



جامعة الناصر

AL-NASSER UNIVERSITY

الخصائص المناخية ودورها في تلوث هواء مدينة صنعاء

د/ عبدالله حيدر سالم علي

أستاذ مساعد- كلية التربية-جامعة حجة

AUTHORIZED BY AL-NASSER UNIVERSITY'S RESEARCH OFFICE
جميع حقوق النشر محفوظة لمكتب البحوث والنشر بجامعة الناصر

الخصائص المناخية ودورها في تلوث هواء مدينة صنعاء

د/ عبدالله حيدر سالم علي

أستاذ مساعد- كلية التربية-جامعة حجة

يسهم الموقع الفلكي والجغرافي (التضرس) في إكساب مدينة صنعاء خصوصية مناخية قلَّ أن تجد لها نظيراً في باقي المدن اليمنية، إذ تسهم الأحوال المناخية المميزة لهذه المدينة في التأثير على كثافة ملوثات الهواء ذات المصدر البشري في الدرجة الأولى والطبيعي في الدرجة الثانية .

تمَّ في هذا البحث تحديد الخصائص المناخية لمدينة صنعاء، وأهم مصادر تلوث الهواء والممتلئة في السيارات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، ومصانع الطوب والكسارات والمحاجر والعواصف الغبارية التي تسهم في تلوث هواء هذه المدينة بالجزئيات العالقة والغبار والغازات الضارة بالإضافة لدراسة وتحليل أثر العناصر المناخية خصوصاً عنصري درجة الحرارة واتجاه الرياح وسرعتها في ملوثات الهواء .

المُلخَص

3

المقدمة:

بعدُ تلوث الهواء أحد أهم القضايا التي يعاني منها عالمنا المعاصر، كون هذا التلوث لا يقف عند حدود معينة، بل يتعدى ذلك إلى مسافات كبيرة تبعد عن مصدره الرئيسي عندما تندمج كتلة الهواء الملوث مع حركة الجو العامة .

هناك مجموعة من العوامل التي تتفاعل مع بعضها لتحدد كمية الملوثات وكثافتها وتؤثر على عملية نقل الملوثات وتركيزها وتشتيتها ومن هذه العوامل وأكثرها أهمية الأحوال المناخية السائدة، إذ تسهم العناصر المناخية لا سيما درجة الحرارة والرياح والأمطار والرطوبة، في التأثير على نسب الملوثات التي تُبثُ بالهواء ، من خلال النقل والتخفيف والتحول والإزالة(واجنر ، 1997، ص 114) . وعلى الرغم من أن لكل عنصر من عناصر المناخ تأثيره في ملوثات الهواء إلا أنه ليس لكل منها التأثير نفسه في عملية التركيز والإزالة إذ " تعدُّ درجة الحرارة واتجاه الرياح وسرعتها من أهم العوامل المؤثرة على شدة تركيز الملوثات في الجو، كما أنَّ التهطال يقوم بدور المنظف للجو من بعض ملوثاته" (موسى ، 1996 ، ص75)

1-1 - هدف البحث :

التعرف والكشف عن دور العناصر المناخية في التأثير على ملوثات الهواء في مدينة صنعاء من خلال الإجابة على الأسئلة الآتية : 1- ما لخصائص المناخية لمدينة صنعاء ؟ 2- ما مصادر التلوث الهوائي في مدينة صنعاء ؟ 3- ما تأثير عناصر المناخ على ملوثات الهواء في مدينة صنعاء ؟ .

1-2- منهجية البحث :

اعتمد البحث في استقصاء بياناته على التقارير والإحصاءات المناخية الصادرة من الجهات الرسمية في اليمن، وكذلك الرجوع للبحوث والدراسات والمراجع التي تناولت مواضيع المناخ والتلوث الهوائي .

1-3- موقع منطقة الدراسة وحدودها :

تقع مدينة صنعاء في النصف الغربي من الجمهورية اليمنية جنوبي حوض صنعاء، منتصف الهضبة اليمنية وتشغل المنطقة المحصورة بين دائرتي عرض 08 15 و 35 15 شمالاً وخطي طول 05 44 و 20 44 شرقاً ، بمساحة تقدر بـ 660 كم²، ويطلق عليها أمانة العاصمة، أتبع هذا الموقع الفلكي مدينة صنعاء لنطاق المناخ المداري لنصف الكرة الشمالي، غير أن ارتفاع مدينة صنعاء الذي يزيد عن 2200م فوق مستوى سطح البحر أكسبها خصائص مناخية خاصة بها مقارنة بغيرها من المدن الواقعة على خط العرض نفسه شرقاً أم غرباً لا سيما الاعتدال الحراري حيث غابت الفصلية الواضحة وحل مكانها ما يمكن وصفه بالربيع الدائم . وتقع مدينة صنعاء في أعلى حوض صنعاء المتكون من ثنية مقعرة يتوزع فيها عدد من المظاهر التضاريسية أهمها :

1- سلسلة جبال عيبان وبنى مطر " غرب المدينة " التي تمتد من الجنوب الغربي إلى الشمال الغربي للمدينة.

2- سلسلة جبال شتر وظفر واللحد الصغير في جنوب المدينة وانحدارها نحو الشمال مما جعل المدينة تقع في قلب شبه مغلق إذ لا يوجد متسع لها إلا في الشمال .

تتميز مدينة صنعاء بكونها المدينة الأولى وعاصمة اليمن من حيث عدد سكانها وكبير مساحتها مقارنة بالمدن اليمنية الأخرى، إذ تجاوز عدد سكانها المليون والثمانمائة ألف نسمة 1.834.293 نسمة بحلول عام 2004م، (الجهاز المركزي للإحصاء ، 2004م، ص311) وبلغ معدل النمو السكاني فيها 14.6 % مقارنة بمعدل 3.2 % كمعدل نمو لعموم اليمن ، ويتوزع سكان المدينة في تسعة قطاعات تخطيطية تنقسم

هذه القطاعات على 47 حياً سكنياً و 294 حارة ويوجد فيها أكثر من 162.000 مسكناً تنتشر على مساحة مخططة تقدر بـ 125 كم²، وتقدر الكثافة السكانية وسط المدينة بـ 300 نسمة / هكتار (أمانة العاصمة ، 1998م) وهذه الكثافة في تنام مستمر سنوياً

2- الخصائص المناخية لمدينة صنعاء :

1-2- الإشعاع الشمسي :

تدخل اليمن ضمن المناطق المدارية المشمس والداقئة حيث تتعامد الشمس عليها مرتين في العام أثناء نصف السنة الصيفي، وتبعاً لذلك تردها الأشعة الشمسية قريبة من الوضع العمودي ، ويتقارب طول الليل والنهار ، لذا تعد المحصلة الإشعاعية في هذه العروض موجبة ، إذ تصلها قدرة حرارية ضخمة من الأشعة الشمسية طوال العام ، وتبعاً لذلك يتصف هواء هذه العروض بالدفء طوال العام (الشاعر ، 2004م، ص119) وتتدخل مدينة صنعاء بموقعها – كما ذكرنا سلفاً- ضمن هذا النطاق، وعموماً يظهر الجدول (1،2) توزيع الإشعاع الشمسي في مدينة صنعاء .

جدول (1) التوزيع الشهري للإشعاع الشمسي في مدينة صنعاء كيلو /كالوري /سم² /يوم للمدة من 1980-1997م

الشهر	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	مايار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون
الإشعاع الشمسي	341	378	411	389	478	453	401	394	445	431	343	334

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية صنعاء إدارة المناخ بيانات غير منشورة.

جدول (2) التوزيع الفصلي للإشعاع الشمسي في مدينة صنعاء كيلو كالوري /سم² /يوم

الشتاء	الربيع	الصيف	الخريف	المعدل السنوي
351	426	416	406	399.8

المصدر : الجدول (1)

وكما يلاحظ من جدولي التوزيع الشهري والفصلي أن أشهر الشتاء تعد أقل أشهر السنة تلقياً للإشعاع الشمسي لصغر زاوية الورود وتناقص عدد ساعات النهار، كما تعد أشهر الربيع أكثر شهور السنة تلقياً للإشعاع الشمسي بسبب تعامد أشعة الشمس على سطح اليمن أثناء مسيرتها الظاهرية من خط الاستواء نحو مدار السرطان في النصف الثاني من هذا الفصل، بالإضافة إلى صفاء السماء وقلة السحب لهذا تصل كمية الإشعاع الشمسي الفصلي إلى 424 كيلو /كالوري سم²/يوم ويلاحظ انخفاض كمية الطاقة الشمسية في شهر " نيسان" إلى 389 كيلو كالوري/مم²/يوم بسبب " القمة المطرية الربيعية في هذا الشهر" وتغطية السماء بالسحب .

أما أشهر الصيف فعلى الرغم من أن الشمس تتعامد في منتصفه على محطات اليمن وترتفع زاوية الورد، إلا أن هذا الفصل يعد أقل كمية للإشعاع الشمسي مقارنة بفصل الربيع ومرد ذلك إلى زيادة تغطية السماء بالسحب التي تعمل بدورها على حجب كمية كبيرة من الأشعة الشمسية، وتبدأ كمية الإشعاع الشمسي بالتراجع خلال أشهر الخريف عمّا كانت عليه في أشهر الصيف لتصل إلى معدل فصلي 406 كيلو/كالوري /سم²/يوم.

2-2- درجات الحرارة :

يعد اليمن بلداً دافئاً على مدار السنة، ولولا التضاريس لأضحى بلداً شديد الحرارة في أغلب الشهور (أغا، 1983، ص 228) فمدينة صنعاء وعلى الرغم من وقوعها في النطاق المداري إلا أن للتضاريس أثراً في الحد من ارتفاع درجات الحرارة إذ يتميز مناخها باعتدال الحرارة طوال العام، حيث بلغ المعدل السنوي للحرارة 18.45 درجة مئوية ويتذبذب من 13.1 درجة مئوية في كانون الأول إلى 22.9 درجة مئوية في شهر تموز بمدى حراري سنوي 9.8 درجة مئوية جدول رقم (3).

جدول رقم (3) معدلات درجات الحرارة (م) العظمى والصغرى والمعدل السنوي في مدينة صنعاء للمدة من 1985-2000م

الشهر المعدل	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول	تشرين ثاني	كانون أول	المعدل السنوي
العظمى	27.2	29.2	30.8	30.9	32.2	33.6	33.4	23.8	31.3	28.4	26.8	26.3	-
الصغرى	1.4	2.3	5.9	8.4	8.7	11.3	12.3	12.3	8.4	5.3	2.1	0.3	-
المعدل	14.3	15.8	18.4	19.7	20.5	22.2	22.9	22.6	19.8	16.6	14.5	13.1	18.4

الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية ، صنعاء ، بيانات غير منشورة .

وكما يوضح الجدول (3) أن معدل درجة الحرارة الدنيا تراوح من 0.3 مئوية في شهر كانون أول إلى 12.3 درجة مئوية في شهري تموز وآب ، بينما ارتفع المعدل الشهري لدرجة الحرارة العظمى ليصل أعلى قيمة له في شهر حزيران (33.6) درجة مئوية وأدناها في شهر كانون الأول 26.3 درجة مئوية وهذا يعني أن فصل الشتاء بارد والسبب تعرض المنطقة لهبوب كتل هوائية قطبية باردة تجلبها الرياح الشرقية من أواسط آسيا (الضغط المرتفع السيبيري) خلال هذا الفصل

2-3- الرطوبة النسبية والضباب :

يتميز هواء مدينة صنعاء بالدفء وارتفاع محتواها من بخار الماء خلال نصف السنة الصيفي لقربها من مصادر الرطوبة وتعرضها لهبوب كتل هوائية مدارية بحرية حارة ورطبة ، بينما يقل هذا المحتوى شتاءً لانخفاض درجة الحرارة وتعرضها لرياح مدارية قارية جافة ورياحاً قطبية باردة وجافة أيضاً وتعكس قيم الرطوبة النسبية في مدينة صنعاء محتوى الهواء من بخار الماء ودرجة الحرارة التي تتأثر بدورها بالتضاريس (المناخ الجبلي) وهذا يلاحظ بوضوح في الجدول (4).

جدول (4) المعدل الشهري والسنوي للرطوبة النسبية % في مدينة صنعاء للمدة من 1985-2000م

المعدل السنوي	كانون الأول	تشرين 2	تشرين 1	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	آذار	شباط	كانون الثاني	الأشهر
49.9	49	51.9	47.9	49.3	52.3	50.7	46.8	50.6	50.7	50.7	47.7	51.2	المعدل الشهري

المصدر : الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية ، صنعاء ، بيانات غير منشورة .

إن السمة المميزة للرطوبة النسبية في مدينة صنعاء تشابه قيم المعدلات الشهرية تراوحت بين 47.7 % و 52.3%

وهذا دليل على أن القيم الصيفية مرتبطة بكمية بخار والشتوية بانخفاض درجة الحرارة . وتتعرض مدينة صنعاء لتكون الضباب عدة أيام في السنة كما يوضحه الجدول (5) .

جدول (5) عدد أيام الضباب في مدينة صنعاء للمدة 1984-1990 م .

الأشهر	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون الأول
عدد الأيام	147	97	121	69	80	162	176	100	65	27	20	48

المصدر : الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية ، صنعاء ، بيانات غير منشورة .

و عادة ما يتشكل الضباب في الليل وساعات الصباح الباكر نتيجة زيادة الرطوبة وتشبع الهواء ببخار الماء ، كما أن تكوّن الضباب في مدينة صنعاء يزداد في شهور الشتاء بسبب برودة الهواء وفي شهور الصيف بسبب ارتفاع محتوى الهواء من بخار الماء وارتفاع درجة حرارة نقطة الندى في ساعات الصباح الباكر عندما يصل التبريد الإشعاعي حده الأعظمي حيث يتشكل الضباب عند 15-20 درجة مئوية .

4-2- الأمطار :

تسقط الأمطار على حوض صنعاء في موسمين جدول (6) إذ يبدأ سقوطها في الموسم الأول خلال شهر آذار وينتهي في النصف الأول من أيار ، حيث يتزامن سقوط المطر مع قدوم المنخفض السوداني وتحركه باتجاه الشرق ، أما أمطار الموسم الثاني فيبدأ سقوطها مع بداية شهر تموز حتى النصف الأول من أيلول تحت تأثير الموسميات الجنوبية الغربية .

جدول (6) المعدلات الشهرية للأمطار (ملم) في مدينة صنعاء للمدة من 1993-2000م

المحطة	الشهر	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول	تشرين ثاني	كانون أول	المجموع
محطة صنعاء		5	7	26	50	31	5	50	77	6	6	8	4	275
محطة المطار		4	4	28	37	29	1	31	43	2	15	5	1	200

المصدر : الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، صنعاء، بيانات غير منشورة .

2-5- الرياح والعواصف الغبارية :

يؤثر في اتجاه الرياح وسرعتها في اليمن الضغوط الجوية المؤثرة على المنطقة صيفاً وشتاءً، ونتيجة لموقع اليمن من المنظومات الضغطية خلال فصول السنة المختلفة فإنها تقع تحت تأثير مجموعتين من الرياح العامة خلال السنة (Aljibly.1993.plol) فتتعرض اليمن في فصل الشتاء للرياح الشمالية الشرقية إذ تهب على معظم شمال اليمن والرياح الجنوبية والجنوبية الشرقية على سواحل خليج عدن نظراً لوقوع اليمن تحت امتدادات المرتفع السيبيري شتاءً، كما تظهر امتدادات المرتفع شبه المداري ومنخفض البحر الأحمر السوداني (يوسف ، 2000م ، ص 213).

أما في فصل الصيف فتتعرض اليمن لهبوب رياح جنوبية غربية نتيجة لترشح منظومة الضغط العالي شبه المداري إلى شمال الجزيرة العربية فتتضع اليمن لامتدادات المنخفض الموسمي الهندي ، وتعتبر الرياح خط الاستواء فتؤثر في كل أجزاء اليمن إذ يستمر توغلها ستة أشهر تقريباً تتمكن من الانتشار حتى خط 18° شمالاً مسببة تساقط أمطار صيفية على الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية من اليمن (عساج محمد ، 1998م، ص116).

وفي مدينة صنعاء يكون اتجاه الرياح الشمالية الشرقية هي السائدة خلال السنة إذ تشكل نسبة 66.7 % من مجموع اتجاهات الرياح العامة، على أن هذا الاتجاه يسود في الشتاء والربيع أكثر من الصيف، تليها الرياح الشمالية بنسبة 12.5 % من المجموع الكلي لاتجاهات الرياح والتي تتركز في الشتاء، في حين تسود الرياح الجنوبية الغربية صيفاً، إذ تصل نسبتها إلى 9.7 % من مجموع هبوب الرياح العامة السنوية ، أما نسبة 11.1 % من مجموع اتجاهات الرياح فتتقاسمها الرياح الغربية 4.2 % والشرقية والجنوبية الشرقية لكل منها 2.8 % والشمالية الغربية 1.4 % (يوسف ، 2000م، ص214) أما سرعة الرياح في مدينة صنعاء فيوضحها الجدول (7) .

جدول (7) المعدلات الشهرية لمتوسط سرعة الرياح في مدينة صنعاء م/ثا.

الأشهر	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون الأول	المعدل السنوي
--------	--------------	------	------	-------	------	--------	------	----	-------	---------	---------	-------------	---------------

المعدل الشهري	2.0	2.2	2.2	2.0	2.2	2.7	2.4	2.3	2.6	1.9	1.5	1.8	2.1
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

المصدر : الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، صنعاء ، بيانات غير منشورة .

ويلاحظ من الجدول (7) انخفاض متوسط سرعة الرياح عموماً في مدينة صنعاء، ويعزى هذا الانخفاض إلى خشونة سطح المنطقة الجبلية الواقعة فيها مدينة صنعاء ، فكلما زادت خشونة ووعورة سطح الأرض كلما قلت سرعة الرياح (شحادة، 1992، ص 142) ومع ذلك فأشهر الصيف ذات سرعات ريحية أعلى بالموازنة مع بقية أشهر السنة ، أما عن تكرار عدد أيام العواصف الغبارية في مدينة صنعاء فيوضه الجدول (8).

جدول (8) عدد أيام العواصف الغبارية في مدينة صنعاء للمدة من 1984-1990م

الشهر	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	كانون الأول	
عدد الأيام	0	12	10	7	10	13	8	20	17	4	3	7

المصدر : الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية ، صنعاء، بيانات غير منشورة .

ومن خلال الجدول يمكن ملاحظة أن شهور الربيع والصيف هي أكثر الأشهر التي تتعرض فيها مدينة صنعاء للعواصف الغبارية، بسبب ارتفاع درجة الحرارة نسبياً وعدم استقرار الحالة الجوية التي تسببها المنخفضات الحرارية المحلية ومنخفض البحر الأحمر ، وسيطرة منخفض الهند الموسمي صيفاً والذي يترافق بالرياح الموسمية الجنوبية الغربية والتي تتسبب بدورها في إثارة هذه العواصف .

3- مصادر التلوث الهوائي في مدينة صنعاء :

تتمثل معظم مصادر التلوث الهوائي في مدينة صنعاء في المصادر البشرية كالسيارات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية ومصانع الطوب ومناشير تكسير الحجارة والكسارات، بالإضافة إلى الزوابع والعواصف الترابية كمصدر طبيعي

وسيتّم تناول أهم مصادر التلوث الهوائي في مدينة صنعاء كما يلي :

3-1- السيارات :

أثبتت الدراسات أن السيارات مسؤولة عن أكثر من 50 % من تلوث الهواء في الدول النامية

غير الصناعية

(الأوج، 1999م ، ص 153) ، وتتصدر السيارات المصادر الأخرى للتلوث الهوائي في مدينة صنعاء، ولا سيما فيما يتعلق بالغازات ، كون المدينة لا توجد بها مصانع كبيرة ، بالإضافة إلى أن السيارات تعمل على إثارة الأتربة في الطرق الترابية والتي تعد أحد عناصر التلوث الهوائي في المدينة، تشير الدراسات إلى أن عدد السيارات في مدينة صنعاء في تزايد مستمر تبعاً لزيادة عدد السكان حيث قدر العدد الإجمالي

للسيارات في المدينة عام 2001 بحوالي 200 ألف سيارة منها 130.000 ألف سيارة تابعة لمرور أمانة العاصمة وما تبقى تابع لمحافظة صنعاء (الإدارة العامة للمرور ، 2002م).
 يضاف إلى هذا العدد الكبير من السيارات عدد من الدراجات النارية والتي يزداد استخدامها بشكل ملحوظ في الآونة الأخيرة ولم تتوفر بيانات عنها ، وهذا العدد من السيارات مسئول بشكل كبير عن تلوث الهواء في المدينة بمختلف العناصر ولا سيما غاز أول أكسيد الكربون وغاز النتروجين، فهناك علاقة طردية بين زيادة تركيز كلاً منها وعدد السيارات
 (الجار الله 1996/95 ، ص 470) إضافة إلى الجزيئات التي تثيرها السيارات أثناء حركتها على شوارع المدينة خاصة أن معظم شوارع المدينة ترابية وغير مرصوفة كما أن نوع الوقود المستخدم للسيارات يؤثر في كمية ونوعية الملوثات المنطلقة منها فتختلف كمية الملوثات المنطلقة نتيجة احتراق كل من البنزين و الديزل وفي مدينة صنعاء تجد أن السيارات التي تعمل بالبنزين هي الغالبة العظمى ، من المسح الذي تم لسيارات نقل الركاب(الجهاز المركزي للإحصاء ، 2001م) كما يوضح الجدول (9) .

جدول (9) توزيع سيارات نقل الركاب في مدينة صنعاء حسب نوع الوقود المستخدم عام 2001م .

نوع الوقود	عدد السيارات	النسب %
بنزين	16347	13.4%
مازوت	2169	11.1%
غاز ¹	734	3.7%
مختلط	350	1.8%
المجموع	19600	100

المصدر : الجهاز المركزي للإحصاء، صنعاء ، مسح النقل والمواصلات 2001م ، بيانات غير منشورة .
وبناءً على ذلك يمكن القول إن السيارات التي تستعمل البنزين مسؤولة عن تلوث الهواء بأول أكسيد الكربون وغاز النيتروجين والرصاص ، في حين أن السيارات التي تستخدم الديزل مسؤولة عن تلوث الهواء بثنائي أكسيد الكبريت والسناج(•) والروائح الكريهة .

3-2- محطات توليد الطاقة الكهربائية :

ينشأ عن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالديزل العديد من الملوثات أهمها ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين وأول أكسيد الكربون والمواد الصلبة و الهيدروكربون ، وتعتمد كمية انبعاث ثنائي أكسيد الكبريت على نسبة الكبريت في الوقود (غرابية والفرحان ، 1991م ، ص 262) ، وتوجد في مدينة صنعاء ثلاث محطات لتوليد الطاقة الكهربائية تعمل بالديزل هي : محطة القاع وهي أقدم المحطات ، وتتكون من ست وحدات توليد بقدرة 18.55 ميغاوات غرب المدينة في منطقة القاع (مرشد 2003م ، ص 69) ، ومحطة ذهبان (1) وذهبان (2) وتتكون من 9 وحدات للتوليد بقدرة 51 ميغاوات على طريق صعدة - حجة شمال غرب المدينة .

بلغ إجمالي ما استهلكته هذه المحطات من وقود الديزل خلال عام 2000م 25873م³ في حين بلغ إجمالي الوقود المستهلك خلال الفترة من كانون ثاني إلى كانون أول 2002م 36958م³ من الديزل (المؤسسة العامة للكهرباء ، 2002) وتتولد كميات كبيرة من الغازات نتيجة حرق هذه الكمية من الديزل في المحطات داخل المدينة وتحيط بها المباني السكنية وتظهر آثارها البيئية على المنطقة المحيطة بها .

3-3- مصانع الطوب (••) والبلاط و مناشير الحجارة :

ينتشر في المدينة عدد كبير من معامل الطوب والبلاط و مناشير الحجارة والتي ينتج عنها الكثير من الملوثات أهمها الجزيئات الصلبة إضافة إلى الغازات الأخرى التي تنتج من معامل حرق الطوب والتي بلغ عددها عام 1996م حوالي 107 منشأة (الجهاز المركزي للإحصاء ، 1996م، ص67) تتولى توفير المواد اللازمة للبناء والتشييد داخل المدينة، ويوجد في المدينة كذلك عدد كبير من معامل حرق الطوب الأحمر " الأجور" والذي يفضله السكان للبناء وزيادة عدد الأدوار في مبانيهم نتيجة انخفاض سعره ، وتتصاعد منها سحب كبيرة من الأبخرة والتي تحتوي على العديد من الغازات الضارة التي تنتشر في الهواء ، إضافة إلى الروائح الكريهة التي يعاني منها سكان الأحياء المحيطة بها ، كما يوجد في المدينة (112) معملًا من مصانع الطوب الإسمنتي و (118) ورشة لتكسير الحجارة (أمانة العاصمة 1993م ، ص 87) وكلها تسهم في تلويث هواء المدينة بالجزيئات الصلبة والعوالق التي تتساقط على المناطق السكنية المحيطة بها .

3-4- الكسارات والمحاجر :

تنتشر كسارات الحجارة بشكل عشوائي في الجبال المحيطة بمدينة صنعاء والتي تعمل على تكسير الحجارة عن طريق التفجير ثم تقوم بطحنها وتستخدم في مواد البناء ، وقد بلغ عدد هذه الكسارات حوالي 23 كسارة، مجموعة منها تقوم بتكسير الصخور البازلتية لإنتاج الحصى " الزلط" ومجموعة تقوم بطحن الحجارة لإنتاج الرمل الناعم (النصارى، 2001م) وقد تم قياس المواد العالقة أقل من 10 مايكرو جرام /م³ في ثلاث مواقع حول هذه الكسارات فكانت النتيجة 15 ميكرو جرام /م³ في منطقة زهبان و 100 ميكرو جرام /م³ في منطقة جرف بني حشيش و 75 ميكرو جرام/م³ في منطقة ضلاع همدان (النصارى، 2001م) ومن خلال هذه القياسات نلاحظ ارتفاع كمية الجزيئات العالقة في منطقة جرف بني حشيش ، وهذه المنطقة تقع شمال شرق المدينة والرياح السائدة هي الرياح الشمالية الشرقية والشمالية ومن ثم فإن هذه الجزيئات العالقة تنقلها الرياح إلى المدينة فتعمل على زيادة تلوث الهواء بالجزيئات كما سيأتي ذكره .

تعد الزوابع الترابية من مصادر التلوث الهوائي بالجزيئات الصلبة في مدينة صنعاء ، حيث تقوم بنقل الأتربة والغبار إلى الهواء سواء من الأراضي الواقعة خارجها أو من الشوارع الترابية والمساحات الفضاء داخل المدينة ، ولا سيما أن المدينة تعاني من قلة المساحات الخضراء وقلة الأشجار كما أن 77% من شوارع المدينة ترابية غير مرصوفة فعند تولد الزوابع الترابية تقوم بإثارة الأتربة مما يؤدي إلى تلوث الهواء في المدينة بالجزيئات العالقة وتتعرض المدينة لحدوث مثل هذه الزوابع كما وضحتها جدول (8).

(*) هباب الفحم الأسود (soot).

(**) معامل صناعة الطوب الأحمر تطلق ثنائي أكسيد الكبريت والفورين ، بجانب الرائحة الكريهة خصوصا عند تسخين الطفل (المادة الأولية) لدرجة حرارة 100-700 م

3-5- الزوابع والعواصف الترابية :

تعد الزوابع الترابية من مصادر التلوث الهوائي بالجزيئات الصلبة في مدينة صنعاء ، حيث تقوم بنقل الأتربة والغبار إلى الهواء سواء من الأراضي الواقعة خارجها أو من الشوارع الترابية والمساحات الفضاء داخل المدينة ، ولا سيما أن المدينة تعاني من قلة المساحات الخضراء وقلة الأشجار كما أن 77% من شوارع المدينة ترابية غير مرصوفة فعند تولد الزوابع الترابية تقوم بإثارة الأتربة مما يؤدي إلى تلوث الهواء في المدينة بالجزيئات العالقة وتتعرض المدينة لحدوث مثل هذه الزوابع كما وضحتها جدول (8).

4- عناصر التلوث الهوائي في مدينة صنعاء :

ينتج عن مصادر التلوث الهوائي عدداً من ملوثات هواء مدينة صنعاء ، ونتيجة لأن هذه الملوثات قد تنطلق إلى الهواء مباشرة من مصادرها الطبيعية والبشرية فتسمى ملوثات أولية أو قد تكون نتيجة التفاعل مع بعضها أو مع عناصر أخرى مع وجود أشعة الشمس فتسمى ملوثات ثانوية (Saxena, 1999, p98) وأبسط تصنيف لها حسب طبيعتها إنها تصنف إلى ملوثات غازية وجزيئات (نصر الله ،2001،ص13) ، وسيتم الاعتماد على هذا التصنيف لدراسة ملوثات الهواء في مدينة صنعاء وذلك على النحو الآتي :

4-1- الجزيئات والأتربة :

يقصد بالجزيئات ما يحمله الهواء من مواد صلبة أو وسائله تنتقل مع الرياح ، ومن مصادر عديدة بأحجام وأشكال وألوان مختلفة ويتركب كيميائي مختلف (العقيلي، 1990م ، ص 24)، وأهم مصادر الجزيئات في مدينة صنعاء هي وسائل النقل والمصانع والكسارات والزوابع الترابية كما سبق الإشارة إليها من قبل ، وقد بلغ متوسط كمية الجزيئات العالقة في هواء مدينة صنعاء حوالي 291 ميكرو جرام/م³ تقريباً (ugba,1994,p,40) ويختلف ذلك من منطقة لأخرى داخل المدينة ومن وقت لآخر كما يوضحه الجدول (10) .

جدول (10) مجموع الجزيئات العالقة (مايكرو جرم /م3) في مدينة صنعاء.

المحطة	المرحلة الأولى 2-8 ظهراً	المرحلة الأولى 6-12 مساءً	المرحلة الثانية 2-8 ظهراً	المتوسط
التحرير	311 و 32	175 و 012	340 و 301	275 و 48
باب اليمن	281 و 64	213 و 903	311 و 132	268 و 999
باب شعوب	447 و 253	515 و 313	476 و 421	479 و 662
حده	311 و 132	437 و 530	126 و 397	291 و 686
شارع مجاهد	165 و 289	77 و 783	165 و 289	136 و 120
شارع الستين	359 و 747	184 و 735	233 و 349	259 و 277
شيراتون	175 و 12	126 و 397	777 و 831	359 و 746
طريق المطار	252 و 795	418 و 08	97 و 228	256 و 35
المتوسط	288	268.6	316	290.87

(ugba,1994,p,40)

2-4- الغازات:

تنتشر الغازات بهواء المدن والمناطق الصناعية وأهم مصدر لهذه الغازات هو حرق الوقود، وأهم الغازات الملوثة لهواء المدن هي أول أكسيد الكربون ، وثاني أكسيد الكبريت، وغاز النيتروجين والهيدروكربون، المنبعثة من حرق الوقود مباشرة ولم تتوفر قياسات دقيقة في مدينة صنعاء لمعرفة تراكيز هذه الغازات في الأوقات والمناطق المختلفة في المدينة ، لكننا سنعتمد على تقديرات هيئة حماية البيئة المعتمدة على كمية استهلاك الوقود (الديزل- بنزين)، وإذا أخذنا عام 2000م كنموذج لمعرفة كمية الغازات المنطلقة نتيجة حرق كل منها على حدة لا تضح لنا مدى التلوث الذي يتعرض له هواء مدينة صنعاء كما في الجدول رقم (11).

جدول (11) تقدير كمية الغازات المنطلقة (طن) إلى الهواء في مدينة صنعاء نتيجة حرق الوقود .

النسبة %	الهيدرو كربون	النسبة %	غازات النيتروجين	النسبة %	ثنائي اوكسيد الكربون	النسبة %	أول اوكسيد الكربون	نوع الوقود
72	6549.8 1	90	38207.23	28.5	300.20	98.5	75049.9 1	بنزين
28	2559.6	10	4177	71.5	753.75	1.5	1130.62	ديزل

المصدر : الهيئة العامة لحماية البيئة ، صنعاء ، بيانات غير منشورة .

يوضح الجدول (11) أن وقود البنزين هو المصدر الأول لكل من غاز أول أكسيد الكربون وغازات النيتروجين

والهيدروكربون حيث بلغت نسبة هذه الغازات 98.5 % و 72 % من مجموع كل منها على التوالي ، بينما يعد الديزل المصدر الأول لغاز ثنائي اوكسيد الكبريت حيث بلغ نسبة ما يتصاعد من هذا الغاز نتيجة حرق الديزل حوالي 71.5 %

من مجموعه كما يمكن ملاحظة أن غاز أول اوكسيد الكربون وغاز النيتروجين هي الأكثر تلوثاً لهواء مدينة صنعاء ، حيث بلغت نسبتها 59 % و 32.9 % على التوالي من مجموع الغازات المنطلقة ، ثم تأتي الهيدروكربونات بنسبة 7.1 % ثم ثنائي اوكسيد الكبريت 08 % .

5- التأثيرات المناخية على ملوثات الهواء في مدينة صنعاء :

تلعب الأحوال المناخية دوراً بارزاً في تحديد كثافة الملوثات الجوية ، وتعد درجة الحرارة واتجاه الرياح وسرعتها من أهم العوامل المؤثرة على شدة تركيز الملوثات في الجو، يضاف إلى ذلك التهطل لما يقوم به من

دور المنظف للجو من بعض ملوثاته(موسى ، 1996 ، ص75) ويمكن توضيح تأثير العناصر المناخية على ملوثات الهواء في مدينة صنعاء كما يأتي :

5-1- درجة الحرارة :

تؤثر درجة الحرارة بصورة غير مباشرة في تلوث الهواء ، إذ تساعد على سرعة العديد من

التفاعلات الكيميائية

والكيمياء - ضوئية فهناك قاعدة تؤكد على أن ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار عشر درجات مئوية تؤدي إلى مضاعفة معدلات التفاعل الكيميائي (غرابية والفرحان ، 1991م ، ص 99) وكثيراً ما تحدث تفاعلات كيميائية ضوئية بين ملوثات الهواء الرئيسية وينتج عن ذلك ملوثات ثانوية تضاف إلى الهواء ، كما أن ارتفاع درجة الحرارة خلال ساعات النهار يعمل على تمدد الهواء ، فتحدث حركات هوائية صاعدة تؤدي إلى بعثرة وانتشار الملوثات ، ويحدث العكس عند انخفاض درجة الحرارة حيث ينكمش الهواء ، وتسود الحركات الهوائية الهابطة مما يؤدي إلى تراكم الملوثات بالقرب من سطح الأرض .

ويحدث الشيء نفسه في مدينة صنعاء حيث يعمل ارتفاع درجة الحرارة خلال ساعات النهار على تسخين الهواء ، فيتمدد وتنشط الحركات الهوائية الصاعدة، مما يؤدي إلى انتشار الملوثات الموجودة في الهواء إلى الأعلى ، وهذا يظهر جلياً عند مشاهدة المدينة من أحد المرتفعات المحيطة بها ، ولا سيما فترة ما بعد الظهر التي تكون فيها درجة الحرارة عالية والأشعة الشمسية قوية حيث تظهر طبقة الغبار تحجب الرؤية تعلو سماء المدينة ، وهذا ما يؤكد كذلك بيانات الجدول (10) السابق حيث يلاحظ ارتفاع

كمية الجزيئات العالقة المسجلة في الفترة من 2-8 ظهراً في شهر حزيران وتشيرين ثاني في معظم محطات المدينة .

في حين يعمل انخفاض درجات الحرارة في الليل إلى أرقام قريبة من الصفر المئوي في أشهر الشتاء على حدوث حركات هوائية هابطة، تعمل على تمركز الملوثات قريباً من سطح الأرض حيث يسود ضغط مرتفع تستقر فيه حالة الجو .

وبالعودة لبيانات الجدول (10) والذي يقيس تلوث الهواء في مدينة صنعاء بالجزيئات العالقة يمكن ملاحظة ارتفاع كمية الجزيئات العالقة المسجلة في الفترة الصباحية 2-8 ظهراً سواء في المرحلة الأولى " تشرين الأول " أو المرحلة الثاني "حزيران" في معظم المناطق المدروسة وذلك لارتفاع درجة الحرارة خلال هذه الفترة والتي تعمل على تصاعد تيارات الحمل الحرارية التي تثير الأتربة وتنشط الرياح، كما يلاحظ ارتفاع كمية الجزيئات العالقة المسجلة خلال شهر حزيران عن الكمية المسجلة خلال شهر تشرين الثاني وقد يعود ذلك

إلى أنه خلال شهور الصيف ولا سيما شهر حزيران تنشط الرياح والزوايح التي تثير الأتربة التي تنطلق إلى الهواء مع زيادة درجة الحرارة ولا سيما فترة التسجيل 2-8 ظهراً .

وبالرجوع كذلك لبيانات الجدول (11) السابق والخاص بتقدير كمية الغازات الملوثة والمنطلقة

لهواء مدينة صنعاء نلاحظ حجم تلوث هواء مدينة صنعاء بالغازات الضارة ، إلا أنه لم تتوفر قياسات لمعرفة تراكيز هذه الغازات في الأوقات المختلفة حتى يتضح دور العناصر المناخية فيها لكن ما يجب أن نؤكد ونشير إليه أن تراكيز هذه الغازات يختلف من وقت إلى آخر ومن مكان إلى آخر داخل المدينة ويعتمد ذلك على طبيعة مصدر الملوثات وعلى عوامل عديدة من ضمنها تأثير العناصر المناخية ولا سيما درجة الحرارة والرياح حيث أنه من المتوقع انخفاض تراكيز هذه الغازات وقت الظهيرة نتيجة لارتفاع درجة الحرارة ونشاط الرياح اللذان يعملان على تشتيت الملوثات الجوية ، وارتفاع تراكيز هذه الغازات في ساعات الليل ولا سيما شهور الشتاء بسبب انخفاض درجة الحرارة ، وتمركز الملوثات في الجو القريب من سطح الأرض .

5-2- الرياح :

تعد الرياح من أهم العناصر المناخية التي تساهم في بعثرة وانتشار الملوثات في الجو ويُعدّ اتجاه الرياح وسرعتها أهم عاملين مؤثرين في ذلك ، وفي مدينة صنعاء تنخفض سرعة الرياح بصفة عامة ، حيث تعمل الجبال المحيطة كعوائق تؤدي إلى خفض سرعتها ، إضافة إلى دور المباني في ذلك ويصل معدل سرعتها إلى حوالي 2.1م/ثا ويختلف ذلك من فصل لآخر ومن شهر إلى آخر إلا أن الرياح تكون أكثر نشاطاً وسرعة خلال شهور الصيف كما سبق الإشارة لذلك ، وبالتالي تكون هذه الشهور أقل تلوثاً بالغازات وأكثر تلوثاً بالجزيئات الصلبة التي تثيرها الرياح من شوارع المدينة ومن المصادر الأخرى والعكس يحدث في شهور الشتاء .

كما أن سرعة الرياح تختلف بين الليل والنهار فارتفاع درجة الحرارة نهاراً يؤدي إلى حدوث عدم استقرار للهواء ، حيث يسود ضغط منخفض على المدينة بسبب تيارات الهواء الصاعدة ، فعندما يرتفع الهواء إلى أعلى يكون معدل تناقص حرارته أكبر من معدل تناقص حرارة الوسط المحيط ، فتتشتت الحركات الهوائية التي تعمل على نشر الملوثات الموجودة في الهواء ، ويحدث العكس ليلاً حين يكون الهواء في حالة استقرار في ساعات الليل حيث يهبط الهواء البارد من الجبال المحيطة بالمدينة فيكون ضغط مرتفع على المدينة مما يؤدي إلى تمركز الملوثات في جو المدينة نتيجة الركود الهوائي .

5-3- الرطوبة النسبية :

تلعب الرطوبة النسبية دوراً فعالاً فيما يتعلق بتلوث الهواء . حيث أن وجود بخار الماء في الهواء يعيق انتشار الملوثات وتبعثرها في الجو فيزيد من تركيزها . إضافة إلى أنه يعيق عملية التنقية الذاتية للهواء كما أن وجود الرطوبة في الهواء يساعد على حدوث التفاعلات الكيميائية بين الملوثات الغازية حيث يؤدي زيادتها إلى سرعة إذابة الملوثات الغازية لتكون الأحماض المختلفة التي تسبب المطر الحمضي ، وعندما يقترن ارتفاع الرطوبة النسبية بارتفاع درجة حرارة الهواء تزيد سرعة التفاعلات الكيمياء-ضوئية بين الملوثات الغازية ولا سيما في حالة ارتفاع تركيز الجزيئات الصلبة فينتج عن ذلك مزيد من الملوثات، ويؤدي اقتران الرطوبة بانخفاض درجة الحرارة إلى تكون السخام ، كما أن زيادة الرطوبة في الهواء مقترناً بانخفاض سرعة الرياح ووجود الجزيئات يؤدي إلى تكوين الضباب إذ أن الضباب يتشكل بسهولة في المناطق الملوثة وذلك لأن بخار الماء يتكاثف ببسر مع وجود الجزيئات العالقة في الهواء والتي تشكل نويات التكاثف ونظراً لأن الضباب يتشكل في الطبقة الدنيا للهواء فإنه يعمل على زيادة التكاثف للملوثات ليصبح بالتالي عاملاً مساعداً في حدوث التفاعلات الكيميائية في الجو (الصطوف ، 1995م، ص 351) ، وتعرض مدينة صنعاء لتكون الضباب عدة أيام في السنة جدول (5) مما يزيد من تركيز الملوثات خلال هذه الأيام ، وعادة ما يتشكل الضباب في الليل وساعات الصباح الباكر أي أن الهواء يكون أكثر تلوثاً في هذه الأوقات ، نتيجة زيادة الرطوبة وتشبع الهواء ببخار الماء ، كما أن أيام تكون الضباب تزداد من كانون ثاني إلى آب بسبب برودة الهواء في شهور الشتاء وسقوط الأمطار في شهور الربيع والصيف .

5-4- الأمطار :

تقوم الأمطار بالعمل على تنقية الهواء مما يعلق فيه من ملوثات ، فالجزيئات الصلبة بعضها تشكل نويات تكاثف تسقط مع مياه الأمطار والبعض الآخر يأخذها المطر أثناء هطوله كما أن الأمطار الهاطلة تطهر الجو من جزء ملوثاته الكيميائية لتفاعله معه (موسى، 1996م، ص85) . وبناء على ذلك يمكن القول أن الشهور الممطرة يكون الهواء في مدينة صنعاء أكثر نقاءً من الشهور الجافة ، فشهور الربيع والصيف يكون فيها نقياً إلى حد ما ، بعكس شهور الشتاء حيث يسود

الجفاف ، كما أن تركز سقوط الأمطار في أيام قليلة من الشهر يجعل الهواء في هذه الأيام أكثر نقاءً من الأيام الأخرى التي لا يسقط فيها الأمطار .

6- الخاتمة :

ما تزال الدراسة المناخية التطبيقية نادرة في المكتبة الجغرافية اليمنية بالرغم من ظهورها في الأقطار العربية الأخرى ومثل هذه الدراسة محاولة في هذا المجال.

هدف البحث إلى دراسة وتحليل دور العناصر المناخية في التأثير على ملوثات الهواء في مدينة صنعاء ويمكن أن نقدم عرض موجز لنتائج البحث فيما يلي :

- كشفت الدراسة عن تمتع مدينة صنعاء بإشعاع شمسي كبير يصل إلى 278 ك/ك/سم²/يوم في شهر مايس ولا يقل عن 334 ك/ك/سم²/يوم في شهر كانون أول ، ولا يقل المعدل السنوي للإشعاع الشمسي عن 399 ك/ك/سم²/يوم ، وهذا يعود إلى طبيعة الموقع الفلكي لليمن وخصوصية مدينة صنعاء حيث تتعامد عليها الشمس مرتين في العام الأول في آيار والثانية في تموز .

- كان لعامل الارتفاع تأثير كبير في اعتدال درجة الحرارة على مدى أشهر السنة في مدينة صنعاء فلا يزيد المعدل السنوي لدرجات الحرارة عن 22.9° م في شهر تموز ، كما تسبب عامل الارتفاع والبعد عن المسطحات المائية في عدم ارتفاع المعدلات السنوية للرطوبة النسبية حيث لم يرتفع عن 52.3% في جميع شهور السنة أما بالنسبة للأمطار فقد أظهرت الدراسة وجود فمّتين مطريّتين في محطة صنعاء الأولى خلال فصل الصيف بمعدل 132 ملم والثانية في فصل الربيع 107 ملم.

- وتم التوصل فيما يخص الرياح إلى أن الرياح السائدة خلال شهور السنة في مدينة صنعاء هي الرياح الشمالية الشرقية تليها الرياح الشمالية ، وأن سرعة الرياح تؤثر فيها تضاريس المنطقة الجبلية الواقعة فيها مدينة صنعاء ولذلك فقد سجلت سرعة محدودة تراوحت بين 1.5-2.7 م/ثا .

- تؤثر العناصر المناخية لاسيما درجة الحرارة وسرعة الرياح بالإضافة إلى الرطوبة النسبية والأمطار في ملوثات الهواء وتركيزها أو تبعثرها في مدينة صنعاء .

- توصي الدراسة الجهات المسؤولة عن حماية البيئة في اليمن بالاهتمام بتقديم بيانات و قياسات دقيقة لملوثات الهواء في المدن اليمنية حتى تعالج مشاكل التلوث من جهة وتكون بين يدي الباحثين لتسهيل مهمة البحث والدراسة والوصول إلى نتائج صحيحة من جهة أخرى .

7- مصادر البحث :

- 1- آغا ، شاهر جمال ، جغرافية اليمن الطبيعية ، الشطر الشمالي سابقاً ، مكتبة الأنوار ، دمشق ، 1983م .
- 2- أمانة العاصمة ، الدليل الإحصائي ، 1993م .
- 3- أمانة العاصمة ، الدليل الإحصائي ، 1998م .
- 4- الأوج ، طلعت ، التلوث والبيئة ، الهيئة العامة المصرية للكتاب ، القاهرة ، 1999م .
- 5- الإدارة العامة للمرور ، أمانة العاصمة - صنعاء ، 2002م ، بيانات غير منشورة .
- 6- ترفاس واجنر ، البيئة من حولنا دليل لفهم التلوث وآثاره ، ترجمة محمد صبار ، الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية ، ط 1 ، القاهرة ، 1997م .
- 7- الجار الله ، أحمد جار الله ، تحليل كمي للعوامل المؤثرة في تباين ملوثات الهواء بمدن البترول بالمملكة العربية السعودية ، الإسكندرية ، مجلة كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية ، المجلد الرابع والأربعون 1996-95 م .
- 8- الجهاز المركزي للإحصاء ، مسح النقل والمواصلات ، 2001م ، بيانات غير منشورة .
- 9- الجهاز المركزي للإحصاء ، المسح الصناعي الأول ، 1996م .
- 10- شحادة ، نعمان ، الجغرافيا المناخية ، دار المستقبل للنشر والتوزيع ، عمان ، ط4 ، 1992م .
- 11- الشاعر ، جهاد ، جغرافية المناخ ، دراسات في المناخ الإقليمي ، منشورات جامعة دمشق كلية الآداب والعلوم الإنسانية ، 2004م .
- 12- عبد الإله الحسين الصطوف ، التلوث البيئي ، منشورات جامعة سبها ، ط1 ، ليبيا ، 1995م .
- 13- العقيلي ، سليمان محمد ، وآخرون ، تلوث الهواء ، مكتب التربية العربي لدول الخليج ، الرياض ، 1990م .
- 14- غرابية ، سامح ، ويحيى الفرعان ، المدخل إلى العلوم البيئية ، دار الشروق ، عمان ، ط3 ، 1991م .

- 15- محمد ، عبد القادر عساج ، مناخ اليمن ، مركز عبادي للدراسات والنشر ، صنعاء ، 1998م .
- 16- موسى ، علي حسن ، التلوث الجوي ، دار الفكر – دمشق ، ط2 ، 1996 م .
- 17- مرشد، زكي أحمد، منظومة الطاقة الكهربائية في اليمن، دراسة في جغرافية الطاقة رسالة ماجستير ، معهد البحوث والدراسات العربية ، القاهرة ، 2003م.
- 18- المؤسسة العامة للكهرباء ، 2002م ، بيانات غير منشورة .
- 19- نصر الله ، محمود محمد، أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجي ، سلسلة قضايا بيئية معاصرة ، القاهرة ، 2001م .
- 20- النصارى ، مظهر سعيد ، التأثيرات البيئية الناتجة عن الكسرات والماجر حول العاصمة صنعاء ، هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية ، الإدارة الجيو بيئية ، بحث غير منشور 2001م .
- 21- الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية ، إدارة المناخ ، صنعاء ، بيانات غير منشورة .
- 22- الهيئة العامة لحماية البيئة ، صنعاء ، بيانات غير منشورة .
- 23- يوسف ، عبد الحكيم محمد ، بعض الظواهر الجوية المؤثرة في تشكيل مناخ اليمن ، أطروحة دكتوراه جامعة بغداد ، كلية الآداب ، 2000م .

المصادر الإنجليزية :

- (1)- Aljibly.A-A-T-studyin Human climatology of the republic of the yemen Athesis for the degree of doctor philosophy of atts univercity of Birmingham , England , 1993
- (2)- Saxena ,H,M, Environmental Geogra phy , Rawat publication , New Delhi 1999
- (3)- ugba ,M.A. Astudy of Air pollution of sana ,a city by Deter minati of some H eary Metals and Total suspended particulate MS-sana ,a univ , 1994