مجلة جامعة الملك عبدالعزيز : علوم الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة ، م١١ ، ص ص ١١٣-١٣٣ (١٤٢٠هـ/ ٢٠٠٠م)

تركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير في مكة المكرمة خلال شهر رمضان لعام ١٤١٧هـ

عوض بن سلمان الردادي* و عبد اللطيف بن رشاد عجيمي**

** قسم علوم البيئة ، كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة*
جامعة الملك عبدالعزيز ، جدة - المملكة العربية السعودية
*** قسم الكيمياء ، كلية العلوم التطبيقية ، جامعة أم القرى*
مكة المكرمة - المملكة العربية السعودية

المستخلص . أشارت نتائج القياسات العملية لتركيز غاز أول أكسيد الكربون السام داخل أحد الأنفاق الرئيسية في مدينة مكة المكرمة (نفق السوق الصغير) إلى حدوث تجاوزات لمستوياته مقارنة بالمقاييس العالمية والمحلية وذلك أثناء شهر رمضان . وتشكل المستويات التي تم تسجيلها خطورة على المتواجدين داخل النفق وخاصة رجال المرور والباعة المتجولين وسائقي المركبات وحتى الركاب الذين يستخدمون الحافلات أو سيارات الأجرة . ولقد تراوح المتوسط الهندسي الليلي لمستويات غاز أول أكسيد الكربون المقاس في ليالي شهر رمضان من ٤٣,٢٢ إلى ٧٩,٨٩ جزء من المليون وتعتبر هذه المستويات عالية عند مقارنتها بالمستويات المسجلة في بعض أنفاق الدول الأخرى كاليابان والولايات المتحدة الأمريكية . حيث تراوح تركيز غاز أول أكسيد الكربون من ١١-١٥ جزء من المليون في نفق الطريق السريع في مدينة أوساكا اليابانية . كما بلغ أعلى معدل للساعة الواحدة للغاز في ولاية بنسلفانيا الأمريكية ٢١ جزء من المليون .

المقـــدمـــــة

حرصت حكومة المملكة العربية السعودية على العناية والاهتمام بمدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة وذلك لما لها من موقع متميز في قلب كل مسلم في أرجاء المعمورة ، فعبدت الطرق وشيدت المشاريع العملاقة في المشاعر المقدسة . كما تم شق الجبال وإنشاء الأنفاق وذلك لتسهيل حركة الحجاج . وتشهد مدينة مكة المكرمة ازدحاما كبيرا من السيارات والحافلات من وإلى المشاعر المقدسة . وقد بلغ عدد الأنفاق التي تم تشييدها ٥٤ نفقا في مدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة . ونظرا لطبيعة منطقة مكة الجبلية فلقد ساعدت هذه الأنفاق في تيسير حركة الحجاج في المشاعر المقدسة واختصرت الكثير من المسافات ووفرت الوقت وجعلت حركة العربات في المنطقة المحيطة أكثر يسرا وسهولة خاصة في أوقات الذروة عندما يصل مئات الآلاف من المعتمرين والحجاج والزائرين إلى مكة المكرمة خاصة في شهري رمضان وذي الحجة من كل عام .

ويؤدي الازدحام الهائل للحافلات والسيارات في مساحة محدودة من الأرض إلى انطلاق كميات كبيرة من الملوثات . ومما يزيد المشكلة ويجعلها أكثر تعقيدا هو طبيعة مكة المكرمة الجبلية التي تجعل حركة السيارات أكثر صعوبة . وتطلق عوادم المركبات العديد من الملوثات ولعل أهمها غاز أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات وثاني أكسيد الكبريت والجسيمات الصلبة . وكذلك الرصاص الذي ينطلق مع عوادم سيارات البنزين وسنركز في هذه الدراسة على غاز أول أكسيد الكربون .

يعتبر غاز أول أكسيد الكربون من أكثر ملوثات الهواء انتشارا وهو غاز عديم اللون والرائحة والطعم وخامل كيميائيا في الظروف الطبيعية وهو أخف قليلا من الهواء . ويتميز هذا الغاز ببقائه في الجو لفترة طويلة تتراوح بين شهرين إلى أربعة أشهر (Wark and Warner, 1981) . وينطلق هذا الغاز من عمليات الاحتراق غير الكامل للمواد المحتوية على الكربون والمستخدمة إما كوقود للمركبات والعمليات الصناعية المختلفة ووسائل التدفئة والتسخين بالإضافة إلى انطلاقه أثناء عملية حرق النفايات .

ويعتبر غاز أول أكسيد الكربون من الملوثات الرئيسية الموجودة في غازات عوادم سيارات البنزين ولذلك فإن وجوده في هواء المدن الكبيرة وبالقرب من الطرق السريعة والشوارع الرئيسية يعزى في الغالب إلى المركبات (Colwill and Hickman, 1980) .

وأشارت أحد الدراسات التي أجريت في مدينة الرياض إلى أن عوادم المركبات تمثل المصدر الرئيسي لهذا الغاز في أجواء المملكة العربية السعودية (Row *et al.* 1989) . وأشارت هذه الدراسة أيضا إلى حدوث تجاوزات في مستويات الغاز للمعايير التي حددتها مصلحة الأرصاد وحماية البيئة والتي تنص على أن لا يتعدى متوسط تركيز غاز أول أكسيد الكربون في الساعة الواحدة (خلال أي مدة طولها ثلاثين يوما) ٣٥ جزءاً من المليون أكثر من مرتين في أي موقع ، وألا يتجاوز متوسط تركيز الغاز في ثماني ساعات خلال أي مدة طولها ٣٠ يوم التركيز ٩ أجزاء من المليون أكثر من مرتين في أي موقع (MEPA, 1409) . ومن خلال الدراسة التي أجراها Row وزملاؤه في أربعة مواقع في مدينة الرياض وجد أن معدل تركيز غاز أول أكسيد الكربون في موقعين من المواقع الأربعة قد بلغ ٤٣ جزء من المليون خلال ساعة واحدة في الهواء الخارجي في كلا الموقعين متجاوزا المعايير . أما في المناطق البعيدة عن مصادر الغاز فلقد بلغ التركيز ٣,٠ جزء من المليون عند أحد المناطق الساحلية القريبة من مدينة الظهران (Row *et al.* 1989) وأوضحت الدراسة أن تجاوز مستوى تركيز غاز أول أكسيد الكربون في وسط المدينة للمعايير التي حددتها مصلحة الأرصاد وحماية البيئة قد يشكل خطر على صحة الإنسان .

ولا توجد حاليا تعليمات محددة عن المستويات الآمنة لأول أكسيد الكربون في أثناء القيادة ولكن إرشادات منظمة الصحة العالمية للتعرض لغاز أول أكسيد الكربون بالنسبة للزمن تنص على أن :

أ . أعلى حدود للتعرض هو ٨٧ جزء من المليون لمدة لا تتجاوز ١٥ دقيقة .
ب . ٥٠ جزء من المليون لمدة ٣٠ دقيقة .
جـ . ٢٥ جزء من المليون لمدة ساعة واحدة .
د . ١٠ أجزاء من المليون لمدة ٨ ساعات (Clifford *et al.* 1997) .

و أشارت دراسة قياس تركيز غاز أول أكسيد الكربون خارج السيارة أثناء سيرها في شارعين رئيسيين في مدينة نوتنجهام الإنجليزية إلى أن معدل تركيز غاز أول أكسيد الكربون كان ١١,١ و١١,٣ جزء من المليون في وقتي الذروة في الصباح والمساء، على التوالي. وأما في أيام الإجازة المدرسية فإن المعدل ينخفض إلى ٧,٥ و٧,٧ جزء من المليون في الصباح والمساء وذلك بسبب الانخفاض الملحوظ لأعداد المركبات (Clifford *et al* 1997). ويشكل هذا الغاز مشكلة في الكثير من المدن الكبيرة، ففي الولايات المتحدة الأمريكية مثلا نجد أن المعدل المسموح به وهو ٩ أجزاء من المليون خلال فترة ٨ ساعات قد حدث تجاوز له في ٢٣ ولاية خلال العام ١٩٩٠م. كما لم يحدث أي تجاوز لمعدل الساعة الواحدة المسموح به وهو ٣٥ جزء من المليون (Committee of the Environmental and Occupational Health, 1996). وينخفض تركيز الغاز داخل المنازل والمباني عنه في الهواء الخارجي بجزأين إلى أربعة أجزاء من المليون (Akland *et al.* 1985). وفي مدينة مكسيكو (Mexico City) المكسيكية وجد أن كمية أول أكسيد الكربون المنطلقة من عوادم السيارات تفوق الكميات المنطلقة من عوادم السيارات في كلا من دول أمريكا الشمالية وأوروبا. وعزى الباحثون الزيادة الكبيرة في انبعاث الملوثات إلى سوء الصيانة للسيارات. وقد أشارت الدراسة إلى أن إدخال نظام المحولات المحفزة (Catalytic Converters) من الممكن أن يحل المشكلة ولكن هذه المحولات تحتاج إلى وقت طويل لتعميمها كما أنها عالية التكلفة بالإضافة إلى حاجتها إلى وقود مناسب وصيانة جيدة (Beaton *et al.* 1992). وأشارت دراسة الوفيات المتعلقة بأول أكسيد الكربون في الولايات المتحدة الأمريكية خلال الفترة ١٩٧٩ إلى ١٩٨٨ م إلى حدوث تناقص في عدد الوفيات يقدر بحوالي ٦٣ حالة وفاة في السنة. وعزى الباحثون التناقص إلى التحسينات التي طرأت على أنظمة التحكم في التلوث الصادر من عوادم المركبات والأمان والحذر في أجهزة التدفئة والطهي. وشملت الدراسة مراجعة ٥٦١٣٣ شهادة وفاة والتي كان لأول أكسيد الكربون دور فيها. ولقد تسببت غازات عوادم السيارات في ٦٥٥٢ حالة وفاة من بين ١١٥٤٧ حالة وفاة غير متعمدة أي ما يعادل ٥٧٪ من الوفيات الغير متعمدة وحدثت ٥٤٣٢ حالة وفاة

(٨٣٪) من هذه الوفيات والسيارات واقفة (Cobb and Etzel, 1991) .

ويشكل الغاز خطورة بالغة عند انطلاقة في الأماكن المغلقة والسيئة التهوية كالورش ومواقف السيارات والأنفاق . وأشارت الدراسة التي قام بها Kamei and Yanagisawa (1997) والتي أجريت في وقت الذروة في ثلاثة أنفاق مختلفة في منطقة بوسطن في الولايات المتحدة الأمريكية إلى تعرض عمال البناء الذين كانوا يعملون داخل تلك الأنفاق إلى مستويات عالية من الغاز تراوحت بين ٥ و٤٢ جزءاً من المليون . كما لاحظوا أيضا وجود علاقة خطية بين تركيز غاز أول أكسيد الكربون والبعد عن المدخل أو المخرج للنفق . وفي دراسة أخرى وجد علاقة بين تراكيز الغاز المسجلة داخل النفق مع المستويات المسجلة داخل المباني المجاورة للنفق كما حدث ارتفاع ملحوظ في معدل الكربوكسي هيموجلوبين في دم العمال الذين يعملون داخل النفق مع زيادة الكثافة المرورية داخل النفق (Coviaux *et al.* 1984) .

ويؤدي استنشاق كميات كبيرة من الغاز إلى حدوث تسمم حاد مع الكثير من التغيرات الفسيولوجية والمرضية . ويمكن أن يتسبب الغاز في فقدان الوعي والتشنج وحتى الموت خاصة في العمال الذين يعملون في الأنفاق وسائقي السيارات (Nouh, 1986) . وأشارت بعض الدراسات (Vogel and Gleser, 1972; Nouh, 1986) إلى أن التعرض إلى تركيز بسيط من الغاز يؤدي إلى حدوث تأثيرات على وظائف الجسم بالإضافة إلى التأثير على مستوى أداء بعض التمارين الرياضية للأفراد الأصحاء حيث سجل انخفاض في استهلاك الأكسجين مع زيادة تركيز الكربوكسي هيموجلوبين في الدم . وقد يعزى هذا إلى المقدرة الفائقة لغاز أول أكسيد الكربون على الاتحاد مع الهيموجلوبين مقارنة بالأكسجين (أكثر من ٢٠٠ مرة من الأكسجين) مما يحد من مقدرة الأكسجين الضروري لخلايا الجسم المختلفة من الاتحاد مع الهيموجلوبين (Stern, 1985) . وفي دراسة على تأثير غاز أول أكسيد الكربون على النوم اتضح حدوث انخفاض في حركة العينين بالإضافة إلى التأثير على الدخول في مرحلة النوم العميق (Suss *et al.* 1985) . وفي دراسة أخرى لوحظ حدوث زيادة غير طبيعية في النظام العصبي المركزي بسبب التعرض لهذا الغاز أثناء فترة الحمل (Woody and Brewster, 1990) .

وأكثر الناس تأثرا بهذا الغاز السام كبار السن والأفراد الذين يعانون من أمراض الأوعية الدماغيه .

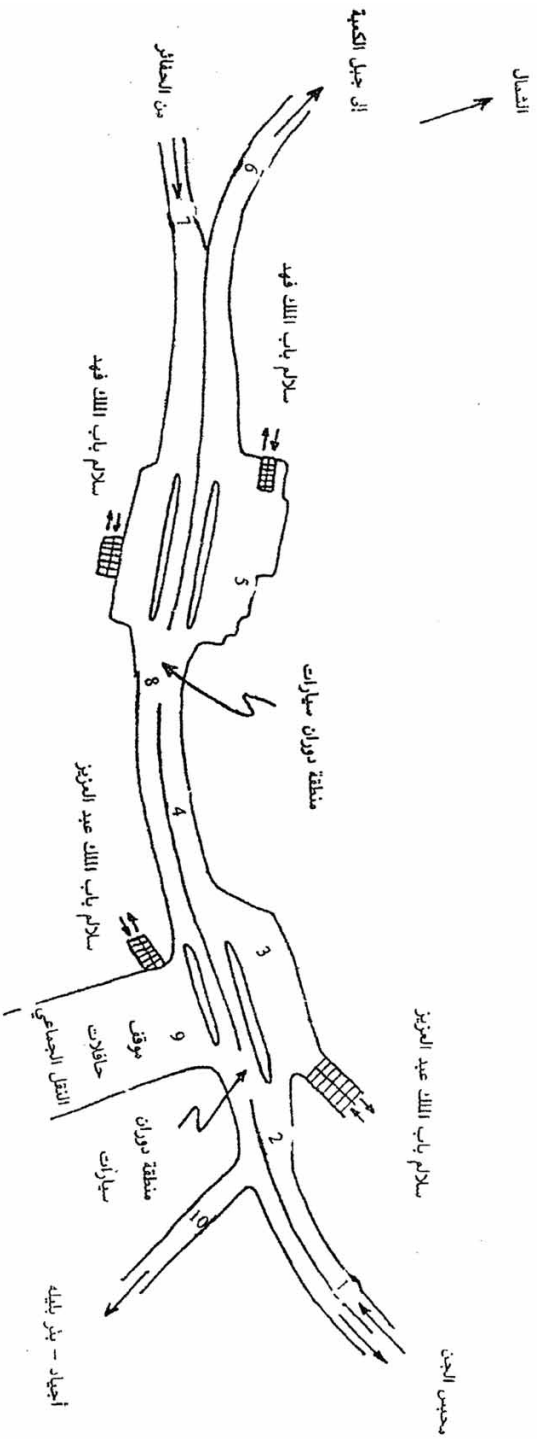
وعموما فان تأثير غاز أول أكسيد الكربون على صحة الإنسان يعتمد اعتمادا كبيرا على نسبة الكربوكسي هيموجلوبين في الدم حيث يؤدي التعرض الحاد لتركيز عالٍ من الغاز إلى حدوث تسمم حاد وإغماء وتشنج وتبدأ هذه الأعراض في الظهور عندً ما يصل مستوى الكربوكسي هيموجلوبين إلى أكثر من ٤٠٪ (Winter and Miller, 1976) . ويتفاقم تأثير أول أكسيد الكربون في حالة وجود أمراض في الجهاز التنفسي خاصة في المرضى من كبار السن الذين يعانون من فشل قلبي احتقاني (Congestive Heart Failure) حيث لوحظ وجود علاقة وثيقة بين تركيز أول أكسيد الكربون في الهواء المحيط وأعداد هؤلاء المرضى المنومين في المستشفى (Morris *et al.* 1995) .

هـــدف الدراســـة

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مستويات غاز أول أكسيد الكربون في نفق السوق الصغير بمكة المكرمة ومقارنته مع المواصفات المحلية والعالمية حيث يشهد كثافة عالية من الناس والمركبات خاصة في شهري رمضان وذي الحجة حيث يتواجد داخل النفق موقف خاص لحافلات النقل الجماعي بالإضافة إلى التواجد المكثف لرجال المرور والدفاع المدني وبعض الباعة .

منطقـــة الدراســـة

أجريت الدراسة في نفق السوق الصغير بمكة المكرمة (الشكل ١) ويتميز هذا النفق بقربه من بيت الله الحرام حيث يقع مخرجة على ساحات الحرم المكي والتي يتواجد فيها أعداد كبيرة من الزوار والمعتمرين . ويبلغ طول هذا النفق ١٣٠٠ متر (منها حوالي ١١٠٠ متر مغطاة) . وتم تشييد هذا النفق العملاق من أجل تخفيف الاختناق المروري الذي كان يحدث بالقرب من الحرم المكي الشريف . ويتواجد داخل النفق مواقف



شكل (١) رسم توضيحي يبين مواقع قياس الغازات داخل نفق الملك فهد بالسوق الصغير.

خاصة بالحافلات ومركز للدفاع المدني بالإضافة إلى العديد من الباعة المتجولين والذين يتخذون من الأرصفة مكانا لبيع البضائع البسيطة التي يحملونها . كما يفترش بعض المعتمرين والزائرين أرصفة النفق على الرغم من التعليمات الخاصة بمنع ظاهرة الافتراش من قبل الجهات الأمنية . ويوجد بالنفق فتحتان لدوران السيارات داخله (U-TURN) مما يتسبب في حدوث ازدحاما شديدا داخل النفق في أوقات الذروة .

خطـــة العمـــل

تم اختيار عشرة مواقع داخل النفق لدراستها وذلك لإعطاء صورة واضحة لتركيز الغاز داخل النفق (الشكل ١) . وتم اختيار عشرة أفراد متطوعين للقيام بالدراسة بعد أن تم تدريبهم على كيفية تشغيل الأجهزة عند بداية القياسات وإغلاقها عند النهاية . كما تم تدريبهم على كيفية حمل الأجهزة . وتم تزويد كل فرد منهم بجهاز ووزعوا في المواقع المختارة (الشكل ١) . وتم اخذ العينات على مسافة متر من الطريق وارتفاع متر عن الرصيف أيضا . ولقد تم أخذ العينات في وقت الذروة والذي يبدأ عادة قبل وبعد صلاة العشاء والقيام ولقد تراوحت فترة أخذ العينات من ساعة واحدة إلى حوالي ساعتين لمدة تسعة أيام داخل النفق . وتشمل هذه الأيام كلا من اليوم الرابع عشر والسادس عشر والتاسع عشر والعشرين والثاني والعشرين والثالث والعشرين والسادس والعشرين والسابع والعشرين والثامن والعشرين من شهر رمضان . كما تم أخذ بعض العينات في نفس المواقع السابقة في اليوم العاشر من شهر شوال وذلك بهدف المقارنة مع النتائج المسجلة خلال شهر رمضان المبارك٠ والقائمة رقم (١) تبين خصائص كل من المواقع العشرة التي تم اختيارها للدراسة داخل النفق .

قائمة رقم ١ : وصف مواقع العينات

الموقع رقم (١) يتميز هذا الموقع بأنه مدخل النفق من جهة محبس الجن حيث يشهد ازدحاما شديدا وقد يعزى السبب إلى وجود فتحة خاصة بدوران المركبات (U-TURN) على بعد ١٥٠ متر من المدخل بالإضافة إلى

ضيقة كما يتأثر هذا الموقع بحركة المركبات المغادرة للنفق .

الموقع رقم (٢) يتميز هذا الموقع بقربه من منطقة دوران المركبات ويشهد عملية صعود ونزول المصلين والمعتمرين عن طريق سلالم باب الملك عبد العزيز .

الموقع رقم (٣) يتميز هذا الموقع بوجوده في منطقة مفتوحة نسبيا مقارنة بالموقعين السابقين وذلك بسبب اتساع النفق ووجود مواقف مؤقتة لإنزال وإركاب الأفراد .

الموقع رقم (٤) يتميز هذا الموقع بضيق النفق في هذه الجزء من النفق وبعده عن السلالم الكهربائية ويبعد حوالي ١٠٠ متر عن منطقة الدوران الثانية .

الموقع رقم (٥) يتميز هذا الموقع بوجوده في منطقة مفتوحة نسبيا مقارنة بالموقعين السابقين وذلك بسبب اتساع النفق ووجود مواقف مؤقتة لإنزال وإركاب الأفراد وكذلك فإن بعض الأفراد وخاصة النساء وكبار السن ينتظرون سائقهم وذلك لإيصالهم إلى منازلهم . بالإضافة إلى وجود بعض الباعة المتجولين والمفترشين للرصيف . ويبعد عن السلالم الموصلة إلى باب الملك فهد بحوالي ٥٠ مترا .

الموقع رقم (٦) يتميز هذا الموقع بقربة من مخرج النفق إلى جبل الكعبة ويتم سحب الهواء بواسطة مراوح الشفط إلى النفق من هذه الجهة في معظم لأوقات .

الموقع رقم (٧) يتميز هذا الموقع بقربة من مدخل النفق من الناحية الأخرى للنفق من جهة الحفائر .

الموقع رقم (٨) يتميز هذا الموقع بقربة من منطقة الدوران الثانية .

الموقع رقم (٩) يتميز هذا الموقع بقربة من محطة حافلات النقل الجماعي .

الموقع رقم (١٠) ويمثل مخرج النفق من جهة أجياد .

طريقة جمع العينات وأجهزة القياس

تم جمع العينات باستخدام أجهزه سهلة الحمل (MTX 412) وتحتوي هذه الأجهزة على أجهزه حساسة (Electrochemical Sensors)حيث تقوم بتسجيل فوري لتركيز كلا من غاز أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت والأكسجين .كما تتضمن أجهزة القياس جهاز المجس المساعد (Catalytic Sensor) لقياس تركيز الغازات القابلة للاحتراق والميثان .وتعمل هذه الأجهزة بالبطاريات ويمكن أن تعمل لمدة ٨ ساعات متواصلة بعد شحنها ، ويمكن إطالة فترة عمله إلى عشرة أيام وذلك بإزالة المجس الخاص بقياس غاز الميثان . هذا وقد تمت معايرة الأجهزة حسب تعليمات الشركة المنتجة . كما يقوم الجهاز بقياس تركيز غاز أول أكسيد الكربون من ٠-٩٩٩ جزء من المليون . ويقوم هذا الجهاز بقياس المستويات كل دقيقة ثم تخزن في الذاكرة الخاصة بالجهاز وبعدها يتم استخراج البيانات بواسطة الحاسب الآلي حيث تطبع المستويات الخاصة بملوثات الهواء كل دقيقة .

النتائج والمناقشة

١- تركيز غاز أول أكسيد الكربون في المواقع المختلفة داخل النفق خلال شهر رمضان المبارك

يوضح الجدول رقم ١ تركيز غاز أول أكسيد الكربون في المواقع المختلفة داخل النفق خلال شهر رمضان المبارك ويؤكد الجدول أن متوسط تركيز الغاز خلال فترة الدراسة قد تجاوز معايير منظمة الصحة العالمية ومعايير مصلحة الأرصاد وحماية البيئة في جميع المواقع الموضحة على الجدول حيث تنص المعايير التي شرعتها مصلحة الأرصاد وحماية البيئة على أن لا يتعدى متوسط تركيز غاز أول أكسيد الكربون في الساعة الواحدة (خلال أي مدة طولها ثلاثين يوما) ٣٥ جزء من المليون أكثر من مرتين في أي موقع . كما نصت المعايير التي اقترحتها منظمة الصحة العالمية على أن لا يزيد متوسط التعرض للغاز عن ٢٥ جزء من المليون خلال الساعة الواحدة . وتعزى المستويات العالية التي

سجلت في المواقع المختلفة إلى الكثافة العالية للمركبات والزحام الشديد الذي يشهده النفق وذلك أثناء صعود ونزول الركاب إلى السيارات والحافلات . ومما يفاقم المشكلة هو انتظار بعض سائقين الأجرة والسيارات الخاصة في بعض الأماكن تاركين محركات سياراتهم تعمل بغرض استعمال المكيفات . ويشير الجدول ١ إلى أن أعلى متوسط هندسي لغاز أول أكسيد الكربون والذي كان ٧٦ جزءًا من المليون قد سجل في الموقع رقم ١ والذي يمثل مدخل النفق من جهة محبس الجن . أما أقل متوسط والذي كان ٤٤ جزءًا من المليون فلقد سجل في الموقع رقم ٧ وهو يمثل مدخل النفق من الجهة الأخرى وهو أقل زحاما من المدخل الآخر .

جدول (١). تركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير في المواقع المختلفة خلال شهر رمضان ١٤١٧هـ .

رقم الموقع	عدد العينات* N	المتوسط الهندسي Geometric Mean	الوسيط Median	الانحراف المعياري Std.	أقل قراءة Minimum	أعلى قراءة Maximum
١	٧٦٥	٧٦,٣٣	٨٠	٣٨,٢٩	١٤	٢٩٦
٢	–	–	–	–	–	–
٣	٧٧٧	٦٠,٢٢	٧٣	٤٨,٦٩	١	٢٤٩
٤	–	–	–	–	–	–
٥	–	–	–	–	–	–
٦	٧٩٨	٥٠,٠١	٥٤	٤٢,٤١	٥	٣١٢
٧	٧٤٤	٤٣,٧٢	٤٦	٢٧,٦٣	١٣	١٦٠
٨	٦٥٣	٥١,٩١	٥٧	٤٣,٧٢	٢	٢٥٩
٩	–	–	–	–	–	–
١٠	٧٧٩	٤٧,١٦	٥٠	٢٦,٢٨	٩	٢١١

* مجموع عينات أخذت في وقت الذروة (قبل وبعد صلاة العشاء والقيام) في أيام ١٤ ، ١٦ ، ١٩ ، ٢٠ ، ٢٢ ، ٢٣ ، ٢٦ ، ٢٧ ، ٢٨ من شهر رمضان للعام ١٤١٧هـ .

٢- تركيز غاز أول أكسيد الكربون في نفس المواقع داخل النفق وذلك في اليوم العاشر من شهر شوال

ولمقارنة المستويات المسجلة لأول أكسيد الكربون في وقت الذروة خلال شهر رمضان مع المستويات المسجلة في الأيام العادية الخالية من الزحام تم قياس تركيز غاز أول أكسيد الكربون في نفس المواقع داخل النفق وذلك في اليوم العاشر من شهر شوال وفي تمام الساعة العاشرة صباحا . ويوضح الجدول ٢ تركيز غاز أول أكسيد الكربون في المواقع المختلفة داخل النفق . وعموما فإن معدل المستويات المسجلة داخل النفق كان ٢١ جزءاً من المليون وهو حولي ٤٠٪ من المستوى الذي حددته منظمة الصحة العالمية والذي ينص على أن أقصى تركيز يتعرض له الإنسان ٥٠ جزء من المليون لمدة ٣٠ دقيقة . وكذلك فإن المعدل المقاس أقل من المستوى الذي حددته مصلحة الأرصاد وحماية البيئة . وهذا يؤكد أن الكثافة المرورية العالية وما ينتج عنها من ازدحام شديد داخل النفق خلال شهر رمضان هو المسؤول الرئيسي عن المستويات العالية للغاز .

جدول (٢) تركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير في اليوم العاشر من شهر شوال .

رقم الموقع	عدد العينات N	المتوسط الهندسي Geometric Mean	الوسيط Median	الانحراف المعياري Std.	أقل قراءة Minimum	أعلى قراءة Maximum
١	٣٣	٢٦,٣٨	٢٥	٩,٥١	١٩	٦٥
٢	٣١	٢٢,٤٠	٢٠	١٦,٤	١٠	٨٥
٣	٣٠	٢٤,١٩	٢٣	١٠,٩	١٤	٧٢
٤	–	–	–	–	–	–
٥	–	–	–	–	–	–
٦	٣٠	١٠,٨٤	١٠,٥	٩,٥٤	٥	٥٦
٧	٢٩	٢٠,٢٩	٢٣	٧,١٤	١١	٣١
٨	٣٢	٢٧,٢٨	٣٢	٢١,٦٢	٧	٦٨
٩	٢٩	١٣,٩٧	١٣	١٣,٢١	٥	٧٧
١٠	٣٢	٣٧,٧٨	٣٧,٥	١٨,٢٣	١٧	٩٢
المتوسط	٢٤٦	٢١,٤٥	٢٢	١٦,٠٧	٥	٩٢,٠٠

٣- متوسط تركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير في فترة الدراسة

يوضح الجدول ٣ المتوسط الهندسي لتركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير في فترة الدراسة . ولقد حدث تجاوز للحد المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية أو من قبل مصلحة الأرصاد وحماية البيئة وذلك خلال جميع أيام الدراسة . وسجلت أعلى المعدلات للغاز في يومي الرابع عشر والسابع والعشرين من شهر رمضان وكانت ٨٠ و ٦٣ جزء من المليون على التوالي . وكان الأول يوم الخميس وهو عطلة نهاية الأسبوع وأما الثاني فكان يوم الأربعاء وكان عبارة عن إجازة والتي تسبق عيد الفطر ، مما يساعد معظم الموظفين على أداء العمرة والصلاة في المسجد الحرام خلال العشرة الأواخر من شهر رمضان . وعند مقارنة المستويات المسجلة خلال فترة الذروة في شهر رمضان المبارك مع المستويات المسجلة في شهر شوال يتضح أن هناك ارتفاعًا كبيراً في المستويات . فعلى سبيل المثال بلغ معدل تركيز الغاز في اليوم الأول للدراسة (١٤ رمضان) ٨٠ جزء من المليون وكانت أكثر من ثلاثة أضعاف المعدل المسجل في اليوم الأخير (العاشر من شوال) حيث كان معدل التركيز ٢٣ جزءاً من المليون .

جدول (٣) تركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير في فترة الدراسة .

التاريخ	عدد العينات N	المتوسط الهندسي Geometric Mean	الوسيط Median	الانحراف المعياري Std.	أقل قراءة Minimum	أعلى قراءة Maximum
٩/١٤	٢٣٢	٧٩,٨٩	٨٢,٥	٣٧,٢٧	١٧	٢٣٤
٩/١٦	١٣٦	٥٣,٦٤	٦١,٥	٢٨,٠٣	٧	٢١٤
٩/٢٠	٦٤٦	٤٣,٢٢	٤٣	٤٢,٢٨	٢	٢٩٦
٩/٢٢	٦٢٩	٤٣,٦٨	٤٧	٣٢,٤	٤	٢٢٦
٩/٢٣	٦١٤	٥١,٧٧	٥٠	٤٩,٩٥	٣	٣١٢
٩/٢٦	٥٩٤	٥٦,٦٧	٥٨	٣٣,٠٨	٧	١٨٥
٩/٢٧	٧٣٠	٦٢,٧٢	٦٧	٣٦,٢	١	٢٠٨
٩/٢٨	٧١٩	٥٢,٢٦	٥٥	٤٥,٨٦	٨	٢٤٩
١٠/١٠	١٨٦	٢٢,٧٧	٢٣,١	١٦,٠٨	٥	٩٢

٤- تركيز غاز أول أكسيد الكربون في المواقع المختلفة في اليوم السادس والعشرين (ليلة السابع والعشرين) من شهر رمضان

بالنظر إلى الجدول ٤ نلاحظ أن أعلى متوسط هندسي وقدره ١٣٦ جزءاً من المليون قد تم تسجيله في الموقع رقم ٩ والذي يقع بالقرب من مواقف حافلات النقل الجماعي . وبالرجوع الى الدراسة التي تمت بواسطة (Al-Radady and Aujimi, 1999) كان أعلى معدل لغاز ثاني أكسيد الكبريت ١٢,٤ جزءاً من المليون . وكذلك كانت أعلى المستويات المسجلة في تلك الدراسة وفي نفس الموقع ٢٦٨ و١ , ٢٩ جزءاً من المليون لكل من غاز أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت على التوالي . وعموما فان هذا متوقع لأن الحافلات تستهلك الديزل كوقود وتطلق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت إضافة إلى غاز أول أكسيد الكربون والذي ينطلق من عوادم السيارات ، كذلك فان توقف الحافلات داخل النفق لإنزال وانتظار الركاب بالإضافة إلى ترك الحافلات تعمل أثناء انتظار الركاب من أجل التهوية يزيد من انبعاث الملوثات داخل النفق خاصة أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت .

جدول (٤) تركيز غاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير في يوم السادس والعشرين من رمضان (ليلة السابع والعشرين) .

رقم الموقع	عدد العينات N	المتوسط الهندسي Geometric Mean	الوسيط Median	الانحراف المعياري Std.	أقل قراءة Minimum	أعلى قراءة Maximum
١	١١٩	٩٢,٤٠	١٠٠	٣٨,٥٦	٢٥	٢٠٨
٢	–	–	–	–	–	–
٣	١٢٥	٧١,٢٠	٨٦	٤١,٧٤	١	١٩٥
٤	–	–	–	–	–	–
٥	١٢٤	٧٤,٩٥	٧٧,٥	٣٦,٨٨	٩	١٨٧
٦	١٢١	٥٢,٧١	٥٦	٢٤,٠٧	٩	١١٩
٧	١٢٤	٤٣,٨٨	٥٠,٥	١٨,٥٣	١٥	١١٩
٨	١٨٨	٦١,٩٧	٦٨	٦٩,٦٣	١١	٢٠٥
٩	١٢٣	١٣٦,١٣	١٣٩	٤٦,٨٩	١٧	٢٦٨
١٠	١٢٣	٦٥,٤١	٨٠	٢٥,٣٠	١٦	١٠٧
المتوسط	٩٧٧	٧٠,٧٣	٧٧	٤٤,٦	١	٢٦٨

كما سجلت معدلات عالية لكل من غاز أول أكسيد الكربون في الموقع رقم ١ حيث بلغ المتوسط الهندسي ٩٢ جزءاً من المليون . وهذا الموقع يمثل بداية النفق حيث يشهد ازدحاما مستمرا للسيارات . أما أقل المتوسطات الهندسية لغاز أول أكسيد الكربون فلقد كانت ٥٣ و٤٤ جزءاً من المليون في الموقعين رقم ٦ و٧ على التوالي . وهذان الموقعان يمثلان مخرج ومدخل النفق من الجهة الأخرى (جهة محبس الجن) . وعموما فإن عملية سحب الهواء النقي تتم في الغالب من هذه الجهة ولذلك يفترض أن يكون الهواء أكثر نقاء . كما سجل معدل تركيز أقل لأول أكسيد الكربون عند الموقع رقم ١٠ مقارنة بالمواقع الأخرى حيث بلغ متوسط التركيز الهندسي ٦٥ جزء من المليون . وهذا الموقع يقع في مخرج السيارات المتجهة إلى أجياد (انظر الشكل ١) وهو قليل الزحام عند مقارنته بالمواقع الأخرى . كما يوضح الجدول رقم ٤ المتوسط الهندسي لتركيز غاز أول أكسيد الكربون في جميع المواقع داخل النفق في ذلك اليوم حيث بلغ ٧١ جزء من المليون بانحراف معياري وقدرة (٤٥) . وتعتبر هذه التراكيز عالية عند مقارنتها بالتراكيز المسجلة في أنفاق أخرى في العالم فمثلا تراوح تركيز غاز أول أكسيد الكربون في أحد أنفاق مدينة أوساكا اليابانية بين ١١ و١٥ جزء من المليون مع العلم أن هذا النفق عبارة عن خط سريع تمر منه المركبات (Funasaka *et al.* 1998) . كما بلغ أعلى معدل تركيز للساعة الواحدة للغاز في نفق Allegheny في ولاية بنسلفانيا الأمريكية ٢١ جزءاً من المليون (Grose and Norbeck, 1981) .

وعند مقارنة متوسط المستويات المسجل في النفق في ذلك اليوم مع معايير منظمة الصحة العالمية والتي تنص على ألا يتعرض الفرد لتركيز قدرة ٢٥ جزءاً من المليون لأكثر من ساعة واحدة ، فإننا نجد التعرض خلال الساعة يصل إلى أكثر من ثلاثة أضعاف مما حددته منظمة الصحة العالمية . أما بالنسبة للمعايير السعودية والتي تنص على ألا يزيد متوسط تركيز الغاز في الساعة الواحدة خلال أي مدة طولها ثلاثين يوما عن اكثر من ٣٥ جزءاً من المليون ، فلقد حدث لها تجاوز في جميع المواقع .

٥- تركيز غاز أول أكسيد الكربون في الموقع رقم ٩ والذي يقع بالقرب من محطة الحافلات

يوضح الجدول رقم ٥ تركيز غاز أول أكسيد الكربون في الموقع رقم ٩ والذي يقع بالقرب من موقف الحافلات . وسجلت أعلى معدلات تركيز للغاز في هذا الموقع حيث

تراوحت المعدلات في هذا الموقع من ٨٣ إلى ١٣٦ جزءاً من المليون خلال شهر رمضان المبارك . أما في اليوم العاشر من شوال فكان المعدل هو ١٤ جزءاً من المليون . وهذا يشير بوضوح إلى التأثير الواضح للحافلات على تركيز الغاز في الموقع حيث كانت معدلات المستويات المسجلة في الموقع في شهر رمضان من حوالي ٤ إلى ١٠ أضعاف المستويات المسجلة في العاشر من شهر رمضان . ويمكن أن تعزى المستويات العالية للغاز في الموقع إلى توقف الشاحنات لفترة من الزمن وذلك أثناء عملية إنزال الركاب وانتظار الركاب قبل مغادرتها للموقع . وفي هذه الأثناء تترك محركات السيارات تعمل وذلك بسبب تشغيل محركات الحافلات بهدف التهوية وخاصة وأن المكان شديد الزحام والتلوث ومما يزيد الموقف صعوبة هو وجود فتحة في الطريق لدوران المركبات (U-Turn) الأمر الذي يؤدي إلى حدوث ازدحام شديد للمركبات محدثا زيادة في طول فترة مكوث الحافلات والسيارات داخل النفق .

جدول (٥) تركيز غاز أول أكسيد الكربون في الموقع رقم ٩ والذي يقع في محطة الحافلات .

التاريخ	عدد العينات N	المتوسط الهندسي Geometric Mean	الوسيط Median	الانحراف المعياري Std.	أقل قراءة Minimum	أعلى قراءة Maximum
٩/١٩	٧٥	٨٣,٣٧	١١٤	٦١,١٢	٢٣	٢٣٠
٩/٢٠	١٠٨	٧٢,٩٥	٦٩,٥٠	٣٩,٩٥	٢٨	١٥٦
٩/٢٢	١٠٤	٧٥,٥٣	٧٥,٥	٥٥,٨٣	٢٩	٣٢٤
٩/٢٣	١٠٧	٧٣,١٨	٦٤,٠	٤٩,٦٧	٣٠	٢١٣
٩/٢٦	١٢٣	١٣٦,١٣	١٣٩	٤٦,٨٩	١٧	٢٦٨
٩/٢٧	١٠٤	٨٥,٥٨	٨٨,٥	٥٠,٧٩	٢٤٥	٢٤٥
٩/٢٨	١٣٨	١٠١,٤٦	١٣٢	٥٧,١٣	١٨	٢٣٤
١٠/١٠	٢٩	١٣,٩٧	١٣	١٣,٢١	٥	٧٧

وفي هذا الموقع يتوقف الركاب لمدة تتراوح بين العشر إلى عشرين دقيقة في الموقع بمعدل خمسة عشر دقيقة يتعرضون خلالها إلى معدلات عالية من غاز أول أكسيد الكربون تتراوح معدلاتها اليومية من ٧٣ إلى ١٣٦ جزءاً من المليون وذلك خلال شهر رمضان . وعند مقارنة هذه المستويات مع الحدود التي وضعتها منظمة الصحة العالمية

والتي تنص على ألا يزيد التعرض خلال أي فترة زمنية مقدارها خمسة عشر دقيقة عن ٨٧ جزءاً من المليون ، نجد أنه حصل تجاوز خلال اليومين السادس والعشرين والثامن والعشرين من شهر رمضان المبارك حيث كان المتوسط الهندسي ١٣٦ و١٠١ جزءاً من المليون على التوالي . وتشكل هذه المستويات خطورة كبيرة على رجال المرور والذين قد يتواجدون لعدة ساعات داخل النفق . وهناك فئة أخرى قد تكون معرضة لمخاطر هذا الغاز وهم الباعة المتجولين داخل النفق والزوار الذين يفترشون النفق .

كما أن هذا الغاز قد يشكل خطورة على سائقي الحافلات الذين يمكثون فترة قد تصل إلى نصف ساعة داخل النفق خاصة عندما يشتد الزحام داخل النفق وهي فترة مرورهم وتوقفهم وخروجهم من النفق . ويضاف إلى ذلك أن عملية فتح الأبواب أثناء خروج وصعود الركاب بالإضافة إلى تشغيل المكيف أثناء المرور أو التوقف داخل النفق تؤدي إلى تسرب الملوثات إلى داخل الحافلات والسيارات مما يؤدي إلى بقاء أول أكسيد الكربون إلى فترة أطول داخل المركبات وبالتالي تزيد فترة التعرض لهذا الغاز السام . ومما يزيد الوضع صعوبة هو عملية إغلاق النوافذ الجانبية للمركبة مما يضعف عملية استبدال الهواء الداخلي بهواء خارجي . ولقد أشارت الدراسة التي قام بها Ott *et al.* (1994) إلى أنه عندما تكون سرعة السيارة ٣٢ كم/ ساعة فإن الهواء يتجدد من مرة إلى مرتين كل دقيقة في حالة فتح النوافذ الجانبية للسيارة . وفي المقابل ففي حالة إغلاق النوافذ الجانبية للمركبة فإن معدل تجدد الهواء ينخفض إلى ٠,٢٢ مرة في الدقيقة عند نفس السرعة للمركبة . مما يؤكد استمرار التعرض للغاز سوءا كان ذلك للركاب أو لسائقي المركبات وخاصة سائقي سيارات الأجرة والحافلات حيث يستمر تعرضهم للغاز لفترات طويلة قد تصل إلى مدة ثمان ساعات يوميا .

الخاتمة والتوصيات

١- تشير الدراسة إلى أن مستويات تلوث الهواء بغاز أول أكسيد الكربون داخل نفق السوق الصغير بمكة الكرمة قد تجاوزت المعايير والمقاييس المحلية والعالمية . وتعتبر محطة النقل الجماعي (الموقع رقم ٩) الموجودة داخل النفق الموقع الأكثر تلوثا مقارنة بالمواقع

الأخرى المختارة للدراسة . حيث تراوح المتوسط الهندسي لتركيز الغاز بين ٧٣ و١٤٤ جزءاً من المليون وذلك خلال شهر رمضان المبارك . وتعتبر هذه التراكيز عالية جدا عند مقارنتها بالمستويات المسجلة في بعض الأنفاق في العالم وقد يعزى هذا الارتفاع إلى أن الأنفاق الموجودة في البلدان الأخرى هي عبارة عن طرق سريعة تمر عبرها المركبات خلال فترة وجيزة (اقل من الدقيقة في كثير من الأحيان) وهذا عكس ما يحدث في نفق السوق الصغير حيث يشهد النفق ازدحاماً شديدا في أوقات الذروة خاصة في شهري رمضان وذي الحجة حيث يستخدم كموقف للحافلات وسيارات الصغيرة . ومما يزيد الأمر سوءا وجود فتحات لدوران المركبات داخل النفق (U-Turn) والتي تؤدي بدورها إلى صعوبة في انسياب المركبات داخل النفق .

٢- توضح نتائج الدراسة أيضا أن مستويات غاز أول أكسيد الكربون قد تجاوزت معايير منظمة الصحة العالمية خلال جميع أيام الدراسة التي أجريت في شهر رمضان . ولقد ارتفع المستوى إلى ١٣٦ جزء من المليون في اليوم السادس والعشرين (ليلة السابع والعشرين من شهر رمضان المبارك) .

٣- تؤكد نتائج الدراسة على ضرورة الاهتمام بتحسين وسائل التهوية الموجودة حاليا داخل النفق وذلك عن طريق ضخ كميات كبيرة من الهواء النقي إلى النفق بالإضافة إلى عملية تنظيم حركة المركبات داخل النفق ومنع تكدسها أو توقفها أو دورانها .

٤- منع الحافلات من المكوث وانتظار الركاب داخل النفق لما تشكله من خطر على الركاب ورجال المرور الموجودين داخل النفق لتنظيم حركة المركبات .

٥- منع الزوار والمعتمرين والباعة المتجولين من افتراش النفق أو البقاء فيه لفترة طويلة وذلك لما يسببه الغاز من خطورة خاصة على كبار السن والمرضى الذين يعانون من أمراض في الجهاز الدوري .

٦- تركيب أجهزة قياس لغاز أول أكسيد الكربون داخل النفق لتعطي تحذير في حالة تجاوز التراكيز للمستويات المسموح بها لأن الأجهزة المركبة حاليا محدودة وتحتاج إلى

صيانة ومعايرة دوريه كما أنها مركبة على ارتفاع من سطح الأرض وبالتالي لا تعطي معلومات دقيقة عن المستويات التي يستنشقها الفرد داخل النفق .

٧- تركيب أجهزة شفط للغاز عالية الفاعلية لسحب الهواء الملوث واستبداله بهواء نقي من خارج النفق .

شـــــكـر

يشكر الباحثان مركز أبحاث الحج بجامعة أم القرى بمكة المكرمة على الدعم الذي قدمه والذي ساعد على إنجاز هذه الدراسة ويخصان بالشكر سعادة الدكتور أسامة البار .

المـراجـــــع

Akland, G.G.T.D. Hartwell, T.F. Johnson, and **Whitmore, R.W.** (1985) Measuring human exposure to carbon monoxide in Washington, D.C. and Denver, Colorado, during the winter of 1982-1983. *Environmental Science Technology,* **19:** 911-918.

Al-Radady, A.S. and **Aujaimi A.R.** (1999) *Carbon monoxide and sulfur dioxide Levels In Souk Al-Sagheer Tunnels.* Report submitted to Al-Haj Research Centre, Aum AlQura University, Makkah, Saudi Arabia.

Beaton, S.P., Bishop, G.A. and **Stedman, D.H.** (1992) Emission characteristics of Mexico City vehicles. *J. Air Waste Management Association,* **42:** 1424-1429.

Clifford, M.J., Clarke, R. and **Riffat, S.** (1997) Driver's exposure to carbon monoxide in Nottingham, U.K. *Atmospheric Environment,* **31**(7): 1003-1009.

Cobb, N. and **Etzel, R.A.** (1991) Unintentional Carbon monoxide-related deaths in the United States, 1979 through 1988. *JAMA, August 7,* **266**(5): 659-663.

Colwill, D.M. and **Hickman, A.J.** (1980) Exposure of drivers to carbon monoxide, *JAPCA,* **30:** 1316.

Committee of the Environmental and Occupational Health (1996) Health Effects of Outdoor Air Pollution. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine,* **153:** 477-498.

Coviaux, F., Mouilleseaux, A.; Geronimi, J.; Fasty, B.; Viellard, H. and **Thibaut, G.** (1984) *International Indoor Air Quality and Clim. Conf.,* Stockholm, Sweden, August, 20-24, p.129.

Flachsbart, P.G., Mack, G.A., Howes, J.E. and **Rode, C.E.** (1987) Carbon Monoxide Exposures of Washington Commuters. *JAPCA,* **37:** 135-142.

Funasaka, K.; Miyazaki, T; Kawarays, T; Tsuruho, K. and **Mizuno, T.** (1998) *Environmental Pollution,* **103**(2-3): 171.

Grose, R.A. and **Norbeck, J.M.** (1981) CO Emission Rates for In-use Gasoline and Diesel Vehicles. *JAPCA,* **33:** 678-682.

Kamei, M. and **Yanagisawa, Y.** (1997) Estimation of CO exposure of road construction workers in

Tunnel. *Industrial Health,* **35**(1): 119-25.

Meteorology and Environmental Protection Administration (1409) *Environmental Protection Standards, Document No: 1409-01.* Kingdom of Saudi Arabia, Ministry of Defence & Aviation.

Morris, R.D., Naumova, E.N. and **Munasinghe, R.L.** (1995) Ambient air pollution and hospitalization for congestive heart failure among elderly people in seven large U.S cities. *American Journal of Public Health,* **85**(10): 1361-1365.

Nouh, M. (1986) Stochastic Approach to CO sample size determination. *Atmospheric Environment,* **20:** 2477-2481.

Ott, W.; Switzer, P. and **Willits, N.** (1994) Carbon monoxide exposures inside an urban Arterial Highway. *J. Air and Waste Management Association,* **44:** 1010-1018.

Rowe, D. R., Al-Dhowalia, K.H. and **Mansour, M.E.** (1989) Indoor-outdoor carbon monoxide concentrations at four sites in Riyadh, Saudi Arabia. *JAPCA,* **39**(8): 1100-1102.

Suess, M.J.; Grefen, K. and **Reinisch, D.W.** (1985) *Ambient air pollutants from industrial sources.* World Health Organization. Elservier.

Wark, K. and **Warner, C.F.** (1981) *Air Pollution.* Second Edition, Harper and Row publishers, New York.

Winter, P. and **Miller, J.** (1976) Carbon monoxide poisoning. *J.A.M.A.* **236:** 1502-1504.

Woody, R.C. and **Brewster, M.A.** (1990) Telencephalic dysgenesis associated with presumptive maternal carbon monoxide intoxication in the first trimester of pregnancy, *J. toxicol. Clin. Toxicol.,* **28:** 467-475.

Vogel, J.A. and **Gleser, M.A.** (1972) Effect of carbon monoxide on transport during exercise. *J. Appl. Physiol.* **32:** 234-239.

Concentrations of Carbon Monoxide Inside Alsouk Alsaghir Tunnel at Holy City Makkah during Month of Ramadan 1417H

A.S. AL-RADADY* and A.R. UJAIMI**
** Department of Environmental Sciences,*
Faculty of Meteorology, Environment, and Arid Land Agriculture,
King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia
*** Department of Chemistry, College of Applied Sciences,*
Umm Alqura University, Makkah, Saudi Arabia

ABSTRACT. The results of field measurements inside one of the major tunnels in the holy city of Makkah, during the glorious month of Ramadan, has shown that the concentrations of carbon monoxide gas have exceeded the local and international standards. The recorded levels are believed to be harmful to the users and workmen in this tunnel. These are usually traffic policemen, taxi, private cars and bus drivers and passengers, as well as homeless users amongst foreign 'Umra' Performing visitors and also street vendors.

At night, the geometric means of CO measured in the tunnel varied from 43.22 to 79.79 ppm during the month of Ramadan. The measured levels are considered high as compared with levels reported for similar cases in other countries such as Japan and U.S.A. The concentration of CO ranged from 11-15 ppm in a highway tunnel in Osaka, Japan where the highest 1-hr average of CO concentration of 21 ppm was reported in the Allegheny Tunnel on the Pennsylvania Turnpike, U.S.A.