ملحق

المفـاهيـم والتعـريـفات

المكونات الأساسية لنموذج محاكاة جودة الهواء

تقديرات الإنبعاثات

يتم حساب تقديرات الانبعاثات من المعلومات الأساسية مثل التوزيع النموذجي لحركة المرور، وعمر أسطول المركبات، وأنواع المركبات، والعمليات الصناعية، واستخدام الموارد، وأحمال محطة الطاقة وأنواع الوقود.

تطبيقات نماذج التشتت

نمذجة الانتشار الجوي هي محاكاة رياضية لكيفية انتشار ملوثات الهواء في الجو المحيط. تُنفّذ هذه المحاكاة عن طريق برامج حاسوبية تتضمن خوارزميات لحل المعادلات الرياضية التي تسيطر على انتشار الملوثات.

تُستخدم نماذج الانتشار لتقدير تركيز الهواء المحيط بالملوثات أو السموم المنبعثة من مصادر مثل المنشآت الصناعية أو حركة السيارات أو الانبعاث الكيميائي العرضي.

يمكن استخدامها أيضًا للتنبؤ بالتركيزات المستقبلية في إطار سيناريوهات محددة (أي التغييرات في مصادر الانبعاث)، ولذلك، فهي النوع السائد من النموذج المستخدم في وضع سياسة جودة الهواء.

تُعد هذه النماذج مفيدة للغاية للملوثات التي تنتشر على مسافات كبيرة، والتي يمكن أن تتفاعل في الغلاف الجوي.

تُستخدم الملوثات ذات التباين المكاني والزمني العالي جدًا (أي ذات المسافة شديدة الانحدار عن تحلل المصدر مثل الكربون الأسود)، والدراسات الوبائية لنماذج الانحدار الإحصائي لاستخدام الأراضي.

مدخلات نماذج التشتت

تختلف نماذج الانتشار اعتمادًا على الرياضيات المستخدمة لتطوير النموذج، ولكنها تتطلب جميعًا إدخال البيانات التي قد تشمل النقاط التالية :

- ظروف الأرصاد الجوية مثل سرعة واتجاه الرياح، ومقدار الاضطراب في الغلاف الجوي، والذي يتميز بما يسمى «فئة الاستقرار»، ودرجة حرارة الهواء المحيط، ومن قمة إلى قاع أي انقلاب حراري يمكن أن يكون موجودًا، والغطاء السحابي والإشعاع الشمسي.
- عبارة المصدر (تركيز أو كمية السموم في الانبعاث أو عبارات مصدر الانبعاث العرضي الرياضية) ودرجة حرارة المادة.
- انبعاثات أو معايير الانبعاث مثل موقع المصدر وارتفاعه، ونوع المصدر (حريق أو مواسير التنفيس أو الأحواض) وسرعة الخروج، ودرجة حرارة الخروج ومعدل التدفق الكلي أو معدل الانبعاث.

- ارتفاعات الأراضي في موقع المصدر وفي موقع (مواقع) المستقبلات، مثل المنازل والمدارس والشركات والمستشفيات القريبة.
- تحديد موقع وارتفاع وعرض العوائق في حال وجودها (مثل المباني أو الأبنية الأخرى) في مسار انتشار سحب الغاز المنبعثة أو خشونة السطح أو استخدام معيار أكثر شمولية مثل أراضي «الريف» أو «المدينة.«

تعد نماذج التشتت هي الوسيلة الوحيدة لتقدير التركيزات في المواقف التالية:

- تقدير التوزيعات المكانية لتركيزات ملوثات الهواء.
- تحديد مساهمات المصدر في مواقع المستقبلات (علىسبيل المثال في نقاط مختلفة في منطقة سكنية)
- توفير تركيزات لمركب (ملوث "غريب") لا توجد منهجيات قياس لها أو تكون باهظة الثمن .
- تقديم تقديرات لتأثيرات تحقيق مرفق التصنيع المخطط تغييرات العملية في مصنع قائم .
- تقدير التأثيرات على مواقع المستقبلات على مقربة من طريق مخطط أو تلك الخاصة بالتغيرات المتوقعة في تدفق حركة المرور.
- دعم اختيار مواقع المراقبة المناسبة (مثل "النقاط الساخنة") عندما لا تتوفر معرفة بالتركيزات المحتملة.
- توقع تركيزات تلوث الهواء.
- المساعدة في تقدير التعرض من خلال محاكاة التركيزات ومدة حلقات الأرصاد الجوية.

وبالتالي ، فإن نمذجة التشتت هي أداة مكملة لرصد تلوث الهواء

يساعد نموذج التشتت في معالجة المشكلات التالية:

- تقييم امتثال التركيزات من انبعاثات المرافق المخططها مع إرشادات و / أو معايير جودة الهواء (بما في ذلك التركيزات الموجودة بسبب مصادر أخرى) .
- تقييم تأثير انبعاثات المصنع الذي سيخضع لتغيير العملية .
- تحديد ارتفاعات المداخن المناسبة .
- تصميم شبكات مراقبة الهواء المحيط.
- تقييم تأثير وكفاءة السياسات واستراتيجيات التخفيف (مثل تأثير معايير الانبعاثات).
- التنبؤ بحوادث التلوث.
- تقييم المخاطر والتخطيط لإدارة الأحداث النادرة مثل إطلاق المواد الخطرة العرضي .
- تقدير تركيزات الملوثات التي يصعب قياسها أو تكون باهظة التكلفة .

النمذجة والأرصاد الجوية

تعد نماذج الانتشار مهمة للجهات الحكومية المكلفة بحماية وإدارة جودة الهواء المحيط. وتُستخدم النمذجة عادةً لتحديد ما إذا كانت المنشآت الصناعية الجديدة القائمة أو المقترحة متوافقة مع المعايير الوطنية لجودة الهواء المحيط أو ستلتزم بها.

تعمل النمذجة أيضًا على المساعدة في تصميم استراتيجيات تحكم فعالة لتقليل انبعاث ملوثات الهواء الضارة.

عوامل الأرصاد الجوية

يتم نقل الملوثات الموجودة في الفضاء بواسطة حركات الهواء التي تقلل من تركيزات ملوثات الهواء فيالفضاء على مدى فترة من الزمن.

تشمل عوامل الأرصاد الجوية تشمل سرعة الرياح واتجاه الرياح والاضطرابوارتفاع الخلط واستقرار الغلاف الجوي ودرجة الحرارة والانعكاس.

- **سرعة الرياح**

الرياح هي عبارة عن انتقال أو تحرّك للكتل الهوائيّة من منطقة إلى أخرى بشكل أفقي في الجو، وذلك تبعًا لاختلاف قيم الضغط الجوي من منطقة إلى أخرى؛ بحيث تتحرّك الرياح دائمًا حركة تسارعيّة من المناطق ذات الضغط الجوي المرتفع إلى المناطق ذات الضغط الجوي المنخفض.

سرعة الرياح وهو التغير في نسبة سرعة غازات الغلاف الجوي، تؤثر سرعة الرياح على التنبؤ الجوي وحركة الملاحة الجوية والبحرية وتتناسب التركيزات فيالعمود عكسياً مع سرعة الرياح.

يتم التعبير عن سرعة الرياح بوحدة متر / ثانية (م / ث), يجب أنتكون سرعة الرياح صفراً عند سطح الأرض، لذلك تكون سرعة الرياح أقل بالقرب من الأرض عنها في الارتفاعات العالية .

العلاقة بين سرعة الرياح وتشتت الملوثات الهوائية

تؤثر سرعة الرياح على تشتت الملوثات الهوائية بشكل كبير، حيث تساعد الرياح القوية على تشتيت الملوثات وتعمل على تحريك الملوثات الجوية لمسافات بعيدة وتؤدي لتشتت الملوثات بعيدًا عن مصدرها، ويأتي التحسن في مؤشر جودة الهواء نتيجة تحسن التهوية الرأسية مع اعتدال سرعة الرياح، حيث تساعد الرياح على تشتيت الملوثات ويعتبر التغير الرأسي لسرعة الرياح والاتجاه من مسببات الحركة الدوامية التي تؤدي إلى تشتت الملوثات.

العوامل التي تؤثر على اتجاه الرياح

- **فروقات الضغط الجوي:** تحدد فروقات الضغط الجوي اتجاه الرياح، حيث يتدفق الهواء من المناطق ذات الضغط الجوي العالي إلى المناطق ذات الضغط الجوي المنخفض .
- **درجة الحرارة:** تؤثر درجة الحرارة على اتجاه الرياح، حيث تتحرك الرياح من المناطق الباردة إلى المناطق الدافئة.
- **التضاريس:** تؤثر التضاريس على اتجاه الرياح، حيث تتحرك الرياح بشكل مختلف على المناطق الجبلية والمرتفعات العالية .
- **تأثير الأرض :** تؤثر الأرض على اتجاه الرياح، حيث تتحرك الرياح بشكل مختلف فوق المسطحات المائية مثل البحار والمحيطات .

لا يوجد مصدر يشير إلى أن نوعية الهواء تعتمد على اتجاه الرياح، ولكن يمكن القول أن اتجاه الرياح يؤثر على تحرك الملوثات الجوية وتشتيتها في الهواء .

- **طبقات الغلاف الجوي**

١. **طبقة التروبوسفير وهي الطبقة الأقرب إلى سطح الأرض وتمتد هذه الطبقة من مستوى سطح البحر إلى ارتفاع يُقدر بحوالي ١٨ كم، وتحتوي على حوالي ٨٠٪ من كتلة الغلاف الجوي العام.**
٢. **طبقة الستراتوسفير هي الطبقة التالية وتمتد من ١٨ كم إلى حوالي ٥٠ كم.**
٣. **الطبقة الثالثة هي طبقة الميزوسفير التي تمتد من ٥٠ كم إلى حوالي ٨٠ كم.**
٤. **هناك طبقات أخرى فوق ارتفاع ٨٠ كم، ولكنها عديمة التأثير على نمذجة الانتشار الجوي.**

- **طبقة الخلط**

تشمل طبقات الغلاف الجوي للأرض بدءًا من سطح الأرض إلى الأعلى، طبقة الحدود الكوكبية المكونة من طبقة الخلط المغطاة بطبقة الانقلاب، وطبقة التروبوسفير الحر، وطبقة الستراتوسفير، وطبقة الميزوسفير وغيرهم. يشار إلى العديد من نماذج الانتشار في الغلاف الجوي بنماذج الطبقة الحدودية لأنها تُعد نموذجًا أساسيًا لانتشار ملوثات الهواء داخل طبقة الحدود الكوكبية، وخلال فترة كل ساعة في يوم مشمس ستتحرك التيارات الحرارية الصاعدة، والتي تميز الظروف الجوية غير المستقرة، فيإتجاه الرياح ستؤدي سلسلة من الحركات التصاعدية والهابطة إلى تشتت عمودي كبير للملوثات نظراً لأن هياكل الدوامة تشير إلى جميع الاتجاهات الممكنة، فهناك أيضاً تشتت أفقي كبير، علىالنقيض من ذلك في الليل مع سماء صافية ورياح خفيفة.

الهيكل الحراري العمودي هو انخفاض طفيف في درجة الحراري مع الارتفاع، حوالي ١٠ درجة مئوية مع كل زيادة ارتفاع١٠٠٠ متر (معدل زوال ثابت الحرارة الجاف)، يمكن أن تكون الظروف المحايدة في الغلاف الجوي ناجمة عن

ظروف غائمة، ظروف الرياح ، الظروف الانتقالية قرب شروق الشمس وغروبها وتؤدي هذه الظروف إلى مستوى متوسط من التشتت .

يتم تعريف ارتفاع الخلط على أنه الحد الأعلى لتشتت ملوثات الغلاف الجوي في ظل الظروف غير المستقرة، هناك خلط رأسي قوي من الأرض إلى حوالي كيلومتر واحد ثم اختلاط رأسي فوق هذا الارتفاع أما في حالة الظروف المستقرة ، يكون ارتفاع الخلط أقل بكثير.

- **الإنقلاب الحراري**

يُسمى الجزء الأدنى من التروبوسفير بالطبقة الحدودية الجوية أو طبقة الحدود الكوكبية، تنخفض درجة حرارة الهواء في الغلاف الجوي كلما ازداد الارتفاع حتى تصل إلى ما يسمى طبقة الانقلاب الحراري (حيث ترتفع درجة الحرارة مع زيادة الارتفاع) التي تغطي طبقة الحدود ذات الحمل الحراري، والتي عادةً ما تكون في ارتفاع يتراوح بين ١.٥ إلى ٢.٠ كم، يُسمى الجزء العلوي من التروبوسفير (أي فوق طبقة الانقلاب) بالتروبوسفير الحر ويمتد حتى التربوبوز (الحد في الغلاف الجوي للأرض بين التروبوسفير والستراتوسفير)، يمكن أن تضم طبقة الحمل الحراري الحر طبقة التروبوسفير بأكملها، في خطوط العرض الاستوائية وخطوط العرض الوسطى خلال النهار، والتي يتراوح ارتفاعها بين ١٠-٢٠ كم في نطاق التقارب بين المدارين .

وتقترن حالة الانقلاب الحراري بوجود استقرارية في الجو، وذلك لان بوجود الانقلاب الحراري لايستطيع الهواء البارد الثقيل أن يرتفع الى أعلى، لذا فان مع انتهاء الانقلاب الحراري سيكون الجو اكثر ملائما لانتشار الملوثات بعيداً عن السطح.

- **الأنتقال والتشتت:**

حركة الهواء الأفقية تعمل على نقل الملوثات من مصادرها، اما الحركة العمودية فتعمل على تشتيت (diffusion) الملوثات، ويمكن توضيح ذلك بحالتين حالة انقلاب حراري قوي ورياح هادئة فيكون الأنتشار العمودي للملوثات عندها مهملا فيما تنتقل الملوثات افقياً بفعل الرياح، اما الحالة الاخرى هي حالة التسخين الشمسي القوي مع رياح أفقية خفيفة عندها تنشط الحركة العمودية للهواء وتسبب انتشار الملوث .

- **أنواع الثبات والعمود**

في ظل الظروف غير المستقرة، سيظهر عمود مرئي ينبعث باستمرارعلى شكل حلقات كبيرة يسمى هذا الهيكل عمود "الحلقات"، يرجع التكرار إلى الحركات الصاعدة لتدفق الحرارة والحركات التنازلية التعويضية التي تحدث أثناء نقل العمود في اتجاه الريح.

في ظل الظروف المحايدة، يكون الاضطراب ميكانيكياً في الغالب نظراً لأن الدوامات المضطربة لها اتجاهات مختلفة، فإن التشتت الرأسي والأفقي الناتج يكون متماثلًا نسبياً، يبدو العمود الناتج وكأنه مخروط ويوصف التشتت في ظل ظروف محايدة بأنه "مخروطي"

يتم منع الحركة العمودية للعمود في ظل ظروف مستقرة مع انعكاس درجة الحرارة وارتفاع الخلط المنخفض الحركة الأفقية لاتتأثر بدرجة الحرارة والامتداد الأفقي إذا كانالانتشار الأفقي كبيراً فيقُال إن العمود هو "تهوية"

- **انقلاب ، تبخير، ركود**

يحدث الانعكاس عندما يغطي الهواء الأكثر دفئاً الهواء البارد وهناك أربع عمليات لإنتاج انعكاس:

- تبريد طبقة من الهواء من الأسفل (انعكاس السطح).
- تسخين طبقة من الهواء من فوق (انعكاس مرتفع).
- تدفق طبقة من الهواء الدافئ فوق طبقة من الهواء البارد (انعكاس السطح).
- تدفق طبقة من الهواء البارد تحت طبقة من الهواء الدافئ (ارتفاع انقلاب).

كل هذا يحدث، على الرغم من أن العملية الأولى (التبريد من الأسفل) هي الأكثر شيوعاً.

- **انعكاس ناتج عن تبريد الهواء على السطح**

قبل غروب الشمس بفترة وجيزة، يبدأ سطح الأرض في البرودة عن طريق الإشعاع ويبرد طبقة الهواء الأقرب إليه، بحلول غروب الشمس سيكون هناك انعكاس قوي ولكن ضحل بالقرب منالأرض، طوال الليل سيزداد هذا الانقلاب من حيث القوة والارتفاع حتى فجر اليوم التالي، سيكون ملف تعريف درجة الحرارة عملياً هو نفسه الذي يظهر في الفجر نظراً لأن درجة حرارة الهواء المجاور للأرض أقل من درجة حرارة الهواء عند بعض الارتفاعات أعلاه فإن ملوثات الهواء المنبعثة في هذه الطبقة محاصرة لأن الهواء أبرد من الطبقة التي فوقها لن يرتفع وهذا ما يسمى "الانعكاس الراكد".

- **انقلاب بسبب التسخين من الأعلى**

يمكن أن يحدث تسخين طبقة الهواء من الأعلى ببساطة عندما تمتص الطبقة السحابية الإشعاع الشمسي الوارد، ومع ذلك، فإنه يحدث غالباً عندما تكون هناك منطقة ضغط مرتفع (شائع في الصيف بين العواصف) حيث يوجد تدفق صاف بطيء للأسفل للهواء والرياح الخفيفة ستزيد كتلة الهواء الغاطس في درجة الحرارة بمعدل زوال ثابت الحرارة (التغير في درجة حرارة كتلة الهواء أثناء تغير ارتفاعها) غالباً ما يصبح أكثر دفئاً من الهواء الموجود تحته، والنتيجة هي انعكاس مرتفع يطلق عليه أيضاً انعكاس الهبوط أو الانقلاب، غالباً تتشكل عادة من ٥٠٠ إلى ٥٠٠٠ متر فوق سطح الأرض، وهي تمنع الاختلاط الجوي، هذا النوع من الانقلابات شائع في المواقف المشمسة والرياح المنخفضة.

➢ تدفق طبقة من الهواء الدافئ فوق طبقة من الهواء البارد

إذا التقى تدفق الهواء الدافئ بطبقة من الهواء البارد، يمكن لكتلة الهواء الدافئ ببساطة أن تكتسح الهواء البارد في ظل ظروف معينة مثل حبس الجبال للهواء البارد، تتدفق كتلة من الهواء الدافئ فوق قبة باردة حتى بدون الجبال، ويمكن لقوى الغلاف الجوي وحدها أن تتسبب في تدفق كتلة من الهواء الدافئ فوق كتلة باردة، وهذا ما يسمى بتأثير "التجاوز"، عندما يتجاوز الهواء الدافئ الهواء الباردعلى السطح.

➢ الانقلاب بسبب تدفق الهواء البارد تحت هواء دافئ

يؤدي التدفق الأفقي للهواء البارد إلى منطقة ما إلى خفض درجة حرارة السطح عندما يكون الهواء البارد أكثر كثافة ويتدفق بشكل جانبي، فإنه يزيح الهواء الأكثر دفئاً والأقل كثافة إلى أعلى هذه الظاهرة تسمى "Advection Inversion". إنه أمر شائع حيث يهب الهواء البحري البارد في منطقة ساحلية ويمكن أن يحدث في أي وقت من السنة، هذا النوع من الانعكاس قصير العمر وضحل بشكل عام.

عندما يتدفق الهواء البارد إلى أسفل منحدر من ارتفاع أعلى إلى الوادي ويزيل الهواء الأكثر دفئاً إلى أعلى غالباً، ما يؤدي ذلك إلى انعكاسات في قاع الوادي يحبس الهواء البارد جميع الملوثات المنبعثة في هذه الطبقة، تسمى هذه الظاهرة " انعكاس تصريف الهواء البارد".

في الواقع يقوم الوادي بجمع كل الهواء المبرد على الأرض من المرتفعات الأعلى فوقه في حالة حدوث تكاثف وتشكل ضباب، لا يمكن للشمس الوصول إلى الأرض خلال النهار ويمكن أن يستمر الانقلاب لأيام.

تأثير الطبوغرافيا على سرعة الرياح واتجاهها

تؤثر الطبوغرافيا مثل الجبال والوديان والمناطق الحضرية على انتشار أعمدة المداخن فإنه في المناطق الجبلية والوديان، قد تتغير سرعة الرياح واتجاهها بشكل كبير من موقع إلى آخر فيالمناطق الحضرية، قد تكون سرعة الرياح واتجاهها معقداً جداً في أحد الشوارع بالإضافة إلىالخصائص الطبوغرافية للمنطقة، تؤثر الخصائص الحرارية الجوية والسطحية على حركات الهواء خاصة عند سرعات الرياح المنخفضة.

قد تكون سرعات الرياح أكبر أو أقل مما يمكن أن يحدث في حالة عدم وجود الانبعاثات من المباني. يمكن بسهولة استنتاج أن تدفق الهواء حول الهياكل الحضرية سيكونمختلفاًتماماً عن تدفق الهواء في المناطق الريفية بالمقابل، يعد تشتت ملوثات الهواء ظاهرة معقدة وتتنوع التركيزات إذا كانت داخل الشوارع أو فوق الهيكل الحضري أو حسب الأشكال المختلفة للمباني .

مصادر التلوث

تنقسم المصادر إلى:

- المصادر البشرية الثابتة، مثل محطات توليد الطاقة ومصانع الحديد والصلب ومصانع الأسمنت ومحطات تعبئة الوقود والصناعات المختلفة.
- المصادر البشرية غير الثابتة، مثل السيارات والشاحنات والطائرات والزوارق والقوارب ومعدات البناء والحفر(عادة ما يتم تجاهل عادم المركبات كمصدر للملوثات خاصة في المنشآت الصناعية الكبرى حيث تكون نسبة أحمال التلوث قليلة نسبيًا مقارنة بالمصادر الصناعية للمنشأة، ومع ذلك تعد عوادم المركبات أحد أهم المصادر في الأنشطة المتعلقة بالشحن والتفريغ والموانئ، جدير بالذكر أن المصادر المتحركة يتم تمثيلها ضمن أحمال تلوث المصادر الخطية (الطرق).
- المصادر الطبيعية، مثل الغبار الموجود على سطح الكرة الأرضية والأملاح الموجودة في المناطق البحرية والطحالب البحرية والصواعق الجوية.
- المصادر النطاقية التي يساهم الإنسان بجزء منها، مثل الأملاح الموجودة في المناطق الصناعية والمدنية والمناطق الزراعية والغابات والمناطق الريفية.
- مصادر تلوث الهواء المتنقلة، مثل الطائرات والزوارق والقوارب والمعدات الثقيلة.
- العوامل الجوية، مثل الرياح والعواصف الرملية والأعاصير والأمطار الحمضية.