Air Pollutants Dispersion

1. Buoyant acceleration of parcel

غمامة الدخان الصادرة من مدخنة تصعد بسبب زخمها وقوة الطفو، F_b، التي تعطى بـ

$$F_b = V\,g\,(\rho_{atm} - \rho_{air\ parcel}) = m_{air\ parcel} * a_b$$

$$V\,g\,(\rho_a - \rho_p) = V\,\rho_p a_b$$

$$a_b = \frac{g\,(\rho_a - \rho_p)}{\rho_a}$$

إذ إن a_b: التسارع الطائف $m_{air\ parcel}$: كتلة العينة الهوائية وV حجم العينة والحرف p يشير إلى العينة الهوائية على اعتبار انها غاز المدخنة، والحرف a يشير الى الجو المحيط.

من معادلة (12) التي تبيّن تساوي ضغط الغمامة او العينة مع ضغط الجو المحيط فان الكثافات يمكن ان تبدل بدرجات الحرارة باستخدام معادلة الغاز المثالي ($\rho=P/RT$) فتصبح المعادلة أعلاه:

$$a_b = \frac{g\,(T_P - T_a)}{T_P}$$

تبيّن المعادلة أن صعود أو نزول الغمامات يعتمد على فرق درجة الحرارة والاستقرارية.

2. Ideal dispersion of air pollutants

الدخان المنبعث من المداخن تتحكمه بصورة أساسية استقرارية الغلاف الجوي التي تستجيب إلى الدورة اليومية للنهار والليل. وأهم سلوك لإنتقال الملوثات:

1. Looping plumes

تحدث في الاجواء غير المستقرة (أصناف A وB وC) التي فيها يكون الخلط العمودي قوياً ونشيطاً، والفرق في درجة الحرارة ($T_p - T_a$) يزداد عند صعود الغمامة، لذلك فان الانتشار العمودي يكون عند اقصاه والملوثات تنتشر بشكل سريع في الاتجاهين الأعلى والأسفل.

2. Coning plumes

يحدث هذا النوع من السلوك الانتشاري في الاجواء المستقرة (اصناف E وF)، ويكون الفرق في درجة الحرارة ($T_p - T_a$) موجباً، ولكنه يتناقص مع الارتفاع إلى أن يصبح صفراً عند ارتفاع معين. وعندما يكون الجو مستقراً فان الخلط العمودي والخلط الافقي يتساويان تقريباً، لذلك فان الغمامة تنتشر عمودياً وأفقياً بالمعدل نفسه تقريباً مما يعطي مظهراً مخروطياً للغمامة.

3. Funning plumes

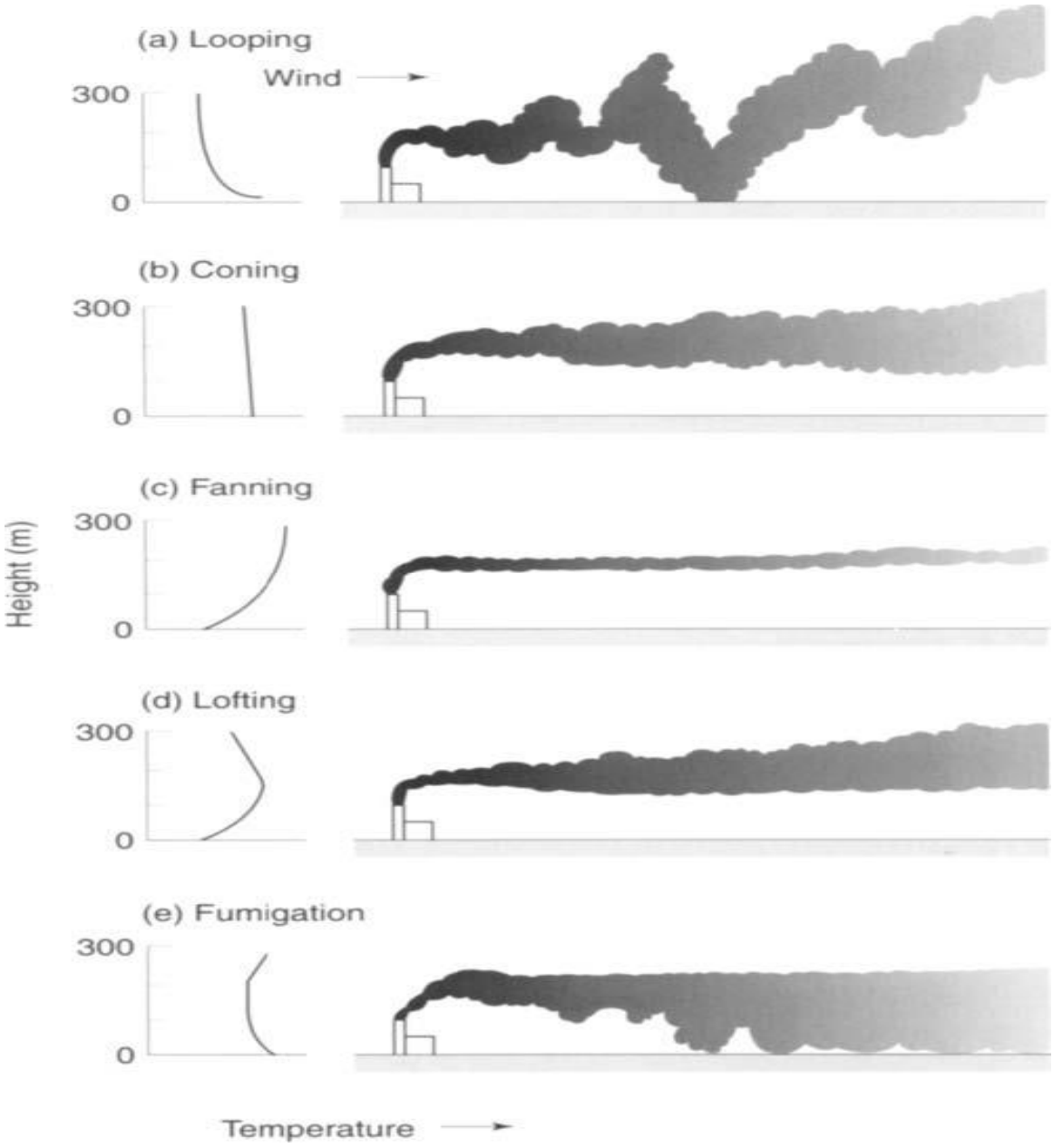
تحدث في الاجواء المستقرة جداً أو عند وجود انقلاب سطحي شديد. فمن الطبيعي ان ترتفع العينة الملوثة بشكل سريع عند فوهة المدخنة؛ لأن الفرق في درجات الحرارة ($T_p - T_a$) كبير ولكن هذا الفرق سيتناقص إلى الصفر بشكل سريع مع الارتفاع. ومن ثم $T_a = T_p$ فالغمامة تتوقف عند هذا الارتفاع؛ لأن الفروق في درجات الحرارة الكبيرة ستنتج قوة كبيرة لإعادة الغمامة إلى ارتفاعها الاصلي. تحت هذه الظروف فإن الخلط العمودي سيكون ضعيفاً وأقل من الخلط الجانبي لذلك فإنّ الغمامة ستكتسب مظهر انتشار مروحه بصورة جانبية أو أفقية.

4. Lofting plumes

اذا كانت قاعدة طبقة الانقلاب الحراري تحت مستوى قمة المدخنة فان ذلك سيعطي نتائج ايجابية حيث الخلط السفلي سيتوقف بينما تستمر الغمامة بالانتشار بصورة جانبية ونحو الأعلى.

5. Fumigation plumes

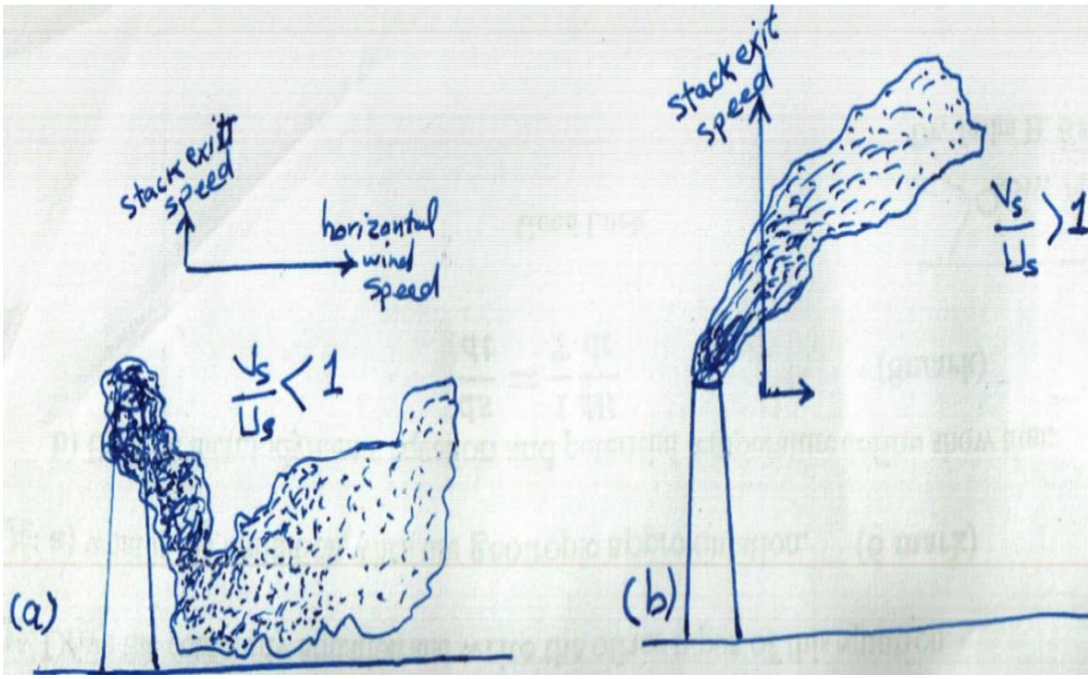
يعتمد هذا السلوك الانتشاري على ارتفاع تفريغ الملوثات من المدخنة نسبة الى ارتفاع قاعدة الانقلاب الحراري. فاذا كانت قاعدة طبقة الانقلاب فوق مستوى المدخنة فان الحركة العمودية الملوثات ستكون محبوسة بوساطة طبقة الانقلاب، وبذلك سوف تنتشر الملوثات نحو الاسفل ويمكن ان تنتج تراكيز ملوثة ذو مستوى أرضي عالٍ جداً خصوصاً إذا كان مستوى الانقلاب قرب سطح الارض وسرعة الرياح قليلة.



3. Plume behavior as a function of initial source parameter

1. Stack effluent exit velocity

فائدة قذف الملوثات بسرعة خروج (V_s) عمودية مميزة لها أهمية أساسية لمنع زحف الملوثات نحو أسفل المدخنة، كما مبيّن في الشكل أدناه:



وظروف ديناميكية الهواء لهذا النوع من الانتشار تحدد بايجاد V_s/U_s حيث U_s سرعة الرياح عند مستوى فوهة المدخنة.

فاذا كان $V_s/U_s=1$ فإن الغمامة ستنتشر على حافة المدخنة.

وإذا كان $V_s/U_s<1$ فإن الغمامة سوف تنتشر نحو أسفل المدخنة (الشكل a).

أما إذا كان $V_s/U_s>1$ فان الغمامة ستنتشر نحو الاعلى (الشكل b).

ومما تجدر الاشارة إليه هنا أن كمية التحرك للملوثات المنطلقة من المداخن بسرعة خروج كبيرة سوف تضيف إرتفاعاً آخراً إلى إرتفاع المدخنة قبل تأثير الاضطراب الجوي.

2. Stack effluent temperature

تتميز متدفقات مداخن المصانع بدرجة حرارتها الكبيرة مقارنة بالجو المحيط، مما يجعل المتدفقات تطفو وتصعد فوق قمة المدخنة. فعند صعود الملوثات فانها سوف تبرد بعملية سحب الهواء الأبرد تدريجياً إلى أن يصبح الفرق في درجات الحرارة قليلاً، وبالتالي يتوقف الصعود الناتج عن الطفو. اما إذا كانت المداخن طويلة أو موجودة مع أشجار كبيرة فان الصعود يصل الى ارتفاع أكثر من 1000 m في الرياح الخفيفة. وبهذه الحالة تصبح الغمامة غير مرئية.

4. Box model

لأجل تخطيط وتنفيذ برامج مصممة للأستيفاء بمتطلبات قوانين تلوث الهواء، يجب التنبؤ بتراكيز الهواء المحيط (عن طريق وضع أنموذجات)، التي هي ميزانيات مادية بسيطة تستخدم معادلة الموازنة العامة ادناه لبعض الملوثات المحددة.

معدل التراكم=(جميع معدلات الجريانات الداخلة)−(جميع معدلات الجريانات الخارجة)+(معدل التكوين)−(معدل الانحلال).

أكثر الموديلات شيوعاً أنموذج الصندوق الثابت الذي يجعل المدينة على شكل متوازي الاضلاع (لاحظ شكل). ولأجل حساب تركيز الملوث الغازي يفترض إجراء افتراضات بسيطة رئيسة أهمها:

1. يمكن أن نعدّ أن المدينة على شكل متوازي مستطيلات ذي عرض w وطول s، وان اتجاه الرياح توازي جانب واحد.

2. الاضطراب الجوي ينتج خلطاً كلياً وتاماً للملوثات لغاية ارتفاع الخلط H_m، على ان يتوقف هذا الخلط بعد هذا الارتفاع.

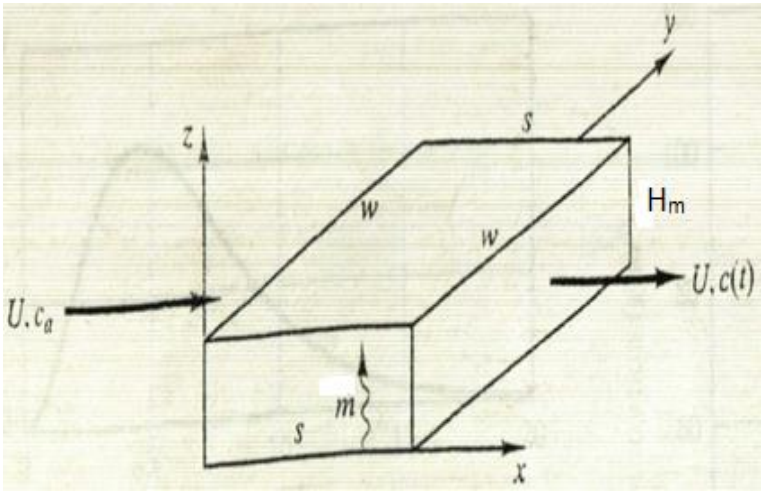
3. يكون الاضطراب شديداً في الرياح القادمة نحو المدينة، إذ يعمل على انتظام تركيز الملوث في جميع إجزاء الهواء السائد فوق المدينة.

4. الرياح تهب في اتجاه x بسرعة U مع فرض أن هذه السرعة ثابتة وغير معتمدة على الزمن والمكان أو الارتفاع فوق سطح الارض. ويفضل قياس معدل سرعة الرياح عند الارتفاع ما بين الارض والارتفاع H_m.

5. تركيز الملوثات في الهواء الداخل الى المدينة (عند $x = 0$) يكون ثابتاً.

6. لا توجد ملوثات تخرج أو تدخل المدينة خلال قمتها أو خلال الجوانب الموازية للرياح.

7. الملوث يتميز بالعمر الطويل لذا فان معدل اختلاطه يساوي صفراً.



يمكن حساب تركيز أي ملوث في أية وحدة سكنية الحاوية على مصدر تلوثه بأنموذج الصندوق، إذ تخطط المنطقة على شكل صندوق أبعاده مبيّنة في الشكل 5.3 مع ملاحظة أن الارتفاع يمثل معدل ارتفاع الخلط (H_m) الذي سنفرضه ثابتاً. ويمكن حساب معدل تراكم الملوث Accumulation rate:

$$\text{Accumulation rate} = \sum \text{all flow rates in} - \sum \text{all flow rates out}$$

معدل التراكم هو المشتقة الزمنية للكمية المحتواة التي هي انتاج التركيز والحجم اي

$$\text{Accumumlation rate} = \frac{d(C_a)}{dt} = \frac{d(C_a s\, w\, H_m)}{dt} = s\, w\, H_m \frac{dC_a}{dt}$$

$$\text{Input} = U\, C_0 (w\, H_m) + q_m (s\, w)$$

$$\text{Output} = U\, C_a (w\, H_m)$$

C_a تركيز الملوث المتراكم ضمن الصندوق وC_0 تركيز الملوث عند حافة بداية الصندوق مع الرياح القادمة أي الداخلة Upwind وq_m معدل الانبعاث لوحدة المساحة ($g/s.m^2$) داخل الصندوق. الموازنة المادية الكلية للملوث المنبعث هي

$$s\, w\, H_m \frac{dC_a}{dt} = U\, C_0 (w\, H_m) + q_m (s\, w) - U\, C_a\, w\, H_m$$

بقسمة المعادلة أعلاه على ($U\ w\ H_m$) ينتج

$$\frac{dC_a}{dt} = \frac{U\, C_0}{s} + \frac{q_m}{H_m} - \frac{U\, C_a}{s}$$

عند الحالة المستقرة أو عند الوقت الطويل يكون $dC_a/dt = 0$ مع استبدال C_a بالحالة المستقرة C_{ss}

$$C_{ss} = C_0 + \frac{q_m}{H_m} \frac{s}{U} = C_0 + \frac{q_m}{H_m} \tau_Q$$

حيث τ_Q: زمن البقاء الحجمي للهواء ضمن الصندوق. المعادلة (5.5) تعني ان التركيز المتراكم بشكل تدريجي يساوي التراكيز الداخلة مع الرياح مضافة معها الانبعاثات الموجودة ضمن الصندوق (مثل المنازل والسيارات وغيرها). إذا أهمل التركيز الابتدائي (أي $C_0=0$). وكذلك نكتب الانبعاثات داخل الصندوق على أساس معدلات كلية، وبذلك فإنّ المعادلة الاخيرة تصبح

$$C_{ss} = \frac{Q_m}{U\, w\, H_m}$$

ويمكن حساب التركيز عند أية لحظة من الزمن وذلك

$$(5.7)\ C_a(t) = C_0 + \frac{Q_m}{U\, w\, H_m}\left(1 - e^{-\frac{U}{s}t}\right)$$

عند الحالة المستقرة $t = 0$ فالحد الثاني يساوي صفراً و $C_a=C_{ss}=C_0$.

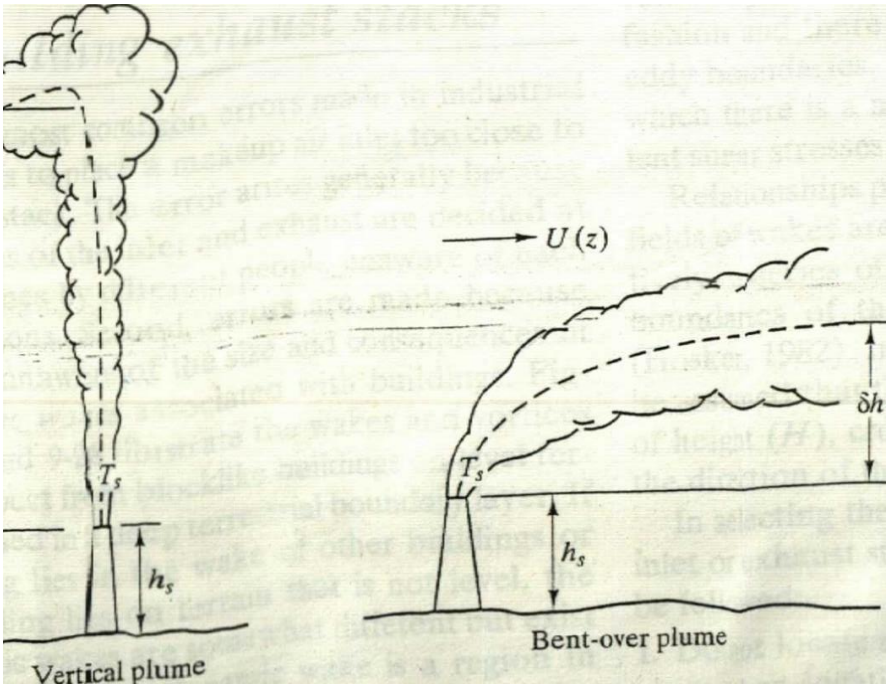
مثال1: مدينة لها الوصف التالي: $w=5$ km و$s=15$ km و$U=3$ m/s و $H_m=1000$ m. تركيز الملوث CO مع الرياح القادمة هو $5\ \mu g/m^3$، في حين بلغ معدل الانبعاث لوحدة المساحة هو $q=4x10^{-6}\ g/s.m^2$ ما هو تركيز C_{ss} او $C_a(\infty)$ لـ CO فوق المدينة.

الحل:

$$C_a = 5\ \mu g + (4x10^{-6}\ g/\sec m^2)\left(\frac{15000\ m}{3\ m/\sec 1000\ m}\right)$$
$$= 25\ \mu g/m^3$$

5. Plume rise

ترتفع الغمامة الملوثة الخارجة من المدخنة –نتيجة الطفو الناتج عن حرارتها (او كثافتها)– إلى الأعلى في الجو المحيط، وتتأثر كمية زخم الغمامة بفعل سرعة خروجها. وعندما يكون الجو هادئاً فإن الاضطراب الجوي يؤدي دوراً مهماً في صعود الغمامة عمودياً (المخطط الايسر). وعند هبوب الرياح فإنها ستتفاعل مع الانبعاث العمودي للملوثات مسببةً انحنائها (المخطط الايمن).



ولأجل تبسيط الموضوع نفترض أن تشتت الملوثات يبدأ من ارتفاع خيالي فوق فوهة المدخنة. لذا فإنّه سيكون هناك ارتفاع فعال للغمامة، H، يختلف عن الارتفاع الحقيقي للمدخنة (عادة يكون أكبر) الذي هو عبارة عن مجموع ارتفاع المدخنة الحقيقي، h_s، وارتفاع صعود الغمامة بعد انبعاثها، أي أن

$$H = h_s + \Delta h$$

المتغير في المعادلة أعلاه هو Δh.

1. صعود الغمامة تحت الظروف غير المستقرة والمتعادلة

a. صعود الغمامة الناشئ عن الزخم الابتدائي

المصادر التي تطلق الملوثات بسرعة خروج أكبر تصل إلى أربع مرات من سرعة الرياح (Vs/Us>4) مع زيادة طفيفة لدرجة حرارتها عن درجة حرارة المحيط فإن Δh

$$\Delta h = D_s \left(\frac{V_s}{U_s}\right)^{1.4}$$

حيث U_s سرعة الرياح عند فوهة المصدر.

b. صعود الغمامة بسبب الطفو الحراري

يحسب Δh حسب كمية التحرك والطفو والاستقرارية الجوية بالعلاقة أدناه:

$$\Delta h = \frac{114\, S\, {F_b}^{1l3}}{U_s}$$

حيث ان S: عامل الاستقرارية الجوية ويعطى

$$S = 1.58 - 41.4\ \frac{\Delta\theta}{\Delta z}$$

حيث $\theta\Delta/\Delta z$ انحدار درجة الحرارة الجهدية بوحدة (K/m) الذي يحسب من معادلة ().
ان الغمامة الطافية الصاعدة تسحب الهواء المحيط بمعدل يتناسب مع مساحة مقطعها العرضي وسرعتها نسبة الى الهواء المحيط. فيض الطفو الابتدائي F_b بوحدة $m^4.s^{-3}$ يحسب بالعلاقة:

$$F_b = \frac{g\, V_s D_s^2}{4\, T_a}\ (T_p - T_a)$$

حيث ان D_s قطر فوهة المدخنة بوحدة m وV_s سرعة خروج الملوثات عند فوهة المصدر.

2. صعود الغمامة تحت الظروف المستقرة

تحسب Δh عندما تكون الظروف الجوية مستقرة بالعلاقة الآتية:

$$\Delta h = 2.6\ (\frac{F_b}{S\, U_s})^{1/3}$$

إذ ان S يحسب بهذه الحالة من المعادلة (5.11).

مثال2: خَمَّن ارتفاع المدخنة الفعال لمدخنة ارتفاعها 100 m (واقعة في منطقة حضرية)، ذو فوهة 1.8 m. افترض إن الغاز العادم يترك المدخنة بدرجة حرارة 450

K وسرعة خروج 14.5 m/s وكذلك درجة حرارة الجو المحيط 289 K. اذا علمت ان الحالة الطقسية تتضمن جواً صحواً في فصل الصيف بعد وقت الظهر الحار وأشعاعاً قوياً ومعدل انحدار 20 K/km وU_{10}=1.8 m/s والأس α في قانون الرياح الهندسي يساوي 0.07؟

الحـل: استناداً الى جدول باسكويل فإن نوع الاستقرارية هو A وان $dT/dz=-0.02$ K/m وبإستخدام معادلة (4.2) لحساب سرعة الرياح عند فوهة المدخنة نجد ان قيمتها U_{100}=2.1 m/s.

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta z} = \left(\frac{dT}{dz}\right)_{actual} + 9.8 = -20 + 9.8 = -10.2 \text{ K/km}$$
$$= -0.01 \text{ K/m}$$

$$S = 1.58 - 41.4\,\frac{\Delta\theta}{\Delta z} = 1.58 - (41.4)(-0.102) = 2 \text{ K/m}$$

$$F_b = \frac{g\,V_s D_s^2}{4\,T_a}\left(T_p - T_a\right) = \frac{9.8*14.5*1.8^2*(450-289)}{4*289} = 64.1 \text{ m}^4/\text{s}^3$$

$$\Delta h = \frac{114\,S\,{F_b}^{1l3}}{U_{100}} = \frac{114 * 2 * 64.1^{1/3}}{2.1} = 417.7 \text{ m}$$

$$H = h_s + \Delta h = 100 + 418 = 518 \text{ m}$$

6. General equation of Gaussian plume

التشتت هي عملية يتم خلالها تحريك الملوثات خلال الهواء فتنتشر الغمامة فوق أية منطقة واسعة انتشاراً – أفقياً وعمودياً. وأهم المبادئ الاساسية التي استندت عليها نظرية التشتت:

1. أوقات الاطلاق وأخذ العينة طويلة نسبياً مقارنة إذ ما قورنت بوقت الانتقال من المصدر الى المستلم. وهذا يعني أن الاطلاق هو حالة مستقرة وان التشتت يهمل على طول معدل اتجاه الرياح مقارنة بالتغير الافقي.

2. المادة مستقرة كيميائياً ولا تترسب على سطح الارض، أي أن الغازات يجب ان تكون غير تفاعلية وأقطار الجسيمات يجب أن يكون أقل من 20 μm لضمان عدم ترسبها.

3. كل من التغيرات الجانبية والعمودية للتراكيز المادية يمكن ان توصف بوساطة توزيع كاوس.

4. أعظم تركيز للجزيئات الملوثة يقع على طول الخط المركزي للغمامة.

5. تنتشر الجزيئات آنياً من مناطق عالية التركيز الى مناطق واطئة التركيز.

من خلال أفتراض وجود دخان ملوث طافٍ في الغلاف الجوي، خارج من مدخنة ارتفاعها h_s – التي تعدّ كمصدر نقطي. يرّكب نظام محاور كارتيزية على مصدر الانبعاث عند نقطة الأصل (0,0,0) ويكون معدل اتجاه الرياح على طول محور x. التشتت الجانبي والعمودي على طول محوري y وz على الترتيب. في هذه المحاور

1. x هو مسافة الرياح المبتعدة من المصدر (باتجاه الشرق).

2. y هو المسافة الجانبية من معدل اتجاه الرياح (اتجاه مستعرض لمحور x).

3. z هو الأرتفاع نحو الأعلى فوق مستوى سطح الارض.

معادلة تشتت المصدر اللحظي في الأبعاد الثلاثة التي أيضاً تشير إلى تشتت نبضي عندما تتحول المادة مع الرياح المبتعدة كنبضة بوساطة الرياح السائدة. هذا يحدث عندما

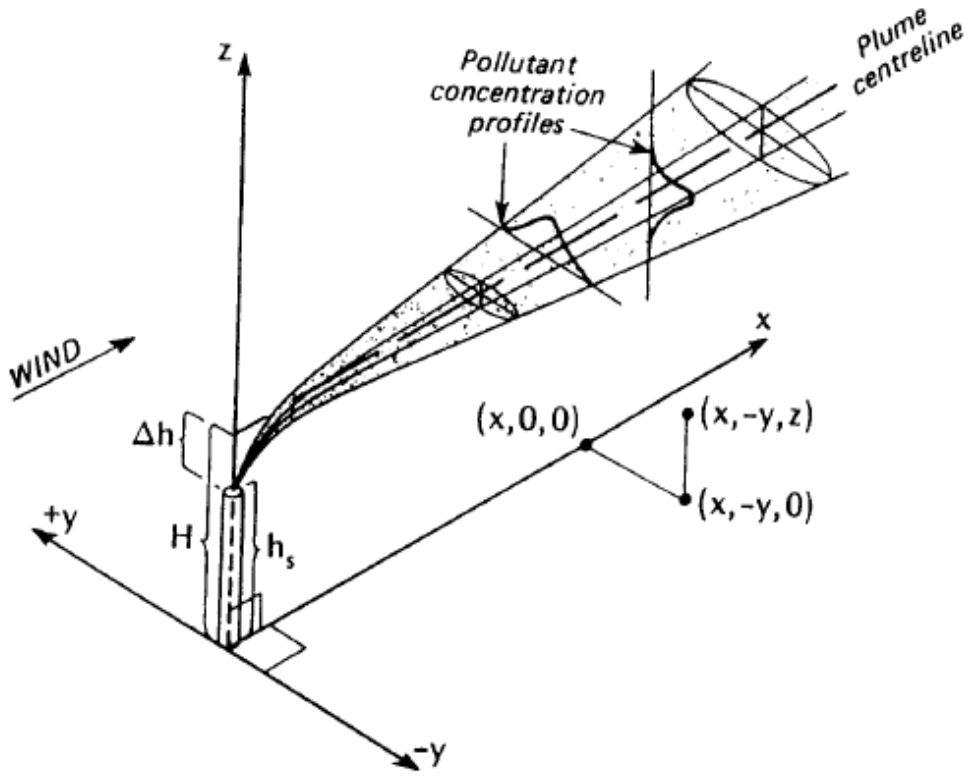
يكون هناك إطلاق Q متفجر أو قصير جداً أو مفاجئ لملوث من مواد جزيئية قادمة من مصدر مرتفع H

$$C_x(x,y,0,t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\,\sigma_y\,\sigma_z} e^{-\frac{(x-\bar{U}\,t)^2}{2\,\sigma_x^2}-\frac{y^2}{2\,\sigma_y^2}-\frac{H^2}{2\,\sigma_z^2}}$$

إذ ان C: تركيز المادة وD_i: الانتشارية المضطربة بأتجاهات المحاور الثالثة (i=x, y, z) و Q: قوة المصدر بوحدة الكتلة/الزمن (مثلاً kg/s).

$$C_x(x,y,0,t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\,\sigma_y\,\sigma_z} e^{-\frac{(x-\bar{U}\,t)^2}{2\,\sigma_x^2}-\frac{y^2}{2\,\sigma_y^2}-\frac{H^2}{2\,\sigma_z^2}}$$

أما إذا كانت الملوثات تنبعث من مصدر مستمر، فان التركيز مع الرياح المبتعدة يحسب من خلال بدء الزمن من 0 الى ∞ وللحصول على تركيز الحالة المستقرة فأنه يحسب بواسطة



$$C_x(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}}$$

اذا كان المصدر نقطياً ذا ارتفاع H فوق سطح الارض فإن التركيز مع الرياح المبتعدة يحسب من

$$C_x(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}$$

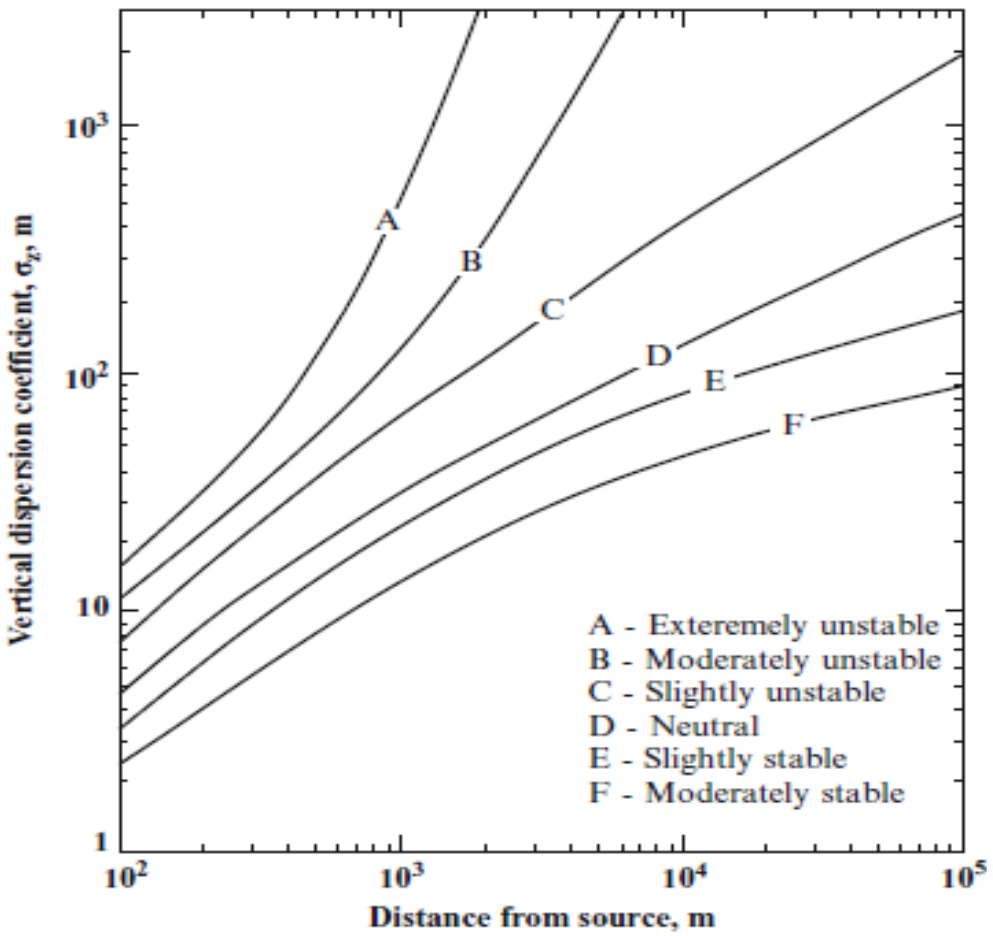
(تسمى معادلة الغمامة الكاوسية). وأخيراً يحسب التركيز عند مستوى سطح الارض (z=y=0):

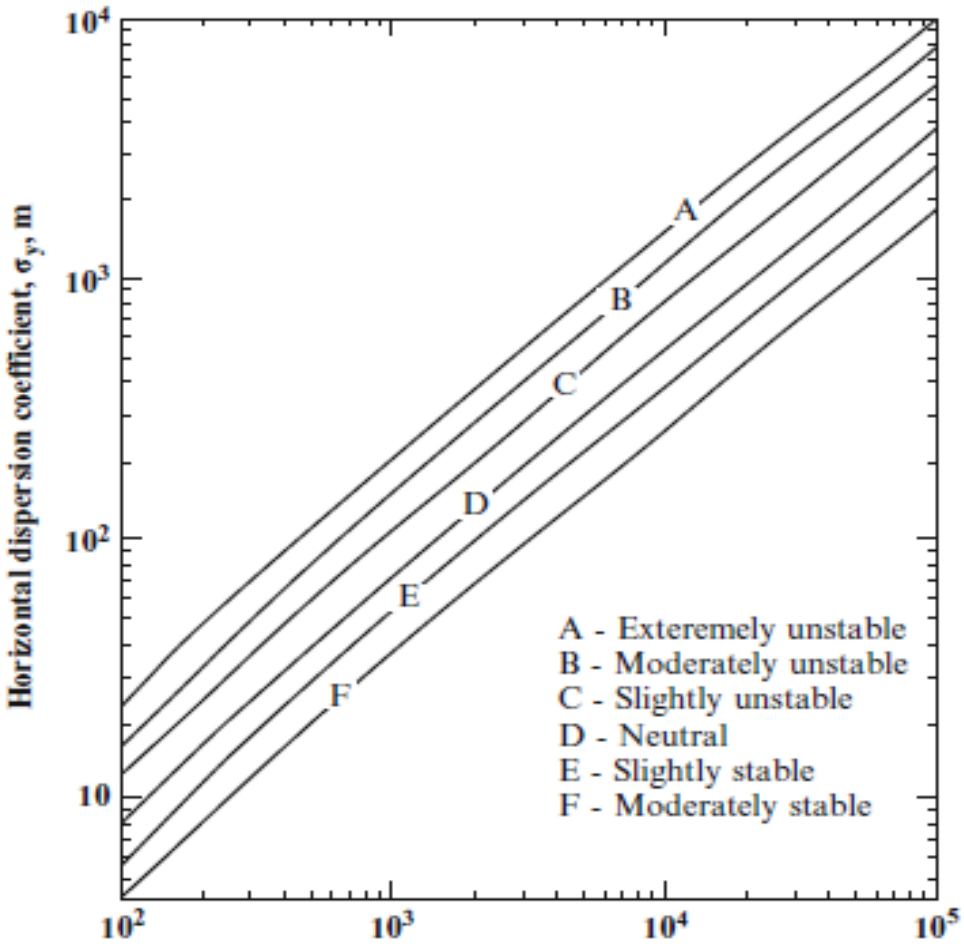
$$C_x(x,0,0) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z}$$

معاملات التشتت في الأبعاد الثلاثة (σ_x وσ_y وσ_z) تمثل الانحرافات المعيارية في انتشار الرياح المبتعدة والرياح المستعرضة والعمودي لتوزيع التركيز على التوالي المعتمدة على طبوغرافية المنطقة المهتم بها والاستقرارية الجوية والمسافة والزمن من بداية التشتت. ويمكن حسابهم من المخططات التالية:

مثال4: بالتواصل مع المثال السابق خمّن تركيز ملوثات SO_2 للمستوى الأرضي عند المسافة 1000 m التاركة مباشرة لمدخنة ارتفاعها 100 m المنصوبة على مرجل حرق الفحم الذي يبعث SO_2 بمعدل 153.7 g/s. افترض ان المدينة حضرية وان حساب تركيز SO_2 يكون مباشرة من المدخنة؟

الحل: وجدنا من المثال السابق ان H=518 m وعليه فإن سرعة الرياح عند هذا الارتفاع تصبح U(H)=2.37 m/s ومن المخططات نجد ان σ_y=120 m وσ_z=500 m


Vertical dispersion coefficient, σ_z, m
10^3
10^2
10
1
A
B
C
D
E
F
A - Exteremely unstable
B - Moderately unstable
C - Slightly unstable
D - Neutral
E - Slightly stable
F - Moderately stable
10^2
10^3
10^4
10^5
Distance from source, m


Horizontal dispersion coefficient, σ_y, m
10^4
10^3
10^2
10
A
B
C
D
E
F
A - Exteremely unstable
B - Moderately unstable
C - Slightly unstable
D - Neutral
E - Slightly stable
F - Moderately stable
10^2
10^3
10^4
10^5

$$C_x(x,0,0) = \frac{Q}{2\pi\, U\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{H^2}{2\,\sigma_z^2}}$$

$$C_x(1000,0,0) = \frac{153.7}{2 * 3.14 * 2.37 * 120 * 500} e^{-\frac{518^2}{2*2500}}$$
$$= 1.9\ mg/m^3$$

6. Indoor air pollution

انبعاثات التلوث الداخلي فتشمل المطابخ والمواقد والسجاد والأفرشه الأخرى، وتنظيف بعض المناطق من الغبار ودخان السكائر وعوادم السيارات داخل الكراج والمولدات الكهربائية ومواد البناء. ومن أهم ملوثاته غازات CO_2 وCO وNO_2 وO_3 وSO_2 والفورمليديهالد والراديون والمركبات العضوية المتطايرة ودخان التبغ والاسبستوس (الحرير الصخري الذي هو عبارة عن ألياف معدنية تستخدم كمواد خامة في عزل مواد البناء ذات الحرارة العالية).

قياس تبادل الهواء مع خارج المبنى يسمى بمعدل التهوية Ventilation rate (Vr) الذي يعتمد على تركيب وعمل البناية والرياح خارج المبنى وفرق درجة الحرارة داخل وخارج المبنى

$$C_{outside} * V_b * Vr - C_{inside} * V_b * Vr + \sum sources - \sum sinks = \frac{dC_{inside}}{dt} * V_b$$

إذ إن $C_{outside}$: تركيز الملوث في الهواء الخارجي، وV_b: حجم المبنى، وC_{inside}: تركيز الملوث في الهواء الداخلي، و$\sum sources$: مجموع جميع المصادر للملوث و$\sum sinks$: مجموع جميع المستوعبات للملوث والطرف الايمن، من المعادلة أعلاه

يمثل معدل تغير خزن الكتلة الملوثة في الهواء الداخلي. وعند أخذ حالة التوازن وشرط الحالة المستقرة تصبح المعادلة السابقة:

$$[C_{outside} - C_{inside}] * V_b * Vr = \sum sinks - \sum sources$$

ولو فُرض أن الملوث غير فعال وله مصدر ثابت، أي لا يوجد له انجراف والغاء التركيز في الهواء الخارجي فان الملوثات ستنبعث من مواد البناء أو الاثاث وتصبح المعادلة أعلاه كالآتي:

$$Vr = \frac{\sum sources}{C_{inside} * V_b}$$

مثال6: فُرشت أرضية بناية لدائرة جديدة بسجادٍ متحرراً منه غاز الفوملديهالد بمعدل تقريبي 10 µg/hr في المبنى. إذ إن العامل الواحد في غرفة مساحتها $6.5\ m^2$ وارتفاع سقفها 2.5 m يشتكي من الشعور بالملوث الكيمياوي. فإذا علمت أنّ تركيز الغاز 5 ppb في الهواء المحيط. فما هو معدل التهوية المطلوب في المبنى لتقليل تركيز الغاز الى 0.1 ppb على فرض ان كثافة الهواء عند درجة حرارة الغرفة 1.2 kg/m^3؟

الحـل: نفترض عدم وجود هناك تركيز مميز في الهواء المحيط ولا يوجد ماصاً له:

$$V_b = A * h = 2.5 * 6.5 = 16.3\ m^3$$

$$Vr = \frac{\sum sources}{C_{inside} * V_b} = \frac{10 * 1/10^9}{16.3 * 0.1/10^9 * 1.2} = 5\ hr^{-1}$$

HW: خَمّن تركيز الحالة المستقرة والزمن المطلوب ليصل 90% من الحالة المستقرة في أنموذج صندوق معين من تراكيز SO_2 في مدينة صناعية ما التي تبعث حوالي 31320 tons/year. افترض ان الخلط يحدث بصورة جيدة فوق الصندوق ذي الابعاد 10 km x 10 km علماً ان هذا الملوث لم يحمل مع الرياح الداخلة للصندوق التي تبلغ سرعتها 2 m/s وعمق الخلط الثابت يبلغ حوالي 500 m؟

الجواب: C_a=0.09 mg/m^3 و t= 3.2 hr

WH: أنتج عطب في أحد أنابيب النفط أنبعاث 100 g/hr من كبريتيد الهيدروجين H_2S. في يوم صيفي مشمس بسرعة رياح 3 m/s ما تركيز H_2S على مسافة 1.5 km النازلة مباشرة من الثقب؟ الجواب 0.088 g/m^3

WH: أوقدت قنينة غاز في مطبخ مغلق حجمه 35 m^3 محررة غاز البروبان. ينتج محرق الفرن 1200 Btu[1]/hr بحرق غاز القنينة (في الغالب ينتج تقريباً 20000 Btu/lb). إذا علمت أن معدل التهوية 1.3 hr^{-1}. خمّن تركيز CO_2 بالحالة المستقرة وتركيز في المطبخ بعد مرور نصف ساعة من تشغيل القنينة؟

[1] 1 Btu = 1.054*10^3 Joule