**بحث عن**

عنصر الاكسجين O2

**مقدمة**

إن الحمد لله تعالى ، نحمده ونستعينه ونستهديه ، ونؤمن به ونتوكل عليه ، ونعوذ بالله تعالى من شرور أنفسنا ومن سيئات أعمالنا ، من يهد الله فلا مضل له ومن يضلل فلا هادي له  
  
والصلاة والسلام على المبعوث رحمة للعالمين سيدنا محمد وعلى آله وأصحابه وأتباعه أجمعين   
  
وبعــــــــد  
  
يقول الله تعالى " يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُواْ اتَّقُواْ اللّهَ حَقَّ تُقَاتِهِ وَلاَ تَمُوتُنَّ إِلاَّ وَأَنتُم  
  
  
مُّسْلِمُونَ " {آل عمران ، 102}

## التاريخ وأصل التسمية

الأكسجين هو [عنصر كيميائي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%86%D8%B5%D8%B1_%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A" \o "عنصر كيميائي) رمزه O [وعدده الذرّي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D8%AF%D8%AF_%D8%B0%D8%B1%D9%8A) 8، ويقع ضمن [عناصر الدورة الثانية](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%86%D8%A7%D8%B5%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%88%D8%B1%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D8%A7%D9%86%D9%8A%D8%A9" \o "عناصر الدورة الثانية) وعلى رأس المجموعة السادسة عشر في [الجدول الدوري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%AF%D9%88%D9%84_%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%88%D8%B1%D9%8A" \o "الجدول الدوري)، والتي تدعى باسم مجموعة [الكالكوجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86" \o "كالكوجين) وهو [عنصر مجموعة رئيسي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%86%D8%B5%D8%B1_%D9%85%D8%AC%D9%85%D9%88%D8%B9%D8%A9_%D8%B1%D8%A6%D9%8A%D8%B3%D9%8A" \o "عنصر مجموعة رئيسي). يصنّف الأكسجين ضمن [اللافلزّات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D8%A7%D9%81%D9%84%D8%B2" \o "لافلز)، ويكون في الشروط العاديّة من الضغط ودرجة الحرارة على شكل غاز [ثنائي الذرّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D8%A7%D9%84%D8%B0%D8%B1%D8%A9" \o "ثنائي الذرة) O2، ليس له لون أو طعم أو رائحة.

يتميّز الأكسجين الذرّي بنشاطه الكيميائي الكبير، حيث أنّه من [المؤكسدات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A4%D9%83%D8%B3%D8%AF" \o "مؤكسد) القويّة، ويميل إلى الارتباط لتشكيل المركّبات الكيميائيّة، وخاصّة [الأكاسيد](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF" \o "أكسيد). كما يعدّ أحد أهمّ العناصر الموجودة في الأرض، وهو واسع الانتشار، حيث يشكّل غاز الأكسجين 20.94% من تركيب [الغلاف الجوّي للأرض](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D9%84%D8%A7%D9%81_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D9%88%D9%8A" \o "غلاف الأرض الجوي)؛ بالإضافة إلى وجود شكل [متآصل](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%A2%D8%B5%D9%84" \o "تآصل) منه وهو [الأوزون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%88%D8%B2%D9%88%D9%86" \o "الأوزون) (O3). إنّ أكثر العناصر [وفرة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%88%D9%81%D8%B1%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%B9%D9%86%D8%A7%D8%B5%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9" \o "وفرة العناصر الكيميائية) في [القشرة الأرضية](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%82%D8%B4%D8%B1%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6%D9%8A%D8%A9" \o "القشرة الأرضية) هو الأكسجين، حيث يوجد بنسبة 48.9 % وزناً، وهو يأتي في المرتبة الثانية بعد [الحديد](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF" \o "الحديد) من حيث وفرة العناصر في تركيب [الأرض](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6" \o "الأرض) ككل. يوجد الأكسجين الذرّي بوفرة في الكون، حيث يعدّ ثالث عنصر من حيث الوفرة بعد [الهيدروجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86" \o "الهيدروجين) [والهيليوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%88%D9%85). هناك ثلاثة [نظائر](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%B8%D9%8A%D8%B1) مستقرّة للأكسجين 16O و 17O و 18O، أكثرها وفرةً هو الأكسجين-16، حيث تبلغ [وفرته الطبيعيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%88%D9%81%D8%B1%D8%A9_%D8%B7%D8%A8%D9%8A%D8%B9%D9%8A%D8%A9" \o "وفرة طبيعية) 99.8 %.

للأكسجين أهميّة حيويّة كبيرة جداً، حيث لا غنى عنه لاستمرار الحياة على سطح الأرض ، فهو أساس عملية [التنفّس](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%86%D9%81%D8%B3" \o "تنفس) الخلوي عند الإنسان والحيوانات، كما يدخل في عملية [التركيب الضوئي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%B1%D9%83%D9%8A%D8%A8_%D8%A7%D9%84%D8%B6%D9%88%D8%A6%D9%8A" \o "التركيب الضوئي) عند النباتات. بالإضافة إلى ذلك فهو أساس عملية [الاحتراق](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82" \o "الاحتراق)، كما يسهم في عمليات [التآكل](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%A2%D9%83%D9%84" \o "التآكل).

التجارب الأولى:

كانت عملية [الاحتراق](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82" \o "الاحتراق) منذ قرون [العصر الحجري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B5%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AC%D8%B1%D9%8A" \o "العصر الحجري) أحد أكثر الظواهر فائدةً بالنسبة للإنسان عبر تاريخه، وفي نفس الوقت أحد أكثر الظواهر غموضاً في تفسيرها. انبرى لتفسير هذه الظاهرة عددٌ كبيرٌ من الفلاسفة والعلماء منذ [عصور الإغريق](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A5%D8%BA%D8%B1%D9%8A%D9%82" \o "الإغريق) وما بعدهم، مثل [فيلو البيزنطي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%8A%D9%84%D9%88_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D9%8A%D8%B2%D9%86%D8%B7%D9%8A" \o "فيلو البيزنطي)، مروراً [بعلماء الخيمياء والكيمياء](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AE%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1_%D9%88%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1_%D9%81%D9%8A_%D8%A7%D9%84%D8%B9%D9%87%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%A5%D8%B3%D9%84%D8%A7%D9%85%D9%8A" \o "الخيمياء والكيمياء في العهد الإسلامي) المسلمين في [العصور الوسطى](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B5%D9%88%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%88%D8%B3%D8%B7%D9%89" \o "العصور الوسطى)، وقدّموا لذلك العديد من التفسيرات، حيث كانت النار أحد [العناصر التقليديّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%86%D8%B5%D8%B1_%D8%AA%D9%82%D9%84%D9%8A%D8%AF%D9%8A" \o "عنصر تقليدي) الأربعة التي يتكوّن منها الكون حسب المفهوم السائد آنذاك.

في العصور التالية، ومع بداية [عصر النهضة الأوروبية](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D8%B5%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%87%D8%B6%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%88%D8%B1%D9%88%D8%A8%D9%8A%D8%A9" \o "عصر النهضة الأوروبية) قام [ليوناردو دا فينشي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D9%8A%D9%88%D9%86%D8%A7%D8%B1%D8%AF%D9%88_%D8%AF%D8%A7_%D9%81%D9%8A%D9%86%D8%B4%D9%8A) بإعادة تجربة فيلو البيزنطي، والتي قام فيها بتنكيس إناء فوق شمعة مشتعلة مع إحاطة عنق الإناء بالماء، فوجد ارتفاع منسوب الماء بشكل تدريجي مع مرور الوقت. لاحظ دافنشي أنّ قسماً من الهواء يُستهلك أثناء الاشتعال وأثناء التنفس

. في أواخر القرن السابع عشر برهن [روبرت بويل](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D9%88%D8%A8%D8%B1%D8%AA_%D8%A8%D9%88%D9%8A%D9%84" \o "روبرت بويل) أنّ الهواء ضروري من أجل عملية الاحتراق، إلّا أنّ العالم [جون مايو](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D9%88%D9%86_%D9%85%D8%A7%D9%8A%D9%88" \o "جون مايو) (1641–1679) أظهر فيما بعد وبشكل أدقّ أنّ قسماً فقط من الهواء هو الذي يلزم لعمليّة الاحتراق، وأسماه spiritus nitroaereus.

لاحظ مايو أيضاً أن [الأنتيموان](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%86%D8%AA%D9%8A%D9%85%D9%88%D8%A7%D9%86" \o "الأنتيموان) يزداد وزنه عندما يسخّن، واستنتج من ذلك أنّ المادّة التي أسماها nitroaereus هي التي تتّحد مع الفلز. نشر مايو أبحاثه سنة 1668 تحت اسم "De respiration

نظرية الفلوجستون:

ظهر في القرن السابع عشر في أوروبا مفهوم وجود مادّة خفيّة وخفيفة تسهم في عملية الاحتراق، وكانت تسمى [فلوجستون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%84%D9%88%D8%AC%D8%B3%D8%AA%D9%88%D9%86" \o "فلوجستون)، والتي كان يزعم أنّها تتحرر عند احتراق المادّة، حيث أنّ الحرارة كانت تفهم على أنّها مادّة.

على الرغم من أنّ إنتاج الأكسجين قد تمّ في تجارب مخبريّة على يدي كل من [روبرت هوك](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D9%88%D8%A8%D8%B1%D8%AA_%D9%87%D9%88%D9%83" \o "روبرت هوك) [وأولة بورك](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%88%D9%84%D8%A9_%D8%A8%D9%88%D8%B1%D9%83) [وميخائيل لومونوسوف](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%8A%D8%AE%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D9%84_%D9%84%D9%88%D9%85%D9%88%D9%86%D9%88%D8%B3%D9%88%D9%81)، إلّا أنّ هؤلاء العلماء لم يتعرّفوا على الأكسجين كعنصر كيميائي مستقل ويعود سبب ذلك إلى سواد الفكرة الفلسفيّة للاحتراق والمبنيّة على نظرية الفلوجستون، والتي أطلقها الخيميائي [يوهان يواخيم بيشر](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%8A%D9%88%D9%87%D8%A7%D9%86_%D9%8A%D9%88%D8%A7%D8%AE%D9%8A%D9%85_%D8%A8%D9%8A%D8%B4%D8%B1" \o "يوهان يواخيم بيشر) سنة 1667، ثم عدّلت من قبل الكيميائي [غيورغ شتال](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D9%88%D8%B1%D8%AC_%D8%B4%D8%AA%D8%A7%D9%84" \o "جورج شتال). سنة 1731، ممّا ساهم في انتشارها

كانت نظرية الفلوجستون تنصّ على أنّ المادّة القابلة للاشتعال مكوّنة من قسمين، الأوّل من الفلوجستون، والذي ينطلق عند الاحتراق، والثاني كان يدعى كالكس calx، والذي كان يظنّ أنّه المكوّن الحقيقي للمادّة بالتالي فإنّ المواد التي كانت تحترق دون أن تترك كثيراً من الرماد كان يظنّ أنّ معظمها مؤلّف من الفلوجستون، مثل الخشب أو الفحم، في حين أنّ المواد غير القابلة للاشتعال والتي تتآكل مثل الحديد، فإنّها تحوي القليل منه. ما عزّز من انتشار هذه النظرية هو عدم معرفة أنّ الغازات المنطلقة من عمليّة الاحتراق لها كتلة إذ أن معظم المواد التي كانت تحرق كان وزنها ينقص.

بالمقابل، مع ازدياد عدد الباحثين في مجال الاحتراق، وملاحظة ازدياد وزن الفلزات عند تآكلها، على الرغم من أنّها حسب نظرية الفلوجستون يجب أن تنقص، كلّ ذلك أدّى إلى تصدّع هذه النظريّة.

الاكتشاف:

كان [كارل فلهلم شيله](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D8%B1%D9%84_%D9%81%D9%84%D9%87%D9%84%D9%85_%D8%B4%D9%8A%D9%84%D9%87" \o "كارل فلهلم شيله) أوّل من اكتشف عنصر الأكسجين كعنصر كيميائي مستقلّ وذلك سنة 1771، إلّا أنّه لم ينشر أبحاثه إلّا سنة 1777، وفي تلك الأثناء، وفي سنة 1774 قام [جوزيف بريستلي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D9%88%D8%B2%D9%8A%D9%81_%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%B3%D8%AA%D9%84%D9%8A" \o "جوزيف بريستلي) وبشكل منفصل ومستقل باكتشاف العنصر أيضاً أثناء البحث في آليّة عمليّة الاحتراق.

ففي سنة 1771 قام العالم [كارل فلهلم شيله](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D8%B1%D9%84_%D9%81%D9%84%D9%87%D9%84%D9%85_%D8%B4%D9%8A%D9%84%D9%87" \o "كارل فلهلم شيله) أثناء أبحاثه على مفهوم [الاحتراق](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82" \o "الاحتراق) بتسخين مركّبات مثل [أكسيد المنغنيز الرباعي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%BA%D9%86%D9%8A%D8%B2_%D8%A7%D9%84%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%B9%D9%8A" \o "أكسيد المنغنيز الرباعي) أو [فوق منغنات البوتاسيوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D9%82_%D9%85%D9%86%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D9%88%D8%AA%D8%A7%D8%B3%D9%8A%D9%88%D9%85) مع [حمض الكبريتيك](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D9%85%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA%D9%8A%D9%83) المركّز (كان يدعى حينها [زيت الزاج](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B2%D8%A7%D8%AC" \o "الزاج) فحصل على غاز عديم اللون. كان الغاز الناتج يساعد على عمليّة الاحتراق، فأسماه شيله باسم هواء النار، ونسبه إلى مصدره فأسماه أيضاً هواء الزاج، ووجد أيضاً أنّ الهواء العادي يتكوّن من ذلك الهواء المساعد على الاشتعال، ومن هواء غير مساعد على الاشتعال، أسماه الهواء الفاسد. لم يقم شيله بنشر أبحاثه فوراً، بل أرسلها من أجل النشر سنة 1775، ولم تنشر إلّا في سنة 1777، وذلك تحت عنوان أطروحة عن الهواء والنار.

وخلال تلك الأثناء وبشكل منفصل تمكّن العالم [جوزيف بريستلي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D9%88%D8%B2%D9%8A%D9%81_%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%B3%D8%AA%D9%84%D9%8A" \o "جوزيف بريستلي) بعد حوالي سنتين من اكتشاف شيله بعمل تجارب على مركّبات الزئبق، حيث قام بتسخين [أكسيد الزئبق الثنائي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B2%D8%A6%D8%A8%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A" \o "أكسيد الزئبق الثنائي) (HgO) بوضعه في أنبوب وتسليط أشعّة الشمس المركّزة عليه، فحصل على غاز يساعد على الاحتراق أسماه "dephlogisticated air"

وقام بنشر أبحاثه سنة 1774 تحت عنوان «بحث في اكتشافات جديدة في الهواء والتي أدرجها ضمن كتابه تجارب وملاحظات على أنواع مختلفة من الهواء. وكان بريستلي السبّاق في نشر أبحاثه حول الاكتشاف، في حين أنّ شيله لم يقم بنشر أبحاثه إلا سنة 1777 لذلك ينسب البعض اكتشاف الأكسجين إلى بريستلي.

على الرغم من اكتشاف هذا الغاز من قبل هذَين العالِمَين، إلّا أنّ دوره الفعلي في عمليّة الاحتراق لم يكن قد فُهم بعد، إلى أن أتى العالم [أنطوان لافوازييه](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%86%D8%B7%D9%88%D8%A7%D9%86_%D9%84%D8%A7%D9%81%D9%88%D8%A7%D8%B2%D9%8A%D9%8A%D9%87" \o "أنطوان لافوازييه) ووضّح من خلال تجاربه سنة 1774 أنّ الاحتراق لا يطلق الفلوجستون كما كان يعتقد في تلك الآونة، إنّما يتمّ عن طريق الارتباط مع [عنصر كيميائي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%86%D8%B5%D8%B1_%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A" \o "عنصر كيميائي) موجود في الهواء المساعد على الاحتراق. من أجل توضيح ذلك، بيّن لافوازييه أنّ المادّة عندما تحترق لا يقلّ وزنها، بل العكس يزيد، وذلك نتيجة لارتباط ذلك العنصر. كما بيّن أنّ الهواء هو مزيج من غازين، الأوّل يساعد على الاحتراق وعلى التنفّس أسماه هواء الحياة vital air، ومن الهواء غير المساعد على الحياة وأسماه آزوت (الاسم الفرنسي [للنتروجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86" \o "نتروجين) ونشر أبحاثه سنة 1777 تحت عنوان «عن الاحتراق بشكل عام في سنة 1777 أعاد لافوازييه تسمية العنصر المساعد على الاحتراق باسم oxygène، وذلك من الإغريقيّة ὀξύς (أكسيس) بمعنى حمض أو لاذع، ومن γεννάω (جين) بمعنى مولّد، أي أنّ الكلمة تحمل معنى مولّد الحمض، حيث أنّه كان يعتقد خاطئاً أنّ الأكسجين كان أساسياً لتشكيل جميع الأحماض على الإطلاق وذلك انطلاقاً من أنّ أكثر الأحماض اللاعضويّة المعروفة في ذلك الزمن كانت تحوي على عنصر الأكسجين، إلى أن عرف بعد ذلك أنّ هناك أحماض لا تحوي الأكسجين، وأنّ أساس الأحماض هو الهيدروجين، إلا أنّ الاسم بقي على ما هو عليه.

التاريخ اللاحق:

أيقن العلماء في أواخر القرن التاسع عشر أنّه يمكن [إسالة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A5%D8%B3%D8%A7%D9%84%D8%A9) الهواء، وبالتالي فصل مكوّناته وذلك عن طريق الضغط والتبريد. وكان الفيزيائي [راؤول بكتيه](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D8%A7%D8%A4%D9%88%D9%84_%D8%A8%D9%83%D8%AA%D9%8A%D9%87) أوّل من سيّل الأكسجين سنة 1877، وذلك عندما كان يعمل على تبخير [ثنائي أكسيد الكبريت](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA) السائل من أجل إسالة [ثنائي أكسيد الكربون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86)، والذي تبخّر بدوره ليبرّد الأكسجين بشكل كافٍ لتسييله بشكل مؤقّت. أرسل بكتيه برقية إلى [الأكاديميّة الفرنسيّة للعلوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%A7%D8%AF%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%81%D8%B1%D9%86%D8%B3%D9%8A%D8%A9_%D9%84%D9%84%D8%B9%D9%84%D9%88%D9%85) لإعلامهم باكتشاف [الأكسجين السائل](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D8%A7%D8%A6%D9%84).

وبعد ذلك بيومين فقط، أعلن الفيزيائي [لويس بول كايتيه](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D9%88%D9%8A%D8%B3_%D8%A8%D9%88%D9%84_%D9%83%D8%A7%D9%8A%D8%AA%D9%8A%D9%87) طريقته الخاصّة في إسالة الأكسجين الجزيئي.

في كلتا الحالتين، كانت كميّة الأكسجين المسيّل غير كافية للتوثيق، بالإضافة إلى عدم استقرار الحالة الفيزيائيّة للعيّنات، إلى أن تمكّن كل من [كارول أولشيفسكي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D8%B1%D9%88%D9%84_%D8%A3%D9%88%D9%84%D8%B4%D9%8A%D9%81%D8%B3%D9%83%D9%8A) [وزيغمونت فروبليفسكي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B2%D9%8A%D8%BA%D9%85%D9%88%D9%86%D8%AA_%D9%81%D8%B1%D9%88%D8%A8%D9%84%D9%8A%D9%81%D8%B3%D9%83%D9%8A) في سنة 1883 من الحصول على [الأكسجين السائل](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D8%A7%D8%A6%D9%84) بحالة مستقرّة.

كان [كارل فون ليندة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D8%B1%D9%84_%D9%81%D9%88%D9%86_%D9%84%D9%8A%D9%86%D8%AF%D8%A9) أوّل من قام بإسالة الغازات على مستوى صناعي وذلك سنة 1895 من خلال [عملية ليندة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D9%84%D9%8A%D9%86%D8%AF%D8%A9) الصناعيّة.

وفي سنة 1891 تمكّن العالم [جيمس ديوار](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D9%8A%D9%85%D8%B3_%D8%AF%D9%8A%D9%88%D8%A7%D8%B1) من الحصول على كمّيّة كافية من الأكسجين السائل لدراسته لاحقاً، وفي سنة 1901 ظهرت تقنية [لحام](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D8%AD%D8%A7%D9%85) باستخدام مزيج من [الأسيتيلين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B3%D9%8A%D8%AA%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%86) والأكسجين المضغوط.

الوفرة الطبيعيّة:

إنّ الأكسجين هو أكثر العناصر الكيميائيّة وفرةً في الأرض من حيث الكتلة، وهو ثالث أكثر العناصر وفرةً في الكون بعد الهيدروجين والهيليوم.

في الكون:

يأتي الأكسجين في المرتبة الثالثة من حيث وفرة العناصر الكيميائيّة في [الكون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%88%D9%86)، وذلك بعد [الهيدروجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86) [والهيليوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%88%D9%85) تبلغ قيمة الكسر الكتلي للأكسجين في [النظام الشمسي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%B8%D8%A7%D9%85_%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A) حوالي 0.8 %، مما يوافق كسر عددي (ذرّي) بحوالي 500 [جزء في المليون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D8%B2%D8%A1_%D9%81%D9%8A_%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%84%D9%8A%D9%88%D9%86) لا يوجد الأكسجين في الفضاء الخارجي بالشكل الجزيئي O2 إلّا بكمّيّات نادرة وقليلة جداً، حيث يكون في الغالب مرتبطاً في مركّبات مع ذرّات [الغبار الكوني](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%BA%D8%A8%D8%A7%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%88%D9%86%D9%8A).

لم يتكوّن الأكسجين في بداية كناتج لعمليّة [تخليق الانفجار العظيم النووي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AE%D9%84%D9%8A%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%86%D9%81%D8%AC%D8%A7%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B8%D9%8A%D9%85_%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%88%D9%88%D9%8A) للعناصر، إنّما تكوّن كلّ نظيرٍ من [نظائر الأكسجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%B8%D8%A7%D8%A6%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86) بطريقة محدّدة. فمعظم كمّيّات النطير 16O قد تشكّلت بكمّيّات كبيرة في [النجوم العملاقة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%AC%D9%88%D9%85_%D8%A7%D9%84%D8%B9%D9%85%D9%84%D8%A7%D9%82%D8%A9) من خلال عمليّة [احتراق الهيليوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AE%D9%84%D9%8A%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%B9%D9%86%D8%A7%D8%B5%D8%B1) (عملية ألفا الثلاثيّة)، مع وجود كمّيّات تشكّلت في [عملية احتراق النيون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82_%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%86)

يتمّ في عملية ألفا الثلاثيّة تفاعل ثلاث نوى من الهيليوم للحصول على [12C](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86-12)، والذي يتفاعل بدوره مع نواة هيليوم إضافيّة (جسيم ألفا) لينتج 16O. ينتج 17O بشكل أساسي من عمليّة احتراق الهيدروجين وتحوّله إلى هيليوم في تفاعلات دورة CNO النوويّة، ممّا يجعله من النظائر الشائعة الوفرة في مناطق احتراق الهيدروجين في النجوم.

أمّا 18O فيُحصل عليه من اندماج أربع نوى من الهيليوم 4He مع نواة من [14N](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%B8%D8%A7%D8%A6%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86)، ممّا يجعل أكسجين-18 من النظائر شائعة الوفرة في المناطق الغنيّة بالهيليوم أثناء مراحل [تطوّر النجوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%B7%D9%88%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%AC%D9%88%D9%85) العملاقة

يلعب الأكسجين دوراً مهمّاً في توليد الطاقة في [نجوم النسق الأساسي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%B3%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B3%D8%A7%D8%B3%D9%8A) مثل [الشمس](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3)، وهو يعدّ أحد مكوّناتها الثانويّة بنسبة تصل إلى 0.9% من كتلتها في [دورة كربون-نيتروجين-أكسجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AF%D9%88%D8%B1%D8%A9_%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86-%D9%86%D9%8A%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86-%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86) (دورة CNO) المهمّة في تخليق النجوم، يدخل الأكسيجن على هيئة [ناتج وسطي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%A7%D8%AA%D8%AC_%D9%88%D8%B3%D8%B7%D9%8A) في [التفاعلات النوويّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%81%D8%A7%D8%B9%D9%84_%D9%86%D9%88%D9%88%D9%8A). في المراحل الأخيرة من تطوّر النجوم العملاقة تحدث [عملية احتراق الأكسجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86) كخطوة من أجل استهلاك الأكسجين كوقود نووي، وذلك من أجل تشكيل نوى نجوم أكثر ضخامة. تحوي أغلب [الأقزام البيضاء](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D8%B2%D9%85_%D8%A3%D8%A8%D9%8A%D8%B6)، والتي تمثل مآل حوالي 97% من كافّة النجوم، على عنصر الأكسجين في تركيبها بالإضافة إلى الهيليوم والكربون

إنّ كوكب [الأرض](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6) غنيّ بالأكسجين وذلك بالمقارنة مع أقرانه من الكواكب القريبة، حيث تبلغ نسبة الأكسجين في [المريخ](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B1%D9%8A%D8%AE) حوالي 0.1% حجماً، وهي أقلّ بذلك بكثير في كوكب [الزهرة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%87%D8%B1%D8%A9). ينتج الأكسجين في الكوكبين المذكورين بشكل حصري من [الأشعّة فوق البنفسجيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D8%B4%D8%B9%D8%A9_%D9%81%D9%88%D9%82_%D8%A8%D9%86%D9%81%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D8%A9) التي يمكن أن تفكّك الجزيئات الحاوية على الأكسجين مثل [ثنائي أكسيد الكربون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86).

على الأرض:

إنّ الأكسجين هو أكثر العناصر الكيميائيّة انتشاراً على سطح الأرض فبالإضافة إلى وجوده في [غلاف الأرض الجوي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D9%84%D8%A7%D9%81_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D9%88%D9%8A)، فهو يتوفّر في كل من [غلاف الأرض الصخري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D9%84%D8%A7%D9%81_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%AE%D8%B1%D9%8A) [وغلاف الأرض المائي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D9%84%D8%A7%D9%81_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%A7%D8%A6%D9%8A) [وغلاف الأرض الحيوي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D9%84%D8%A7%D9%81_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D9%8A%D9%88%D9%8A). تبلغ قيمة [الكسر الكتلي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B3%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%AA%D9%84%D9%8A) للأكسجين في الغلاف الأرضي ما نسبته 50.5% وذلك إلى عمق يصل إلى 16 كم في الغلاف الصخري

يوجد الأكسجين على شكل جزيء في الغلاف الجوي وعلى شكل غاز منحل في مياه البحر، في حين أنّ الشكل الأكثر انتشاراً هو دخوله في تركيب [المركّبات الكيميائيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B1%D9%83%D8%A8_%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A) داخل وعلى سطح الأرض. تحوي أغلب [المعادن](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B9%D8%A7%D8%AF%D9%86)، وبالتالي [الصخور](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%AE%D9%88%D8%B1)، على الأكسجين في تركيبها. من ضمنها معادن [السيليكات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%83%D8%A7%D8%AA)، مثل [الفلدسبار](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%81%D9%84%D8%AF%D8%B3%D8%A8%D8%A7%D8%B1) [والميكا](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%8A%D9%83%D8%A7) [ومعدن الأوليفين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%88%D9%84%D9%8A%D9%81%D9%8A%D9%86_%28%D9%85%D8%B9%D8%AF%D9%86%29)، [والكربونات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86%D8%A7%D8%AA) (مثل [كربونات الكالسيوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%88%D9%85) في [الحجر الجيري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AC%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D9%8A%D8%B1%D9%8A)) [والأكاسيد](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%A7%D8%B3%D9%8A%D8%AF) (مثل [ثنائي أكسيد السيليكون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%83%D9%88%D9%86) في [الكوارتز](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%88%D8%A7%D8%B1%D8%AA%D8%B2)

يشكّل الأكسجين 20.95% حجماً من [الهواء](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%88%D8%A7%D8%A1) والتي تعادل 23.16% كتلةً في حين أنّ نسبته في [الماء](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%A7%D8%A1) تبلغ 88.8% تجدر الإشارة إلى أنّ نسبة الأكسجين في [ماء البحر](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A7%D8%A1_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%AD%D8%B1) (86%) أقلّ منها في الماء العادي، وذلك بسبب وجود كمّيّات كبيرة من الأملاح المنحلّة التي لا تحوي في تركيبها على الأكسجين، مثل [كلوريد الصوديوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B5%D9%88%D8%AF%D9%8A%D9%88%D9%85).

يعود ارتفاع نسبة الأكسجين في الأرض إلى [دورة الأكسجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AF%D9%88%D8%B1%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86)، وهي [دورة حيويّة جيولوجيّة (كيميائيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AF%D9%88%D8%B1%D8%A9_%D8%AD%D9%8A%D9%88%D9%8A%D8%A9_%D8%AC%D9%8A%D9%88%D9%84%D9%88%D8%AC%D9%8A%D8%A9_%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9) بيوجيوكيميائية)، تصف حركة الأكسجين ضمن الأغلفة الثلاثة الأساسية للأرض، وهي الغلاف الجوي والحيوي والصخري. إنّ العامل الأساسي المحرّك لدورة الأكسجين هو [التركيب الضوئي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%B1%D9%83%D9%8A%D8%A8_%D8%A7%D9%84%D8%B6%D9%88%D8%A6%D9%8A)، والذي يعدّ مسؤولاً عن الشكل الحالي للغلاف الجوّي للأرض. يتحرّر الأكسجين من عملية التركيب الضوئي إلى الغلاف الجوي، بالمقابل، فإن [التنفّس الخلوي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%86%D9%81%D8%B3_%D8%AE%D9%84%D9%88%D9%8A) للكائنات على سطح الأرض، وتحلّلها في باطن الأرض، يزيلها من الغلاف الجوّي. بالتالي فإنّ كمّيّة الأكسجين الموجوة في الأرض تبقى ثابتة وتكون في حالة من التوازن. في التوازن الحالي يحدث الإنتاج والاستهلاك في نفس المعدّل، وهو تقريباً 1/2000 من كمّيّة أكسجين الغلاف الجوي الكلّيّة كلّ سنة. تدعى هذه الحالة التي يوجد فيها الأكسجين من التوازن باسم [الحالة الثابتة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%A7%D9%84%D8%A9_%D8%AB%D8%A7%D8%A8%D8%AA%D8%A9). تشير الأبحاث التي تراقب مستويات الأكسجين في الغلاف الجوّي إلى حدوث تناقص تدريجي، والذي يعود سببه إلى استهلاك الطاقة عبر حرق [الوقود الأحفوري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%88%D9%82%D9%88%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%AD%D9%81%D9%88%D8%B1%D9%8A).

الإنتاج والتحضير:

ينتج الأكسجين صناعياً في الوقت الراهن بشكل كامل تقريباً من إسالة الهواء [وتقطيره بشكل مجزّأ](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%82%D8%B7%D9%8A%D8%B1_%D8%A8%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%AC%D8%B2%D8%A6%D8%A9) ومستمر. تسمّى هذه العملية باسم [عملية ليندة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D9%84%D9%8A%D9%86%D8%AF%D8%A9)، والتي تنسب إلى كارل فون ليندة الذي طوّرها أوّل مرّة سنة 1902، ثمّ طورها [جورج كلود](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D9%88%D8%B1%D8%AC_%D9%83%D9%84%D9%88%D8%AF) لاحقاً لجعل العملية أكثر ربحيّة اقتصادياً كما يمكن الإنتاج من خلال عملية امتزاز الهواء على الزيوليت لفصل الغازات المرافقة والإبقاء على الأكسجين. يبلغ إنتاج الأكسجين من الطرق المعتمدة على الهواء حوالي 100 مليون طن سنوياً.

لإنتاج الأكسجين حسب طريقة كلود، يتمّ ضغط الهواء بواسطة [ضاغط](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B6%D8%A7%D8%BA%D8%B7_%D8%A7%D9%84%D8%BA%D8%A7%D8%B2) إلى حوالي 5-6 بار، ثم يبرّد وينقّى من [ثنائي أكسيد الكربون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86) [وبخار الماء](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%AE%D8%A7%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%A7%D8%A1) والغازات الأخرى بواسطة مرشّح. يبرّد الغاز عن طريق تمريره عبر [مبادل حراري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A8%D8%A7%D8%AF%D9%84_%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D8%B1%D9%8A) تمرّ فيه غازات من العمليّة إلى درجات حرارة قريبة من نقطة غليانها، ثم يسمح لها بالتمدّد في حجرات توربينيّة، بالتالي يمكن إعادة كسب جزء من الطاقة التي صرفت على الضغط هذه الجزئية من عملية كلود، هي التي توفّر في الطاقة بالمقارنة مع عمليّة ليندة الأصلية، ممّا يجعل عمليّة كلود أكثر اقتصاديّة.

تتمّ عمليّة الفصل الفعليّة لمزيج الأكسجين والنتروجين المكوّن للهواء من خلال عملية [تقطير](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%82%D8%B7%D9%8A%D8%B1) تجري في [عمودي تجزئة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%88%D8%AF_%D8%AA%D8%AC%D8%B2%D8%A6%D8%A9) لهما ضغطان مختلفان. تحدث عملية التقطير حسب مبدأ التيار المعاكس، أي أنّ الغاز المتبخّر يكسب طاقة عن طريق [حرارة التبخّر](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D8%B1%D8%A9_%D8%AA%D8%A8%D8%AE%D8%B1) ويندفع إلى أعلى العمود، أمّا السائل المتكثّف فيقطر إلى الأسفل. بما أن للأكسجين [نقطة غليان](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%82%D8%B7%D8%A9_%D8%BA%D9%84%D9%8A%D8%A7%D9%86) أعلى من النتروجين، فإنّه يسهل تكثيفه ويجمع عادة من أسفل العمود على شكل سائل، في حين يجمع النتروجين من أعلاه على شكل غاز يتمّ الفصل بعد ذلك عند ضغط يتراوح بين 5-6 بار في عمود تجزئة يعرف باسم عمود التجزئة متوسّط الضغط حيث يفصل النتروجين، ويؤخذ السائل المتكثّف الغنيّ بالأكسجين إلى عمود منخفض الضغط (حوالي 0.5 بار) حيث يفصل الأكسجين هناك بعد ذلك ينقّى غاز الأكسجين من الآثار النزرة [للغازات النبيلة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D8%A7%D8%B2_%D9%86%D8%A8%D9%8A%D9%84) مثل [الكريبتون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D9%8A%D8%A8%D8%AA%D9%88%D9%86) [والزينون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%8A%D9%86%D9%88%D9%86) وذلك في عمود منفصل

يمكن الحصول على كمّيّات صغيرة من الأكسجين من عمليّات صناعيّة أخرى. فعلى سبيل المثال ينتج الأكسجين عند إنتاج الهيدروجين [بالتحليل الكهربائي للماء](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AD%D9%84%D9%8A%D9%84_%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A6%D9%8A_%D9%84%D9%84%D9%85%D8%A7%D8%A1). كما يحصل عليه من [امتزاز](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%85%D8%AA%D8%B2%D8%A7%D8%B2) الغازات الأخرى الموجودة في الهواء بشكل نوعي، وذلك عن طريق تمرير الهواء خلال [مناخل جزيئيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%86%D8%AE%D9%84_%D8%AC%D8%B2%D9%8A%D8%A6%D9%8A) مثل [الزيوليت](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%8A%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%AA)، حيث يمتز النتروجين وثنائي أكسيد الكربون عليها، ويبقى الأكسجين مع [الآرغون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A2%D8%B1%D8%BA%D9%88%D9%86) في مزيج غازي تتراوح فيه نسبة الأكسجين بين 90% إلى 93% بشكل متوافق يتحرر النتروجين من سرير الزيوليت المشبع بالنتروجين من خلال تخفيض الضغط في حجرة العمليّة، وبتحويل قسم من غاز الأكسجين من سرير الإنتاج وتمريره باتجاه معاكس لمجرى التدفّق. تجرى هذه العمليّة لمرّات عدّة من أجل إعادة تنشيط الزيوليت في سرير المفاعلات، ممّا يسمح بتزويد مستمر من الأكسجين الغازي. تعرف هذه العمليّة باسم [امتزاز تأرجح الضغط](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%85%D8%AA%D8%B2%D8%A7%D8%B2_%D8%AA%D8%A3%D8%B1%D8%AC%D8%AD_%D8%A7%D9%84%D8%B6%D8%BA%D8%B7)، وهي وسيلة غير محتاجة للتبريد

من بين الطرق القديمة لإنتاج الأكسجين هناك طريقة تعتمد على التفاعلات الكيميائية لتوليد الأكسجين في جهاز [مولد الأكسجين الكيميائي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%88%D9%84%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A). تعتمد تلك الطريقة على تسخين [أكسيد الباريوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%A7%D8%B1%D9%8A%D9%88%D9%85) بوجود الهواء إلى 500 °س، حيث ينتج [فوق أكسيد الباريوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D9%82_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%A7%D8%B1%D9%8A%D9%88%D9%85)، والذي يسخن بدوره إلى 700 °س، مما يؤدي إلى تحرر الأكسجين نتيجة [التفكك الحراري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%81%D9%83%D9%83_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D8%B1%D9%8A). كانت هذه الطريقة تمثل الخيار الوحيد للحصول على الأكسجين النقي قبل تطوير طريقة ليندة.

البنية الجزيئيّة:

يكون الأكسجين في الشروط العاديّة على شكل غاز ثنائي الذرة، يسمّى في الأوساط العلميّة باسم ثنائي الأكسجين، وله الصيغة O2. إنّ [التوزيع الإلكتروني](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%88%D8%B2%D9%8A%D8%B9_%D8%A7%D9%84%D8%A5%D9%84%D9%83%D8%AA%D8%B1%D9%88%D9%86%D9%8A) للأكسجين يكون على الشكل He] 2s2 2p4]. ترتبط ذرتا الأكسجين كيميائيّاً في الجزيء O2 [برابطة مضاعفة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D8%A7%D8%A8%D8%B7%D8%A9_%D9%85%D8%B6%D8%A7%D8%B9%D9%81%D8%A9)، تكون ناشئة عن ملء [المدارات الجزيئيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AF%D8%A7%D8%B1_%D8%AC%D8%B2%D9%8A%D8%A6%D9%8A) الناتجة عن تداخل [المدارات الذريّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AF%D8%A7%D8%B1_%D8%B0%D8%B1%D9%8A) لكلّ ذرة أكسجين. يمكن تمثيل البنيّة الجزيئية للأكسجين باستخدام [مخطّط المدارات الجزيئيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AE%D8%B7%D8%B7_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AF%D8%A7%D8%B1%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%B2%D9%8A%D8%A6%D9%8A%D8%A9)، والذي توزّع فيه الإلكترونات مع تزايد الطاقة بشكل تدريجي حسب [مبدأ أوفباو](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A8%D8%AF%D8%A3_%D8%A3%D9%88%D9%81%D8%A8%D8%A7%D9%88) (البناء) وذلك من المدارات منخفضة الطاقة إلى الأعلى حتى الامتلاء. لا تسهم المدارات σ و \*σ للإكترونات 2s في الرابطة بين ذرتي الأكسجين؛ بالمقابل فإنّ تداخل مدارين ذريّين (إلكترونين اثنين) من المدارات 2p يسهم في تشكيل [رابطة سيغما](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D8%A7%D8%A8%D8%B7%D8%A9_%D8%B3%D9%8A%D8%BA%D9%85%D8%A7) σ تتموضع على طول محور الرابطة الجزيئيّة [O-O]. من جهة أخرى يعطي تداخل زوج من المدارات الذرّيّة 2p (أربعة إلكترونات) رابطة من [باي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B1%D8%A7%D8%A8%D8%B7%D8%A9_%D8%A8%D8%A7%D9%8A) π، والتي تكون عمودية على محور الرابطة الجزيئيّة [O-O]. بالتالي يبقى إلكترونين اثنين من المدارات 2p غير مقترنين وموجودين في المدار \*π [المضاد للترابط](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AF%D8%A7%D8%B1_%D8%AC%D8%B2%D9%8A%D8%A6%D9%8A_%D9%85%D8%B6%D8%A7%D8%AF_%D9%84%D9%84%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D8%A8%D8%B7)، واللّذان يسهمان في تشكيل الرابطة المضاعفة في جزيء O2،[[](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86#cite_note-Barrett2002-56) كما يسهمان في مقدرة الأكسجين على تشكيل نوع كيميائي ثنائي [الجذر](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D8%B0%D8%B1_%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A).

تميل المدارات الجزيئيّة متساوية الطاقة والحاوية على إلكترونات غير مقترنة إلى [الانفطار](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%86%D9%81%D8%B7%D8%A7%D8%B1_%28%D9%81%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D8%A7%D8%A1%29)، وهذا ما يحصل بالنسبة للزوج الإلكتروني في المدار \*π لجزيء الأكسجين، بحيث نحصل على حالة تخص [اللف المغزلي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%84%D9%81_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%BA%D8%B2%D9%84%D9%8A) تعرف باسم الحالة الثلاثيّة. لذلك فإن [الحالة القاعيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%A7%D9%84%D8%A9_%D9%82%D8%A7%D8%B9%D9%8A%D8%A9) لجزيء O2 تعرف باسم الأكسجين الثلاثي تكون جزيئات الأكسجين في الحالة الثلاثيّة ذات [مغناطيسية مسايرة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D8%A9_%D9%85%D8%B3%D8%A7%D9%8A%D8%B1%D8%A9)، أي أنّها تتميّز بخاصّة مغناطيسيّة عند وجود [مجال مغناطيسي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AC%D8%A7%D9%84_%D9%85%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%8A%D8%B3%D9%8A) وذلك بسبب [العزم المغناطيسي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B2%D9%85_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%8A%D8%B3%D9%8A) الناتج عن الإلكترونات غير المقترنة في الجزيء.

في [الحالة المثارة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%A7%D9%84%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AB%D8%A7%D8%B1%D8%A9) يوجد الأكسجين في حالة تعرف باسم الأكسجين الأحادي، وتنشأ هذه الحالة من اقتران اللف المغزلي للإلكترونات يكون الأكسجين في هذه الحالة أشدّ نشاطاً كيميائيّاً، وهو يتشكّل في حالات عديدة في الطبيعة، مثل عمليّة [التركيب الضوئي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%B1%D9%83%D9%8A%D8%A8_%D8%A7%D9%84%D8%B6%D9%88%D8%A6%D9%8A) حيث يتشكّل من الماء باستخدام طاقة الشمس، كما تتشكل في طبقة [التروبوسفير](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%A8%D9%88%D8%B3%D9%81%D9%8A%D8%B1) من التفكّك الضوئي [للأوزون](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%88%D8%B2%D9%88%D9%86) من الأشعّة فوق البنفسجيّة، بالإضافة إلى تشكّله في [الجهاز المناعي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D9%87%D8%A7%D8%B2_%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%A7%D8%B9%D9%8A) كمصدر للأكسجين الفعّال تسهم [الكاروتينات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D8%B1%D9%88%D8%AA%D9%8A%D9%86%D8%A7%D8%AA) في النباتات في عمليّة امتصاص الطاقة المرتفعة للأكسجين الأحادي وتحويله إلى الأكسجين الثلاثي منخفض الطاقة ممّا يقلّل من أضرار إلحاق الأذى بالأنسجة

يمكن إجراء عمليّة تحضير الأكسجين الأحادي مخبريّاً بعدّة طرق إمّا بطريقة كيميائيّة ضوئيّة من الأكسجين الثلاثي، أو كيميائيّاً من مركّبّات حاوية على الأكسجين. لا يمكن الحصول على الأكسجين الأحادي بشكل مباشر من تعريض الأكسجين الثلاثي لإشعاع [كهرومغناطيسي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%88%D8%AC%D8%A9_%D9%83%D9%87%D8%B1%D9%88%D9%85%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D8%A9) (مثل [الضوء](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B6%D9%88%D8%A1)) وذلك لأسباب [كموميّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%8A%D9%83%D8%A7%D9%86%D9%8A%D9%83%D8%A7_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%85) تتمثّل في [قواعد الاختيار](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D8%A7%D8%B9%D8%AF%D8%A9_%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D9%8A%D8%A7%D8%B1) بالنسبة لامتصاص الأشعّة الكهرومغناطيسيّة. لتجاوز حالة المنع هذه يمكن التعريض للإشعاع الكهرومغناطيسي [بالفوتونات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D8%AA%D9%88%D9%86) بشكل متزامن مع تصادم جزيئين اثنين. يحدث نتيجة هذا الفعل [امتصاص](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%85%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%B5_%28%D9%83%D9%87%D8%B1%D9%88%D9%85%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%8A%D8%B3%D9%8A%29) في المجال الأحمر من الطيف الكهرومغناطيسي، ولذلك يظهر الأكسجين السائل بلون أزرق. يمكن إجراء العمليّة باستخدام مواد كيميائيّة مساعدة [كالصباغ](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D8%A8%D8%A7%D8%BA) مثل [أزرق الميثيلين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D8%B2%D8%B1%D9%82_%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%8A%D8%AB%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%86) أو [الإيوسين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%8A%D9%88%D8%B2%D9%8A%D9%86_%D9%88%D8%A7%D9%8A)، ممّا يسهّل من الحصول على الأكسجين الأحادي بأسلوب كيميائي ضوئي. يمكن الحصول على الأكسجين الأحادي كيميائيّاً من [فوق الأكاسيد](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D9%82_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF)، فعند معالجة [فوق أكسيد الهيدروجين](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D9%82_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86) (الماء الأكسجيني) مع [تحت كلوريت الصوديوم](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AD%D8%AA_%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1%D9%8A%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D8%B5%D9%88%D8%AF%D9%8A%D9%88%D9%85) يتشكّل حمض فوق أوكسو حمض الكلوريك وهو غير مستقرّ، ويتفكّك بسرعة مع تحرّر الأكسجين الأحادي. يمكن الحصول أيضاً على الأكسجين الأحادي مخبريّاً من تفاعل الكلور في وسط قلوي من الماء الأكسجيني.

التشكّل في الغلاف الجوّي:

لم يكن غاز الأكسجين الحر O2 موجوداً في [الغلاف الجوّي للأرض](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D9%84%D8%A7%D9%81_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D8%AC%D9%88%D9%8A) عند بداية تشكّله، وذلك قبل حوالي 3.5 بليون سنة، أي قبل وجود الحياة البدائية على سطح الأرض مثل [البكتيريا القديمة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A8%D9%83%D8%AA%D9%8A%D8%B1%D9%8A%D8%A7_%D8%A7%D9%84%D9%82%D8%AF%D9%8A%D9%85%D8%A9). ظهر الأكسجين الحرّ بكمّيّات جيّدة أثناء [حقبة الطلائع القديمة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D9%82%D8%A8%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%B7%D9%84%D8%A7%D8%A6%D8%B9_%D8%A7%D9%84%D9%82%D8%AF%D9%8A%D9%85%D8%A9) قبل فترة زمنيّة تتراوح بين 2.7 إلى 2.3 بليون سنة مضت في البليون سنة الأولى كانت كمّيّات الأكسجين المنتجة من المتعضّيات الحيّة البسيطة تتّحد مع مصهور [الحديد](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF) في المحيطات من أجل تشكيل حزم من خامات الحديد في طبقات الأرض. بعد انتهاء تلك المرحلة [وتشبّع](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%B4%D8%A8%D8%B9_%28%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1%29) المحيطات، بدأ الأكسجين الحرّ بالانطلاق من تلك الخزّانات لتصل إلى نسبة 10% من القيمة الحاليّة للأكسجين قبل حوالي 1.7 بليون سنة مضت.

منذ بداية حقبة [العصر الكامبري](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D8%B5%D8%B1_%D9%83%D9%85%D8%A8%D8%B1%D9%8A) منذ 540 مليون سنة مضت، ارتفعت مستويات غاز الأكسجين O2 في الغلاف الجوّي إلى نسب تتراوح بين 15% و 30% حجماً إلى نهاية [العصر الفحمي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B5%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%81%D8%AD%D9%85%D9%8A) قبل حوالي 300 مليون سنة وصلت مستويات O2 في الغلاف الجوّي إلى نسبة أعظميّة تبلغ 35% حجماً والتي لربما ساهمت في تكوين الأحجام الكبيرة من [الحشرات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%B4%D8%B1%D8%A7%D8%AA) [والبرمائيات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%B1%D9%85%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A7%D8%AA) في ذلك الوقت.

ساهمت التباينات في نسبة الأكسجين في الغلاف الجوّي في تحديد شكل المناخ في الحقبات والعصور الموافقة. عند تناقص نسبة الأكسجين في الجوّ تقلّ كثافة الغلاف الجوّي، ممّا يرفع من تبخّر مياه المسطّحات المائيّة، فتزداد بالتالي نسبة [الهطولات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%87%D8%B7%D9%88%D9%84)، ممّا يؤدّي إلى الوصول إلى درجات حرارة أكثر دفئاً حسب المعدّل الحالي من التركيب الضوئي، فإنه يلزم حوالي 2000 سنة لإعادة توليد كافّة كمّيّة غاز الأكسجين O2 في الغلاف الجوّي الحالي.

سمية الاكسجين :

يمكن أن يكون غاز الأكسجين O2 [سامّاً](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%B3%D9%85%D9%85_%D8%A8%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86) عند [ضغوط جزئيّة](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B6%D8%BA%D8%B7_%D8%AC%D8%B2%D8%A6%D9%8A) مرتفعة، الأمر الذي قد يؤدّي إلى حدوث [اختلاجات](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D9%84%D8%A7%D8%AC%D8%A7%D8%AA) ومشاكل صحّيّة أخرى تبدأ ظاهرة التسمّم بالأكسجين بالظهور عند ضغوط جزئيّة أعلى من 50 كيلوباسكال، والتي تعادل نسبة من الأكسجين مقدارها 50% في الشروط العاديّة، أي حوالي 2.5 مرة من القيمة الطبيعيّة عند مستوى سطح البحر. لذلك فإنّ نسبة الأكسجين في تطبيقات غاز التنفس بالنسبة للمستشفيات أو بذلات الفضاء عادةً ما تكون حوالي 30 كيلوباسكال

أمّا بالنسبة للغوص، فإنّ احتماليّة وقوع حالات تسمّم بالأكسجين تكون مرتفعة، إذ أنّ التنفّس المطوّل لمزيج من الهواء يحوي على ضغط جزئي من الأكسجين يتجاوز 60 كيلوباسكال يمكن أن يؤدّي إلى حدوث [تليّف رئوي](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%84%D9%8A%D9%81_%D8%B1%D8%A6%D9%88%D9%8A) إنّ التعرّض إلى ضغوط جزئيّة من الأكسجين تتجاوز 160 كيلوباسكال (حوالي 1.6 [جو](https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D9%88_%28%D9%88%D8%AD%D8%AF%D8%A9%29)) يمكن أن يؤدّي إلى اختلاجات مميتة. يمكن أن تحدث حالة حادّة من التسمّم بالأكسجين عند الغوّاصين في حال تنفّس مزيج من الهواء الطبيعي (نسبة الأكسجين 21% عند أعماق تصل إلى 66 م أو أكثر، ويمكن أن يحدث الأمر نفسه عند تنفّس الأكسجين النقي 100% عند عمق 6 أمتار أو أكثر.

الخاتمة:

وهكذا لكل بداية نهاية ، وخير العمل ما حسن آخره وخير الكلام ما قل ودل وبعد هذا الجهد المتواضع أتمنى أن أكون موفقا في سردي للعناصر السابقة سردا لا ملل فيه ولا تقصير موضحا الآثار الإيجابية والسلبية لهذا الموضوع الشائق الممتع ، وفقني الله وإياكم لما فيه صالحنا جميعا.