الفصل الثامن

التلوث بالأوزون فى الإطار المحلى والاقليمى

مقدمة :

أولاً : تفاعلات إنتاج الأوزون وإزاحته .

ثانياً : فصل ذروة الأوزون .

ثالثاً : تركيزات الأوزون الطارئة .

١ – التلوث اليومى .

٢ – التلوث خلال ساعة .

خاصة الفصل.

توطئة :

يبحث هذا الفصل تأثير الموقع الجغرافي للمنطقة من الخليج العربي في تحديد مستوى التلوث بالأوزون التروبوسفيري ، وتفهم أسباب ظاهرة الأوزون البحري وأبعادها محلياً وإقليمياً .

ويدرس العلاقة بين التلوث بالأوزون وتركيز كل من الغازات النيتروجينية والكربونية في ضوء الخصائص المناخية للمنطقة التي تحدد فصل ذروة الأوزون .

ويهتم بإبراز أسباب مشكلة استنزاف طبقة الأوزون والتفاعلات الكيميوضوئية المؤثرة فيها وأبعادها المناخية والبيئية التي تمتد خطورتها إلي سائر الكائنات الحية علي سطح كوكب الأرض .

مقدمة :

يعتبر الخليج العربي مصدراً أساسياً لتلوث الهواء بغاز الأوزون - على المستوي المحلى الذى يرتبط بظاهرة الأوزون البحرى المنقـــول عـبر الخليـــج العربى للمنطقة فى أثناء ظاهرة نسيم البحر .

ويعتبر غاز الأوزون التروبوسفيرى ملوث ثانوى ، إذ لا ينبعث مباشرة من أى من مصادر التلوث ، ولكنه ينتج عن سلسلة من التفاعلات الكيميوضوئيـة - على المستوى الإقليمي - بين الغازات النيتروجينية فى أثنـاء ارتفـاع درجـة تلوث الهواء بالغازات الكربونية والجسيمات السابحة كعوامل مســاعدة لنشـاط هذه التفاعلات تحت تأثير الخصائص المناخية للمنطقة .

ويمكن دراسة خصـــائص غـاز الأوزون الأستراتوسـفيرى والتلـوث بالأوزون التروبوسفيرى من خلال بحث العناصر التالية :

أولاً : تفاعلات إنتاج الأوزون وإزاحته .

ثانياً : فصل ذرة الأوزون .

ثالثاً : تركيزات الأوزون الطارئة .

أولاً : تفاعلات إنتاج وإزاحة الأوزون

يتكون غاز الأوزون Ozone تحت تأثير الأشعة الشمســية والـبرق ، ويساعد توفر غاز ثاني أكسيد النيتروجين حتى فى ظل تركيزاته المنخفضة علـي سرعة تكوينه ، ويوجد غاز الأوزون بصورة طبيعية في طبقـــات الجـو العليـا خاصة طبقة إستراتوسفير Stratospher [1] نتيجة التفاعلات الكيموضوئية فـى ظل الأشعة فوق البنفسجية (UV) . إذ تساعد هذه الأشعة علي تقسيم جـزئ

---

[1] ترتفع طبقة إستراتوسفير فوق طبقة التروبوسفير وتفصل بينهما طبقة التروبوبوز التي يبدأ عندها التغير الحقيقي في التوزيع الرأسى للدرجة حرارة الغلاف الجوى ، ويصل ارتفاع طبقة الإستراتوسفير حـوالي ٨٠ كيلو متراً فوق سطح البحر .

الأكسجين الجوى (02) وتحوله إلى أكسجين ذرى (O) ليتحد مع الأكسجين الجزيئى (02) مكوناً غاز الأوزون (03) .

ويرتفع تركيز غاز الأوزون فى جزء من طبقة إستراتوسفير والتى يطلق عليها طبقة الأوزون أو طبقة الأوزونوسفير Ozonosphere [1] . ويبلغ سمكها حوالي ثلاثة ملليميترات فقط (العودات ، سنة ١٩٨٥ ، ص ٦٧) وبالرغم من ذلك تعد الدرع الواقي من موجات الأشعة فوق البنفسجية الضارة بالكائنات الحية (Gates , 1993 . P . 188) ويحدث اختلاط مستمر فى طبقات الغلاف الجوى فيتنقل الأوزون من طبقة الأوزونوسفير إلى الطبقات السفلى منه[2] ويتفاوت تركيز الأوزون حسب خطوط الطول حيث يتراوح تركيزه الطبيعى في هواء نصف الكرة الشمالى بين ١٥ و ٣٠ جزء في البليون (جدول ٢٧) .

ويتشكل غاز الأوزون في كثير من الأحيان بالقرب من سطح الأرض كنتيجة للتفاعلات الكيموضوئية بين ثاني أكسيد النيتروجين والهيدروكربونات والأكسجين الجوى تحت تأثير الأشعة الشمسية . ويساعد البرق والعواصف الرعدية على تكوين غاز الأوزون إذ تتوفر الطاقة الكهربائية خلالهما . ويستتبع ذلك ارتفاع تركيز غاز الأوزون في الطبقة السطحية من الهواء علي مقربة من سطح الأرض فى أثناء فترات العواصف الرعدية في شهور الربيع وموسم المطر المبكر . كما تساعد طبقة الإستراتوسفير علي ارتفاع تركيز غاز الأوزون بالقرب

---

[1] يتراوح ارتفاع طبقة الأوزونوسفير بين ١٠ و ٥٠ كيلو متراً فوق سطح البحر . ويصل أقصى تركيز لغاز الأوزون على ارتفاع يتراوح بين ٢٢ – ٢٥ كيلومتر فوق سطح البحر وترفع درجة حرارة طبقة الأوزونوسفير نتيجة امتصاص غاز الأوزون للأشعة فوق البنفسجية (أبو العطا ، سنة ١٩٨٧ ص ٧٩: ٨٩) .

[2] يتنقل غاز الأوزون بفعل عمليات الاختلاط الجوى Atmospheric Mixing Processes نحو الطبقات السفلى من الغلاف الجوى مع احتفاظ تركيزه بالمستويات الصحية العالمية المسموح بها (Smit , 1976 . p . 237) .

من سطح الأرض إذ يقدر المتوسط السنوى العالمى لمساهمتها فى تركيز غاز الأوزون العالمة عند مستوى سطح الأرض بين ٢٢ و ٥٠ جزءً فى البليون (Royal Commission for Jubail, 1986) .

ويعتبر غاز الأوزون [١] ملوث ثانوى إذ لا ينبعث مباشرة من المصادر الملوثة ، بينما يتشكل نتيجة تفاعل كيميوضوئى معقد Complex Photochemical Reaction بين العديد من ملوثات الهواء الأولية مثل أكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات [٢] والجسيمات السابحة كعوامل مساعدة .

ويرتبط إرتفاع تركيز غاز الأوزون في منطقة الدراسة بصفة عامة ومدينة الجبيل الصناعية بصفة خاصة بتوفر الظروف المناخية المناسبة التي تهيئ الفرصة للتفاعلات الكيموضوئية اللازمة لإنتاجه ، حيث يتحكم في إنتاجه اتجاه الرياح ومدى توغل نسيم البحر (نسيم الخليج العربى) ، وتوفر تيارات هوائية تنقل ملوثات الهواء الأولية نحو خط ساحل الجبيل Jubail Coastline ، ومن ثم تتحدد مع دورة نسيم الخليج Gulf Breeze Circulation .

ويحتاج تشكيل غاز الأوزون في مدينة الجبيل الصناعية إلى فترة تمتد بين خمس وثمانى ساعة من بداية حدوث التفاعل الكيميوضوئى بين أكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات حتى يصل تركيزه إلي حدوده القصوى ، ومن ثم يمكن التنبؤ بسرعة ارتفاع أو إنخفاض التلوث بغاز الأوزون في مدينة الجبيل الصناعية حيث يرتبط أساساً بمصدر وكمية إنبعاث الهيدروكربونات غير الميثانية وأكاسيد النيتروجين سواء من داخل المدينة أو من حقول الزيت الشمالية التي تبعد مسافة لا تتجاوز ستين كيلو متراً ، وكذا من مناطق الجوار (شكل ٢٦) للصناعات البتروكيميائية .

---

[١] غاز الأوزون في طبقة التروبوسفير يطلق عليه الأوزون التروبوسفيرى Tropospheric Ozone وهو المقصود بوصفة أحد ملوثات الهواء (Roberts, 1994 . p. 105) .

[٢] الملوثات الأولية هي التى تنبعث بصورة مباشرة من مصدر التلوث، أما الملوثات الثانوية فتنتج عن التفاعلات بين الملوثات الأولية ، إذ لا تبعث بصورة مباشرة من أى من مصادر التلوث .

وتنبعث الهيدروكربونات غير الميثانية من ثلاثة مصادر تعد مسئولة عن ارتفاع التلوث بغاز الأوزون في مدينة الجبيل الصناعية [1] ، ويمكن تحديدها وفقاً لأهميتها في :

- معمل تكرير الزيت في رأس تنوره ، وعمليات تحميل الغاز الطبيعي والزيت، وناقلات الشحن علي طول الشاطئ .
- عمليات الحفر والتنقيب عن الزيت والغاز الطبيعي ، ومنشآت التحميل في حقل زيت برى ورأس أبو علي .
- المنشآت الصناعية خاصة تلك التي تقع جنوب المنطقة الصناعية مثل مجمع برى صناعي الذى يضم محطة توليد للطاقة الكهربائية ، ومصنع سوائل الغاز الطبيعي ومصنع إزالة الكبريت .

ويرتفع التلوث بغاز الأوزون في المنطقة بشكل فجائي في الفصل الحار نتيجة لسرعة التفاعل الكيميوضوئي اللازم لإنتاجه حتى وإن انخفض تركيز ثاني أكسيد النيتروجين ليتراوح بين ٦٠ و ٨٠ جزءً في بالبليون ، والهيدروكربونات غير الميثانية إلي أقل من ٠,٠٢ جزءً في المليون كربون .

ويجدر التنوية إلى أن الهيدروكربونات غير الميثانية وأكاسيد النيتروجين تلعب دوراً مزدوجاً في التلوث بالأوزون في المنطقة إذ تعمل هذه الغازات كمكونات أساسية للأوزون Ozone Precursors ، وتؤدى في الوقت ذاته إلى إزاحة الأوزون أو غسل الأوزون Ozone Secubbing حينما يرتفع تركيزها – فى كثير من الأحيان – مما يؤثر على الأوزون الموجود فعلاً .

ويستتبع ذلك ارتفاع التلوث بالأوزون في محطات الجبيل الساحلية الشرقية فى أثناء هبوب الرياح من الخليج العربى ، ثم ما يلبث أن ينخفض وبسرعة في المحطات الداخلية حيث تقع المنطقة الصناعية نتيجة ارتفاع مستوى

---

[1] تدخل الهيدروكربونات غير الميثانية في سلسلة من التفاعلات الكيميائية مع أول أكسيد النيتروجين فتمنع بذلك عملية تجزأ الأوزون (أي تحويله إلى أكسجين جزيئي (02) وأكسجين ذرى (O) مما يؤدى إلى تراكم الأوزون ومن ثم يرتفع تركيزه في الهواء (Gates , 1993 . P. 186) .

التلوث بغاز أول أكسيد النيتروجين ، وحينئذ يتم إزاحـــة الأوزون [1] وينخفـض تركيزه فى محطات الجبيل الداخلية .

---

[1] تتم إزاحة غاز الأوزون التربوسفيرى القريب من سطح الأرض وكذلك تستنزف طبقة الأوزونوسفير بواسطة التفاعلات الآتية :

- يتفاعل أول أكسيد النيتروجين مع الأوزون فينتج ثانى أكسيد النيـــتروجين والأكسـجين الجـوى ويستنزف بذلك الأوزون بينما يبقى أول أكسيد النيتروجين على النحو التالي :
- أول أكسيد النيتروجين (NO) + الأوزون (03) ← ثاني أكســيد النيـتروجين (N02) + أكسجين جوى (02)
- ثانى أكسيد النيتروجين (NO2) + أكسجين ذرى (O) ← أول أكسيد النيتروجين (NO) + أكسجين جوى (02) .

← أكسجين ذرى (O) + الأوزون (03) ← ذرتين أكسجين جوى (202)

←وتستنزف طبقة الأوزونوسفير نتيجة للنشاط البشرى وما يتبعه من إنبعاث مركبات الكلورفلوركربـون التى ترتفع إلى هذه الطبقة بواسطة التيارات الهوائية الصاعدة وتستخدم هـــذه المركبـات فى صناعـة الثلاجات وأجهزة التكييف والأبخرة والعطور ، ومثبتات الشعر ، ومزيلات العرق وغيرها . وتقـــدر كميتها السنوية المنبعثة بين ٥٠٠ – ٨٠٠ ألف طن (Greenwood . 1980 P.206) . وحينمـــا تصل هذه المركبات إلى طبقة الأوزون فإنها تتأثر بالأشعة فوق البنفسجية مما يؤدى إلى تفككها وإنتـــاج مادة الكلور الذى يتفاعل مع الأوزون مكوناً الأكسجين الجوى فيتم إزاحة الأوزون على النحو التالي :

← أول أكسيد الكلور (C10) + الأوزون (03) ← ثاني أكسيد الكلـــور (CIO2) + أكســـجين جوى (02)

←ثانى أكسيد الكلور (CI02) + أكسجين ذرى (O) ← أول أكسيد الكلور (CIO) + أكســـــجين جوى (02) .

← وقد أعلن علماء العلوم الجوية في دائرة المسح البريطانية للقارة القطبية الجنوبية ســـنة ١٩٨٥م عـن اكتشاف انخفاض فى سمك طبقة الأوزون فى فصل الربيع بنسبة ٤٠% خلال الفترة ١٩٧٧ – ١٩٨٤ م وقد شوهد الثقب الأوزونى فوق القطب الجنوبى سنة ١٩٨٧ (خيرة ، سنة ١٩٩٣ . ص ٢٥) .

← ويتسع الثقب الأوزونى الجنوبى مقارنة بمثيلة الشمالى بسبب شدة الدوامات القطبية الجنوبية في طبقـة الأستراتوسفير خاصة خلال الفترة ما بين شهرى إبريل وأكتوبر ، وينتج هذه الدوامات حدوث انخفاض حاد فى درجة حرارة طبقة الإستراتوسفير . ويستتبع ذلك ظهور ما يسمى بسحب الإستراتوسـفير القطبية التى تساعد على زيادة فاعلية غاز الكلور فيحدث انخفاض حاد وشامل فى طبقة الأوزون الجنوبى خلال فصل الربيع (على سنة ١٩٩٣ . ص ٢٥٣) .

ويرتبط التلوث بغاز الأوزون في المنطقة بظاهرة الأوزون البحرى Marine Ozone المنقول من الخليج العربى إلي المناطق الشاطئية والساحلية فيها . وترجع هذه الظاهرة بصورة جزئية إلى نسيم البر ليلاً فينقل ملوثات الهواء (الهيدروكربونات غير الميثانية وثانى أكسيد النيتروجين) من مصادر التلوث (سواء داخل المنطقة أو خارجها) إلى الخليج العربى .

ثم ما تلبث أن تعود ثانية في أثناء ساعات الصباح والساعات الأولي من وقت الظهيرة بواسطة نسيم الخليج إلى المنطقة في صورة غاز الأوزون نتيجة التفاعل الكيموضوئى بين هذه الملوثات .

هذا وإن كان ارتفاع تركيز غاز الأوزون في طبقة الأوزونوسفير أمراً غاية في الأهمية لصحة الإنسان وسائر الكائنات الحية الأخرى [1] ، فضلاً عن الآثار المناخية الكبيرة والتي تنتج عن تناقصه [2] فإن ارتفاع تركيزه بالأقرب من

---

[1] تشير نتائج بعض الدراسات إلى أن سمك طبقة الأوزون قد انخفض بنسبة ٤% بين دائرتى عرض ٣٠-٦٤ درجة شمالاً خلال فصلى الشتاء والربيع منذ عام ١٩٧٠ بينما تناقص بنسبة ١% فقط خلال فصل الصيف وتظل ثابتة خلال فصل الخريف (المصدر السابق ، ص ٢٥٦) .

- ويعتبر استنزاف الأوزون Ozone Depletion أخطر مظاهر تلوث الهواء إذ يتبعه ارتفاع فى تركيز الأشعة فوق البنفسجية الواصلة لسطح الأرض ، وقد يصل الأمر مع استمرار إستنزاف الأوزون إلى حد قد يجعل معه الحياة شبه مستحيلة علي سطح كوكب الأرض (Greenwood. 1980 . p . 209) ، ويصل المعدل بعض الأحيان (Steed , 1982 . p 311) ويساعد ذلك علي الإصابة بسرطان الجلد (العودات ، سنة ١٩٨٥ ص ٧٠) .

[2] وينتج عن ثقب الأوزون تغيرات مناخية واسعة منها ضعف الرياح الموسمية (الموسميات) في نصف الكرة الجنوبى ، ويؤدى أيضاً إلى قلة المطر وتكرار فترات الجفاف (على ، عبد القادر ، سنة ١٩٩٣ . ص ٢٥٨) .

- وعندما أدرك العالم خطورة إستنزاف طبقة الأوزون حينما بلغ اتساع ثقب الأوزون ما يعادل مساحة قارة استراليا مرتين ونصف دعا برنامج الأمم المتحدة لشئون البيئة United Nation Environment program (UNEP) الدول إلى بذل مزيداً من الجهود خلال السنوات القليلة الماضية لخفض إنتاج غاز كلورفلوركربون ومحاولة إيجاد بديل لهذا الغاز المدمر لطبقة الأوزون قبل عام ١٩٩٦م (El-Raey, 1993. P.8) وقد تم عقد اتفاقية دولية في فينا سنة ١٩٨٧ من أجل هذا الهدف وقد وقع عليها ثمانون دولة (من بينها مصر والأردن)حتى شهر ابريل سنة ١٩٨٩ (خيرى ، محمد ، سنة ١٩٩٣ . ص ٢٦) .

سطح الأرض فى صورة الأوزون التربوسفيرى يؤثر سلبياً على صحة الإنسان (جدول ٣٨) .

ثانياً : فصل ذرة الأوزون

وتعتمد دراسة التلوث بغاز الأوزون التروبوسفيرى [١] على بيانات تسع محطات بمدينة الجبيل الصناعية تصدر عن الهيئة الملكية للجبيل فى تقارير سنوية [٢] [٣] ، ويتراوح المعدل الشهرى للتلوث بغاز الأوزون بين ٤٠ جزءً فى البليون كحد أقصى فى شهر يونية ، و ٢٧ جزءً فى البليون كحد أدنى في شهر ديسمبر .

وينحصر أعلى تلوث شهرى بالأوزون بين شهرى مارس ونوفمبر فيما يطلق عليه (فصل أو موسم الأوزون) Ozone Season [٤] .

ويرتفع معدل التلوث بالأوزون فى المحطات الساحلية (باستثناء محطة الميناء التجارى) عن الأخرى الداخلية مؤكداً حقيقة إرتباطة فى المنطقة بظاهرة الأوزون البحرى المنقول من الخليج العربى حيث تشير خطوط التساوى (شكل ٦١) إلى وجود قمة واضحة فى المنطقة السكنية الشاطئية شمالاً ، ويرتبط ذلك

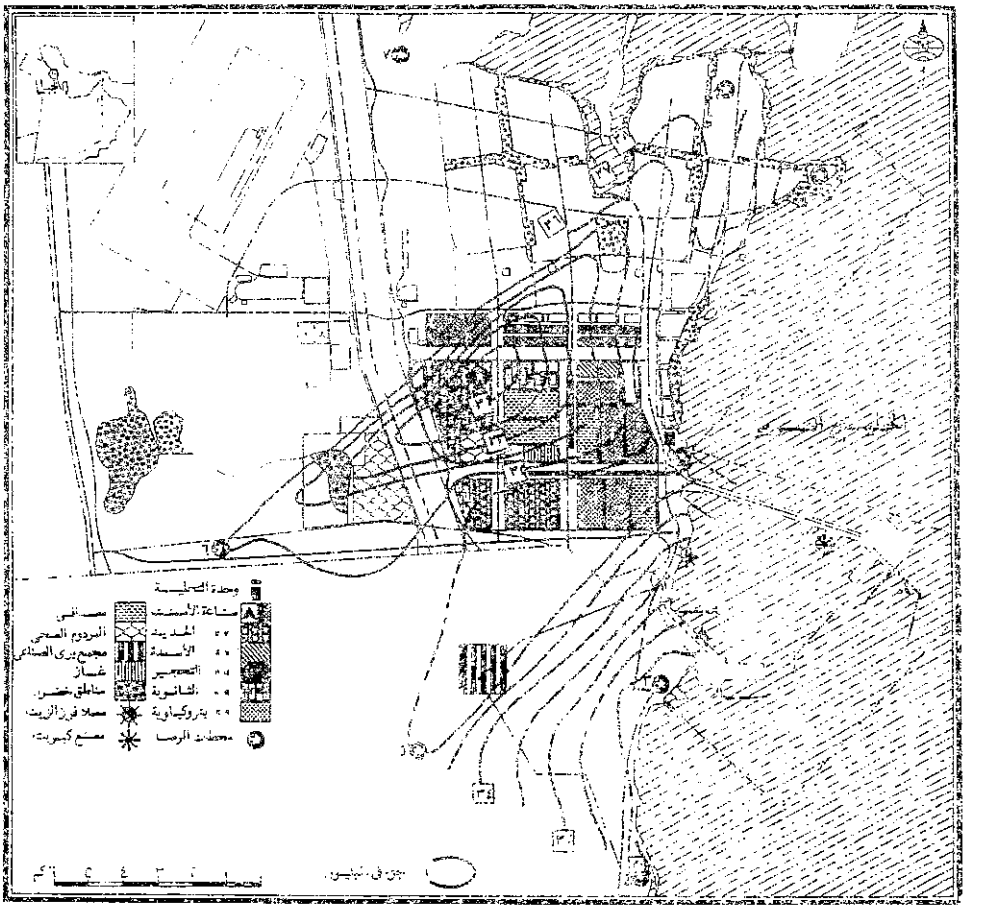
---

[١] Royal Commission for Jubail, kingdom of Saudi Arabia. Jubail Atmospheric Surveys Project, Annual Reports: 1978 – 1989.

[٢] لم يرصد غاز الأوزون فى أى من المحطات الأخرى خارج مدينة الجبيل الصناعية .

[٣] يمتد فصل أو موسم الأوزون فى المنطقة لمدة تسعة أشهر ، فيزيد عن مثيله في حوض لوس أنجلوس وكذلك مدينة لاس فيجاس بالولايات المتحدة الأمريكية . حيث يمتد فى الأولى في بين شهرى أبريل وسبتمبر ، وبين شهرى مايو وسبتمبر فى الثانية ، ويرجع ذلك الامتداد الطويل لفصل الأوزون فى المنطقة إلى امتداد الفصل الحار بين شهرى أبريل وأكتوبر حينما ترتفع كثافة الأشعة الشمسية ودرجة حرارة الهواء ، وتساعد هذه الظروف المناخية على سرعة التفاعلات الكيماوضوئية اللازمة لتكوين الأوزون ، ومن ثم ارتفاع تركيزه خلال هذه الشهور التسعة .

[٤] الظروف المناخية على سرعة التفاعلات الكيموضوئية اللازمة لتكوين الأوزون ، ومن ثم ارتفاع تركيزه خلال هذه الشهور التسعة .



شكل (٣٩) مشروع انتاج غاز الأمونيا في مدينة الخليل

بانخفاض معدل التلوث بغاز أول أكسيد النيتروجين الذي ينخفض إلى جزء واحد فقط في البليون في محطة جلمودة (شكل ٥٨) .

ويفسر انخفاض التلوث في محطة الميناء الجوي بإرجاعه إلى ارتفاع مستوى التلوث بأول أكسيد النيتروجين والهيدروكربونات غير الميثانية ، وإذ يتفاعل أول أكسيد النيتروجين مع الأوزون ينتج ثاني أكسيد النيتروجين وتتم إزاحة الأوزون الذي يتجزأ إلى أكسجين ذري يدخل في سلسلة من التفاعلات الكيميائية والكيميوضوئية مع الهيدروكربونات غير الميثانية (جدول ٣٤) .

ويتراوح المعدل السنوي للتلوث بالأوزون بين ٣٠ و ٤٠ جزءً في البليون (جدول ٣٩) فيرتفع عن التركيز الطبيعي في هواء نصف الكرة الشمالي والذي يتراوح بين ١٥ – ٣٠ جزءً في البليون (جدول٢٧) . وقد بلغت النسبة المئوية للسنوات التي يرتفع خلالها معدل التلوث بالأوزون عن ذلك التركيز الطبيعي ٦٦,٧% من إجمالي عددها .

ويعد المتوسط السنوي للتلوث بالأوزون بالمنطقة مرتفعاً حين مقارنته بمثيله في بعض محطات دولة الكويت سنة ١٩٨٧ حيث بلغ ٧ و ٢ و ٧ جزءً في البليون في محطات المنصورية ورابح وربجة على التوالي (وزارة الصحة العامة بالكويت ، سنة ١٩٨٧) ، يقابلها ٤٠ جزءً في البليون بالمنطقة في العام ذاته .

ثالثاً : تركيزات الأوزون الطارئة

تسهم أحوال طقسية خاصة في حدوث ارتفاع فجائي في درجة التلوث بالأوزون التروبوسفيري المنقول عبر الخليج العربي ، ولعل أهمها حدوث انقلاب حراري – من نوع انقلاب نسيم البحر – مصحوباً بارتفاع في الرطوبة النسبية وكثافة في الإشعاع الشمسي .

يضاف إليها مساهمة الغازات النيتروجينية والملوثات الأخرى المساعدة التى تحدد إمكانية التفاعلات الكميوضوئية اللازمة لإنتاج الأوزون ، ومن ثم ارتفاع تركيزه .

ويمكن تفسير التركيزات الطائرة للتلوث بالأوزون التروبوسفيرى من خلال فحص خصائص كل من :

- التلوث اليومي - التلوث خلال ساعة

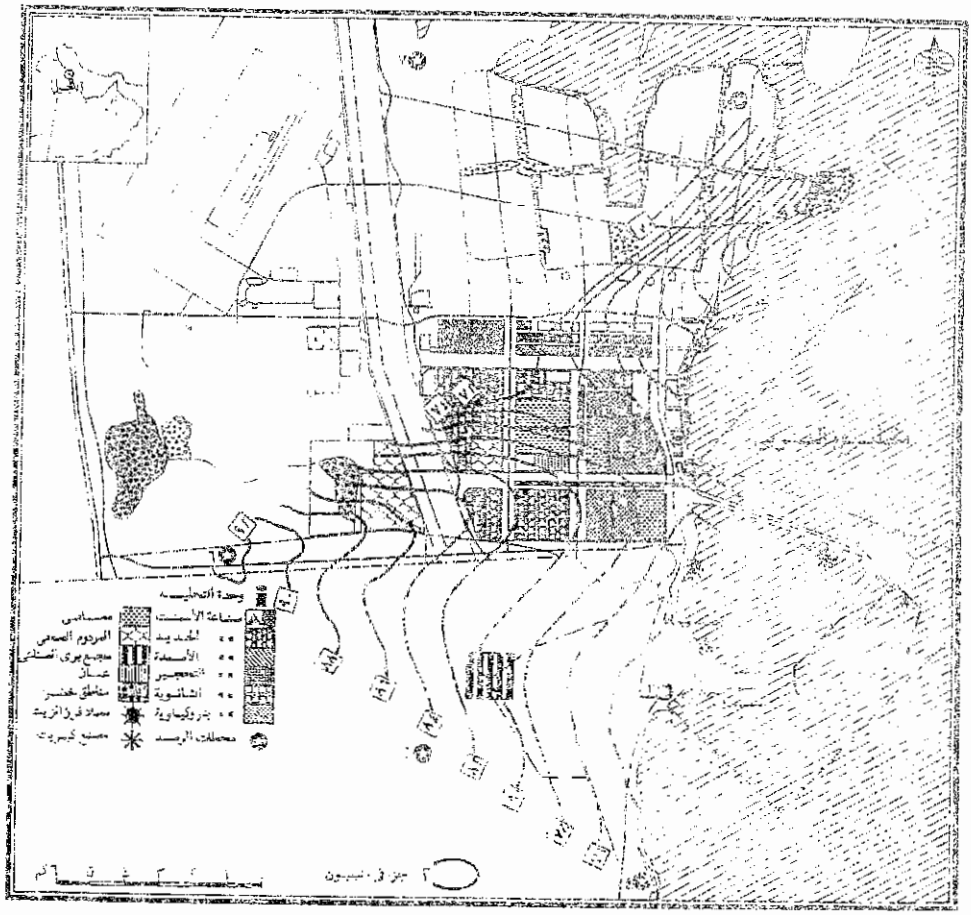
١- التلوث اليومي :

يرتفع التلوث اليومى بغاز الأوزون ليصل حدوده القصوى فى محطة المنتزة الداخلية (شكل ٦٢) حيث بلغ ٩٣ جزءً فى البليون ، وقد حدث ذلك يوم التاسع والعشرين من شهر يولية سنة ١٩٨٤ فى أثناء حدوث انقلاب نسيم البحر (الخليج العربى) الذى يصل إلى أقصى توغل له داخل المنطقة خلال شهور فصل الصيف .

وتبع هذا الانقلاب ارتفاع فى الرطوبة النسبية والتى إقترنت بتوفر الأشعة الفوق البنفسجية ، مما ساعد على سرعة التفاعلات الكميوضوئية بين ثانى أكسيد النيتروجين والأكسجين الجوى فى أثناء ارتفاع التلوث بالهيدروكربونات فنتج عن ذلك ارتفاع فى تركيز الأوزون فى ذلك اليوم .

وقد صاحب ذلك الإنقلاب هبوب رياح شديدة من شمال الشمال الشرقى بسرعة بلغ متوسطها ٧,٨ متر في الثانية ، فساعدت على نقل الأوزون البحرى إلى هذه المحطة الداخلية . وقد حال انخفاض مستوى التلوث بأول أكسيد النيتروجين دون إزاحة الأوزون فى اليوم ذاته .

وهكذا تضافرت أحوال الطقس المناسبة مع انخفاض أول أكسيد النيتروجين في ارتفاع التلوث اليومي فى هذه المحطة الداخلية ليحدث سابقة من نوعها لم تتكرر ثانية فى هذه المحطة التى قلما يصل إليها الأوزون البحري ، فضلاً عن تجمع خطوط التساوي لتظهر قمة ثانية فى الساحل الشمالي الشرقي حيث تقع محطة الفناتير (شكل ٦٢) .



أوجه تلوث يومي بغاز الأوزون في مدينة الجبيل.

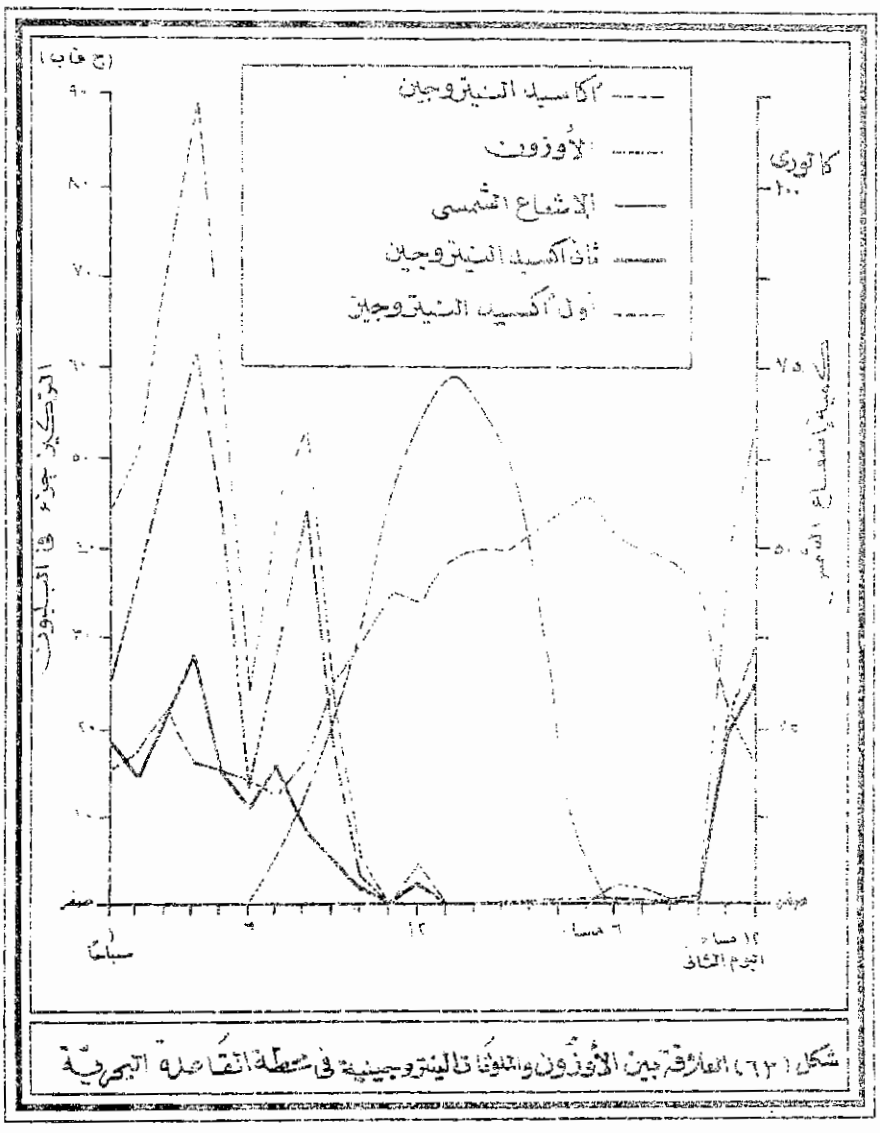
هذا ويتميز التلوث بالأوزون بدورة يومية واضحة ترتبط بشكل مباشر بالتلوث بالغازات النيتروجينية ، إذ يصل التلوث بالأوزون إلى مستوياته القصوى فى أثناء هبوط التلوث بهذه الغازات إلى حدودها الدنيا خلال الفترة بين الواحدة ظهراً والخامسة مساءً ، وتتأثر كذلك هذه الدورة اليومية بكثافة الإشعاع الشمسي الذى يعد ضرورياً لسرعة التفاعلات الكيميوضوئية لتكوين الأوزون ، فضلاً عن دوره فى ارتفاع درجة حرارة الهواء مما يهئ الفرصة لسرعة إنتاجه ، وهكذا تحدث الذروة اليومية للتلوث بالأوزون بين الساعة الرابعة بعد الظهر والسادسة مساءً بعد بضع ساعات فقط من بلوغ الإشعاع الشمسى حدوده القصوى وبلوغ أيضاً درجة حرارة الهواء نهايتها العظمى (شكل ٦٣) .

ويلعب اتجاه الرياح أيضاً دوراً أساسياً فى التلوث بغاز الأوزون حيث يرتبط ارتفاع متوسط التلوث بهبوب الرياح البحرية مع نسيم الخليج العربي على العكس من الملوثات النيتروجينية ، ولذا يفوق متوسط التلوث اليومى بغاز الأوزون فى المحطات الساحلية نظيره فى تلك الداخلية ، ويرتفع بشكل ملحوظ فى محطتى الفناتير والميناء الصناعى مقارنة بمحطتى الميناء التجارى والقاعدة البحرية بسبب انخفاض تركيز أول أكسيد النيتروجين فى الحالة الأولى وارتفاعه فى الثانية (شكل ٥٩) .

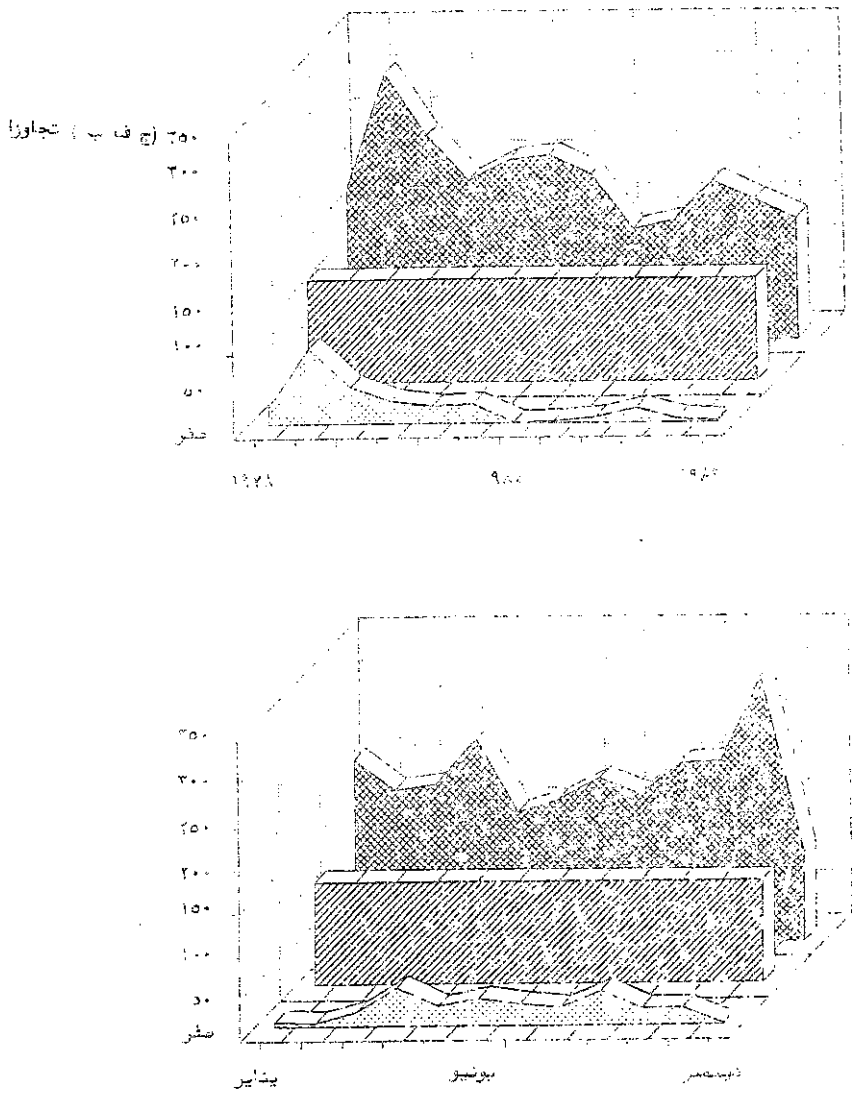
وينخفض مستوى التلوث بالأوزون فى أثناء شهور الفصل البارد ، لتبلغ تركيزاته القصوى خلال ساعة ١٤٠ و ٢١٤ و ١٧٩ جزءً في البليون لشهور ديسمبر ويناير وفبراير بالتوالى ، بينما يحدث العكس خلال الشهور التسعة لفصل ذروة الأوزون (شكل ٦٤) .

٢ - التلوث خلال ساعة :

قد سجل أقصى تلوث بالأوزون خلال ساعة فى شهر نوفمبر سنة ١٩٧٩ فى محطة الميناء الصناعى (جدول ٣٩) . وتتميز هذه المحطة بارتفاع فى مستوى التلوث بالأوزون بصفة عامة بسبب تأثرها بظاهرة الأوزون البحرى من ناحية ، وانخفاض مستوى التلوث بأول أكسيد النيتروجين من ناحية أخرى



شكل (٦٢) الفارق بين الأوزون والمركبات النيتروجينية في منطقة القاعدة البحرية



شكل (٦٤) أقصى تلوث بالأوزون خلال ساعة وعدد التجاوزات

(جدول ٣٧) مما يحول دون إزاحة الأوزون ، ومن ثم يتراكم ويرتفع تركيزه ، وقد بلغ هذا التلوث ٣٠٩ جزءً في البليون ليرتفع عن حد التلوث المسموح في الجبيل ، وفي المملكة العربية السعودية ، وكذلك في القانون الفيدرالي الأمريكي[1] بمقدار ٢,٥ و ٢,١ و ٣,٩ مثلاً على التوالي ، وقد صاحب ارتفاع مستوى التلوث في هذه المحطة ، ارتفاع في عدد التجاوزات لتبلغ نسبتها ٢٦,٣% من جملتها .

ويعد ذلك خطيراً على صحة السكان لحدوثه في هذه المحطة التي تقع بين المنطقة السكنية الساحلية شمالاً ومدينة الجبيل جنوباً ، ومن ثم يصل تأثيره الخطير إلى السكان فيعرضهم لأضرار صحية بالغة في الجهاز التنفسي والصدر والعيون وغيرها (جدول ٣٨) .

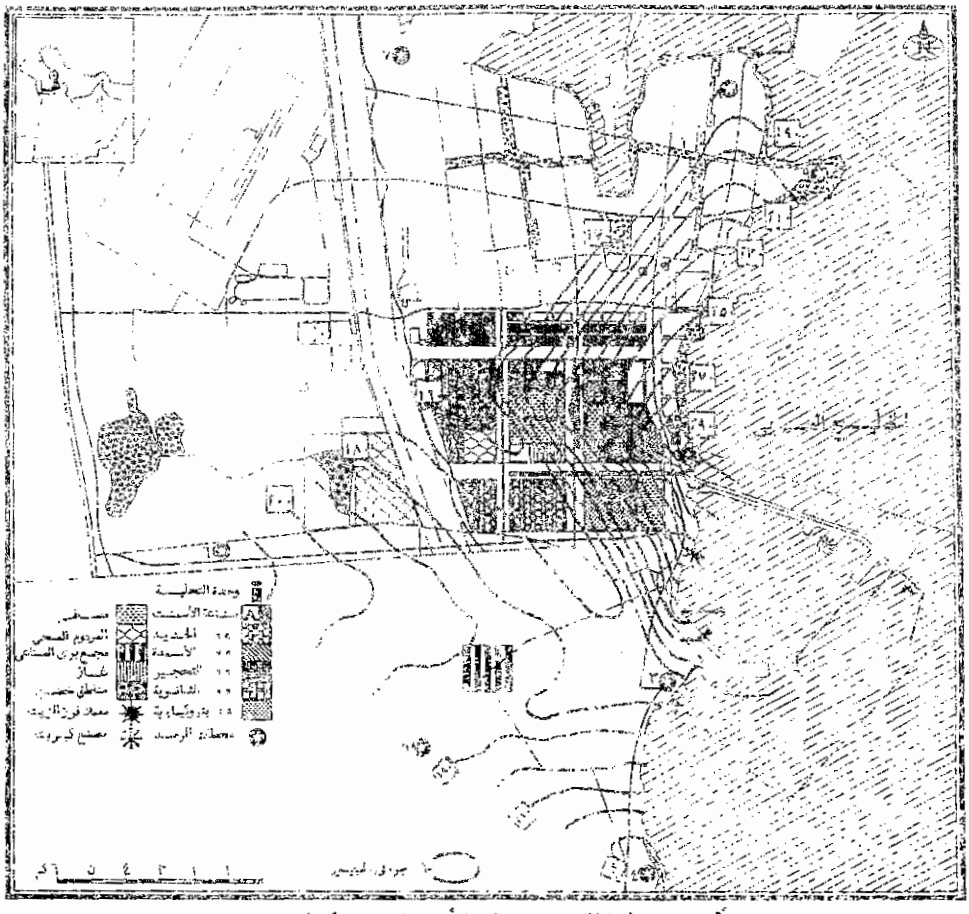
وتظهر القمة الثانية لأقصى تلوث بالأوزون خلال ساعة في محطة القاعدة البحرية (شكل ٦٥) في شهر أبريل سنة ١٩٨٠م . حيث بلغ ٢٣٧ جزءاً في البليون في أثناء هدوء انقلاب حراري جبهي في النطاق الساحلي ، تبعه انخفاض في طبقة اختلاط ملوثات الهواء .

ومن ثم ارتفع تركيزها ونشطت التفاعلات الكيميوضوئية في ظل ارتفاع كثافة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة خلال شهر إبريل ، ويرتفع هذا المستوى من التلوث عن الحدود المسموح بها في كل من الجبيل والمملكة العربية السعودية وكذلك في القانون الفيدرالي الأمريكي بمقدار يتراوح بين مثلين وثلاثة أمثال تقريباً .

وقد ارتفع أيضاً في ذات المحطة ليبلغ ١٨٥ جزءً في البليون تحت تأثير أحوال معينة من الطقس في اليوم الثاني والعشرين من شهر إبريل سنة

---

[1] يبلغ حد التلوث المسموح به في الجبيل ١٢٠ جزءً في البليون ولا يسمح بتجاوزه على الإطلاق ، بينما يرتفع في المملكة العربية السعودية ليبلغ ١٤٥ جزءً في البليون ويسمح بتجاوزه مرتين في الشهر (جدول ١٥) ويبلغ وفق القانون الفيدرالي الأمريكي ٨٠ جزءاً في البليون (جدول ١٦) .



أقصى تقدم خلال بداية عصر الأنزين في مدينة الجبيل

١٩٨١ [1] . إذ ارتبط بتوغل نسيم الخليج ليغطى مدينة الجبيل الصناعية الساعة الثانية عشرة ظهراً مصحوباً برياح شرقية إلى شمالية شرقية ، وحينئذ بلغ تركيز الأوزون ٨٨ جزءً فى البليون فى هذه المحطة ، وقد ارتفع أيضاً فى سائر المحطات الساحلية بينما يظل منخفضاً فى الأخرى الداخلية (شكل ٦٦ – ١) وقد ساعد ثبات هبوب هذه الرياح البحرية على استمرار نقل الهواء الملوث بالأوزون من الخليج العربى نحو المحطات الساحلية ، ومن ثم ارتفع التلوث ليصل إلى ١٨٥ جزءً فى البليون الساعة الرابعة من بعد ظهر اليوم فى محطة القاعدة البحرية (شكل ٦٦ – ب) وقد صاحب هذا الارتفاع فى التلوث بالأوزون انخفاضاً فى تركيز أول أكسيد النيتروجين ليصل فى هذه المحطة فى ذات التوقيت إلى ١٩ جزءً فى البليون .

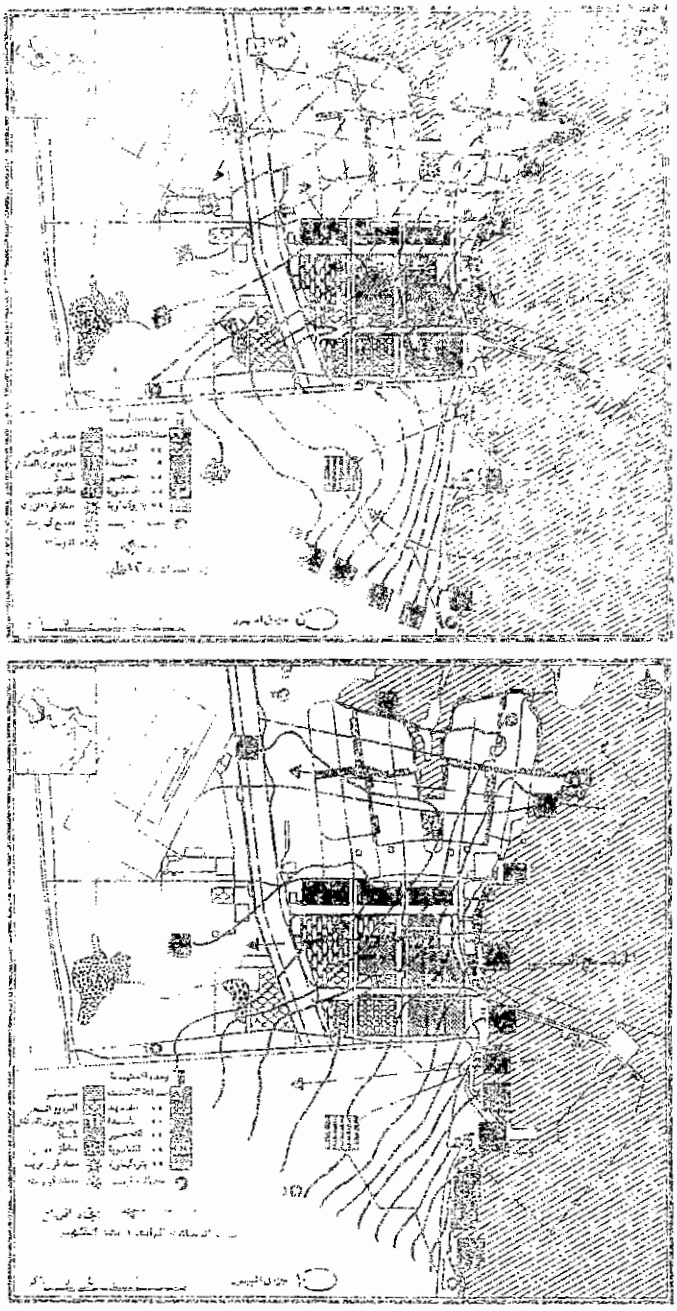
ومن ثم قد اختفى أهم عنصر لإزاحة الأوزون البحرى المنقول . وهكذا قد تضافرت أحوال الطقس المناسبة وانخفاض التلوث بأول أكسيد النيتروجين فى حدوث ارتفاع مفاجئ فى التلوث بالأوزون بمقدار ٩٧ جزءً فى البليون خلال أربع ساعات تقريباً .

هذا ويرتبط أيضاً ارتفع التلوث بالأوزون فى المحطات الداخلية بظروف طقس خاصة تساعد على توغل الأوزون البحرى . فقد ارتفع التلوث بالأوزون فى محطة المنتزة فى اليوم التاسع من شهر سبتمبر سنة ١٩٨١ من ١٠ جزءً فى البليون الساعة الخامسة صباحاً إلى ١٥٥ جزءً فى البليون الساعة الرابعة من بعد ظهر هذا اليوم [2] ، وقد ارتبط ذلك بسيادة رياح جنوبية على سائر المحطات الساعة الخامسة صباحاً ، مما أدى إلى ارتفع فى درجة حرارة الهواء

---

[1] تم اختيار هذا المثال لإبراز تأثير أحوال الطقس فى ارتفاع التلوث بالأوزون بشكل حاد خلال فترة زمنية قصيرة بالمحطات الساحلية كنتيجة لظاهرة الأوزون البحرى .

[2] تم اختيار هذا المثال لكون محطة المنتزة أكثر المحطات توغلاً بعيداً عن الخليج العربى وبالرغم من ذلك قد ارتفع فيها التلوث تحت سيادة أحوال طقس خاصة .



خريطة التلوث بغاز الأوزون خلال اليوم الثاني والعشرين من شهر إبريل

في مدينة لوس أنجليس ١٩٨١

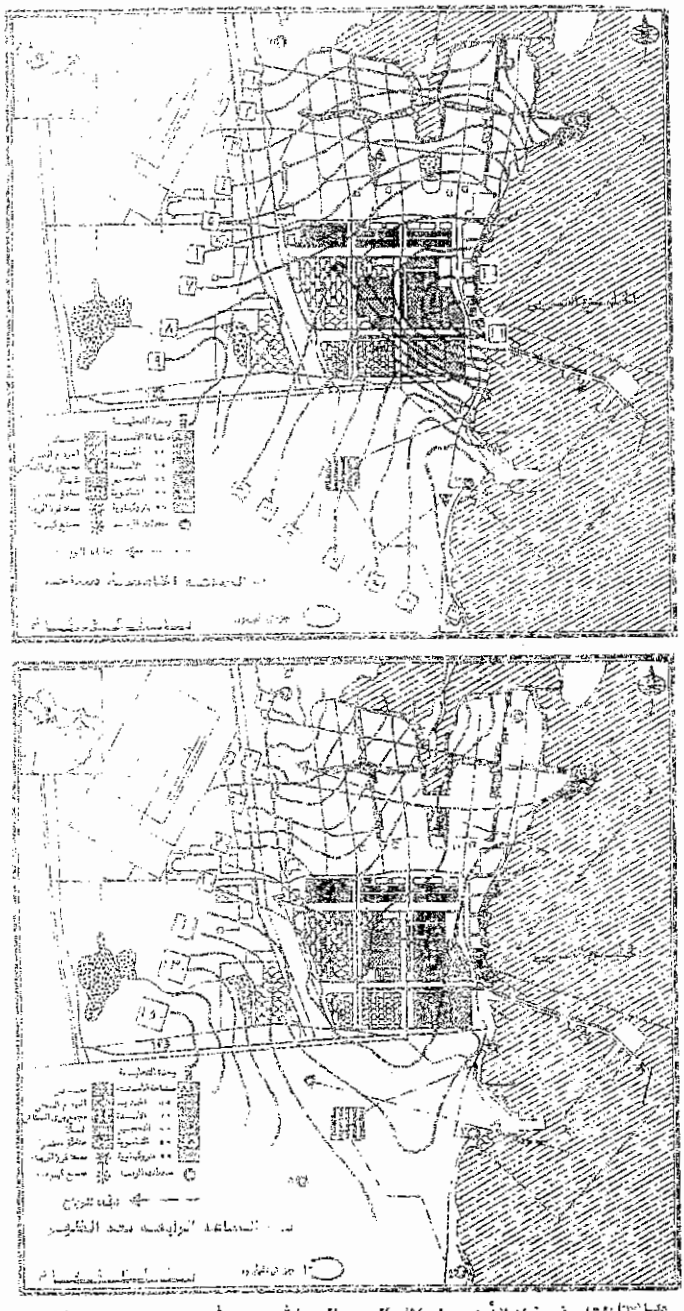
وانخفاض في تركيز الأوزون (شكل ٦٧) ثم ما لبث أن تطور نسيم الخليج العربي ابتداءاً من الساعة الواحدة بعد الظهر تصاحبه رياح شمالية شرقية على المحطات الساحلية ، فارتفع تركيز الأوزون فيها . وقد سادت هذه الرياح على سائر المحطات في الساعة الرابعة من بعد الظهر ، وتبع ذلك ارتفع مفاجئ في تركيز الأوزون في هذه المحطة الداخلية من ١٠ جزءً في البليون فقط إلى ١٥٥ جزءً في البليون ، وهكذا يتجاوز مستوى التلوث في هذه المحطة سائر المحطات الأخرى حتى الساحلية منها (شكل ٦٧) .

ويرجع ذلك إلى حدوث انقلاب حرارى سجل في هذه المحطة الساعة التاسعة من صباح ذلك اليوم مصحوباً بدرجة استقرار الهواء السطحي تتأرجح بين حالة حيادية (درجة D) وتقلب خفيفة (درجة C) حتى الساعة الرابعة من بعد ظهر ذلك اليوم ، وقد استتبع هذا الانقلاب الحرارى واستقرار الهواء السطحى ، إنحصار الأوزون البحرى المنقول عبر نسيم الخليج قريباً من سطح الأرض فكان من الطبيعى ارتفاع تركيزه بشكل حاد وفجائى .

ويذكر هنا أن مستوى تلوث الهواء في المحطات الساحلية أعلى منه في الأخرى الداخلية ، وقد انعكس ذلك علة استحواذ الأولى على ما نسبته ٧١,٤% من جملة التجاوزات لحد التلوث المسموح به في الجبيل خلال ساعة ، وتنحصر معظم هذه التجاوزات في شهور فصل ذروة الأوزون التى تستحوذ على ٩٦% من إجمالي عددها .

ويجدر التنوية إلى أن حد التلوث المسموح هذا في الجبيل يعد مرتفعاً حين مقارنته بنظيره في القانون الفيدرالية الأمريكي ، إذ يزيد عنه بنسبة ١٥٠% وهكذا فإذا ما حسب عدد التجاوزات على أساس القانون الفيدرالى الأمريكي لارتفع عددها بدرجة خطيرة .

ومما يزيد من خطورة هذه التجاوزات أنها قد حسبت على أساس ١٢٠ جزءً في البليون ، وهذا الترميز في حد ذاته ودونما أدنى ارتفاع عنه ، يؤثر سلبياً على صحة الإنسان ، إذ يصيب الأطفال بضيق في التنفس ، وتزيد الأزمات



خط (٣) التلوث بغاز الأوزون خلال اليوم العاشر من شهر سبتمبر ١٩٨١

شمال مدينة الجبيل

التنفسية عند كبار السن ، وترتفع حالات التهاب العيون وغيرها .(Stern, 1984 .P. 351)

هذا ويرتفع مستوى تلوث الهواء بالأوزون في منطقة الدراسة بعمومها، إذ أوضحت دراسة قامت بها مصلحة الأرصاد وحماية البيئة عن تلوث الهواء في بعض المدن السعودية (جده – الرياض – الظهران – الجبيل – ينبع) خلال الفترة من السادس عشر من شهر مارس والأول من شهر إبريل سنة ١٩٧٧ م (Bradstreet , 1978) أن أقصى تلوث بالأوزون قد بلغ مثلاً ٥٥٠ جزءً في البليون في مدينة الجبيل و ٣٥٠ جزءً في البليون في مدينة صفوة [1].

وقد حدثت هذه التركيزات الخطيرة الساعة الثانية والنصف من بعد الظهر حينما وصل الإشعاع الشمسي إلى حدوده القصوى أثناء هبوب رياح بحرية من الخليج العربي ، ويذكر أن مستوى التلوث بالأوزون في ذات الدراسة قد أنخفض في مدينتي الرياض وجدة ليتراوح متوسطة بين ٢٠ و ٣٠ جزءً في البليون يقابله ٥٠ و ١٠٠ جزءً في البليون في مدينتي الجبيل والظهران، وهكذا يرتفع التلوث بالأوزون في المنطقة بمقدار يزيد عن ثلاثة أمثال مستواه في المدن السعودية الأخرى .

ويرتفع أيضاً التلوث بالأوزون خلال ساعة في مدينة الجبيل الصناعية قياساً بمثيله في بعض المدن الأمريكية ، حيث بلغ مثلاً ٣٠٩ جزءً في البليون سنة ١٩٧٩ في حين لم يتجاوز في المدن الأمريكية في العام ذاته ٢٢٠ جزءً في البليون (جدول ٣٦) .

---

[1] تقع مدينة صفوة في منطقة الدراسة على بعد ثلاثة كيلو مترات في منصرف الرياح السطحية من حقوق إنتاج الزيت وعلى بعد ستة كيلو مترات تقريباً من معمل تكرير رأس تنورة .

خلاصة الفصل :

يمكن القول أن مشكلة تلوث الهواء بغاز الأوزون فى المنطقة هى الأخطر على الإطلاق ، فحين مقارنته بالملوثات النيتروجينية نجدهما تقع فى مجملها ضمن الحدود المسموح بها سواء فى الجبيل أو المملكة العربية السعودية ، كما تقل التجاوزات بالنسبة للملوثات الكربونية والملوثات الكبريتية[1] قياساً بالأوزون ، وينذر أيضاً مستوى التلوث بالهيدروكربونات غير الميثانية بتفاقم مشكلة تلوث الهواء بغاز الأوزون بالمنطقة إذ تسهم بوصفها عوامل مساعدة فى سرعة التفاعل الكيميوضوئى اللازم لإنتاج الأوزون ، هذا ولا يمكن إغفال تأثير فاعلية الموقع الجغرافى فى نقل التلوث بالأوزون ، هذا ولا يمكن إغفال تأثير فاعلية الموقع الجغرافى فى نقل التلوث بالأوزون التروبوسفيرى من مناطق الجوار – على المستوى الإقليمي – إلى المنطقة عبر الخليج العربى – كما تسهم الخصائص المناخية العامة للمنطقة من امتداد الفصل الحار لمدة تسعة شهور تقريباً يقترن خلالها ارتفاع كثافة الإشعاع الشمسى بشدة ارتفاع درجة الحرارة والرطوبة النسبية ، مما يساعد على زيادة نشاط التفاعلات الكيموضوئية المسئولة على إنتاج الأوزون كملوث للهواء .

وهكذا يصبح الأوزون أخطر الملوثات الغازية فى المنطقة كما أن الجسيمات السابحة أخطر الملوثات الصلبة .

---

[1] تأتى خطورة تلوث الهواء بغاز كبريتيد الهيدروجين فى المرتبة الثانية بعد غاز الأوزون فى المنطقة .