

## نمذجة انتشار أكاسيد الكبريت والنتروجين من المصادر الثابتة في مدينة بانياس -سورية

د. سامية شيبان\*

د. هناء سلمان\*\*

(تاريخ الإيداع 21 / 10 / 2020. قُبِلَ للنشر في 20 / 6 / 2021)

### □ ملخص □

تعد محطات توليد الطاقة ومصافي النفط من المصادر الهامة لانبعاث أكاسيد الكبريت والنتروجين التي تنتشر إلى مسافات كبيرة بعيداً عن مصدرها الأصلي. ويساعد استخدام النمذجة الرياضية في التنبؤ بتركيز هذه الملوثات كتابع للزمن والمكان في ظروف التشغيل المختلفة والحالات المناخية المتغيرة. تهدف هذه الدراسة إلى التنبؤ بانبعاثات أكاسيد الكبريت والنتروجين من مصدرين متجاورين في مدينة بانياس وهما محطة توليد الطاقة الكهربائية (الشركة العامة لتوليد كهرباء بانياس) (S1) ومصفاة تكرير النفط (شركة مصفاة بانياس) (S2) باستخدام برنامج الـ MATLAB في الحل التحليلي لمعادلة الحمل-الانتشار ثلاثية الأبعاد لغوص، وتحديد المناطق الأكثر تضرراً في الفصول المختلفة وفي الحالات الحرجة التي يزداد فيها تراكم الملوثات في الهواء المحيط. تمت دراسة أربعة سيناريوهات تشمل تغير تركيز الملوثات حسب سرعة واتجاه الرياح السائدة. بينت النتائج أن الخطر الأكبر خلال فترات السنة يكون من ثاني أكسيد الكبريت إذ تفوق تراكيزه الحدود المسموحة ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) كمتوسط سنوي في مساحة لا تتجاوز العشرة كيلومترات مربعة في محيط محطة توليد الطاقة والمصفاة حيث بلغت التراكيز  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  على بعد 5 km من المنشأتين. كما تبين أن الحالة الأخطر تكمن عندما يكون اتجاه الرياح جنوبياً غربياً إذ يؤدي ذلك إلى تعرض مساحات واسعة إلى التأثير المشترك لانبعاث الملوثات من كلتا المنشأتين.

**الكلمات المفتاحية:** نمذجة تلوث الهواء، أكاسيد النتروجين، ثاني أكسيد الكبريت، نموذج غوص، محطات توليد الطاقة الكهربائية، مصافي النفط.

\*مدرس - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية، [samia982@yahoo.com](mailto:samia982@yahoo.com)  
\*\* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية، [hanaksalman@gmail.com](mailto:hanaksalman@gmail.com)

## Dispersion Modeling of Sulfur and Nitrogen Oxides Emissions from Stationary Sources in Banias –Syria

Dr. Samia Shibani\*

Dr. Hana Salman\*\*

(Received 21 / 10 / 2020. Accepted 20 / 6 / 2021)

### □ ABSTRACT □

Power plants and oil refineries are important sources of sulfur dioxide and nitrogen oxides emissions, which spread to large distances away from their original sources. Air pollution modeling is widely used to predict concentrations of pollutants in relation to various operating and metrological conditions. This study aims to predict the emissions of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) from two adjacent point sources in Banias; the power plant and oil refinery company, using MATLAB for analytical solution of 3D advection-dispersion Gaussian equation, and to identify the most affected areas according to the most dominated metrological conditions. Four scenarios were investigated taking into account variations in pollutants concentration with regard to wind speed and its direction. The results showed that the main risk was due to Sulphur dioxide emissions, where its concentrations exceeded the guideline limits (50 µg/m<sup>3</sup> annual average) for most periods of the year in an area of less than 10 square kilometers surrounding the power station and the oil refinery, the concentrations were 100 µg/m<sup>3</sup> at 5 km from the its sources. The worst condition has been found to be when the wind direction is south-west, resulting in large area being exposed to the combined impact of the emission of pollutants from both facilities.

**Keywords:** Air pollution modeling, Nitrogen oxides, Sulphur dioxide, Gaussian model, oil refinery, power station

---

\* Assistant Professor – Higher Institute for Environmental Research – Tishreen University, Lattakia, Syria. [samia982@yahoo.com](mailto:samia982@yahoo.com)

\*\*Associate Professor - Faculty of Civil Engineering – Tishreen University, Lattakia, Syria [hanaksalman@gmail.com](mailto:hanaksalman@gmail.com).

**مقدمة:**

أكدت الدراسات والأبحاث الحديثة على العلاقة الوثيقة بين تلوث الهواء والصحة العامة، إذ إن تعرض السكان للهواء الملوث وللانبعثات الناتجة عن احتراق الوقود يؤدي إلى تأثيرات صحية شديدة ومزمنة تشمل الأمراض التنفسية والسرطانات، والأزمات القلبية وغيرها [1-4]. تتنوع مصادر احتراق الوقود بين مصادر متحركة كوسائل النقل البرية والبحرية والجوية، ومصادر ثابتة كاحتراق الوقود في المنازل للتدفئة وفي المصانع للعمليات التكنولوجية المختلفة ومحطات توليد الطاقة ومصافي تكرير النفط. تساهم هذه المصادر في زيادة تلوث الهواء المحيط بالأكاسيد والهيدروكربونات والجسيمات الدقيقة والعناصر الثقيلة وغيرها. تعتبر أكاسيد الكبريت والنتروجين من أهم الملوثات التي تتبع إلى الهواء المحيط وأكثرها خطراً على الصحة العامة. وبحسب منظمة الصحة العالمية، وكذلك المعايير الوطنية لجودة الهواء في الجمهورية العربية السورية، يجب ألا يتجاوز المتوسط السنوي لثاني أكسيد النتروجين (متوسط التعرض طويل الأمد)  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  كما يجب ألا يتجاوز متوسط ساعة من التعرض (متوسط التعرض قصير الأمد)  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . أما بالنسبة لثاني أكسيد الكبريت فيجب ألا يتجاوز المتوسط السنوي  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ومتوسط عشر دقائق من التعرض  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [5-6]. تبين الدراسات أن السكان الأكثر عرضةً للتأثيرات السلبية الناتجة عن السكن بالقرب من المنشآت الصناعية هم اللذين يعيشون ضمن دائرة قطرها 7 km على حدود المناطق الصناعية [7-9].

تعد محطات توليد الطاقة الكهربائية ومصافي تكرير النفط من أهم مصادر تلوث الهواء نتيجة انبعثات أكاسيد الكبريت والنتروجين، وفي الآونة الأخيرة توجهت العديد من الدراسات والأبحاث لفهم تشتت وانتشار وترسيب هذه الملوثات من أجل اختيار طرق التحكم المناسبة للحد أو للتخفيف من هذه الانبعثات الضارة إلى الهواء [10-12]. وقد استخدمت من أجل ذلك نماذج رياضية تحاكي حركة وتشتت ملوثات الهواء من مصادره إلى المستقبلات المختلفة، تتنوع هذه النماذج من موديلات النماذج الصندوقية (box models) البسيطة إلى نموذج غوص (Gaussian Models) ونموذج أولر (Eulerian Model) ونموذج لاغرانج (Lagrangian Model) ونماذج ديناميك الموائع المحوسب (Computation fluid dynamic CFD) ونماذج ديناميك الايروسولات (Aerosol Dynamic Models) ونموذج (Dense Gas Model) [13-16].

استخدم نموذج Gauss على نطاق واسع في تقدير تراكيز أكاسيد الكبريت والنتروجين من المصادر النقطية مثل مداخن مصافي النفط ومحطات توليد الطاقة الكهربائية [17]، حيث تم الجمع بين أكثر من نموذج لتقدير الانبعثات من محطات توليد الطاقة ومصافي تكرير النفط مثل الجمع بين نموذجي أولر وغوص والحصول على نموذج Plume-in-grid (PinG) [18]. وكذلك تم الجمع بين نموذجي لاغرانج وغوص لتقدير انبعثات الملوثات من محطات توليد الطاقة [19]. تساعد المقارنة بين النماذج المختلفة على اختيار الأفضل فيما بينها من أجل التطبيق في مناطق محددة [20-22].

**أهمية البحث وأهدافه:**

تتعرض مدينة بانياس والمناطق المحيطة بها إلى تلوث الهواء الناتج عن انبعثات الغازات (أكاسيد الكبريت والنتروجين) والأبخرة والغبار من مصفاة تكرير النفط ومن محطة توليد الطاقة، وتسبب هذه الملوثات أضراراً صحية مختلفة للعاملين في هذه المنشآت ولسكان المناطق المحيطة [4,7]. يهدف هذا البحث إلى دراسة التأثير المتبادل لانبعثات ملوثات الهواء من مصدرين نقطيين (مصفاة تكرير النفط ومحطة توليد الطاقة) في مدينة بانياس وبشكل خاص، التنبؤ

بانتشار أكاسيد النتروجين وأكاسيد الكبريت حسب حركة واتجاه الرياح، وتحديد المناطق الأكثر تضرراً وفق سيناريوهات التشغيل المتبعة للمنشأتين المذكورتين، وذلك باستخدام نموذج غوص وبرنامج <sup>®</sup>MatLab.

## طرائق البحث ومواده:

### منطقة الدراسة

تقع مدينة بانياس التي تتبع لمحافظة طرطوس في الجهة الغربية من الجمهورية العربية السورية على ساحل البحر الأبيض المتوسط، وتقع مصفاتها شمال المدينة على الساحل مباشرة، تحيط بها شرقاً مجموعة من القرى موزعة على التلال المحيطة متوسطة الارتفاع حيث تبلغ ارتفاعاتها (150-300 m)، أما محطة توليد الطاقة الكهربائية ويرمز لها (S1) فتقع على بعد 2 km إلى الجنوب الغربي من المدينة على الساحل مباشرة، وعلى مسافة 7km تقريباً من المصفاة ويرمز لها (S2) كما يوضح الشكل (1).

بالنسبة لمواصفات سرعات واتجاهات الرياح فقد وردت في تقرير البعثة اليابانية العاملة على استدامة مشروع توسيع محطة توليد الطاقة الكهربائية في بانياس [23] كما يبين الجدول (1).

### وصف المنشأتين

تحتوي المصفاة على ست مداخن في ثلاث مجموعات، وتحتوي محطة توليد الطاقة على أربع مداخن. حسب وكالة حماية البيئة الأمريكية [24] يمكن تمثيل المداخن المتقاربة مكانياً والمتقاربة بانبعثاتها بمدخنة واحدة مكافئة بانبعثاتها لمجموع المداخن، وبالتالي يمكن تمثيل مجموعات المداخن الأربع للمراجل في محطة توليد الطاقة (S1) بمدخنة مكافئة واحدة ارتفاعها 125 m وانبعثاتها هي مجموع الانبعثات من المداخن الأربع. ينطبق الأمر ذاته على المجموعات الثلاث من المداخن في مصفاة بانياس (S2) حيث توجد مجموعة القوى، مجموعة التقطير ومجموعة التحسين. يمكن تمثيلهم بمدخنة مكافئة واحدة ارتفاعها بارتفاع هذه المداخن 110 m. تمثل انبعثاتها مجموع الانبعثات من المجموعات الثلاث. يبين الشكل (2) السحابة الدخانية المنبعثة من مداخن محطة توليد الطاقة حيث تم تمثيلها بمدخنة واحدة.

تعمل محطة توليد الطاقة، في الوقت الراهن، على حرق 1780 ton من الوقود يومياً، بشكل وسطي، في ثلاث مجموعات تعمل على الوقود الثقيل، ومجموعة واحدة تعمل على الغاز الطبيعي. تبلغ الاستطاعة الاسمية للمجموعة الواحدة العاملة على الوقود الثقيل 170 KW. أما بالنسبة للمصفاة فيتم حرق 1500 ton يومياً من الوقود الثقيل.



الشكل (1) مواقع محطة توليد الطاقة (S1) والمصفاة (S2) بالنسبة لمدينة بانياس - طرطوس  
جدول (1) مواصفات سرعة واتجاه الرياح في مدينة بانياس خلال الفترة (1956-1993) [23]

| نسبة الأيام العاصفة | السرعة (m/s) |      | الاتجاه | الشهر   | نسبة الأيام العاصفة | السرعة (m/s) |      | الاتجاه | الشهر   |
|---------------------|--------------|------|---------|---------|---------------------|--------------|------|---------|---------|
|                     | Max          | Mean |         |         |                     | Max          | Mean |         |         |
| 0.0                 | 17           | 5.0  | WSW     | تموز    | 0.0                 | 23           | 2.5  | W       | كانون ٢ |
| 0.0                 | 17           | 4.1  | N       | آب      | 0.3                 | 23           | 2.9  | SW      | شباط    |
| 0.1                 | 17           | 3.3  | N       | أيلول   | 0.5                 | 24           | 3.4  | SW      | آذار    |
| 0.3                 | 17           | 2.2  | E       | تشرين 1 | 0.8                 | 31           | 3.6  | SW      | نيسان   |
| 0.5                 | 21           | 1.9  | E       | تشرين 2 | 0.5                 | 21           | 3.6  | WSW     | أيار    |
| 0.3                 | 21           | 2.2  | W       | كانون 1 | 0.3                 | 21           | 4.5  | WSW     | حزيران  |

تشمل الانبعاثات الرئيسية الناتجة عن كلا المنشأتين أكاسيد النيتروجين، أكاسيد الكبريت، المركبات العضوية الطيارة والجسيمات الدقيقة والعناصر الثقيلة.

من أجل حساب تراكيز ثاني أكسيد الكبريت في هواء مدينة بانياس، لا بد من تقدير الكمية الصادرة عن كلا المنشأتين. يبلغ تركيز الكبريت في الوقود الثقيل 3% ويتأكسد منه بنسبة 90%، وبالتالي يكون معامل انبعاث ثاني أكسيد الكبريت  $27\text{kg SO}_2/\text{ton Fuel}$  وهو أعلى من معامل الانبعاث المرجعي بسبب ارتفاع تركيز الكبريت في الوقود المستخدم. أما بالنسبة لأكاسيد النيتروجين فسيتم أخذ معامل الانبعاث المرجعي  $4.2\text{ kg NOx/ ton Fuel}$  وذلك لصعوبة حساب معامل الانبعاث الحقيقي وذلك لأن أكاسيد النيتروجين تنتج من النيتروجين الموجود في الهواء عند احتراق الوقود [25]. من الجدير بالذكر توفر عدد من القياسات غير الدورية لتراكيز الغازات المنبعثة من المداخل في كل من محطة توليد الطاقة ومصفاة النفط في بانياس. بكل الأحوال، يبلغ المتوسط الحسابي لعدد من القياسات المتوفرة المأخوذة من

مداخل مصفاة بانياس ضمن الفترة الواقعة بين الأعوام 2007 و 2014 240 ppm SO<sub>2</sub>, 1500 ppm [26] NO. بالنسبة إلى المجموعة العاملة على الغاز الطبيعي في محطة توليد الطاقة، فإن انبعاثات أكاسيد الكبريت مهمة بينما يكون معامل الانبعاث المرجعي لأكاسيد النروجين 3 kg NOx/ ton Fuel [25].



الشكل (2) السحابة الدخانية المنبعثة من المحطة الحرارية (S1)

### النموذج المعتمد

يمكن وصف تركيز الملوثات المنبعثة إلى الهواء بمعادلة الحمل- الانتشار وهي معادلة تفاضلية جزئية من المرتبة الثانية ناتجة من مصونية كتلة الملوث المنبعثة إلى الجو:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C\vec{u}) = \nabla \cdot (\mathbf{K}\nabla C) + S. \quad (1)$$

$C$  - تركيز الملوث المنبعث إلى الجو (كتلة/حجم).  $M L^{-3}$

$\vec{u}$  - شعاع السرعة ضمن الوسط أي سرعة الرياح السائدة (طول/زمن)  $L T^{-1}$ .

$K$  - معامل الانتشار المضطرب (مساحة/زمن)  $L^2 T^{-1}$

$S$  - معدل انبعاث الملوث (كتلة/حجم. زمن)  $M L^{-3} T$

يمثل الحد الثاني حد الحمل والحد الثالث حد الانتشار حسب قانون فيك (Fick Law). للوصول إلى حل تحليلي لهذه المعادلة من الضروري أخذ بعض الافتراضات بعين الاعتبار (الشكل 3):

1. ينبعث الملوث من مصدر نقطي واحد واقع على ارتفاع  $H$  عن سطح الأرض وعند إحداثيات  $x=0$ ;  $y=0$  ويتدفق ثابت (كتلة/زمن)  $M T^{-1}$  وبالتالي يمكن كتابة معدل انبعاث الملوث من المصدر  $S$  كما يلي:

$$S(\vec{x}) = Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H), \quad (2)$$

$\delta$  - هو تابع دلتا ديراك (Dirac delta).  $\delta(0)=1$ ;  $\delta(:)=0$ .

من الجدير ذكره أنه بالنسبة للمداخل فإن  $H$  هو الارتفاع الفعال، الذي يعبر عن مجموع الارتفاع الحقيقي للمدخنة ( $h$ ) إضافة إلى ارتفاع السحابة الناتج بفعل قوى الطفو ( $\delta h$ ). وتوجد العديد من الصيغ لحساب الارتفاع الفعال للمدخنة، ولكن لا توجد صيغة واحدة تصلح لكل الحالات، إلا أن صيغة Holland تعتبر من الصيغ البسيطة نسبياً والتي تعطي ارتفاعاً أقل بقليل من الارتفاع الحقيقي الفعال مما يترك هامشاً من الأمان عند دراسة انتشار التلوث [27-28]:

$$\delta h = \frac{V_s D}{U} (1.5 + 2.68 * 10^{-3} P D \frac{(T_s - T_a)}{T_s}) \quad (3)$$

$V_s$  - سرعة خروج الغازات من المدخنة (m/s)؛  $D$  القطر الداخلي النهائي للمدخنة (m)؛

$U$  - السرعة الوسطية للرياح السائدة (m/s)؛  $P$  - الضغط الجوي ويؤخذ عادة (1013 milibar)؛

$T_s$  - درجة حرارة الغازات المنبعثة من المدخنة وتقاس بالكلفن (K)؛  $T_a$  درجة حرارة الوسط المحيط (K).

يوصى بأن تصحح النتيجة التي يتم الحصول عليها بتطبيق المعادلة (3) حسب حالات الاستقرار الجوي الواردة في الشكل (4) والجدول (2) بضرب النتيجة بمعامل بين 1.1 و 1.2 من أجل حالات الاستقرار A و B ومعامل 0.8 أو 0.9 من أجل الحالات D و E و F.

على أية حال فإن قياسات سرعة الرياح تؤخذ على ارتفاع 10 m ويمكن حساب سرعة الرياح عند أي ارتفاع  $Z$  وفق العلاقة التقريبية التالية:

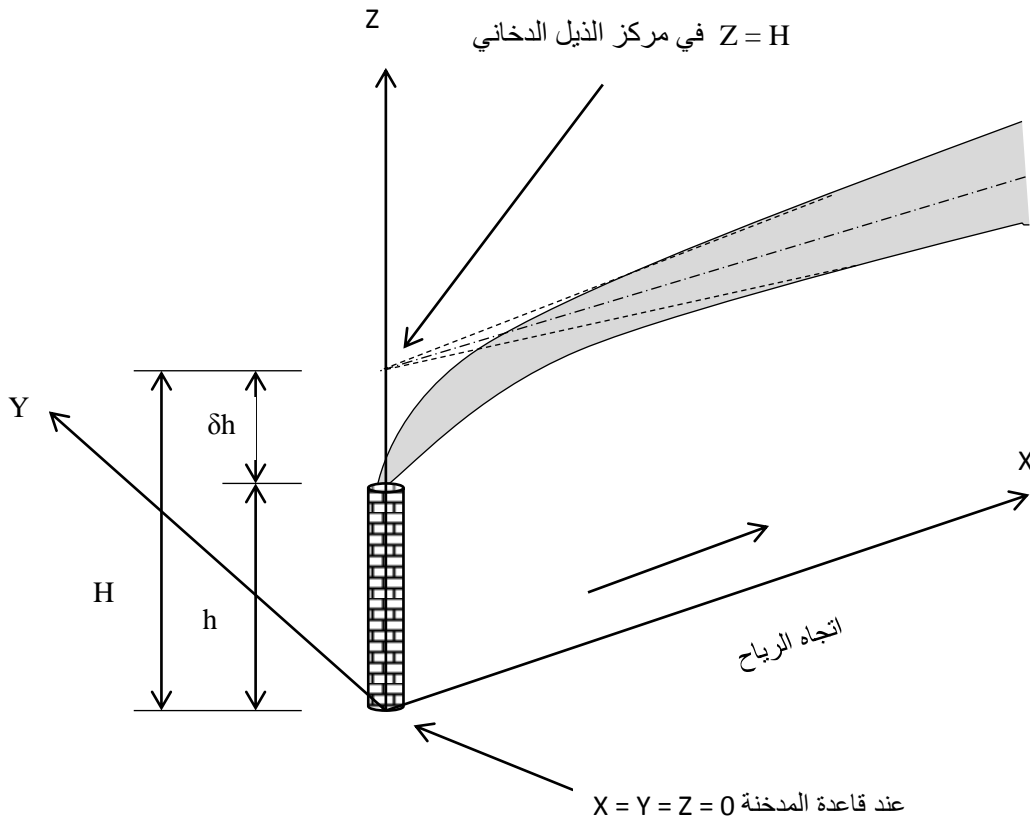
$$\frac{U_z}{U_{10}} = \left(\frac{z}{10}\right)^P \quad (4)$$

2. للرياح سرعة ثابتة واتجاهها هو اتجاه المحور  $X$  الموجب.

3. سرعة الرياح وباقي العوامل غير متغيرة مع الزمن والمقياس الزمني للظاهرة المدروسة كبير كفاية بحيث يمكننا اعتبار الحل ضمن الحالة المستقرة (Steady State).

4. معامل الانتشار المضطرب تابع للمسافة  $X$  فقط وهو واحد في جميع الاتجاهات (isotropic)  $K_x(x) = K_y(x) = K_z(x)$ .

5. يمكن إهمال حد الانتشار على المحور  $X$  وذلك لأن سرعة الرياح كبيرة كفاية ليكون حد الحمل أكبر منه بكثير.



الشكل (3) العناصر الأساسية في نموذج غوص لانتشار سحابة الدخان

6. نعتبر سطح الأرض مستوياً ( $z=0$ ) والتغيرات الطبوغرافية مهملة، كون المنطقة المستهدفة مدينة بانياس ومحيطها القريب.

7. لا يتسرب الملوث داخل الأرض.

بأخذ الافتراضات السابقة بعين الاعتبار، تصبح المعادلة:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = K \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H), \quad (5)$$

لتحديد المشكلة بشكل جيد، لا بد من أخذ الشروط الحدية التالية:

$$C(0, y, z) = 0, \quad C(\infty, y, z) = 0, \quad C(x, \pm\infty, z) = 0, \quad C(x, y, \infty) = 0.$$

يعتبر نموذج سحابة غوص (Gauss Plume) هو النموذج التحليلي الأشهر لحل المعادلة (5) التي تأخذ مصدراً نقطياً مستمراً يصرف ملوثاته في وسط غير محدود فيه الرياح مستقرة الشدة والاتجاه. لسحابة غوص تطبيقات كثيرة في دراسة الانبعاثات من العمليات الصناعية الكبرى وغيرها وتعطى بالمعادلة التالية:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \left( e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \right) \left( e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right) \quad (6)$$

حيث:

$C(x, y, z)$  - هو التركيز الوسطي للملوث المنبعث في النقطة  $(x, y, z)$   $\text{kg/m}^3$  ؛

$Q$  - معدل انبعاث الملوث من المصدر  $\text{kg/s}$ .

$x$  - المسافة باتجاه الرياح،  $y$  - المسافة المتعامدة مع اتجاه الرياح،  $z$  - المسافة الشاقولية فوق سطح الأرض،  $m$ ؛

$\sigma_y$  - معامل التشتت العرضي، تابع للمسافة  $x$ ،  $m$ ؛

$\sigma_z$  - معامل التشتت الشاقولي، تابع للمسافة  $x$ ،  $m$ ؛

$U$  - السرعة الوسطية للرياح،  $m/s$ ؛

$H$  - الارتفاع الفعال للمدخنة،  $m$ .

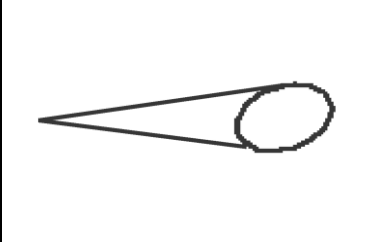
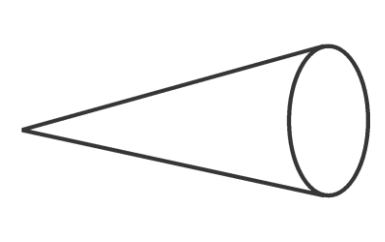
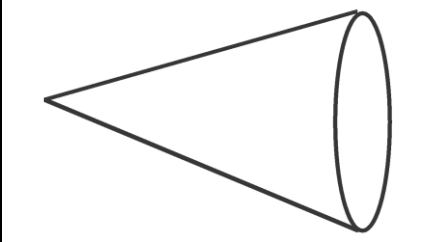
يعبر الحد الأخير في هذه المعادلة عن ارتداد الملوث الغازي عند وصوله إلى الأرض وعودته إلى الجو وهو ما يعبر عنه رياضياً بمرآة عند المصدر على عمق  $(-H)$  وبالتالي يصبح لدينا زيادة في التركيز يمكن تحديدها من جمع المنحنين الغوصيين الذي يبدأ عند ارتفاع  $H$  و  $-H$ .

ترتبط معاملات التشتت الأفقية والشاقولية بالمسافة  $x$  واستقرار الظروف الجوية. في حال عدم وجود قياسات للاضطراب، يتم عادةً اللجوء إلى وصف Pasquill-Gifford-Turner للاضطراب [29-30]، والذي يقسم درجة استقرار الظروف الجوية إلى ست فئات تبدأ بالفئة A وهي الأقل استقراراً وتنتهي بالفئة F وهي الأكثر استقراراً كما يوضح الشكل (4)، والجدول (2). في أيام الصيف يكون الجو صحواً مع سرعة رياح ضعيفة حيث تقوم الشمس بتسخين الأرض والتي بدورها تقوم بتسخين الهواء فوقها فيرتفع ويؤدي إلى مزج الملوثات جيداً ويكون الجو غير مستقر وبالتالي فإن قيم  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  تكون كبيرة، وفي أيام الشتاء الباردة تبرد الأرض الهواء بالقرب منها، وتتشكل طبقة انعكاس مما يجعل الجو مستقرًا ويعيق تشتت الملوثات وبالتالي تكون قيم  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  صغيرة. وتختلف معاملات التشتت في المناطق الحضرية عنها في المناطق الريفية. تعطي المعادلة التجريبية التالية قيمتي  $\sigma_y$  و  $\sigma_z$  في المناطق الحضرية [31]:

$$\sigma_{y,z} = mx(1 + nx)^p \quad (7)$$



حيث  $m, n, p$  هي معاملات تجريبية تؤخذ حسب حالة استقرار الظروف الجوية حسب الجدولين (2) و (3).

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| غير مستقرة (A,B)                                                                  | حيادية (C,D)                                                                      | مستقرة (E,F)                                                                       |

الشكل (4) سحابة انتشار الملوثات من المداخن العالية تبعاً لاستقرار الظروف الجوية

الجدول (2) فئات Pasquill- Gifford-Turner للنتشتت تبعاً لسرعة الرياح والإشعاع الشمسي [32]

| سرعة الرياح m/s* | الإشعاع الشمسي الواصل |       |      | معدل الغيوم ليلاً |     |
|------------------|-----------------------|-------|------|-------------------|-----|
|                  | قوي                   | متوسط | خفيف | غائم              | صحو |
| < 2 m/s          | A                     | A-B   | B    | -                 | -   |
| 2-3              | A-B                   | B     | C    | E                 | F   |
| 3-5              | B                     | B-C   | C    | D                 | E   |
| 5-6              | C                     | C-D   | D    | D                 | D   |
| >6               | C                     | D     | D    | D                 | D   |

\* سرعة الرياح مأخوذة على ارتفاع 10 م عن سطح الأرض.

جدول (3) صيغة Briggs معاملات الانتشار في المناطق الحضرية. قيم  $\sigma, x$  تقاس بالمتر [30].

| الفئة | $\sigma_y$                  | $\sigma_z$                 |
|-------|-----------------------------|----------------------------|
| A-B   | $0.32x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$ | $0.24x(1 + 0.001x)^{0.5}$  |
| C     | $0.22x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$ | $0.2x$                     |
| D     | $0.16x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$ | $0.14x(1 + 0.003x)^{-0.5}$ |
| E-F   | $0.11x(1 + 0.0004x)^{-0.5}$ | $0.08x(1 + 0.015x)^{-0.5}$ |

#### التعامل مع اتجاهات الرياح المختلفة

تؤمن معادلة غوص حلاً لمعادلة الحمل - الانتشار بفرض أن المحور X مواز لاتجاه الرياح السائدة كما أن مصدر التلوث هو مبدأ الاحداثيات. لكن في الحالة العامة تتغير الرياح السائدة شدةً واتجاهاً تبعاً لتغير الفصول وتغير حالة الطقس، مما يتوجب نقل مبدأ الاحداثيات إلى المصدر وتدويرها ليكون المحور X موازياً لاتجاه الرياح السائدة في كل مرة كما يظهر الشكل (5) والمعادلة (8) و (9):

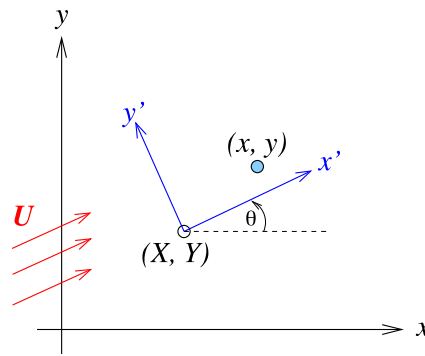
$$x' = (x - X) \cdot \cos \theta + (y - Y) \cdot \sin \theta \quad (8)$$

$$y' = -(x - X) \cdot \sin \theta + (y - Y) \cdot \cos \theta \quad (9)$$

$X', y'$  هي الإحداثيات الجديدة

$X, Y$  - مبدأ الإحداثيات الجديدة.

$\theta$  - زاوية الدوران عكس عقارب الساعة بين نظامي المحاور.



الشكل (5) تدوير ونقل محاور الإحداثيات لينطبق المحور  $x$  على اتجاه الرياح ويكون مصدر التلوث هو مبدأ الإحداثيات ضمن عملية المحاكاة

تم تقدير تراكيز  $SO_2$ ,  $NO_x$  المنبعثة من محطة توليد الطاقة ومن المصفاة في بانياس عند مستوى سطح الأرض وفق سرعات الرياح الغربية والجنوبية الغربية والشمالية وهي الاتجاهات السائدة عموماً على مدار العام وتنتقل الملوثات إلى مدينة بانياس. ومن أجل ذلك تم وضع المخطوطة الحسابية ضمن بيئة MATLAB على ثلاثة أقسام: القسم الأول يتم فيه إدخال البيانات الخاصة بالملوث المدروس وكذلك مواصفات المدخن. في القسم الثاني، فيتم برمجة الحل التحليلي لانتشار الملوثات (معادلة غوص) لكلا المنشأتين، وفي القسم الثالث تطبيق المعادلة على المصدرين في آن واحد وفق المعطيات المحددة في القسم الأول، ومن ثم الحصول على النتائج.

### النتائج والمناقشة:

بالنظر إلى موقع المنشأتين على الشريط البحري، يمكن الاستنتاج بسهولة أن الاتجاه الغربي للرياح هو الاتجاه الأخطر لأنه ينقل الملوثات إلى مدينة بانياس وقرائها، بينما العكس تماماً بالنسبة للرياح الشرقية، يمكن اقتراح الحالات الجوية الأكثر تأثيراً حسب الجدول (1)، والتي تغطي ستة أشهر من السنة من أجل تحديد المناطق الأكثر تضرراً بالانبعاثات من محطة توليد الطاقة S1 ومن المصفاة S2. تمت دراسة أربعة سيناريوهات اعتمد فيها القيم التشغيلية التالية: درجة الحرارة الوسطية لخروج الغازات ( $150^\circ C$ ) وسرعة خروج الانبعاثات  $15 \text{ m/s}$  بشكل وسطي.

#### السيناريو الأول:

رياح غربية (نهار شتوي بارد ورياح هادئة، كانون الأول والثاني)، فئة الاستقرار B، سرعة الرياح  $2 \text{ m/s}$  ودرجة الحرارة  $12^\circ C$ ، تعتبر القيم محسوبة وفق العلاقة (4) عند الارتفاع الفعال الوسطي للسحابتين والمحسوب وفق العلاقة (3):

$$H_1 = 125 + 120 * 1.1 \approx 257 \text{ m}, \quad H_2 = 110 + 70 * 1.1 = 187 \text{ m}$$

يوضح الشكلان (6) و (7) أن التراكيز الأعظمية لكل من أكاسيد النتروجين وثنائي أكسيد الكبريت قريبة جداً من مصادر الانبعاث وهي  $239 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  على التوالي وتحدث على مسافة  $500 \text{ m}$  تقريباً من كلتا المنشأتين، وتتناقص تدريجياً بالابتعاد عنها باتجاه الشرق. وتبلغ  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بالنسبة لأكاسيد النتروجين على بعد حوالي  $5 \text{ km}$  من المصدر بالنسبة لكل من محطة توليد الطاقة والمصفاة كما يبين الشكل (6). ويلاحظ من الشكل (7) أن  $SO_2$  ينتشر على مسافة تتجاوز  $12 \text{ km}$  في اتجاه الرياح و أكثر من  $10 \text{ km}$  في الاتجاه المتعاود معه ويؤثر على المناطق السهلية والهضاب القريبة. وتتجاوز تراكيز  $SO_2$  الـ  $100 \mu\text{g}/\text{L}$  وهي أعلى من المعايير الوطنية لجودة

الهواء في الجمهورية العربية السورية في المناطق الواقعة على بعد 5 km من المنشأتين كما يلاحظ التأثير المشترك للمنشأتين على بعد حوالي 6 km من محطة توليد الطاقة باتجاه الشرق.

#### السيناريو الثاني:

رياح غربية (ليل شتوي بارد ورياح قوية نسبياً، كانون الأول والثاني)، فئة الاستقرار D، سرعة الرياح 6 m/s ودرجة الحرارة 15°C، القيم محسوبة وفق العلاقة (4) عند الارتفاع الفعال الوسطي للسحابتين المحسوب وفق العلاقة (3):

$$H_1 = 125 + 40 \approx 165 \text{ m}, \quad H_2 = 110 + 23 = 133 \text{ m}$$

تؤثر الرياح القوية على انتشار الملوثات إذ تحملها باتجاهها إلى مسافات كبيرة دون أن تنتشر بالاتجاه المتعامد معها بشكل كبير. وتكون المناطق الأكثر تأثراً هي المناطق الواقعة شرق محطة توليد الطاقة والمصفاة، ويلاحظ غياب التأثير المشترك للمنشأتين في هذه الحالة. ويلاحظ الانخفاض الطفيف في التركيز الأعظمي لكلا الملوثين عند المصدر ويبلغ  $225 \mu\text{g}/\text{m}^3$  لـ NOx على مسافة 470 m من (S2) و  $1386 \mu\text{g}/\text{m}^3$  من أجل SO<sub>2</sub> على مسافة 521 m من (S2) كما يوضح الشكلان (8) و (9).

#### السيناريو الثالث:

رياح جنوبية غربية (نهار ربيعي ورياح هادئة، آذار ونيسان)، فئة الاستقرار B، سرعة الرياح 3 m/s ودرجة الحرارة 20°C، القيم محسوبة وفق العلاقة (4) عند الارتفاع الفعال الوسطي للسحابتين المحسوب وفق العلاقة (3):

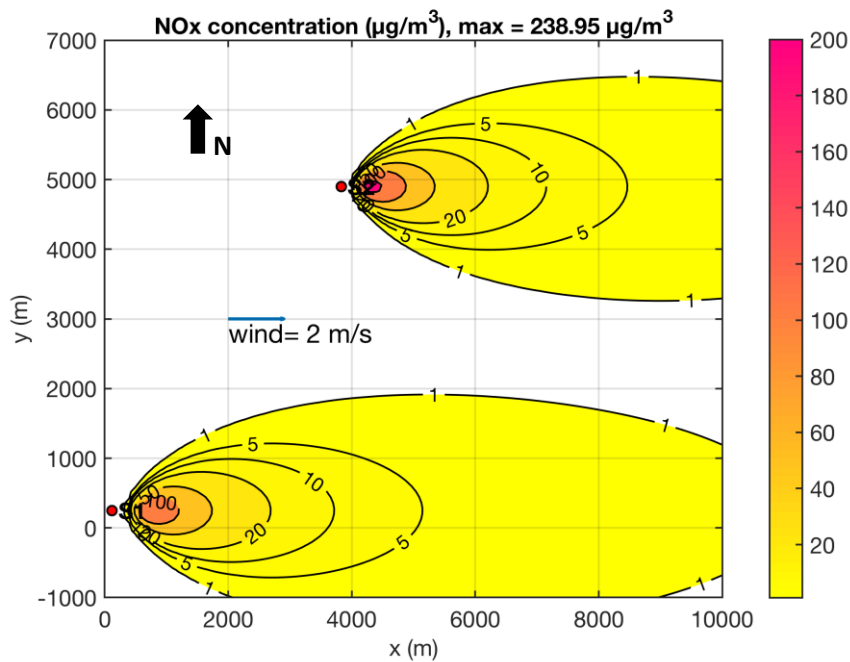
$$H_1 = 125 + 77 * 1.1 \approx 210 \text{ m}, \quad H_2 = 110 + 45 * 1.1 \approx 160 \text{ m}$$

يساهم موقع المصفاة إلى الشمال الشرقي من محطة توليد الطاقة في زيادة تركيز الملوثات في المناطق المجاورة لهما، وعلى الرغم من انخفاض التراكيز الأعظمية قليلاً عنها في الحالات السابقة فتصبح  $211 \mu\text{g}/\text{m}^3$  من أجل NOx على بعد 404 m من (S2) و  $1275 \mu\text{g}/\text{m}^3$  لـ SO<sub>2</sub> على بعد 502 m من (S2) وإن اتجاه الرياح الجنوبي الغربي يجعل بعض المناطق تتأثر سلباً بالانبعاثات من كلا المنشأتين كما يوضح الشكل (10) لانتشار أكاسيد النتروجين، والشكل (11) لانتشار ثاني أكسيد الكبريت.

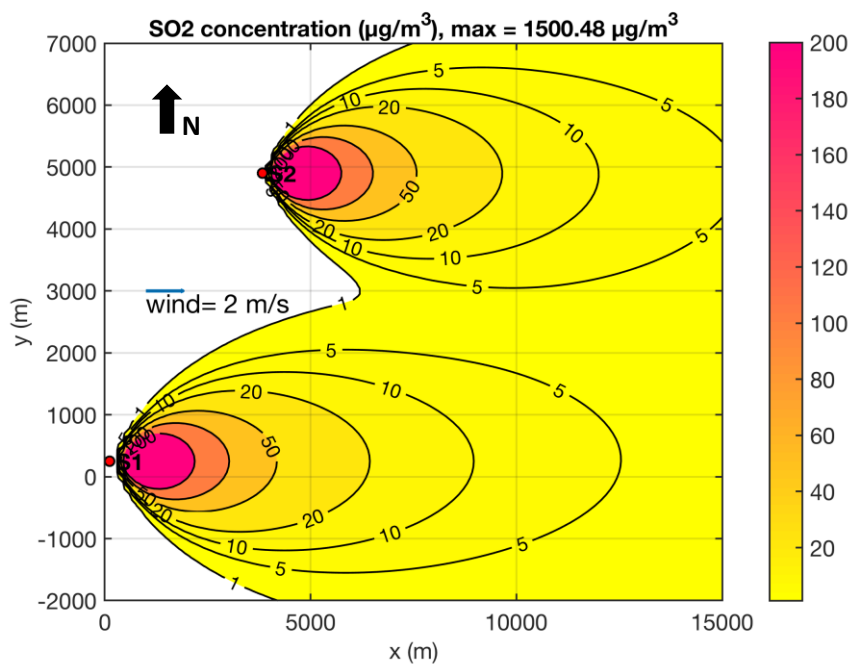
#### السيناريو الرابع

رياح شمالية (ليل صيفي ونسمات محسوسة، آب وأيلول)، فئة الاستقرار D، سرعة الرياح 5 m/s ودرجة الحرارة 25°C، القيم محسوبة وفق العلاقة (4) عند الارتفاع الفعال الوسطي للسحابتين المحسوب وفق العلاقة (3):

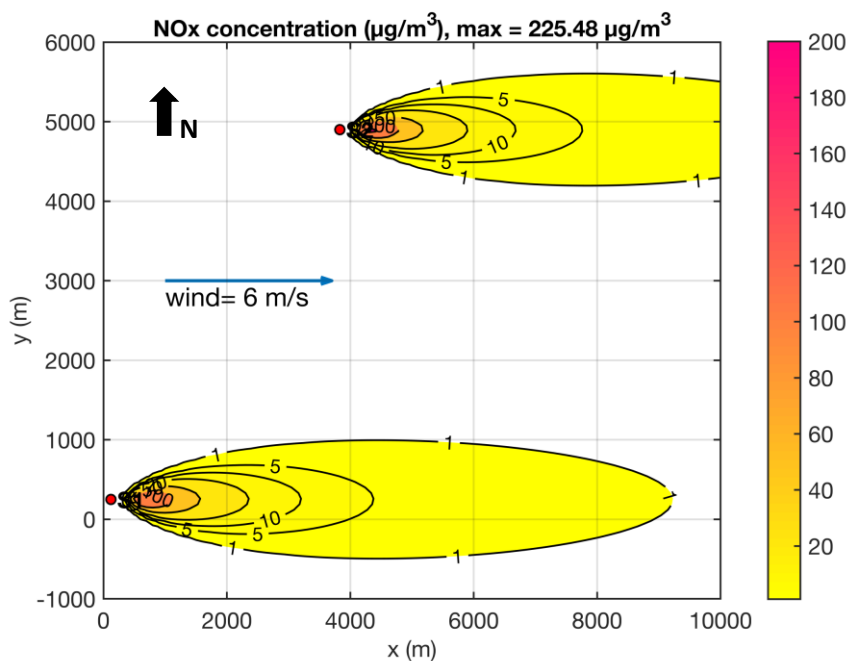
$$H_1 = 125 + 45 \approx 170 \text{ m}, \quad H_2 = 110 + 26 = 136 \text{ m}$$



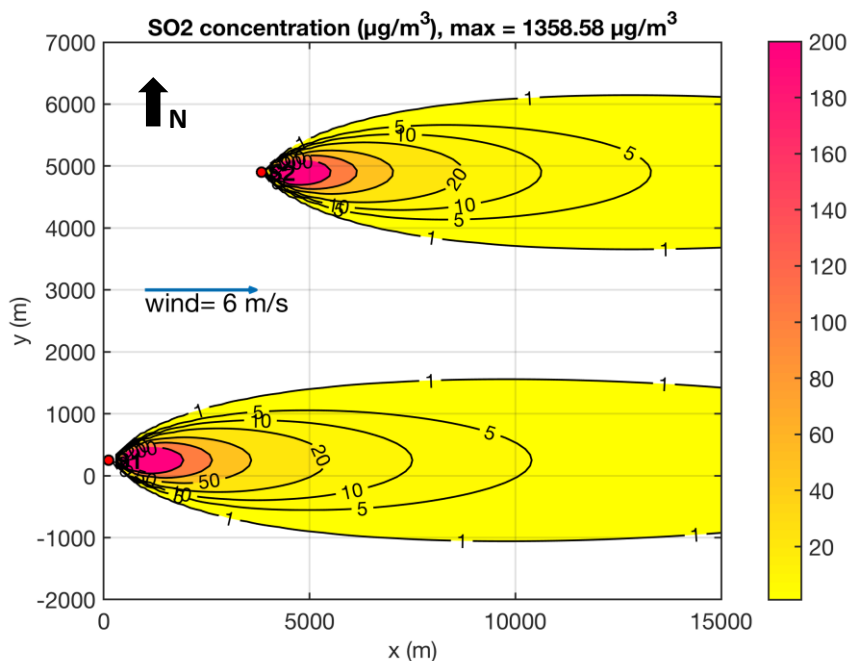
الشكل (6) انتشار أكاسيد النتروجين وفق السيناريو الأول، الرياح غربية خفيفة السرعة، التركيز الأعظمي على بعد 470 m من S2



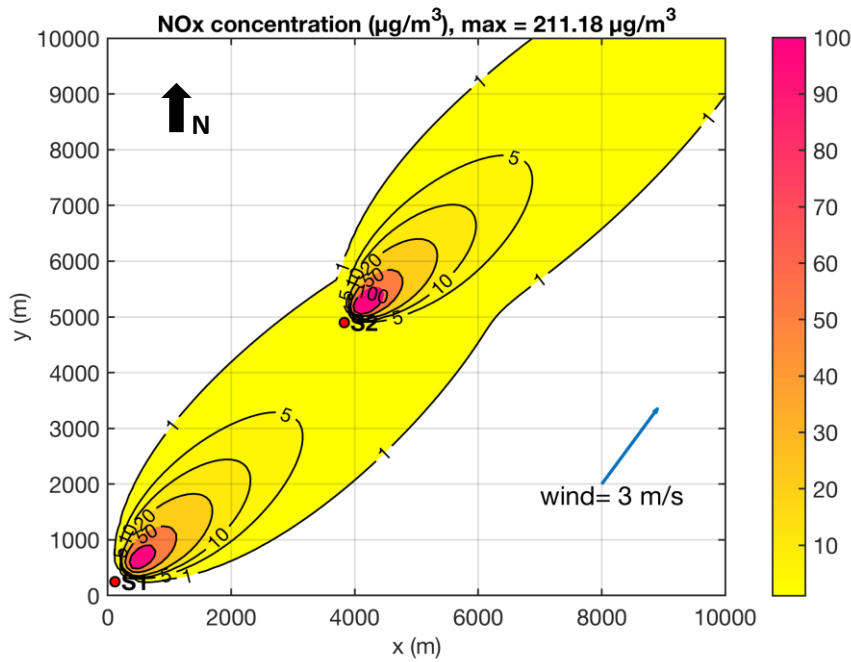
الشكل (7) انتشار ثاني أكسيد الكبريت وفق السيناريو الأول، الرياح غربية خفيفة السرعة، التركيز الأعظمي على بعد 521 m من S2



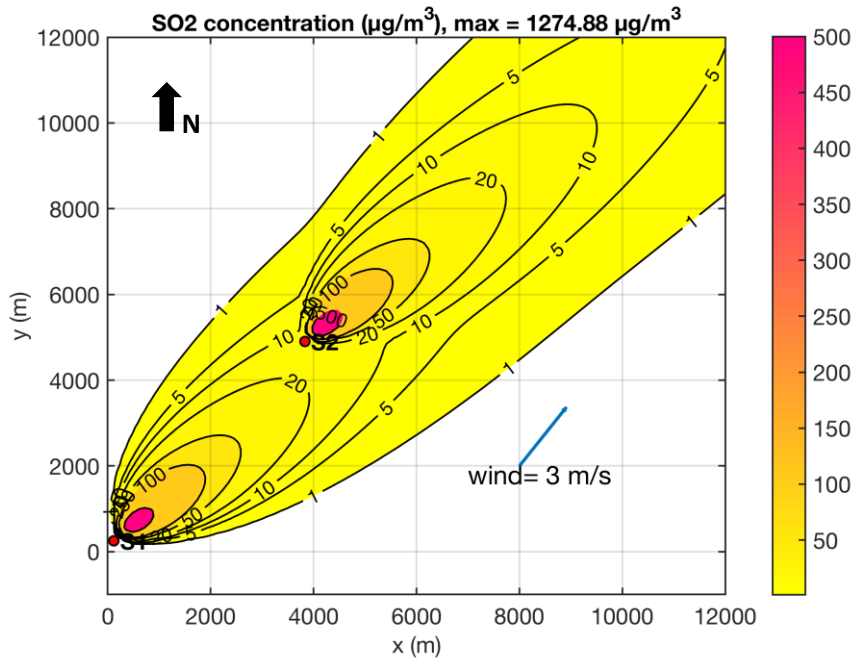
الشكل (8) انتشار أكاسيد النروجين حسب السيناريو الثاني، الرياح السائدة غربية متوسطة السرعة، التركيز الأعظمي على بعد 470 m من S2



الشكل (9) انتشار ملوثات ثاني أكسيد الكبريت حسب السيناريو الثاني، الرياح السائدة غربية متوسطة السرعة، التركيز الأعظمي على بعد 521 m من S2



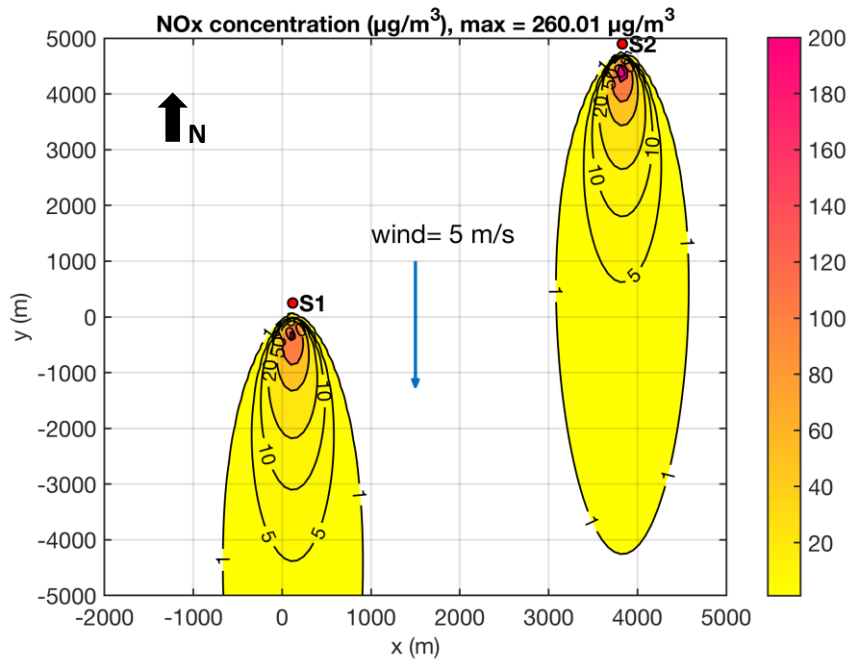
الشكل (10) انتشار أكاسيد النتروجين وفق السيناريو الثالث، الرياح جنوبية غربية، التركيز الأعظمي على بعد 404 m من S2



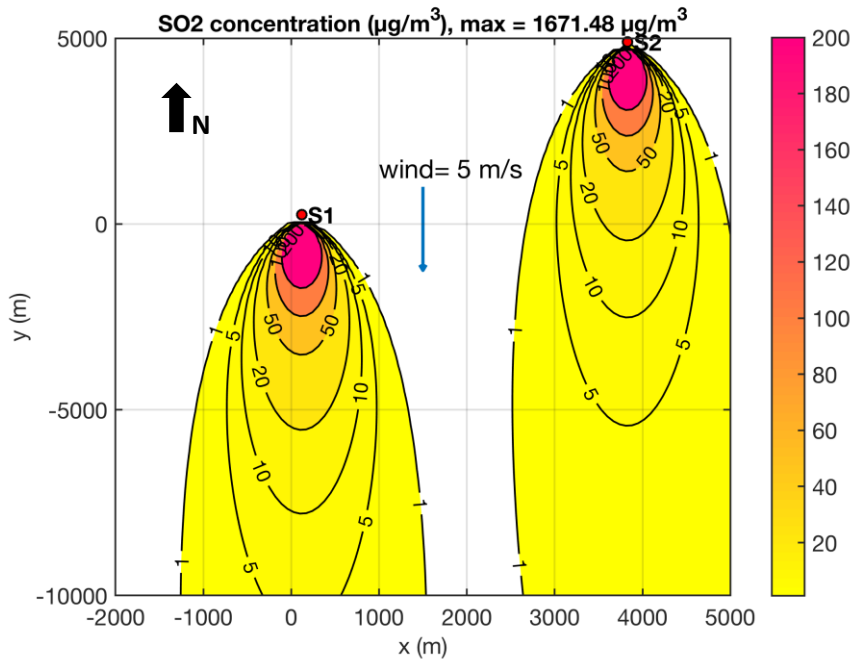
الشكل (11) انتشار ثاني أكسيد الكبريت وفق السيناريو الثالث، الرياح جنوبية غربية، التركيز الأعظمي على بعد 502 m من S2

عندما تكون الرياح جنوبية يمتد انتشار أكاسيد النتروجين كما يبين الشكل (12) إلى مسافة تتجاوز 5 km جنوب كل من محطة توليد الطاقة والمصفاة، بينما ينتشر ثاني أكسيد الكبريت إلى مسافة تزيد على 10 km وتتأثر معظم المناطق بتركييزات مرتفعة منه كما يوضح الشكل (13)، ويلاحظ أن التأثير المشترك للمنشأتين لا يحدث عند التراكيز

المرتفعة وإنما يحدث عند مسافة بعيدة عن مصدري التلوث ويبلغ التركيز الأعظمي  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و  $1671 \mu\text{g}/\text{m}^3$  لكل من أكاسيد النتروجين وثاني أكسيد الكبريت على التوالي على مسافة 500 m من كلا المصدرين. تنتشر أكاسيد الكبريت بشكل أكبر وبتراكيز أعلى من أكاسيد النتروجين ويعود ذلك إلى ارتفاع محتوى الكبريت في الوقود المستخدم. كما نلاحظ أيضاً أن سرعة الرياح الضعيفة تسهم في تركيز الملوثات في المناطق القريبة من مصادر التلوث مقارنة بسرعات الرياح الأعلى وبالتالي فإن فصلي الصيف والربيع والأيام التي يكون فيها الهواء ساكناً نسبياً هي الأيام الأخطر من ناحية تشتت الملوثات. وتظهر القيم الموجودة في الأشكال من (6) حتى (13) أن تركيز الملوثات في المناطق المجاورة تماماً لمصادر الانبعاث يفوق  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  من ثاني أكسيد الكبريت وهو الحد الأعلى المحدد من قبل منظمة الصحة العالمية ووفق المعايير الوطنية لجودة الهواء في الجمهورية العربية السورية لمتوسط عشر دقائق من التعرض بينما لا يزيد تركيز أكاسيد النتروجين عن متوسط ساعة من التعرض ويبلغ  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . وبالابتعاد عن مصادر التلوث يُلاحظ أن تركيز ثاني أكسيد الكبريت لا يزال أعلى من متوسط التعرض السنوي ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) وذلك لمساحة تبلغ تقريباً عشرة كيلومترات مربعة بينما تكون تراكيز أكاسيد النتروجين في نفس المساحة أقل من متوسط التعرض طويل الأمد ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



الشكل (12) انتشار أكاسيد النتروجين وفق السيناريو الرابع، الرياح شمالية، التركيز الأعظمي على بعد 500 m من S2



الشكل (13) انتشار ثاني أكسيد الكبريت وفق السيناريو الرابع، الرياح شمالية، التركيز الأعظمي على بعد 500 m من S2

### الاستنتاجات والتوصيات:

- يمثل الحل التحليلي لمعادلة غوص لانتشار الملوثات خطوة أولى أساسية لتقييم انتشار أكاسيد النتروجين والكبريت. تم تطبيق هذا النموذج على مدينة بانياس التي تقع بين مصدري تلوث بهذه الأكاسيد هما الشركة العامة لتوليد كهرباء بانياس وشركة مصفاة بانياس.
- أظهرت الدراسة أن خطر التلوث الأكبر ينتج من أكاسيد الكبريت التي يفوق تركيزها في ظروف الصيف التراكيز المسموحة من قبل منظمة الصحة العالمية (WHO) تقريباً على امتداد كامل المدينة والمناطق المجاورة لها، بينما كانت تراكيز أكاسيد النتروجين ضمن القيم المسموحة، بشكل عام، باستثناء المناطق القريبة من المداخل أي ضمن مساحة كيلومتر مربع واحد تقريباً.
- تعتبر الرياح العامل الأهم في تشتيت الملوثات من حيث السرعة والاتجاه وبينت الدراسة أن الاتجاه الجنوبي الغربي هو الأخطر من حيث زيادة تراكيز الملوثات بسبب التأثير المشترك لكلا المنشأتين.
- اعتمد البحث على القيم الوسطية للوقود المحترق في كلا المنشأتين وعلى خواص المداخل وحالة الطقس بينما لم تتوفر الوسائل المناسبة لقياس تراكيز الأكاسيد في مناطق انتشارها لذا يوصى بضرورة القياسات الدورية للملوثات في مدينة بانياس سواءً من خلال مراكز رصد ثابتة أو متحركة ويفضل كليهما ومقارنتها مع نتائج النموذج المستخدم.
- كما يوصى بضرورة دراسة الحد من انبعاث أكاسيد الكبريت إلى الجو سواءً باستخدام وقود منخفض المحتوى من الكبريت أو استبدال الوقود الثقيل بالغاز الطبيعي أو استخدام تجهيزات معالجة الانبعاثات قبل انطلاقها إلى الجو.



## References:

- 1- GAN, W.Q.; DAVIES, H.W.; KOEHOORN, M.; BRAUER, M. *Association of long-term exposure to community noise and traffic-related air pollution with coronary heart disease mortality*. American Journal of Epidemiology, Vol. 175, N<sup>o</sup>. 9, 2012, 898-906.
- 2- PARENT, M. É.; GOLDBERG, M.S.; CROUSE, D.L. *Traffic-related air pollution and prostate cancer risk: a case-control study in Montreal, Canada*. Occupational and environmental medicine. Vol. 70, N<sup>o</sup>. 7, 2013, 511-518.
- 3- SHEKARRIZFARD, M.; FAGHIH-IMANI, A.; HATZOPOULOU, M. *An examination of resolved estimates against long-Term average exposures at the home location*. Environmental Research. Vol. 147, 2016, 435-444.
- 4- Mansour, Y. and Hasino, T. *Estimate the Cost of Damage Caused by Air Pollution in the City of Baniyas*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies – Economic and Legal Sciences Series Vol. (36) No. (2) 2014, 287- 305.
- 5- Ministry of State for Environmental Affairs, Environmental Law No. 50, National Air Quality Standards, Damascus, 2003
- 6- WHO, *Ambient (outdoor) air pollution*. [https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). 2018, Accessed 25 march 2020.
- 7- Alia, T.; Assad, M.; Aqel, A. *Studying the Impact of Industrial Facilities Emission at Baniyas Region on some Chemical Characteristics of Rainwater*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies – Basic Sciences Series Vol. (37) No. (1) 2014, 135- 154.
- 8- ELLIOTT, P.; SHADDICK, G.; KLEINSCHMIDT, I.; JOLLEY, D.; WALLS, P.; BERESFORD, J.; GRUNDY, C. *Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain*. British Journal of Cancer, Vol. 73, N<sup>o</sup>. 5, 1996,702-710.
- 9- ANCONA, C.; BADALONI, C.; MATALONI, F.; BOLIGNANO, A.; BUCCI, S.; CESARONI, G.; SOZZI, R.; DAVOLI, M.; FORASTIERE, F. *Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of air pollution: a retrospective cohort study using air dispersion models*. Environmental Research, Vol. 137, 2015, 467-474.
- 10- BHARGAVA, A., BHARGAVA, S., GOLHAR, P., KAMBLE, S., BODDU, P. and PANDEY, P. *Prediction of SO<sub>2</sub> Concentration Using Air Dispersion Model: A Case Study of Thermal Power Plant*. International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications, 2(3), 2020,121-132.
- 11- ANGGARANI, B., WIBOWO, P. and ADITAMA, F. *Air dispersion modelling for emission mitigation of power plant technology*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 413, No. 1, 2020, 012013). IOP Publishing.
- 12- SOSA E, R., VEGA, E., WELLENS, A., JAIMES, M., FUENTES G, G., GRANADOS H, E., ALARCÓN J, A.L., TORRES B, M.D.C., SÁNCHEZ A, P., ROSAS A, S. and MATEOS D, E. *Reduction of atmospheric emissions due to switching from fuel oil to natural gas at a power plant in a critical area in Central Mexico*. Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 70, N<sup>o</sup>. 10, 2020,1043-1059.
- 13- MODI, M.; RAMACHANDRA, V.; AHMED, L.; HUSSAIN, Z. *A Review on Theoretical Air Pollutants Dispersion Models*. International Journal of Pharmaceutical, Chemical & Biological Sciences, Vol. 3, N<sup>o</sup>. 4, 2013, 1224-1230.
- 14- MAO, S.; LANG, J.; CHEN, T.; CHENG, S.; CUI, J.; SHEN, Z.; HU, F. *Comparison of the impacts of empirical power-law dispersion schemes on simulations of pollutant dispersion during different atmospheric conditions*. Atmospheric Environment, Vol. 224, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117317>
- 15- AMOATEY, P.; OMIDVARBORNA, H.; AFFUM, H.A.; BAAWAIN, M. *Performance of AERMOD and CALPUFF models on SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions for future*

*health risk assessment in Tema Metropolis*. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, Vol. 25, N°. 3, 2019, 772-786.

16- HASHEMI, S., MOWLA, D. and ESMAEILZADEH, F. *Assessment and Simulation of Gaseous Dispersion by Computational Fluid Dynamics (CFD): A Case Study of Shiraz Oil Refining Company*. American Journal of Environmental Science and Engineering, Vol. 4, N°. 2, 2020, 17-23.

17- GIBSON, M.D.; KUNDU, S.; SATISH, M. *Dispersion model evaluation of PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model*. Atmospheric Pollution Research, Vol. 4, N°. 2, 2013, 157-167.

18- KIM, Y.; SEIGNEUR, C.; DUCLAUX, O. *Development of a plume-in-grid model for industrial point and volume sources: application to power plant and refinery sources in the Paris region*. Geoscientific Model Development, Vol. 7, N°. 2, 2014, 569-585.

19- VAIRO, T.; CURRÒ, F.; SCARSELLI, S.; FABIANO, B. *Atmospheric emissions from a fossil fuel power station: dispersion modelling and experimental comparison*. Chemical Engineering Transactions, Vol. 36, 2014, 295-300.

20- THEPANONDI, S.; OUTAPA, P.; SAIKOMOL, S. *Evaluation of dispersion model performance in predicting SO<sub>2</sub> concentrations from petroleum refinery complex*. Int J Geomate, Vol. 11, N°. 23, 2016, 2129-2135.

21- LANGNER, C.; KLEMM, O. *A comparison of model performance between AERMOD and AUSTAL2000*. Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 61, N°. 6, 2011, 640-646.

22- ALNAHDI, A., ELKAMEL, A., SHAIK, M.A., AL-SOBHI, S.A.; ERENAY, F.S. *Optimal production planning and pollution control in petroleum refineries using mathematical programming and dispersion models*. Sustainability, Vol. 11, N°. 14, 2019, 3771.

23- OECF-The Overseas Economic Cooperation Fund, Japan. *Draft Final Report on Special assistance for Project Sustainability on Baniyas Power Station Expansion Project LIA No.SY-P*, 1995, 174.

24- EPA, *Screening procedures for estimating the air quality impact of stationary sources*. Revised. Office of Air and Radiation, 1992, 93.

25- SANDMO, T. (ed.) *The Norwegian Emission Inventory 2016 Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants*. Statistics Norway, 2016, 304.

26- Unpublished Reports from Baniyas Refinery.

27- EPA, *Effective Stack Height- Plume rise*. Air pollution Training Institute, 1974, 181

28- MOSES, H.; STROM, G. H. *A Comparison of Observed Plume Rises with Values Obtained from Well-Known Formulas*. Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 11, N°.10, 1961, 455-466.

29- PASQUILL, F. *The estimation of the dispersion of windborne material*. Met. Mag., Vol. 90, 1961, 33.

30- TURNER, D.B. 1964. *A diffusion model for an urban area*. Journal of Applied Meteorology, Vol. 3, N°. 1, 1964, 83-91.

31- BRIGGS, G.A. *Diffusion estimation for small emissions. Preliminary report* (No. TID-28289). National Oceanic and Atmospheric Administration, Oak Ridge, Tenn.(USA). Atmospheric Turbulence and Diffusion Lab. 1973, 83.

32- TURNER, D.B. *Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling*. CRC press. 1994.