

## المحاضرة الاولى

د.د/ منى عبد النبي عبد الرسول

### التبخير والمبخرات

#### مقدمة:

يرجع استخدام المبخرات في مكافحة الآفات إلى النصف الثاني من القرن التاسع عشر، فقد اكتشفت كفاءة ثاني كبريتيد الكربون ( $CS_2$ ) كمبخر لمكافحة الحشرات عام ١٨٥٤م، وتأخر استخدامه التطبيقي في مكافحة آفات المخازن إلى عام ١٨٧٩م ، كما بدئ استخدام هيدروجين سيانيد (HCN) كمبخر غازي لمكافحة الحشرات في عام ١٨٨٦م ، والكلوروبكرين ( $CCl_3 NO_2$ ) عام ١٩٠٧م، والإيثيلين أكسيد ( $CH_2$ )<sub>2</sub>O عام ١٩٢٧م ، والميثايل برومايد عام ١٩٣٢م ، إلا أنه قد حدثت طفرة كبيرة في استخدامات المبخرات خلال الخمسين سنة الأخيرة.

تصل المبخرات إلى أنسجة الآفات التي تستخدم لمكافحتها ، أثناء التنفس، منه خلال الثغور التنفسية . ، تأثيرها يكون منصبا على تعطيل الاستفادة من الأكسجين بطريقة أو بأخرى في عملية التنفس. تتم هذه العملية بتعطيل كيمو حيوى Biochemical لمرور الأكسجين من خلية إلى أخرى ، عن طريق التداخل بين الأبخرة السامة مع إنزيمات التنفس، وهي العملية التي تعرف باسم نقص الأكسجين في الأنسجة (أنوكسيا) Anoxia . في هذه العملية ينفذ الهواء طبيعيا إلى الثغور التنفسية للحشرة، بينما يتعطل انتقال الأكسجين من خلية إلى أخرى. قد يتم منع أنسجة الحشرة من استقبال الأكسجين الجوى باستبداله في الحيز الذى تتواجد فيه الحشرة بغاز النيتروجين، أو قد يتم منع دخول الأكسجين الجوى إلى القصبات التنفسية للحشرة بسد ثغورها التنفسية أو حتى قصباتها التنفسية نفسها، وهذا تأثير فيزيائى يمنع مرور أكسجين الهواء إلى داخل الأنسجة. تتضمن العمليتان الأخيرتان منع الأكسجين الجوى من النفاذ إلى داخل أنسجة الحشرة، وتعرفان باسم أسفكسيا أو الاختناق (أسفكسيا Asphyxiation) والذى يؤدي أيضا إلى قتل الحشرة، إلا أن هذا القتل هو قتل بفعل ميكانيكى وليس بفعل كيموحيوى.

التعريف الصحيح للمبخر إذن هو أنه " المادة الكيميائية التي توجد في صورة غازية ( عند درجة حرارة وضغط محددين) بتركيز يكفى لقتل الآفات المستهدفة " . يدل هذا التعريف على أن المبخر يؤدي تأثيره على الحشرة وهو في الحالة الغازية . هذا التعريف يستبعد الأيروسولات التي هي قطيرات صغيرة جدا سائلة ( وأحيانا صلبة) معلقة في الهواء .

تنتشر الأيروسولات في الهواء بتركيزاتها القاتلة ، بعد إطلاقها بالعديد من الوسائل ، كالمضيبات ومولدات الأيروسول ، أو الدخان ، ولافحات الضباب أو الرذاذ وغيرها ، لكنها لا تتصف بخاصية النفاذية داخل المواد المعاملة ، حتى ولو إلى مسافات قصيرة داخلها ، وذلك لأن قطيراتها أو حبيباتها الدقيقة تستقر Deposited على الأسطح الخارجية لهذه المواد ولا تتفذ خلالها.

تتخصر أهمية المبخرات في أنها أصبحت واسعة الانتشار لمكافحة الآفات ، ويرجع ذلك - في المقام الأول - إلى أنها مناسبة ومتوافقة مع تقنيات التبخير السهلة التطبيق ، ففي كثير من الحالات يمكن تبخير المواد المصابة بالآفات ، بدون إحداث أى تغيير فيها أو فى ترتيبها بأى طريقة . فعلى سبيل المثال يمكن تطبيق عمليات التبخير على المواد أثناء تخزينها كما فى الصوامع أو المخازن ، أو أثناء نقلها من أماكن إنتاجها إلى مناطق التوزيع ، كما فى حالات تبخير السفن والطائرات . وقد أدى تطوير إنتاج المسطحات البلاستيكية الخفيفة الوزن - مثل تلك المصنوعة من البولى إيثيلين - إلى التوسع فى استخدام هذه التقنية فى مكافحة الآفات ، باستخدام الخيام أو الأغطية التى يمكن إحكام غلقها ، لتبخير الأكوام الكبيرة من السلع ، وفى تبخير المباني بكاملها ، إذا أمكن تغطيتها بمشتمعات من البولى إيثيلين تغطية كاملة ومحكمة وتبخيرها من الداخل.

لا يتطلب تنفيذ عمليات التبخير أشخاصا على درجة عالية من الخبرة والمهارة الشخصية ، ما لم يتم استخدام ماكينات وآلات معقدة كتلك التى تستخدم فى غرف تبخير مفرغة الهواء ، أو أجهزة تهوية بإعادة تدوير الغازات على نطاق واسع داخل صوامع الحبوب أو الغلال.

## خصائص المبخرات

يتوفر العديد من المواد الكيميائية المتطايرة عند درجة الحرارة العادية ، ولها سمية عالية للآفات تجعلها في عداد المبخرات ، إلا أن معظم هذه الغازات لا تستخدم كمبخرات ولا تحسب في تعدادها ، بسبب تأثيراتها الضارة أو غير المرغوبة على المواد التي يتم تبخيرها (السلع Commodities) ، أو لأنها غير ثابتة من الناحية الكيميائية وأهم الأضرار التي تبعد هذه الغازات عن مجال الاستخدام في مكافحة الحشرات هي:

١- لبعض الغازات تأثير كاو ، وتحدث تآكلا شديدا لحاويات البضائع أو السفن ، أو تتلف الهياكل المعدنية لغرف التبخير أو غير ذلك.

٢- تتفاعل بعض الغازات مع السلع المراد تبخيرها، وتعطى نواتج ضارة أو سامة أو منفردة أو غير مرغوب فيها . فعند تبخير السلع الغذائية ، قد تحدث تفاعلات تؤدي إلى تلوين أو صبغ هذه السلع بطريقة تثير الشك والريبة ، أو تتبقى فيها متبقات سامة ، وبعضها يصبح غير مرغوب فيه بسبب تغيير واضح في اللون أو اكتسابها لروائح كريهة.

٣- لبعض الغازات تأثير فسيولوجي مدمر أو ضار بدرجة كبيرة للنموات النباتية أو للفاكهة أو الخضروات ، كما قد تؤثر تأثيرا سيئا على إنبات التقاوى.

## **تطاير المبخرات Volatilization of Fumigants**

### **١- درجة الغليان Boiling Points**

من المعروف أن درجات الغليان للمركبات الكيميائية تتزايد بتزايد أوزان جزيئاتها ، وتتنطبق هذه العلاقة إلى حد كبير على معظم غازات التبخير ، فيما عدا الميثايل برومايد ، وهناك بعض المبخرات الهامة ، مثل كربون تتراكلوريدا  $CCl_4$  وإيثيلين داى برومايد EDB ، التي تتطاير ببطء شديد تحت الظروف العملية، من وجهة النظر الفيزيائية ، إمكانية تقسيم المبخرات إلى مجموعتين رئيسيتين، تبعا لدرجات الغليان ، فهي إما أن تكون أعلى من درجة حرارة الغرفة (٢٠ - ٢٥ م ) ، أو أقل منها . المبخرات التي تغلي عند درجة أقل من درجة حرارة الغرفة مثل الميثايل برومايد تعرف باسم المبخرات الغازية Gaseous Type Fumigants ، لهذا يتم

الاحتفاظ بها داخل أسطوانات حديدية، أو أوعية مناسبة ، تكون هذه الغازات مضغوطة داخلها .  
وتكون هذه الأوعية مصممة بحيث يتم انطلاق الغاز منه نتيجة لهذا الضغط تحت درجة الحرارة  
السائدة.

وتشمل المجموعة الثانية على المبخرات ذات درجة الغليان الأعلى من درجة حرارة  
الغرفة ، وتعرف باسم المبخرات السائلة Liquid Type ، أو الصلبة Solid – Type تبعاً للحالة  
الفيزيائية للمبخر عند درجة الحرارة العادية ( السائدة ) . يعتبر التطاير البطيء لبعض المبخرات  
السائلة ميزة كبرى في بعض الحالات ، مثل تبخير الحبوب أو تبخير التربة ، وذلك لأن  
الانبعاث الأولى البطيء لأبخرتها يوفر ميزة التوزيع الأفضل للغاز في الحيز الذي يتم تبخيره ،  
نتيجة التوليد المتتابع للبخار في فترة زمنية تسمح له بوسائل ميكانيكية ، فإن التطاير البطيء  
لأبخرة السوائل أو المواد الصلبة يجعلها أكثر أماناً في التداول وفي التحكم في الجرعة أثناء  
عملية التطبيق.

## **انتشار المبخرات ونفاذيتها Diffusion and Penetration**

تستخدم المبخرات في مكافحة الحشرات بسبب تكوينها لأبخرة بتركيز قاتل للحشرات ،  
في الأحياز التي يمكن احتجاز الغاز داخلها لفترة من الزمن ، أو في داخل الأحياز المغلقة ، أو  
في الشقوق والفتحات التي لا يمكن أن تصل إليها المبيدات الحشرية التقليدية ، أو حتى تجد  
صعوبة في الوصول إليها . لهذا يصبح من الضروري تحديد العوامل التي تؤثر على انتشار  
الغاز ونفاذيته ، في كل جزء من أجزاء الحيز المراد تبخيره ، وتحديد سلوكيات هذا الغاز في  
الأحياز الفارغة Empty التي لا تحتوى على سلع ، أو في الأحياز المحتوية على منتجات يراد  
تبخيرها ونفاذية غازات التبخير خلالها.

## **١ - قانون جراهام للانتشار Graham's Law of Diffusion**

ينص قانون جراهام لانتشار الغازات على أن " سرعة انتشار أى غاز تتناسب عكسياً  
مع الجذر التربيعي لكثافته" ، كما ينص كذلك على أن " كثافة أى غاز تتناسب طردياً مع وزنه  
الجزئى" ، لهذا فانتشار غاز ثقيل (ذو وزن جزئى كبير) مثل إيثيلين داى برومايد خلال

الأحياز المفتوحة سيكون أقل من انتشار الغازات الأخف وزنا (ذات الأوزان الجزيئية الصغيرة) مثل إيثيلين أكسايد.

## ٢- الوزن النوعى وتوزيع الغاز داخل الحيز Specific Gravity and Distribution

المبخرات غازات أثقل وزنا من الهواء ، فيما عدا القليل ، مثل غاز حامض الهيدروسيانيك . فإذا ما أدخل غاز ما ، أثقل من الهواء إلى حيز مغلق وغير مفرغ من الهواء ، ولم يتم تحريكه ميكانيكيا ، يعتمد هذا الغاز إلى الاستقرار عند قاع هذا الحيز ، مكونا طبقة سفلى غير مرئية فيه ، ويصبح معدل خلط هذا الغاز مع الهواء بطيئا جدا

لكى تتم عملية التبخير بطريقة جيدة ، يلزم العمل على منع ركود الغازات المستخدمة فيها فى الحيز السفلى، بأن يتم تحريكها باستخدام مراوح تهوية أو مقلبات هوائية ، او تقليب الهواء بواسطة تدويره من خلال أنابيب من وإلى الحيز .

## ٣- الامتصاص Adsorption

يحدث ادمصاص غازات التبخير عندما تتلامس جزئياتها مع سطح صلب ، ويعتبر من أكثر العوامل أهمية فى التأثير على فعالية المبخرات عموما . يعبر الادمصاص عن الاستحواذ الكلى لجزئيات الغاز بواسطة السطح الصلب ، نتيجة لانجذاب هذه الجزئيات وارتباطها بأى سطح صلب. لهذا يلزم أن نأخذ فى الاعتبار الكمية من الغاز التى يتم ادمصاصها على أسطح غرفة التبخير وعلى أسطح محتوياتها ، خلال زمن التبخير ، عند تحديد الجرعة التى يتم تطبيقها من أى مبخر غازى ، لكى يتبقى فى جو الغرفة تركيز من المبخر ، فى صورة غازية ، يكفى لقتل الآفة المستهدفة خلال زمن التبخير .

## (أ) الادمصاص الفيزيائى Physical Sorption

من وجهة النظر التطبيقية للتبخير ، فإن كلا من الادمصاص والامتصاص ذو طبيعة فيزيائية قابلة للعكس Reversible ، إلا أن قوى الارتباط فى حالة الادمصاص أضعف كثيرا منها فى حالة الامتصاص ، وتختلف كذلك المواد بعضها عن بعض فى سعتها الادمصاصية.

يحدث الادمصاص عندما تستقر جزيئات الغاز على الأسطح الصلبة ، وتظل مقيدة الحركة عليها ، ومرتبطة بها . ولأن المواد التي تتصف بالقدرة العالية على الادمصاص تتميز بطبيعة مسامية جدا ، ولها سطح داخلي كبير ، مثل الفحم النباتي ، فإن جزيئات الغاز تنفذ خلال مسام هذه المواد ، ويحدث لها ادمصاص على أسطحها الداخلية ، بينما يحدث الامتصاص عندما تخترق جزيئات الغاز السطح السائل أو السطح الصلب ، وتنفذ إلى داخله ، وترتبط مع جزيئاته . وعلى سبيل المثال ، يمكن للغاز أن يتم امتصاصه في المكون الرطوبي (الوجه المائي Water Phase ) للحبوب التي يتم تبخيرها، أو أن تذوب في المكون الدهني للثمار ( مثل ثمار اللوزيات مثل الجوز واللوز وغيرها) أو الألبان أو غيرها من المنتجات الدهنية . ومن الطبيعي فإن كمية ما يدمص من أى غاز تتوقف على مساحة السطح النشط ، التي يمكن شغلها بجزيئات الغاز ، وهو ما يطلق عليه السعة الادمصاصية.

## (ب) تحرر الغاز المدمص Desorption

بعد الانتهاء من عملية التبخير يتم عادة تهوية الحيز أو غرفة التبخير ، للتخلص من متبقيات الغاز التي قد تكون باقية في الحيز أو على السلع المبخرة وعادة يتحرر ببطء الغاز المدمص على المواد لأن ادمصاصها فيزيائي أى أنه طردى عكسى Reversible ، ولهذا يتم التخلص من الغازات المدمصة على الأسطح خلال أزمنة مناسبة ، تطول أو تقصر بحسب عوامل كثيرة . فتتغير أزمنة التخلص التام من الغازات المدمصة يتغير المبخرات الغازية ، وأيضاً يتغير أنواع ومواصفات السلع المبخرة ، ويتغير الظروف المحيطة . ويمكن إسرار عملية التخلص من متبقات غازات التبخر برفع درجات حرارة الحيز أو غرفة التبخير وما تحويه من السلع التي تم تبخيرها أو باستخدام التهوية بالمرآح والهوآيات ، لإنفاذ الهواء داخل صناديق أو عبوات السلع المبخرة . ويمكن كذلك الاعتماد على التهوية الطبيعية في إسرار عملية التخلص من متبقيات المبخر الغازي ، بإخراج البضائع المبخرة إلى خارج غرف التبخير ، وتعريضها للهواء الجوى العادى ، أو تيارات الهواء الدافئة ، أو تعريضها للتسخين بأشعة الشمس إذا كانت هذه السلع تتحمل هذه المعاملات . وفي العادة يتبقى قدر ضئيل جدا من متبقيات المبخر الغازي مرتبطا بالمواد المبخرة ، بسبب إرتباطه الكيمائى بها . والمهم أن يكون الجزء المتبقى من الغاز أقل من القدر المسموح ببقائه في هذه السلع.

## ٥- التفاعلات الكيميائية لغازات التبخير

إذا ما حدث تفاعل كيميائي بين جزيئات المبخر الغازي والسطح الذي تلامسه ، يتكون مركب جديد يختلف في خصائص الفيزيائية عن المبخر الغازي نفسه . يتميز هذا التفاعل بالتخصص ، وبأنه تفاعل غير عكسي Irreversible ، ويؤدي بدوره إلى تكوين نوع جديد من المتبقيات يختلف في خصائصه عن المركب الأصلي . ومن أمثلة ذلك التفاعل الذي يحدث بين هيدوجين سيانيد، وبين السكريات المختزلة Reducing Sugars في الثمار المجففة ، ليتكون مركب جديد هو سيانوهدرين ، أو مثل ارتفاع نسبة أملاح البرومايد غير العضوية في المواد الغذائية التي يتم تبخيرها بالمثايل برومايد . يتوقف مدى هذه التفاعلات على درجة الحرارة السائدة

### الجرعة والتركيز من غازات التبخير

من المهم جدا توضيح الحدود الفاصلة بين كل من الجرعة والتركيز . فالجرعة Dosage هي الكمية من مواد التبخير المطبقة في الحيز المبخر ، ويتم التعبير عنها عادة في صورة وزن (من المبخر) للحجم من الحيز المعامل (وزن/حجم). فمثلا تستخدم أحيانا مبخرات سائلة لتبخير الحبوب ، وهنا يتم التعبير عن الجرعة في صورة حجم السائل ( في صورة لترات أو جالوت أو حتى مليلترات ) لكل حجم من الحبوب ( أى كمية في صورة لترات أو جالونات أو حتى مليلترات ) لكل حجم من الحبوب ( أى كمية الحبوب معبرا عنها في صورة لترات أو بوشل Bushels أو حتى أمتار مكعبة ) ومن بداية اللحظة التي تنسب فيها جرعة المبخر داخل حيز أو غرفة التبخير ، يحدث فقد متتالي للجزيئات الحرة من غاز التبخير، بعمليات الادمصاص أو الذوبان كما سبق شرحه ، أو بتسربها خلال الشقوق أو الفتحات التي قد تكون في جدران حيز التبخير.

أما التركيز Concentration فهو الكمية الحقيقية من المبخر الغازي التي تكون في أى جزئ من الحيز الذي يتم تبخيره في أى زمن محدد. ويتم تحديد التركيز عادة بأخذ عينات من المناطق أو الأجزاء المراد تقدير تركيز الغاز فيها ، بسبب أنها كمية قد تم تحديدها وتطبيقها مسبقا ، ولكن التركيز هو الذى يتم قياسه فعلا ، بسبب تعرضه للتغير المستمر ، سواء بالنسبة

للموقع داخل الحيز المبخر ، أو بالنسبة للزمن الذى يمر منذ بداية التبخير . ويرجع هذا التغير المستمر فى التركيز للعديد من العوامل المحيطة بعملية التبخير نفسها.

هناك ثلاث طرق للتعبير عن تركيز المبخر الغازى فى جو الحيز الذى يتم تبخيره ، فقد يتم فى صورة وحدات وزن لحجم ، أو أجزاء فى المليون على أساس حجم ، أو كنسبة مئوية على أساس حجم.

## ١ - التعبير بوحدات وزن الحجم.

التعبير عن تركيز المبخر الغازى أو عن جرسته بوحدات وزن لحجم ، هى أسهل طريقة عملية ، بسبب إمكانية تقدير مكونات هذه الوحدات بسهولة (وزن المبخر الغازى وحجم الحيز الذى يتم تبخيره) . فى الدول التى تستخدم النظام المترى ، يعبر عادة عن التركيزات فيها بوحدات جرام لكل متر مكعب (جم / ٣ ٢ ) ، بينما الدول التى تستخدم النظام الإنجليزى للأوزان والمقاييس يعبر عادة عن التراكيز بوحدات الأرتال أو الأوقيات لكل ألف قدم مطعب (رطل / ١٠٠٠ قدم ٣ أو أوقية / ١٠٠٠ قدم ٣) . ولحسن الحظ فإن وحدات القياس (جم / م ٣) لجميع التطبيقات العملية تتطابق بدرجة معقولة من التقريب مع وحدات القياس (أوقية / ١٠٠٠ قدم ٣) ، ولهذا يمكن تحويل التركيزات المنصوح باستخدامها من المبخر الغازى من أحد النظامين إلى الآخر.

مثلا من المعروف أن الأوقية = ٢٨.٣٥ جراما

والقدم المكعب : ٢٨.٣١٦ لترا

ولهذا فإن التعبير:

وهذا يعنى أن التعبير (أوقية / ١٠٠٠ قدم ٣) تساوى (١.٠٠٢ جم / م ٣)

أما المعاملات التجارب المعملية ، فيتم عادة التعبير عن الجرعة أو عن التركيز فيها بوحدات ملليجرام لكل لتر (مجم / لتر) ، وهذه القيمة تعادل رقما جرام / م ٣.

## ٢ - التعبير بوحدات جزء فى المليون أو كنسبة مئوية.



سنقوم هنا بشرح طرق التعبير بوحدات جزء فى المليون على أساس حجمى (ج م م ppm) أو كنسبة مئوية على أساس حجمى (%). معا ، لأن كلا منهما يعبر عن العدد النسبى من جزئيات المبخر الغازى الكائن فى حجم محدد من الحيز المراد تبخيره، كما أن القيم العددية لكل من هذين التعبيرين تحتويان على نفس الأرقام وبنفس الترتيب ، ولكن العلامة العشرية هى التى يتم تحريكها يمينا أو يسارا بين نفس الأرقام ، للدلالة على أى من التعبيرين.

مثلا ٣٤٧٥ جزءا فى المليون على أساس حجمى من أى غاز هى نفسها تساوى ٠.٣٤٧٥% كنسبة مئوية منه على أساس حجمى . وكل ما حدث هنا هو تحريك العلامة العشرية بمقدار أربعة حدود جهة اليسار، والعكس صحيح.

يستخدم التعبير جزء فى المليون (ج م م ppm) من الغاز فى الهواء فى حالات دراسات السمية للتدبيبات وللإنسان وللأسماك ولغيرها من حيوانات التجارب ، وأيضا فى حالات التعقيم الصناعى . أما وحدات النسبة المئوية على أساس حجمى فأكثر استخداماتها فى حالات تحديد التركيزات التى يحدث عندها الاشتعال أو الانفجار للغازات فى الهواء.

### ٣- التحويل بين وحدات التركيز

يمكن - بعمل بعض الحسابات البسيطة - تنفيذ بعض التحويلات المفيدة بين الطرق المختلفة للتعبير عن وحدات التركيز . فيمكن تحويل القيم من وزن / حجم إلى ج م م / حجم والعكس بالعكس . ومثل هذه التحويلات تأخذ فى اعتبارها الأوزان الجزيئية للغازات المستخدمة ، بالإضافة إلى الحقيقة العلمية التى تقول إن " الوزن الجزيئى بالجرام من أى غاز شغل حجما قدره ٢٢.٤١٤ لترا عند معدل الضغط ودرجة الحرارة ( أى عند درجة الصفر المئوى وضغط ٧٦٠ مم . ) " . ولهذا يمكن عمل هذه التحولات على النحو التالى ( مع الأخذ فى الاعتبار أن الحجم يتغير بتغير درجة الحرارة وتغير الضغط ، إذا التزم الدقة المتناهية فى الحسابات):

( أ ) لتحويل الوحدات من ج م / م ٣ أو ملجم / لتر أو أوقية / ١٠٠٠ قدم ٣ إلى

وحدات جزء فى المليون (ج م م ppm) على أساس حجمى نتبع الخطوات التالية:

\* قسمة قيمة الوحدة على الوزن الجزئى للغاز ثم ضرب الناتج فى المقدار ٢٢.٤  
فنحصل على عدد السنتيمترا المكعبة (سم<sup>٣</sup>) من الغاز لكل لتر واحد من الهواء (أى سم<sup>٣</sup> /  
لتر).

\* قسمة الناتج فى الخطوة الأولى على ١٠، نحصل على نفس القيمة معبرا عنها  
بوحداث نسبة مئوية (%) على أساس حجمى.

مثال: للتعبير عن جرعة مقدرها ٦ جم / م ٣ من الهيدوجين سيانيد (وزنه الجزئى ٢٧ )  
(ب) لتحويل الوحدات من جزء فى المليون (ج م م ) ( أو من نسبة مئوية %) من أى  
غاز إلى وحدات جرامات لكل متر مكعب (جم /م<sup>٣</sup>) أو ملليجرامات لكل لتر (مجم / لتر ) أو  
إلى أرتال لكل ١٠٠٠ قدم مكعب (رطل / ١٠٠٠ قدم<sup>٣</sup>)

### نتبع الخطوات التالية:

\* قسمة القيمة العددية للوحدات بالجزء فى المليون على ألف ( أى ج م م ÷ ١٠٠٠ )  
أو ضرب النسبة المئوية على أساس حجمى × ١٠٠٠ ( أى % × ١٠٠٠ )

نحصل على نفس القيمة بوحداث سنتيمترات مكعبة لكل لتر من الحيز ( أى سم<sup>٣</sup> /  
لتر )

والمثال على ذلك فإن ٤٠٠ ج م م ( على أساس حجمى ) من غاز الميثايل برومايد  
الذى وزنه الجزئى ٩٤.٩٥ ( = ٩٥ ) يمكن حسابها كما يلى:

$$٤٠٠ \text{ جزء فى المليون} \div ١٠٠٠ = ٠.٤ \text{ سم}^٣ / \text{لتر}$$

وهى نفسها تساوى ٠.٤% بالحجم × ١٠ = ٠.٤ سم<sup>٣</sup> ، لتر.

ويلاحظ أن هذه الخطوات هى عكس خطوات المثال السابق

\* ضرب الوحدات (سم<sup>٣</sup> / لتر ) × الوزن الجزئى للغاز ثم قسمة الناتج على ٢٢.٤  
حصل على نفس الجرعة معبرا عنها بوحداث جرام لكل متر مكعب ( جم / م<sup>٣</sup> ) ، أو بوحداث  
ملليجرام لكل لتر (مجم/ لتر) ، أو بالأوقيات لكل ١٠٠٠ قدم مكعب ( أوقية / ١٠٠٠ قدم<sup>٣</sup> )

#### ٤ - الجرعة التراكمية Cumulative Dosage

جرت العادة على التوصية بتطبيق عمليات التبخير ، معبرا عنها بوحدات الجرعة ، فى صورة وزن المبخر الغازى ، اللازم لحجم محدد من الحيز الهوائى المطلوب تبخيره (أى فى صورة جرامات لكل متر مكعب ، أو أرطال لكل ١٠٠٠ قدم مكعب ) ، أو فى صورة حجم المبخر السائل اللازم لوزن محدد من السلع المبخرة ( أى فى صورة لترات أو جالونات أو Quintals لكل ١٠٠٠ بوشل ) . وعادة ما يتبع التعبير عن الجرعة بإحدى هذه الوحدات ، النص على زمن التبخير بالساعات وعلى درجة الحرارة أو المدى من درجات التى أثبتت نجاحها تحت ظروف محددة، ولكنها لم تأخذ فى حسابتها أن هناك عوامل أخرى تعمل على تغيير تركيز الغاز الحر المنتشر فى الحيز ، والذي بدوره يقوم بالتأثير على الحشرات المستهدف مكافحتها . ومن أهم العوامل التى ذكرت سابقا ، أحجام السلع التى يتم تبخيرها بالنسبة للحيز الذى توجد فيه أو التسرب الذى قد يحدث للغاز من الحرز أثناء زمن التبخير .

من أهم الأمور فى هذا الصدد هو تحديد كمية الغاز التى تقضى على الآفات المستهدفة خلال فترة زمنية محددة . فعلى سبيل المثال ، من المعروف أنه لقتل ٩٩ % من خنافس الكادل *Tenebroide mauritanicus* عند درجة حرارة ٢٠ م ، يلزم تركيز قدره ٣٣.٢ مجم / لتر لمدة خمس ساعات من الميثيل برومايد . وحاصل ضرب ٣٣.٢ ملجم / لتر  $\times$  ٥ ساعات = ١٦٦ ( مجم / لتر ) ساعة ، أى ١٦٦ مجم . ساعة / لتر . وهذا الحاصل يعرف باسم الجرعة التراكمية أو باسم حاصل (التركيز  $\times$  الزمن ) للحصول على ٩٩ % قتل لهذه الخنافس . وعادة ما يعبر عنها باسم CT أو ct ، ومعناها Time  $\times$  Concentration ، وغالبا ما يعبر عنها بوحدات مجم . ساعة ، لتر .

لتطبيق هذا الأسلوب على عمليات التبخير ، يلزم إجراء بعض التقويمات المعملية لتركيزات الغاز المطلوبة لتوفير الجرعة التراكمية من المبخر الغازى ، وذلك للحصول على نتيجة مقبولة لقتل الحشرات تحت ظروف محددة.