

التباين المكاني والزمني لملوثات الهواء

في أنفاق مكة المكرمة ومشاعر الحج

عبد الحليم أحمد السواس^(١) و محمد إسماعيل بدوي^(٢)

^(١) قسم علم الأدوية والسموم، كلية الصيدلة، جامعة طيبة، المدينة المنورة، المملكة العربية السعودية
^(٢) معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج، جامعة أم القرى، مكة المكرمة

الملخص :

يقع نفق الملك فهد وأنفاق أجياد للمشاة والسيارات في نفس البقعة الجغرافية من الوادي وبجوار الحرم الشريف. ولقد سجل أعلى تركيز للملوثات الهوائية في نفق الملك فهد بمكة المكرمة، بينما كان أقل تركيزاً في نفق أجياد السد للمشاة. ولقد ارتبط تركيز الملوثات الهوائية مع زيادة عدد المركبات وازدياد الحركة المرورية في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر المقدسة. كذلك ارتبط تراكم غاز أول أوكسيد الكربون في أنفاق مكة المكرمة مع زيادة درجة الحرارة، بحيث زاد تراكم ملوثات الهواء في فترة الظهيرة عن فترة المساء في أغلب نقاط القياس، مما يتطلب ضبط نظام التهوية بالأنفاق تبعاً لذلك بحيث يلائم الفترتين. ولقد زاد تركيز غاز أول أوكسيد الكربون لمعدلات أعلى من الحد المسموح به في كل من نفق الملك فهد وزمن نفرة عرفات والمبيت بمزدلفة. كما زاد تركيز غاز ثاني أوكسيد الكبريت عن الحد المسموح به في كل من نفق الملك فهد وأجياد للسيارات وزمن نفرة عرفات والإقامة بمزدلفة.

ولقد تم تقويم نظام تهوية بعض أنفاق مكة المكرمة؛ حيث وجد أن نظام تهوية نفق الملك فهد أقل كفاءة من بقية الأنفاق المتضمنة بالدراسة الحالية. ولقد تم تقديم توصيات لتحقيق خفض تركيز الملوثات في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر المقدسة في موسم الحج، كما سجل تركيز الملوثات في نفق الملك خالد الذي يصل منطقة منى مع مكة المكرمة وفي مشاعر الحج، وارتبط تركيزها بعدد وتواتر مركبات النقل. ولقد تم اقتراح توصيات لخفض معدل الملوثات في مكة والمشاعر في موسم الحج وتم مقارنتها مع موسم رمضان.

الكلمات الدالة: تلوث الهواء، الأنفاق، المرور، أول أوكسيد الكربون، درجة الحرارة.

أولاً: مقدمة

خلق الله آدم، وأسكنه وذريته الأرض التي تمتلك مقومات الحياة الأساسية (عناصر البيئة الرئيسية) في توازن محكم، متمثلة بالتربة والماء والهواء.

وترتبط هذه العناصر الثلاثة بعضها بعضاً بصورة وثيقة، بحيث أن اختلال توازن عنصر فيها ينعكس على العناصر الباقية، كما أن اختلال عنصر أو أكثر من النظام البيئي يترتب عليه ظهور مشكلات بيئية جمة تؤثر على طبيعة حياة الإنسان ورفاهيته. ويسهم الإنسان في الإخلال بهذا التوازن البيئي من خلال أنشطته المختلفة سعياً للحصول على رزقه وإشباع رغباته.

والهواء من أهم عناصر البيئة الثلاثة، وهو ضروري لحياة الإنسان والحيوان والنبات على السواء. وهو مزيج من غازات حيث يتكون من ٧٨٪ نيتروجين و ٢١٪ أوكسجين ويحتوي أيضاً على حوالي ١٪ غازات خاملة من الأرجون والهليوم والكريبتون والنيون. أما تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون فيصل إلى ٣٣،٠٪، ويحتوي الهواء أيضاً بخار ماء بنسبة ١ - ٤٪.

يتعرض توازن مكونات الهواء إلى خلل في نسب تواجده الطبيعي، فيفسد الهواء، فمثلاً زيادة ثاني أوكسيد الكربون نتيجة الاحتراق تعتبر مفسدة للهواء.

كما يتلوث الهواء بدخول مواد غريبة إلى مكوناته الطبيعية، إذ يظهر غاز ثاني أوكسيد الكبريت في الأجواء القريبة من مصانع التعدين ومصافي تكرير النفط ومحطات الطاقة. وينتشر غاز النشادر في الأماكن التي تتحلل فيها الفضلات العضوية، وينتج غاز أول أوكسيد الكربون من الاحتراق غير الكامل للخشب ووقود السيارات. كما تنتج أكاسيد النيتروجين عن الاحتراق بشتى أشكاله مثل احتراق وقود السيارات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية والجزيئات الصلبة والهيدروكربونات. فاستخدام الفحم الحجري في محطات الطاقة يؤدي إلى تصاعد أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين التي تتفاعل في الجو مع بخار الماء، وتهطل مع الأمطار والثلوج على الأرض الزراعية، وتسمى الأمطار الحامضية. فمثلاً نجد أن هذا النوع من التلوث يسبب خلافاً

شديداً بين كندا وأمريكا، حيث يحتج سكان مقاطعة إنكلترا الجديدة الأمريكية لما يصيبهم من آثار بيئية ضارة لتلك الأمطار الحامضية المنتشرة من كندا^(١).

ومن أهم مصادر تلوث الهواء وسائل النقل والمواصلات بأشكالها المختلفة، حيث تمثل ٦٠ - ٩٠٪ من مجموع ملوثات الهواء. وتعتمد نوعية الملوثات التي تطلقها وسائل النقل في الهواء على نوع الوقود المستخدم، فسيارات الديزل تطلق غاز ثاني أكسيد الكبريت بنسبة قد تصل إلى ١١،٢٪. كذلك تنطلق نسبة من ملوثات الهواء من النشاطات الطبيعية المتمثلة بالبراكين وتشكل أكاسيد النيتروجين مع ظاهرة البرق^(٢).

لقد شهد العالم كوارث حقيقة بسبب التلوث الهوائي خاصة بعد الثورة الصناعية، وأسوأ تلك الحوادث ما حدث في مدينة لندن عام ١٩٥٢م من تلوث بيئي نتيجة الضباب الدخاني. وقد ينتج بسبب زيادة تركيز ثاني أكسيد الكبريت والحبوبات العالقة بالهواء. مما ينتج عنه زيادة محسوسة في معدلات الوفيات بسبب أمراض القلب والجهاز التنفسي. كما زادت معدلات التهاب القصبة الهوائية بنسبة تصل إلى أضعاف المعدل الطبيعي في غياب ظاهرة الضباب الدخاني^(٣).

كما تعرضت مدينة دنورا بولاية بنسلفانيا الأمريكية خلال شهر نوفمبر ١٩٤٨م لظاهرة الضباب الدخاني نتيجة زيادة المجمعات الصناعية بها كصناعة الصلب وحامض الكبريتيك وتعددين الزنك، وفي غضون أربعة أيام توفي عشرون شخصاً. كما زاد أكسيد الكربون في وادي سنتاكلارا الأمريكي نتيجة بناء المصانع وزيادة عدد المركبات^(٤،٥).

وشهد العالم حديثاً أوسع تلوث بيئي متعمد في تاريخ البشرية، متمثلاً في حريق آبار البترول بدولة الكويت. فقد تم إشعال ٩١٣ حقلاً للبترول في مناطق برقان ومقوي والأحمدي، حيث بلغت كمية البترول الخام المشتعلة ٦ ملايين برميل يومياً، وتبعها حرائق متفرقة لآبار بترول العراق عام ٢٠٠٣م. وانتشر الدخان المحتوي على ملوثات

الهواء إلى ارتفاعات تراوحت من ١٠٠٠ إلى ٢٢٠٠ قدم. وكان من أهم هذه الملوثات ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون وكبريت الهيدروجين والمركبات الحلقية الهيدروكربوني^(٦). وبلغ تركيزهما في مدينة الكويت ١٠٥، ١٢٧ و ٩،١ جزءاً بالمليون لغازات ثاني أكسيد الكبريت وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين على التوالي^(٧).

وانتشرت هذه الملوثات عبر الهواء إلى أنحاء العالم المختلفة القريبة والبعيدة على السواء، حيث وجدت علاقة محسوسة بين حريق آبار الكويت وزيادة تركيز الملوثات الهوائية في منطقة الجبيل بالملكة العربية السعودية^(٨)، وبعض المناطق الأخرى من العالم مثل هاواي^(٩)، وهكذا تأثر الإنسان والحيوان والنبات في العديد من مناطق العالم بهذه الجريمة البيئية^(١٠).

وبصورة عامة، يرتفع معدل أول أكسيد الكربون في المدن الصناعية الأوربية والأمريكية بسبب حركة النقل والمرور داخل المدن، إذ كلما ازدحمت الحركة واكتظت الشوارع بالسيارات، وانخفضت سرعة المركبات زاد معدل انبعاث غاز أول أكسيد الكربون، الذي يتحد مع هيموجلوبين الدم بدلاً من الأوكسجين ويؤدي إلى أعراض الصداع والغثيان والاختناق. وفي الحالات المزمنة، يزداد طلب الأنسجة للأوكسجين بسبب تراكم أول أكسيد الكربون الجزئي في هيموجلوبين الدم، مما يتسبب في زيادة ضربات القلب وارتفاع معدل الإصابة بأمراض القلب.

وقامت نهضة حضارية في المملكة العربية السعودية على مختلف الأصعدة متضمنة تطوراً زراعياً وصحياً وتطويراً لمناجم المعادن والخامات وإقامة صرح صناعي هائل في منطقتي الجبيل وينبع، حيث كانتا في السابق أرضاً ريفية لا تعرف مفسدات وملوثات الهواء. ولم تقتصر النهضة الحضارية على الجبيل وينبع بل شملت معظم مدن المملكة كالرياض والدمام وجدة على وجه الخصوص، حيث بنيت مجمعات صناعية متطورة مما أدى إلى زيادة في مصادر التلوث البيئي والهواء بخاصة.

لقد أظهرت الدراسات البيئية أن أهم مصادر التلوث بمنطقة الرياض هي وسائل النقل ومحطات الطاقة الكهربائية ومصافي البترول ومصانع الاسمنت، حيث سجلت مستويات أعلى من الحد المسموح به من الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ومركبات الرصاص^(١١،١٢). فبلغ تركيز أول أكسيد الكربون في أحد شوارع الرياض الرئيسية في اتجاه عكس سير المركبات ١٠٠ جزءاً بالمليون، بينما تراوح تركيزه في الشوارع الفرعية من ١٨ - ٥٦ جزءاً بالمليون^(١٣). وفي حالات التعرض لمدة ساعة وثمانية ساعات، حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٤٣ و ٢٨ جزءاً بالمليون تبعاً^(١٤)، وزاد عن المعدل المسموح به بالمملكة العربية السعودية. مما أدى إلى زيادة مستوى هذا الغاز داخل السيارات وتعرض الإنسان له أثناء القيادة والتقل في السيارات. ولقد وصلت نسبته داخل السيارات بالنسبة لتركيزه بالوسط المحيط الخارجي ٨٤. واستمرت زيادة التركيز بقيمة ثابتة داخل المركبة رغم تشغيل جهاز التدفئة أو المكيف. ولقد وجد أن نسبة تأثير حجم السيارات بالداخل والعوامل البيئية المحيطة قليل نسبة لمتوسط زيادة نسبة غاز أول أكسيد الكربون داخل المركبة^(١٥)، كما وجد تركيز محسوس من الجزيئات العالقة في الهواء وغاز ثاني أكسيد الكبريت وكبريت الهيدروجين خاصة بالقرب من المناطق الصناعية^(١٦). كما سجل تركيز عال من أول أكسيد الكربون قرب مدينة الظهران، حيث بلغ ٣٠٠ جزء بالمليون في حدود منطقة الظهران، وتناقص تبعاً على ساحل الخليج العربي لغاية ٨٠ جزء بالمليون^(١٧)، وزاد في جدة التلوث الهوائي مع التوسع العمراني والتطور الصناعي، مما خلق مشكلة هامة، فانخفض معدل الرؤية الأفقية وخاصة في ساعات الصباح الباكر. ومن أهم مصادر التلوث بجدة وسائل المواصلات ومحطة توليد الطاقة الكهربائية ومحطة تحلية مياه البحر ومصفاة تكرير البترول^(١٨). وسجل تركيز أول أكسيد الكربون في ١٩٨٤، ١٩٨٥، ١٩٨٦ و ١٩٨٧م حيث بلغ المعدل الوسطي ١،٤٨، ١،٩، ١،٥١ و ١،٩٦ على التوالي^(١٩). وبلغ معدل تركيزي غاز ثاني أكسيد الكبريت وثاني كبريت الهيدروجين خلال سنوات ١٩٨٤، ١٩٨٥، ١٩٨٦ و ١٩٨٧ في جدة على

التوالي (٠،٣٥، و ٠،٧١)، (٠،٣٩، و ٠،٦٣)، (٠،٣٥، و ٠،٣٩) و (٠،٨٨، و ٠،٣٩)، جزء في المليون من الهواء الجوي تبعاً^(٢٠،٢١). كذلك سجلت تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكبريت والجزيئات العالقة في الهواء بمنطقة ينبع الصناعية وعلى بعد دائرة قطرها ١٠ كم^(١٧). ولقد تأثرت النباتات المزروعة بزيادة غاز أكسيد الكبريت في منطقة الأحساء، بينما كان التركيز غير محسوس في منطقة الهفوف^(٢٢).

وفي منطقة مكة المكرمة، ونظراً لطبيعتها الجغرافية المميزة؛ حيث الجبال الصخرية الصماء محيطة بشعابها وأوديتها من كل جانب، وتتغير درجة الحرارة في الليل والنهار بفارق بسيط، مما يجعل حركة الرياح في حدودها الدنيا. كما أن أمطارها موسمية وشحيحة ويندر فيها الثلج والبرد، في حين تؤثر الرياح والأمطار والثلوج والبرد إيجابياً كوسائل فيزيائية في تخفيف وانتشار وترسيب الملوثات الهوائية ومن ثم تنقية الهواء الجوي من الملوثات والجزيئات العالقة به. لذلك فإن انخفاض التهوية وقلة الأمطار في بيئة يؤدي إلى تراكم الملوثات الهوائية. وتنطبق هذه الصفات على مكة المكرمة مما يجعلها عرضة لتراكم هذه الملوثات. من أجل ذلك قامت حكومة خادم الحرمين الشريفين بتطوير مكة المكرمة والمشاعر، فشقت الأنفاق الأرضية وتحت الأرضية. كما أنشئت الطرق السريعة لاستيعاب وتسهيل الحركة المرورية من وإلى الأماكن المقدسة في مناطق المشاعر المقدسة.

وقد أنشئ نفق الملك فهد (السوق الصغير) كتجربة فريدة من نوعها في مكة المكرمة لكونه نفقاً تحت أرضي، وأنفاق أخرى أرضية متعددة مثل نفق أجياد السد للسيارات والمشاة ونفق الملك خالد وأنفاق الطريق الدائري الثاني وأخرى لا يتسع المجال لذكرها... ولقد بذل جهد هندسي وتقني لتنفيذ هذه الأنفاق بكفاءة عالية ومواصفات مما جعل انسياب الحركة المرورية إلى الحرم الشريف^(٢٣، ٢٤، ٢٥)، مميزة وتتم ببسر وسهولة لقاصدي البيت العتيق. ولقد بينت دراسة خواص الهواء لنفقي الملك فهد وأجياد للسيارات في شهر رمضان المبارك تراكم غاز أول أكسيد الكربون في نفق الملك فهد بنسبة أعلى من الحد المسموح به وأعلى من نفق أجياد للسيارات^(٢٦).

وفي مشعر منى تم تعيين تركيز غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت في حج ١٣٩٩هـ. ولقد وجد أن غاز أول أكسيد الكربون يزداد بشكل واضح خلال فترة مشعر منى (١٠ إلى ١٢ ذي الحجة) حيث وصل ٤٧ جزء بالمليون. وبلغ تركيز غازي ثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت ٠,١ و ٠,٠٩ جزء بالمليون على التوالي^(٢٧). وفي حج ١٤٠٢هـ زاد تركيز غاز أول أكسيد الكربون في وادي منى وبلغ متوسط التركيز ٥٠ جزء بالمليون في اليوم الأول عند وصول الحجاج إلى منى قادمين من مشعر عرفات (٢٨، ٢٩). وفي حج عام ١٤١٣هـ سجل تركيز أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين ٢٥ جزء بالمليون وهو أقل من التركيز المسموح به بموجب معيار منظمة الصحة العالمية^(٢٨). وبلغ تركيز ثاني أكسيد النيتروجين ١٠٠ - ٢٤٥ ميكروغرام بالمتر المكعب^(٢٩).

وتهدف الدراسة الحالية متابعة دراسة تركيز غازات التلوث الهوائي في مشاعر الحج وفي آن واحد بمنطقة مكة المكرمة حيث تمت الدراسات السابقة بصورة منفصلة. تباعاً ومن الأهمية بمكان أن تتم دراسة مقارنة تشمل الأنفاق الأرضية وتحت الأرضية لمنطقة الحرم الشريف والمشاعر المقدسة في موسم الحج ١٤٢٩هـ، لتقويم خصائصها ووسائل الأمن والسلامة فيها أيضاً. وخواص موسم الحج تعتبر صورة مكبرة لموسم رمضان حيث تشمل التنقل بين الحرم الشريف والمشاعر المقدسة وتسلك وتستخدم في موسم الحج أنفاق أخرى ومنها الأنفاق النافذة للمشاعر المقدسة ومنها نفق الملك خالد للسيارات. كما أن الكم الهائل من وسائل النقل المختلفة الأنواع حجماً ونظماً من حيث الوقود المستخدم والمتجهة إلى المشاعر المقدسة (عرفه ومزدلفة ومنى)، واجتماع أعداد من الحجيج من مختلف بقاع العالم الإسلامي في فترة زمنية محدودة تتغير فيها العوامل الجغرافية حسب الفصول المتتابعة بشكل تدريجي عاماً بعد عام أمر متميز يستحق الدراسة والتحليل لتحقيق الأمن والسلامة الصحية للمقيمين والزائرين على السواء في مكة المكرمة والمشاعر المقدسة.

ثانياً: طريقة العمل

١. أجهزة قياس تركيزات ملوثات الهواء مزودة بكاشفات الإلكتروليتية:

تم استخدام وحدة قياس جهاز CP4000 المصنع بشركة Dactwell البريطانية والمجهز بأربع كاشفات للغازات وهي أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت والأوكسجين والمعايرة بتركيزات نظامية بهدف الوصول إلى قياس دقيق لتركيز الغازات الملوثة للهواء. وتسجل قراءات تركيز الملوثات الهوائية آلياً في صورة قيم حسابية كجزء بالمليون لغازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين ونسبة مئوية في حالة الأوكسجين.

٢. خطة البحث:

أ) أماكن القياس :

١. نفق الملك فهد:

تم تحديد عشر نقاط لقياس الغازات بتقنية الكاشفات الإلكتروليتية داخل وخارج النفق في كلا الاتجاهين، بحيث يتم مقارنة الغازات داخل النفق بالنسبة للمحيط الخارجي له. ولقد تم اختيار أربع نقاط داخل نفق الملك فهد وهي على التوالي: المدخل اتجاه قصر الصفا^(١) وباب الملك عبد العزيز^(٢)، وباب الملك فهد^(٣)، والمخرج^(٤)، وأربعة نقاط لجمع العينات بطريق الإياب للمركبات باتجاه قصر الصفا وهي: المدخل من اتجاه طلعة الحفاير^(٦)، وباب الملك فهد^(٧)، والملك عبد العزيز^(٨)، ومخرج النفق^(٩).

أما خارج نفق الملك فهد، فقد تم اختيار نقطة قصر الصفا قبل مدخل النفق^(١٠)، ونقطة الحفاير^(٥)، لتعيين خواص الهواء في البيئة خارج النفق (أنظر الشكل التوضيحي رقم - (١).

٢. نفق أجياد السد للسيارات (محبس الجن):

تم قياس تركيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد السد للسيارات في نقاط داخل وخارج النفق، وذلك باختيار نقطتين خارج النفق وهي ساحة المدخل^(١) وساحة المخرج^(٢) تجاه سير المركبات من الحرم إلى محبس الجن. أما داخل النفق فقد تم اختيار مدخل النفق^(٣)، ووسطه^(٤) ومخرجه^(٥) لتعيين تركيز الغازات باستخدام جهاز CP 4000، (انظر الشكل التوضيحي رقم - ٢).

٣. نفق أجياد السد للمشاة:

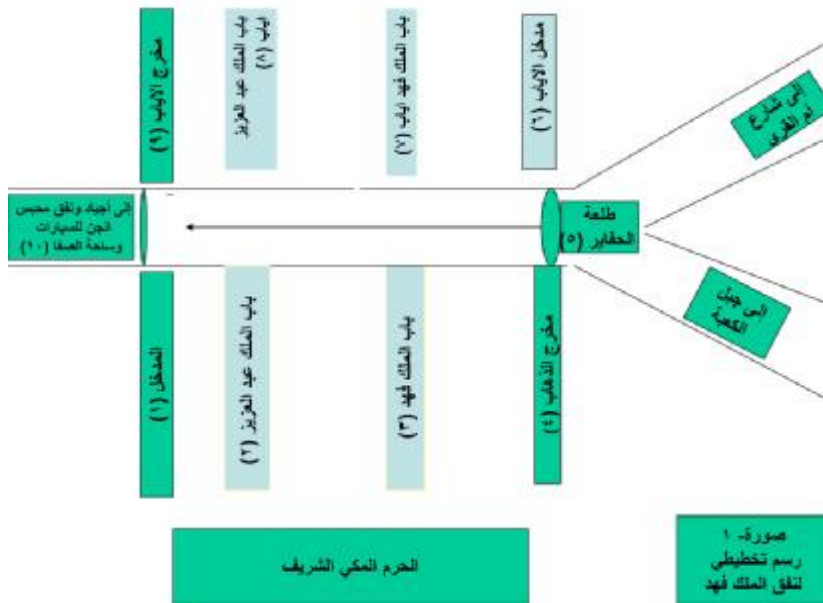
تم قياس تركيز الغازات في نفق أجياد السد للمشاة باختيار خمس نقاط قياس، ثلاثة منها داخل النفق وهي: مدخل ووسط ومخرج النفق، ونقطتين خارج النفق وهما ساحة محبس الجن وساحة مسجد البيعة الصغرى.

٤. نفق الملك خالد للسيارات بالعزبية:

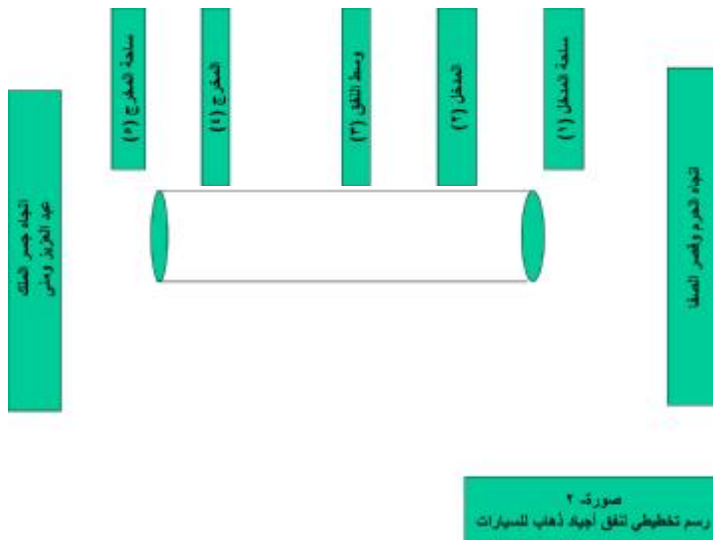
تم قياس تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك خالد باستخدام تقنية الكاشفات الإلكترونية كيميائية CP 4000 في خمس نقاط قياس منها نقطتان خارج النفق، هما ساحة باب قصر منى عند المدخل ونقطة منى خارج نفق الملك خالد. أما النقاط الثلاثة فكانت عند المدخل ووسط ومخرج النفق على التوالي.

٥. قياس تركيز الملوثات الهوائية في عرفه ومزدلفة:

تم قياس تركيز الملوثات الهوائية يوم عرفه في توقيت زمني مختلف باستخدام تقنية الكاشفات الإلكترونية كيميائية CP 4000. ولقد تم قياس تركيز الغازات في مزدلفة في توقيت زمني متفاوت مساء يوم التاسع من ذي الحجة.



شكل (١): مخطط تمثيلي لمواقع قياس ملوئات الهواء في نفق الملك فهد بمكة المكرمة



شكل (٢): مخطط تمثيلي لمواقع قياس ملوئات الهواء في نفق أجناد للسيارات بمكة المكرمة

٦. قياس تراكيز الملوثات الهوائية في منى أيام التشريق:

تم قياس تركيز الملوثات الهوائية في نقطتين من منى أيام التشريق وهما جسر الملك عبد العزيز ووادي الجمرات في فترات زمنية مختلفة، ويرتفع جسر الملك عبدالعزيز جغرافياً عن وادي الجمرات.

ب. طريقة القياس:

تم تسجيل عشر قراءات متوالية في خلال ١٢٠ ثانية من الزمن عند كل موقع باستخدام جهاز كاشفات الإلكتروكيميائية CP 4000 ومن ثم تم حساب المتوسط لهذه القراءات وحساب معدل الخطأ الحسابي الإحصائي.

كذلك تم تسجيل القياسات في فترات زمنية مختلفة ظهراً ومساءً (الساعة ١٢ ظهراً والعاشر مساءً على التوالي) لدراسة تأثير العوامل البيئية في تخفيف الملوثات البيئية ومنع تراكمها.

ثالثاً: النتائج

١. تركيز ملوثات الهواء في نفق الملك فهد:

١ - أ) تركيز ملوثات الهواء في فترة الظهيرة:

بلغ أعلى مستوى لغاز أول أكسيد الكربون في موقع باب الملك فهد، حيث بلغ ٤٤، ٦٠ جزءاً بالمليون في اتجاه الذهاب ٦٩، ٥٦ في اتجاه الإياب. كما بلغ تركيز أول أكسيد الكربون عند باب الملك عبد العزيز ٥٥، ٤١ و ٥٤، ١٦ في الذهاب والإياب على التوالي.

أما تركيز أول أكسيد الكربون عند مدخل النفق، فكان أقل من المخرج، حيث بلغ ٦٩، ٣٣ و ٣٩، ١ على التوالي (الشكل رقم ٣). ولقد وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون في مخرج النفق بمرحلة الإياب (٥٩، ٣) أعلى من داخل النفق عند باب الملك عبد العزيز (٥٤، ١٦). وكانت الصورة مماثلة مع غاز ثاني أكسيد الكبريت (جدول ١)، حيث بلغ أعلى تركيز له عند باب الملك فهد ٦٧، ٠ و ١٠، ٠٧ جزءاً بالمليون في مرحلتي الذهاب والإياب على التوالي، بينما بلغ تركيزه عند باب الملك عبد العزيز

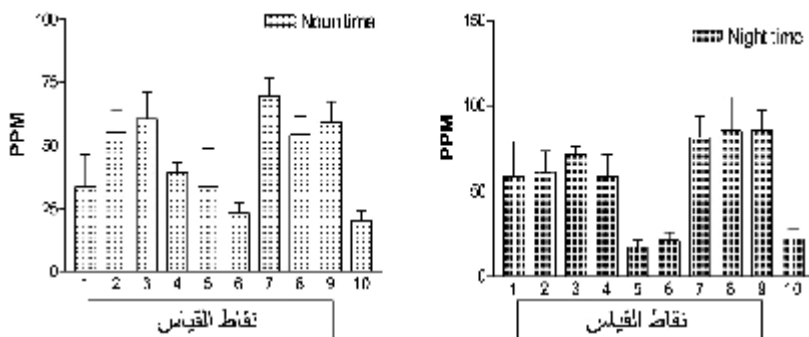
جدول (١)

تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد

نوع الغاز						الموقع/ بالفترة الزمنية
O2		NO2		SO2		
فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,١٧ + ٠,٢٧	٠,٠٢ ± ٠,٢١	٠,٠٥ ± ٠,٠٥	٠,٧٢ ± ٠,٨٩	مدخل النفق
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,١٥ + ٠,٢١	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٦ ± ٠,٥٨	٠,١٨ ± ٠,٥٦	باب الملك عبد العزيز
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,١ + ٠,٢٠	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٢ ± ٠,٨٤	٠,٢٦ ± ٠,٦٧	باب الملك فهد
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠٥ + ٠,٠٨	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٦ ± ٠,٧٧	٠,١٨ ± ٠,٥٣	المخرج
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠٠ + ٠,٠٠	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٨ ± ٠,١٣	٠,١٨ ± ٠,٤	طلعة الحضائر
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠٥ + ٠,٠٥	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٥ ± ٠,٣	٠,١٦ ± ٠,٤٥	مدخل العودة
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,١٢ + ٠,٢٧	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٥ ± ١,٠٩	٠,٢٥ ± ١,٠٧	باب الملك فهد (إياب)
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,١ + ٠,١٣	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٤ ± ١,٠٥	٠,٢ ± ٠,٩	باب الملك عبد العزيز (إياب)
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,١٢ + ٠,١٩	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٥ ± ١,١٧	٠,٢٦ ± ١,٠٥	مخرج العودة (إياب)
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠١ + ٠,٠١	٠,٠ ± ٠,٠٠	٠,١٢ ± ٠,٢٤	٠,٢ ± ٠,٦	قصر الصفا (إياب)

تمثل القيم متوسط تركيز غازات ثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

تركيز غاز أول أكسيد الكربون

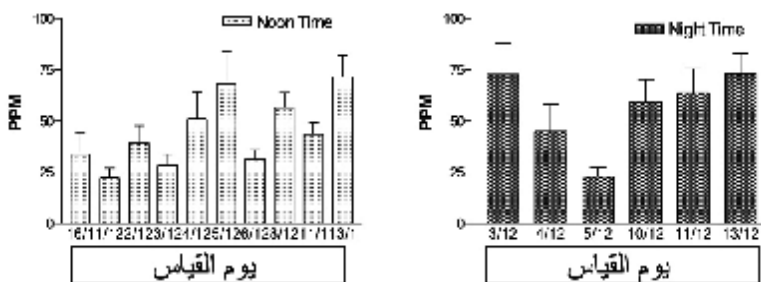


شكل رقم ٣: يمثل محور (س) نقاط القياس وهي على التوالي: المدخل اتجاه قصر الصفا (١) وباب الملك عبد العزيز (٢)، وباب الملك فهد (٣)، والمخرج (٤)، وأربعة نقاط لجمع العينات بطريق الأياب للمركبات باتجاه قصر الصفا وهي: المدخل من اتجاه طلعة الحفاير (٦)، وباب الملك فهد (٧)، والملك عبد العزيز (٨)، ومخرج النفق (٩). أما خارج نفق الملك فهد، فقد تم اختيار نقطة قصر الصفا قبل مدخل النفق (١٠)، بينما يمثل محور (ع) قيم جزء بالمليون من غاز أول أكسيد الكربون ظهراً ومساءً (□ ، ■)

في مرحلتي الذهاب والإياب ٥٦، ٩ و ٠، على التوالي. أما تركيز ثاني أكسيد النيتروجين، فكان تركيزه غير محسوس (حسب معدل حساسية جهاز القياس) في جميع أيام القياس لشهر ذي الحجة. كما كانت نسبة غاز الأوكسجين حول المعدل الطبيعي لدى جميع نقاط القياس، حيث بلغت ٢١٪ (جدول ١).

وقد بلغ تركيز أول أكسيد الكربون قيمة عظمى يوم ١٣ ذي الحجة، حيث بلغ معدل تركيزه ٦٨، ٧١ جزءاً بالمليون. ولم تظهر النتائج زيادة متصاعدة مع أيام الحج فكانت متغيرة من يوم لآخر (الشكل ٤).

تركيز غاز أول أكسيد الكربون



شكل رقم ٤: يمثل محور (س) أيام القياس من شهر ذي الحجة، بينما يمثل محور (ع) قيم جزء بالمليون من غاز أول أكسيد الكربون ظهراً ومساءً على التوالي (□ ■).

وعموماً كانت زيادة محسوسة في أيام ٤ و ٥ و ٨ من شهر ذي الحجة، حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٥١,٢٨؛ ٦٨,٤ و ٥٦,٠٦ جزءاً بالمليون على التوالي وأعلى من بقية أيام ذي الحجة باستثناء يوم نفرة التعجل ١٣ ذي الحجة. أما غاز ثاني أكسيد الكبريت، فقد بلغ أعلى مستوى له يوم ٣ ذي الحجة حيث بلغ ٢,٢١ جزءاً بالمليون. كما بلغ ١,٣٢ و ١,٢٥ يومي ١ ذي الحجة و ٤ ذي الحجة على التوالي وتراوح في بقية الأيام بين ٠,٢١ إلى ٠,٧١ جزءاً بالمليون (جدول ٢). وكان تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع أيام القياس من شهر ذي الحجة، بينما حافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية ثابتة وهي ٢١٪ (جدول ٢).

١ - ب. تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد في الفترة المسائية:

بلغ أعلى تركيز لغاز أول أكسيد الكربون في مرحلة الذهاب (من قصر الصفا إلى طلعة الحفاير) عند باب الملك فهد ٧١,٧ جزءاً بالمليون.

جدول (٢) : تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد

نوع الغاز						التاريخ/ بالفترة الزمنية
O2		NO2		SO2		
فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	
-	٠,٠ ± ٢١	-	٠,٠ ± ٠,٠	-	٠,٠ ± ٠,٠	١١/١٦
-	٠,٠ ± ٢١	-	٠,٠ ± ٠,٠	-	٠,١٥ ± ١,٣٢	١٢/١
-	٠,٠ ± ٢١	-	٠,٠ ± ٠,٠	-	٠,١١ ± ٠,٧١	١٢/٢
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,١١ ± ٠,٤٦	٠,٠ ± ٠,٠	٠,١٦ ± ١,٠٣	٠,٥٩ ± ٢,٢١	١٢/٣
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠٧ ± ٠,١١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٢٥ ± ٠,٨	٠,١٧ ± ١,٢٥	١٢/٤
٠,٠ ± ٢١	-	٠,٠ ± ٠,٠	-	٠,١٢ ± ٠,٦	-	١٢/٥
-	٠,٠ ± ٢١	-	٠,٠ ± ٠,٠	-	٠,٠٦ ± ٠,١٨	١٢/٦
-	٠,٠ ± ٢١	-	٠,٠ ± ٠,٠	-	٠,١٣ ± ٠,٦٩	١٢/٨
٠,٠ ± ٢١	-	٠,٠٥ ± ٠,٨٤	-	٠,١٣ ± ٠,٤٥	-	١٢/١٠
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠١ ± ٠,٠١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,١٣ ± ٠,٤٨	٠,١١ ± ٠,٢١	١٢/١١
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠٧ ± ٠,١٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,١٦ ± ٠,٥٦	٠,١٣ ± ٠,٤٢	١٢/١٣

تمثل القيم متوسط تركيز غازات ثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الإحصائي.

أما عند باب الملك عبد العزيز، فلقد بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٦١،٦ جزءاً بالمليون. وكان تركيز أول أكسيد الكربون في مدخل النفق ومخرجه متساوياً تقريباً، حيث بلغ ٥٨،٤ و ٥٨،٧ جزءاً بالمليون على التوالي. أما في طلعة الحفاير، فقد بلغ ١٧،٣ جزءاً بالمليون. كذلك في مرحلة الإياب، فلقد زاد قليلاً تركيز أول أكسيد الكربون عند باب الملك عبد العزيز عن تركيز أول أكسيد الكربون عند باب الملك فهد، حيث بلغ ٨٥،٣ و ٨١،٦ جزءاً بالمليون على التوالي. كما كان تركيز أول أكسيد الكربون عالياً عند المخرج بالمقارنة مع المدخل بما يزيد على أربعة أضعاف، حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٨٥،٥ و ٢١،٠ جزءاً بالمليون على التوالي. ولقد تراكم عند المخرج وبلغ تركيزه ٨٥،٥ جزءاً بالمليون، بينما كان التركيز أقل في ساحة قصر الصفا خارج النفق حيث بلغ ٢١،٩ جزءاً بالمليون (الشكل رقم ٣).

كذلك كانت نتائج قياس تركيز ثاني أكسيد الكبريت مشابهة لنتائج أول أكسيد الكربون من حيث تراكم تركيزه في وسط النفق وبلغ تركيزه عند باب الملك عبد العزيز ٥٨،٠ و ١،٠٥ جزءاً بالمليون في مرحلة الذهاب والإياب على التوالي. كما كان تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين أعلى عند مدخل النفق من اتجاه قصر الصفا عن مخرج طريق الذهاب عند طلعة الحفاير، حيث بلغ ٢٧،٠ و ٠،٠٨ على التوالي (جدول ١).

وزاد تركيز ثاني أكسيد النيتروجين عند باب الملك فهد في مرحلة الإياب عن تركيزه في مرحلة الذهاب، حيث بلغ ٢٧،٠ و ٢،٠ جزءاً بالمليون على التوالي، بينما نقص تركيزه بمرحلة الإياب عن الذهاب عند باب الملك عبد العزيز فبلغ ١٣،٠ و ٢١،٠ جزءاً بالمليون على التوالي وحافظ غاز الأوكسجين على نسبة طبيعية ثابتة في جميع أماكن القياس بنفق الملك فهد وهي ٢١٪ (جدول ١).

ولم تسجل علاقة بين تركيز الملوثات وأيام شهر ذي الحجة، حيث كان تركيزها متفاوتاً في أيام المشاعر، فكان تركيز أول أكسيد الكربون عالياً يوم ٣ ذي الحجة، ثم انخفض يوم الرابع والخامس من نفس الشهر، حيث بلغت ٧٩،٧٢ و ٣،٤٥ و ٨٢،٢٢ جزءاً بالمليون على التوالي. ثم ارتفعت يوم العاشر إلى الثالث عشر من نفس الشهر وبصورة تدريجية، حيث بلغت ٦٤،٥٩ و ٠٣،٦٤ و ٢،٧٣ جزءاً بالمليون على التوالي (الشكل ٢).

كذلك توافق غاز ثاني أكسيد الكبريت في نقصانه وزيادته مع غاز أول أكسيد الكربون. أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين، فكان متغيراً، فلقد تناقص يوم الثالث والرابع والخامس من شهر ذي الحجة، حيث بلغ ٤٦،٠ و ١١،٠ جزءاً بالمليون وصفاً على التوالي، ثم زاد يوم العاشر إلى الثالث عشر من نفس الشهر، حيث تراوح تركيزه بين ٨٤،٠ إلى ١٩،٠ جزءاً بالمليون.

كما حافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية وهي ٢١٪ طوال أيام القياس من الثالث إلى الثالث عشر من شهر ذي الحجة (جدول ٢).

٢. قياس تركيز الملوثات الهوائية بنفق أجياد السد للسيارات:

٢- أ) تركيز الملوثات في فترة الظهيرة:

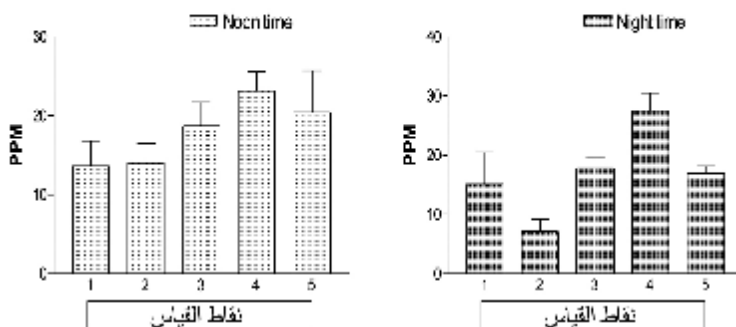
بلغ تركيز أول أكسيد الكربون في نفق أجياد السد للسيارات أعلى قيمة له عند المخرج باتجاه منى، حيث بلغ تركيزه عند المدخل ووسط ومخرج النفق ١٤، ١٨،٧ و ٢٣، ١٤ جزءاً بالمليون على التوالي.

وكان تركيز أول أكسيد الكربون في ساحة خارج النفق باتجاه منى أعلى من ساحة قبل المدخل (اتجاه الحرم)، حيث بلغ التركيز في ساحة المدخل وساحة المخرج ١٣، ٦ و ٢٠، ٤ جزءاً بالمليون على التوالي (شكل ٥).

كما كان تركيز ثاني أكسيد الكبريت متساوي القيمة في نقاط القياس وبزيادة في ساحة المخرج حيث بلغ ٠،٧٤ جزءاً بالمليون. مما يشير إلى كفاءة مراوح الشفط في طرد غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى خارج النفق باتجاه سير المركبات، بحيث حافظ التركيز على نسبة متوازنة ولم يحدث تراكم للغاز في وسط النفق.

أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين فلم يسجل تراكيز محسوسة منه داخل نفق أجياد السد في جميع نقاط القياس داخل وخارج النفق على السواء. وحافظ تركيز الأوكسجين على نسبة طبيعية ثابتة في هواء النفق وقدرها ٢١٪ (جدول ٣).

تركيز غاز أول أكسيد الكربون في نفق أجياد



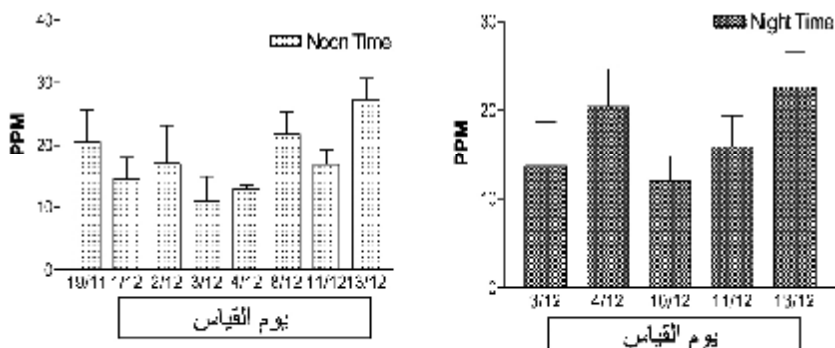
شكل رقم ٥: يمثل محور (س) نقاط القياس وهي على التوالي ساحة مدخل نفق أجياد، ونقطة مدخل ووسط ومخرج النفق وساحة المخرج باتجاه الذهاب من الحرم إلى العزيزية،

على التوالي بينما يمثل محور (ع) قيم جزء بالمليون من غاز أول أكسيد الكربون ظهراً ومساءً (□ ، ●).

وكانت نسبة تركيز الملوثات متغيرة في النصف الأول من شهر ذي الحجة، حيث بلغت أعلى قيمة لها من تركيز غاز أول أكسيد الكربون في فترة الظهيرة يوم ١٩ ذو القعدة و ١٣ ذو الحجة ٢٠،٥٨ و ٢٧،٣٦ جزءاً بالمليون على التوالي. وتناقص يوم الأول ثم زاد في اليوم الثاني من شهر ذي الحجة وتناقص ثانية يوم الثالث والرابع، حيث بلغ ١٤،٤٨ و ١٦،٩٦ و ١١ و ١٢،٨٨ جزءاً بالمليون على التوالي. وزاد في اليوم الثامن ثم تناقص يوم الحادي عشر من نفس الشهر، حيث بلغ ٢١،٧٦ و ١٦،٨ جزءاً بالمليون على التوالي (شكل ٦).

أما غاز ثاني أكسيد الكبريت فلقد كان أعلى تركيز له يوم الأول والثالث من شهر ذي الحجة، حيث بلغ ١،٢٧ و ١،٣ جزءاً بالمليون على التوالي. ثم تناقص في يوم الرابع إلى ١،١٥ جزءاً بالمليون وبصورة مغايرة لغاز أول أكسيد الكربون فلقد كان تركيز ثاني أكسيد الكبريت منخفضاً يوم الثالث عشر من شهر ذي الحجة. كما كان تركيزه غير محسوس يوم الحادي عشر وقل تركيزه يوم الثامن عن معدل تركيزه في الأيام الأولى من شهر ذي الحجة حيث بلغ ٣٤،. جزءاً بالمليون، ولكنه كان أعلى من الأيام التالية من شهر ذي الحجة. وكذلك يوم التاسع عشر من شهر ذوالقعدة أيضاً لم يسجل تركيز محسوس لغاز ثاني أكسيد النيتروجين لجميع أيام شهر ذي الحجة ويوم التاسع عشر من شهر ذي القعدة. أما غاز الأوكسجين فقد حافظ على نسبة طبيعية وقدرها ٢١٪ طوال أيام القياس (جدول ٣).

تركيز غاز أول أكسيد الكربون في نفق أجياد



شكل رقم ٦: يمثل محور (س) أيام القياس من شهر ذي الحجة، بينما يمثل محور (ع) قيم جزء بالمليون من غاز أول أكسيد الكربون ظهراً ومساءً (□ ، ■) على التوالي.

٣ - ب) تركيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد السد في الفترة المسائية:

بلغ أعلى تركيز لغاز أول أكسيد الكربون عند مخرج نفق أجياد السد، حيث بلغ ٢٧،٤٨ جزءاً بالمليون وزاد التركيز في وسط النفق عن تركيز المدخل، حيث بلغ ١٧،٨ و ١٦،٧ جزءاً بالمليون على التوالي.

وتشير القياسات إلى أن تركيز أول أكسيد الكربون في ساحة مدخل النفق (اتجاه الحرم) يزيد ضعفين على مدخل النفق، حيث بلغ ١٥،٢ جزءاً بالمليون. وكان تركيز أول أكسيد الكربون مقارباً بالقيمة في ساحة مخرج النفق في اتجاه منى، حيث بلغ ١٦،٩٦ جزءاً بالمليون.

كذلك حافظ غاز ثاني أكسيد الكبريت على نسبة متقاربة في نقاط القياس، حيث تراوح تركيزه من ٠،٢٧ في مدخل النفق إلى ٠،٣٥. في المخرج بصورة متزايدة وبشكل تدريجي. وكانت هذه الكمية متقاربة مع تركيزه ٠،٣٢ و ٠،٣ جزءاً بالمليون في ساحة المدخل وساحة المخرج للنفق على التوالي.

وسجل أعلى تركيز لغاز ثاني أكسيد النيتروجين عند مخرج النفق، حيث بلغ ١٤،. جزءاً بالمليون ولم يسجل تركيز محسوس له في ساحة المدخل أو المخرج على السواء. كما كان تركيز الأوكسجين بنسبة طبيعية ثابتة في جميع نقاط القياس حيث بلغ ٢١٪ (جدول ٣).

لقد كان تركيز أول أكسيد الكربون عند أعلى قيمة له يوم الرابع والثالث عشر من شهر ذي الحجة، حيث بلغ ٢٠،٤٤ و ٢٢،٦٤ جزءاً بالمليون على التوالي. وقل تركيزه يومي الثالث والعاشر من ذي الحجة، حيث بلغ ١٣،٦٤ و ١٢ جزءاً بالمليون. ثم زاد إلى ١٥،٨٨ جزءاً بالمليون يوم الحادي عشر من نفس الشهر (شكل ٦). أما غاز ثاني أكسيد الكبريت فقد سُجل أعلى تركيز له يوم الرابع وأقل تركيز له يوم الرابع من ذو الحجة، حيث بلغ ٠،٨١ جزءاً بالمليون. وانخفض يوم الثالث عشر، حيث بلغ تركيزه ٠،٠٤،. جزءاً بالمليون.

ولم يُسجل تركيز محسوس لغاز ثاني أكسيد النيتروجين باستثناء ١٩،. جزءاً بالمليون يوم الثالث من نفس الشهر. كذلك حافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية ثابتة وقدرها ٢١٪ في فترة جميع أيام قياس المساء (جدول ٤).

٣. قياس تركيز الملوثات الهوائية في نفق أحياد السد (مشاة):

٣- (أ) فترة الظهيرة:

وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون مدخل وعند ساحة دخول نفق أحياد للمشاة من اتجاه منى غير محسوس، بينما كان تركيز أول أكسيد الكربون في ساحة مخرج النفق من اتجاه قصر الصفا ٧، ١ جزءاً بالمليون. أما تركيز غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين فكان غير محسوس. كما حافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية ثابتة في جميع نقاط القياس داخل وخارج النفق وهي ٢١٪ (جدول ٥).

جدول (٣) : تركيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد للسيارات

نوع الغاز						الموقع/ بالفترة الزمنية
O2		NO2		SO2		
فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,١٧ ± ٠,٣٢	٠,١٩ ± ٠,٦٣	ساحة المدخل (قصر الصفا)
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,١٧ ± ٠,٢٧	٠,٢ ± ٠,٦٢	مدخل النفق
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,١٨ ± ٠,٣	٠,٢٣ ± ٠,٦٢	وسط النفق
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٢١ ± ٠,٣٥	٠,٢٣ ± ٠,٥٩	مخرج النفق
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,١٨ ± ٠,٣٠	٠,٢٢ ± ٠,٧٤	ساحة المخرج (محبس الجن)

تمثل القيم متوسط تركيز غازات ثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

جدول (٤) : تركيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد للسيارات

نوع الغاز						التاريخ/ بالفترة الزمنية
O2		NO2		SO2		
فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	
-	٠,٠٠ ± ٢١	-	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	-	٠,٠٤ ± ٠,٠٤٤	١١/١٩
-	٠,٠٠ ± ٢١	-	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	-	٠,٠٦ ± ١,٢٧	١٢/١
-	٠,٠٠ ± ٢١	-	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	-	٠,١١ ± ١,١١	١٢/٢
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,١٣ ± ٠,١٩	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٤ ± ٠,٦٩	٠,٠٦ ± ١,٣٠	١٢/٣
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٥ ± ٠,٨١	٠,٠٢ ± ١,١٥	١٢/٤
-	٠,٠٠ ± ٢١	-	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	-	٠,١٤ ± ٠,٣٤	١٢/٨
٠,٠٠ ± ٢١	-	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	-	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	-	١٢/١٠
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	١٢/١١
٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٢١	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠٠ ± ٠,٠٠	٠,٠١ ± ٠,٠٤	٠,٠١ ± ٠,٠٢	١٢/١٣

تمثل القيم متوسط تركيز غازات ثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

جدول (٥)

تركيز الملوثات في نفق أحياد للمشاة

نوع الغاز								الموقع/ بالفترة الزمنية
O2		NO2		SO2		CO		
فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠٢±٠,٠٧	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	ساحة المدخل
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	المدخل
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	الوسط
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠٢±٠,٦	٠,٠±٠,٠	المخرج
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	١,٠±٦,٠	١,٤١±١,٧	ساحة المخرج

تمثل القيم متوسط تركيز غازات ثاني أكسيد الكبريت والنيروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

٣- (ب) فترة المساء:

وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون أعلى في ساحة مخرج النفق باتجاه قصر الصفا عن المخرج، حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٦ و ٠,٦ جزءاً بالمليون على التوالي، وكان غير محسوس في بقية نقاط القياس بالمقابل كان تركيز غاز أول أكسيد الكربون في ساحة المدخل (اتجاه منى) والمدخل غير محسوس. كذلك كان تركيز كل من ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع نقاط القياس داخل نفق وفي ساحتي نفق أحياد للمشاة. أما الأوكسجين فلقد حافظ على نسبة طبيعية ثابتة وقدرها ٢١٪ (جدول رقم ٥).

٤. قياس تركيز الملوثات في نفق الملك خالد بالعزيرية:

٤- أ) فترة الظهيرة:

لقد وجد أن تركيز غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس في نفق الملك خالد في منطقة العزيرية، بينما كانت نسبة الأوكسجين طبيعية وثابتة في جميع نقاط القياس حيث بلغت ٢١٪ (جدول ٦).

زاد تركيز غازات أول أكسيد الكربون اتجاه مخرج النفق وبلغ ١٤، ٢٣ جزءاً بالمليون. وكان تركيزه اقل بساحة المخرج حيث بلغ ٤، ٢٠ جزءاً بالمليون وهو أقل من ساحة المدخل حيث بلغ ٦، ١٣ جزءاً بالمليون. وكان ثاني أكسيد الكبريت في ساحة المخرج أعلى بالقيمة حيث بلغ ٠,٧٤ جزءاً بالمليون وأقل من ساحة المدخل حيث كان ٦٣، ٠ جزءاً بالمليون. وكان غاز ثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس في نفق الملك خالد في العزيرية، بينما كانت نسبة الأوكسجين طبيعية وثابتة في جميع نقاط القياس حيث بلغت ٢١٪ (جدول رقم ٦). ولقد سجل أعلى تركيز لغاز أول أكسيد الكربون في يوم ١٣ ذي الحجة حيث بلغ ٢٧,٣٦ جزءاً بالمليون، وقل التركيز عنه يوم الثامن من ذي الحجة حيث بلغ ٢١,٧٦ جزءاً بالمليون وكذلك بقية أيام ذي الحجة (جدول ٧).

٤- ب) فترة المساء:

لقد وجد أن تركيز غاز أول أكسيد الكربون ساحة المخرج ومخرج (اتجاه مشعر منى) وساحة المدخل ١٣,٦ و ١٠ و ٦,٦ جزءاً بالمليون على التوالي وكان التركيز غير محسوس في بقية نقاط القياس في النفق (جدول ٦).

لقد كان تركيز أول أكسيد الكربون أقل من فترة الظهيرة وسجلت أعلى قيمة في ساحة المخرج حيث بلغت ١٣,٦ جزءاً بالمليون، وقل التركيز عند مخرج النفق حيث بلغ ١٠ جزء من المليون. وكان أعلى قيمة لغاز ثاني أكسيد الكبريت في ساحة المخرج حيث بلغ ٠,٥٢ جزءاً بالمليون. وكان غاز ثاني أكسيد النيتروجين غير

محسوس في نفق الملك خالد في العزيزية، بينما كانت نسبة الأوكسجين طبيعية وثابتة في جميع نقاط القياس حيث بلغت ٢١٪ (جدول ٦). وكان تركيز أول أكسيد الكربون أعلى يوم ١٣ ذي الحجة حيث بلغ ١٩,٢ جزءاً بالمليون وأقل في بقية أيام ذي الحجة. وسجل أعلى تركيز لغاز ثاني أكسيد الكبريت يوم ٣ ذي الحجة حيث بلغ ٩١,٠ جزءاً بالمليون وأقل في بقية أيام ذي الحجة (جدول ٧).

جدول (٦) : تركيز الملوثات في نفق الملك خالد للسيارات

نوع الغاز								الموقع/ بالفترة الزمنية
O2		NO2		SO2		CO		
فترة المساء	فترة الظهرية	فترة المساء	فترة الظهرية	فترة المساء	فترة الظهرية	فترة المساء	فترة الظهرية	
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٣٤±٠,٢١	٠,٠±٠,٠٠	٠,٣٦±٠,٤٢	٠,١٩±٠,٦٣	١٠,٣٧±٦,٦	٣,٢٠±١٣,٦	ساحة المدخل (قصر منى)
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٠٧	٠,٠±٠,٠٠	٠,٠±٠,٠٠	٠,٢٠±٠,٦٢	٠,٠±٠,٠٠	٢,٥٤±١٤,٠١	المدخل
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٣٣±٠,٥٩	٠,٠±٠,٠٠	٠,٠٣±٠,١٤	٠,٢٣±٠,٦٢	٠,٠±٠,٠٠	٣,٠١±١٨,٧	الوسط
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٢٦±٠,٢٨	٠,٠±٠,٠٠	٠,٣٦±٠,٤٢	٠,٢٨±٠,٥٩	٠,٩٤±١,٠	٢,٤١±٢٣,١٤	المخرج
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٠٠	٠,٠±٠,٠٠	٠,٣٤±٠,٤٩	٠,٢٢±٠,٧٤	٦,٥٢±١٣,٦	٥,٣١±٢٠,٤	ساحة المخرج (منى)

تمثل القيم متوسط تركيز غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

جدول (٧) تركيز الملوثات في نفق الملك خالد للسيارات

نوع الغاز								التاريخ/ بالفترة الزمنية
O2		NO2		SO2		CO		
فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	فترة المساء	فترة الظهيرة	
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٣٤±٠,٢١	٠,٠±٠,٠	٠,٣٦±٠,٤٢	٠,١٩±٠,٦٣	٣,٠٦±١٤,٤	٥,١٥±٢٠,٥٨	١١/١٩
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٧	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٢٠±٠,٦٢	٢,٤±١٠,١	٣,٣٧±١٤,٤٨	١٢/١
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٣٣±٠,٥٩	٠,٠±٠,٠	٠,٠٣±٠,١٤	٠,٢٣±٠,٦٢	٤,٤±١١,٩	٦,٢٤±١٦,٩٦	١٢/٢
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٢٦±٠,٢٨	٠,٠±٠,٠	٠,٣٦±٠,٤٢	٠,٢٨±٠,٥٩	٢,٧±٧,٧	٣,٩١±١١,٠	١٢/٣
٠,٠±٢١	٠,٠±٢١	٠,٠±٠,٠	٠,٠±٠,٠	٠,٣٤±٠,٤٩	٠,٢٢±٠,٧٤	٠,٤١±٩,٠٢	٠,٥٨±١٢,٨٨	١٢/٤
						٢,٥٢±١٥,٢	٣,٦٠±٢١,٧٦	١٢/٨
						-	-	١٢/١٠
						١,٨±١١,٨	٢,٥٣±١٦,٨	١٢/١١
						٢,٣١±١٩,٢	٣,٣١±٢٧,٣٦	١٢/١٣

تمثل القيم متوسط تركيز غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

٥. قياس تركيز ملوثات الهواء يوم وقفة عرفه:

وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون غير محسوس من زوال الشمس إلى الساعة ١٧، ٥ دقيقة بعد ظهيرة يوم وقفة عرفات، ولكن قرب وقت نفرة الحجيج ومع بدء تشغيل محركات وسائل المواصلات استعداداً للإفاضة من عرفه، زاد تركيز أول أكسيد الكربون، حيث بلغ الساعة السادسة والرابع ١٤، ٩ جزءاً بالمليون. ثم زاد بصورة محسوسة في الساعة السابعة فبلغ ٨، ٦٩ جزءاً بالمليون واستمر بصورته هذه إلى بدء الإفاضة الساعة ١٥، ٧ مساءً حيث بلغ ٦٧، ٦ وفي ٣٠، ٨ مساءً ٨٨، ٥ جزءاً بالمليون. أما غاز ثاني أكسيد الكبريت فكان أعلى تركيز له في الساعة ١٥، ٦ مساءً حيث بلغ ١، ٤ جزءاً بالمليون. ثم انخفض إلى ١، ٤١ جزءاً بالمليون، وعاد للزيادة وبلغ زروته الساعة

السابعة والربع مساءً فبلغ ١,٠٢ جزءاً بالمليون، واستمر بقيمة تقريبية لوقت الإفاضة، حيث بلغ ١,٠٢ جزءاً بالمليون.

أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين، فقد كان غير محسوس طوال فترة المشاعر في عرفه باستثناء الساعة ٦,١٥ حيث بلغ ٠,٥ جزء بالمليون. من ناحية أخرى كانت نسبة الأوكسجين طبيعية ثابتة وقيمتها ٢١٪ طوال فترة المشاعر في يوم عرفه (جدول ٨).

٦. تركيز ملوثات الهواء في مزدلفة:

بلغ تركيز أول أكسيد الكربون مع بدء وصول الحجيج إلى مزدلفة (الساعة ٨,٣٠ مساءً) ٥٨,٨ جزءاً بالمليون. كما بلغ تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت ٠,٩١ جزءاً بالمليون. أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين فكان غير محسوس وحافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية ثابتة وقدرها ٢١٪ (جدول ٨).

٧. تركيز الملوثات الهوائية في منى أيام التشريق:

تم قياس تركيز أول أكسيد الكربون يوم العاشر من ذي الحجة من فترة غياب الشمس إلى العاشرة مساءً فكان متوسط تركيز أول أكسيد الكربون في جسر الملك عبد العزيز أمام معسكر جامعة أم القرى ٦,٤ جزءاً بالمليون. ثم انخفض يوم الحادي عشر من ذي الحجة، فبلغ متوسط تركيز غاز أول أكسيد الكربون ٤,٤ جزءاً بالمليون، وازداد يوم الثاني عشر من ذي الحجة إلى أقصى تركيز في الساعة السادسة حيث بلغ ٢٢,٦ جزءاً بالمليون (جدول ٩).

كذلك تم قياس تركيز أول أكسيد الكربون في وادي الجمرات فبلغ متوسط تركيزه في يومي العاشر والحادي عشر من شهر ذي الحجة ٦,٨ و ٦,٥ جزءاً بالمليون على التوالي، ثم ازداد إلى ٢٣,٦ جزءاً بالمليون في الساعة السادسة. أما غازي ثاني أكسيد الكبريت والنيتروجين فكانت نسبتهما غير محسوسة. وحافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية ثابتة وقدرها ٢١٪ (جدول ٩).

جدول (٨) : تركيز الملوثات الهوائية في عرفه ومزدلفة

نوع الغاز				الزمن/الساعة	المكان
O2	NO2	SO2	CO		
٠,٠ ± ٢١,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	١٧,١٧	عرفه
٠,٣٤ ± ٢١,٥	٠,٣٥ ± ٠,٥	٠,٧٩ ± ١,٤	١,٠٧ ± ٩,٤	١٨,١٥	
٠,٢٥ ± ٢١,٦١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٤٧ ± ٠,٤١	٣,٤٨ ± ٧,٩	١٨,٣٠	
٠,٠ ± ٢١,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٢٤ ± ٠,٤٥	١٥,١ ± ٦٩,٨	١٩,٠٠	
٠,٢٢ ± ٢١,٦٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٢٤ ± ١,٠٢	١٧,١٥ ± ٦٧,٦	١٩,١٥	
٠,٠ ± ٢١,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٢٣ ± ٠,٩١	٥,٨٣ ± ٥٨,٨	٢٠,٣٠	مزدلفة

تمثل القيم متوسط تركيز غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

جدول (٩) تركيز الملوثات الهوائية في مشعرمني

نوع الغاز								التاريخ/ الزمن
O2		NO2		SO2		CO		
بالموقع		بالموقع		بالموقع				
وادي	جسر	وادي	جسر	وادي	جسر	وادي	جسر الملك	
الجمرات	الملك	الجمرات	الملك	الجمرات	الملك	الجمرات	عبد العزيز	
	عبد العزيز		عبد العزيز		عبد العزيز			١٢/١٠
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	١,٠٣ ± ٦,٨	٠,٣٤ ± ٦,٤	١٧:٣٥
								١٢/١١
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٧١ ± ٦,٥	٢,٧ ± ٤,٤	٩,١٥
								١٢/١٢
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	١,٧١ ± ٦,٢	٢,٥٣ ± ١,٢	١٠:١٨
٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٢١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٤,٤ ± ٢٣,٦	٧,٥٢ ± ٢٢,٦	١٨:٠٠

تمثل القيم متوسط تركيز غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت والنتروجين وغاز الأوكسجين ± الخطأ الاحصائي.

رابعاً: المناقشة والتوصيات

تساعد الأنفاق على تسهيل حركة المشاة والسيارات والقطارات في المدن الكبرى مثل العواصم الأوربية ومدينة القاهرة في الشرق الأوسط^(٣١،٣٢)، مما يولد انسيابية مرورية فاعلة.

ومكة المكرمة، رغم رفعتها المحدودة، تتميز بطبيعة جيولوجية مميزة من أودية محاطة بجبال صخرية مختلفة الصلابة من نوع الكوارتيز والبروكسين والديوريت^(٣٣،٣٤)، حيث حضرت الأنفاق خلال الجبال حول الحرم المكي لتسهيل وصول قاصدي البيت العتيق^(٣٥)، وشملت أربعة أنفاق في المرحلة الأولى^(٣٦)، تلاها نفق تحت أرضي حديث وفريد من نوعه بمكة المكرمة (نفق الملك فهد). كما شقت أنفاق ضمن الطريق الدائري الثاني^(٣٧)، وكذلك تم إنشاء أنفاق في منى ومزدلفة لاستيعاب الحركة المرورية أثناء مشاعر الحج.

تشير النتائج في الدراسة الحالية إلى أن تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد أعلى من نفق أجياد السد للسيارات. وهذا يتفق مع النتائج المسجلة في شهر رمضان المبارك^(٣٨). كما أن تركيز الملوثات الهوائية في بعض نقاط نفق الملك فهد أعلى من بقية الأنفاق التي تضمنتها الدراسة وهي نفق الملك خالد للسيارات ونفق أجياد السد للمشاة. ويتصاحب زيادة تركيز الملوثات مع ساعات الذروة من عدد وانسياب حركة مركبات النقل.

لقد وجد أن تركيز أول أوكسيد الكربون في مخرج نفق الملك فهد بمرحلة الإياب أعلى من داخل النفق في فترة الظهيرة، مما قد يشير إلى أن اتجاه الرياح من قصر الصفا يعوق خروج الملوثات من جهتها ومما يعزز هذا أن تركيز الملوثات في طلعة الحفاير أعلى قليلاً من نقطة قصر الصفا ويفسر هذا بخروج الملوثات من داخل النفق باتجاه طلعة الحفاير ظهراً. وكانت الصورة مماثلة مع غاز ثاني أوكسيد الكبريت. وفي الفترة المسائية، كان تركيز أول أوكسيد الكربون في مدخل النفق ومخرجه متساوياً تقريباً. مما يشير إلى تراكم في تركيز أول أوكسيد الكربون، حيث بلغ ٥٨،٤

و٧، ٥٨ جزءاً بالمليون على التوالي. أما في طلعة الحفاير، فقد بلغ ٣، ١٧ جزءاً بالمليون، وقد يفسر هذا بأن اتجاه الرياح كان أقوى من شفط مراوح تهوية النفق. كما كان تركيز أول أكسيد الكربون في مرحلة الإياب عالياً عند المخرج بالمقارنة مع المدخل بما يزيد على أربعة أضعاف، حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٥، ٨٥ و ٠٠، ٢١ جزءاً بالمليون على التوالي. مما يشير إلى شدة تيار الهواء من اتجاه طلعة الحفاير باتجاه قصر الصفا، إلا أن تصريف أول أكسيد الكربون، لم يتم بكفاءة في اتجاه قصر الصفا، فلقد تراكم عند المخرج، بينما كان التركيز أقل في ساحة قصر الصفا خارج النفق حيث بلغ ٩، ٢١ جزءاً بالمليون. كذلك كانت نتائج قياس تركيز ثاني أكسيد الكبريت مشابهة لنتائج أول أكسيد الكربون من حيث تراكم تركيزه في وسط النفق مقارنة بتركيزه بنقطة المدخل.

وفي نفق أجياد للسيارات، كان تركيز أول أكسيد الكربون في ساحة خارج النفق باتجاه منى أعلى من ساحة قبل المدخل (اتجاه الحرم) في فترة الظهيرة. مما يدل على أن مراوح الشفط تعمل بكفاءة جيدة في اتجاه سير مركبات النقل، حيث بلغ التركيز في ساحة المدخل وساحة المخرج ٦، ١٣ و ٤، ٢٠ جزءاً بالمليون على التوالي. وكانت القياسات متدرجة في الزيادة باتجاه سير المركبات. مما يشير إلى عدم تراكم الملوثات الهوائية داخل النفق.

ولقد حدث تراكم بسيط عند مخرج النفق قد يعود سببه إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء في خارج النفق وقت الظهيرة. مما جعل تيارات الهواء تعاكس مراوح شفط وطرد الهواء من داخل النفق بكفاءة كاملة. وفي الفترة المسائية، تشير القياسات إلى أن تركيز أول أكسيد الكربون في ساحة مدخل النفق (اتجاه الحرم) يزيد ضعفين على مدخل النفق، حيث بلغ ٢، ١٥ جزءاً بالمليون. وكان تركيز أول أكسيد الكربون مقارباً في ساحة مخرج النفق في اتجاه منى. مما يشير إلى كفاءة شفط مراوح النفق، إلا أن اتجاه الرياح من اتجاه منى، حيث درجة حرارة الهواء أقل من داخل النفق قد جعل

الهواء يعاكس كفاءة مراوح الشفط، ويعيق خروج جزء من غاز أول أوكسيد الكربون. مما سبب تراكماً في مخرج ووسط النفق.

كلا النفقين (الملك فهد وأجيد السد للسيارات) في منطقة جغرافية متقاربة يفصل بينهما مسافة قدرها ٩٠٠م تقريباً، لكن نفق الملك فهد يتميز بأنه تحت الأرض وتتم تهويته بتقنيتين هما مراوح ضخ هواء جانبية ومراوح شفط سقفية وتحده منطقة جبل الكعبة التي ترتفع إلى أعلى مستوى الأرض عن معظم المساحة السطحية للنفق وقد تشكل حاجزاً جغرافياً لتهويته. أما نفق أجيد السد للسيارات فهو نفق أرضي وأطول من نفق الملك فهد وتتم تهويته بمراوح شفط سقفية فقط. كما يتميز أحد مخارجه بالاتصال بمنطقة ما وراء محبس الجن ومنى ذات التهوية الجيدة لاتساع المنطقة وخلوها النسبي من تكدس البنيان.

كما تشير النتائج إلى أن تركيز أول أوكسيد الكربون يزيد عن المعدلات الطبيعية في نفق الملك فهد (المعدل المسموح به ٣٥ جزءاً بالمليون). ولقد سجل اختلاف طبوغرافي بين فترتي الظهيرة والمساء للقياس، حيث وجد أن الملوثات تنفذ باتجاه الحفائر في فترة الظهيرة بنسبة أعلى من اتجاه قصر الصفاة، وتراكم غازي أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت بصورة مميزة عند باب الملك فهد، وتبعه باب الملك عبد العزيز. كما تراكم أول أوكسيد الكربون في طريق العودة، بحيث سجل زيادة في غاز أول أوكسيد الكربون بساحة قصر الصفاة قدرها ٣٤٪ عن مخرج النفق. وكان تركيز غازي أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت في أعلى قيمة عند باب الملك فهد، وتلاه نقطة مخرج طريق العودة.

ويلاحظ من نتائج القياس في هذه الدراسة أن كفاءة طرد الملوثات بطريق الذهاب أفضل من طريق العودة، بحيث كان تركيز الغاز بنقطة المخرج يزيد ١٦٪ عن طلعة الحفائر، بينما في طريق العودة فإن تركيز غاز أول أوكسيد الكربون يزيد ٢٩٤٪ عن ساحة خارج النفق (نقطة قصر الصفاة). وقد يشير إلى أهمية عاملين في انتشار الملوثات الهوائية وهما اتجاه سير المركبات واتجاه دفع الهواء من مراوح الشفط عندما يتوازيان ويتعاكسان بالاتجاه على التوالي. وبصورة مماثلة وجد تركيز غاز ثاني

أوكسيد الكبريت يتراكم في صورة مشابهة لغاز أول أوكسيد الكربون في معظم النقاط إلا أن تركيزه أقل من المعدل المسموح به حسب المعايير النظامية العالمية في جميع نقاط القياس داخل وخارج نفق الملك فهد في فترة الظهيرة. كذلك كان تركيز غاز ثاني أوكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع نقاط القياس بفترة الظهيرة، وهذا يشير إلى مصادر انتشار منضبطة للملوثات النفق. كذلك حافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية في جميع نقاط القياس، وهذا يشير إلى توافر الأوكسجين للتنفس الطبيعي وفي المعدل النظامي والذي يبلغ ٢١٪^(٣٦)، وهو ضروري للنشاط الحيوي لأنسجة وأجهزة الجسم^(٣٧). أما في فترة المساء فلقد تراكمت ملوثات الهواء عند مخارج نفق الملك فهد. وكانت أعلى من ساحات خارج النفق. لقد سجل المعدل الوسطي لجميع نقاط القياس بالفترة المسائية وهي أعلى من فترة الظهيرة باستثناء طلعة الحفاير. وكان طريق العودة أعلى بتركيز الملوثات الهوائية وأقل كفاءة في تصريفها من طريق الذهاب. فلقد تراكم غاز أول أوكسيد الكربون في أعلى مستوى له عند باب الملك عبد العزيز ومخرج النفق، ووصل تركيز أول أوكسيد الكربون عند مخرج النفق أربع أمثال تركيزه في موقع قياس قصر الصفا، مما يدل على أن الغاز المتراكم في النفق ينتشر ببطء في الساحة المحيطة به كجزء من خاصية التخفيف والانتشار عند موقع قصر الصفا.

عموماً فإن تركيز أول أوكسيد الكربون داخل بعض نقاط القياس في نفق الملك فهد بطريق الذهاب والعودة أعلى من المستوى المسموح به حسب جدول رقم ١ لمعايير جودة الهواء في المملكة العربية السعودية، ولكن هذا التركيز نسبياً أقل من مستوى قياسات شهر رمضان المبارك^(٣٨). مما يعزز عدم كفاءة التهوية وطرد الملوثات الهوائية من نفق الملك فهد. وسجل غاز ثاني أوكسيد الكبريت حالة تراكم مشابهة تقريباً لغاز أول أوكسيد الكربون إلا أن تركيزه في جميع نقاط القياس أقل من الحد المسموح به. أما غاز ثاني أوكسيد النيتروجين فسجل قراءات أعلى نسبياً في فترة الظهيرة عن فترة المساء ولكنها في المستويات الدنيا وأقل من الحد المسموح به، وقد

تفسر هذه الظاهرة بأنها نتيجة بطء سير المركبات داخل النفق وعدم الاحتراق الكامل لوقود السيارات. كما حافظ الأوكسجين على مستوى طبيعي في جميع نقاط القياس، وتتفق هذه النتائج مع دراسة شهر رمضان^(٢٦)، من حيث تراكم الملوثات الهوائية داخل النفق ورداءة التهوية به. وعموماً فإن نتائج القياس في فترة موسم الحج تشير إلى انخفاض تركيز الغازات عن موسم شهر رمضان بشكل واضح في أغلب نقاط القياس في طريق الذهاب والعودة بنفق الملك فهد فترتي الظهيرة والمساء على السواء. وقد يفسر هذا بقلّة عدد المركبات الخاصة المستخدمة في فترة موسم الحج واقتصارها على المواصلات العامة ذات السعة الكبيرة لنقل الحجاج، بينما يستخدم المواطنون سياراتهم الخاصة في فترة موسم رمضان. مما يعزز فكرة الحد من دخول السيارات الصغيرة في فترة الذروة إلى نفق الملك فهد لتجنب انبعاث الملوثات الهوائية وتراكمها بالنفق. كما تشير النتائج الحالية إلى أن انبعاث الملوثات الهوائية بنفق الملك فهد في فترة الظهيرة متغيرة من يوم لآخر في فترة الدراسة من ١٦ ذو القعدة إلى ١٣ ذي الحجة بسبب حرارة الوسط البيئي وعدم ملائمة لفئات كثيرة من الحجيج. ويشير إلى عدم وجود علاقة تصاعدية في أيام الذروة وارتباط تركيز الملوثات بعدد المركبات وانسيابية سيرها تبعاً لنشاط تنقل الحجاج كما هو ملاحظ عند تسجيل القراءات، ويؤيد هذا الاستنتاج زيادة تركيز الملوثات بشكل واضح عن باقي أيام الدراسة في يوم النفرة ١٣ ذي الحجة لغاز أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد النيتروجين.

أما في الفترة المسائية فلم تظهر النتائج علاقة طردية بين تركيز الملوثات وأيام شهر ذي الحجة في الفترة من ٥ ذي الحجة إلى ١٣ ذي الحجة إلا أنه بعد ذلك من ١٠ إلى ١٣ ذو الحجة، وجدت علاقة طردية في انبعاث الملوثات مع أيام موسم الحج، ويفسر هذا بزيادة نشاط تنقل الحجاج بين الحرم ومنى أيام التشريق، حيث يفضل الحجاج التنقل في الفترة المسائية لتجنب ضربات الشمس في درجات الحرارة العالية من فترة الظهيرة.

وفي نفق أحياد السد للسيارات أظهرت النتائج كفاءة تهوية هذا النفق وعدم وجود تراكم للملوثات الهوائية داخله في فترة الظهيرة، فلقد زاد تركيز غاز أول أوكسيد

الكربون بصورة تدريجية من المدخل إلى المخرج في اتجاه سير المركبات واتجاه عمل أجهزة شفط الهواء الخاصة بتهوية النفق.

كما كان تركيز غاز أول أكسيد الكربون في ساحة محبس الجن أعلى من ساحة مدخل النفق (من اتجاه قصر الصفا)، مما يعزز كفاءة طرد الملوثات من النفق باتجاه محبس الجن ووادي منى، حيث يتصف الأخير بتهوية جيدة نسبياً. وتجدر الإشارة إلى أن تركيز أول أكسيد الكربون في جميع نقاط القياس داخل وخارج نفق أجياد السد يقل عن المعدل المسموح به من غاز أول أكسيد الكربون.

وبصورة مماثلة تقريباً وجد أن غاز ثاني أكسيد الكبريت بتركيز مقداره ٦، ٠ جزءاً بالمليون تقريباً، وهذا أقل من المعدل المسموح به أيضاً. كما كان غاز ثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس، بينما حافظ غاز الأوكسجين على نسبة طبيعية، مما يساعد على التنفس الطبيعي للإنسان. كذلك لم تظهر النتائج وجود علاقة طردية بين تركيز غازي أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت مع أيام القياس في الحج، ولكنه وجد أن تركيز غاز أول أكسيد الكربون في أقصى معدلاته يوم النفرة، وهذا قد يفسر بزيادة عدد المركبات المتجهة للحرم المكي من منى. ويشير إلى كثافة المركبات التي تعبر نفق أجياد السد من يوم لآخر في موسم الحج. كما أن هذه الظاهرة تماثل ما سجل في نفق الملك فهد بنفس الفترة من القياس في وقت الظهيرة.

وفي فترة المساء وجدت زيادة بتركيز غاز أول أكسيد الكربون عند نقطة المخرج. كما أن ساحة المخرج أقل تركيزاً لغاز أول أكسيد الكربون من ساحة المدخل. مما يشير إلى ضعف كفاءة طرد الملوثات بالفترة المسائية، وهذا يتفق مع ما سجل في نفق الملك فهد بنفس الفترة الزمنية من القياس، وقد يشير إلى اتجاه معاكس من الرياح لحركة طرد الملوثات من داخل نفقي أجياد السد للسيارات ونفق الملك فهد.

كذلك لم تظهر النتائج علاقة طردية بين تركيز الملوثات الهوائية وأيام شهر ذي الحجة في بداية القياس، ولكن ما لبث أن زاد تركيز غاز أول أكسيد الكربون بشكل تدريجي من يوم ١٢/١٠ وبلغ ذروته في ١٢/١٣ وهذا يتفق مع زيادة الحركة

المرورية للمركبات من منى للحرم وخاصة يوم النفرة حيث تكون كثافة السيارات في معدلها الأعظم بسبب طواف الوداع.

لم تظهر نتائج القياس في فترة الظهيرة تركيزاً محسوساً للملوثات الهوائية في نفق أجياد السد (للمشاة)، حيث لا تسلكه السيارات التي تعتبر المصدر الرئيس لانطلاق الملوثات، بينما كان تركيزها محسوساً في نفق أجياد السد للسيارات الذي يقع موازياً له وفي نفس المنطقة، وتشير إلى أن مصدر الملوثات الرئيس هو عدد وانسيابية حركة المركبات التي تعبر النفق. أما نتائج نفق الملك خالد، فلم تظهر نتيجة القياس تركيزاً محسوساً بسبب اقتصار فترة القياس على يوم ١٢/٣ حيث الحركة المرورية إلى منى محدودة ومقصورة على الخدمات، مما يجعل عدد المركبات قليلاً. وزاد تركيز أول أوكسيد الكربون في فترة المساء في كلا النفقين (أجياد السد للمشاة والملك خالد). وكان تركيز أول أوكسيد الكربون في نقطة وسط نفق أجياد السد للمشاة ٨،٠ جزءاً بالمليون وفي الساحة الخارجية اتجاه قصر الصفا ٦ جزءاً بالمليون، مما يفسر انتشار جزئي للملوثات الهوائية من الساحة (اتجاه منى) إلى مدخل نفق المشاة في الفترة المسائية. ومصدر تلوث هذه الساحة هو الطريق الصاعد والنازل لنفق أجياد السد للسيارات المجاور لها، ولكن هذا التركيز منخفض وفي المعدل المسموح به.

كما كان تركيز أول أوكسيد الكربون في نفق الملك خالد بالفترة المسائية في ساحة دخول النفق (اتجاه العزيزية) أقل من مخرج وساحة مخرج النفق اتجاه منى، ولكن تركيزه في جميع نقاط القياس أقل من المعدل المسموح به، وتشير النتائج إلى كفاءة طرد الملوثات من نفق الملك خالد بالفترة المسائية مع اتجاه المركبات إلى منطقة منى.

مما سبق يتبين أن تهوية الأنفاق الخاصة بالسيارات والمشاة بتقنية الشفط ذات فعالية أكبر من تهويتها بضخ الهواء العادي مع مراوح شفط قليلة الكفاءة كما هو الحال في نفق الملك فهد، حيث درجة الحرارة للهواء المدفوع للنفق أعلى من هواء النفق المتواجد أساساً، وهذا قد يؤدي إلى تراكم الهواء القديم بالمستويات الدنيا ويصعد الهواء المدفوع

إلى النفق إلى المستويات العليا ومنها إلى خارج النفق دون تغير هواء النفق القديم وما يحمله من ملوثات، فيتعرض الإنسان لهذه الملوثات بشكل مركز.

وزاد تركيز غاز أول أكسيد الكربون بصورة تدريجية في يوم عرفه قرب زمن نفرة الحجيج، وبلغ ذروته في الساعة السابعة مساءً، حيث أغلب السيارات محركاتها تعمل ومستعدة للانطلاق تجاه مزدلفة، مما يجعل انبعاث الملوثات يتم بتركيز عال نتيجة لذلك وحين بدأت الحركة بانطلاق وسائل النقل تجاه مزدلفة، انخفض تركيز أول أكسيد الكربون قليلاً. وكان تركيز ثاني أكسيد الكبريت بصورة مماثلة لتركيز غاز أول أكسيد الكربون، وارتفع إلى مستوى أعلى من المسموح به عند ذروة النفرة (الحد المسموح به ١٣، ٠ جزءاً بالمليون حسب معدلات وزارة الصحة العالمية، و ٢٨، ٠ جزءاً بالمليون حسب المعدلات النظامية للمملكة العربية السعودية^(٣٨) ولم يسجل تركيز محسوس لغاز ثاني أكسيد النيتروجين. وفي جميع الأحوال فإن تركيز الغازات في عرفه كان في المعدل المسموح به باستثناء غاز أول أكسيد الكربون الذي زاد عن هذا المعدل نتيجة عمل محركات السيارات وهي ساكنة قبل زمن النفرة، وأثار انطلاق تركيز كبير من هذا الغاز بسبب عدم الاحتراق الكامل لزيوت وقود هذه السيارات.

وفي مزدلفة وعند وصول نفرة الحجيج ارتفع تركيز أول أكسيد الكربون إلى معدل أعلى من الحد المسموح به (٣٥ جزءاً بالمليون). كما ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكبريت أيضاً لمعدل مرتفع ويزيد ثلاثة أضعاف عن المعدل المسموح به (الحد المسموح به ١٣، ٠ جزءاً بالمليون حسب معدلات وزارة الصحة العالمية، و ٢٨، ٠ جزءاً بالمليون حسب المعدلات النظامية للمملكة العربية السعودية^(٣٨)، ويفسر هذا ببطء حركة السير وعمل محركات الحافلات أثناء توقفها في مزدلفة إضافة إلى كثافة الحركة المرورية ليوم النفرة وتوقفها لتأدية واجب المشعر الحرام.

سجلت النتائج ارتفاعاً تركيز الملوثات الهوائية في نفق جسر الملك عبد العزيز ووادي الجمرات يوم العيد ويوم النفرة من منى عن اليوم الأول للتشريق، وهذا يفسر بزيادة عدد المركبات القادمة والمنطلقة من منى على التوالي.

ولقد كان تأثير أول أوكسيد الكربون يزيد قليلاً في وادي الجمرات عن جسر الملك عبد العزيز يوم نفرة منى، وهذا أمر متوقع حيث تهوية الوادي أقل من الجبل، مما يسمح بتراكم الملوثات الهوائية. وفي جميع الأحوال فإن تركيز أول أوكسيد الكربون أقل من المعدل المسموح به، ويشير إلى انسياب الحركة المرورية لحج هذا العام، كما كان تركيز غازي ثاني أوكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين غير محسوس وحافظ الأوكسجين على نسبة طبيعية للتنفس العادي للإنسان.

وهذه القيم المسجلة بوادي منى لغاز ثاني أوكسيد الكربون أقل من النتائج المسجلة في حج ١٣٩٩هـ^(٢٧)، وأقل من نتائج حج ١٤٠٢هـ، حيث وجد تركيز ثاني أوكسيد الكبريت والأمونيا والغبار العالق ثلاثة أضعاف الحد المسموح به^(٢٨). أما في الدراسة الحالية فلقد وجد أن تركيز غاز أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت أقل من الحد المسموح به. ويشابه ما سجل من تركيز أول أوكسيد الكربون في هذه الدراسة حج ١٤١٣هـ^(٢٩)، حيث سجل أعلى تركيز في الساعة ١٨ من يوم نفرة التعجل. أما باقي الأيام فكان التركيز منخفضاً بصورة واضحة وتراوح بين ١,٢ إلى ٦,٤ جزء بالمليون. مما يشير إلى أن سهولة انسياب الحركة المرورية أدى إلى خفض تركيز الملوثات الهوائية مع تطوير وادي مشعر منى. كما يشير إلى أن تهوية وادي الجمرات جيدة مقارنة بالموقع الجغرافي المرتفع لجسر الملك عبد العزيز.

خامساً: أهم الاستنتاجات

١. توقف التهوية يؤدي إلى تراكم الغازات وخاصة أول أوكسيد الكربون بداخل الأنفاق، حيث وجد أن أعلى تركيز متوضع داخل النفق. أما النتائج التي سجلت في شهر رمضان فقد سجل أعلى تركيز في نقطة القياس عند المخارج.
٢. معدل الملوثات بنفق الملك فهد أعلى من أي نفق آخر ولا يعزى هذا إلى الكثافة المرورية حيث تم مقارنته بنفق أجياد السد، وحيث كثافته المرورية مماثلة تقريباً.

ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالموقع الجغرافي أي (النشأة تحت سطح الأرض الذي يجعله أقل تهوية من الأنفاق العلوية)، وبسبب ضعف انسيابية الحركة المرورية فيه نتيجة التخميل والانتظار فهي تزداد ببطء الحركة المرورية مع عمل محركات السيارات أثناء توقفها.

٣. زيادة معدل غاز ثاني أكسيد الكبريت في موسم الحج عن شهر رمضان يشير إلى أن معظم المركبات تستخدم وقود الديزل الذي يحتوي على نسبة من الكبريت.

سادساً: التوصيات

١. إنشاء شبكة رصد داخل الأنفاق بكواشف ثابتة ومجهزة بوسائل إنذار لتحديد مستوى الغازات بالأنفاق، وتحليل النتائج علمياً وتحديد زمن ومكان تراكم الملوثات ووضع الحلول الهندسية لها.

٢. المضي قدماً في دراسة أنسب أنواع الحواجز والضوابط للمركبات، والتي يمكن تطبيقها في موسم الحج والعمرة لتقليل عوادم السيارات، بما فيها الضوابط الفنية وتسهيلات التنقل ووسائل النقل البديلة الأقل تلويثاً للبيئة.

٣. دراسة وجود وسائل انتقال غير المركبات سيمًا وأن موسم الحج في الأعوام القادمة سوف يأتي في أجواء معتدلة وباردة مما يزيد من عوامل تراكم الملوثات وتأثيرها على الحالة الصحية.

٤. دراسة تفويج دخول الحجاج إلى الحرم تبعاً لمواعيد سفرهم لخفض كثافة التنقل أيام النفرة.

٥. دراسة إمكانية استخدام وقود الغازولين المشبع بالأوكسجين رباعي مثل الأثير للتغلب على انبعاث غاز أول أكسيد الكربون^(٣٩).

٦. استخدام مرشحات لهواء الأنفاق لتنقية الهواء من الملوثات المتراكمة من السيارات وذات الخواص والكفاءة الفعالة^(٤٠).

٧. استخدام هواء مبرد في تهوية نفق الملك فهد بدلاً من الهواء العادي كي يسمح بخروج الوقود الملوث من النفق بسهولة ويسر كما أظهرت الأبحاث كفاءة التهوية بهذه الطريقة^(٤١)

٨. دراسة ملائمة كفاءة مراوح تهوية نفق الملك فهد طبقاً للمواصفات المطلوبة وزيادة كفاءتها بمنع تراكمها.

المراجع:

1. Hansen, D.A. 1982
A review of questions regarding rain acidity data. *Atmospheric Environment*. 16, 2107-2126.
2. Nurrohim, A. and Sakugawa, H. 2005
Fuel-based inventory of NO_x and SO₂ emissions from motor vehicles in the Hiroshima Prefecture, Japan, *Applied Energy*, 80,3, 291-305.
3. Davis, D.L.; Bell, M.L. and Fletcher, T. 2002.
A look back at the London smog of 1952 and the half century since. *Environ Health Perspect*. 110, A734 – 735.
4. Senany, A. 1981
Effect of the clean air act on Santa Clara county California, California State university, Freno, USA 1-164.
5. Helfand, W. H.; Lazarus, J. and Theerman, P. 2001
Donora, Pennsylvania: an environmental of 20th century. *Am. J. Public Health*. 91, 553.
6. Sheikh, K.H. 1992
Oil well fires in Kuwait in 1991: their impact on environment and people, especially children in Kuwait and the Gulf region.
Tech. Report of Islamic educational scientific and cultural organization, Rabat, Morocco, 1 – 52.
7. Luke, W.T.; Kon, G.L. ; Schillawski, R.D. and Zimmarman, P.R. 1992.
Trace gas measurements in Kuwait oil fire smoke plume. *J. Geophysical Research*, 97, 499-514.
8. Riley, J.J.; Hicks, N.G. and Thompson, T. L. 1992.
Effect of Kuwait oil field fires on human comfort and environment in Jubail, Saudi Arabia. *Int. J. Biometeorol*. 36, 36 -38.
9. Lowenthal, D.H.; Borys, R.D.; Chow, J.C.; Rogers, F. and Shaw, G.E. 1992.
Evidence for long-range transport of aerosol from the Kuwaiti oil fires to Hawaii. *J. Geophysical. Res*. 97,14,573 – 14,,580.
10. Petrucci, B.P.; Goldenbaum, M.; Scott, B.; Lachiver, R.; Kanjarpane, D.; Elliott, E.; Francis, M.; McDiarmid, M.A. and Deeter, D. 1999.
Health effects of the 1991 Kuwait oil fires: A survey of US army troops. *J. Occup. Environ. Med*, 41, 433-439.
11. Rowe, D. R.; Dhowalia, K.H. and Mansour, M. E. 1988.
Indoor-outdoor air quality in Riyadh. Research report- Research center, college of Engineering, King Saud university, Riyadh, SA. 1-229.

12. Mutaz, I.S. Al-, 1988.
Major sources of air pollution in Riyadh, Saudi Arabia. Proceeding of eight first annual meeting of the air pollution control association, USA, 1-8.
 13. Koushki, P. A.; Dhowalia, K.H. and Rowe, D.R. 1987.
Measurement of urban traffic carbon monoxide and calibration of predictive models for Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia. Research center, college of Engineering, king Saud university, Riyadh, Saudi Arabia, 1- 182.
 14. Rowe,D.R.;Al-Dhowalla, K.H. and Mansour, M. E. 1989
Indoor-outdoor carbon monoxide concentration at four sites in Riyadh, Saudi Arabia
J. Air & waste management association, 39,1100 -1102.
 15. Dhowalia, K. H. and Koushki, P. A. 1987.
Exposure to carbon monoxide of vehicle occupants in the center of Riyadh, Saudi Arabia. Tech. Report Research center, college of Engineering, King Saud university, Riyadh- Saudi Arabia, 1-136.
 16. ERT International, 1977.
Environmental standards for Saudi Arabia: draft for discussion. ERT Int. inc. Massachusetts, USA, 1-27.
 17. Newell, R.E.; Condon, E.P; and Reichle, H.G 1981.
Measurement of CO and CH₄ in troposphere over Saudi Arabia, India, and the Arabian Sea during the 1979 international summer monsoon experiment (MONEX) J. Geophysical Res. 86,9833 – 9838.
 18. Bradstreet, J. Mahoney, J.; Sacco, A.; Al-Gain, A; Tasan, A. and Nowailaty, M. 1978.
Preliminary air pollution assessments of the air pollution potential in Saudi Arabia. Presented at 71st Annual meeting of the air pollution control association, Houston, TX, June, 25-30, 1-16.
 19. Sabbak, O. A. 1990.
Distribution of carbon monoxide in Jeddah atmosphere. Environmental International, 16, 267 –272.
 20. Sabbak, O.A. 1993.
Distribution of Sulfur dioxide in the atmosphere of Jeddah, Saudi Arabia. J. Air and waste management association, 43, 208- 212.
 21. Sabbak, O. A. 1993.
Distribution of hydrogen sulfide in Jeddah atmosphere, Environment Int. 1, 41 – 49.
-

22. Bell, J.N.B. 1977.
Report on gas-oil separation plant air pollution in relation to effects on vegetation at Houfuf, Saudi Arabia. Ministry of Agriculture and water, Riyadh, SA. 1 – 13.
23. Doyuran, V. 1982A
Makkah inner ring road project: Engineering geologic site investigation, proceeding of 4th congress association of Engineering Geology, New Delhi, India, 4, 127-138.
24. Doyuran, V.; Urgurlu, A. and Haurut, A. 1982B
The Makkah inner ring project: Geotechnical investigation of tunnel MIT-2, Bulletin of the Geological society of Turkey (Tuerkiye Jeoloji Kurumu Buelteni), 25 (1), 73-80.
25. Manavalan, V. 1983.
Lighting and ventilation. Tunnels and Tunneling, 15, (8), 1-81.
26. Sawas, A.H. and Badawi, M.I. 2005
Comparative study of air pollution in underground and ground car traffic tunnels in Makkah holy haram region. Dirasat. Pure sciences, 32, 278 – 296.
27. Sabbak, O.A.; Shahawi, M.A. El- and Abdul Salam 1980.
Air quality within Mina valley during the Hajj season of 1399H (1979), Bulletin faculty of Science, king Abdul Aziz university, 4, 159 – 170.
28. Nasralla, M. M. 1986
Carbon monoxide and photochemical oxidants in Mina valley during pilgrimage. Arab Gulf J. Scientific Research, 4, 193 – 201.
29. Nasralla, M. M. and Younes, A. 1986.
Air quality in Muna valley some finding during pilgrimage 1402H (1982), Arab Gulf J. of scientific Research, 4, 551 – 560.
30. Badawy, M.I. and Al-Samady, A.E. 1996.
Level of some chemical pollutants in Muna's atmosphere during Hajj season of 1413H (1993G). Environ. Sci.Health, A3 (16), 1331 – 1344.
31. Huzyyin, A.S. and El-Hawary, M. 1984.
Man and his transport behavior part 3b urban travel characteristics in greater Cairo, Transport reviews, 4, 287 – 298.
32. Addarb, 1988.
The first underground in the Middle East, Addarb, 3, 16 – 17. KACST # 19880301508.

33. Saafin, A.K 1980
Engineering geological aspects of tunnel No. 5 Muna tunnels project. Abstract of thesis accepted by king Abdulaziz University, up to 1406H. 1 – 149. KACST No. 19880301889.
 34. Darwish, M.A. 1986
Characteristics of rocks and their excavation in Makkah tunnel. Proceeding of Rock engineering and excavation in an urban environment, Hong kong, 27th Feb. 1986, 145 – 154, KACST No. 19870302837.
 35. Hanif, M. 1987
Scale model of underground opening in jointed rocks. Scientific publishing center, king Abdul Aziz University – Jeddah, Saudi Arabia, 1-39.
 36. Fukagawa, Y. 2003. Matsushita electric introduces new air conditioners with Oxygen supply function.
www.matsushita.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/en030116-4/en030116-4, 1- 5.
 37. Tamarkin, D.A. 2003. Oxygen and CO. STCC Foundation press,
www.distance.stcc.edu/AandP/AP/AP2pages/respiration/oxygen.htm 1 – 3.
 38. PME, 1999. Environmental Protection standards (General standards), document 1409-01, Presidency of Metrology and Environmental Protection, Kingdom of Saudi Arabia, 1-22.
 39. Gharani, A.A. 1992.
How new environment rules can hit oil demand: the case of oxygenated gasoline. Organization of the petroleum Exporting countries, 9, 14-16.
 40. Farag, A. O.; Abdulaleem, F.A.; Nikheli, A.H. 1986.
Air pollution control by active foam.Tech. Report, college of Engineering – King Saud university, Riyadh , Saudi Arabia, 1-52.
 41. Shobokshy, M. S.; El-Nasser, A. and Medany, H. 1980.
Experimental investigation on the effect of internal air cooling on the surface heat transfer of turbine blade. National Heat and Mass transf. Coference, Hyserabad, India, 1980, 9 – 16.
-
-

Localization and seasonal factors influencing air pollution of Makkah Tunnels and Pilgrimage Holy sites.

Abdulhalim Sawas & Mohammad I. Badawi*

Hajj Research Center, Umm Al-Qura University, Makkah Al-Mukarramah,

* Pharmacology and Toxicology Department, Faculty of Pharmacy

Taibah University, Madina

Abstract.

King Fahd underground tunnel and Ajiad traffic/pedestrian tunnels are localized in same geographical valley and close to holy haram. Yet, King Fahd tunnel is considered a unique experiment due to its location as underground type and with extra wall ventilation system. Accumulations of air-pollutants were higher in King Fahd underground tunnel and least in Ajiad pedestrian tunnel. Pollutant concentration is proportionally related to number and frequency of movable vehicles in Makkah and holy pilgrimage sites. In addition, high concentration of carbon monoxide proportionally related with increase of weather temperature as recorded in both noon and evening measurement times. Consequently proper aeration adjustment is required to cope with day/night cycle. King Fahd tunnel aeration and dispersion of pollutant was less efficient than other tunnels. Possible recommendations have been presented toward remedy solution. However pollutant accumulation in King Khalid tunnel and pilgrimage holy sites are less in amount, but related also to number and frequency of movable vehicles. Possible measurements to decrease amount of pollutants in pilgrimage season may vary from Ramadan season.

Key Word:

Air pollution, Car tunnel, CO, SO₂, NO₂, Pilgrimage, Makkah, Holy sites.