المجلة العربية للبحث العلمي
Arabian Journal of Scientific Research

https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.7
المجلة العربية للبحث العلمي، 2021، 1 من 7

Short Communication

مقترح لتطبيق مرصد تلوث الانبعاثات التروبوسفيرية (TEMPO) التابع لوكالة ناسا: حمولة مستضافة لرصد الغلاف الجوي من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO)

رائد محمد سليمان[1*]، كلي تشانس[1]، شونج لو[1]

[1] مركز هارفارد سميثسونيان للفيزياء الفلكية، كامبريدج، ماساتشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية

* rsuleiman@cfa.harvard.edu

Note:
A version of this paper with old data, observations, and a slightly different field of regard (FOR) was published in English in the Journal of Physics: Conf. Series 869, 012085, doi:10.1088/1742-6596/869/012085, 2017. However, the text, the new field of view, and new data were analyzed to be part of this updated paper. This updated paper is significantly different from the previously published paper in 2017.

الملخص

اختارت ناسا مرصد تلوث الانبعاثات التروبوسفيرية، المعروف اختصارًا بـ (TEMPO) «تمبو»، ليكون أول مرصد من برنامج «مشروع أجهزة قياس الأرض» ليتم إطلاقه الى الفضاء في نهاية عام 2022. وسيقيس «تمبو» تلوث الغلاف الجوي لقارة أمريكا الشمالية من الفضاء، باستخدام التحليل الطيفي المرئي والأشعة فوق البنفسجية؛ من مكسيكو سيتي وكوبا إلى منطقة أثاباسكا النفطية الكندية، ومن المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ، كل ساعة وبدقة مكانية عالية (2 كم غرب/شرق بـ 4.5 شمال/جنوب، عند 35.5 درجة شمالًا و100 درجة غربًا).

يوفر مرصد «تمبو» قياسات لطبقة التروبوسفير التي تشمل العناصر الرئيسية لتلوث الهواء التروبوسفيري، والعناصر التي تساهم في دورة الكربون. ونظرًا إلى أن المراصد الموجودة في المجال المنخفض للأرض (LEO) لا يمكنها قياس كل نقطة على الأرض إلا مرة واحدة يوميًا، فلذلك ستكون قياسات «تمبو» من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO)؛ مما سيسمح بقياس كل نقطة في مجال الرؤية في آنٍ واحد. ويتم إجراء قياسات جديدة كل ساعة من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض، وذلك من أجل التقاط التباين العالي الموجودة في الدورة النهارية للانبعاثات التي لا يمكن ملاحظتها من الأقمار الصناعية الحالية التي تدور حول الأرض في مدار منخفض (LEO)، لأنها تقيس كل مكان في مجال الرؤية مرة واحدة في اليوم. وستوفر قياسات «تمبو» من مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض أيضًا مساحات عينة أرضية أصغر بكثير، لحل مصادر التلوث.

هناك ثلاثة مراصد لدراسة الغلاف الجوي للأرض قيد التطوير. في هذه الورقة، نصف مرصد «تمبو»، ونقترح مرصدًا مماثلًا لقياس تلوث الغلاف الجوي للشرق الأوسط كل ساعة بدقة مكانية عالية جدًا. وسيغطي المرصد المقترح للشرق الأوسط الدول العربية وأجزاء من آسيا وأوروبا. إذ مع ازدهار شركات الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في الشرق الأوسط، مثل (Yahsat) و(ArabSat) و(NileSat)، والتي تقوم بتشغيل وتخطيط مستقبل مثل هذه الأقمار الصناعية في المدار الثابت بالنسبة إلى الأرض، هناك الكثير من الفرص لاستضافة حمولة مماثلة لأداة «تمبو» في إحدى مهماتها الفضائية المستقبلية. ستسمح هذه المشاريع المقترحة بجمع قياسات تلوث الغلاف الجوي كل ساعة، والتي تتضمن الأطياف المطلوبة لاسترداد الأوزون وثاني أكسيد النيتروجين والفورمالديهايد وثاني أكسيد الكبريت والجليوكسال وبخار الماء والهباء الجوي ومعلمات السحب والأشعة فوق البنفسجية (UVB).

الكلمات المفتاحية: تلوث الغلاف الجوي في المناطق الحضرية والإقليمية، تركيب طبقة التروبوسفير، انتقال طبقة التروبوسفير، الهباء الجوي.

Received 13 March 2021; accepted 24 August 2021; published 31 October 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Comments Attribution License CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Suleiman RM, Chance K, Liu X. A Geostationary Atmospheric Monitor for the Middle East. Arabian Journal of Scientific Research 2021:2.7.
https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.7

Title

A Geostationary Atmospheric Monitor for the Middle East

R. M. Suleiman[1*], K. Chance[1], X Liu[1]

[1] Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, MA, USA

Abstract

NASA selected TEMPO as the first Earth Venture Instrument in 2012 for launch in October 2022. TEMPO will use UV-Vis spectroscopy to measure atmospheric pollution for greater North America from space. TEMPO's Field of Regard (FOR) will be from Mexico City and Cuba to the Canadian tar sands and the Atlantic to the Pacific. Measurements will be hourly and at high spatial resolution (2 km N/S × 4.5 km E/W at 36.5°*N*, 100°*W*). TEMPO provides tropospheric measurements that include the principal elements of tropospheric air pollution. Low-Earth orbit (LEO) instruments can only measure each point on Earth once per day and lack time resolution. TEMPO will make measurements from a geostationary orbit (GEO), allowing it to measure each point in the field of view for about 16 hours per day. TEMPO provides a tropospheric measurement suite that includes the key elements of tropospheric air pollution and those contributing to the carbon cycle. Measurements are made hourly from GEO to capture the high variability present in the diurnal cycle of unobservable emissions from current LEO satellites that measure once per day. Due to the smaller spatial footprints, GEO measurements will be able to resolve pollution sources. Three geostationary instruments are being developed. NASA's TEMPO will be measuring North America. Two other instruments, Sentinel-4 (Under construction) and the South Korean GEMS (launched on February 18, 2020). They will measure atmospheric pollution for Europe and Southeast Asia. In this article, we explain NASA's TEMPO instrument. We suggest a comparable instrument in GEO to provide hourly atmospheric pollution measurements for the Middle East at very high spatial resolution. The proposed Middle-East TEMPO instrument will cover the Arab world and parts of Asia and Europe. The measurement will include the spectra required to retrieve O_3, NO_2, SO_2, H_2CO, $C_2H_2O_2$, H_2O, aerosols, cloud parameters, and UVB radiation. This paper differs from our previous work; it has an updated Field of Regard (FOR), new tables, and data from the latest ESA's instrument, TROPOMI.

Keywords: Urban and regional atmospheric pollution, tropospheric composition, tropospheric transport, atmospheric aerosols

1- المقدمة

هناك ثلاثة مراصد ثابتة بالنسبة إلى الأرض لدراسة الغلاف الجوي قيد التطوير. سيقيس مرصد «تمبو» (TEMPO) التابع لوكالة ناسا تلوث الغلاف الجوي لأمريكا الشمالية، في حين يقيس «سنتنل-4» (Sentinel-4) الأوروبي و«جيمس» (GEMS) الكوري الجنوبي تلوث الغلاف الجوي لأوروبا وجنوب شرق آسيا، على التوالي. والجدير بالذكر أن «جيمس» يعدّ توأمًا لـ «تمبو». تقترح هذه الورقة مرصدًا مشابهًا لـ «تمبو» ليتم وضعه كحمولة مستضافة على المدار الثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO) لتوفير تغطية شبه مستمرة لغلاف الشرق الأوسط بدقة مكانية عالية جدًا. هناك الكثير من الفرص لاستضافة حمولة مماثلة لأداة «تمبو» من قبل شركات الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في الشرق الأوسط، مثل (Yahsat) و(ArabSat) و(NileSat). وسيسمح مشروع تمبو المقترح بجمع قياسات تلوث الغلاف الجوي كل ساعة والتي تتضمن الأطياف المطلوبة لاسترداد الأوزون وثاني أكسيد النيتروجين والفورمالديهايد وثاني أكسيد الكبريت والجليوكسال وبخار الماء والهباء الجوي ومعلمات السحب والأشعة فوق البنفسجية (UVB). أحد الأسئلة التي يحاول «تمبو» الإجابة عنها: كيف يتسبب تلوث الهواء في التأثير المناخي، وكيف يؤثر تغير المناخ في جودة الهواء على نطاق مجال الرؤية؟

أنواع جودة الهواء، وخاصة الأوزون والهباء الجوي وسلائفها هي قوى إشعاعية مناخية قصيرة العمر. ووفقًا للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، فإنها قد تؤثر على نحو أكبر في تغير المناخ في العشرين عامًا القادمة من زيادة ثاني أكسيد الكربون. وتشمل تأثيرات المناخ في جودة الهواء زيادة إنتاج الأوزون التروبوسفيري والجسيمات، بما في ذلك الكربون الأسود والغبار والهباء الجوي العضوي الثانوي. ويمكن أن تحدث زيادة الأوزون بسبب تأثيرات درجة الحرارة في كيمياء الأوزون وزيادة انبعاثات السلائف. وتأتي الجسيمات المتزايدة من المزيد من حرائق الغابات والعواصف الترابية وزيادة انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة من الإجهاد الحراري على الغطاء النباتي.

ستساهم القياسات التي سيوفرها «تمبو» في دعم الدراسة الوبائية لجودة الهواء والتأثيرات الصحية للتعرض للأشعة فوق البنفسجية. وستوفر الملاحظات عالية الكثافة إحصاءات لحل الآثار الصحية المتعلقة بتلوث الهواء، على سبيل المثال زيادة قصور القلب والأعراض القلبية الرئوية الناتجة من زيادة التعرض للدخان.

وستشمل قياسات «تمبو» لطبقة التروبوسفير العناصر الرئيسية لتلوث الهواء التروبوسفيري. ونظرًا إلى أن المراصد في المدار الأرضي المنخفض (LEO) يمكنها قياس كل نقطة على الأرض مرة واحدة يوميًا فحسب، وتفتقر إلى دقة الوقت،[3] فإن قياسات «تمبو» ستكون من مدار جغرافي ثابت (GEO)، من أجل التقاط التباين العالي في الدورة النهارية للانبعاثات. وستوفر قياسات (GEO) أيضًا مساحات مكانية أصغر بكثير من تلك التي يوفرها (LEO)، وذلك لحل مصادر التلوث على نطاقات مكانية صغيرة. ستتم استضافة «تمبو» على مركبة فضائية تجارية في مدار (GEO) لتوفير مهمة قليلة التكلفة. وسيكون «تمبو» جزءًا من الكوكبة العالمية الثابتة بالنسبة إلى الأرض (GEO) لرصد التلوث جنبًا إلى جنب مع الأوروبي «سنتنل-4» والكوري الجنوبي «جيمس». وقد تم إطلاق الأخير في صيف 2020، في حين سيتم إطلاق «سنتنل-4» خلال عام 2022. وستُجري هذه المراصد الثلاثة أول قياسات للغازات النزرة في طبقة التروبوسفير من المدار الأرضي التزامني (GEO). وقد تم بناء قياسات «تمبو» على تراث ستة[13-3] مراصد طيفية في المدار الأرضي المنخفض (LEO).[14,4] وتم تطوير خوارزميات «تمبو» لاسترجاع الطيف بواسطة أعضاء فريق «تمبو» العلمي استنادًا إلى الخوارزميات التشغيلية التي تعمل حاليًا في بيئات التشغيل بالمراصد الطيفية في المدار الأرضي المنخفض.[16,15]

نقترح في هذه الورقة أن يتم بناء مرصد مماثل لتوفير قياسات تلوث الغلاف الجوي كل ساعة للشرق الأوسط بدقة مكانية عالية جدًا. والمرصد المقترح للشرق الأوسط سيغطي الدول العربية وأجزاء من آسيا وأوروبا. وستشمل القياسات الأطياف المطلوبة لاسترداد الأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت، والفورمالديهايد، والجليوكسال، وبخار الماء، والهباء الجوي، ومعلمات السحب، والأشعة فوق البنفسجية (UBV). فعلى سبيل المثال، ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، وهو غير صحي للتنفس، هو عضو في عائلة أكاسيد النيتروجين ($NOx = NO + NO_2$) وهو مكون ضروري لتكوين مستويات

غير صحية من الأوزون السطحي (O_3)، وهو ملوث مهم آخر. ويتم إنشاؤه بشكل أساسي أثناء احتراق الوقود الأحفوري، لذا فإن محطات الطاقة الحرارية والسيارات هي المصادر الرئيسية لإنتاجه. ومن المعروف أن الشرق الأوسط يحتوي على نسب عالية من تلوث ثاني أكسيد النيتروجين.[17]

في المحور الثاني من الورقة نقدم تلخيصًا لمشروع «تمبو» والمنتجات التي يمكن قياسها، ونبين أهمية الرصد من مدار ثابت (GEO) حول الأرض. في المحور الثالث نعرض تطبيق مشروع «تمبو» للشرق الأوسط ونبين فوائد المشروع للمنطقة وكجزء من الكوكبة العالمية الثابتة بالنسبة إلى الأرض (GEO) لرصد التلوث. ونعرض في هذا البحث مجالًا جديدًا للرؤية وبيانات جديدة من مرصد (TROPOMI) لم تُعرض في بحثنا السابق.[18]

2- الانبعاثات التروبوسفيرية: رصد التلوث (تمبو)

في هذا المحور، نصف مرصد «تمبو» التابع لوكالة ناسا والذي سيكون حمولة مستضافة على ساتلايت للاتصالات فوق الولايات المتحدة الأمريكية (100 درجة غربًا).

2-1 وصف مرصد «تمبو» التابع لناسا ومنتجات البيانات التي سيتم رصدها

سيقيس «تمبو» تلوث الغلاف الجوي لأمريكا الشمالية من الفضاء باستخدام التحليل الطيفي والأشعة فوق البنفسجية. وستشمل بيانات «تمبو» قياس الأطياف المطلوبة للحصول على الأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت، والفورمالديهايد، والجليوكسال، وبخار الماء، والهباء الجوي، ومعلمات السحب، والأشعة فوق البنفسجية (UBV). وسيوفر «تمبو» منتجات جودة الهواء في الوقت الفعلي تقريبًا والتي سيتم إتاحتها على نطاق واسع للجمهور عن طريق تطبيقات على الأجهزة المحمولة.

تعمل البصمة المكانية الصغيرة للعنصر المقيس على حل مصادر التلوث على نطاق شبه حضري. وتعمل هذه الاستبانة الزمنية والمكانية معًا على تحسين قوائم جرد الانبعاثات، ومراقبة تعرض السكان للانبعاثات، وتمكين استراتيجيات فعالة للتحكم في الانبعاثات.

يبين الجدول (1) معامل «تمبو» الرئيسية لقمر صناعي (GEO) ثابت بالنسبة إلى الأرض عند 100 درجة غربًا. نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR or S/N) هي متوسط القيمة على نوافذ الاسترجاع المحددة لطيف الإشعاع الاسمي. (IFOV) هو مجال الرؤية اللحظي عند 36.5 درجة شمالًا، 100 درجة غربًا.

الجدول 1. معامل (TEMPO) الرئيسية.

معلمات	القيمة
الكتلة	148 كغم
الحجم	1.4x1.1x1.2 متر
متوسط القوة التشغيلية	163 واط
النطاق الطيفي	290 – 490 نانومترًا و 540 – 740 نانومترًا
الدقة الطيفية وأخذ العينات	0.57 نانومتر و 0.2 نانومتر
عدم اليقين في معايرة «البيدو» (Albedo)	2.0% غير معتمد على (λ) و0.8 % معتمد على (λ)

سيقوم «تمبو» بقياس الأوزون، ومجموع الأوزون، وثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت (3 مرات باليوم)، والفورمالديهايد (3 مرات باليوم)، والجليوكسال (3 مرات باليوم)، وبخار الماء، والهباء الجوي، ومعلمات السحب (ينظر الجدول 2).

الجدول 2. منتجات «تمبو» الأساسية.[18]

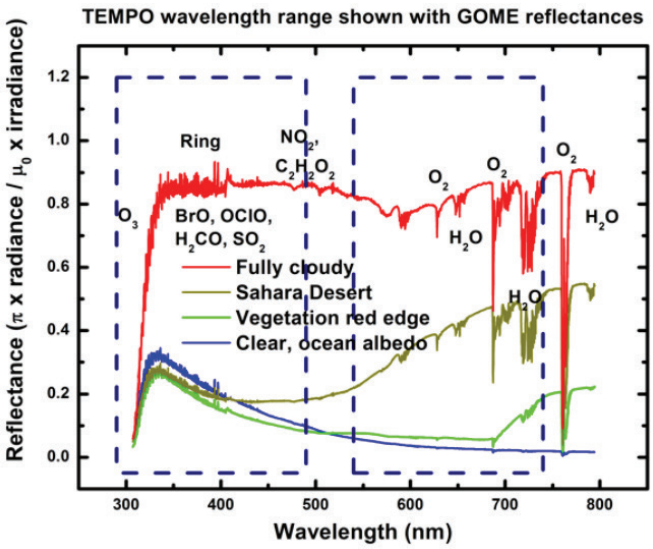
المنتجات		القيمة النموذجية[1]	الدقة المطلوبة[1]	الدقة المتوقعة[2]	
				أسوأ[1]	عادي[1]
الأوزون	0-2 كم (ppbv)	40	10	9.15	9.00
	التروبوسفير الحر (ppbv)	50	10	5.03	4.95
	عمود الأوزون الستراتوسفيري	$8x10^3$	5%	0.81%	0.76%
مجموع الأوزون		$8x10^3$	5%	0.81%	0.76%
ثاني أكسيد النيتروجين		6	1.00	0.65	0.45
الفورمالديهايد (3 مرات باليوم)		10	10.0	2.30	1.95
ثاني أكسيد الكبريت (3 مرات باليوم)		10	10	8.54	5.70
الجليوكسال (3 مرات باليوم)		0.2	0.4	0.23	0.17
العمق البصري للهباء الجوي		0.1 – 1	0.05	0.041	0.034
العمق البصري لامتصاص الهباء الجوي		0.05 – 0	0.03	0.025	0.020
مؤشر الهباء الجوي		-1 +5	0.2	0.16	0.13
جزء السحابة		0 – 1	0.05	0.015	0.011
الضغط العلوي للسحابة (هيكتوباسكال)		200 – 900	100	85.0	60.0

الدقة المكانية: 8 × 4.5 كم^2 في مركز مجال الرؤية. دقة الوقت: كل ساعة ما لم يُذكر.

[1] الوحدات عبارة عن 10^{15} جزيئات سم$^{-2}$ للغازات، وعديمة الوحدة للهباء الجوي والسحب ما لم يتم تحديد ذلك.

[2] الدقة المتوقعة تعتمد على حالة الرصد. النتائج للحالات الاسمية.

«تمبو» هو مطياف محزوز مشتت يقيس الضوء المرتد للشمس في النطاق الطيفي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية، وذلك لقياس أثر الغازات والهباء الجوي والسحب. يعتمد مرصد «تمبو» على تراث التجميع الفرعي لعناصر مراصد (LEO) مع تعديل عمليات تشغيل لتكون مناسبة لمدار ثابت بالنسبة إلى الأرض (GEO). وتقوم مرآة المسح بخطوات متتالية بتحريك فتحة مقياس الطيف في مجال الرؤية من الشرق إلى الغرب. يصور تلسكوب ثلاثي المرآة المشهد من خلال فتحة مقياس طيف من نوع هوفنر. ويتم تصوير الأطياف على صفيفين (2K x 1K) من المستوى البؤري لجهازي اقتران «سي سي دي». ويقيس أحد الصفيفين (2K) بكسل أرضي من 290-490 نانومترًا، والآخر من 540-740 نانومترًا[2,1] (ينظر الشكل 1). ويوضح الشكل (1) مدى أطياف إشعاع الأرض المتوقعة التي سيتم قياسها بواسطة «تمبو»، وهي مشابهة لما يمكن قياسها من أي كوكب يشبه الأرض. وقد تم اشتقاق الأطياف[2,1] من قياسات مرصد «جوم-1» (GOME-1) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية (إيسا)[14,4] ويغطي مشاهد متنوعة مقيسة فوق سطح الأرض.



الشكل 1. أطياف الانعكاسات من الأرض المستمدة من مرصد (GOME-1) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمجموعة من الظروف التي يمكن أن يرصدها «تمبو».[18]

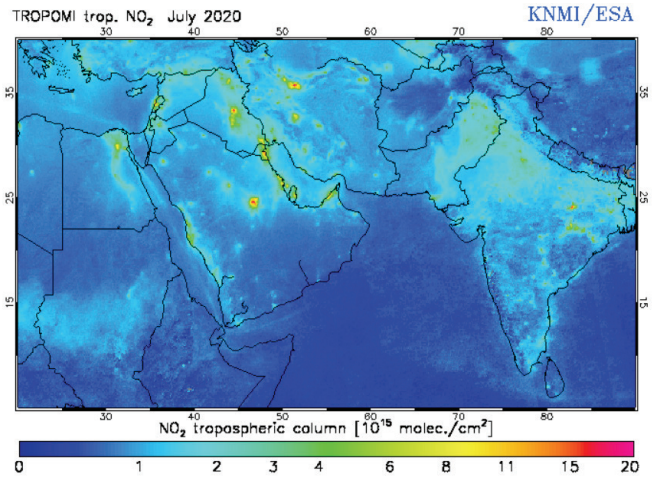
إن الاستبانة المكانية والزمانية المحسّنة لقياسات «تمبو» مناسبة بشكل مثالي لتقييد أنظمة التنبؤ بجودة الهواء الإقليمية (AQ) التي تستخدم أنظمة استيعاب البيانات الكيميائية العالمية التي تم تطويرها لاستخدام بيانات الغازات المقيسة من المدار الأرضي المنخفض.[18] وستستفيد أنظمة التنبؤ هذه بشكل كبير من عمليات المراقبة المتعددة التي يقوم بها «تمبو» لمنطقة معينة كل يوم بدقة أفقية تتناسب مع تنبؤات (AQ) الإقليمية. وإضافة إلى ذلك، وبما أن «تمبو» يقيس طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية، فبهذا سيتم الحصول على الأوزون التروبوسفيري[19] وتحسين تحليل واستيعاب تركيزات الأوزون السطحية (القريبة من سطح الأرض)، وتقليل الأخطاء بنسبة 50٪.[20] كما تسمح الاستبانة المكانية والزمانية العالية بتقييم أكثر تفصيلًا لقوائم جرد الانبعاثات، مما هو ممكن من خلال المراصد الموجودة في المدار الأرضي المنخفض.[21]

3- الانبعاثات التروبوسفيرية في الشرق الأوسط: رصد التلوث (تمبو الشرق أوسطي)

في هذا المحور، نصف مرصد «تمبو» التابع لوكالة ناسا، ونسلط الضوء على كيفية تطبيق وبناء مرصد ثابت مماثل فوق منطقة الشرق الأوسط.

3-1 تطبيق تمبو على الشرق الأوسط

يمكن تطبيق مفهوم مرصد «تمبو» وتصميمه على منطقة الشرق الأوسط من دون أي تغييرات كبيرة أو ملموسة في البصريات أو التصميم العام للتلسكوب. وسوف يمتد مجال الرؤية لمرصد تمبو الشرق الأوسط من (7.2°N) الى (41.0°N) ومن (8.4°W) الى (88.1°E)، ومركز مجال الرؤية مكة المكرمة (21.42°N, 39.83E°).



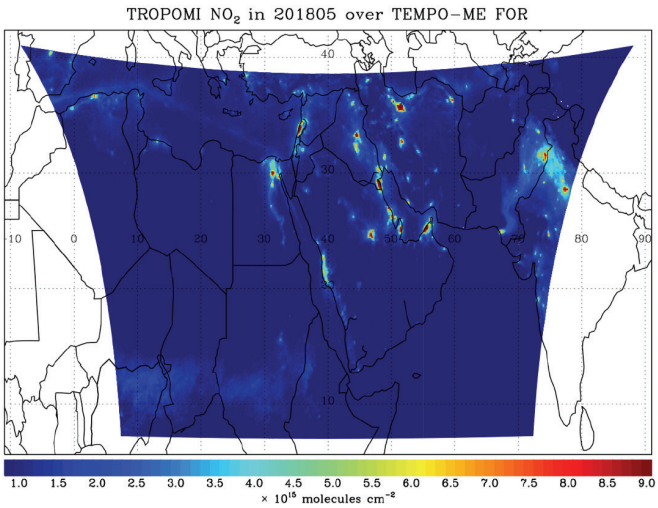
الشكل 2. تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) من مرصد (TROPOMI) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمنطقة الشرق الأوسط؛ ويلاحظ أماكن التلوث في منطقة الخليج العربي.

تبلغ الدقة المكانية لمرصد تمبو الشرق الأوسط (4.68 N/S x 1.67 E/W) (بـ كم^2) دقة البكسل الأصلية 7.81 كم^2. وستكون هذه الدقة المكانية أفضل من دقة «تمبو» التابع لوكالة ناسا لنفس مجال الرؤية اللحظية، لأنها ستكون أقرب إلى خط الاستواء.

الجدول 3. معطيات الدقة والمساحة المكانية لمرصد «تمبو» الشرق أوسطي

الموقع	N/S (km)	E/W (km)	مساحة العينة الأرضية (km^2)
مركز مجال الرؤية (مكة المكرمة)	4.68	1.67	7.81
الشارقة	4.99	1.78	8.89
الدوحة	4.99	1.76	8.78
الرياض	4.75	1.74	8.26
دبي	4.99	1.77	8.83
مسقط	5.12	1.75	8.98
طهران	4.93	2.09	10.31
القاهرة	4.81	1.88	9.06
القدس	4.76	1.93	9.17
بغداد	4.77	1.98	9.44
أنقرة	5.26	1.8	9.47
إسطنبول	5.26	1.8	9.47
دلهي	6.83	2.10	14.32

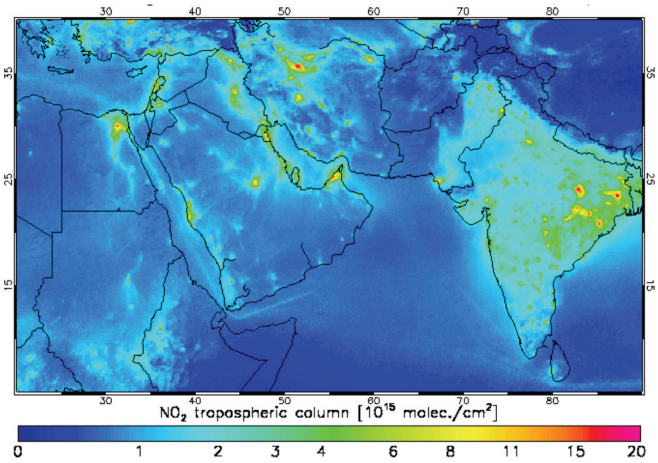
كما هو مبين في الشكل (2)، سيغطي مجال رؤية مرصد تمبو الشرق الأوسط من جيبوتي (جنوبًا) إلى البحر الأسود (شمالًا) ومن غرب الهند (شرقًا) إلى كرواتيا (غربًا). وسيتداخل مجال الرؤية هذا مع مرصد «سينتنل-4» التابع لوكالة الفضاء الأوروبية (ESA) وأجهزة «جيمس» (GEMS) الكورية الجنوبية. وسيتم مسح مجال الرؤية الموضح في الشكل (2) كل ساعة، حيث يكون كل 1.74 كم × 4.52 كم بكسل عبارة عن طيف عنصر (2K) من 290-740 نانومترًا. وسيقوم مرصد تمبو الشرق الأوسط بمسح 1250 خطوة من الشرق إلى الغرب، حيث تكون كل خطوة 110 (µrad). ومن الشمال إلى الجنوب سيقيس 2000 بكسل، كل خطوة 40.6 µrad. سينتج هذا 2.5×10^6 طيف لكل ساعة من الرصد. تم عرض مساحة العينة الأرضية (GSA) لمواقع مختلفة داخل مجال الرؤية في الجدول (3). سيتم قياس منتجات البيانات كل ساعة بالدقة المكانية الموضحة في الجدول (2).



الشكل 3. تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) من مرصد (TROPOMI) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمجال الرؤية لـ «تمبو» الشرق أوسط.

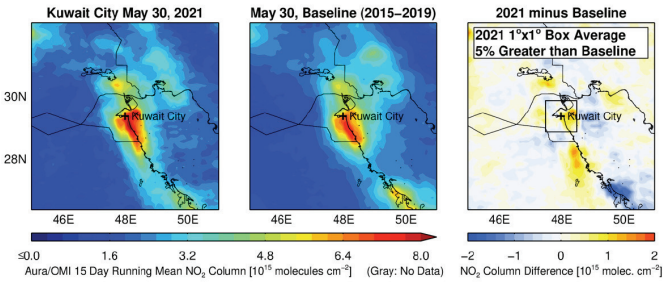
4- المناقشة

من أهم العناصر التي يتم قياسها هو ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، وكما نرى من الشكلين (3) و(4) فإن منطقة الشرق الأوسط تحتوي على نسب



الشكل 4. تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) في مارس 2021 من مرصد (TROPOMI) التابع لوكالة الفضاء الأوروبية «إيسا» لمنطقة الشرق الأوسط. (Credit: KNMI/ESA)

وهناك زيادة في نسبة ثاني أكسيد النيتروجين في الشرق الأوسط، ويمكن ملاحظة ذلك من بيانات المراصد في المدار المنخفض بالنسبة إلى الأرض. ويبين الشكل (5) تركيز ثاني أكسيد النيتروجين من مرصد (OMI) لمدينة الكويت. وعند أخذ بيانات كأساس للفترة 2015-2019 ليوم 15 مايو، وطرحها من نفس بيانات اليوم لسنة 2021، ونظرنا إلى منطقة بمساحة درجة مربعة حول مدينة الكويت، نجد أن هناك زيادة بثاني أكسيد النيتروجين بحوالي 5%.[22]



الشكل 5. تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) في مايو 2021 من مرصد (OMI) لمدينة الكويت (الصورة اليسرى)؛ بيانات (NO_2) للفترة 2015-2019 (الصورة الوسطى)؛ تركيز (NO_2) بعد أخذ الفرق (الصورة اليمنى).[22]

يوجد مرصد (TROPOMI) و(OMI) في مدار منخفض حول الأرض (LEO)، ويرصدان كل منطقة على سطح الأرض مرة باليوم. فلذلك، تم تجميع القياسات اليومية لمدة شهر ودمجها للحصول على الصورة في الشكلين (3) و(4). ولكن المرصد المقترح مثل «تمبو» في مدار ثابت فوق الشرق الأوسط، سيتيح الحصول على الصورة نفسها (الشكل 3 أو الشكل 4) مرة كل ساعة باليوم. ويمكن أن يجمّع تمبو الشرق الأوسط أطياف الأضواء الليلية عندما تكون الشمس > 60 درجة من خط التسديد أو عندما تغمر الأرض الشمس بالكامل (الأضواء الليلية). ومن إحدى الميزات الأخرى لوجود المرصد في مدار ثابت فوق الشرق الأوسط أن مساحة العينة الأرضية ستكون أصغر بكثير من مراصد (TROPOMI)، و(OMI)، و(GOME-2) وهذا واضح من الشكل (6).

الشكل 6. خريطة تبين مساحة العينة الأرضية لمرصد تمبو الشرق الأوسط في مركز مجال الرؤية مقارنة بمرصدَي (OMI) و(GOME-2).

تمثل المساحة الحمراء الصغيرة (المربعات) تغطية تمبو الشرق الأوسط كل ساعة؛ فمساحة العينة الأرضية لتمبو الشرق الاوسط تساوي ~1/300 من GOME-2 ذات المساحة العينية (80x40) و~1/30 من OMI ذات المساحة العينية (24x13). وللتذكير فإن المرصدان (OMI) و(GOME-2) يرصدان مكة المكرمة مرة واحدة باليوم فقط. (Credit: Google Earth)

سيوفر مرصد مستقبلي مثل «تمبو» فوق منطقة الشرق الأوسط قياسات عالية الدقة للغلاف الجوي للأرض. وإضافة إلى ذلك، سيقدم مساهمة عربية كبيرة (جنبًا إلى جنب مع «تمبو» (الولايات المتحدة) و«سينتنل4-» لوكالة الفضاء الأوروبية و«جيمس» لكوريا الجنوبية) لفهم الدورة اليومية للانبعاثات والكيمياء الضوئية والنقل الديناميكي المقترن بجودة الهواء وتغير المناخ. وهذا سيتيح للباحثين العرب أن يكونوا جزءًا من الكوكبة العالمية لمراقبة التلوث. وسيتم إنشاء بنية تحتية علمية تتكون من تدريب الطلاب وعلماء البحوث والفنيين في الولايات المتحدة خلال بناء المرصد المقترح وبعد وضعه في المدار. وسيعمل تمبو الشرق أوسطي على سد الفجوة بين مرصدي «سنتنل4-» و«جيمس»، ويوفر فرصة رائعة للتحقق من صحة القياسات من المراصد الثلاثة. ويمكن أن يتم بناء وإطلاق تمبو فوق منطقة الشرق الأوسط بمجرد أن تتبنى دولة أو عدة دول عربية المشروع من دون أي تعديلات على البصريات أو التصميم العام للتلسكوب. وهناك عدة فرص لاستضافة المرصد على شركات الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في الشرق الأوسط، مثل Yahsat وArabSat وNileSat. ويعتبر تمبو الشرق أوسطي فرصة ذهبية للمشاركة في برنامج فضاء، ويمكن الاستفادة من الخبرات المختلفة والتعاون مع المؤسسات العالمية الأخرى وبناء برامج دراسات عليا والمشاركة العربية في الأبحاث العلمية.

Funding Sources

The work is supported by NASA grant: NNH12ZDA006O-EVI1: Earth Venture Instrument – 1 / NNL13AA09C

المراجع

1. Chance KV, Suleiman RM, Flittner DE, Al-Saadi J, Janz SJ. Tropospheric Emissions: Monitoring of pollution (TEMPO). Proceedings of the SPIE. 2013;8866:88660D.
2. Zoogman P, Liu X, Suleiman RM, Pennington WF, Flittner DE, Al-Saadi JA, et al. Tropospheric Emissions: Monitoring of pollution (TEMPO). Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2017;186:17.
3. Fishman J, Bowman KW, Burrows JP, Richter A, Chance KV, Edwards DP, et al. Remote sensing of tropospheric pollution from space. Bulletin of the American Meteorological Society. 2008;89:805.
4. Chance KV, Burrows JP, Schneider W. Retrieval and molecule sensitivity studies for the Global Ozone Monitoring Experiment and the SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartographY. Proc. S.P.I.E., Remote Sensing of Atmospheric Chemistry. 1991;1491:151–165.
5. Chance K. Spectroscopic measurements of tropospheric composition from satellite measurements in the ultraviolet and visible: Steps toward continuous pollution monitoring from space. In: Perrin A, Ben Sari-Zizi N, Demaison J, editors. Remote sensing of the atmosphere for environmental security. NATO Security through Science Series. Springer; 2006. p. 1–25, ISBN: 1-4020-5089-5.
6. Sauvage B, Martin RV, van Donkelaar A, Liu X, Chance K, Jaeglé L, et al. Remote sensed and in situ constraints on processes affecting tropical tropospheric ozone. Atmospheric Chemistry and Physics. 2007;7:815–838.
7. Liu X, Chance K, Sioris CE, Spurr RJD, Kurosu TP, Martin RV, et al. Ozone profile and tropospheric ozone retrievals from Global Ozone Monitoring Experiment: Algorithm description and validation. Journal of Geophysical Research. 2005;110:D20307. doi:10.1029/2005JD006240.
8. Liu X, Bhartia PK, Chance K, Spurr RJD, Kurosu TP. Ozone profile retrievals from the Ozone Monitoring Instrument. Atmospheric Chemistry and Physics. 2010;10:2521–2537.
9. Martin RV, Chance K, Jacob DJ, Kurosu TP, Spurr RJD, Bucsela E, et al. An improved retrieval of tropospheric nitrogen dioxide from GOME. Journal of Geophysical Research. 2002;107:4437. doi:10.1029/2001JD0010127.
10. Lamsal LN, Martin RV, van Donkelaar A, Celarier EA, Bucsela EJ, Boersma KF, et al. Indirect validation of tropospheric nitrogen dioxide retrieved from the OMI satellite instrument: Insight into the seasonal variation of nitrogen oxides at northern midlatitudes. Journal of Geophysical Research. 2010;115:D05302. doi:10.1029/2009JD013351.
11. Krotkov NA, McClure B, Dickerson RR, Carn SA, Li C, Bhartia PK, et al. Validation of SO2 retrievals from the Ozone Monitoring Instrument over NE China. Journal of Geophysical Research. 2008;113:D16S40. doi:10.1029/2007JD008818.
12. Lee C, Martin RV, van Donkelaar A, O'Byrne G, Krotkov N, Richter A, et al. Retrieval of vertical columns of sulfur dioxide from SCIAMACHY and OMI: Air mass factor algorithm development and validation. Journal of Geophysical Research. 2009;114:D22303. doi:10.1029/2009JD012123.

13. Yang K, Liu X, Bhartia PK, Krotkov NA, Carn SA, Hughes EJ, et al. Direct retrieval of sulfur dioxide amount and altitude from spaceborne hyperspectral UV measurements: Theory and application. Journal of Geophysical Research. 2010;115:D00L09, doi:10.1029/2010JD013982.
14. Bednarz F. European Space Agency Publication SP-1182. Noordwijk, The Netherlands: ESA, ESTEC; 1995.
15. Bhartia PK, Wellemeyer CG. OMI Algorithm Theoretical Basis Document (OMI Ozone Products), ATBD-OMI-02, Version 2.0, August 2002. https://eospso.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/atbd/ATBD-OMI-02.pdf
16. Chance KV, OMI Algorithm Theoretical Basis Document (OMI Trace Gas Algorithms), ATBD-OMI-02, Version 2.0, August 2002. https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/media/docs/ATBD-OMI-04.pdf.
17. Duncan BN, Lamsal LN, Thompson AM, Yoshida Y, Lu Z, Streets DG, Hurwitz MM, Pickering KE. A space-based, high-resolution view of notable changes in urban NOx pollution around the world (2005–2014). Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2016;121:976–996. doi:10.1002/2015JD024121, https://doi.org/10.1002/2015JD024121.
18. Suleiman RM, K Chance and X Liu. A Geostationary air quality monitor for the Middle East, Journal of Physics: Conference Series. 2017;869:012085.
19. Kazadzis S, Bais A, Arola A, Krotkov N, Kouremeti N, Meleti C. Ozone Monitoring Instrument spectral UV irradiance products: comparison with ground based measurements at an urban environment Atmos. Chem. Phys., 9, 585–594, 2009.
20. Zoogman P, Jacob DJ, Chance K, Zhang L, Le Sager P, Fiore AM, Elderinge A, Liu X, Natraje V, Kulawike SS. Ozone air quality measurement requirements for a geostationary satellite mission. Atmos Environ 2011;45:7143–50.
21. Kim S-W, Heckel A, McKeen SA, Frost GJ, Hsie E-Y, Trainer MK, Richter A, Burrows JP, Peckham SE, Grell GA. Satellite-observed U.S. power plant NOx emission reductions and their impact on air quality. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 33, L22812, doi:10.1029/2006GL027749, 2006.
22. NASA/GSFC. Available at: https://so2.gsfc.nasa.gov/no2/no2_index.html.