



## إزالة الانبعاثات الغازية الصادرة من مداخن مصنع النير لصناعة المنظفات بمدينة مصراته، ليبيا

فتحي علي عامر<sup>1</sup>، محمد عبدالسلام المشرقي<sup>2</sup>، هشام جهاد إبراهيم<sup>3</sup>

<sup>1</sup> قسم الهندسة الصحية، كلية التقنية الطبية، مصراته، ليبيا

<sup>2</sup> قسم الهندسة الكيميائية والنفطية، كلية الهندسة، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا

<sup>3</sup> قسم علوم البيئة، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا

### الملخص:

هنالك توجه عالمي نحو تقليل الانبعاثات الغازية الناجمة عن عمليات احتراق الوقود الأحفوري، وبما أن اغلب الانبعاثات الغازية الملوثة للبيئة هي من مصادر احتراق الوقود بمجال الصناعة، لذلك فإن الدراسات العلمية ركزت على عملية إزالة/التقليل من هذه الملوثات الناجمة عن عمليات الإحتراق بالصناعة قبل طرحها للهواء الجوي وذلك استجابة للمتطلبات البيئية وتوفيراً لبيئة نظيفة وصحية وامنة. بناءً على ذلك أُجريت هذه الدراسة بشركة النير للصابون ومواد التنظيف بمصراته بهدف معرفة نوع وتحديد تراكيز الانبعاثات الغازية الناجمة عن عملية إنتاج الصابون والتي يتم طرحها عبر المداخن الصناعية بالمصنع. بالإضافة إلى تقييم هذه الانبعاثات من خلال مقارنتها بالمعايير البيئية العالمية. ومن خلال النتائج الحقلية المتحصل عليها أتضح وجود انبعاثات غازية بتراكيز متفاوتة تنبعث من مداخن مصنع النير للصابون، وبمقارنة هذه الانبعاثات بالمعايير العالمية وُجد أنها تراكيز صغيرة جداً ولا تتجاوز تراكيز القيم الحدية العالمية، وهذا يشير بقوة إلى أن المصنع حالياً ويعمله بمحده الطاقة الإنتاجية (30-35%) من الطاقة الكلية) لا يعتبر ملوثاً للبيئة المحيطة به. ولكن في حالة تشغيل المصنع بسعة الإنتاجية الكاملة (3 طن/ساعة) فسوف ينتج عن هذا الوضع التشغيلي ملوثات غازية تصل تراكيزها إلى حدود أعلى من القيم الحدية العالمية. بناءً على هذه النتائج الحقلية تم إقتراح استخدام نظام المهد الثابت (Fixed Bed System) كوحدة إزالة للانبعاثات الغازية الناتجة من مداخن مصنع النير للصابون على إفتراض عمل المصنع بسعته الإنتاجية الكاملة، بإستخدام حشوات من الفحم النباتي المنشط. حيث تم دراسة العوامل المؤثرة في كفاءة عملية الإزالة، لتحديد آلية الإزالة والتحقق من كفاءتها. أظهرت نتائج الدراسة العملية الكفاءة العالية لنظام المهد الثابت لإزالة الغازات المنبعثة من مداخن المصنع، وتعتمد هذه الكفاءة على العديد من ظروف التشغيل كدرجة الحرارة والتراكيز الابتدائية للغازات الملوثة. لذا يوصى بتطوير هذه الوحدة ليتم تركيبها وإستخدامها على انبعاثات مداخن المصنع في حالة تشغيل المصنع بسعته الإنتاجية الكاملة (3طن/ساعة).

### 1. المقدمة

تلوث الهواء يُعتبر من أهم وابرز المشاكل البيئية في هذا العصر وذلك لحجم ونوعية تأثيرها علي المحيط التي تمثل تهديداً كبيراً على حياة الإنسان والأنظمة البيئية الموجودة على كوكب الأرض، وذلك لأن ملوثات الهواء تؤثر بشكل مباشر على صحة الإنسان



الجامعة الأسمرية الإسلامية  
المؤتمر الثاني لعلوم البيئة، زليتن، ليبيا  
17-15 ديسمبر 2015



وبشكل غير مباشر على محتويات التربة والماء ومكونات البيئة الأخرى، بالإضافة إلى أن هذه الملوثات لاتعترف بالحدود الجغرافية لمنطقة المصدر (مصدر التلوث) وذلك بسبب إنتشارها السريع في الهواء الجوي. كما أن تلوث الهواء يُعتبر من أحد المسببات الأساسية لوفيات الأفراد، فوفقاً للإحصائيات المسجلة في الولايات المتحدة فإن مايقرب من 4% من حالات الوفيات هناك تُعزى إلى تلوث الهواء (USEPA, 2008). حيث تنبعث ملوثات الهواء الغازية والجسيمية من عدة مصادر طبيعية وصناعية، وتعتبر الإنبعاثات الصناعية الصادرة من مواقع ثابتة (المصانع) أو متحركة (وسائل النقل) هي المسبب الرئيسي لتلوث الهواء في التجمعات السكانية (الفاعوري والهروط، 2003). بصورة أخرى بالإمكان ان نعتبر ان الوقود التقليدي سواء كان صلبا مثل الفحم او سائل مثل المنتجات البترولية او غاز مثل الغاز الطبيعي هو المصدر الأكبر لتلوث الغلاف الجوي بالرغم من الاختلاف في حجم التلوث لكل نوع من الوقود حيث يعتبر الغاز الطبيعي اقلها ضررا. حيث تشير الدراسات العلمية حول العالم إلى أن الانبعاثات الناجمة عن عملية احتراق الوقود بنوعيه الثقيل والخفيف والغاز الطبيعي تتسبب في تأثيرات سلبية على الصحة العامة وتؤدي إلى تدني مستوى البيئة المحيطة. وتُعزى عدة أمراض مثل أمراض الجهاز التنفسي والسرطان والحساسية إلى التركيب الكيميائي للغازات المنبعثة من المداخل الصناعية (المشرقي وآخرون، 2011).

وتجدر الإشارة هنا إلى أن وسائل النقل ذات الاحتراق الداخلي ومحطات توليد الكهرباء والمؤسسات الصناعية وغيرها من ابرز مصادر ملوثات الغلاف الجوي الأساسية. ففي كل عام يدخل الي الغلاف الجوي أكثر من 250 مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون وأكثر من 150 مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكبريت و50 طن من أكسيد النيتروجين و250 مليون طن من المواد الهيدروكربونية المتطايرة وتُعد المصانع من ابرز مصادر تلويث الغلاف الجوي للصناعات النفطية والبتروكيميائية والصناعات الكيميائية وصناعات المواد الغذائية(السروي، 2011). كما تختلف تراكيز الغازات المنبعثة من المداخل حسب نوع العمليات الصناعية ونوع الوقود المُستخدم، وتشتمل بشكل عام على أكاسيد الكبريت ( $SO_3, SO_2, SO$ ) وكبريتيد الهيدروجين ( $H_2S$ ) وأكاسيد النيتروجين ( $NO, NO_2, N_2O$ ) وأكاسيد الكربون ( $CO, CO_2$ ) والمركبات العضوية المتطايرة (VOC's) (Ibrahim et al., 2012).

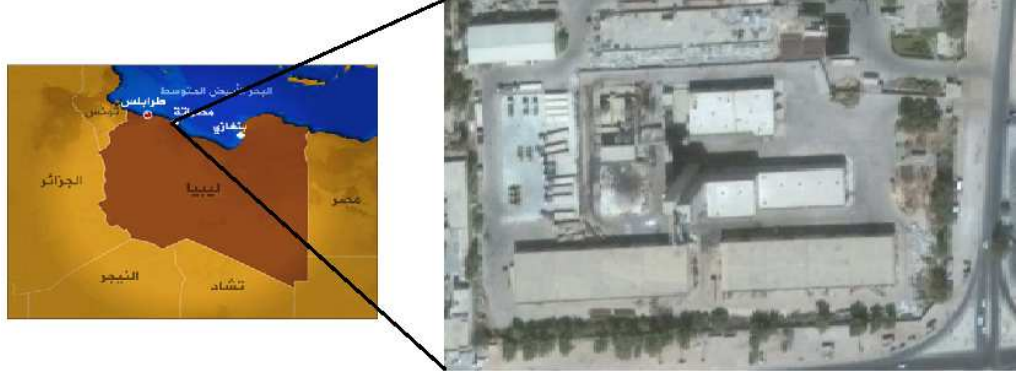
وبما أن اغلب الانبعاثات الغازية الملوثة للبيئة في المدن الليبية هي من مصادر احتراق النفط او مشتقاته، لذا فإن هناك توجه صناعي نحو إزالة هذه الملوثات الناجمة عن عمليات الإحتراق قبل طرحها للهواء الجوي وذلك استجابة للمتطلبات البيئية وتوفيراً لبيئة نظيفة وصحية وامنة. نظراً لوجود مصنع النير لإنتاج الصابون والذي يعد من أكبر مصانع إنتاج الصابون بمدينة مصراته وأحدثها من النواحي التقنية والذي يعمل على إنتاج الصابون بأنواعه ومواد التنظيف والذي يصاحبها أثناء عملية الإنتاج انبعاث غازات ملوثة وفقاً للطبيعة الصناعية للمصنع. لذا فإن الدراسة استهدفت الدراسة القيام بدراسة حقلية لتحديد نوع وتراكيز الإنبعاثات الغازية الناجمة عن مداخل صناعة الصابون، ومقارنتها بالمعايير الدولية بالخصوص. إضافة إلى إجراء اختبارات معملية لتحديد مدى كفاءة الفحم النباتي المنشط والذي تم استخدامه بالعديد من الدراسات العلمية لإزالة الملوثات الغازية بظروف مختلفة (Yi et al., 2014; Hauchhum & Mahant, 2014) تم إجراء الاختبارات المعملية باستخدام نظام المهيد الثابت لإزالة هذه الملوثات الغازية.



## 2. المواد والطرق

### 1.2 مصنع النير للصابون ومود التنظيف

يقع المصنع في مدينة مصراته بالمنطقة الصناعية بالرويسات وعلى مساحة إجمالية (7.4) هكتار وتبلغ المساحة المستغلة منها في الوقت الحالي حوالي 4 هكتار. وتبعد عن وسط المدينة بحوالي 5 كم. الشكل (1) يُبين موقع الشركة بمرفقها بمدينة مصراته.



الشكل (1): مصنع النير لصناعة الصابون ومواد التنظيف بمصراته (Google map, 2015)

إن مصادر الإنبعاثات الغازية الصادرة عن مداخن المصنع هي ناجمة عن حرق وقود الديزل في وحدتين أساسيتين من وحدات المصنع وهما (ODS, 2015):

1) الغلاية والتي تعمل على توفير البخار اللازم لجميع الوحدات والخطوط الإنتاجية وبطاقة إنتاجية تبلغ 2000 كيلوجرام/ساعة. وأقصى ضغط تصل إليه الغلاية ( $15\text{kg/cm}^2$ ) وارتفاع مدخنتها يصل إلى 7 م وقطرها 30 سم، ويتم حرق ما يعادل 130 كجم/ساعة من وقود الديزل بها.

2) فرن (الحارقات) والتي تعمل على توفير الهواء الساخن اللازم لبرج التجفيف عن طريق مولد هواء ساخن وبطاقة إنتاجية تبلغ  $610 \times 2$  كيلوكالوري/ساعة ويصل ارتفاع المدخنة الخاصة به إلى 10 م وقطرها يصل 100 سم، ويتم حرق ما يعادل 230 كجم/ساعة من وقود الديزل.

لذا فإن هاتين المدخنتان تمثلان مصدر الإنبعاث الغازي الناجم عن عملية حرق الوقود بالمصنع.

### 2.2 الجانب الحقلّي (Field Work)

حيث تم فيها قياس تراكيز الملوثات بالإنبعاثات الغازية من مدخنتي المصنع لتحديد نوعية وكمية الإنبعاثات الصادرة عن عملية الإحتراق. حيث تم إجراء القياسات في كل مدخنة وفي أعلى نقطة ممكنة (Sample Point)، باستخدام جهاز Testo-350XL مُصنّع بواسطة شركة Testo AG الألمانية. يتم تدوين قراءات القياسات والشروع في عملية قياس أخرى عن نفس المدخنة وعلى بُعد آخر على إمتداد المقطع العرضي للمدخنة، وهكذا يستمر اخذ القياسات حتى تنتهي إجراءات القياس عند تلك النقطة وبعد التأكد من أن القياسات هي قياسات واقعية تتوافق مع السعة التشغيلية أثناء إجراء القياس. كما تجدر الإشارة إلى أنه تم إجراء القياسات أثناء فترات تشغيل المصنع على فترات زمنية مختلفة للتأكد من معدل الإنبعاث ونوعيته.



### 3.2 الجانب المعلمي (Experimental Work)

بعد التعرف على نوع وكمية الغازات المنبعثة من مداخن عمليات الإحتراق بالمصنع، تم البدء بالجانب المعلمي ببناء المنظومة المعملية (منظومة المهده الثابت) لإجراء الإختبارات المعملية بهدف دراسة العديد من المتغيرات التي تؤثر على عملية الإزالة، وتتكون مما يلي:

#### 1.3.2. منظومة الإزالة (منظومة المهده الثابت) (Fixed Bed System)

تم بناء منظومة المهده الثابت والتي تستخدم في إجراء إختبارات الإزالة والمبينة بالشكل (2) حيث أنها مصنعة من الحديد المقاوم للصدأ وتتكون هذه المنظومة مما يلي:

- 1) إنبوبة (مفاعل) المهده الثابت (Fixed bed Adsorber) ويتكون من ثلاث مقاطع وهي:
  - المنطقة الإبتدائية (Calming Zone)، بقطر 6.5 سم وطول 8 سم، وتحتوي حشوات معدنية كروية الشكل وضعت بهدف تشتيت الخليط الغازي الداخل للمفاعل وتوزيعه على كل مساحة مقطع المنطقة الفعالة.
  - المنطقة الفعالة (Active Zone)، بقطر 8.44 سم وطول 39 سم، تحتوي على صفيحة مثقبة في بدايتها ونهايتها تعمل على تثبيت الحشوات التي يتم إختبارها بداخل الإسطوانة. كما يحيط بالمنطقة الفعالة إسطوانة أخرى تحوي زيت التسخين.
  - المنطقة النهائية (Ending Zone)، بقطر 6.5 سم و طول (8 سم) وتحتوي على حشوات معدنية كروية وتعمل على تشتيت الخليط الغازي وتمنع حدوث الجريان الخلفي الناجم عن خروج الغازات من المهده.
- 2) العازل الحراري (Insulator)، يُحيط بالمنطقة الفعالة حتى يقلل الفقد الحراري للمحيط ولكي يُساعد في الحفاظ على درجة حرارة ثابتة على طول المهده.



الشكل (2): منظومة المهد الثابت المستخدمة في عملية الإزالة

- 3) دائرة التسخين (Heating Cycle)، وتتكون من مضخة لضخ الزيت الحراري من خزان يجوي سخان متصل بوحدة تحكم للسيطرة على درجة حرارة الزيت الحراري.
- 4) إنبوبة الخلط (Mixing Chamber) وهي إسطوانة بطول 15 سم وقطر 2.45 سم يتم فيها خلط الغازات للحصول على خليط غازي متجانس.
- 5) نقطة قياس التركيز (Sample Point)، يتم منها قياس تركيز الخليط الغازي الداخل، وأيضاً تستخدم كمنظم للتدفق الغازي الداخل للمهد (Relief point).
- 6) صمامات (Valves)، تعمل على فتح وغلق مجرى تدفق الغازات المختلفة.
- 7) مقياس الضغط (Pressure Gauge)، يوجد عدد إثنان مثبتان في منتصف ونهاية المهد على طول المفاعل، ومقياس آخر مثبت مع مقياس معدل الجريان لقياس ضغط الدخول.
- 8) مقياس لمعدل الجريان (Flowmeter)، ويستخدم لقياس معدل التدفق الخليط الغازي الداخل للمفاعل.
- 9) نقطة قياس الغازات الخارجة (Sample Point) يتم منها قياس تركيز الغازات الخارجة من المهد بعد عملية الإزالة.
- 10) أسطوانات غازات (Gas Cylinders)، وهي أسطوانات تم توريدها ومعايرتها عن طريق معمل إنتاج الغاز بشركة الحديد والصلب والغازات هي:

- غاز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) بنقاوة 99.99% حجماً.

- غاز النيتروجين ( $N_2$ ) بنقاوة 99.99% حجماً.



- غاز الأكسجين ( $O_2$ ) بنقاوة 99.99% حجماً.
  - غاز أول أكسيد النيتروجين ( $NO$ ) بنقاوة 99.9% حجماً.
- يتم خلط هذه الغازات مع بعضها بناءً على التراكيز المتحصل عليها من الجانب الحقلي، ويتم تغير تركيزها عن طريق الصمامات حسب الحاجة.

### 2.3.2. الحشوات المُستخدمة كمواد إزالة (Adsorbent)

أُستخدم الفحم النباتي (من أشجار الزيتون) كمادة إمتزاز وذلك لوفرتها بالمنطقة وكذلك لرخص ثمنها، حيث تم تجهيزها بالمراحل التالية لإستخدامها في عملية الإزالة ( Zeinali et al., 2010; Ibrahim et al., 2009; Kubonova et al., 2011):

- يتم تكسيرها وطحنها إلى أحجام صغيرة.
- إجراء عملية الغريلة إلى أحجام معينة وتم إستخدام الحبيبات بالقطر (5 mm) كقطر وسطي.
- توضع في فرن لمدة 48 ساعة عند درجة حرارة 115 °م لتجفيفه وتنشيطه (لإزالة الغازات الممتصة والرطوبة التي يحويها).
- تخزن في أوعية زجاجية مغلقة بإحكام لإستخدامه عند الحاجة.
- حساب قطر المسامية للكربون المنشط بدلالة القطر.

### 3.2.2. التجارب المعملية (Experimental Procedures)

- يتم ملء المهد الثابت بحشوات الكربون المنشط. على أن يتم تشغيل المنظومة الميينة بالشكل (2) وفقاً للخطوات الترتيبية التالية:
- 1) تُضبط درجة حرارة المتحكم في السخان الحراري عند 30°م لكي يتم تسخين الزيت في دائرة التسخين للدرجة المطلوبة، من ثم يتم تشغيل مضخة التسخين حتى يتحرك الزيت في دائرته المغلقة.
  - 2) يتم فتح صمام غاز النيتروجين (الغاز الخامل) ونتركه ليمر عبر الدائرة حتى نهايتها مروراً بالمهد الثابت، حتى يصل النظام لحالة الإستقرار (steady state) ويلاحظ ذلك من خلال ثبوت درجة حرارة مجرى الزيت، وثبوت درجة حرارة الغاز الخارج من المهد عند الحرارة المطلوبة.
  - 3) يتم فتح صمام غاز ثاني أكسيد الكربون والذي يختلط مع غاز النيتروجين في غرفة الخلط، ويتم ضبط معدل الجريان من خلال قياس التركيز الداخِل للمهد بواسطة جهاز القياس حتى يكون متوافقاً مع التركيز المقاس حقلياً وهي (15% نسبة وزنية أي مايعادل 10.09% حجماً) مع تثبيت معدل تدفق الخليط الغازي عند 12 لتر/دقيقة (يتم إجراء هذه الخطوة بسرعة).
  - 4) يتم قياس تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون الخارج من المهد الثابت من خلال نقطة القياس المُعدة لهذا الغرض في الفترات الزمنية (5، 10، 15، 20، 25، 30، 35، 40، 50، 60، 70 و 80) دقيقة على التوالي.





- 5) يتم إستبدال الحشوات وإعادة التجربة من الخطوة من 1 إلى 4 (Replication)، وذلك لزيادة الدقة والتأكد من قيمة القراءات المتحصل عليها وتلافي أي أخطاء (حيث يتم إعادة كل تجربة ثلاثة مرات).
- 6) يتم إعادة الخطوات من 1 إلى 5 باستخدام درجة حرارة مختلفة وهي (50، 70 و 90°م). وإستخدام نفس التركيز الابتدائي لغاز ثاني أكسيد الكربون.
- 7) يتم إعادة الخطوات من 1 إلى 6 باستخدام تركيز ابتدائي آخر وهو 20% نسبة وزنية (أي مايعادل 13.725% حجماً).
- 8) في جزئية مستقلة عن السابقة يتم إعادة الخطوات من 1 إلى 7 ولكن بإستخدام غاز NO بتراكيز ابتدائية (0.055، 0.2% حجماً) مع خلطه مع غاز النيتروجين كغاز حامل.
- 9) في جزئية أخرى يتم خلط الغازين مع بعضهما بنفس التراكيز السابقة وبوجود غاز التخفيف (غاز النيتروجين) حيث يتم دراسة تأثير الخليط على كفاءة عملية الإزالة لكل منهما في حال تواجدهما معاً. حيث يتم إعادة الخطوات من 1 إلى 5 ولكن بإستخدام نسب الخلط التالية (0.05% و 10.096% حجماً) و (0.2% و 10.096% حجماً) و (0.05% و 13.725% حجماً) لأكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكربون على التوالي.

#### 4.3.2. المتغيرات المؤثرة في عملية الإزالة

أهم المتغيرات التي تم دراستها هي:

- تأثير درجة الحرارة، والتي يتم التحكم فيها من خلال وحدة التحكم بدائرة التسخين الخارجية.
- التركيز الابتدائي، والذي يتم زيادته من خلال زيادة معدل التدفق للغازات المستهدفة وهي CO<sub>2</sub> و NO وتقليل معدل التدفق لغاز التخفيف الحامل وهو غاز النيتروجين مع الحفاظ على مستوى تدفق ثابت لا يتجاوز 12 لتر/دقيقة.
- أيضاً تم دراسة تأثير كفاءة عملية الإزالة في حالة الخلائط الغازية وذلك من خلال خلط غازي CO<sub>2</sub> و NO بتراكيز مختلفة بوجود غاز التخفيف الحامل (غاز النيتروجين).

### 3. النتائج والمناقشة

#### 1.3 النتائج الحقلية

نتائج القياسات الحقلية تم إجراؤها على مدخنتي الغلاية والفرن والمبينة في الجدولين (1) و (2) على التوالي.



الجدول (1): نتائج القياسات على مدخنة الغلاية

القياسات					الوحدات	البيان
رقم (5)	رقم (4)	رقم (3)	رقم (2)	رقم (1)		
17.55	16.3	14.7	11.89	12.22	% حجماً	O <sub>2</sub>
11.9	3.84	4.5	5.39	4.87	% حجماً	CO <sub>2</sub>
1.9	0	1	0	0	ppm	CO
73	84	91	84	90	ppm	NO
11.1	0	0	0	1	ppm	<sub>2</sub> NO
5	2	1	0	0	ppm	H <sub>2</sub>
0	17	19	16	2	ppm	SO <sub>2</sub>
6	3.8	4	3	4	ppm	H <sub>2</sub> S
1646	2119	1284	1342	1322	m <sup>3</sup> /hr	معدل التدفق

الجدول (2): نتائج القياسات على مدخنة الفرن

القياسات					الوحدات	البيان
رقم (5)	رقم (4)	رقم (3)	رقم (2)	رقم (1)		
15.81	15.82	15.27	15.04	15.03	% حجماً	O <sub>2</sub>
2.86	2.86	3.17	3.3	3.3	% حجماً	CO <sub>2</sub>
6	4	6.2	7	7	ppm	CO
166	176	198	46	46	ppm	NO
2	3.2	1.7	4.1	4.5	ppm	<sub>2</sub> NO
2	6	1.9	0	0	ppm	H <sub>2</sub>
2	2	4	0	0	ppm	SO <sub>2</sub>
0	0	1.9	0	0	ppm	H <sub>2</sub> S
1816	1755	1817	1433	1402	m <sup>3</sup> /hr	معدل التدفق

من خلال القياسات وُجد أن الغازات الصادرة من المداخن والناجمة من عمليات حرق الديزل تتكون أساساً من كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون، مع تواجد غاز أول أكسيد الكربون في بعض الأحيان والسبب في ذلك يعود لوجود رطوبة عالية في الهواء المستخدم في عملية الإحتراق مما يؤدي لحدوث إحتراق غير تام لبعض كميات الوقود مما يسبب تكون وخروج غاز أول أكسيد الكربون. كما وتتواجد كميات من غازات أكاسيد النيتروجين والسبب في ذلك يعود إلى إستخدام كميات كبيرة من الهواء الزائد حيث يتحول غاز النيتروجين إلى أكاسيد النيتروجين بفعل درجة الحرارة العالية، ومما يؤكد ذلك هو أن التركيب الكيميائي للوقود لايحوي أي مركبات نيتروجينية (ODS, 2015).

كما ويلاحظ في بعض الأحيان صدور كميات من غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني كبريتيد الهيدروجين وذلك بسبب تواجد نسبة بسيطة من بعض المركبات الكبريتية بالوقود والتي تتحول إلى الغازات المذكورة أثناء عمليات الإحتراق وهذا السلوك يتوافق مع





النتائج التي تحصل عليها المشريقي وآخرون (2011) خلال القياسات الحقلية التي تم إجراؤها على العديد من الوحدات الصناعية المختلفة في ليبيا والتي أستخدم فيها الديزل كوقود. كما يلاحظ أنه عند مقارنة هذه التراكيز بالمعايير العالمية، نجد قيم صغير جداً، حيث أنها لا تتجاوز تراكيز القيم الحديدية، وهذا يُشير بقوة إلى أن المصنع لا يعتبر حالياً ويعمله بهذه القدرة الإنتاجية ملوثاً للبيئة في المدينة مقارنة بمداحن الصناعات الأخرى مثل (مجمع الحديد والصلب، محطة توليد الطاقة الكهربائية،....) وذلك إستناداً للقراءات التي سجلها المشريقي وآخرون (2011).

### 2.3 النتائج المعملية

#### 1.2.3.1 المادة المازة (Adorbent)

إن الحشوات المستخدمة في عملية الإزالة هي الفحم النباتي المنشط والذي تم تنشيطه معملياً والجدول (3) يُبين أهم خصائص الفحم النباتي المستخدم في عملية الإزالة.

الجدول(3): خصائص الفحم النباتي المنشط المستخدم

الخصائص	الوحدة	القيمة
قطر الحبيبات	مم	5
المسامية	--	0.304
الكثافة	جم/سم <sup>3</sup>	0.76
وزن الحشوات المألفة للمهد	جم	500

#### 2.2.3.2 الغازات الممتزة (Adsorbate)

وفقاً للتراكيز المتحصل عليها من خلال القياسات الحقلية على المداحن بالمصنع فإن تراكيز غاز ثاني أكسيد الكربون تتراوح ما بين 2-11% حجماً، أما بالنسبة لتراكيز أكاسيد النيتروجين تتراوح ما بين 1-200 ppm. ولإجراء التجارب المعملية تم خلط الغازات النقية من ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد النيتروجين بنسب تحاكي تقريباً هذه التراكيز وأعلى قليلاً منها في حال عمل المصنع بطاقته الإنتاجية كاملة وذلك للتأكد من فعالية الحشوات المستخدمة في حال كانت التراكيز أعلى، مع إستخدام غاز النيتروجين (الخامل) كغاز تخفيف للسيطرة على التراكيز الأخرى. نسب الخلائط المستخدمة معملياً مبينة بالجدول (4).

الجدول (4): التراكيز المستخدمة في إجراء التجارب المعملية

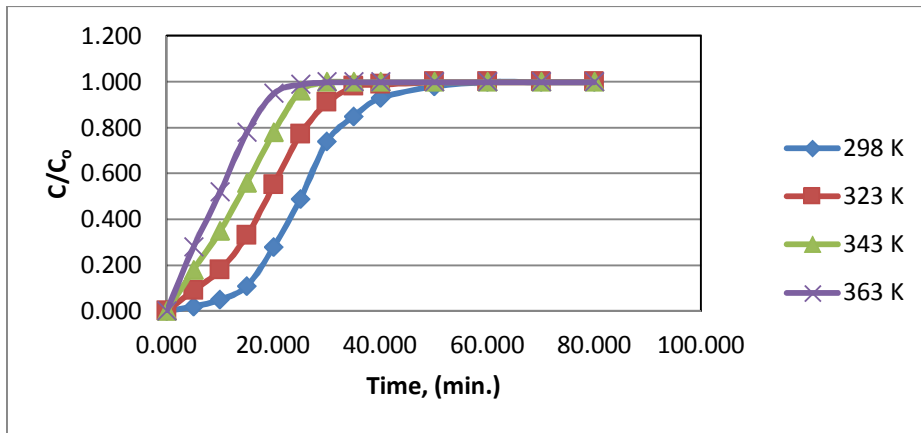
البيان	الوحدات	الخليط الغازي						
		رقم (1)	رقم (2)	رقم (3)	رقم (4)	رقم (5)	رقم (6)	رقم (7)
CO <sub>2</sub>	(%) حجمية	10	13.725	0	0	10	10	13.725
NO	ppm	0	0	550	2000	550	2000	550
	(%) حجمية	0	0	0.055	0.2	0.055	0.2	0.055
N <sub>2</sub>	(%) حجمية	90	86.275	99.945	99.8	89.945	89.8	86.22



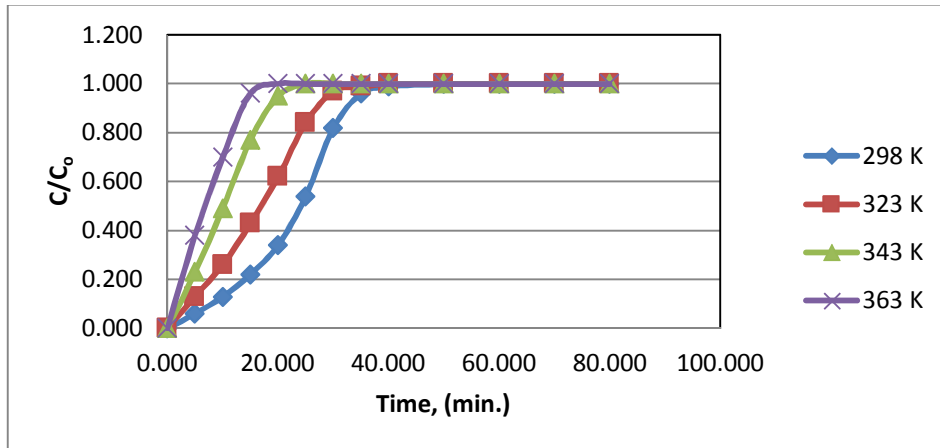
### 3.2.3. منحنيات الإختراق (Breakthrough Curves)

#### 1.3.2.3. منحني الإختراق لإمتزاز غاز CO<sub>2</sub>

باستخدام الخليطان (1، 2) حيث تمت عملية الإمتزاز لغاز ثاني أكسيد الكربون عند درجات حرارة مختلفة (30، 50، 70، 90 م°) على الفحم النباتي المنشط. الشكل (3) يبين نتائج عملية الإمتزاز باستخدام الخليط رقم (1)، حيث نجد أن زمن الوصول للتشبع (نقطة التوازن) يزداد بشكل كبير بإرتفاع درجة الحرارة. كما نجد نفس السلوك في الشكل (4) عند إستخدام تركيز أعلى من ثاني أكسيد الكربون وهذا السلوك يتوافق مع النتائج التي تحصل عليها Rashidi et al, 2011 عند إستخدامهم للفحم المحضر من بقايا جوز الهند في إزالة غاز ثاني أكسيد الكربون.



الشكل (3): منحني الإختراق لإمتزاز غاز ثاني أكسيد الكربون على الفحم النباتي المنشط (تركيز ابتدائي 10% حجماً، قطر الحشوات 5 مم، معدل التدفق 12 لتر/دقيقة)



الشكل (4): منحني الإختراق لإمتزاز غاز ثاني أكسيد الكربون على الفحم النباتي المنشط (تركيز ابتدائي 13.725% حجماً، قطر الحشوات 5 مم، معدل التدفق 12 لتر/دقيقة)

عند مقارنة النتائج المتحصل عليها في كلا الشكلين نجد أن زمن الوصول للإتزان يكون أسرع في حال زيادة التركيز أي أن شكل

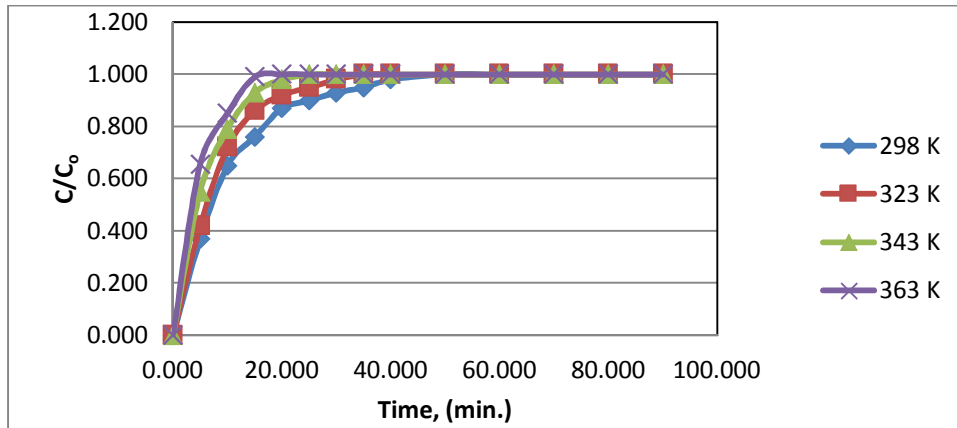


المنحنيات يكون أكثر إنحداراً في حالة زيادة التركيز حيث كان زمن الوصول لنقطة الإتران (التشبع) في الشكل (3) هي (60، 50، 35، 30 دقيقة)، وكانت في الشكل (4) (50، 40، 25، 20 دقيقة) لدرجات الحرارة (30، 50، 70، 90 م°) على التوالي. وهذا يتوافق مع النتائج التي تحصل عليها Hauchhum & Mahanta, (2014) عند دراستهم لإمتزاز غاز ثاني أكسيد الكربون على الفحم المنشط. ويعود السبب في ذلك لإرتفاع عدد جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة في المائع والتي يتم إمتزازها على سطح الحشوات (Tryball, 1980).

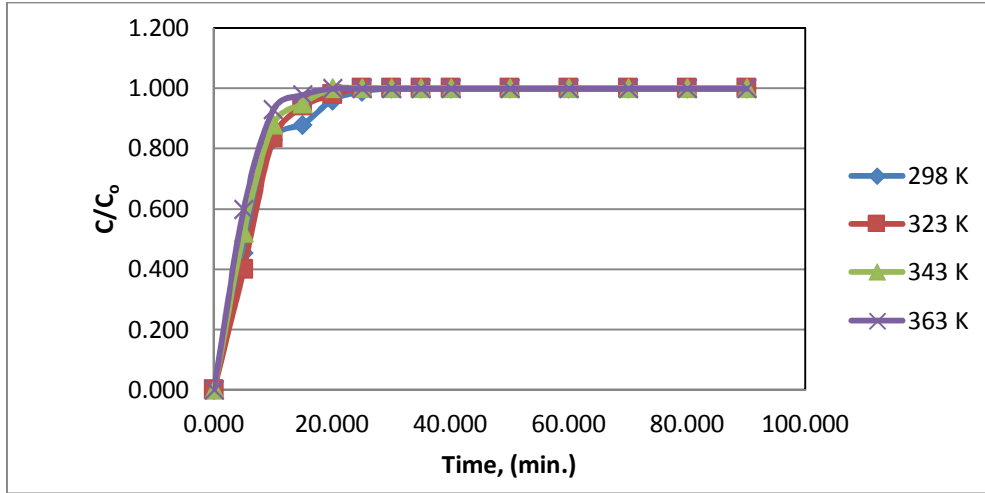
ويلاحظ أن منحنيات الإختراق تصبح أفقر وأكثر إنحداراً بإرتفاع درجة الحرارة وهذا يُشير إلى أن عملية الإمتزاز هنا هي طاردة للحرارة وهذا يتوافق مع نتائج Dantas et al. (2011) في دراستهم لإمتزاز ثاني أكسيد الكربون على الزيوليت، كما أن عملية إمتزاز غاز ثاني أكسيد الكربون لم تتأثر بوجود غاز النيتروجين وهذا يعود لقوة الروابط التي يكونها غاز ثاني أكسيد الكربون مع جزيئات المادة الصلبة (Dantas et al. 2011).

### 2.3.2.3. منحنى الإختراق لإمتزاز غاز NO

تم إستخدام الخليطان (3، 4) حيث تمت عملية الإمتزاز لغاز أول أكسيد النيتروجين عند درجات حرارة مختلفة (30، 50، 70، 90 م°) على الفحم النباتي المنشط. الشكل (5) يبين نتائج عملية الإمتزاز باستخدام الخليط رقم (3)، حيث نجد أن زمن الوصول للتشبع (نقطة التوازن) يزداد بشكل كبير بإرتفاع درجة الحرارة. كما نجد نفس السلوك في الشكل (6) عند إستخدام تركيز أعلى من أول أكسيد النيتروجين. كما نجد أن النتائج لكلا الشكلين متوافقة مع نفس السلوك الذي إتخذه غاز ثاني أكسيد الكربون حيث أن زمن الإتران يكون أسرع في حال زيادة التركيز الغاز، حيث كان زمن الوصول لنقطة الإتران (التشبع) في الشكل (5) هي (50، 35، 25، 20 دقيقة)، والشكل (6) هي (35، 25، 20، 20 دقيقة) لدرجات الحرارة (30، 50، 70، 90 م°) على التوالي. وهذا يتوافق مع النتائج التي تحصل عليها Kubonova et al. (2011) عند دراستهم لإمتزاز غاز أول أكسيد النيتروجين على الفحم المنشط، السبب في ذلك يعود لإرتفاع عدد جزيئات غاز أول أكسيد النيتروجين الموجودة في المائع والتي يتم إمتزازها على سطح الحشوات.



الشكل (5): منحنى الإختراق لإمتزاز غاز أول أكسيد النيتروجين على الفحم النباتي المنشط (تركيز ابتدائي 550 ppm، قطر الحشوات 5 مم، معدل التدفق 12 لتر/دقيقة)



الشكل (6): منحني الإختراق لإمتزاز غاز أول أكسيد النيتروجين على الفحم النباتي المنشط  
(تركيز ابتدائي 2000 ppm، قطر الحشوات 5 مم، معدل التدفق 12 لتر/دقيقة)

ويلاحظ أن منحنيات الإختراق تصبح أقصر وأكثر إنحداراً بارتفاع درجة الحرارة وهذا يُشير إلى أن عملية الإمتزاز هنا هي طاردة للحرارة وهذا يتوافق مع النتائج السابقة الخاصة بثاني أكسيد الكربون، كما أن عملية إمتزاز غاز أول أكسيد النيتروجين لم تتأثر بوجود غاز النيتروجين وهذا يعود لقوة الروابط التي يكونها الغاز مع جزيئات المادة الصلبة (Dantas et al., 2011).

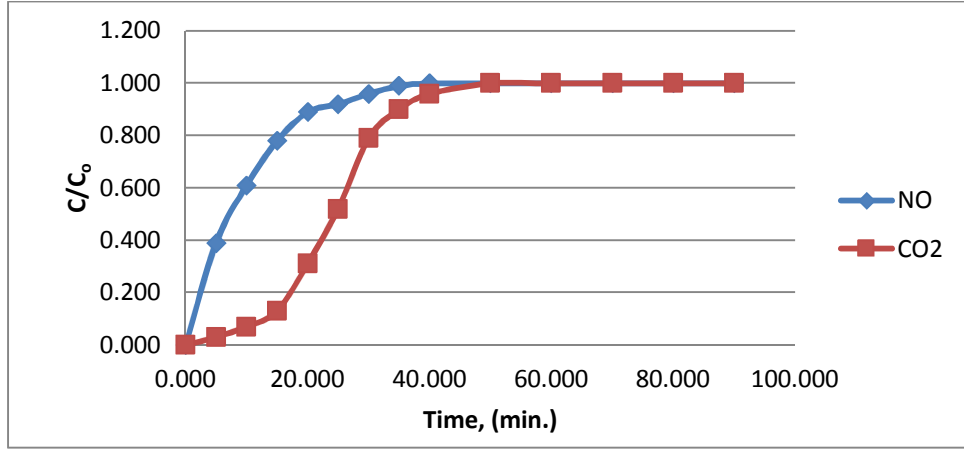
### 3.3.2.3. تأثير تداخل الغازات على عملية الإزالة

تم عرض النتائج الخاصة بعملية إزالة غازي ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد النيتروجين على الفحم النباتي المنشط ولكن كل على حدة، حيث لوحظ أن معدل الوصول للإتزان في حال غاز NO أسرع بمقدار 10 دقائق تقريباً عنه في حال غاز CO<sub>2</sub>. تم العمل باستخدام الخلائط رقم (5، 6، 7) المبينة بالجدول (4) لدراسة تأثير وجود الغازين في نفس الخليط على عملية الإمتزاز ومدى التنافس بينهما على الأسطح الفعالة على سطح الحشوات. منحنيات الإختراق مبينة بالأشكال (7-9).

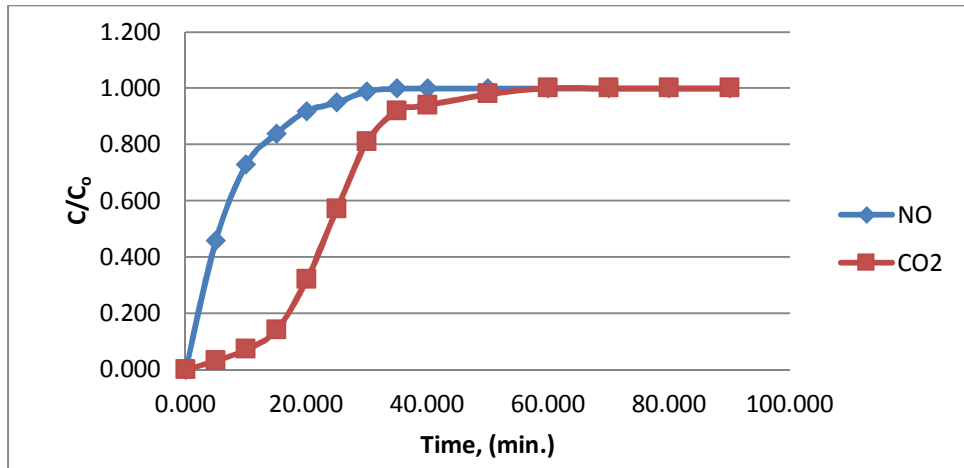
تُشير النتائج إلى أن سعة الإمتزاز تقل لكلا الغازين عنه في حال تواجد كل منهما منفرداً حيث أنه في ظروف عمل الشكل (6)، فإن سعة إتزان الإمتزاز لكل منهما منفرداً كانت (109.24 مجم/جم لغاز CO<sub>2</sub> في زمن قدره 60 دقيقة بينما كانت 0.245 مجم/جم لغاز NO في زمن قدره 50 دقيقة)، بينما كانت في حالة خلطهما (103.2 مجم/جم في زمن قدره 50 دقيقة لغاز CO<sub>2</sub>، وبقية 0.229 مجم/جم في زمن قدره 40 دقيقة لغاز NO). هذا التناقص في سعة الإمتزاز يعود لوجود منافسة بين كلا الغازين على المواقع النشطة، حيث نلاحظ أن سعة الإمتزاز لغاز CO<sub>2</sub> أعلى من غاز NO لوجود غاز CO<sub>2</sub> بتركيز عالية (عدد جزيئاتها كثيرة). وفي نفس الوقت نجد أن قدرة غاز NO على الإنجذاب (affinity) للفحم النباتي المنشط هي أعلى من غاز ثاني أكسيد الكربون ويلاحظ ذلك من زمن الوصول لحالة الإتزان حيث كانت 40 دقيقة لغاز NO بينما كانت 50 دقيقة في حال غاز CO<sub>2</sub> وهو نفس السلوك في الحالة المنفردة حيث كان مقدار الفرق بينهما للوصول لمرحلة الإتزان حوالي



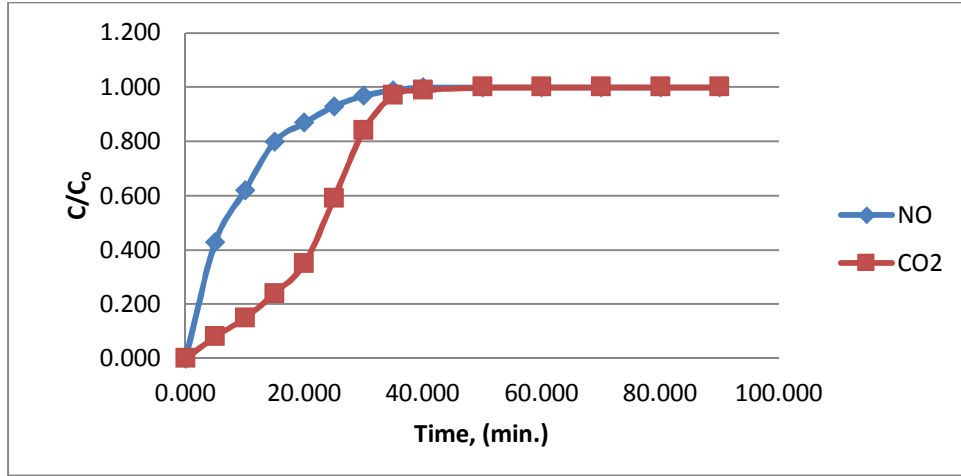
10 دقائق. ويلاحظ أن نفس السلوك يتكرر في الشكلين (8، 9) عند استخدام خلاط للغازين بتركيز مختلفة وهو ما يتوافق مع نتائج (Yi et al. (2014) في دراستهم لإزالة الغازات الحمضية على الكربون.



الشكل (7): منحنيات الإختراق لخليط غازي (NO, CO<sub>2</sub>)، الخليط رقم (5)، عند درجة حرارة 30°م ومعدل تدفق 12 لتر/دقيقة



الشكل (8): منحنيات الإختراق لخليط غازي (NO, CO<sub>2</sub>)، الخليط رقم (6)، عند درجة حرارة 30°م ومعدل تدفق 12 لتر/دقيقة



الشكل (9): منحنيات الإحتراق لخليط غازي (NO, CO<sub>2</sub>)، الخليط رقم (7)، عند درجة حرارة 30°م ومعدل تدفق 12 لتر/دقيقة

#### 4. الإستنتاجات

من خلال مراحل الدراسة المختلفة، والتي بدأت بإجراء قياسات حقلية لمداخن مصنع النير للصابون، تم إثبات وجود تراكيز من الملوثات الغازية وهي ( ثاني أكسيد الكربون) بتراكيز عالية وأكاسيد النيتروجين بكميات محدودة نوعاً ما إضافة لكميات ضئيلة من الغازات الكبريتية (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S). كما تم تكوين نظام الإزالة المقترح (معملياً) وهو نظام المهد الثابت باستخدام حشوات رخيصة الثمن وهي الفحم النباتي المنشط، حيث أشارت النتائج المعلمية لأن سعة الإمتزاز (قدرة الإزالة) للفحم النباتي المنشط عالية على إزالة الملوثات الغازية (NO, CO<sub>2</sub>). حيث تم ازالة الملوثات الغازية (NO, CO<sub>2</sub>) بكفاءة عالية، وكانت أفضل ظروف تشغيلية هي عند درجات حرارة منخفضة كون عملية الإمتزاز لهذه الغازات هي عمليات طاردة للحرارة بحجم حبيبات لا يقل عن 1 مم وذلك لكي لا يحدث إرتفاع في فرق الضغط على طرفي المهد. كما بينت نتائج الدراسة إلى أنه يمكن إزالة الخليط الغازي المتداخل المتكون من (NO, CO<sub>2</sub>) المخفف بغاز النيتروجين بكفاءة عالية، وهذا يُشير لإمكانية إزالة غازات الإحتراق الناتجة من المصنع قبل طرحها للهواء الجوي باستخدام نظام المهد الثابت بإستعمال الفحم النباتي المنشط المعد محلياً من بقايا أشجار الزيتون.

#### الشكر والتقدير

يقدم الباحثون الشكر للهيئة الليبية للبحث العلمي، طرابلس، ليبيا لدعمها الكامل لتنفيذ هذه الدراسة ضمن مشروع إزالة الانبعاثات الغازية (NO<sub>x</sub> و SO<sub>x</sub>) باستخدام نظام المهد الثابت باستخدام الخامات المحلية.

#### المراجع

السروي أ. (2011). "الملوثات الهوائية: المصادر، التأثير، التحكم والعلاج"، الطبعة الأولى، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر.





- الفاعوري و.، الهروط م. (2003). "البيئة: حمايتها وصيانتها"، دار المنهاج والتوزيع، عمان، الأردن.
- المشرفي م. ع.، الشريف ح.أ.، الأطرش م. س.، عكاشة ع.ي.، إبراهيم ه.ج. (2011). "التقرير الدوري الأول لمشروع إزالة الإنبعاثات الغازية (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>) الناتجة من المصادر الصناعية بإستخدام نظام مهد ثابت من المواد المتوفرة المحلية)، بحث علمي بدعم من الهيئة الوطنية للبحث العلمي، طرابلس/ ليبيا، تقرير علمي غير منشور لدى الهيئة الوطنية للبحث العلمي.
- Dantas T.L.P., Luna F.M.T., Silva Jr I.J., Torres A.E.B., deAzevedo D.C.S., Rodrigues A.E., and Moreira R.F.P.M. (2011). "Modeling of the fixed-bed adsorption of carbon dioxide and a carbon dioxide-nitrogen mixture on zeolite 13x", *Brazilian J. of Chemical Engineering*, 28(3):533-544.
- Google map, visited (2015). Available online [ <https://www.google.com/maps/d/-viewer?oe=UTF8&ie=UTF8&msa=0&mid=zyykuS1kX1k.kZ9VcDqv-BRxx>].
- Hauchhum L., and Mahanta P. (2014). "Kinetic, Thermodynamic and Regeneration Studies for CO<sub>2</sub> Adsorption onto Activated Carbon", *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 4(1): 27-32.
- Ibrahim H.G., Okasha A.Y., Aboabboud M.M., and Awad A.N. (2009). "Removal of copper from aqueous solutions by adsorption technique onto low cost material", *The 3<sup>rd</sup> national conference of basic science*, Gharian, Libya, 25-27 April (2009), No. CH12.
- Ibrahim H.G., Okasha A.Y., Elatrash M.S., and Al-Meshragi M.A. (2012). "Emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and PMs from cement plant in vicinity of Khoms city in North Western Libya", *J. of Environmental Science and Engineering*, B1: 1-9.
- Kuboňová L., Obalová L., Vlach O., Troppová I., and Kalousek J. (2011). "Modelling of NO Adsorption in fixed bed on activated carbon", *Chemical and Process Engineering*, 32 (4): 367-377
- ODS (*Operating data sheets of Neer plant of detergents*) (2015). Misurata-Libya.
- Rashidi N.A., Yusup S., Loong L.H. (2013). "Kinetic Studies on Carbon Dioxide Capture using Activated Carbon", *Chemical Engineering Transaction*, AIDIC publications, 35: 361-366.
- Tryball R.E. (1980). "*Mass-Transfer Operations*", 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill International edition, Singapore.
- USEPA (2008). "*EPA's Report on the Environment*," U.S. Environmental Protection Agency, USA.
- Yi H., Wang Z., Liu H., Tang X., Ma D., Zhao S., Zhang B., Gao F., and Zuo Y. (2014). "Adsorption of SO<sub>2</sub>, NO, and CO<sub>2</sub> on Activated Carbons: Equilibrium and Thermodynamics", *J. Chem. Eng. Data*, 2014, 59 (5): 1556–1563.
- Zeinali F., Ghoreyshi A.A., and Najafpour G.D. (2010). "Adsorption of Dichloromethane from aqueous phase using granular activated carbon: Isotherm and Breakthrough Curve Measurements", *Middle-East J. of Scientific Res.*, 5(4):191-198.