

## فهم الأوزون

بالنسبة لمعظم الناس، فإن الأوزون هو طبقة عالية في الجو الخارجي للأرض تحمينا من أشعة الشمس ما فوق البنفسجية. غير أن هذا الغاز الأزرق لونه، والذي يمكن ملاحظته وجوده كرائحة منعشة بعد حدوث عاصفة رعدية، هو في الواقع أداة قيمة لدى عدد كبير من الأشخاص العاملين. يتألف غاز الأوزون (O3) من ثلاث ذرات أو كسجين ويوجد بشكل طبيعي حيث يتشكل عندما تمر أشعة الشمس عبر الغلاف الجوّي أو عندما تشع عبر الهواء. ويمكن توليده إصطناعياً عن طريق تمرير كهرباء ذات جهد عالي (high voltage) عبر هواء مؤكسد (تفريغ الكورونا)، ما يسبب تفكك الأوكسجين وإعادة جمعه بشكل ثلاثي الذرات.

ولأن الأوكسجين يأخذ شكله الطبيعي تلقائياً، يعتبر الأوزون غازاً غير مستقر وعالي التفاعل. وكما مادة مؤكسدة، فهو أقوى بـ 51 مرة من الكلور (المادة المؤكسدة الأكثر استعمالاً من قبل مصنعي الأغذية)، وهو أسرع بـ 3000 مرة في القضاء على البكتيريا وغير ذلك من الميكروبات. ويعتبر الأوزون فعالاً كمطهر بتركيزات منخفضة نسبياً ولا يترك مواداً ثانوية سامة مثل ما ينتج عن عملية الكلورة (chlorination).

منذ ما يزيد عن المئة عام، يستعمل الأوزون في أوروبا لتنقية مياه الشرب كما يستعمل حالياً في الولايات المتحدة الأمريكية لتنقية مياه الشرب المعبأة ولتطهير أبراج التبريد (cooling towers). كما تستعمل مدينة لوس أنجلوس حالياً الأوزون لتنقية مخزون المياه لديها. يأخذ المنحى التفاعلي للأوزون طريقين كيميائيتين مختلفتين، الأولى مباشرة والثانية غير مباشرة. في الطريقة المباشرة، يتفاعل الأوزون مع الروابط غير المشبعة (unsaturated bonds) ما يؤدي إلى تفككها، خصوصاً ضمن ظروف أسيدية. أما الطريقة غير المباشرة، فتتطلب مواداً محرّضة (initiators) تفكك الأوزون بشكل أسرع.

وبالمقارنة مع الكلور، تقدم مادة الأوزون فوائد مختلفة لمصنعي الأغذية أو أي شخص يود تعقيم المواد والسطوح. وعادة، يستعمل الكلور كالمعقم المختار (sanitizer of choice) في صناعة الأغذية، غير أن الخبراء لديهم قلق من خطر المواد الثانوية التي تنتج بسببه، مثل التريهالوميثاين (trihalomethanes) أو الديوكسينات التي تنتج عندما يتفاعل الكلور مع المادة العضوية الموجودة في الماء. إن هذه المواد معروف عنها أنها مسرطنة وكميتها في مياه الشرب تحددها وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA).

من ناحية ثانية، يعتبر الأوزون بكل بساطة أوكسجين غير مستقر وعالي التفاعل، ويميل تلقائياً نحو إستعادة شكله الطبيعي، مبيناً نصف حياة (half-life) قصيرة فيما يتحول إلى الأوكسجين بشكل سريع. وعندما يتفاعل مع المادة العضوية، لا يشكل أي مواد ثانوية سامة ويمكن للماء الذي يحتويه أن ينتقى ويعاد استعماله. وكونه عالي التفاعل، يعتبر الأوزون فعالاً في السيطرة على أو إزالة البيوفيلم (biofilm) الذي يظهر أحياناً على أجهزة وآلات التصنيع. ويمكن أن يستعمل في خفض الأوكسجين الممتص حيويًا (BOD)، والأوكسجين الممتص كيميائياً (COD)، والتعكر أو الرواسب الأخرى في الماء.

وفيما تتطلب أنظمة الغسل المكلورة نقل وخرن مواد كيميائية ممكن أن تكون سامة وخطيرة، ينفرد الأوزون بالقدرة على إنتاجه في الموقع من أوكسجين غير خطير، ويمكن إنتاجه عند الطلب من دون الحاجة لتخزينه. وعند إيقاف المولد، لا يبقى أي مواد خطيرة في الموقع. وفي حين أن إمكانية أكسدة وإختزال (oxidation reduction potential) الأوزون تتأثر بكمية المواد العضوية أو الكيماويات الموجودة في الماء، إلا إنها لا تتأثر بالتغيرات في الحموضة (pH) كما يحدث مع الكلور.

ويمكن استعمال الأوزون بعدة طرق في مصانع الأغذية. فالماء المحتوي على معدلات منخفضة من الأوزون يمكن رشه على أجهزة التصنيع وعلى الجدران أو الأرضيات لإزالة البكتيريا وغير ذلك من المواد العضوية التي قد تكون موجودة. وكونه يملك نصف حياة قصيرة للغاية، فإن الأوزون لا يتراكم على الأسطح كما تفعل المطهرات إذا لم تتم إزالتها بالشطف الجيد. كما يمكن ضخ الأوزون أو تذويبه في مياه التصنيع مهما كانت لتبريد، شطف أو غسل الأغذية، مثل اللحم، الدواجن، المأكولات البحرية، الفواكه والخضار.

ويمكن لمصنعي منتجات الفواكه والخضار المبردة باستعمال مياه تصل درجة حرارتها إلى 2 مئوية تقريباً أن يضيفوا الأوزون إلى الماء لمنع تلوث المنتجات. فتبريد الفواكه والخضار يساعد في إبطاء عملية تنفس المنتج ويحافظ على نضارته وجودته.

وتبين الدراسات التي أجريت على الفواكه والخضار أن تقليص حرارة الحقل في أسرع وقت ممكن يعتبر عاملاً أساسياً في إطالة مدة صلاحية المنتج. وكفائدة إضافية، يمكن للأوزون أن يزيل الجسيمات، الكيماويات والعضويات من الماء بما يعرف بالتخثير (flocculation) أو إندماج الدقائق المترسبة. وكونه فعالاً في إزالة المواد المعلقة أو الذائبة، يمكن للأوزون أن يساعد في المحافظة على مياه التصنيع من خلال جعلها قابلة للفلتر وإعادة تدوير المياه الجارية.

كما يعتبر الأوزون مطهراً فعالاً للهواء وقد استعمل بنجاح لتعقيم الجو في غرف الخزن، والحاويات وغير ذلك من المرافق. فالملوثات الهوائية تثير القلق في بعض مرافق إنتاج الأغذية أو غرف التنظيف. يتفاعل الأوزون الغازي مع الروائح الكريهة أو الملوثات في الهواء المحيط كما يتفاعل الأوزون المائي مع الملوثات في مياه التصنيع. وتعتمد نسبة فعالية الأوزون في التخلص من الملوثات في الجو أو على الأسطح المكشوفة في الغرفة على نسبة تركيزه التي قد يكون أمناً إستعمالها في المكان.

وفي 23 حزيران (يونيو) 2001، أضافت هيئة الأغذية والدواء الأمريكية (FDA) الأوزون إلى قائمة المواد "المعترف بها عموماً على أنها آمنة" (GRAS - Generally Recognized As Safe) لإستعماله في عمليات الإنتاج الغذائي. وفي حين أن الإهتمام بالأوزون كان موجوداً لدى مصنعي الأغذية لقتل الميكروبات وتعقيم الآلات، إلا أن موافقة الهيئة فتح الباب واسعاً أمامهم لتطبيق هذه التقنية المهمة في مصانعهم. واليوم، بدأت مصانع اللحوم والدواجن والمأكولات البحرية إعتقاد الأوزون كإجراء آمن غذائياً. كما أن موضبي الفواكه والخضار ومنتجي الفواكه والخضار الطازجة ينظرون في كيفية إعتماده أيضاً في عملياتهم الإنتاجية.

ولقد قام عدد من منتجي الفواكه الطازجة المقطعة حول العالم مؤخراً بتركيب أنظمة غسل بالأوزون وتبين النتائج الأولية إلى أن مستوى التلوث البكتيري هو أقل بالمقارنة مع النتائج المستحصل عليها عند الغسل بالكلور. وعند غسل المنتجات، مثل الخس المقطع، بالأوزون تزداد مدة خزنه مقارنة مع تلك التي غسلت بالكلور، كما أن مذاقها كان أفضل بشكل ملحوظ.

وقد علق أحد منتجي أنظمة التنظيف بالأوزون الرئيسيين أن الأوزون قد يتفاعل مع الإنزيمات التي تنبعث من خلايا الخس التالف عندما يتم تقطيعها. ولأن الإنزيمات تكون غير ناشطة، يتم تأخير عملية البهتان، ما يعزز فترة الخزن ويحافظ على لون وطعم المنتج. ولا تتأثر خلايا الخضار والفاكهة عند غسلها بالماء المحتوي على الأوزون.

كما يتبين أن الأوزون يتناسب مع المطهرات الأخرى. وتدرس شركة إنتاج غاز كبيرة، إلى جانب شركات أخرى، إمكانية تطبيق ما يعرف بـ"تقنية العقبات" (hurdle technology) للحد من الملوثات الميكروبيولوجية، مثل البكتيريا، العفن والخمائر. وتستعمل هذه الإستراتيجية عدداً من المطهرات المختلفة، بما في ذلك الأوزون، ضمن بطارية خلال تصنيع المنتجات الغذائية للوقاية من المصادر المحتملة للتلوث الغذائي.

على ضوء التفشيات الأخيرة للأمراض التي سببها غذائي ونتيجة المخاوف الحديثة حول صحة الحيوان والأمن الغذائي في أجزاء عديدة من العالم، بالإضافة إلى التساؤلات حول السلامة النسبية للكلور، يمكن أن يكون الأوزون البديل المطلوب لتعزيز السلامة وجودة الغذاء للإنسان.