشتاء وأوائل الخريف. ويتميز ببرودته وإرتفاع رطوبته [شرف، سنة ١٩٨٥. ص٤٥٧].

ويتراوح المتوسط الشهرى للرطوبة النسبية فى محطتى القيصومة والهفوف الداخليتين بين ٤١% و ٥٥% كحد أدنى خلال شهر مارس، وبين ٥٦% و ٥٩% كحد أقصى خلال شهر يناير وترتفع فى المحطات الساحلية لتتراوح بين ٦٧%و ٦٣% كحد أدنى خلال شهر مارس وبين ٧٠% و ٧١% كحد أقصى خلال شهر يناير. وهكذا يكون شهر مارس أقل شهور هذا الفصل فى رطوبته النسبية كنتيجة لإرتفاع درجة حرارة الهواء فى أثناء مرور بعض المنخفضات الجوية الربيعية التى يتبعها موجات حر شديدة وزوابع ترابية كثيفة. ولكنه فى ذات الوقت أكثر شهور فصل الربيع (مارس - إبريل - مايو) من حيث مستوى الرطوبة النسبية. إذ كثيرا ما تتوغل خلاله الكتل البحرية الرطبة فيستحوذ على النصيب الأكبر من المطر الربيعى فى المنطقة بينما تصل الرطوبة النسبية الى أقصى مستوى لها خلال شهر يناير لكونه أكثر شهور هذا الفصل برودة. فضلا عن كثرة توغل الهواء القطبى البارد أثناء مرور المنخفضات الجوية فيستحوذ على نصيب كبير من مطر المنطقة كما سيتضح فيما بعد.

ويتراوح متوسط الرطوبة النسبية العظمى بين ٨٢% و ٩٢% خلال شهر يناير فى محطتى القيصومة والقطيف على التولى. وتصل الرطوبة النسبية العظمى إلى ١٠٠% خلال شهور هذا الفصل فى سائر محطات الدراسة. هذا وإن

كان عدد الأيام التى تصل رطوبتها النسبية إلى ١٠٠% يختلف من محطة لأخرى وفقا لموقعها الجغرافى من الخليج العربى ومدى تأثرها بالمؤثرات البحرية الرطبة على مدار شهور السنة. ويبدو ذلك عند مقارنة التكرارات النسبية لهذه الأيام فى محطتى القطيف (الساحلية) والهفوف (الداخلية) (شكل ١٥) حيث يتضح إرتفاعها فى محطة القطيف مقارنة بمثيلاتها فى محطة الهفوف ويستحوذ شهر أكتوبر على أعلى نصيب من هذه الأيام (التى ترتفع رطوبتها النسبية العظمى إلى ١٠٠%) فى محطة القطيف. إذ يبلغ نصيبه ٢٨% من جملتها فى هذه المحطة. ويرجع ذلك إلى دفء مياه الخليج العربى، والإنخفاض النسبى فى درجة حرارة الهواء، وإنخفاض سرعة الرياح، وكثرة تكرار الرياح الشرقية الرطبة.[1] بينما يقل تكرارها إلى الحد الأدنى خلال شهر يونيو (فى محطة القطيف) بنصيب لا يتجاوز ٩% من إجمالى عددها. ويستحوذ شهر مارس على النصيب الأكبر من عدد هذه الأيام فى محطة الهفوف بنسبة تبلغ ٥% من جملتها. وينخفض تكرارها خلال شهور الفصل الحار لتنعدم تماما فى محطة الهفوف خلال الفترة من شهر مايو إلى شهر يولية.

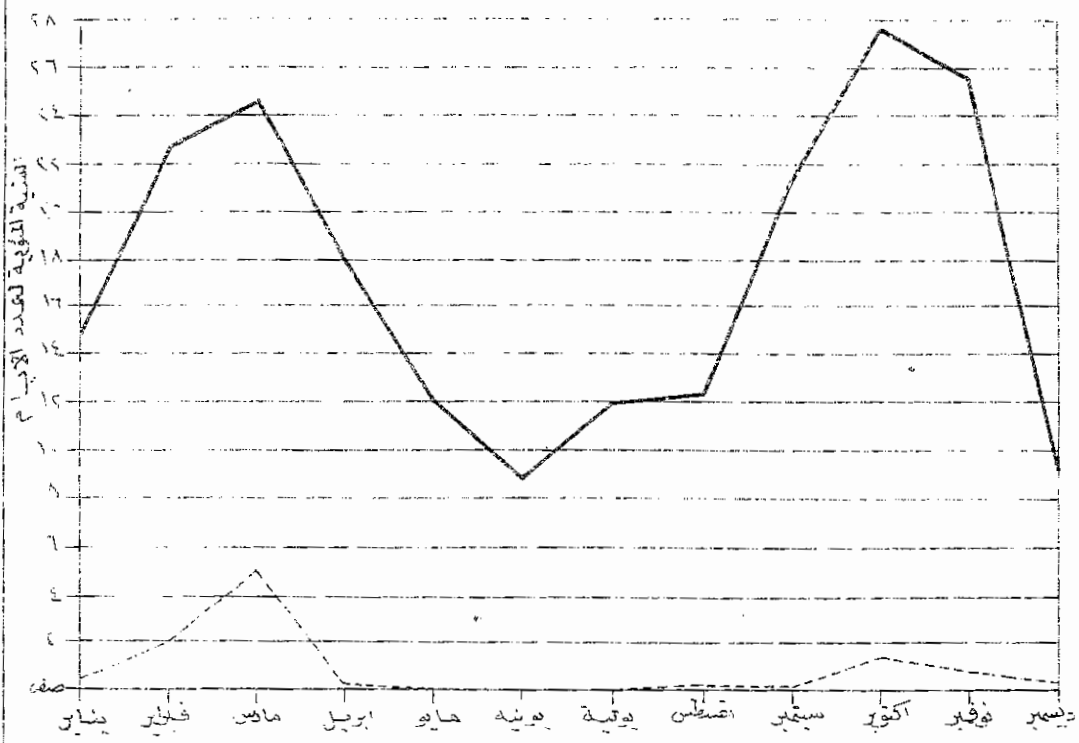
وتوضح المنحنيات المناخية Climographs أبعاد العلاقة بين درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية وإنعكاس ذلك على خصائص المناخ. [عبدالحكيم، سنة ١٩٧٩ ص٣٨٢ - ٣٨٦] إذ يتضح من (شكل ١٦) أن الفصل البارد (نوفمبر - مارس) هو فصل بارد رطب فى محطات الجبيل والقطيف والظهران والهفوف. وأن الفصل الحار (إبريل - أكتوبر) هو فصل حار جاف فى محطات

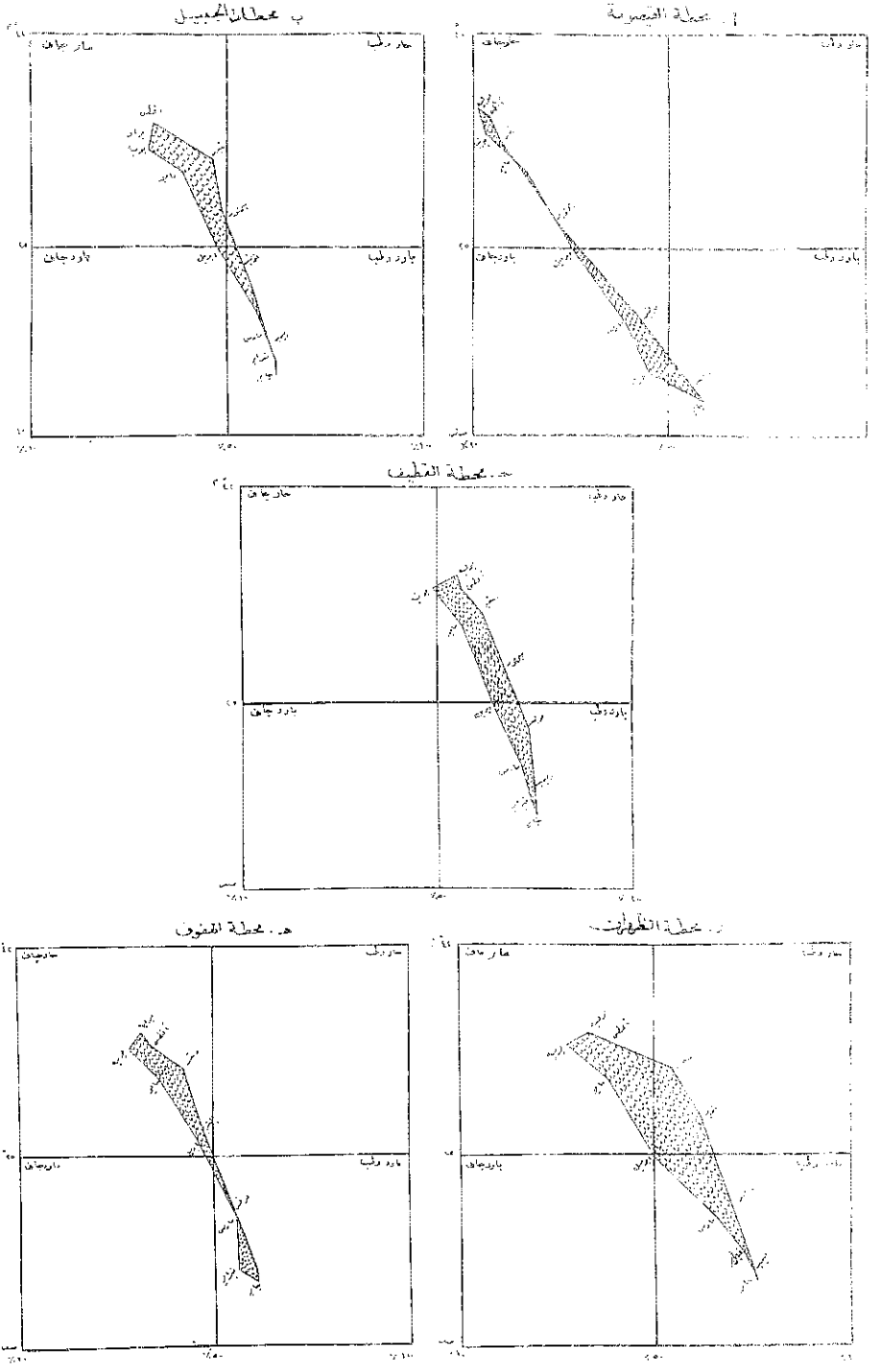
---

[1] يصاحب ارتفاع نسبتها التكرارية خلال شهر اكتوبر بمحطة القطيف ظروف مناخية خاصة:-

- دفء مياه الخليج حيث يبلغ المتوسط الشهرى لدرجة حرارة المياه السطحية بالقرب من القطيف ٢٩ درجة مئوية . [شرف، سنة ١٩٨٠، ص١٩٢].
- انخفاض المتوسط الشهرى لدرجة حرارة الهواء فى محطة القطيف ليبلغ ٢٨,٣ درجة مئوية.
- انخفاض المتوسط الشهرى لسرعة الرياح ليبلغ ١,٤ متر/الثانية.
- لم تزد السرعة القصوى للرياح عن ٦,٩ متر/الثانية.

شكل (١٥) معدل التكرارات النسبية للأيام ذات الرطوبة النسبية (١٠٠٪)





شكل (١٦) المنحنيات المناخية لمحطات المنطقة

الجبيل والظهران والهفوف والقيصومة. بينما هو فصل حار رطب فى محطة القطيف فقط ، هذا وتنفرد محطة القيصومة بفصل بارد رطب يتمثل فى شهرى ديسمبر ويناير فقط. ويعكس الامتداد الطولى الواضح فى المنحنيات المناخية لمحطات المنطقة إتساع المدى الحرارى السنوى وقارية مناخ المنطقة[1] .

وختاما يمكن القول بأن المنطقة تتميز بإرتفاع فى الرطوبة النسبية معظم شهور السنة خاصة فى المحطات الساحلية منها (شكل ١٣). وهكذا تتمتع المنطقة بوفرة حرارية تقترن بإرتفاع مستوى الرطوبة النسبية معظم شهور السنة. وتؤدى هذه الظروف المناخية إلى سرعة التفاعلات الكيميائية والكيميوضوئية بين الملوثات الغازية وينتج عن ذلك إضافة ملوثات جديدة. وتساعد فى الوقت ذاته على سرعة عملية التحلل العضوى فى المياه الراكدة بأراضى المد والمستنقعات فينبعث غاز كبريتيد الهيدروجين السام فى المنطقة. كما يؤدى إرتفاع الرطوبة النسبية الى تعلق ملوثات الهواء الغازية منها والصلبة فى الهواء لفترات طويلة فتزيد خطورتها على صحة السكان. وهكذا تساعد الخصائص الرطوبية للمنطقة على تفاقم مشكلة تلوث الهواء فى ظل مناخها الحار.

٢- الضباب

الضباب fog هو إحدى الظاهرات المائية التى يتكرر حدوثها خلال فصلى الخريف والشتاء. ويتكون نتيجة تكاثف Condessation بخار الماء فى الهواء عندما تنخفض درجة حرارته إلى ما دون نقطة الندى Dew Point . ويختلف الضباب عن الشابورة Mist فى كونه يؤدى إلى إنخفاض مدى الرؤية Visibility إلى متر واحد فى بعض الأحيان، بينما الشابورة وهى عبارة عن ضباب خفيف ترتفع خلاله مدى الرؤية إلى ١٠٠٠متر [هلالى، سنة ١٩٨٧. ص١٩٥]. ويؤثر

---

[1] يرى البعض أن (نوع المناخ القارى المتطرف فى حرارته يتمثل أفضل تمثيل فى صحارينا العربية). [جوده، سنة ١٩٨٦.ص١٢٨].

الضباب فى مدى الرؤية من خلال ما يحمله من بخار ماء. إذ ينخفض مدى الرؤية كلما زادت نسبة الرطوبة فى الضباب.[1] ويتراوح إرتفاع الضباب بين ٥٠ و ١٥٠ مترا[2] ويفيد كثيرا فى المناطق الصحراوية التى تعانى من قلة المطر فيصبح مصدرا للرطوبة فى صورة الندى. ويحول الضباب دون تكون الصقيع فى الليالى الشتوية لأنه يؤثر سلبياً فى سرعة وكفاءة الإشعاع الأرضى.

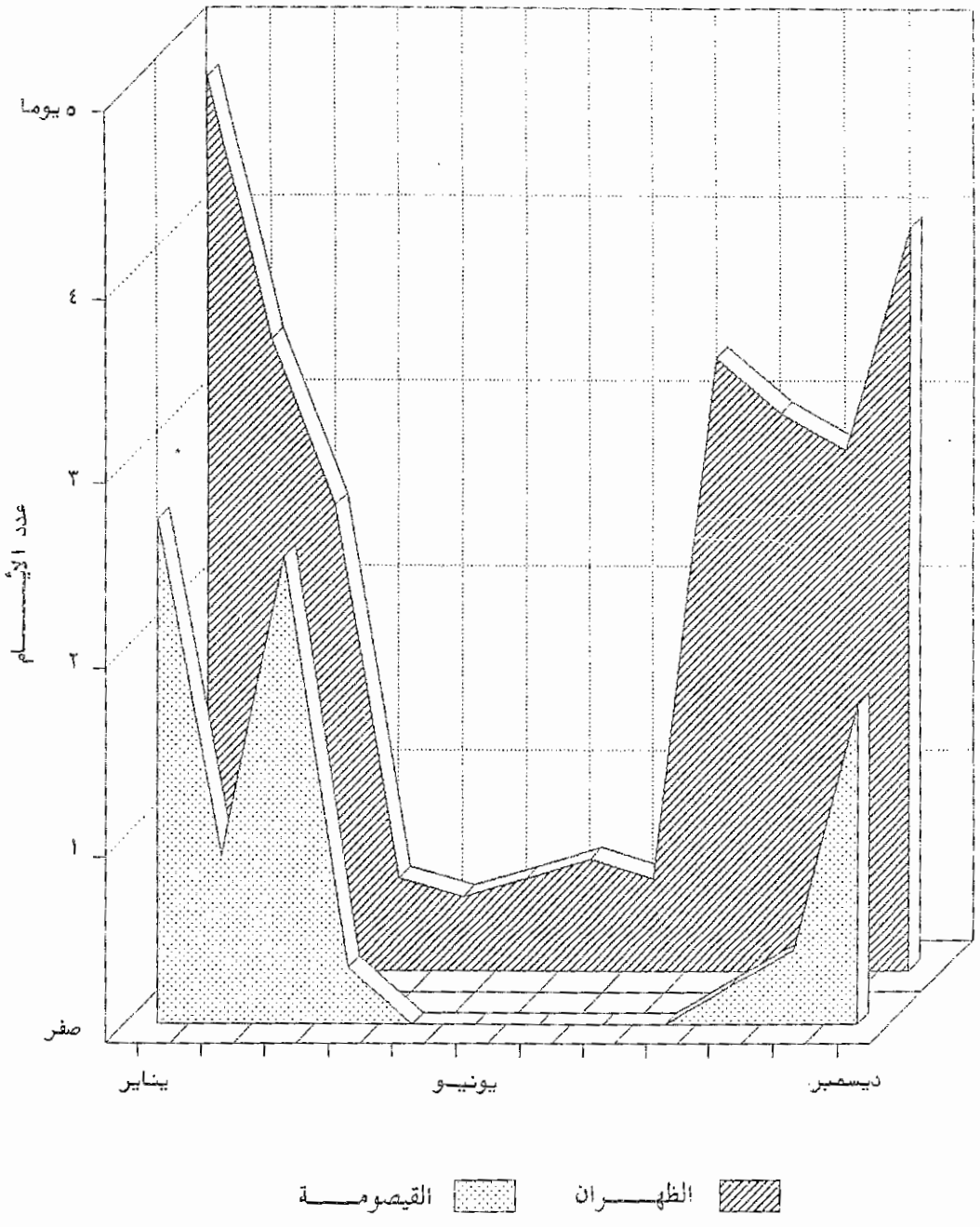
ويتكون الضباب فى منطقة الدراسة خلال الفصل البارد (نوفمبر – مارس). ويعتبر شهر يناير أكثر الشهور نصيباً إذ تبلغ نسبته ١٨% من جملة أيام الضباب فى محطة الظهران[3] ويلى شهر يناير الشهور ديسمبر وفبراير ومارس ونوفمبر بنصيب تبلغ نسبته ١٥% و ١٣% و ١٠% و ١٠% لكل منها على التوالى (شكل ١٧). ويتكون الضباب فى محطة الظهران خلال الفصل الحار الرطب خلال شهرى ديسمبر وأكتوبر بنصيب تبلغ نسبته ١٢% و ١١% لكل منهما. وتقل أيام الضباب فى محطة الظهران خلال الفصل الحار الجاف (إبريل – أغسطس) حيث لا تتجاوز نسبتها ٩% من جملة عددها إذ يقتصر على الأيام التى تصل رطوبتها إلى ١٠٠% وأثناء انخفاض درجة الحرارة فى الساعات الأولى من الصباح الباكر.

---

(١) العلاقة بين كمية بخار الماء فى الضباب ومدى الرؤية علاقة عكسية فحينما تبلغ الرطوبة النوعية (جرام/متر المكعب): ١ – ٠,١٤ – ٠,٠٢ تبلغ مدى الرؤية (متر): ٥٠ – ٢٠٠ – ٨٠٠ [شحادة، سنة ١٩٨٣. ص١٧٢].

(٢) تتعدد الأسباب التى تساعد على تكوين الضباب ولعل من أهمها: إرتفاع رطوبة الجو.
– إنخفاض سرعة الرياح إلى حوالى ٢ م/ث حيث تقل سرعة تشتت ذرات بخار الماء فى الهواء.
– سرعة برودة اليابس ليلا بواسطة الاشعاع الأرضى فى الليالى الصافية.
– إختفاء التيارات الهوائية الصاعدة التى تساعد على التوزيع الرأسى للحرارة وكذلك تكوين السحب.
– إنخفاض درجة صفاء الهواء بإرتفاع محتواه من الأتربة والرمال التى تكون بمثابة نويات التكاثف. [شرف، سنة ١٩٧٨. ص١٩١]. وتتعدد أنواع الضباب مع تعدد أسباب تكوينه ومنها: الضباب الأشعاعى Radiational Fog، ضباب المرتفعات الجوية Anticyclonic Fog – الضباب المتنقل Advection Fog والضباب الجبهى Frontal Fog وغيرها [Lai, 1988. P.162] .

(٣) ترصد ظاهرة الضباب فى محطتى الظهران والقيصومة فقط.



شكل (١٧) معدل أيام الضباب فى محطتى القيصومة والظهران

وتقل عدد أيام الضباب فى محطة القيصومة كنتيجة طبيعية لإنخفاض الرطوبة وسيادة المناخ الجاف لتنحصر فى الفصل البارد الرطب (شهرى ديسمبر ويناير فقط). ويستحوذ شهر يناير على معظم أيام تكون الضباب بنصيب تبلغ نسبته ٤٣% ويليه شهر ديسمبر بنصيب ٢٨%. وهكذا يستحوذ هذا الفصل على أكثر من ٧٠% من أيام الضباب. وتتوزع النسبة الباقية على شهور الفصل البارد الجاف ويشمل فبراير ونوفمبر ومارس بنصيب ١٤% و ٩% و ٥% لكل منهما على التوالى فى محطة القيصومة.

وهكذا يساعد إقتران إنخفاض درجة حرارة الهواء بإرتفاع الرطوبة النسبية على شيوع تكون الضباب الذى يعوض النبات الطبيعى ندرة مطر المنطقة. ويلعب الضباب دوراً مزدوجاً متبايناً فيما يتعلق بتلوث الهواء. فإن كان يقلل من فرص حدوث الإنقلاب الحرارى وما يرتبط به من ارتفاع فى تركيز ملوثات الهواء بالقرب من سطح الأرض، ومن ثم زيادة خطورتها، فإنه فى الوقت ذاته يعد عاملا أساسيا فى تكوين الضباب الدخانى (الضبخان) أسوأ مظاهر تلوث الهواء.

٣- المطر

يعد مطر المنطقة انعكاسا لموقعها الفلكى وما يتبعه من التعرض للكتل الهوائية المتباينة فى خصائصها الحرارية والرطوبية والتى ترتبط بتباين نظم الضغط المختلفة من فصل إلى آخر.

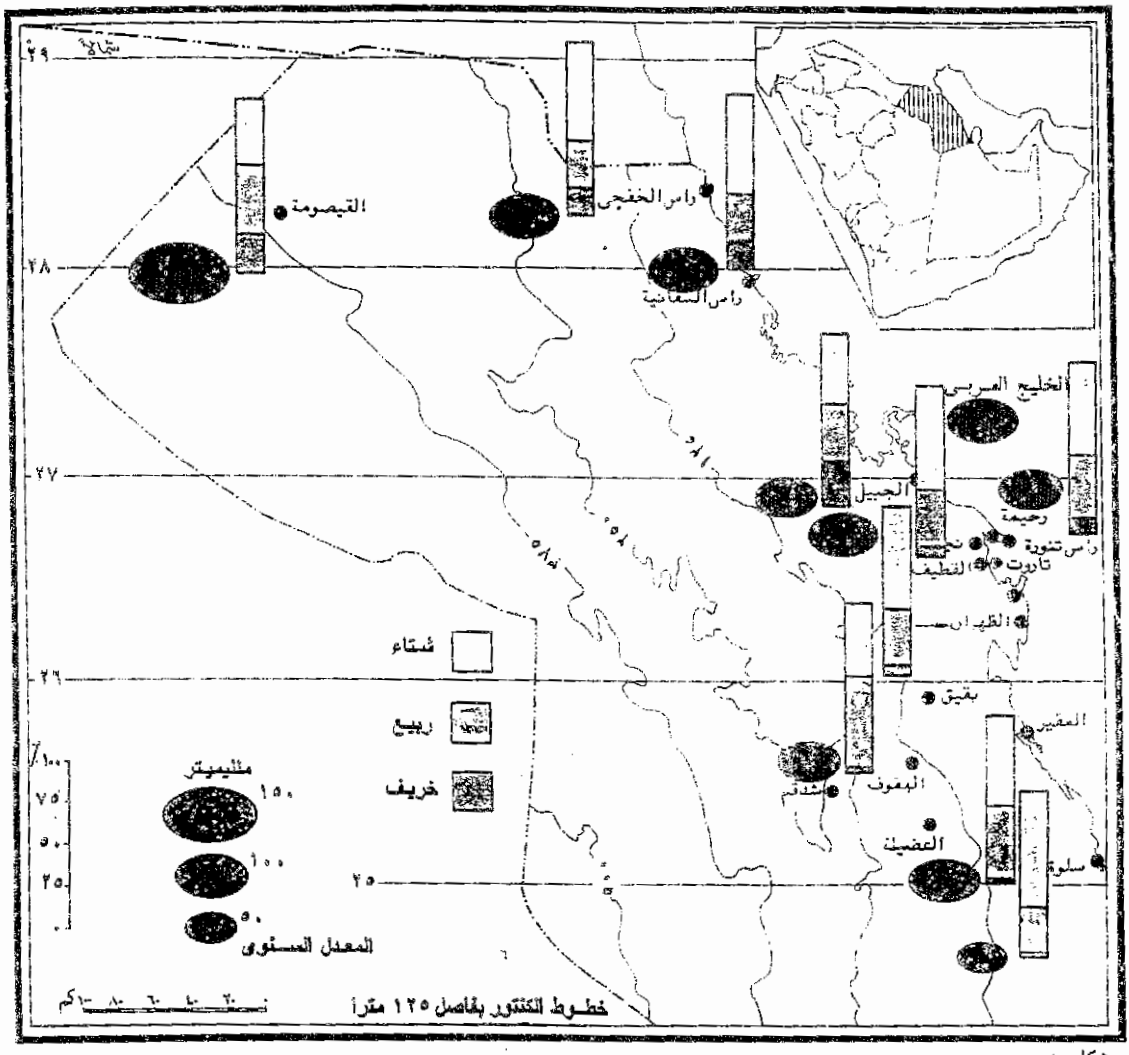
ويمكن دراسة خصائص مطر المنطقة من خلال الجوانب التالية:

أ- فصلية المطر　　ب- كمية المطر الشهرية

ج- موسم المطر وفاعليته　　د- تركز المطر.

أ- فصلية المطر:

يعد المطر الشتوى هو النمط الغالب على مطر المنطقة إذ يستحوذ على النصيب الأكبر من كمية المطر السنوى (شكل ١٨). ويرتبط المطر الشتوى بتكون جبهة



شكل ١٨

توزيع المطر فى منطقة الدراسة

على منطقة الخليج العربى حينما تلتقى الكتلة الهوائية الباردة الجافة القادمة من أواسط آسيا وتصل للخليج العربى عبر جبار زاجروس مع الكتلة الباردة الرطبة القادمة من البحر المتوسط فتنشأ الأعاصير المحلية. وتتأثر هذه الجبهة الناشئة عن إلتقائهما بعبورها لمياه الخليج العربى فتزيد رطوبتها ويسقط المطر خاصة فى شهرى ديسمبر ويناير [الشريف، سنة ١٩٨٤. ص٧٤]. وتنشأ فى فصل الشتاء المنخفضات الجوية فى البحر المتوسط الذى يكون بمثابة بحيرة من الضغط المنخفض محصورة بين منطقتين من الضغط المرتفع الأوراسى القطبى ودون المدارى فوق الصحراء الكبرى وشبه الجزيرة العربية. وتصل منخفضات البحر المتوسط (إمتداد المنخفضات الأطلنطية) التى تتحرك من الغرب نحو الشرق إلى منطقة الدراسة فى صورة رياح شمالية غربية أو غربية. ويصاحب وصول هذه المنخفضات الجوية حدوث تقلبات فجائية فى الطقس وتشتد سرعة الرياح ويسقط المطر.

ويمتد المطر الشتوى من شهر ديسمبر إلى شهر فبراير ويتباين فى كميته من محطة إلى أخرى ومن سنة إلى أخرى وفقا لمدى توغل هذه المنخفضات الجوية وقوتها ونشاطها ورطوبتها التى تقل بصفة عامة فى إتجاه الخليج العربى شرقا.

ويمتد المطر الربيعى من شهر مارس إلى شهر مايو وتقل كميته قياسا بالمطر الشتوى (شكل ١٨). وتسيطر على المملكة العربية السعودية ربيعا منطقة ضغط منخفض هى إمتداد للضغط الاسيوى والأفريقى مع بداية تسخين اليابس. ويجذب هذا الضغط المنخفض الرياح من كتلتين هوائيتين هما: كتلة هوائية قطبية بحرية باردة تتقدم من المحيط الاطلنطى، وأخرى مدارية بحرية دفيئة تتقدم من البحر العربى. وتنشأ - حينما يلتقيان - جبهة تختلف قوة نشاطها وفقا للظروف المناخية المحلية وقوة هبوب الرياح من هاتين الكتلتين. وتحدد شدة إضطراب خط الجبهة عدد المنخفضات الجوية المحلية ومن ثم تتحكم فى كمية المطر الربيعى.

كما تصل إلى المنطقة بعض منخفضات البحر المتوسط [1] التى تقل فى عددها ونشاطها وكمية رطوبتها عن تلك التى تصل إليها شتاءً. وتنشأ التيارات الهوائية الصاعدة فى أثناء مرور هذه المنخفضات الجوية كنتيجة لإرتفاع درجة حرارة اليابس بينما يكون الهواء بارداً ورطباً فى طبقات الجو العليا، مما يتيح الفرصة لتكوين السحب وسقوط مطر قد يصاحبه البرق أحيانا.

أما المطر الخريفى بالمنطقة فيقتصر على شهري أكتوبر ونوفمبر. وتقل كميته مقارنة بالمطر الشتوى والمطر الربيعى (شكل ١٨). ويبدأ المطر الخريفى حينما تختفى الكتل الهوائية الصيفية الجافة لتحل محلها تيارات هوائية رطبة مضطربة قادمة من الغرب فى أثناء مرور المنخفضات الجوية التى يقل عددها وتضعف مع استمرار تحركها فى إتجاه المنطقة شرقا ومن ثم تنخفض كمية المطر.

وتتميز المنطقة بإنعدام المطر الصيفى إذ تلعب منطقة الضغط المرتفع الأزورى - الذى يتزحزح شمالا مع حركة الشمس الظاهرية - كنطاق حدى بين الضغوط المنخفضة الموسمية فوق منطقة الخليج العربى وشمال غرب الهند وشرق قارة أفريقيا فى الجنوب، وبين الضغوط المنخفضة فوق شمال المحيط الأطلنطى وجزيرة قبرص فى الشمال. وهكذا تمنع منطقة الضغط المرتفع هذه دون وصول المؤثرات المحيطية الغربية إلى سواحل الخليج العربى.

وتخرج من منطقة الضغط المرتفع الآزورى رياح تجارية شمالية جافة تصل إلى دائرة عرض ١٨ درجة شمالا (إلى الجنوب من منطقة الدراسة التى تمتد بين دائرتى عرض ١٦ و ٢٩ درجة شمالاً تقريباً) حيث يجذبها الضغط المنخفض فوق الخليج العربى [عبدالحكيم، سنة ١٩٨٠. ص٧٤].

---

[1] تختلف منخفضات البحر المتوسط عن المنخفضات الاطلسية فى كونها صغيرة المساحة وضحلة ولا ينخفض ضغطها عن ٩٩٠ ملليبار. وتصاحبها إضطرابات ضعيفة وطقس متقلب لفترة قصيرة ومطر قليل قياسا بالمنخفضات الاطلسية [جودة، سنة ١٩٨٦، ص١٠٥].

هذا ويتدرج معدل كمية المطر السنوى فى محطات المنطقة زيادة مع دوائر العرض ، حيث تسجل فى محطة سلوة (٢٥ درجة شمالاً) أقل كمية مطر، بينما تتمتع محطة القيصومة (٢٨ درجة شمالاً) بأكبر كمية مطر سنوى (شكل ١٨). ويرجع ذلك إلى إرتباط مطر المنطقة بمدى توغل منخفضات البحر المتوسط. ولهذا السبب أيضا لم يظهر تأثير عامل التضرس فى تحديد كمية المطر السنوى، إذ لم تختلف كمية المطر فى محطة القيصومة (٣٥٧ متراً) عن مثيلتها فى محطة رأس السفانية (خمسة أمتار فوق مستوى سطح البحر) على الرغم من الفارق الكبير فى إرتفاع كل منهما فوق مستوى سطح البحر.

ب- كمية المطر الشهرية:

يتميز مطر المنطقة بالتذبذب الشديد لكونه مطراً صحراوياً[1] يرتبط بمدى توغل منخفضات البحر المتوسط وقوتها ونشاطها وكمية رطوبتها التى تقل تدريجيا فى إتجاه عام نحو الخليج العربى شرقا. وتختلف كمية المطر فى المنطقة باختلاف المحطات والشهور والسنوات (جدول ٨). ولذا يمكن تقسيم محطات المنطقة وفقا لكمية المطر الشهرية إلى أربعة أنماط:

- محطات ذات قمة مطر فى شهر يناير:

وتتمثل فى محطتى رأس الخفجى ورأس السفانية ويتفوق فيهما المطر الشتوى على المطر الربيعى بدرجة كبيرة. حيث يبلغ ٦٠% للمطر الشتوى مقابل ٢٥% للمطر الربيعى فى كل منهما تقريباً، وهكذا يتوفق المطر الشتوى بفارق يتجاوز ضعف نصيب المطر الربيعى.

ويتفق ذلك مع سيادة المطر الشتوى فى المنطقة. ويستحوذ شهر يناير على النصيب الأكبر من المطر الشتوى ليمثل ٢٦% و ٢١% من جملة مطر محطتى رأس الخفجى ورأس السفانية على التوالى.

---

[1] إذ تقل كمية المطر السنوى فى المنطقة عن ٢٥٠ ملليمترا، وهكذا تقع ضمن المناخ الصحراوى الممتد بين دائرتى عرض ١٨ و ٣٠ درجة شمالا وجنوبا [الخولى، سنة ١٩٨٥. ص٢٢].

- **محطات ذات قمة مطر فى شهر فبراير:**

وتمثلها محطة سلوة فقط حيث يستحوذ شهر فبراير على ٣٦% من مطر المحطة. ويبلغ هنا نصيب المطر الشتوى ٧١% يقابله ٢٧% فقط للمطر الربيعى ليعادل الأول ثلاثة أمثال الثانى.

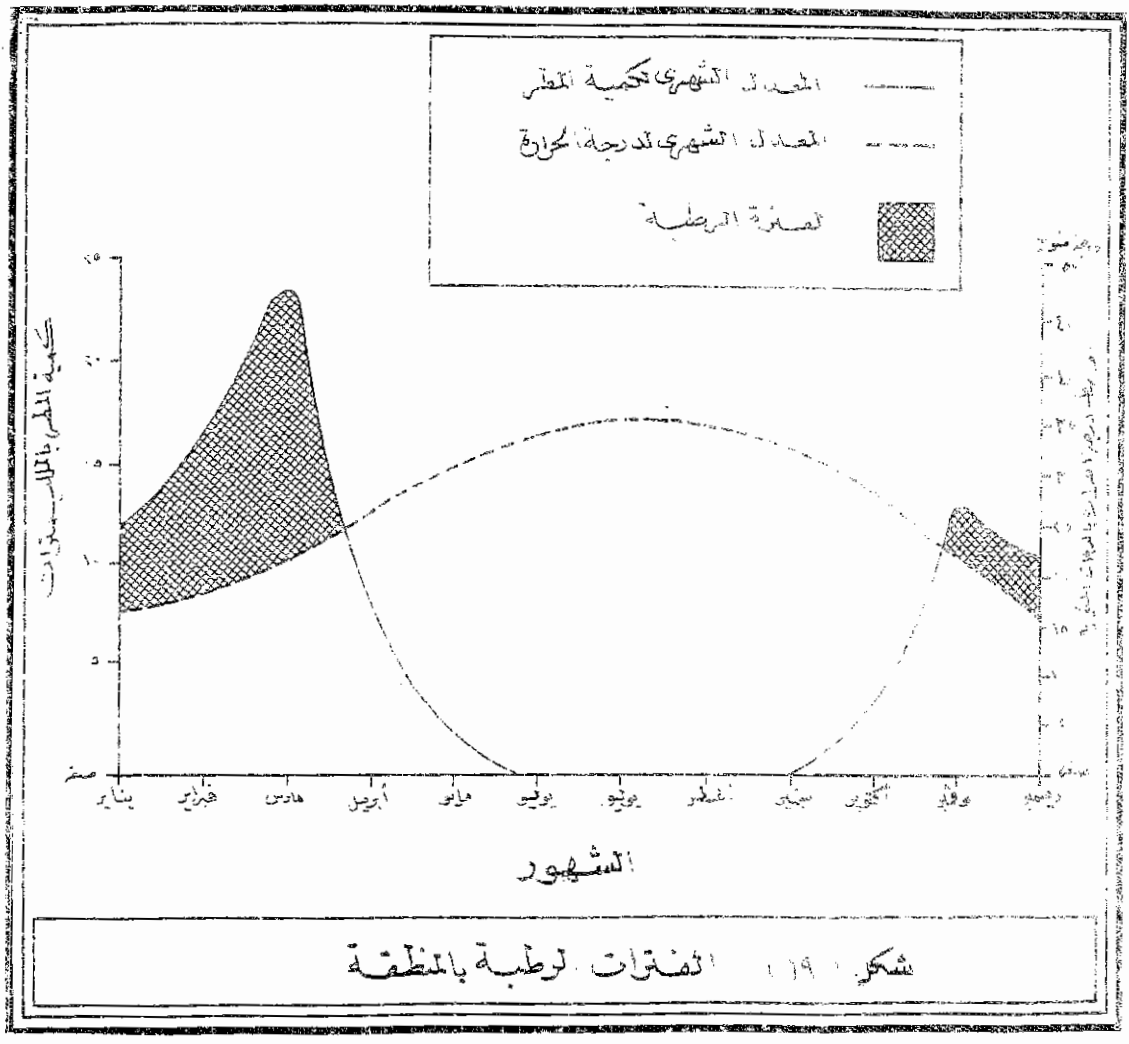
- **محطات ذات قمتى مطر فى شهرى فبراير ومارس:**

وتنحصر فى محطة القطيف فقط حيث يستحوذ شهرى فبراير ومارس على نصيب يبلغ ٢٤% لكل منهما. وهكذا يتركز نصف المطر تقريبا فى شهرين فقط من السنة. ويتفوق هنا أيضاً المطر الشتوى على المطر الربيعى بنصيب يبلغ ٥٧% للأول و ٣٥% تقريبا للثانى.

-**محطات ذات قمة مطر فى شهر مارس:**

تمثلها محطات العقير والظهران والهفوف ورأس تنورة والقيصومة ومحطات الجبيل حيث يسود هذا النمط فى أغلب محطات المنطقة تقريباً. ويرجع تأخر ذروة المطر حتى شهر مارس إلى خضوع المنطقة خلال فصل الشتاء للضغط المرتفع الذى يسيطر على شبه جزيرة العرب وإيران فيمنع وصول المنخفضات الجوية الممطرة إليها. وتبدأ هذه المنخفضات فى الوصول للمنطقة مع بداية فصل الربيع حيث تأخذ درجة حرارة الهواء فى الإرتفاع ومن ثم يتلاشى الضغط المرتفع ليحل محله الضغط المنخفض. ويبلغ نصيب شهر مارس ٥٠% و٣٧% و ٢٧% و ٢٦% و ٢٤% لهذه المحطات على التوالى.

وهكذا ينحصر مطر المنطقة فى شهور الفصل البارد من شهر نوفمبر إلى شهر مارس تقريبا ممثلا للفترة التى يحتمل فيها سقوط المطر. وتمثل هذه الشهور الفترة الرطبة التى يرتفع خلالها معدل كمية المطر الشهرى ليتجاوز المعدل الشهرى لدرجة حرارة الهواء (شكل ١٩).



شكل (١٩) الفترات الرطبة بالمنطقة

جـ- موسم المطر وفاعليته:

يقترن سقوط المطر الشتوى بإنخفاض فى درجة حرارة الهواء على العكس من المطر الربيعى والخريفى، وترتفع تبعا لذلك فاعلية المطر Rainfall Effectiveness [1] الشتوى مقارنة بكليهما (شكل ٢٠).

وبتطبيق معيار ديمارتون Demartonne- قرينة الجفاف Aridity index- الذى يعد من أفضل المعايير لتحديد الاقاليم الجافة (الصحراوية)، قد انخفض ناتج المعادلة عن (٥) فتصبح منطقة الدراسة شديدة الجفاف (نادرة المطر). وهكذا تؤدى الظروف المناخية المصاحبة لموسم سقوط المطر (طول مدة الشروق وإرتفاع كثافة الاشعاع الشمسى ودرجة حرارة الهواء) إلى إنخفاض القيمة الفعلية لكمية المطر الساقطةحيث يهدر جزءً كبيراً منها بسبب سرعة عمليتى التبخر/ النتح.

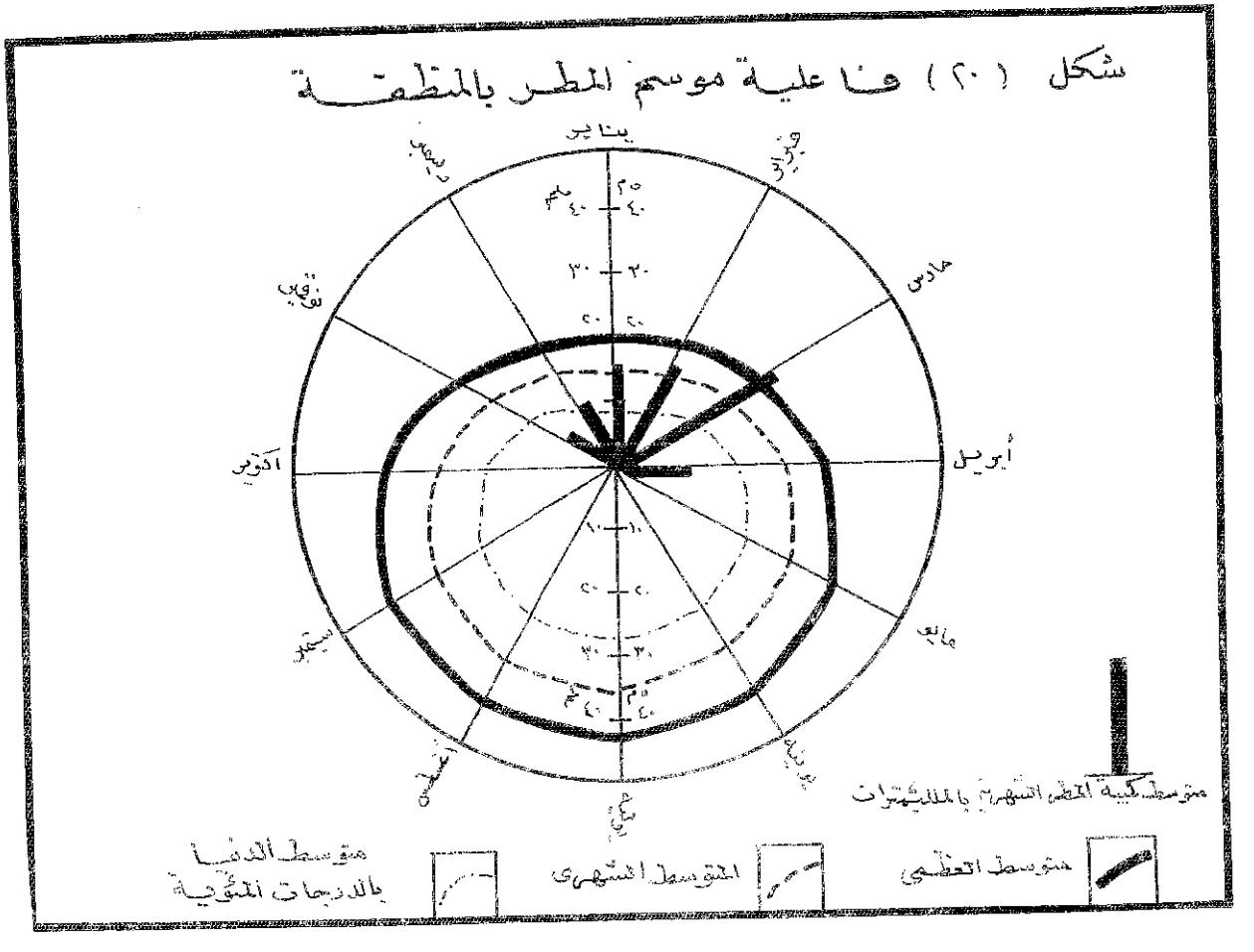
د- تركز المطر:

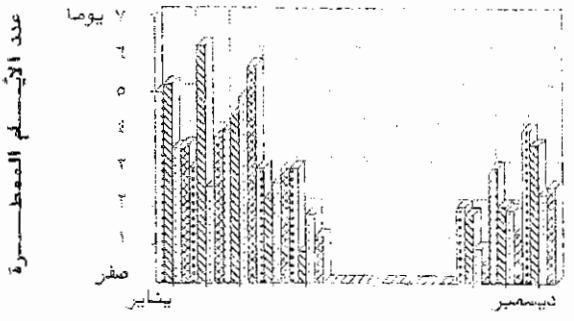
يغلب على مطر المنطقة سمات المطر الصحراوى من حيث التذبذب الشديد وهطوله بكثافة نسبية فى عدد قليل من الأيام (شكل ٢١-ا). وقد بلغت على سبيل المثال أكبر كمية مطر فى المنطقة ٦٠,٤ ملليمترا فى يوم السادس من إبريل عام ١٩٧٦م بمحطة القطيف (شكل ٢١-ب). وتعادل هذه الكمية ٢٢% من مطر المحطة فى هذه السنة التى تمثل أكثر سنواتها مطراً. وقد حدث ذلك فى شهر إبريل الذى تقل خلاله كمية المطر فى محطة القطيف وسائر المحطات الأخرى. ويرتفع لهذا السبب كثافة المطر Rainfall Intensity نسبيا فى المنطقة لسقوط معظمه خلال عدد قليل من الأيام الممطرة (شكل ٢١-جـ). وتعد الشهور مارس وفبراير ويناير أكثر الشهور إرتفاعاً فى درجة تركز المطر لكونها أكثر الشهور

---

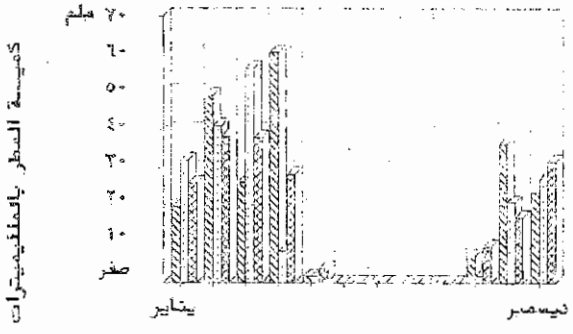
[1] معيار ديمارتون (قرينة الجفاف) = (كمية المطر السنوى بالملليمترات) / (متوسط درجة الحرارة السنوية بالدرجات المئوية + ١٠) وإذا كان ناتج المعادلة السابقة = ٥ تكون المنطقة نادرة المطر، وحينما يتراوح ناتج المعادلة بين ٥ و ١٠ تكون المنطقة شبه جافة [محمدين، سنة ١٩٨١.ص ١٩].

شكل (٢٠) فاعلية موسم المطر بالمنطقة

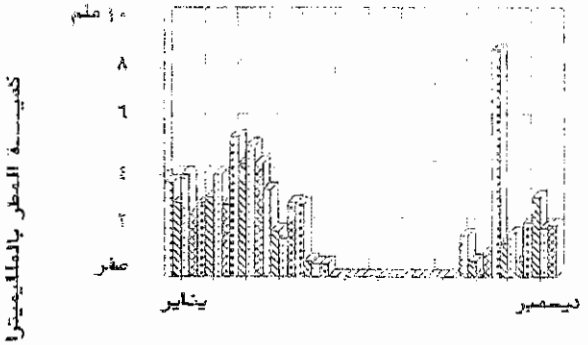




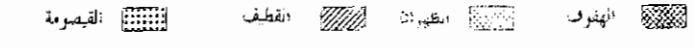
أ ـ المعدل الشهرى للأيام الممطرة



ب ـ أقصى كمية مطر شهرية



جـ ـ التركز الشهرى لكمية المطر



شكل (٣١) كثافة المطر فى محطات المنطقة

مطرا فى المنطقة. هذا وقد إرتفعت بمحطة القيصومة درجة تركز المطر فى شهر نوفمبر لتتجاوز شهور قمة المطر بسبب سقوط المطر خلال ثلاثة أيام فقط من هذا الشهر.

هذا وتتذبذب الكمية السنوية للمطر بدرجة كبيرة فى سائر محطات الدراسة حيث يرتفع الإنحراف عن معدل المطر السنوى للمنطقة (شكل ٢٢).

وتعد محطة الظهران أقلها تذبذبا، فى حين تعتبر محطة القيصومة أكثرها تذبذبا على الرغم من كونها الأكثر. حيث يبلغ معدل المطر السنوى فى هذه المحطة ١٨٨ ملليمتراً تعادل تقريباً أربعة أمثال معدل المطر فى محطة سلوة (أقل المحطات مطرا) كما إتضح فى(شكل ١٨).

ويفيد فى ظل هذا التباين الكبير فى كمية المطر من محطة لأخرى وفى المحطة الواحدة من سنة إلى أخرى، يفيد تحديد أكثر فئات المطر تكرارا فى المنطقة (شكل ٢٣).

إذ يتضح أن أكثر كميات المطر تكرارا فى المنطقة هى التى تتراوح بين ٦٠ و ١٢٠ ملليمترا، فى حين أقلها تكراراً التى تتراوح بين ٢٤٠ - ٣٠٠ ملليمترا. ويندر سقوط كمية مطر تزيد عن ٣٠٠ ملليمتراً فى المنطقة إذ لا يزيد تكراراها عن ٣% تقريبا من عدد مرات الهطول.

وهكذا يتضح أن كمية المطر القليلة شائعة الحدوث فى المنطقة، فى حين سقوط كمية كبيرة يعد شذوذاً. كما يثبت ذلك من خلال دراسة تكرارية نمط المطر Rainfall Frequency Pattern ويقصد بها فترات الرجوع Return Periods لكمية محددة من المطر[1] و [2]. ويتضح أن كمية المطر القليلة تتكرر

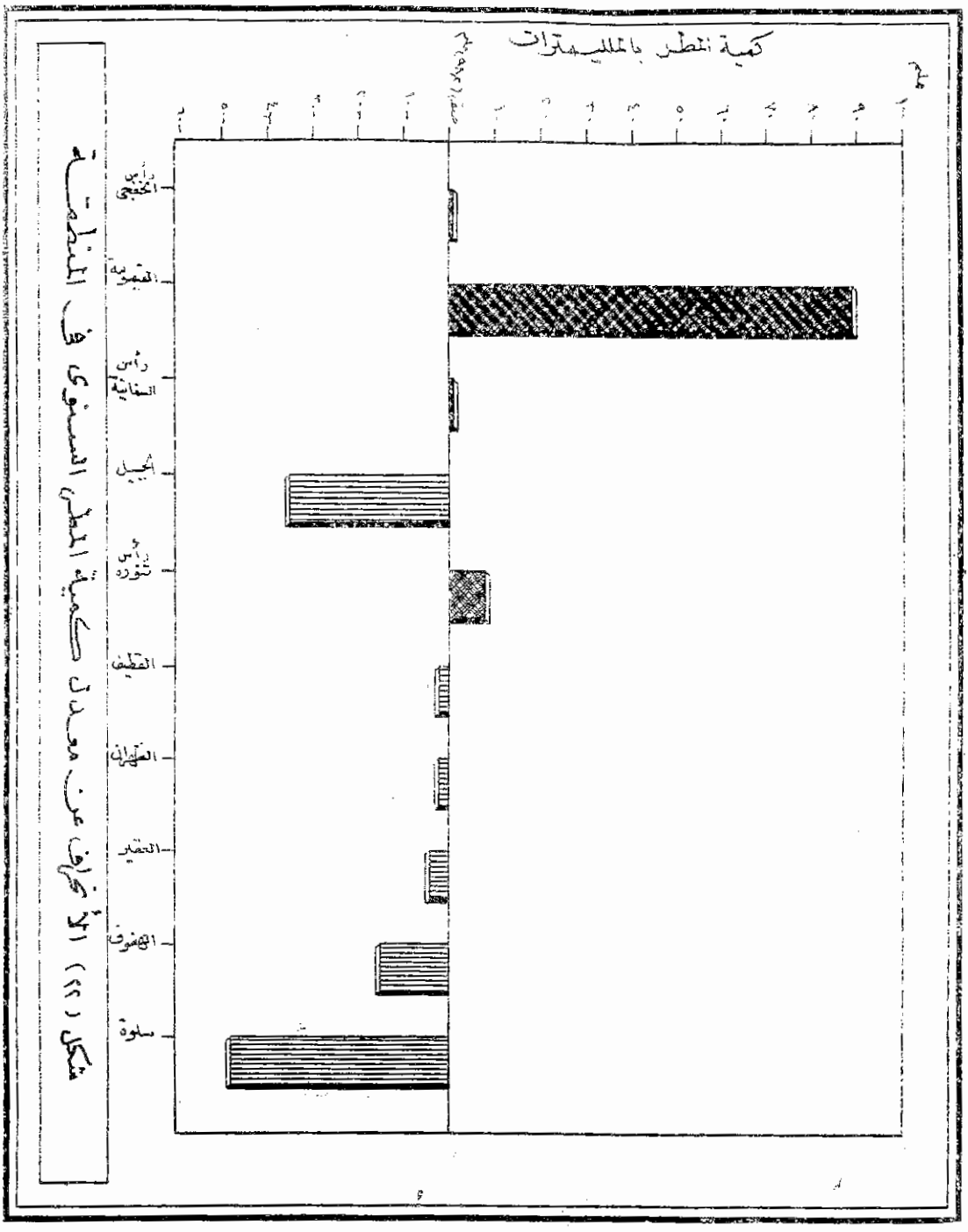
---

(1) تم إختيار محطات القيصومة وسلوة والقطيف لكون الأولى أكثرها مطرا، والثانية أقلها مطرا، والثالثة أكثرها تمثيلا للمعدل السنوى للمنطقة.

(2) تحسب تكرارية نمط المطر (فترات الرجوع) بالطريقة التالية: [شحادة، ١٩٨٢. ص ٩٠]

- ترتيب كمية المطر السنوية تصاعديا.
- تحدد احتمال سقوط كل كمية من المطر = ح = (١ +(م/ ن+١) حيث:

م = رتبة كمية المطر ن = عدد السنوات - تقدر فترة الرجوع الزمنية ز = ١ / ح.



شكل (٢٢) الانحراف عن معدل كمية المطر السنوي في المنطقة

شكل (٣٢) تكرارية كمية المطر في المنطقة

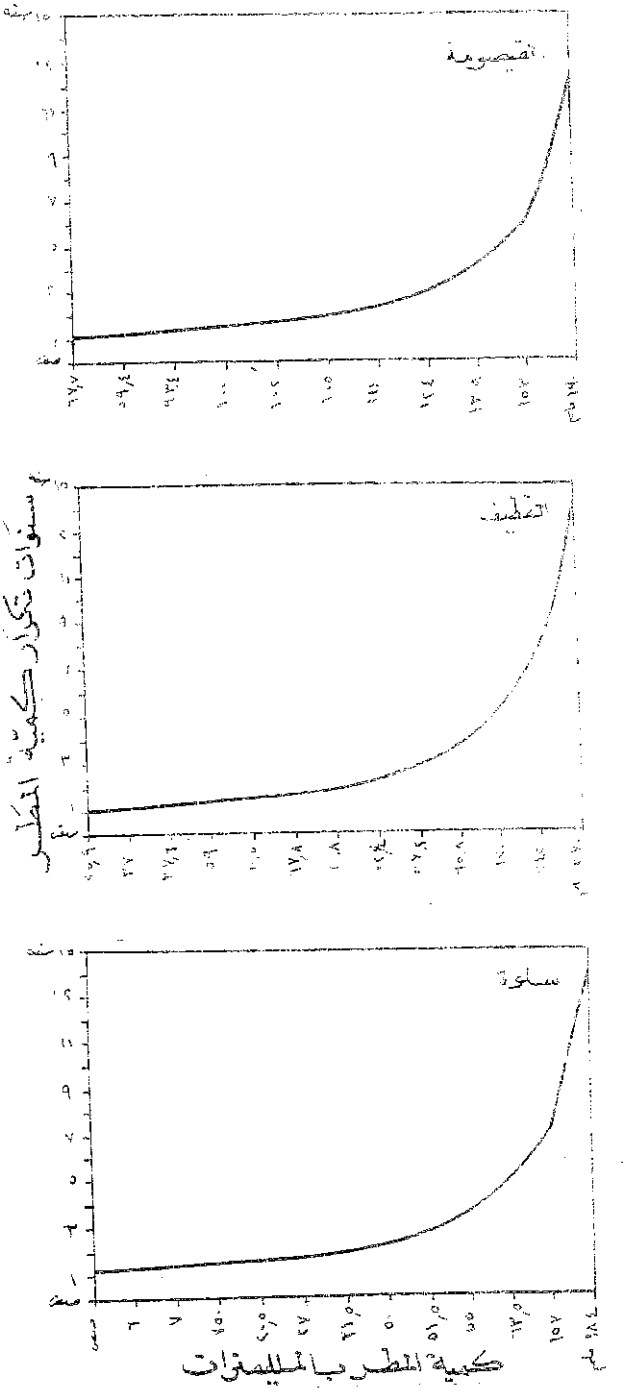
خلال فترة زمنية قصيرة غالباً ما تكون سنوية. بينما يحدث العكس بالنسبة لكمية المطر الكبيرة التى تحتاج لعدد كبير من السنوات حتى تتكرر مرة ثانية. إذ تحتاج مثلا كمية المطر التى تزيد عن ١٠٠ ملليميتر إلى فترة زمنية تتراوح بين ثلاث سنوات وأربع عشرة سنة حتى نتوقع تكرارها (شكل ٢٤). ويعد ذلك دليلاً آخراً على شدة الندرة فى مطر المنطقة.

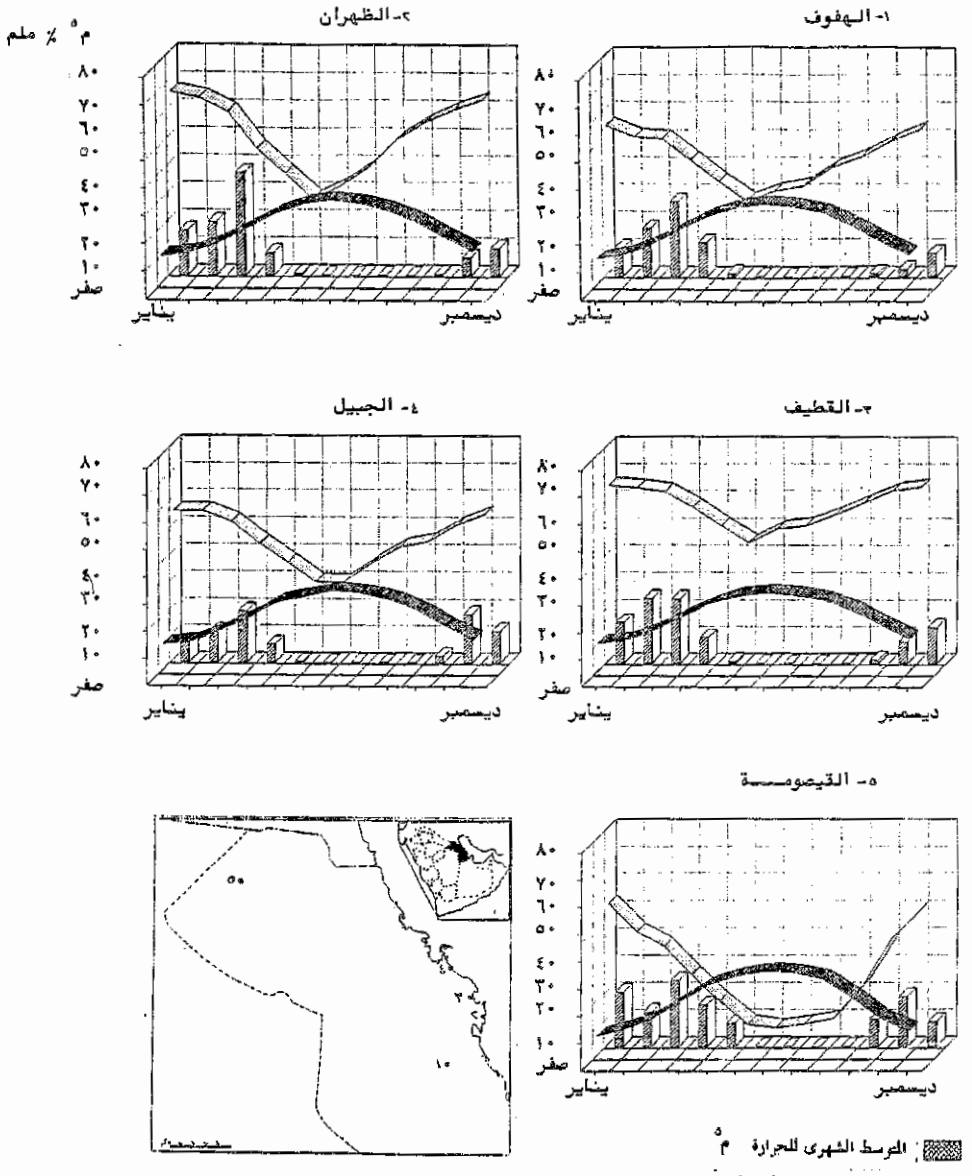
وهكذا تتميز المنطقة بإرتفاع فى درجة حرارة الهواء ورطوبته النسبية وندرة كمية المطر معظم شهور السنة (شكل ٢٥). وتشير هذه العناصر المناخية الثلاث إلى سيادة خصائص المناخ الصحراوى الحار الذى يشوبه إرتفاع فى الرطوبة النسبية نتيجة للموقع الجغرافى للمنطقة على ساحل الخليج العربى.

ويعد المطر أحد أهم العمليات الطبيعية فى الغلاف الجوى التى يتم بفضلها إزاحة الملوثات عن طريق عملية الغسل Washout ويقصد بها تحريك Removal للجسيمات السابحة Suspended Particulates مع حبات المطر Raindrops.

وتؤثر هذه العملية على الجسيمات التى يزيد قطرها عن ميكرومتر واحد، إذ تصبح بمثابة نويات التكاثف لبخار الماء وتكوين السحب، وعندئذ تسقط هذه الجسيمات مع حبات المطر [ERT, International, INC, 1976. p.25]. وهكذا يساعد شح المطر على تفاقم تلوث الهواء بالمنطقة. إذ تحول فصليته وإنخفاض كميته دون إزاحة ملوثات الهواء الصلبة التى تزيد كميتها خلال الفصل الحار (الذى يندر فيه المطر) لإرتباطها بشدة سرعة الرياح وكثرة تكرار العواصف الرملية/ الترابية وظواهر الجو الترابية الأخرى. وهكذا تفتقد المنطقة للجانب الفعال لعنصر المطر بوصفه أداة طبيعية للتخلص من ملوثات الهواء الصلبة.

شكل (٣٤) : فترات الرجوع لكميات المطر





شكل (٢٥) ملامح المناخ الصحراوى فى محطات المنطقة

ثالثا: الرياح

تنشأ الرياح نتيجة لتباين الضغط الجوى وتتحرك من مراكز الضغط المرتفع الى مراكز الضغط المنخفض لتحقق نوع من التوازن بينهما [فايد، سنة ١٩٧٧. ص٢٧]. وترتبط سرعة الرياح بعلاقة طردية مع شدة انحدار الضغط Pressure Gradient (سرعة تناقص الضغط) نحو مركزه. وتؤثر عملية الإحتكاك Friction سلبيا على سرعة الرياح[١] وتوصف البيئات الصحروايةَ كنتيجة لإختفاء عامل الإحتكاك تقريبا – بسبب ندرة الغطاء النباتى بالمحيطات [Trewartha, 1980. p.349] لارتفاع سرعة الرياح فيها. ويساعد أيضا على زيادة سرعة الرياح فى هذه البيئات عمليات التسخين السريع نهارا فى طبقات الهواء السفلى، فتنشط حركة تصعيد للهواء إلى أعلى لتصل حدها الأقصى بعد الظهر. وقد يتبع فى كثير من الأحيان العواصف الرملية/ والترابية نتيجة لشدة سرعة الرياح فى المناخات الصحراوية.[٢]

بينما تصل سرعة الرياح إلى حدها الأدنى فى أثناء الليل وقبيل الشروق مباشرة بسبب انخفاض حرارة اليابس وبرودة الهواء وارتفاع كثافته وميله الى الاستقرار خاصة مع زيادة تأثير عامل الإحتكاك لقربه من مستوى سطح الارض.

هذا وتختلف سرعة الرياح فى المدن عنها فى المناطق الريفية المجاورة. فعندما يهب نسيم الضواحى (الرياح التى تهب من الريف إلى المدن) بسرعة تقل عن ٣,٦ متر /الثانية، فإن سرعتها ترتفع فوق المدن نتيجة لشدة إنحدار الضغط الناتج عن الجزيرة المدنية الحارة. يحدث العكس عندما تزيد سرعة نسيم الضواحى عن ٣,٦ متر/الثانية، فإن سرعتها تنخفض فوق المدينة بسبب تأثير عامل الإحتكاك [عمر، ١٩٨٨(د). ص ٨].

---

[١] يتوقف عامل الاحتكاك على: طبيعة السطح ودرجة خشونته ومدى استوائه، باضافة الى الاختلافات الحرارية المحلية. وتزيد سرعة الرياح مع الإرتفاع نتيجة لإختفاء تأثير عامل الإحتكاك.

[٢] يرى البعض لهذا السبب أن الرياح غالبا ما تكون العنصر الوحيد للحياة والحركة فى ميدان الموت والجمود [Trewartha, 1980. p.359] والذى يقصد به الصحراء.

ويرتبط تلوث الهواء المحتمل لأى منطقة بصورة مباشرة بالرياح[1] التى تتحكم فى تحديد الرحلة الزمنية Travel Time التى تنتقل وتتحرك خلالها الملوثات إلى أن تلتحم بطبقات الغلاف الجوى. كما تحدد مدة إستمرار تنقلها من مصدر الإنبعاث إلى المناطق المستقبلة (المتأثرة) Receptor Areas للملوثات. وترتبط هذه الرحلة الزمنية - التى تتحكم فى عملية تشتت Dispersion ملوثات الهواء - بعلاقة طردية مع سرعة الرياح [ERT, International, 1976. p.22] وحينما تكون حركة الرياح بطيئة وقادمة من المصدر الملوث، فإن ذلك يعنى إرتفاع تركيز الملوثات بصورة أكبر عما إذا كانت حركة الرياح شديدة [2] و[3]. وتحدد سرعة الرياح الوقت اللازم لنقل الملوثات من مصدر إنبعاثها إلى المنطقة المستقبلة لها، فيرتفع هذا الوقت إلى الضعف حين تنخفض سرعة الرياح إلى النصف.

وتتغير خصائص الرياح فى المنطقة بتغير نظم الضغط الجوى من فصل لآخر من فصول السنة على النحو التالى:

---

[1] ولا يمكن اغفال دور درجة حرارة الهواء وإرتفاع طبقة الإختلاط بجانب سرعة الرياح حيث يمكن تمثيل العلاقة بين هذه العناصر المناخية وبين تركيز ملوثات الهواء فى أى منطقة وفق المعادلة التالية:

$C = f(W, H, D, Y)$

(C) = تركيز الملوثات. (W) سرعة الرياح (F) رقم ثابت (H) ارتفاع طبقة الاختلاط (D) درجة الحرارة اليومية (Y) التركيز فى اليوم السابق .[Annand, 1981, p.804].

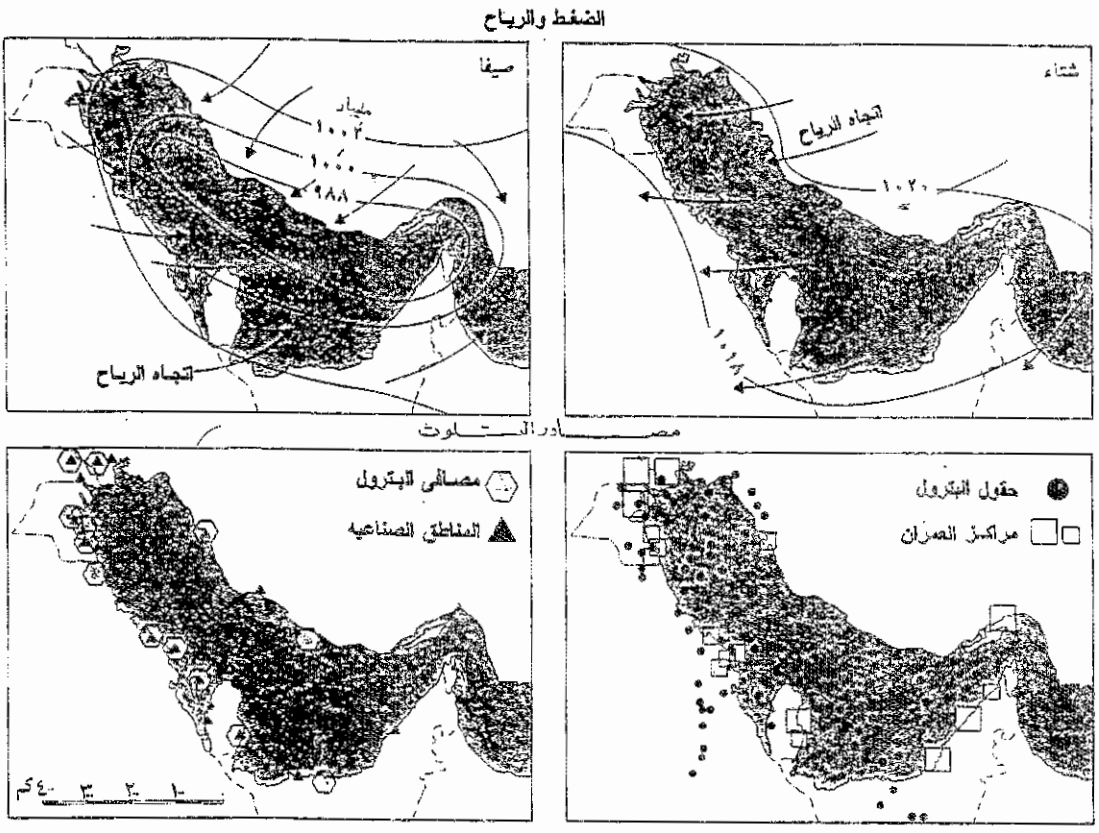
[2] فإذا كانت مثلا سرعة انبعاث الملوثات ٦ وحدات/ الثانية (أى ٦ جزئيات من الملوثات تنبعث الى الهواء فى كل ثانية) وكانت سرعة الرياح ٦م/ث عندئذ يصبح تشتت هذه الوحدات المنبعثة كبير، بمعنى أنه تزيد المسافة بين كل وحدة وأخرى لتبلغ حوالى مترا واحدا. وإذا انخفضت سرعة الرياح إلى ٣م/ث تصبح المسافة بين كل متر وآخر فى الهواء تحتوى على ثلاث وحدات من الملوثات، ومن ثم يرتفع تركيزها. [Stern, 1984. p.274].

[3] وقد أثبت العالم ارزانوف العلاقة العكسية بين سرعة الرياح وتركيز السخام (Soot) فى مدينة موسكو (جدول ٩-١). كما أثبت العلاقة العكسية بين سرعة الرياح وتركيز غاز ثانى اكسيد الكبريت فى مدينة موسكو أيضا (جدول ٩-ب). [كمونة، سنة ١٩٨٨ ص٨٩-٩٠].

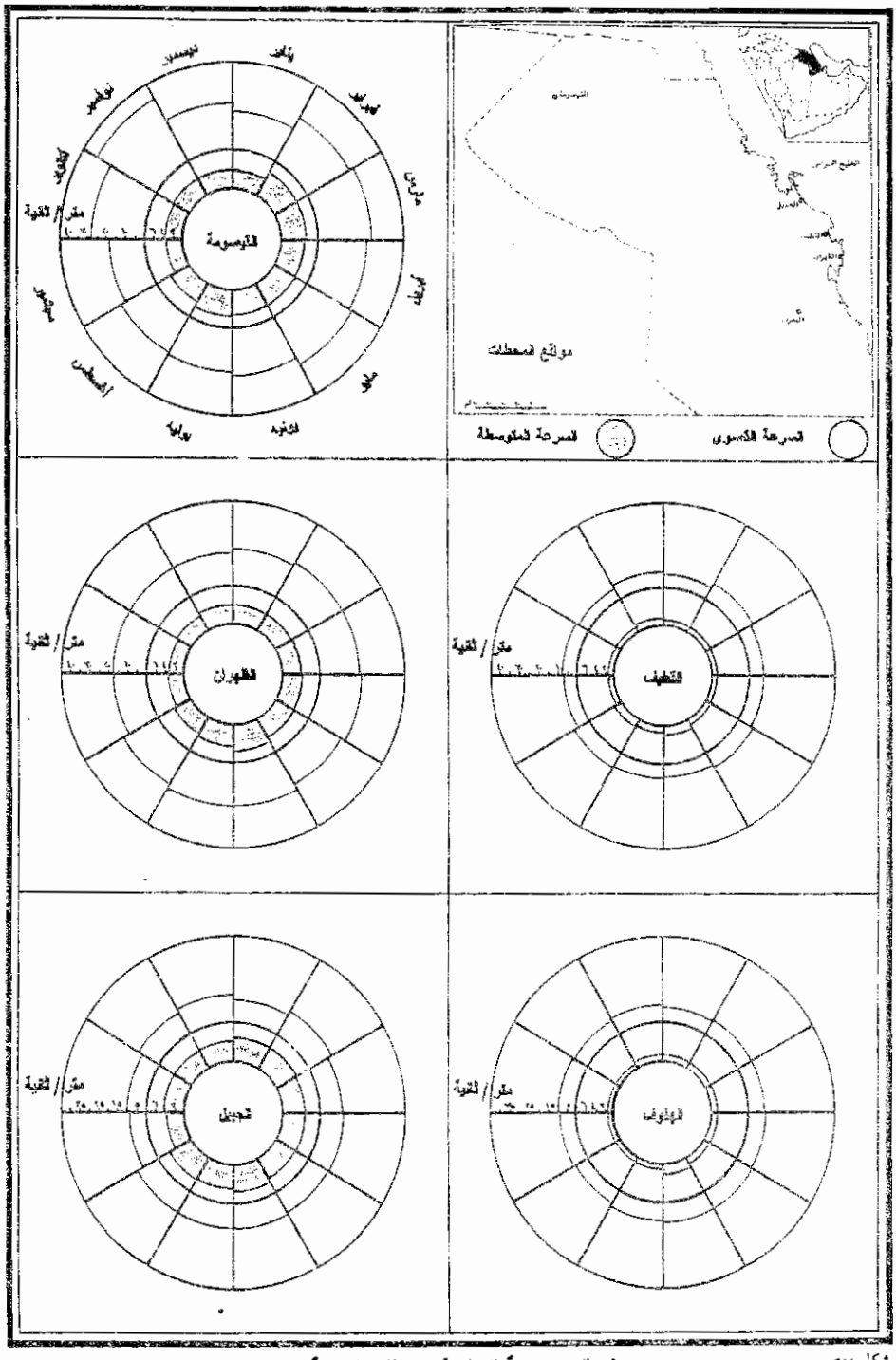
فصل الصيف (يونية - يولية - اغسطس):

يسيطر على المنطقة صيفا ضغط منخفض نتيجة لشدة إرتفاع درجة حرارة الهواء ليصبح إمتداداً للضغط الشديد الإنخفاض المتمركز على شمال غرب الهند وباكستان وجنوب إيران وجنوب عمان. ويتبع هذا الضغط المنخفض نشأة التيارات الهوائية الصاعدة التى تحمل معها الأتربة والرمال المفككة (بسبب جفاف السطح) فتكثر الأعاصير الرملية. ويجذب هذا الضغط المنخفض الرياح لتهب من معابر جبال زاجروس بإتجاه المنطقة فى صورة رياح شمالية شرقية (شكل ٢٦) تتراوح تكراراتها النسبية بين ١٣% و ٢٢% من الهبوب لشهرى يونية ويولية على التوالى. ويجذب أيضاً هذا المنخفض الجوى الرياح من منطقة الضغط المرتفع الأزورى فوق المحيط الاطلنطى وإمتداده فى البحر المتوسط نحو المنطقة فى صورة رياح شمالية غربية تبلغ تكراراتها النسبية ٤٢% من هبوب الرياح فى شهر أغسطس على محطة القطيف. وتتحول هذه الرياح الشمالية الغربية الى رياح شمالية تعرف محليا باسم (رياح الشمال) التى تتميز بانخفاض حرارتها نسبياً. وترتفع التكرارات النسبية لهبوبها إلى ٦٧% و ٥٧% و ٥٥% من الهبوب خلال شهور يونية ويولية وأغسطس على التوالى فى محطة الهفوف. كما تبلغ تكراراتها لذات الشهور بمحطة القطيف ٤٦% و ٣٣% و ١٨% على التوالى. وتتميز الرياح خلال فصل الصيف بشدة سرعتها خاصة خلال شهر يونية. إذ يبلغ متوسطها الشهرى ٦,٠ متر/ الثانية تقريباً فى معظم محطات الدراسة (شكل ٢٧).

وغالبا ما تسجل السرعة القصوى للرياح خلال شهر يونية فى سائر المحطات (باستثناء محطة الظهران إذ تسجل فى شهر يولية وقد بلغت ٢٤ متر/الثانية) ، وتتراوح بين ١٠ متر/ الثانية كحد أدنى فى محطة الهفوف،


الضغط والرياح
صيفا
شتاء
مليبار
١٠٠٢
١٠٠٠
٩٨٨
اتجاه الرياح
١٠٢٠
١٠١٨
مصـــــادر الـــتـــلوث
مصافى البترول
المناطق الصناعيه
حقول البترول
مراكز العمران
٠ ١٠ ٢٠ ٣٠ ٤٠ كم
فاعليات عامل الجوار فى بيئة المنطقة الشرقية

شكل ٢٦



شكل ٧٧ خصائص سرعة الرياح في محطات الدراسة .

و ٢٥متر/ الثانية تقريبا كحد أقصى فى محطة القيصومة (جدول ١٠) [١] و [٢]. هذا وتصل الرياح الى سرعتها القصوى بعد الظهيرة (فيما بين الساعة الواحدة والثالثة بعد الظهر) نتيجة لشدة تسخين اليابس وإرتفاع درجة الحرارة العظمى للهواء فتنشط التيارات الهوائية الصاعدة محملة بالأتربة والرمال المفككة فى ظل سرعة الرياح المرتفعة التى تمكنها من حمل كميات هائلة من الرمال. ومن ثم ترتفع سرعة عمليتى سفى الرمال وزحف الكثبان الرملية صيفاً فى ظل إرتفاع التكرار النسبى للرياح الحرجة (شكل ٤). ويرتفع أيضاً عدد العواصف الرملية/ الترابية وكذلك ظواهر الجو الترابية خلال هذا الفصل كما سيتضح فيما بعد.

ويتبع هذا الإتجاه للرياح السائدة صيفاً (شمالية غربية - شمالية - شمالية شرقية) نقل ملوثات الهواء من مناطق الجوار الصناعية على طول ساحل الخليج العربى (شكل ٢٦) الى المنطقة، كما تسهم فى نقل العديد من الملوثات الغازية من مدينة الجبيل الصناعية (أهم المدن الصناعية بالمنطقة) إلى سائر المدن الساحلية إلى جنوبها. ويؤدى إستقرار الرياح الشمالية على المنطقة بصفة عامة إلى إنخفاض فاعليتها فى نزح الحرارة المتراكمة داخل المدن لتظهر كجزر حرارية واضحة حينما تقترن شدة حرارتها بإرتفاع رطوبتها النسبية، ويقتصر حينئذ دورها فى تحقيق تهوية فعالة فى شوارع بعض المدن ذات المحاور الشمالية كما هو الحال فى مدينة الجبيل الصناعية. ويفضل سكان المنطقة رياح الشمال صيفاً لكونها تهب من البحر المتوسط الذى يمثل مركز الضغط الجوى المرتفع دون المدارى فى أقصى تزحزح له صوب الجنوب [يوسف، سنة ١٩٨٨. ص٣١].

---

[١] وهكذا تتراوح السرعة القصوى للرياح فى المنطقة - وفق مقياس بوفورت - بين نسيم عليل Fresh Breeze (٨,٠-١٠,٧ متر/الثانية)، وعاصفة Storm (٢٤,٥ - ٢٨,٤ متر/الثانية).

[٢] وترتفع هذه السرعة القصوى كثيرا عن السرعة اللازمة لبداية حركة الرمال فى المنطقة (يطلق عليها الرياح الحرجة) التى تبلغ ٥,٣ متر/الثانية [Abolkhair, 1981. p.134].

ويلعب كل من نسيم البر Land Breeze ونسيم البحر SeaBreeze (نسيم الخليج العربى) دورا أساسياً فى توزيع الملوثات الغازية ونقلها من وإلى منطقة الدراسة. حيث يؤدى نسيم البر ليلاً إلى سهولة إنتقالها من المناطق الصناعية وحقول الزيت البرية إلى مدن الساحل، بينما تنتقل الملوثات من مناطق الجوار عبر الخليج العربى إلى المدن الساحلية فى أثناء فترات نسيم البحر. ولعل ظاهرة الأوزون البحرى المنقول من المناطق الصناعية المجاورة – عبر الخليج العربى – والتى تسهم فى رفع التلوث بغاز الاوزون من أبرز الأمثلة على تأثير نسيم البحر فى تلوث الهواء بالمنطقة.

فصل الشتاء (ديسمبر - يناير - فبراير):

يسيطر على المنطقة ضغط مرتفع بسبب إنخفاض حرارة اليابس مقارنة بالمسطحات المائية القريبة (البحر المتوسط)، ليمد إمتداداً للضغط شديد الإرتفاع فى أواسط آسيا وسيبيريا شتاءً (شكل ٢٦). وتصبح منطقة البحر المتوسط عبارة عن بحيرة من الضغط المنخفض محصورة بين الضغط المرتفع الأوراسى القطبى والضغط المرتفع دون المدارى على الصحراء الكبرى وشبه الجزيرة العربية، فتنشأ حينئذ حالة من عدم الإستقرار يتبعها نشأة المنخفضات الجوية التى تتحرك فى إتجاه عام من الغرب إلى الشرق بسرعة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ كيلومتر/ساعة [شرف، سنة ١٩٨٥، ص١٤٥].

وتصل هذه المنخفضات الجوية فى مسارها الجنوبى (يتبع جنوبى حوض البحر المتوسط من المحيط الأطلنطى عبر مضيق جبل طارق، ويتحرك أيضاً من خليج سرت الى شرقى البحر المتوسط ثم بلاد الشام وشمال السعودية ورأس الخليج العربى وإيران) [جوده، سنة ١٩٨٦ ص١٠٦] إلى المنطقة فى صورة رياح شمالية غربية إلى رياح غربية ممطرة.

وترتفع التكرارات النسبية لهبوب هذه الرياح الشمالية الغربية لتبلغ ٤٥% و ٣٦% و ٢٨% لشهور الشتاء على التوالى فى محطة القطيف. وتصل

هذه الرياح إلى محطة الهفوف فى صورة رياح شمالية تبلغ تكراراتها النسبية خلال شهور الشتاء على التوالى ٤١% و ٤٦% و٥٢%.

وتتعرض المنطقة شتاءً للعديد من التقلبات الجوية التى تصاحب مرور المنخفضات الجوية القادمة من البحر المتوسط فى صورة الرياح الشمالية الغربية والرياح الغربية. وبمجرد إقتراب هذه المنخفضات يسود طقس متقلب ويتحول إتجاه الرياح إلى رياح شرقية وجنوبية شرقية تهب من الخليج العربى فى صورة رياح رطبة تسهم فى رفع مستوى الرطوبة النسبية. ويقل تكرار هبوب هذه الرياح المتغيرة إذ يقتصر هبوبها على فترات زمنية قصيرة فى أثناء مرور المنخفضات الجوية. وهكذا تسيطر الرياح الشمالية الغربية والرياح الشمالية على المنطقة شتاءً بسرعة أقل عما عليه صيفا.

ويتراوح المتوسط الشهرى لسرعة الرياح شتاءً بين ٤,٨ متر/الثانية كحد أقصى فى شهر فبراير بمحطة القيصومة، وبين ١,٢ متر/الثانية كحد أدنى فى شهر ديسمبر بمحطة الهفوف [1] (جدول ١٠). وتسجل غالباً السرعة القصوى شتاءً خلال شهر فبراير. وقد بلغت ٢٥,٥ متر/الثانية فى محطة القيصومة (رياح شمالية)، و ٢١,٣ متر/الثانية فى محطة الظهران (رياح شمالية غربية)، و١٢,٣متر/الثانية فى محطات الجبيل (رياح من غرب الشمال الغربى). وهكذا ترتفع السرعة القصوى للرياح شتاءً لتتجاوز السرعة اللازمة لبدء حركة الرمال فى المنطقة (٥,٣ متر/الثانية) لتبلغ نسبة تكرارها فى شهر فبراير ١٢% فى محطة القطيف و ٩% فى محطة الهفوف (شكل ٤). ويصحب ذلك الإرتفاع فى سرعة الرياح شيوع تكرار الظواهر الجوية الترابية خاصة الأتربة المثارة.

فصل الربيع (مارس - ابريل - مايو):

حينما يتحرك الهواء القطبى القارى من أوراسيا ليصل إلى المنطقة خلال شهور الربيع يتبعه حدوث الزوابع الترابية والرملية فى المنطقة. ويرجع

---

[1] ترتفع سرعة الرياح فى محطتى القيصومة والظهران مقارنة بالمحطات الأخرى بسبب موقعهما فى منطقة المطار حيث يقل العمران وينخفض تاثير عامل الاحتكاك الذى يؤدى الى إنخفاض سرعة الرياح.

ذلك إلى سخونة اليابس فتنشأ حالة من عدم الإستقرار فى الطبقات السفلى من الهواء مما يساعد على نشاط التيارات الهوائية الصاعدة التى تحمل معها الأتربة والرمال المفككة بسبب جفاف السطح وندرة الغطاء النباتى.

وتهب خلال فصل الربيع رياح السموم المحلية فى مقدمة المنخفضات الجوية القادمة من البحر المتوسط. وتتحرك هذه الرياح من صحراء الربع الخالى فتصل إلى المنطقة فى صورة رياح جنوبية شديدة الحرارة والجفاف ومحملة بالأتربة والرمال. فتكثر العواصف الرملية والترابية التى قد تؤدى إلى تغيير لون السماء إلى الأحمر الباهت أو الأصفر الداكن [الشريف، سنة ١٩٨٤. ص٦٩]. ويرتفع تكرار هذه الرياح الجنوبية ربيعاً ليصل الى ٢٢% و ١٧% و ٨% على محطة الهفوف خلال شهور هذا الفصل بالتوالى. كما تصل بعض منخفضات البحر المتوسط إلى المنطقة فى صورة رياح شمالية غربية الى شمالية رطبة تصيب المنطقة بالمطر الربيعى.

ويتراوح المتوسط الشهرى لسرعة الرياح ربيعاً بين ٥,١ متر/الثانية كحد أقصى فى شهر مارس بمحطات الجبيل و ١,٥ متر/الثانية كحد أدنى فى شهر إبريل بمحطة القطيف (جدول ١٠). وتتراوح السرعة القصوى للرياح ربيعاً بين ٢٨ متر/الثانية كحد أقصى فى شهر مارس بمحطة القيصومة و ٧,٤ متر/الثانية فى شهر إبريل بمحطة القطيف.

ويصاحب إرتفاع سرعة الرياح ربيعا إرتفاع نصيبه من تكرار ظواهر الجو الترابية ليحتل المركز الثانى بعد فصل الشتاء، وكذلك الحال بالنسبة للعواصف الرملية/ الترابية.

ويؤدى إرتفاع سرعة الرياح ربيعا (شكل ٢٧) إلى إرتفاع درجة تلوث الهواء بالملوثات الصلبة خاصة فى أثناء هبوب رياح السموم الجنوبية. وتؤدى الرياح الشمالية إلى الشمالية الغربية السائدة على محطات الجبيل إلى نقل الملوثات الغازية من مصادر انبعاثها شمالا (معمل تكرير الخفجى - حقول الزيت الشمالية) إلى المدن الساحلية جنوبا. فيرتفع تركيزها خاصة فى مدينة الجبيل الصناعية لموقعها الجغرافى إلى الجنوب منها مباشرة.

وهكذا يسهم تعدد إتجاهات الرياح خلال شهور فصل الربيع فى تنـــوع مصادر إنتقال ملوثات الهواء وكذلك إعادة توزيعها وتشـــتتها وتغـــير المنـــاطق المستقبلة لها.

فصل الخريف (سبتمبر - أكتوبر - نوفمبر):

تسود الرياح الشمالية الغربية والرياح الشمالية خلال فصـــل الخريـــف ليكون لها الغلبة على الرياح الشرقية والرياح الجنوبية الشرقية. ويكـــثر أيضـــا تكرار هبوب الرياح الجنوبية الحارة والمترية التى تهب من صحراء الربع الخالى. وتعتبر محطة الهفوف أكثر المحطات تأثراً بها – لتوغلها جنوبا حيـــث صحـــراء الربع الخالى– إذ تصل النسبة المئوية لتكرار هبوبها إلى ١٨% و ١٥% خـــلال شهرى أكتوبر ونوفمبر.

وتنخفض سرعة الرياح فى المنطقة خلال شهور فصـــل الخريـــف، إذ يتراوح المتوسط الشهرى لسرعة الرياح بين ٣,٠ متر/الثانية كحد أقصى خـــلال شهر نوفمبر و ٢,٧ متر/الثانية كحد أدنى خلال شهر سبتمبر[١].

وهكذا تتميز الرياح فى المنطقة بإرتفاع سرعتها معظم شهور الســـنة. وتلعب هذه السرعة المرتفعة للرياح دورا ايجابياً وآخر سلبياً فيما يتعلق بتلـــوث الهواء بالمنطقة.

ويكمن الجانب الإيجابى فى كونها تحقق التهوية Ventilation العاليـــة، فتسهم جزئياً فى نزح الحرارة المتراكمة داخل المدن. كما تؤدى إلى سرعة تشتت ملوثات الهواء بعيداً عن مصدر إنبعاثها فينخفض تركيزها قريبـــاً مـــن مســـتوى سطح الأرض ، ويتبع ذلك بالضرورة إنخفاض درجـــة خطورتـــها علـــى صحـــة الإنسان والبيئة. ويندر تكرار حالات الركـــود Stagnation Conditions (كنتيجـــة لإرتفاع سرعة الرياح) إذ تحدث حالات السكون مثلا بنسبة ١% فقط فى محطـــات الجبيل، ويختفى تبعا لذلك أحد العوامل التى تساعد على إرتفاع تركيز الملوثـــات الغازية بالمنطقة.

---

[١] لا عبرة ان كانت اقصى سرعة للرياح فى المنطقة قد سجلت مرة واحدة فى شهر نوفمبر لتبلـــغ ٣٦,١ متر/الثانية فى محطة القيصومة سنة ١٩٨٢ لكونه استثناء لا يتكرر.

وتؤثر سرعة الرياح سلبيا بقدرتها الكبيرة على حمل كميات هائلة من الأتربة والرمال والجزئيات الدقيقة بأحجامها المتباينة ومصادرها المتعددة إلى إرتفاعات كبيرة فوق مستوى الأرض. ويتبع ذلك بالضرورة إرتفاع فى تركيز الملوثات الصلبة بالهواء تحت سيادة ظروف المناخ الصحراوى الحار، وإتساع التكوينات الرملية الجافة بالمنطقة.

رابعا: الطقس والمناخ وتوليد ونشر ملوثات الهواء الصلبة

تلعب العناصر المناخية – فضلا عن دورها كضوابط توزيعية للملوثات الغازية – دوراً أساسياً فى توليد ونشر ملوثات الهواء الصلبة. ويمكن تقسيم هذه الملوثات وفقا لخصائصها الحجمية، ومدة بقائها فى الغلاف الجوى، وسرعة ترسيبها، وآثارها الصحية والبيئية إلى:

الغبار الساقط الجسيمات العالقة

١- الغبار الساقط

يرتبط تلوث الهواء بالغبار الساقط[١] ببعض الظواهر الجوية التى يمكن حصرها فى:

- العواصف الرملية/ الترابية
- ظواهر الجو الترابية (السديم [٢] – أتربة مثارة[٣] – دوامات ترابية[٤])

---

(١) يقصد بالغبار الساقط Dust fall الجزيئات الغبارية التى يزيد قطرها عن ١٠ ميكرون وتترسب على مسافات بعيدة عن مصدرها. وتقدر سرعة ترسيبها بحوالى ١٧سم/دقيقة [العودات، سنة ١٩٨٥. ص ٥٠].

(٢) السديم Haze: هو عبارة عن دقائق عالقة Suspended Particles يتراوح قطر جزيئاته بين ٠,١ و ١٠ ميكرون. وتظل عالقة بالهواء لفترات طويلة لإنخفاض سرعة ترسيبها التى ترتبط بالعناصر المناخية من سرعة الرياح ودرجة حرارة الهواء ورطوبته [العودات، سنة ١٩٨٨. ص ٦٧].

أ- العواصف الرملية/ الترابية

تعرف العواصف الرملية Sand Storms بأنها الرياح التى يصل خلالها مدى الرؤية Visibility إلى ١٠٠٠ متر أو أقل بسبب إرتفاع تركيز الغبار والأتربة فى ظل رياح تبلغ سرعتها ١٣ متر/ الثانية أو أكثر. وتختلف العاصفة الترابية Dust-storm عن العاصفة الرملية فى كون الأولى تصاحبها رياح تقل سرعتها عن ١٣ متر/الثانية. ويطلق على أى منهما عاصفة عاتية Severe Storm عندما تؤدى إلى إنخفاض مدى الرؤية الى ٥٠٠ متر أو أقل [الفندى، سنة ١٩٦٠. ص١٨٨].

وتتعرض المنطقة إلى عواصف رملية شديدة تتراوح خلالها سرعة الرياح ما بين ١٥ و ١٧ متر/الثانية. وتستطيع هذه الرياح أن ترفع الرمال إلى إرتفاع يتراوح بين ١٠٠٠ و٣٠٠٠ مترا. [الشريف، سنة ١٩٨٤. ص٦٩].

وتنشأ هذه العواصف الرملية الشديدة فى أثناء مرور منخفضات البحر المتوسط التى يتبعها مرور تيارات هوائية باردة خلال شهور فصل الربيع. فتنشأ التيارات الهوائية الصاعدة بسبب بداية تسخين اليابس ربيعا، ومن ثم تنشأ حالة من عدم الإستقرار يتبعها تولد العواصف الرملية العنيفة. ويطلق على مثل هذه العواصف "عواصف حالات عدم الإستقرار". وهى تختلف عن "عواصف الإستقرار" التى تحدث فى المناطق الصحراوية نتيجة لظروف محلية. إذ تتولد عواصف الاستقرار فى أثناء إقتران بلوغ الرياح سرعتها الحرجة بحدوث إنقلابات حرارية (حتى ولو كانت على ارتفاع يتراوح بين ٥٠٠ – ١٠٠٠ مترا) تؤدى إلى احتجاز الأتربة والرمال فى الطبقة السفلية من الهواء دون أن يحدث لها أى توزيع

---

(٣) الأتربة المثارة Blowing Dust: عبارة عن غبار وأتربة متصاعدة تتميز جزيئاتها بالدقة فتحملها الرياح إلى إرتفاع يتراوح بين ١٠٠٠ و ٣٠٠٠ متر.

(٤) الدوامات الترابية Dust Whirls : عبارة عن دوامات هوائية نطاقها محدود وشديدة الحركة لا يتجاوز إرتفاعها أكثر من عشرة أمتار. وتعتبر ظاهرة جوية يومية شائعة فى المناطق الصحراوية [شرف، سنة ١٩٨٠. ص ٧٠].

رأسى. ويتبع ذلك تدنى مدى الرؤية إلى أقل من ١٠٠٠ متر. وقد تحدث عواصف الاستقرار أيضا بسبب تيارات الهواء الحارة التى تهب حول المنخفضات الجوية الصحراوية بسرعة شديدة قد تصل إلى حوالى ٢٠ متر/ الثانية محملة بالرمال والأتربة [شرف، سنة ١٩٨٥. ص٤٥٦].

ويمكن دراسة التوزيع الفصلى للعواصف الرملية/ الترابية فى المنطقة على النحو التالى:[١] و [٢] و [٣] .

فصل الربيع:

يعد فصل الربيع أكثر فصول السنة نصيباً من تكرار العواصف الرملية/ الترابية فى محطات الجبيل و القيصومة والظهران حيث يبلغ ٣٨,٥% و ٤٩% و ٣٠% لكل منها على التوالى (شكل ٢٨-أ). ويرجع كثرة تكرارها ربيعاً لما عرض من أسباب ترتبط بشدة سرعة الرياح وإتجاهات هبوبها ونشأة حالات عدم الإستقرار الجوى وإرتفاع درجة حرارة الهواء. ويعد شهر مارس أكثر شهور الربيع نصيباً من هذه العواصف. إذ تبلغ تكراراتها النسبية مثلاً ١٥,٧% فى محطات الجبيل (جدول ١١).

---

[١] تعتمد دراسة العواصف الرملية/ الترابية فى المنطقة على بيانات تسع محطات تقع فى مدينة الجبيل الصناعية تصدر عن الهيئة الملكية للجبيل خلال الفترة سنة ١٩٨١ - سنة ١٩٨٩م.

Royal Commission for Jubail, Kindgom of Saudi Arabia: Jubail Atmospheric Surveys Project - Annual Reports: 1981-1989

[٢] ويستعين البحث أيضا فى هذه الدراسة ببيانات محطتى الظهران والقيصومة التى تصدر عن وزارة الدفاع والطيران بالمملكة العربية السعودية خلال الفترة ١٩٧٦ - ١٩٨٨م. ولا ترصد العواصف الرملية/ الترابية فى محطات رصد المناخ الأخرى.

[٣] يساعد إتساع التكوينات الرملية بالمنطقة (نفود البياض/ الجافورا ونفود الدهناء وصحراء الربع الخالى) فى ظل سيادة ظروف المناخ الصحراوى - يتميز بندرة فى كمية المطر- على شدة العواصف الرملية/ الترابية فى المنطقة وما يرتبط بها من إرتفاع فى درجة تلوث الهواء بالغبار الساقط.

فصل الصيف:

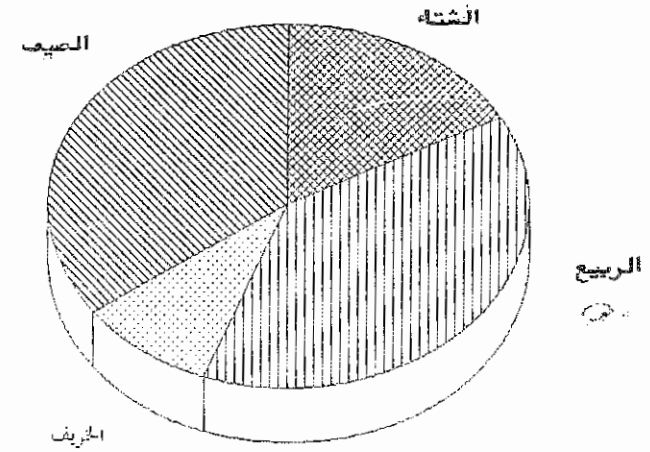
يحتل فصل الصيف المركز الثانى بعد فصل الربيع بنصيب يبلغ ٥٤% و٢٩% و٣٥,١% من جملة تكرارها فى محطات القيصومة والظهران والجبيل على التوالى. ويرجع ذلك إلى شدة سرعة الرياح (جدول ١٠ وشكل ٢٧) خاصة فى شهر يونية الذى يعد أكثر شهور الصيف نصيباً منها، إذ يحدث خلاله ٢١,٦% من إجمالى عددها فى محطات الجبيل ممثلا بذلك أعلى الشهور نصيبا مقارنة بباقى شهور السنة. ويستأثر فى ذات الوقت بحوالى ٦٢% من جملة تكرارها صيفا (شكل ٢٨-ب).

وهكذا يستحوذ فصلا الربيع والصيف معاً على ما نسبته ٧٣,٦% و٧٨% و ٨٤% من إجمالى عددها فى محطات الجبيل و القيصومة والظهران على التوالى (شكل ٢٨-ب). ويصاحب ذلك بالضرورة إرتفاع فى تلوث الهواء بالغبار الساقط خلال فصلى الربيع والصيف فى المنطقة.

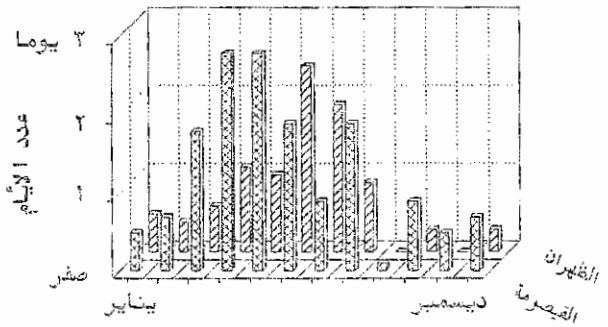
فصل الشتاء وفصل الخريف:

تنخفض التكرارات النسبية للعواصف الرملية/ الترابية خلال فصلى الشتاء والخريف لتبلغ ١٦,٩% و ٩,٤% لكل منهما فى محطات الجبيل (شكل ٢٨-أ). ويبلغ نصيب فصل الشتاء منها ١٣% فى كل من محطتى الظهران والقيصومة بينما ينخفض كثيرا نصيب فصل الخريف.

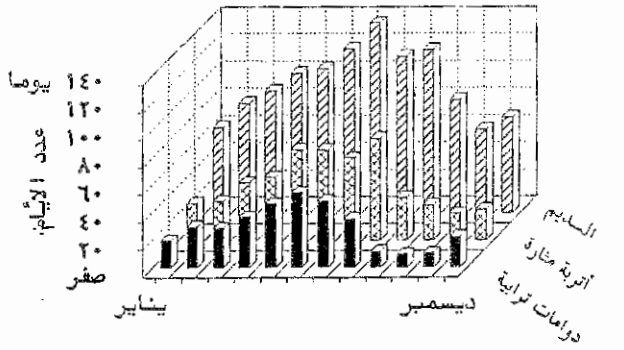
وهكذا يمتد فصل ذروة تكرار العواصف الرملية/ الترابية ليشمل فصلى الربيع والصيف (من شهر مارس الى شهر اغسطس). ويتفق ذلك مع إرتفاع تلوث الهواء بالجسيمات السابحة أيضا (كما سيتضح فيما بعد) كنتيجة لإرتباطهما معا بعلاقة طردية، وإرتباطهما طرديا فى ذات الوقت بشدة سرعة الرياح وجفاف السطح.



أ – النسبة المئوية الفصلية لتكرار العواصف الرملية / الترابية فى محطات الجبيل



ب – المعدل الشهرى لعدد العواصف الرملية / الترابية فى محطتى الظهران والقيصومة



جـ – المعدل الشهرى لتكرار ظواهر الجو الترابية فى محطة الظهران

شكل (٢٨) الظواهر الجوية المصاحبة للتلوث بالغبار الساقط

ب- ظواهر الجو الترابية (السديم - أتربة مثارة - دوامات ترابية):

تعتمد دراسة ظواهر الجو الترابية التى تعكس تلوث الهواء بالغبار الساقط على بيانات محطة الظهران.[1] وتنحصر ظواهر الجو الترابية التى ترصد هنا فى السديم Haze والاتربة المثارة Blowing Dust والدوامات الترابية Dust Whirls.

ويمكن دراسة التوزيع الفصلى لظواهر الجو الترابية على النحو التالى:

فصل الصيف:

يتميز فصل الصيف بإرتفاع نصيبه من تكرار هذه الظواهر ليبلغ ٣٢,٦% و ٣٩,٥% و٣٩,٤% من السديم والأتربة المثارة والدوامات الترابية على التوالى. ويرتفع نصيب فصل الصيف من هذه الظواهر الجوية الترابية (جدول ١٢) لذات الأسباب التى أدت إلى إرتفاع نصيبه من العواصف الرملية/ الترابية.

فصل الربيع:

يحتل فصل الربيع المركز الثانى بعد فصل الصيف بنصيب يبلغ ٢٥,٩% و ٣١,٨% و٣٠,٣% من تكرار السديم والأتربة المثارة والدوامات الترابية على التوالى. ويستحوذ شهر مايو على النصيب الأكبر من تكرار هذه الظواهر الجوية (شكل ٢٨-ج). وهكذا يستأثر فصلا الصيف والربيع معا بنسبة تبلغ ٥٨,٥% و٧١,٣% و ٦٩,٧% من إجمالى تكرار السديم والأتربة المثارة والدوامات الترابية على التوالى. ويتفق ذلك مع فصل ذروة تكرار العواصف الرملية/ الترابية الذى يشمل فصلى الربيع والصيف أيضا.

ويشير ذلك إلى إرتفاع درجة تلوث الهواء بالغبار الساقط فى المنطقة خلال فصلى الصيف والربيع.

---

[1] ترصد ظواهر الجو الترابية فى محطة الظهران دون سائر محطات رصد المناخ فى المنطقة. وتصدر بياناتها عن وزارة الدفاع والطيران بالمملكة العربية السعودية خلال الفترة: سنة ١٩٨٠ - سنة ١٩٨٥.

فصل الشتاء وفصل الخريف:

يرتفع نصيب فصل الشتاء من تكرار ظاهرة الأتربة المثارة ليصل إلى ٢٠,٢%. ويتفوق على نصيب فصل الخريف الذى يبلغ ٨,٦% من تكرارها. ويرجع ذلك إلى شدة سرعة الرياح فى شهور الشتاء مقارنة بسرعتها فى شهور الخريف (شكل ٢٧). ويقل نصيب فصل الشتاء من تكرار ظاهرة السديم مقارنة بفصل الخريف حيث تبلغ النسبة المئوية لنصيبهما ١٨,٦% و ٢٢,٩% على التوالى. ويرجع ذلك إلى إرتفاع كمية المطر الشتوى مقارنة بالمطر الخريفى فى المنطقة (شكل ١٨). مما يساعد على إزاحة الغبار السديمى وترسيبه مع حبات المطر. كما يساعد إنخفاض سرعة الرياح شتاء وزيادة نسبة السكون ووجود تيارات هوائية هابطة - تحت سيادة ظروف الضغط الجوى المرتفع - على سرعة ترسيب الأتربة فيندر إنتقالها عبر الرياح لمسافات بعيدة.

وهكذا يقل تكرار العواصف الرملية/ الترابية وكذلك ظواهر الجو الترابية فى المنطقة خلال فصلى الشتاء والخريف. ويعنى ذلك بالضرورة إنخفاض درجة التلوث بالغبار الساقط فى المنطقة خلال هذه الفترة، بينما يحدث العكس خلال فصلى الصيف والربيع حيث يرتفع التلوث بالغبار الساقط فى المنطقة كنتيجة لظروفها المناخية التى تسهم فى توليد ونشر هذه الملوثات.

٢- الجسيمات السابحة

ترجع الجسيمات السابحة [1] القابلة للاستنشاق Inhalable Suspended Particulates فى جزء كبير منها إلى المصادر الطبيعية إذ تسهم المصادر الطبيعية بحوالى ٩٤% من كميتها فى الهواء وتتمثل هذه المصادر فى

---

[1] الجسيمات السابحة عبارة عن جزيئات معلقة مجهرية Fine Suspended Particles يقل قطرها عن ٠,١ ميكرون وتظل عالقة لفترات طويلة جدا إذ يندر ترسبها على سطح الأرض. وتتميز هذه الجزيئات بأنها قابلة للإستنشاق، ولذا يطلق عليها الجسيمات السابحة القابلة للإستنشاق Inhalable Suspended Particulates تمييزا لها عن الملوثات الصلبة الكلية التى يعبر عنها بالغبار الساقط. وتقوم الهيئة الملكية للجبيل برصد هذه الجسيمات السابحة فى سائر محطات الرصد البيئى - دون الغبار الساقط - لأثارها الخطيرة على صحة الإنسان حين تخترق جهازه التنفسى، فضلا عن أثارها البيئية الخطيرة.

جزئيات التراب وأملاح المسطحات المائيـــة والجسـيمات ذات الأصـل النبـاتى والحيوانى. كما يسهم الغبار والرمل المنقول بفعل الرياح بنسـبة ٩,٣% منـها كمصدر أولى Primary Source [Whelpdale, 1976, p.294].

وتتحكم الظروف المناخية بالمنطقة فـى درجـة التلـوث بالجسـيمات السابحة بالهواء. [١] حيث تنطلق بصورة طبيعية من التكوينات الرملية والتربـة الجافة فى أثناء هبوب الرياح شديدة السرعة التى ترتفع بها عاليا فوق مسـتوى سطح الأرض.

ويعد النشاط الصناعى من أهم المصادر البشرية للجسـيمات السـابحة بالهواء. إذ تسهم صناعات الأسمنت والمحاجر والأسفلت بالنصيب الأكبر من هـذا التلوث حيث ينبعث منها الغبار الاسمنتى الدقيـق Fine Cement Dust والغبـار المعدنى Mineral Dust فى أثناء عمليات التصنيع والحمل والتفريغ، كما ينبعث الغبار المتصاعد Rising Dust فى أثناء عمليتى الحمل والنقل. وتقع أهم مصـانع الاسمنت [٢] والخرسانة والمحاجر فى نطاق الصناعات المساعدة فى مدينة الجبيل

---

[١] وتؤثر الجسيمات السابحة فى الوقت ذاته فى بعض العناصر المناخية على النحو التالى:

- تمتص جزءا كبيرا من الاشعة الشمسية وتعكس جزءا آخر الى الفضاء الخارجى قبل وصولها إلى سطح الأرض مما يؤثر سلبيا على التوازن الاشعاعى Radiation Balance. ويصل هذا التأثير اقصاه شتاء وأدناه صيفا.
- تؤدى إلى إنخفاض درجة حرارة الهواء الجوى [Bryson, 1977. p.145]
- تؤثر سلبيا على مدى الرؤية الافقية. فعلى سبيل المثال: عندما يحتوى الهواء على ١٠٠٠ بليون جـزىء/ متر مكعب، تنخفض مدى الرؤية إلى ١٧٠ متر [رشيد، سنة ١٩٨١. ص٣٥].
- تساعد على تشكيل قطرات المطر. إذ تصبح نويات للتكاثف ويتبعها زيادة فى كمية المطر ولكـن بشـرط أن لا يزيد تركيزها فى الهواء عن ٢٠٠٠ جزىء/سنتيمتر مكعب من الهواء [Matthews, 1974. p.304]

[٢] قامت مصلحة الارصاد وحماية البيئة السعودية بدراسة الجسيمات السابحة الناتجة عن مصانع الأسمنت بالسـعودية سنة ١٩٨٤. وقد أتضح من هذه الدراسة أن افران هذه المصانع غير مزودة بأجهزة كبح التلوث مما يـؤدى إلى إنبعاث حوالى ١٢٢ كيلوجرام/ طن مترى من الأسمنت الجاف تعادل ١٠% من إنتاجها. ولذلـك دعـت إلى ضرورة تركيب أجهزة للحد من إنبعاث هذه الملوثات خاصة فى مصنع الأسمنت بالخفوف. وقد حقق ذلك نتـائج طيبة حيث تمكن هذا المصنع من إستعادة هذه الجسيمات الصلبة التى كانت تنطلق إلى الهـواء، ومـن ثم أعـاد إستخدامها مرة ثانية [أرامكو، يونيو سنة ١٩٨٧م. ص١٤].

الصناعية (شكل ٢٩) ويتبعها إنطلاق كميات خطيرة من الجسيمات السابحة التى تؤثر سلبيا فى صحة السكان.

وقد أدركت الهيئة الملكية للجبيل خطورة التلوث الناتج عن هذه الصناعات بمدينة الجبيل الصناعية وغيرها. [١] فحرصت على ضرورة مكافحته بإلزام مصانع الأسمنت والمحاجر بإستخدام مرسبات الكتروستاتيكية ومصاف نسيجية بهدف أن لا يزيد كمية التلوث الناتج عن ٠,١٥ كيلوجرام/ الطن المترى (جدول ١٣). [٢]

وتنبعث أيضاً هذه الملوثات الصلبة من صناعة الحديد والصلب فى صورة غبار أكاسيد الحديد Iron Oxides Dust [٣] كما تسهم بعض الصناعات البتروكيميائية وصناعة الأسمدة وصناعة تكرير الزيت وصناعة توليد الطاقة الكهربائية فى إنبعاث كميات متباينة من الملوثات الصلبة وإن كانت أقل فى مجملها من صناعة الأسمنت والمحاجر.

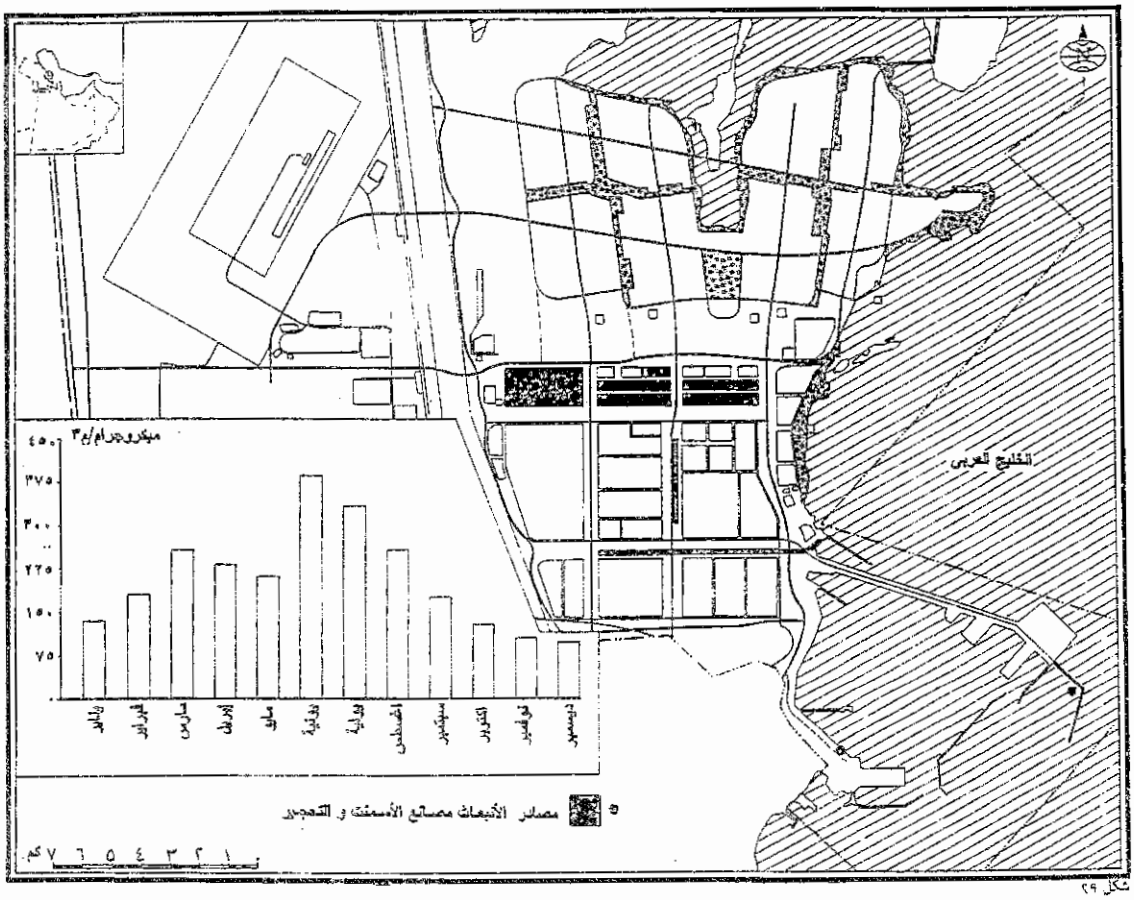
وتسهم السيارات بأنواعها المختلفة فى تلوث الهواء بالجسيمات السابحة خاصة على الطرق الحيوية التى تزيد عليها كثافة الحركة المرورية حيث

---

[١] تم على سبيل المثال رصد الملوثات الصلبة بالقرب من مصنع الأسمنت بحى العزيزية فى مدينة الرياض السعودية. وقد بلغ المتوسط الشهرى لتركيز الغبار الساقط ٨٤ طن/ كيلومتر المربع. كما بلغ أقصى تركيز شهرى ١٩٦ طن/ كيلومتر مربع على بعد ثلاثة كيلومترات جنوب المصنع. وقد بلغت النسبة المئوية للجسيمات السابحة القابلة للإستنشاق حوالى ٥٥% من هذه التركيزات [Al-Mutaz, June 1988. p.5]

[٢] وجهت الحكومة السعودية مصانع الأسمنت إلى ضرورة إستخدام النظام الرطب لسحق الحجارة وإستخدام الفلاتر الكبيرة لتنقية الهواء قبل إنطلاقه من ٩٩% من الجسيمات السابحة [Werr, 1984. p.18] ويؤدى إستخدام وسائل مكافحة الملوثات الصلبة (غبار ساقط - جسيمات سابحة) إلى رفع تكاليف العملية الإنتاجية بمعدل ١٠% من راس المال. ولذا يحجم كثير من أصحاب مصانع الأسمنت عن إستخدامها. [نجم، سنة ١٩٨٤. ص٢٨١].

[٣] دعت الحكومة السعودية مصانع الحديد والصلب إلى ضرورة السيطرة على الجسيمات السابحة المتسربة من الأفران الكهربائية المستخدمة بحيث لا تزيد عن ١٢ ملليجرام/متر مكعب (جدول ١٣).



شكل ٢٩

المعدلات الشهرية للتلوث بالجسيمات السابحه بمدينة الجبيل

تنطلق هذه الملوثات مع غازات العوادم فى أثناء التشغيل. كما تساعد وسائل النقل المختلفة على تفكك سطح الأرض خاصة الطرق غير المعبدة إذ تحدث إضطرابات ميكانيكية تزيد من إنبعاث هذه الملوثات الصلبة.

ويؤثر إرتفاع مستوى المعيشة لسكان المنطقة تأثيراً واضحاً فى التلوث الناجم عن إستخدام السيارات. إذ يساعد إستخدامهم الكثيف للسيارات فى أثناء حركة العمل اليومية والحركة من أجل التسوق والترفيه فى إرتفاع التلوث فى المناطق المركزية بالمدن التى غالبا ما تكون الأكثر كثافة سكانية حيث تتركز فيها وظائف النشاط التجارى والخدمات والصناعات الخفيفة. ومن ثم تعد أهم مقاصد السكان كما هو الحال مثلا فى مدينة الدمام (العاصمة الإدارية لمنطقة الدراسة). ويرتفع أيضاً هذا النوع من التلوث فى مداخل المدن مثل المداخل الشرقية والجنوبية لمدينة الجبيل حيث يقع الميناء التجارى والميناء الصناعى وقاعدة الملك عبدالعزيز البحرية.

ويرتبط التلوث بالجسيمات السابحة القابلة للاستنشاق بأحوال الطقس والمناخ بالمنطقة (كما هو الحال بالنسبة للغبار الساقط) خاصة الرياح سرعة وإتجاها ودرجة حرارة الهواء والتيارات الهوائية الصاعدة وحالات عدم الاستقرار الجوى وغيرها. ويمكن دراسة مستويات التلوث بالجسيمات السابحة من ذاويتين:

_معدلات التلوث _التلوث اليومى

أ- معدلات التلوث:

يتباين تبعا للظروف المناخية درجة التلوث على المستوى الشهرى والفصلى[1] إذ يتراوح المتوسط الشهرى لتركيزها فى الهواء بين ٣٨٦ ميكروجرام/ المتر المكعب كحد أقصى فى شهر يونية و ١٨ ميكروجرام/ المتر المكعب كحد أدنى فى شهر ديسمبر (شكل ٢٩). ويعد فصل الصيف أكثر الفصول

---

[1] تعتمد دراسة التلوث بالجسيمات السابحة القابلة للإستنشاق (اقل من ٠,١ ميكرون) على بيانات تسع محطات بمدينة الجبيل الصناعية (شكل ٥) وتصدر عن الهيئة الملكية للجبيل خلال الفترة (سنة ١٩٧٨- سنة ١٩٨٩م). ويعرض (جدول ١٤) نتائج تحليل هذه البيانات. الميكرون = ١/١٠٠٠ من المليميتر.

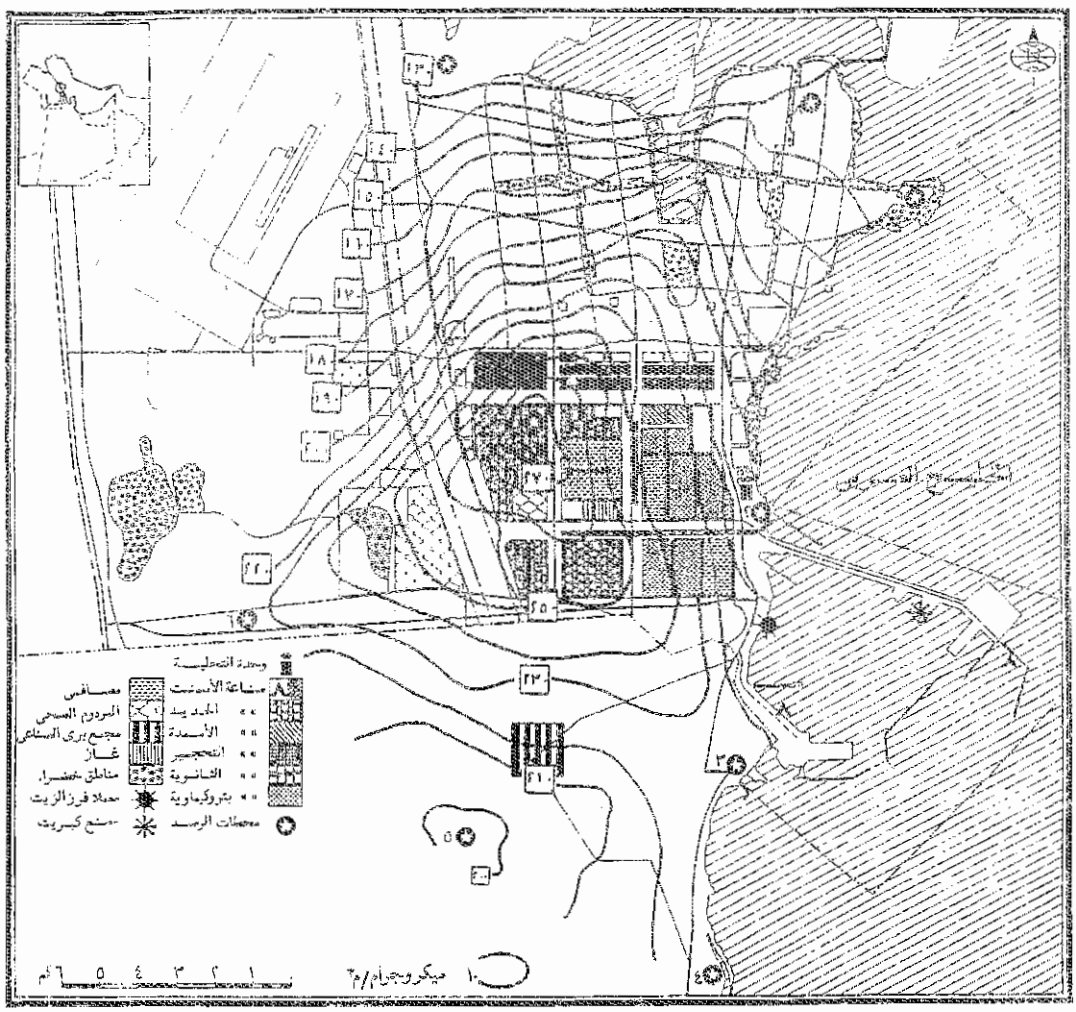
إرتفاعاً فى تركيز هذه الملوثات ويليه فصل الربيع (خاصة شهر مارس)، بينما يقف فصل الشتاء والخريف على النقيض منهما لذات الأسباب المتعلقة بالتلوث بالغبار الساقط. ويتراوح المعدل السنوى للتلوث بالجسيمات السابحة فى المنطقة بين ١٠٤ ميكروجرام/المتر المكعب كحد أدنى سنة ١٩٧٨، و ٣١٥ ميكروجرام/ المتر المكعب كحد أقصى سنة ١٩٨٠م (جدول ١٤). ويختلف التركيز السنوى للتلوث بالجسيمات السابحة من محطة لأخرى وفقا لموقعها الجغرافى حيث يرتفع فى المحطتين الداخليتين الخزانات والمنتزة ليبلغ ٢٧٨ ميكروجرام/ المتر المكعب و ٢٢٥ ميكروجرام/ المتر المكعب لكل منهما على التوالى [١] ويرجع السبب فى ذلك إلى موقع كل منهما فوق قمة تل رملى يتعرض لعمليتى سفى الرمال وزحف الكثبان تحت تأثير الرياح الشمالية الغربية السائدة ذات السرعة المرتفعة.[٢]

كما تتأثر المحطة الأولى بإنطلاق الملوثات الصلبة من مصانع الأسمنت والخرسانة والمحاجر، وتتأثر الثانية بعوادم السيارات على طول طريق الجبيل الدولى (الجبيل - الكويت). ولذا تتجمع خطوط التساوى لمعدلات التلوث السنوى (شكل ٣٠) لتكون قمة واضحة الى الجنوب مباشرة من منطقة الصناعات الأسمنتية - بعيدا عن رطوبة الخليج نسبيا - فضلا عن الإنبعاث الجزئى من الصناعات البتروكيميائية ومصافى الزيت، وكذا الإنبعاث الناتج عن الحركة النقلية

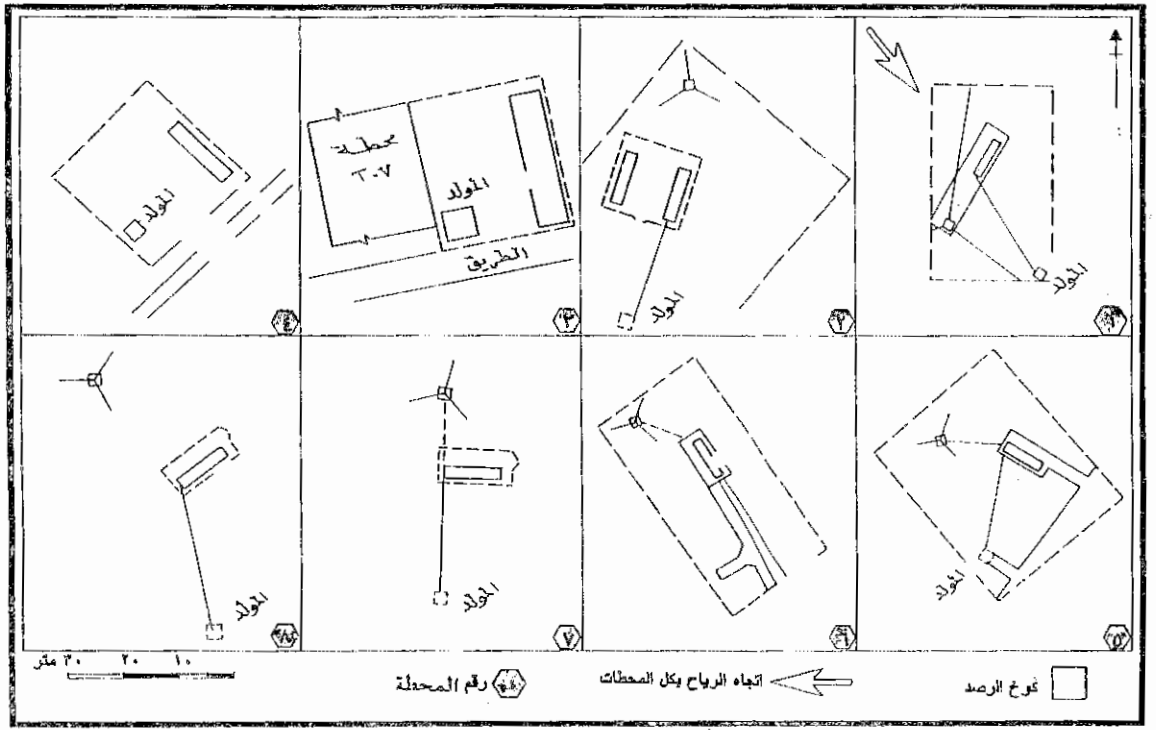
---

[١] يعد المتوسط السنوى لتركيز الجسيمات السابحة فى المنطقة منخفضا عند مقارنته بمثيله فى مدينة الرياض السعودية سنة ١٩٧٧ اذ بلغ ٧٢٨,٨ ميكروجرام/ المتر المكعب [مصيلحى، سنة ١٩٨٦. ص١٠٧]. كما يعد منخفضا بشكل حاد عند مقارنته بالمتوسط السنوى لتركيز الجسيمات السابحة فى منطقة حلوان وشبرا الخيمة (مصر) اذ يبلغ ١٨٨٨ ميكروجرام/ المتر المكعب و ٥٢٣ ميكروجرام/ المتر المكعب لكل منهما على التوالى [حافظ، سنة ١٩٩٣. ص٥٧]. وقد تبع ذلك إرتفاع معدلات إصابة العاملين فى مصانع الأسمنت بحلوان بمرض الدرن الرئوى [ابو العلا، ١٩٨٦. ص ٤].

[٢] قد تعرضت محطة المنتزه الداخلية نتيجة لموقعها فوق قمة تل رملى الى زحف الرمال لموقع الرصد بهذه المحطة حتى غطت برج رصد الرياح العليا. وقد سقطت الاسياخ المحيطة بالبرج فى شهر يونية سنة ١٩٨٣ واستمر هذا الزحف الرملى حتى شهر سبتمبر سنة ١٩٨٣ مما أدى الى سقوط الاعمدة التى يقام عليها موقع الرصد (جدول ٣ وشكل ٣١).



شكل(٣٠) معدلات التلوث بالجسيمات السابحة في مدينة الجبيل



شكل ٣١
رسم تخطيطى لمواضع محطات الرصد فى مدينة الجبيل الصناعية
المصدر: الهيئة الملكية للجبيل، ١٩٧٩

فى المنطقة الصناعية. وتتدرج خطوط التساوى تناقصا فى إتجاه الأحياء السكنية الشمالية حيث تقع محطتا السروج وجلمودة فى نطاق المد إذ تنتشر الأراضى السبخية وتندر التكوينات الرملية. ويساعد على ذلك أيضا موقعهما الى الشمال من مصانع الأسمنت والمحاجر والخرسانة (شكل ٢٩) التى يقتصر التأثر بها على فترات هبوب الرياح الجنوبية وهى قليلة التكرار فى المنطقة.

ويمكن الإستدلال على إنخفاض المعدل السنوى للتلوث بالجسيمات السابحة القابلة للإستنشاق من التوزيع النسبى للمعدلات الشهرية حيث تعكس انخفاض تكرار القيم المرتفعة فى سائر المحطات خاصة محطات الساحل الشمالى (السروج وجلمودة والفناتير)، بينما يرتفع التلوث نسبيا[1] فى محطة الخزانات التى تعتبر الأكثر تأثرا بالتلوث (شكل ٣٢).

ب- التلوث اليومى:

وقد تؤدى أحوال معينة من الطقس إلى ارتفاع تركيز الجسيمات السابحة فى بعض الايام. فقد ارتفع التلوث اليومى بالجسيمات السابحة فى محطة المنتزه الداخلية ليبلغ ٤٧٦٦ ميكروجرام/ المتر المكعب.[2] (جدول ١٤).

---

(١) تم تحديد التوزيع النسبى لتكرار ثلاث فئات للتلوث (صفر – ٢٠٠)و (٢٠٠ – ٤٠٠) و (٤٠٠ – ٦٠٠) ميكروجرام /متر مكعب على أساس معدلات تركيز الجسيمات السابحة لتجنب القيم الشاذة التى قد تحدث فى أثناء احوال طقس خاصة.

(٢) يرتفع هذا التركيز اليومى عن حد التلوث المسموح فى الجيل والمملكة العربية السعودية والذى يبلغ ٣٤٠ ميكروجرام/ المتر المكعب (جدول ١٥)، وكذا الحد المسموح به فى القانون الفيدرالى الأمريكى ٢٦٠ ميكروجرام/ المتر المكعب والمستوى الذى يحذر الوصول اليه خلال ٢٤ ساعة ١٠٠٠ ميكروجرام/ المتر المكعب ومستوى الرفاهية ايضا وفق القانون الأمريكى ١٥٠ ميكروجرام/ المتر المكعب (جدول ١٦)، ويبلغ مقدار إرتفاع هذا التركيز ١٤ و ١٨,٣ و٤,٨ و ٣١,٨ مثلا لكل منهما على التوالى.

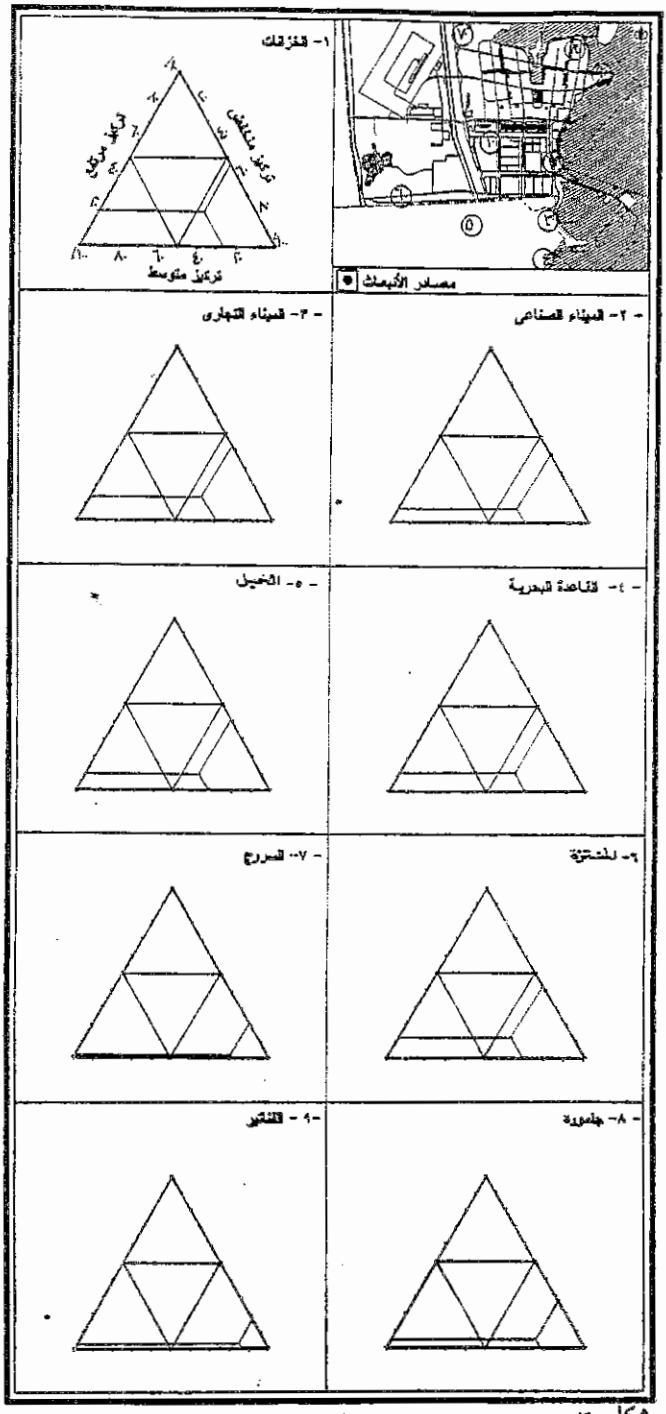
– وتجدر مقارنة هذا التركيز بمثيله فى المنطقة الصناعية بمدينة ينبع السعودية الذى يبلغ ٣٤٠ ميكروجرام/ متر المكعب. كما يبلغ فى المنطقة السكنية بهذه المدينة ٢٠٠ ميكروجرام/ متر المكعب خلال الفترة من ١٩٧٧/٣/١٦ الى ١٩٧٧/٤/١ [Bradstreet. 1978. p.15]. فتمثل هذه التركيزات ما نسبته ٧% و ٤,٢% فقط من ذلك التركيز فى المنطقة.

– ويرتفع ايضا عن مثيله فى مدينة الرياض السعودية – فى ذات الفترة الزمنية – اذ يتراوح بين ٢٠٠٠ و ٣٠٠٠ ميكروجرام/ متر المكعب [المهندس، فبراير سنة ١٩٨٦. ص١٧٨].

وقد حدث ذلك التركيز يوم العاشر من شهر مارس سنة ١٩٨٩ فى ظل هبوب رياح شمالية غربية بلغت سرعتها القصوى ١٤ متر/ الثانية (تزيد بمقدار ثلاثة أمثال عن السرعة اللازمة لبدء سفى الرمال فى المنطقة وهى ٥,٣ متر/الثانية) . وقد أدت هذه السرعة الى نشاط عملية سفى الرمال وإنخفض مدى الرؤية ليتراوح بين ٢٠ و ٥٠ متراً فقط. وقد ساعد على زيادة نشاط هذه العملية إنخفاض المتوسط اليومى للرطوبة النسبية الى ٣٩% والرطوبة النسبية العظمى إلى ٤٥% وتبع ذلك زيادة فى جفاف وتفكك حبيبات الرمال. وقد أرتفع أيضاً التركيز اليومى لهذه الملوثات الصلبة فى ذات اليوم فى محطتى الميناء التجارى والفناتير (من المحطات الساحلية) ليبلغ ٤٥١٨ و ٤٥١٧ ميكروجرام/متر المكعب فى كل منهما على التوالى. وتشير خطوط التساوى لأقصى تلوث يومى (شكل ٣٣) إلى إنخفاض مستوى التلوث بدرجة واضحة الى الشمال من نطاق صناعة الأسمنت – المصدر الرئيسى للإنبعاث – حيث تحول الرياح السائدة الشمالية إلى الشمالية الغربية دون توغل ملوثاتها الترابية. ثم تتدرج الخطوط نحو الإرتفاع لتكون قمه واضحة إلى الجنوب الغربى من المنطقة الصناعية. كما تتكون قمه ثانية فى النطاق الساحلى حيث الإنبعاث من مصانع الاسمنت بالقرب من الميناء الصناعى والميناء التجارى، فضلا عن الحركة النقلية على الطريق الاقليمى الجبيل – الدمام وطريق "الطاقة" المحلى.

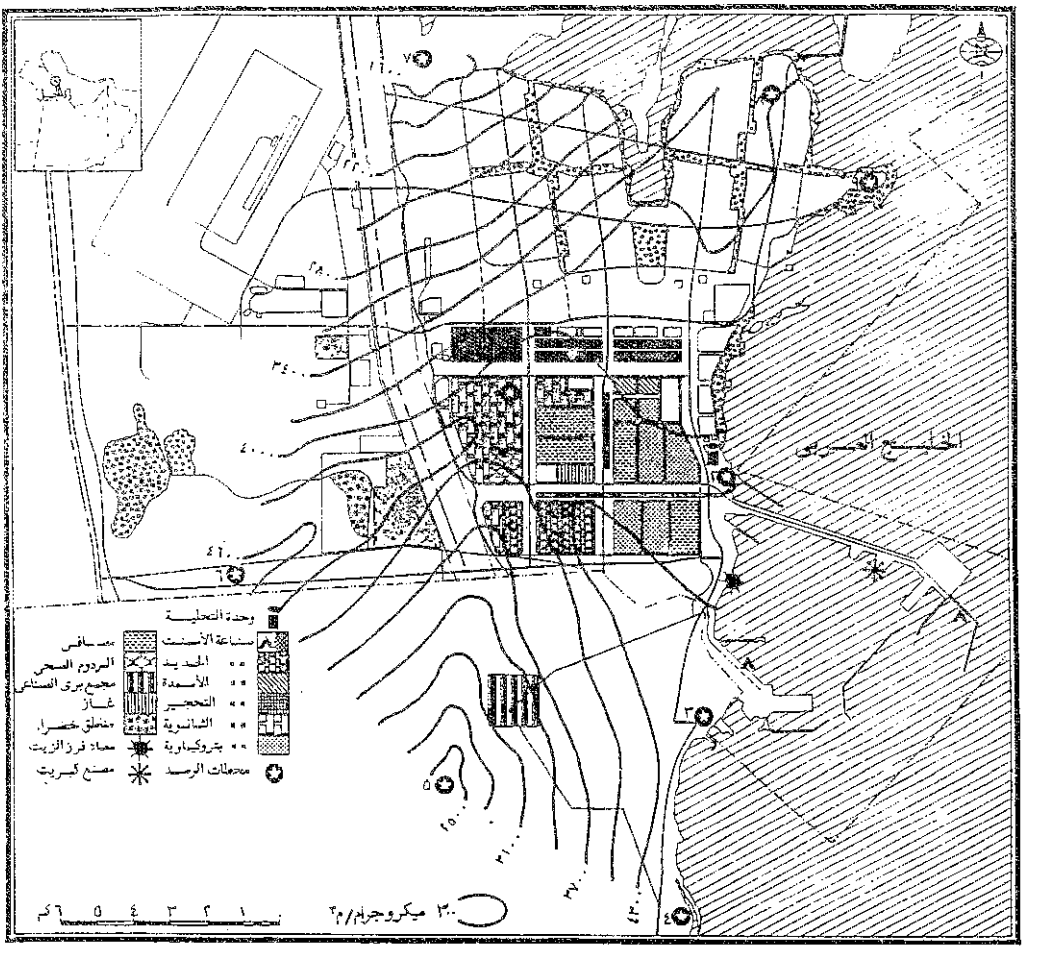
– ويرتفع كذلك عن مثيله بالمنطقة الصناعية فى مدينة الرياض السعودية حيث بلغ ٤٨٨ ميكروجرام/ المتر المكعب سنة ١٩٧٧ [مصيلحى، سنة ١٩٨٦. ص١٠٨].

– كما تفوق على مثيله فى مدينة جده السعوديه (اغسطس سنة ١٩٨١م – مايو سنة ١٩٨٢) حيث بلغ ٣٠٠٠ ميكروجرام/ المتر المكعب فى اثناء عاصفة رملية شديدة [Nasrall, 1983. p.263]. ويتفوق ايضا على أعلى تركيز يومى سجل فى منطقة شبرا الخيمة (مصر) سنة ١٩٨٨ الذى بلغ ١٢٠٠ ميكروجرام/ المتر المكعب فى المنطقة الصناعية، و ٨٨٤ ميكروجرام/ المتر المكعب فى المنطقة السكنية المجاورة [سعود، سنة ١٩٩٣. ص٨٧].



شكل ٣٢

التوزيع النسبى للمعدلات الشهرية للتلوث بالجسيمات العالقة



شكل(٣٣) أقصى تلوث يومى بالجسيمات السابحة فى مدينة الجبيل .

وهكذا تساعد بعض أحوال الطقس فى إرتفاع درجة التلـــوث اليومـــى بالجسيمات السابحة القابلة للاستنشـــاق إلـــى درجـــة خطـــيرة عنـــد مقارنتـــها بالمستويات الصحية المقبولة محليا وعالميا.

وتجدر الإشارة إلى إرتفاع خطورة مثل هذه التركيزات حيث تقـــع فـــى أغلبها فى المناطق السكنية كما هو الحال فى محطة الميـنـــاء التجـــارى، أو فـــى أحسن الظروف على مقربة منها. ويؤدى ذلك إلى إرتفـــاع إحتمـــالات الإصابـــة بأمراض الرئة والجهاز التنفسى بين سكان المنطقة.[1]

---

[1] يؤثر تلوث الهواء بالجسيمات السابحة القابلة للاستنشاق سلبيا على صحة الانسان من عدة جوانب:

– تمر الجسيمات السابحة القابلة للاستنشاق (يقل قطرها عن ٠,١ ميكرون) عبر الجهاز التنفســى دون أن تتعرض لعملية الترشيح الطبيعية. ثم ما تلبث أن تترسب عميقا فى الرئتين والقصبـــة الهوائيـــة. وتزيـــد خطورتها نتيجة التفاعلات الكيميائية العديدة بين مكوناتها (الكلوريدات – النـــترات – الالكينـــات) فترتفع خطورتها ودرجة سميتها [Bailey,1982. p.2689]

–ويعلق أحيانا ثانى أكسيد الكبريت بها فتأخذ شكل الدخان فيؤدى ذلك الى زيادة عدد الوفيـــات حـــين التعرض لها خاصة عندما يرتفع تركيز ثانى اكسيد الكبريت مع الدخان عن ٢٠٠٠ ميكروجرام/ المـــتر المكعب [مصلحة الارصاد وحماية البيئة، سنة ١٩٨٥. ص١٣]

– يعلق بها بعض المواد الهيدروكربونية المسرطنة مثل مادة البنزوبرين مما يؤدى الى ارتفاع معدلات الاصابة بسرطان الرئة وانتفاخ الرئة والربو الشعبى.

– تؤدى هذه الجسيمات السابحة الى الاصابة بمرض التسمم السليكى Silicosis الذى يسبب تلفا رئويـــا والما صدريا وضيقا فى التنفس [العودات، سنة ١٩٨٤. ص١٧٨].

ويصاحب إرتفاع التلوث اليومى بالجسيمات السابحة القابلة للإستنشاق إرتفاع فى عدد التجاوزات لحد التلوث المسموح فى الجبيل والمملكة العربية السعودية الذى يبلغ ٣٤٠ ميكروجرام/ متر المكعب ويسمح بتجاوزه مرة واحدة فى السنة [١] .

وتسجل معظم هذه التجاوزات خلال فصل الصيف (لما عرض من أسباب مناخية) الذى يستحوذ على نصيب تبلغ نسبته ٢١,٧% و ١٤,٥% و١٤,٢% من إجمالى عددها خلال شهور يونيه ويوليه وأغسطس بالتوالى. وتليها شهور فصل الربيع بنصيب تبلغ نسبته الاجمالية ٢٦,٣% من إجمالى عددها. وهكذا تنحصر حوالى ٧٧% من عدد التجاوزات خلال فصلى الصيف والربيع ليمثلا معاً ذروة فصل التلوث بالجسيمات السابحة القابلة للإستنشاق. وتتوزع النسبة الباقية من عدد التجاوزات على شهور فصلى الشتاء والخريف بواقع ٢١,٢% و٢,١١% لكل منهما على التوالى. وترتفع عدد التجاوزات اليومية فى المحطات الساحلية الشرقية (الميناء التجارى والقاعدة البحرية والميناء الصناعى) (جدول ١٤) لتستحوذ على ٤٥% من جملتها. ويرجع ذلك إلى تأثرها بمصانع الأسمنت وكذلك الإنبعاث من وسائل النقل على الطريق الإقليمى الجبيل - الدمام. وتشير هذه النسبة الكبيرة للتجاوزات إلى إرتفاع درجة التلوث فى المنطقة السكنية وما يستتبع ذلك من تأثير خطير على صحة سكانها. وتقع حوالى ٣٩% من التجاوزات فى المحطات الداخلية (الخزانات - المنتزة - النخيل). وتقل خطورة التركيزات المرتفعة فى هذه المحطات وما يتبعها من تجاوزات إذ أنها تقع فى منصرف الرياح بعيدا عن المنطقة السكنية. وتتوزيع ١٦% من التجاوزات اليومية على المحطات الساحلية الشمالية (السروج والفناتير وجلمودة)، لتمثل أقل المناطق تلوثا بهذه الجسيمات السابحة نتيجة لموقعها فى أراضى سبخية رطبة.

---

[١] يعد التركيز المسموح به فى الجبيل والمملكة فى حد ذاته مرتفعا حين مقارنته بنظيره فى كل من فنلندة وكندا واليابان حيث يبلغ على التوالى: ٢٥٠ و ١٢٠ و١٠٠ ميكروجرام/ المتر المكعب. [Sellers, 1984. P.185] ومن ثم تعتبر هذه التجاوزات تحديا خطيرا لصحة وسلامة سكان المنطقة.

ويتبع ذلك بطء فى عملية سقى الرمال بسبب نمو النبات الطبيعى بوزن قد يصل إلى حوالى ٨٢٠ كيلوجرام/ المتر المربع [Badr, 1989. p.6]. ويضاف الى ذلك موقعها الى الشمال من مصانع الأسمنت والمحاجر التى تعد أهم المصادر البشرية للتلوث بالجسيمات السابحة.

وهكذا يكاد يتحكم إتجاه الرياح الذى يقتصر غالبا على الجهة الشمالية فى نقل ملوثات الهواء من مناطق الجوار الصناعية على طول ساحل الخليج العربى إلى المنطقة، كذا نقلها من مدينة الجبيل الصناعية إلى سائر المدن الساحلية إلى جنوبها.

ويتبع سيادة الرياح من جهة الشمال على المنطقة إختفاء دورها فى نزح الحرارة المتراكمة داخل المدن لتظهر كجزر حرارية واضحة خاصة عند إقترانها بالرطوبة النسبية المرتفعة معظم شهور السنة. ومن ثم تصبح حرارة الجو غير محتملة لدى السكان ، مما يدفعهم الى الاستخدام الكثيف لمكيفات الهواء التى تؤدى الى مزيد من إرتفاع حرارة الهواء الخارجى مسببة نوعا من التلوث الحرارى، فضلا عن التلوث الكيميائى الناتج عن انبعاث أكاسيد النيتروجين والغازات الكبريتية وغيرها.

ويسهم إرتفاع سرعة الرياح فى المنطقة فى سرعة تشتت الملوثات وإنتشارها فى نطاق أفقى واسع، ومن ثم ينخفض تركيزها وتقل درجة خطورتها.هذا ويقترن من جهة أخرى بهذه السرعة العالية إرتفاع فى درجة تلوث الهواء بالغبار الساقط فى أثناء نشاط العواصف الرملية/ الترابية وظواهر الجو الترابية خلال فصلى الصيف والربيع.

ويرتفع أيضا مستوى التلوث بالجسيمات السابحة تحت وطأة شدة سرعة الرياح من ناحية، وانتشار صناعات الأسمنت والأنشطة التحجيرية من ناحية أخرى، لتصل إلى درجات حرجة بمقارنتها بالمستويات الصحية المقبولة محليا وإقليميا وعالميا.