مجلة جامعة بابل / العلوم الإنسانية/ المجلد 18 / العدد (1) : 2010

أثر خصائص المناخ في حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري

عامر راجح نصر
جامعة بابل –كلية التربية

المقدمة

برزت مشكلة الاحتباس الحراري في الوقت الحاضر من المشاكل المعاصرة التي اهتمت بها كثيراً من العلوم، لما لها من آثار مباشرة على الإنسان والحيوان والنبات وعلى الأبنية وغيرها من مكونات النظام البيئي الحية وغير الحية. ويعد الاحتباس الحراري من المشاكل التي كان للإنسان اليد الطولى فيها، فما يستخدمه الإنسان من وسائط للنقل والتوسع في استخدام الوقود الاحفوري والصناعات بكل إشكالها وراء إثراء الغلاف الغازي بالمواد الملوثة.وتعد البيئة الطبيعية وخصائص المناخ من العوامل التي تؤثر بصورة مباشرة في حدوث هذه الظاهرة، فكثير من الأقاليم الصناعية في العالم لا تعاني من مثل هذه المشكلة، لكن بالمقابل توجد أجزاء أخرى تعاني من مثل هذه الظاهرة بأشكالها المختلفة، كما إن شدتها تختلف من مكان لآخر ومن زمان لآخر على الرغم من توفر الملوثات . فما السبب في ذلك؟

لقد قامت الدراسة على مشكلة أساسية هي (هل إن لخصائص المناخ بأشكالها المختلفة اثر في حدوث مشكلة الاحتباس الحراري، وماهي أكثر هذه الخصائص تأثيراً) لذا جاءت الدراسة بهيكلية تحاول من خلالها البحث في هذه المشكلة وتحليل العناصر المؤثرة فيها من مصادر الانبعاث وكمياته ونوعية الغازات وخصائص المناخ وتبايناتها وآثارها البيئية، كما وحاول الكشف عن الظواهر البيئية ذات العلاقة بالظاهرة.

المبحث الأول

الاحتباس الحراري ومصادره

1. مفهوم الاحتباس الحراري (Green House Effect)

الاحتباس الحراري أو الانحباس الحراري، هو عملية التبادل الإشعاعي بين الغلاف الجوي وما يحتويه من غازات ومواد عالقة وبين سطح الأرض. إذ يسمح الغلاف الجوي بمرور الإشعاع الشمسي باتجاه الأرض لكنه في الوقت نفسه يحبس الإشعاع الأرضي الحراري عاملاً على رفع حرارة الجو[1]. ويكون عبارة عن طبقة غازية ضبابية تنشأ في الحالات التي يكون فيها الهواء مستقراً وراكداً، حيث يظهر ما نسميه بالحرارة المعكوسة ومثل هذه الظاهرة تحدث عندما تزداد درجات الحرارة كلما ارتفعنا عن سطح الأرض ضمن مئات من الأقدام[2] في التروبوسفير[3].

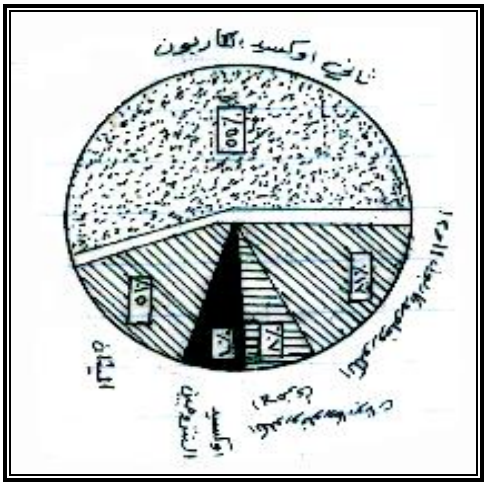
كما وعُرف بأنه ارتفاع درجة الحرارة في الغلاف الجوي المحيط بالأرض بسبب تراكم غاز ثاني اوكسيدالكربون وغازات دفيئة أخرى وتقوم بدور أشبه بلوح الزجاج في بيت زجاجي، فهي تتيح مرور ضوء الشمس من خلالها وتدفئ الأرض لكنها تمنع فقد الحرارة الموازن عن طريق الإشعاع المرتد[4]. إذن الاحتباس الحراري ظاهرة تحدث بسبب الانعكاسات الحرارية[5] (Heat Inversions) وحالات الاستقرارية والسكون التي يتعرض لها الغلاف الغازي، وينجم عنها تراكم الغازات الدفيئة والمواد الهيدروكاربونية وذرات الغبار والمواد الصلبة المتطايرة في الغلاف الجوي، مما يعمل على حجز الأشعة الشمسية المنعكسة من سطح الأرض لترفع درجات الحرارة كلما ارتفعنا للأعلى عكس الوضع الطبيعي لها.

يوجد شكلين للظاهرة (طبيعي) تسببه الغازات المنبعثة من البراكين وحرائق الغابات والأنشطة التكتونية، وهذا النوع لا يشكل خطورة، حيث يدخل ضمن المعادلة الحياتية، فتتعادل الكمية الطبيعية المطروحة من ثاني اوكسيد الكربون مع ما تمتصه النباتات والبحار والمحيطات. وهو الذي أدى إلى بقاء درجة حرارة الأرض ثابتة منذُ عشرات آلاف السنين[6]. والنوع الثاني (بشري) يتمثل بما يطرحه الإنسان من غازات ملوثة من الصناعة والنقل والاستخدامات المنزلية والأنشطة الأخرى بصورة مباشرة للغلاف الغازي وبكميات كبيرة ومتزايدة تفوق قدرة مكونات البيئة الطبيعية من معادلتها وتقليل خطورتها، وهنا تكمن المشكلة. إذن فالاحتباس الحراري ظهر وعُرف بمفهومه الحديث كمشكلة بشرية أكثر مما هي طبيعية، على الرغم من إن لها جذورها الطبيعية المتمثلة بالصفات والخصائص المكانية.

لقد كان الاعتقاد السائد إن ثاني اوكسيد الكربون وحده المسؤول عن هذه الظاهرة، غير إن الدراسات التي أُجريت خلال العقدين الماضيين أوضحت إن ثاني اوكسيد الكربون مسؤول عن نصف المشكلة، والنصف الآخر سببه غازات أخرى لديها خصائص الاحتباس الحراري مثل الميثان، اوكسيد النيتروجين N_2O، مركبات الكلوروفلوكاربون[7]. وكما في الشكل 1.

شكل 1

(النسبة المئوية لغازات الاحتباس الحراري)

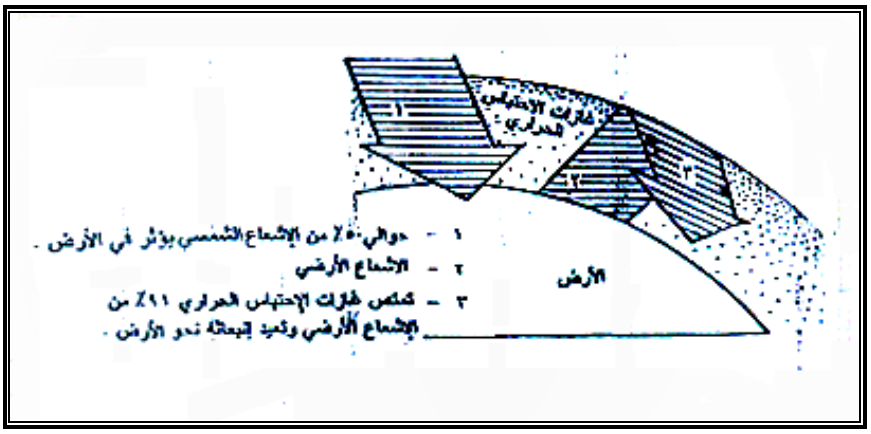


المصدر/ د.محمد العودات، التلوث وحماية البيئة، ط3، الأهالي للطباعة والنشر والتوزيع، دمشق، 1998، ص26.

وتتسم هذه الغازات بخاصية طبيعية تجعلها تسمح بمرور الأشعة ذات الموجات القصيرة والمتوسطة الآتية من الشمس إلى سطح الأرض ولا تسمح بمرور الأشعة الحراري ذات الموجات الطويلة الواردة من سطح الأرض نحو الفضاء.ويمتص من هذه الغازات ما يعادل 91% ثم تبثها مرة أخرى نحو سطح الأرض مما يؤدي إلى تراكمها واحتباسها بالقرب من سطح الأرض فتتسبب في تسخين الهواء المحيط بها[8].شكل 2.

شكل 2

ظاهرة الاحتباس الحراري



المصدر/ محمد إبراهيم محمد شرف، جغرافية المناخ والبيئة، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 2005، ص292.

تقدر كمية الطاقة التي ترتد من كل متر مربع من سطح الأرض بعد اكتسابه للإشعاع الشمسي نحو 390 واط، يتسرب منها 237 واط الى الفضاء، وتقوم غازات الاحتباس الحراري بإعادة بث 153 واط مرة أخرى الى سطح الأرض، وهذه الكمية من الطاقة الحرارية مسؤولة عن حفظ حرارة سطح الأرض عند متوسط 15°م، ولولاها لأصبحت درجة حرارة الأرض 23°م تحت الصفر[9].

2. مصادر انبعاث غازات الاحتباس الحراري

ظهرت مشكلة الاحتباس الحراري في الوقت الحاضر نتيجة للتوسع في استخدام الوقود الاحفوري (الفحم–البترول–الغاز الطبيعي) إضافة الى حرق الخشب والمخلفات الزراعية، ونمو الصناعات الاستخراجية والتحويلية، وما صاحب ذلك من نمو كمية المخلفات الصناعية والأدخنة الصاعدة عن المصانع، وتوسع وزيادة أحجام المدن الذي نتج عنه طرح المخلفات الضارة للبيئة.

لقد أوضحت الدراسات البيئية إن الدول الصناعية (أمريكا الشمالية، غرب أوربا، اليابان، مجموعة دول منظمة التعاون الاقتصادي والإنمائي) تنتج اكبر كمية من ملوثات الهواء وغازات الاحتباس الحراري، ثم تليها دول شرق أوربا وروسيا. جدول 1.

جدول 1: توزيع ملوثات الهواء في العالم عام 1992/ مليون طن

الملوثات	الدول النامية	شرق أوربا وروسيا	الدول الصناعية
ثاني اوكسيد الكبريت	20	1.29	39.9
اكاسيد النيتروجين	16.4	15	36.4
الجسيمات العالقة	29	15	13
أول اوكسيد الكربون	32	20	125

المصدر: شبكة الانترنت الموقع (file: H://Score 5-htm)

وتختلف شدة وخطورة الظاهرة طبقاً لنوع وكمية الوقود المستخدم وظروف حرقهُ. كما وتختلف كمية الملوثات وخطورتها حسب نوع القطاع والصناعة المسببة للتلوث والإقليم الواقعة فيه. وعلى ذلك

فالصناعة تعد من القطاعات الأساسية في إحداث تلوث الهواء، ثم يليها قطاع النقل بمساهمه قدرها 3500 و1050 مليون طن من غاز ثاني اوكسيد الكربون وعلى التوالي. جدول 2.

جدول 2 : توزيع ملوثات الهواء طبقاً للقطاعات المختلفة لعام 1992 / مليون طن

الملوثات	الصناعة مليون طن	% من الانبعاث الناتجة عن الأنشطة البشرية	النقل مليون / طن	% من الانبعاث الناتجة عن الأنشطة البشرية	الزراعة مليون طن	% من الانبعاثات الناتجة عن الأنشطة البشرية
ثاني اوكسيد الكربون	3500	60.8	1050	18.2	1200	20.8
اكاسيد الكبريت	89	94.6	3	3.19	2	2.12
اكاسيد النيتروجين	30	45.7	28.6	43.5	7	10.6
الجسيمات العالقة	23	45.6	7.4	14.6	20	39.6
أول اوكسيد الكربون	–	–	106.3	60	–	
الهيدروكاربونات	26	50	21.2	40	–	
الميثان	84	24	–	–	–	
الامونيا	7	20	–	–	–	
الكلورفلوروكاربون	1.2	100	–	–	–	

المصدر: شبكة الانترنت. الموقع (file:/H:/scwor5-htm)

يكون قطاع النقل مساهماً رئيسياً في إنتاج غازات الاحتباس الحراري، فيولد ما مقداره 18.2% من غاز ثاني اوكسيد الكربون و60% من غاز أول اوكسيد الكربون، وتعود هذه الكميات الكبيرة من الملوثات الى العدد الهائل من السيارات في العالم، حيث بلغ عام 1990 نحو 590 مليون سيارة(10). وقد قدر العلماء في الولايات المتحدة الأمريكية إن السيارات تقذف بحوالي 66 مليون طن من أول اوكسيد الكربون، ومليون طن من اوكسيد الكبريت و 6 مليون طن من اكاسيد النتروجين و12 مليون طن من الهباب ، وفقاً لعدد السيارات الذي قدر بحوالي 90 مليون سيارة في الولايات المتحدة الأمريكية. كما وتطرح الأنشطة البشرية والاستخدامات المنزلية كميات ليست بالقليلة من غازات الاحتباس الحراري وكما في جدول 3.

جدول 3 :كميات غازات الاحتباس الحراري في الولايات المتحدة الأمريكية / مليون طن/ سنة

الغازات	السيارات	تدفئة المنازل	القمامة
أول اوكسيد الكربون	66	2	4/1
اوكسيد الكبريت	1	2	1
اكاسيد النتروجين	6	–	1
الهباب	12	1	1

المصدر: د.فايز محمد العيسوي، أسس الجغرافية البشرية، ط4، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 2006، ص336.

3. غازات الاحتباس الحراري وآثارها

1. غاز ثاني اوكسيد الكربون (CO_2)

ينتج غاز ثاني اوكسيد الكربون من الأنشطة الطبيعية (حرائق الغابات، البراكين، وجميع الأنشطة البشرية كالنقل والصناعة وحرق النفايات الصلبة في المدن، ويكون له الدور الكبير في حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري.

لقد كان تركيزه في الهواء في مرحلة ما قبل الصناعة حوالي 280 جزءاً لكل مليون جزء في الهواء مقاساً بالحجم، فيما ازداد هذا التركيز ليبلغ 349 جزءاً بالمليون في عام 1980، ومن المتوقع إن يتضاعف الى 560 جزءاً بالمليون في الفترة الواقعة بين منتصف القرن القادم ونهايته[11]. وتكمن خطورته بكونه يمتص ثلاثة مجالات[12] مختلفة من الأشعة الحرارية المرتدة من سطح الأرض، وكما يلي:

الأول: يتراوح فيه طول الموجة بين (1.6–2.9) مايكرون.

الثاني: يتراوح فيه طول الموجة بين (4.1–4.5) مايكرون.

الثالث: يتراوح فيه طول الموجة بين (13.8–15.4) مايكرون.

2. غاز الميثان (CH_4)

يعد من أكثر الهيدروكربونات توفراً في الغلاف الغازي. وينتج بشكل طبيعي عن فعل النشاط البيولوجي لبعض أنواع البكتريا التي تتحلل من المخلفات النباتية تحللاً لا هوائياً في البرك والمستنقعات والبحيرات والمناطق الرطبة. وتشكل النفايات البشرية المصدر اليومي للميثان الناتج من عمليات تحلل مياه الصرف الصحي ونفايات المدن بالإضافة الى نفايات حيوانات الرعي وحرق النباتات ومناجم الفحم وخطوط الغاز وآبار النفط. يظهر إن نسب تركيز غاز الميثان في الهواء في ارتفاع مستمر وسريع، زادت كميته بمقدار 390 جزء بالمليون خلال الفترة بين عامي 1850–1993م، وعلى الرغم من كونه أقل من نسبة ثاني اوكسيد الكربون بنحو 205 مرة إلا إن معدلات الزيادة السنوية لنسب تركيزه تفوق مثيلتها لنسب غاز ثاني اوكسيد الكربون بنحو 13 مرة[13]. ويمتص غاز الميثان الأشعة الحرارية التي ترتد من سطح الأرض ذات الموجة 7.66 مايكرون، وتفوق فعالية الجزيء الواحد من غاز الميثان في امتصاص الحرارة وحدوث الاحتباس الحراري فعالية الجزيء الواحد من غاز ثاني اوكسيد الكربون بما يتراوح بين 11–20مرة[14]. لذلك تبرز أهميته كمسبب قوي للاحتباس الحراري وزيادة فعاليته في ارتفاع حرارة الأرض.

3. اكاسيد النتروز NO

يعد احد اكاسيد النتروجين الناتجة عن سلسلة التفاعلات الطبيعية التي تحدث في الغلاف الجوي وخلال الدورة الطبيعية للنتروجين بفعل البكتريا في التربة وأكسدة المواد العضوية والنتروجينية. ويتولد هذا الغاز من مصادر بشرية متعددة مثل احتراق الوقود الاحفوري بكل صوره ومحركات السيارات. حيث يشكل ما يتراوح بين 30%–35% من إجمالي عوادم السيارات، وكذلك يتولد من احتراق الغاز الطبيعي وخامات النفط والفحم والفضلات العضوية وغيرها من الصناعات.

لقد ازدادت نسبة اوكسيد النتروز في الهواء بين 298 جزء في البليون عام 1976 لتبلغ 305 جزء في البليون عام 1995. ويفوق ثاني اوكسيد الكربون وغاز الميثان في معدل الزيادة السنوية لاوكسيد النتروز بحوالي 3 مرات للأول و35 مرة للثاني[15]. مما يدل على بطئ معدلات زيادته السنوية بالمقارنة مع الغازات الأخرى. ويمتص هذا الغاز الأشعة الحرارية التي ترتد من سطح الأرض والتي يتراوح طول موجاتها بين

7–13 مايكرون، وتفوق فعالية كل جزيء منه فعالية كل جزيء من ثاني اوكسيد الكربون بحوالي 270 مرة وغاز الميثان بحوالي 17 مرة[16]، مما يؤكد دوره وفعاليته في حدوث الاحتباس الحراري.

4. مركبات الكلوروفلوروكربون CFC5

تعد من المركبات الصناعية التي تستخدم في أجهزة التكييف، وكمادة دافعة في علب الرش ورغوة إطفاء الحرائق. وتتبخر هذه المركبات عند درجة حرارة تتراوح بين صفر و40م تحت الصفر. وتمتص هذه المركبات الأشعة الحرارية المرتدة من سطح الأرض التي يبلغ طول موجاتها 8 و10 مايكرون، وتفوق فاعلية الجزيء الواحد من هذه المركبات في حدوث الاحتباس الحراري فعالية الجزيء الواحد من ثاني اوكسيد الكربون بحوالي عشرة الآلف مرة، ولها فعالية مرتفعة جداً تفوق فعالية الغازات الأخرى[17].

المبحث الثاني

الخصائص المناخية المؤثرة في ظاهرة الاحتباس الحراري

1. التيارات الهوائية الهابطة[18]

من البديهي إن الهواء يصعد بصفة عامة في منطقتين أساسيتين هما منطقة الضغط المنخفض الاستوائي ومنطقة الضغط المنخفض الدائم في العروض دون القطبية حيث تكون مثل هذه المناطق طاردة للملوثات الهوائية. فيما يهبط في منطقتين هما منطقة الضغط المرتفع في العروض الوسطى والمنطقة القطبية. وتحدث حالات الاحتباس الحراري في مناطق العروض الوسطى (المناطق المحصورة بين خطي عرض 30–60 شمالاً وجنوباً) بسبب التيارات الهوائية الهابطة التي تحجز الغازات والملوثات تحتها. وتتميز هذه التيارات بارتفاع درجة حرارتها بسبب الكبس المسلط عليها من الطبقات العليا، وحال نزوله فإذا ارتفعت درجة حرارته فوق درجة حرارة الهواء الموجود تحته فان ذلك يولد ما يعرف بـ(الانقلاب ألخمودي[19] Sub sidence Inversion) . وترافق هذه الظروف أجواء صافية وقليلة المطر، فإذا تزامن وجود الملوثات الهوائية مع هذه الظروف الجوية وقعت الكوارث البشرية وحصل الاختناق لكثير من سكان المدن الصناعية في المناطق المحصورة بين هذين الدائرتين مثل كاليفورنيا ولندن ولوس انجلوس وكندا واليابان وغيرها من الأقاليم الصناعية التي تقع ضمن هذا الموقع الفلكي. ويساعد طول النهار وتوفر الأشعة الشمسية وصفاء الجو على تكوين تفاعلات ضوء كيميائية (Photochemical) ينتج عنها ما يسمى بالضباب الضوء كيميائي الذي يرتبط بصورة عامة بمدينة لوس انجلوس الأمريكية[20]. ويرافق ذلك توفر الغازات الدفيئة والمواد الهيدروكاربونية واو كسيد النيتروجين التي تعد عامل أساس في وقوع المشكلة البيئية. وتُعتبر حالات الاستقرارية وانخفاض سرعة الرياح وقلة الغيوم وصفاء الجو من الظروف المرافقة للتيارات الهابطة حيث يعيقان تبعثر الملوثات في طبقات الجو.

2. الاختلاط الرأسي (الاضطراب ألدوامي) وسرعة الرياح

تتخذ دورة الهواء داخل الغلاف الجوي نظامين هما الأفقي (السطحي) والنظام الرأسي (حركة الهواء الصاعد والهابط، وبطبيعة الحال أن تنتقل الملوثات مع هذه الحركة الأفقية والرأسية).إن ظواهر الاضطراب والتيارات الدوامية مسؤولة عن حدوث عملية الاختلاط والانتشار من الاتجاه العمودي والأفقي (الجانبي)، وهذا التأثير خاضع لعدد من التيارات الدوامية المختلفة، فالتيارات الكبيرة تتبع عموماً تيارات دوامية اصغر تكفي لحركة وانتقال الجزئيات الملوثة وتبعثرها[21]. وتؤدي هذه العملية الى تخفيف تركيز الملوثات الهوائية

في جو المدن عن طريق رفعها الى الأعلى[22] وتبعثرها في الفضاء حتى يقل تركيزها وإبعاد خطرها عن طبقة التروبوسفير التي يعيش فيها الإنسان والكائنات الحية.كما إن سرعة الرياح واتجاهها يؤثران بشكل كبير في تركيز نسبة الملوثات، حيث يتناسب تركيز الملوثات في الغلاف الغازي تناسباً عكسياً مع سرعة الرياح، فكلما ازدادت سرعة الرياح كلما قلت نسبة تركيز الملوثات جدول 4، وتساعد حركة الرياح الأفقية على نقل الغازات الملوثة الى أقاليم أخرى بعيدة عن منطقة المصدر ومن ثم اختلاطها مع رياح جديدة وبالتالي تقليل التراكيز السمية لها. أما انخفاض سرعتها أو ما يسمى (الأحوال الجوية المستقرة) فتؤدي الى حدوث ضعف في عملية الاختلاط الهوائي فتنشأ عنها بعض الظواهر الجوية كالضباب والندى وخاصة إذا توافرت الرطوبة الجوية.وتحدث الكوارث البيئية التي تسببها ظاهرة الاحتباس الحراري في الأيام التي يكون فيها ارتفاع الحركة الرأسية للهواء (الاختلاط الرأسي) اقل من 1500م وسرعة الرياح اقل من 4م/ثا أي حوالي اقل من 15كم/ ساعة، وتكون غير مصاحبة بأمطار وهي ما تسمى بـ(الأيام الحدثية)[23].

جدول (4) :العلاقة بين سرعة الرياح ونسبة تركز الملوثات الهوائية

سرعة الرياح م/ ثا	تركيز السخام مليغرام/ $م^3$	تركيز ثاني اوكسيد الكبريت مليغرام/ $م^3$
0.2	0.275	–
0.5	0.170	0.318
1.0	0.135	–
1.05	0.123	0.174
2.5	0.114	0.144
3.5	0.110	0.133
4.5	0.108	–
5.0	–	0.124
5.5	0.106	–
8.0	–	0.115

المصدر: د.حيدر عبد الرزاق كمونه، العوامل الطبيعية وتلوث البيئة، مجلة النفط والتنمية، العدد 6، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد، تشرين الثاني–كانون الأول، 1987، ص8–30.

3. الانقلابات الإشعاعية

يحدث هذا النوع في مناطق العروض العليا والمناطق الأخرى الباردة بفضل عوامل جوية تساعد على تكوين الانقلاب أو الانعكاس الحراري، ويسمى هذا النوع (بالانقلاب الحراري المناخي) أو الانقلاب الإشعاعي (Radiation Inversion). ففي ليالي الشتاء الساكنة والصافية يبرد سطح الأرض عن طريق الإشعاع الحراري، وبهذه العملية تبرد طبقة الهواء الملامس لسطح الأرض. ففي الحالة الاعتيادية تتناقص درجة الحرارة كلما ارتفعنا للأعلى اعتباراً من سطح الأرض، لكن هنا تصبح العملية معاكسة للعملية السابقة (الهبوط الحراري)، إذ تنخفض درجة الحرارة حتى ارتفاع محدد اعتباراً من سطح الأرض ولن تسمح كتلة الهواء المستقرة فوق طبقة الهواء البارد والقريبة من سطح الأرض بالتبادل الشاقولي للهواء محدثة بذلك انقلاباً جوياً. ويكون ارتفاع الطبقة الحاجزة (Blocked layer) ضئيلاً فهي تقع عادة على ارتفاع 200م أو اقل من ذلك[24]. وعندما تقوم الشمس بتدفئة الأرض خلال النهار تدفئ الغلاف الجوي السفلي، فتكوّن طبقة

يحدث عندها اختلاط في الجو وفجأة تتحرر الملوثات التي كانت محجوزة في الغلاف الجوي خلال الطبقة الحاجزة.

والانقلاب الإشعاعي ذا أهمية كبيرة في الشمال الأقصى أثناء الليل القطبي الطويل، فقد يبقى أسابيع عدة ويساهم في أماكن كثيرة مثل فيريا نكس وألاسكا وكندا بقدر كبير في أحداث تلوث الهواء[25]. وتزداد هذه الظاهرة خطورة في العروض القطبية المغطاة بالثلوج حيث يرتد الإشعاع الشمسي بشدة وينجم عن ذلك انخفاض درجة حرارة الهواء الملامس للأسطح الثلجية في حين ترتفع درجة حرارة الهواء كلما ارتفعنا للأعلى ويسمى هذا بالانقلاب الحراري الثابت (Stable Inversion)[26]، وإذا ما تزامن مع هذا الظرف وجود مصادر لانبعاث الملوثات تتراكم الغازات الدفيئة تحت هذه الطبقة وتسبب حجز أو احتباس لها مما ترفع درجة الحرارة في هذه المناطق.

4. الرطوبة (الأمطار والضباب)

لرطوبة الهواء تأثير واضح في توزيع كمية الدخان بالجو، وان نسبة تركيز الدخان تزداد عند ارتفاع كمية الضباب (جدول5). ومن الملاحظ إن هناك قاعدة عامة ترتفع فيها نسبة تركيز الملوثات بارتفاع نسبة الرطوبة في الهواء، غير إن ذلك لا ينطبق على كل الغازات، فمثلاً إن تركيز الكلور ينخفض بارتفاع نسبة الرطوبة في الهواء، في حين ترتفع نسبة السخام وثاني اوكسيد الكبريت. وفي الأجواء الرطبة مثل مدينة البصرة وفي فصل الصيف على وجه الخصوص فان الجو يكون مرهقاً، وتتجمع تحت الطبقة الهوائية الرطبة الغبار والدخان مما يضعفان الرؤية. وقد تتكاثف الرطوبة سحباً ركامية صغيرة ومبعثرة ثم تكبر وتتصل وتنتشر تحت القاعدة ويكون نموها من أعلى إلى أسفل، وإذا أسقطت مطراً فيكون ملوثاً بجسيمات الغبار والدخان. وغالباً ما تكون الأجواء الضبابية مصحوبة بدرجة عالية من التلوث الهوائي[27].

تؤدي هذين الظاهرتين الى إسقاط جزيئات العناصر الملوثة العالقة في الجو وإشراكها معها في تفاعلات كيميائية يكون الماء العنصر الفعال في هذا التفاعل ومن ثم إسقاطها على الأرض بشكل ملوثات سائلة اقل خطورة من الملوثات التي يستنشقها الإنسان ويكون تأثيرها مباشراً.

جدول 5 :العلاقة بين نسبة تركيز الدخان في الهواء ورطوبة الهواء

رطوبة الهواء %	نسبة التركيز في مليغرام/ م^3	
	سناج (سخام)	ثاني اوكسيد الكبريت
40–30	0.076	0.069
50–40	0.090	0.148
60–50	0.095	0.114
70–60	0.113	0.104
80–70	0.121	0.138
90–80	0.134	0.238
100–90	0.142	0.226

المصدر: د.حيدر عبد الرزاق كمونه، العوامل الطبيعية وتلوث البيئة، مجلة النفط والتنمية، عدد 6، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد، 1987، تشرين الثاني–كانون الأول، ص8–30.

5. الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة

يعد الإشعاع الشمسي المصدر الرئيس لتسخين سطح الأرض، وهو عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية تتحول الى طاقة كيميائية، تعتبر الأساس في حدوث التفاعلات الضوء كيميائية للغازات الملوثة المنتشرة في الجو. وتوجد علاقة طردية بين كمية وقوة الإشعاع الشمسي وكمية وخطورة التفاعلات الضوء كيميائية للملوثات، حيث يزداد نشاط التفاعلات الكيميائية مع شدة الإشعاع الشمسي. وبذلك يكون لشدة ومعدل ساعات السطوع اليومي اثر كبير في حدوث عملية الاحتباس الحراري.

إن الإشعاع الأرضي (Terrestrial Radiation) يشكل جانب آخر مؤثر في حدوث هذه الظاهرة، وهو يتمثل بكونه أشعة مظلمة تحمل الحرارة فقط، ويبلغ أقصى معدل له بعد الظهر تقريباً فيما يبقى مستمراً طوال اليوم[28]. فكلما كانت ساعات السطوع طويلة كلما كان الإشعاع الأرضي أطول. وتعمل الغيوم والسحب الدخانية والغبار والغازات الملوثة وبخار الماء، على التقليل من فقدان الإشعاع الأرضي بصفة خاصة أثناء الليل وفي الطبقة السفلية من الجو، وبالتالي فان درجة الحرارة ترتفع كثيراً بتأثير الإشعاع الأرضي المحجوز تحتها[29].

إن لدرجة الحرارة تأثير واضح في عملية الاحتباس الحراري، فهناك علاقة عكسية بين درجة الحرارة ونسبة تركز الملوثات، حيث إن أكثر ما تصل إليه نسبة التلوث عندما تكون درجة حرارة الهواء منخفضة جداً، وخاصة أوقات الشتاء لما لذلك من علاقة برطوبة الهواء. ومن خلال الجدول 6 يتبين إن نسبة تركيز السخام وغاز ثاني اوكسيد الكبريت تزداد بنسبة أكثر من ربع الكمية في حال انخفاض درجة الحرارة الى الصفر المئوية.

جدول 6 :العلاقة بين نسبة تركيز الملوثات ودرجة حرارة الجو

درجة الحرارة	تركيز السخام مليغرام/ م^3	تركيز ثاني اوكسيد الكبريت مليغرام/ م^3
20–30	0.74	0.136
10–20	0.86	0.141
10–صفر	0.121	0.34
صفر– –10	0.128	0.128
–10 – –20	0.141	0.148
–20 – –30	0.181	0.309
–30 – –40	0.250	0.422

المصدر: د.حيدر عبد الرزاق كمونه، العوامل الطبيعية وتلوث البيئة، مجلة النفط والتنمية، العدد 6، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد، 1987، ص8–30.

6. الرياح المحلية

تسبب الرياح المحلية مثل (نسيم البر والبحر، نسيم الجبل والوادي) حالات من الاحتباس الحراري. ففي الأوقات التي ينساب فيها الهواء البارد من فوق السفوح الجبلية العالية الى بطون الأودية يكون أكثر كثافة ووزناً، في حين يرتفع الهواء الساخن الى الأعلى(30) مما يعيق حركة كتلة الهواء البارد ويجبرها على الاستقرار في مكانها لفترة زمنية، كما ويرافقها انعدام حركة الرياح الأفقية والعمودية.

لقد أثرت هذه الحالة في مواقع متعددة من الدول الصناعية، فالحادثة التي أصابت وادي الميز في بلجيكا كانت من هذا القبيل، حيث استقر الهواء المنزلق من السلاسل الجبلية الى قعر الوادي ولم يستطع الهواء الدافئ من إخراجه لذا استقر فوق الهواء البارد مما جعل السكان يلجأون إلى تدفئة منازلهم بمصادر التدفئة التقليدية مما رفع نسبة الملوثات وحجزها داخل الوادي حيث سبب الاختناق والوفاة لسكان المنطقة وإصابة المتبقين بالأمراض المزمنة[31].

7. الثبات الجوي (الاستقرارية) (Stability)

من المعروف إن درجات الحرارة تنخفض بمعدل درجة مئوية واحدة لكل 100م ارتفاع للأعلى[32]، لكن تحدث في معظم الأحيان إن تنخفض درجة الحرارة بمعدل أسرع من هذا المعدل، أي إن الهبوط يكون أكثر من درجة مئوية واحدة لكل 100م، عندها يكون الجو غير مستقر وتكون الحركة الرأسية والأفقية[33] للهواء على أشدها، مما يدفع الملوثات على الانتقال وتخفيف تراكيزها في الهواء. وعندما تنعكس الحالة، أي ترتفع درجة الحرارة مع الارتفاع بمعدل أسرع من معدل الهبوط الاديباتيكي حينئذ يكون الهواء ثابتاً، أي إن الحركة الرأسية معدومة أو متوقفة وهنا يظهر ما يسمى بـ(الطبقة الانقلابية) التي يكون من خصائصها إن ترتفع فيها درجة حرارة الجو مع الارتفاع بدلاً من انخفاضها، لذا فتعمل كغطاء فوق الغلاف الجوي تحجز الملوثات تحتها، وتجمعها بالقرب من سطح الأرض[34] مسببة بذلك حالة من الاحتباس الحراري.

8. الجبهات الهوائية

تحدث حالات الاحتباس الحراري في المناطق التي تتعرض لغزو الجبهات الهوائية، أي عندما تلتقي كتلتان هوائيتان مختلفتان من حيث خصائصهما الحرارية ينساب الهواء البارد الثقيل الى الأسفل، في حين يرتفع الهواء الساخن الخفيف الى الأعلى لأنه اقل وزناً وكثافة، فتحدث حالة تسمى بـ(الانقلاب الحراري المتحرك)[35]، مما يحجز الملوثات الهوائية لمدة من الزمن. وبما إن الجبهات الهوائية كتل كبيرة ومتحركة بصورة مستمرة ، لذلك لا توجد خطورة في مثل هذا النوع من الاحتباس، فهو لا يتجاوز يوم واحد أو بعض اليوم. وبسبب الحركة المستمرة للجبهات الهوائية تتبدد الملوثات مع حركة الجبهة وتقل خطورتها تدريجياً.

المبحث الثالث

الظواهر الجوية المصاحبة للاحتباس الحراري

1. الضبخان (الضباب-الدخان) Smog

هو الضباب الملوث بالدخان، وينتج عندما تختلط أنواع متعددة من الملوثات بالدخان والسناج[36] والأتربة والغازات بقطرات الماء المكونة للضباب، واشتقت التسمية من كلمتي (Smoke) دخان و(Fog) ضباب.وتعد حالات سكون الرياح والرطوبة الجوية وراء تكوين هذا النوع من الظواهر، فهي تؤدي الى تراكم ملوثات الغلاف الجوي الى مستوى غير عادي من التركيز وبخاصة في المناطق الصناعية والمزدحمة بالسكان كما هو الحال في مدينة لوس انجلوس في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث ساعد ضوء الشمس وصفاء وسكون الجو على إحداث تفاعلات ضوء كيميائية (Photochemical) تولد غازات كريهة منها الأوزون، ثاني اوكسيد النيتروجين. ويزداد خطر هذه الغازات السامة عندما يكون تركيزها كبير جداً[37]. ويسبب الضباب ألدخاني الضوء كيميائي (Photochemical smog) رفع نسبة تواجد غاز الأوزون بسبب تولده كيميائياً في ظل ارتفاع معدلات التلوث وخاصة في المدن، حيث يعرض سكان المدن للاختناق لأنه غاز

سام يسبب سعال حاد، وإذا ما زادت نسبته عن 2 جزء في المليون من الهواء سيتحول الاختناق الى فقدان كامل للوعي[38].

وهناك نوع آخر من الضبخان يحدث في مدينة لندن وهو يتكون من الضباب الممزوج بالدخان، وهذا يكون اقل سمية وخطر من ذلك النوع الذي يصيب لوس انجلوس. حيث تعرضت مدينة لندن عام 1952 لكارثة، فقد أدى الانعكاس الحراري الى احتجاز الضبخان (الضباب الممزوج بالدخان) دون تبدد وامتصت الطبقة العليا للضباب حرارة الشمس ونشأ عن ذلك هواء أكثر دفئاً فوق هواء شديد البرودة، فلجأ الناس الى تدفئة بيوتهم بالفحم وبدرجة كبيرة مما رفع محتوى الهواء من ثاني اوكسيد الكربون إلى ضعف مستواه العادي، وقد سبب الضبخان في ضعف الرؤية التي أصبحت لا تزيد درجتها عن متر واحد[39].

2. الأمطار الحامضية

تتفاعل اكاسيد الكبريت والنتروجين المنبعثة من مصادر مختلفة مع بخار الماء في الجو لتتحول الى أحماض ومركبات حامضية ذائبة معلقة في الهواء حتى تتساقط مع مياه الأمطار مكونة ما يعرف بـ(الأمطار الحامضية)[40]. إما في بعض المناطق الجافة التي لا تسقط فيها الأمطار تلتصق هذه المركبات الحامضية على سطح الأتربة العالقة في الهواء وتتساقط معها مكونة فيما يعرف بـ(الترسيب ألحامضي الجاف) وأحيانا يطلق على كلا النوعين مصطلح (الترسيب ألحامضي)[41].

وبالرغم من إن الأمطار الحامضية ليست مشكلة في معظم الدول العربية (لندرة الأمطار) إلا إن الترسيب ألحامضي الجاف يشكل مشكلة آخذة في الازدياد بزيادة تركيزات اكاسيد الكبريت والنيتروجين في الهواء كما إن الضباب ألحامضي الذي يتكون في الصباح الباكر في بعض دول الخليج العربي أصبح يشكل ظاهرة ملموسة[42]. وتسبب الأمطار الحامضية أضرار كبيرة فالمياه التي تنساب الى داخل التربة تقتل الكائنات الحية فيها وكذلك تسبب تشوهات في الأوراق النباتية وتقضي على الكائنات الحيوانية والنباتية والمائية، كما وتسبب تلوث لمياه الشرب.

كما وهناك اعتقاد سائد بين العلماء بان كميات كبيرة من الكبريت التي تحملها الرياح من الجزر البريطانية وبلجيكا وفرنسا وألمانيا وجيكوسلوفاكيا وبولندا الى شمال أوربا وخاصة الدول الاسكندينافية يستغرق عبورها بضعة أيام تكون بدايتها ثاني اوكسيد الكبريت ونهايتها على شكل كبريتات أو حامض الكبريتيك وحامض النتريك، لذا فان الأس الهيدروجيني pH للمطر الذي يتساقط على كل من الترويج والسويد يبلغ أربعة أضعاف ما يكون عليه في بريطانيا نفسها[43]. فيكون ما بين (3 و 5 و4) وقد يصل أحيانا إلى 3، وهو ما يعادل نحو 100 مليجرام من حامض الكبريتيك في كل لتر من الماء [44].

3. ظاهرة القبة الهوائية

وهي عبارة عن غطاء من الغبار الممزوج بالدخان يتكون فوق المدينة، وتحدث هذه الظاهرة عندما تفقد الأبنية والشوارع في المدينة حرارتها بالإشعاع فيسخن الهواء الذي يعلوها، فيحدث نتيجة لذلك انقلاب حراري يؤدي الى إبطاء عملية التبريد، أي بعبارة أُخرى حدوث زيادة في الطاقة الحرارية المتجمعة فوق المدينة مما يعيق عملية التبادل الهوائي وبالتالي احتباس الملوثات وذرات الغبار والدخان والشوائب الأخرى. وعند استمرار هذه الظاهرة تبقى حركة الرياح معدومة مما يجعل السكان يتنشقون الهواء الفاسد الموجود

لليوم السابق مما يجلب أضرار للسكان مثل أمراض الحساسية في الجهاز التنفسي وأمراض الربو والتهاب الرئة والشُعب الهوائية.

الاستنتاجات

1. إن ظاهرة الاحتباس الحراري أصبحت في الوقت الحاضر ظاهرة بيئية بشرية بسبب تدخل الإنسان المباشر في حدوثها.
2. تشكل السيارات المصدر الأساس في حدوث هذه الظاهرة بسبب ما تطلقه من ثاني اوكسيد الكربون،فضلا عن أعدادها المتزايدة.
3. برز غاز الميثان كمسبب قوي للاحتباس الحراري وذلك بسبب كمية الانبعاثات العالية منه، وفعاليته التي تفوق أكثر الغازات خطورة (CO_2) كما وان اتجاهات كمية انبعاثاته في تزايد مستمر.
4. على الرغم من الخطورة العالية لأكاسيد النتروز وشدة فعاليتها إلا إن معدل زيادتها بطيء جداً مما يقلل من خطورتها كمادة سامة وقاتلة ومسبب قوي للاحتباس الحراري.
5. يكون للتيارات الهوائية الهابطة دور كبير في حدوث حالات الاحتباس الحراري، بسبب الظروف الجوية المرافقة لها من سكون وصفاء الجو وقلة الغيوم التي تزيد من تعقيد التركيب الكيماوي للملوثات وتطرحها كمواد اشد سمية وخطورة.
6. تحدث الإخطار البيئية وحالات الاحتباس الحراري في الأقاليم الصناعية وبالتحديد في الأيام التي تكون سرعة الرياح اقل من 4م/ ثا.
7. تحدث حالات الاحتباس في العروض العليا والمناطق الباردة في الأيام التي تحدث فيها الانقلابات الإشعاعية.
8. تعمل الرطوبة الجوية على تقليل شدة الظاهرة من خلال عملية الاختلاط والامتزاج للمواد الملوثة التي تسقط على سطح الأرض كمواد سائلة.
9. يمارس الإشعاع الشمسي فعله من خلال التفاعلات الضوء كيميائية الخطرة جداً والتي تزيد من خطورة الملوثات المتراكمة تحت الطبقة الانقلابية.
10. للاحتباس الحراري حالات مصاحبة مثل الضبخان والأمطار الحامضية والقبة الهوائية تؤدي الى حدوث أضرار بيئية جسيمة للسكان والكائنات الحية في المنطقة التي تحدث فيها.
11. نتيجة للظواهر المصاحبة للاحتباس تصبح ذو بعد إقليمي أو قد يكون عالمي بسبب انتقال أضرارها من مكان لآخر لاعتبارات جغرافية.

الهوامش

1. مثنى عبد الرزاق العمر، تلوث البيئة، دار وائل للطباعة والنشر، عمان، 2000، ص93.
2. عبد خليل فضيل، د.علوان جاسم الوائلي، علم البيئة، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 1985، ص399.
3. التروبوسفير: الطبقة السفلية أو الأقرب إلى الأرض من الجو، وتمتد من سطح الأرض حتى ارتفاع 8-12كم في العروض الوسطى والعليا، و16-17كم في العروض الوسطى والاستوائية. وفي هذه الطبقة تقل درجة الحرارة بمعدل درجة مئوية واحدة مع كل 150م للأعلى، كما انه تتكون فيها السحب وان معظم التغيرات في الظواهر الجوية تقتصر على هذه الطبقة. وما يعطيها أهميتها للحياة كونها تحتوي على الجزء الأعظم من بخار الماء والأوكسجين وثاني اوكسيد الكربون. ينظر: رشيد الحمد، محمد سعيد صباريني ، البيئة ومشكلاتها، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، سلسلة عالم المعرفة عدد(22)، الكويت، 1979، ص47. كذلك د.فتحي عبد العزيز أبو راضي، أسس الجغرافية الطبيعية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 2006، ص197.
4. د.علي صاحب طالب الموسوي، التغيرات الطقسية والمناخية المتوقعة عالمياً وانعكاساتها، مجلة البحوث الجغرافية، عدد 4، قسم الجغرافية كلية التربية للبنات، جامعة الكوفة، 2002، ص27.
5. الانعكاس الحراري/ تزايد درجة الحرارة مع الارتفاع ضمن هذه الطبقة الهوائية، وهذا التوزيع العمودي لدرجة الحراري هو عكس التوزيع الاعتيادي لهذا العنصر مع الارتفاع أي تناقص درجة الحرارة بالارتفاع. انظر: د.احمد سعيد حديد وآخرون، المناخ المحلي وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، بغداد، 1982، ص50.
6. د.محمد إبراهيم محمد شرف، جغرافية المناخ والبيئة، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 2005، ص296.
7. د.محمد العودات، التلوث وحماية البيئة، ط3، دار الأهالي للطباعة والنشر والتوزيع، دمشق، 1998، ص56.
8. د.محمد إبراهيم محمد شرف، مصدر سابق، ص291.
9. المصدر نفسه، ص293.
10. د.محمد العودات، مصدر سابق، ص56.
11. اللجنة العالمية للبيئة والتنمية، مستقبلنا المشترك، ترجمة كامل عارف، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، سلسلة عالم المعرفة، العدد 142، الكويت، 1989، ص254.
12. د.محمد إبراهيم محمد شرف، مصدر سابق، ص297.
13. المصدر نفسه، ص298.
14. المصدر نفسه، ص299.
15. المصدر نفسه، ص299.
16. المصدر نفسه، ص300.
17. المصدر نفسه، ص302.

18. التيارات الهوائية الهابطة، يعزى حدوثها الى ارتفاع الضغط الجوي في الطبقات العليا من الهواء، وذلك بسبب نقص معدل انخفاض الضغط بالارتفاع في الهواء الساخن بالنسبة للهواء الأقل حرارة منه، وتبعاً لهذا الاختلاف يتحرك الهواء في الطبقات العليا من الجو من خط الاستواء نحو منطقتي عروض وسط كوكب الأرض (عروض الخيل) ويترتب على ذلك زيادة وزن الهواء في هاتين المنطقتين وهبوطه نحو سطح الأرض بصورة تيارات هوائية هابطة، وبالمثل أيضا يتحرك الهواء في الطبقات العليا من الجو في منطقتي الدائرتين القطبيتين نحو القطب وبالتالي يزيد من وزنه وضغطه فوقهما ويهبط على شكل تيارات هوائية هابطة عند القطبين. انظر: د.فتحي عبد العزيز أبو راضي، الأصول العامة في الجغرافية المناخية والنباتية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 2003، ص197.
19. لمزيد من الاطلاع على الانقلابات الخمودية، ينظر كيلبرت ماسترز، مدخل الى العلوم البيئية والتكنولوجية، ترجمة د.طارق محمد صالح وآخرون، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 1980، ص255-257.
20. المصدر نفسه، ص220.
21. د.عادل رفقي عوض، مؤثرات نشر الروائح في محطات معالجة مياه الصرف الصحي، المجلة العربية للعلوم، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، جامعة الدول العربية، عدد 24، السنة الثالثة عشرة، القاهرة، 1994، ص69-77.
22. من الجدير بالذكر إن الحركات الرأسية للهواء تشتد كلما زادت سرعة الرياح الأفقية ذلك لان ازدياد سرعة الرياح يجعلها لا تنساب في مستويات أفقية نظراً لاختلاف سرعتها في طبقاتها السطحية، إذ نتيجة لذلك إن تصعد أجزاء منها وتهبط أجزاء أخرى في نفس الوقت، وتعرف هذه الحركة بـ(الحركة غير الانسيابية للهواء) وهي تساعد على انتشار بخار الماء والغبار والملوثات الغازية في الهواء لسمك قد يصل الى 1000م تبعاً لسرعة الهواء ووجود عوائق تعترضه، كما أنها تظهر في الحالات غير المستقرة للجو في حين أنها تكاد تنعدم في حالات الانقلاب الحراري وسكون الهواء. ينظر: د.فتحي عبد العزيز أبو راضي، الأصول العامة في الجغرافية المناخية والنباتية، مصدر سابق، ص197.
23. كلبرت ماسترز، مصدر سابق، ص263.
24. د.عادل رفقي عوض، مصدر سابق، ص69-77.
25. كلبرت ماسترز، مصدر سابق، ص260.
26. د.صباح محمود الراوي، عدنان هزاع ألبياتي، أسس علم المناخ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، مطابع بيت الحكمة، بغداد، 1990، ص101.
27. د.حيدر عبد الرزاق كمونه، العوامل الطبيعية وتلوث البيئة، مجلة النفط والتنمية، العدد 6، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد، 1987، ص8-30.
28. د.فتحي عبد العزيز أبو راضي، أسس الجغرافية الطبيعية، مصدر سابق، ص328.
29. تتم عملية تخفيف وتركيز الملوثات على شكل دورات يومية، ففي المساء عند صفاء السماء تبدأ الأرض بالإشعاع الحراري إلى الجو، فتبرد أكثر سرعة من طبقات الهواء القريبة مما تسبب عملية انعكاس حراري، وتستمر طوال الليل حيث تبدأ الرياح بالخفوت مما تتجمع الملوثات عند قاعدة الانعكاس. أما عند الشروق، فتسخن الأرض تدريجياً مع نقصان الهبوط في درجة الحرارة عند وصول سحابة الغازات الى طبقة الانعكاس العليا، وآنذاك تبدأ الملوثات المتجمعة بالهبوط الى الأرض. ومع

زيادة درجة الحرارة تزداد سرعة الرياح تدريجياً دافعة الملوثات بعيداً فيقل تركيزها وتبقى الظروف ملائمة لعملية الانتشار حتى انخفاض درجة الحرارة عند غروب الشمس ثانياً. نظر/ د.حيدر عبد الرزاق كمونه، العوامل الطبيعية وتلوث البيئة، مصدر سابق، ص8-30.

30. د.صباح محمود الراوي، عدنان هزاع ألبياتي، مصدر سابق، ص102.
31. باكاكس، الإبعاد الصحية للتحضر، ترجمة د.محمد عبد الرحمن الشرنوبي، دار القلم للنشر، الكويت، 1980، ص237.
32. تسمى هذه العملية بمعدل الهبوط الاديباتيكي (Adiabatic laps Rate).
33. من الواضح إن الهواء يتحرك على شكل تيارات رأسية الى أعلى والى أسفل بسبب ارتفاع درجة حرارة الهواء في طبقاته السفلى نتيجة لملامسته لسطح الأرض الساخن، وارتفاع نسبة بخار الماء فيه بسبب كثرة التبخر مما يؤدي الى نقص كثافته وصعوده الى الأعلى على شكل تيارات مستمرة يطلق عليها اسم (تيارات الحمل) لأنها تحمل الحرارة وبخار الماء الى طبقات الجو العليا وتنشط في حالات عدم استقرار الجو. انظر/ د.فتحي عبد العزيز أبو راضي، أسس الجغرافية الطبيعية، مصدر سابق، ص196.
34. كلبرت ماسترز، مصدر سابق، ص260.
35. د.صباح محمود الراوي، عدنان هزاع ألبياتي، مصدر سابق، ص101.
36. السناج/ عبارة عن جسيمات صلبة دقيقة قطر اغلبها اقل من مايكرون واحد (المايكرون=1/1000 ملم) وهي مكونة من الكربون وتنتج عن الاحتراق غير الكامل للمواد المحتوية عليه، إما الدخان فيتكون من جسيمات صلبة دقيقة قطرها أيضا اقل من مايكرون واحد، تنتج عن احتراق المعادن بعد إن تنصهر وتتبخر تحت تأثير الحرارة والجسيمات في هذه الحالة تكون اكاسيد معدنية يختلف تركيبها عن تركيب المادة الأصلية (المعدن). انظر/ رشيد الحمد، محمد سعيد صباريني، مصدر سابق، ص158.
37. كينيث ميليني بايولوجيا التلوث ،ترجمة كامل الخفاجي ،دار الرشيد للنشر ،بغداد ،1994، ص 31.
38. د.فايز محمد العيسوي، أسس الجغرافيا البشرية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 2005، ص342.
39. رشيد الحمد، محمد سعيد صباريني، مصدر سابق، ص160.
40. يعتبر ماء المطر حامضياً عندما يكون تركيز ايون الهيدروجين فيه كبيراً أي اقل من الرقم الهيدروجين 7. انظر د.فايز محمد العيسوي، مصدر سابق، ص355.
41. موقع على شبكة الانترنت بعنوان (file:/H:/scwor 5-htm) بتاريخ 2003/1/14.
42. المصدر نفسه.
43. كينيث مليليني، مصدر سابق، ص31.
44. د.فايز محمد العيسوي، مصدر سابق، ص355.