

الاتحاد الدولي للاتصالات

# ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

**التوصية ITU-R P.676-13**  
(2022/08)

**التوهين الناجم عن الغازات الجوية والمؤثرات  
ذات الصلة**

**السلسلة P**  
**انتشار الموجات الراديوية**

## تمهيد

يضع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

## سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يُرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

### سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
<b>انتشار الموجات الراديوية</b>	<b>P</b>
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بُعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

**ملاحظة:** تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني  
جنيف، 2023

## ITU-R P.676-13 التوصية

## التوهين الناجم عن الغازات الجوية والمؤثرات ذات الصلة

(المسألة 201/3 ITU-R)

(1990-1992-1995-1997-1999-2001-2005-2007-2009-2012-2013-2016-2019-2022)

## مجال التطبيق

تعرض هذه التوصية:

(أ) أسلوب في الملحق 1 لحساب التوهين الغازي للمسير المائل، والطور اللاخطي، والانحناء الجوي، وطول المسير الجوي الزائد، ودرجة حرارة الضوضاء المتدفقة هبوطاً وصعوداً بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 1 000 GHz لمواصفات معروفة عشوائياً للضغط ودرجة الحرارة وارتفاع بخار الماء؛

(ب) أسلوب تقريبي في الملحق 2 لتقدير التوهين الغازي للمسير المائل اللحظي بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 350 GHz عندما تُعرف القيم اللحظية لضغط السطح ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي أو محتوى بخار الماء المتكامل<sup>1</sup> من البيانات المحلية أو مواصفات مرجعية أو خرائط رقمية مرجعية؛

(ج) أسلوب تقريبي في الملحق 2 لتقدير إحصاءات التوهين الغازي للمسير المائل اللحظي بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 350 GHz عندما تُعرف القيم اللحظية لضغط السطح ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي أو محتوى بخار الماء المتكامل من البيانات المحلية أو مواصفات مرجعية أو خرائط رقمية مرجعية؛

(د) تقريب ويول للتوهين الناجم عن بخار الماء على المسير المائل لاستخدامه في التوصية ITU-R P.1853،

## مصطلحات أساسية

توهين غازي، توهين محدد، توهين المسير المائل، التوهين الكلي، بخار الماء، الأوكسجين، تشتت الطور، متدفق صعوداً، متدفق هبوطاً، الانحناء

## المختصرات/الأسماء المختصرة

الارتفاع (المسافة الرأسية نسبة إلى متوسط مستوى البحر)	Altitude
(Vertical distance relative to mean sea level)	
التشتت (التغاير في التأخير الزمني مقابل التردد) (Variation of time delay vs. frequency)	Dispersion
تدفق هبوطاً (انتشار الضوضاء عبر الغلاف الجوي هبوطاً)	Downwelling
(Downward propagation of noise through the atmosphere)	
خارج الغلاف الجوي (موجود خارج الغلاف الجوي) (Originating outside the atmosphere)	Exoatmospheric
الارتفاع (المسافة الرأسية نسبة إلى متوسط مستوى البحر)	Height
(Vertical distance relative to the surface of the Earth)	

<sup>1</sup> محتوى بخار الماء المتكامل هو الكمية الإجمالية لبخار الماء في عمود رأسي يمتد من سطح الأرض إلى الجزء العلوي من الغلاف الجوي. ومصطلحات "محتوى بخار الماء المتكامل" و"محتوى بخار الماء الإجمالي" و"بخار الماء الإجمالي في العمود/بخار الماء العمودي الإجمالي" و"محتوى بخار الماء العمودي المتكامل" و"المحتوى العمودي الإجمالي لبخار الماء" كلها مصطلحات مترادفة.

نظائر (أنواع متعددة لعنصر كيميائي) ( <i>Multiple species of a chemical element</i> )	Isotope
تدفق صعوداً (انتشار الضوضاء عبر الغلاف الجوي صعوداً) ( <i>Upward propagation of noise through the atmosphere</i> )	Upwelling
تقسيم زيمان (تقسيم الخط الطيفي إلى مكونات عديدة في وجود مجال مغناطيسي ثابت) ( <i>Splitting of a spectral line into several components in the presence of a static magnetic field</i> )	Zeeman splitting

### توصيات وكتيبات قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة

التوصية ITU-R P.528

التوصية ITU-R P.530

التوصية ITU-R P.618

التوصية ITU-R P.619

التوصية ITU-R P.676

التوصية ITU-R P.836

التوصية ITU-R P.1144

التوصية ITU-R P.1510

التوصية ITU-R P.1853

التوصية ITU-R P.2001

التوصية ITU-R P.2041

كتيب الأرصاد الجوية الراديوية

ملاحظة - ينبغي في كل الأحوال استخدام أحدث مراجعة/طبعة سارية من التوصية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن هناك حاجة للتنبؤ بالتوهين الغازي للمسير المائل، والطور اللاخطي، والانحناء الجوي، وطول المسير الجوي الزائد، ودرجة حرارة الضوضاء المتدفقة هبوطاً وصعوداً بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 1 000 GHz لمواصفات معروفة عشوائياً للضغط ودرجة الحرارة وارتفاع بخار الماء؛

ب) أن هناك حاجة لتقدير التوهين الغازي للمسير المائل اللحظي بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 350 GHz عندما تُعرف القيم اللحظية لضغط السطح ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي أو محتوى بخار الماء المتكامل من البيانات المحلية أو مواصفات مرجعية أو خرائط رقمية مرجعية؛

ج) أن هناك حاجة لتقدير إحصاءات التوهين الغازي للمسير المائل اللحظي بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 350 GHz عندما تُعرف القيم اللحظية لضغط السطح ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي أو محتوى بخار الماء المتكامل من البيانات المحلية أو مواصفات مرجعية أو خرائط رقمية مرجعية؛

د) أن هناك حاجة إلى توفير تقريب ويول للتوهين الناجم عن بخار الماء على المسير المائل لاستخدامه في التوصية ITU-R P.1853،

## توصي

- 1 بأن يستخدم الأسلوب الوارد في الملحق 1 لحساب التوهين الغازي للمسير المائل، والطور اللاخطي، والانحناء الجوي، وطول المسير الجوي الزائد، ودرجة حرارة الضوضاء المتدفقة هبوطاً وصعوداً بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 1 000 GHz، وذلك لمواصفات معروفة عشوائياً لدرجة الحرارة والضغط وارتفاع كثافة بخار الماء مستقاة من بيانات محلية (مثل قياسات المسابير الراديوية أو أي من المواصفات المرجعية الواردة في الملحقات 1 أو 2 أو 3 من التوصية ITU-R P.835)؛
- 2 بأن يستخدم الأسلوب التقريبي الوارد في الملحق 2 لتقدير التوهين الغازي للمسير المائل اللحظي بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 350 GHz، وذلك عندما تُعرف القيم اللحظية لضغط السطح ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي أو محتوى بخار الماء المتكامل من البيانات المحلية (مثل محطات الأرصاد الجوية أو بيانات تاريخية)؛
- 3 بأن يستخدم الأسلوب التقريبي الوارد في الملحق 2 لتقدير إحصاءات التوهين الغازي للمسير المائل بسبب الأكسجين وبخار الماء لدى التردد من 1 إلى 350 GHz عندما تُعرف القيم اللحظية لدرجة حرارة السطح وضغط السطح وكثافة بخار الماء السطحي أو محتوى بخار الماء المتكامل من بيانات تاريخية طويلة الأجل أو من خرائط بالتوصية ITU-R P.2145؛
- 4 بأن يستخدم الأسلوب الوارد في الملحق 2 لتقدير تقريب ويول للتوهين الناجم عن بخار الماء على المسير المائل، عند تطبيق التوصية ITU-R P.1853،

## الملحق 1

## حساب التوهين الناجم عن الغازات الجوية بواسطة جمع مساهمات خطوط الامتصاص

## 1 التوهين النوعي

إن الطريقة الصحيحة لتقدير التوهين النوعي الذي يعزى إلى الهواء الجاف وبخار الماء في الترددات التي تصل إلى 1 000 GHz لأي قيمة من قيم الضغط والحرارة والرطوبة هي جمع مساهمات كل خط من الخطوط الطيفية الصادرة عن الأكسجين وبخار الماء مع عوامل صغيرة إضافية مطابقة لطيف Debye اللاتنان الصادر عن الأكسجين تحت 10 GHz، وللتوهين المستحث من ضغط الآزوت فوق 100 GHz وللطيف المستمر لبخار الماء الذي يسمح بمراعاة القيم المقيسة لامتناس بخار الماء التي تفوق القيم المتوقعة. ويوضح الشكل 1 التوهين النوعي باستخدام طريقة التنبؤ، والمحسوب من 0 إلى 1 000 GHz بفواصل يبلغ كل منها 1 GHz، من أجل ضغط مقداره 1 013,25 hPa ودرجة حرارة هي 15 °مئوية وذلك في حالي كثافة بخار الماء البالغة 7,5 g/m<sup>3</sup> والجو المعياري (الجاف).

ويندمج بجوار 60 GHz العديد من خطوط امتناس الأكسجين في ضغوط على مستوى البحر من أجل تشكيل نطاق وحيد وعريض للامتناس والذي يوضح بالتفصيل في الشكل 2. ويبين هذا الشكل أيضاً التوهين بالأكسجين على مرتفعات أعلى، كلما زادت استبانة الخطوط، ومع انخفاض الضغط بزيادة الارتفاع. ولا تندرج في أسلوب الخط تلو الخط للتنبؤ بعض أنواع الجزئيات الأخرى (مثل: أنواع نظائر الأكسجين وأنواع النظائر الأوزون والأوزون وأنواع نظائر الأوزون والأوزون المثار بالاهتزاز وغيرها من الأنواع الصغرى). وهذه الخطوط الإضافية ليست هامة للأجواء العادية، لكن قد تكون ضرورية للجو الجاف.

تعطي المعادلة التالية التوهين النوعي بالغازات الجوية:

$$(1) \quad \gamma = \gamma_o + \gamma_w = 0.1820f \left( N''_{Oxygen}(f) + N''_{Water Vapour}(f) \right) \quad (\text{dB/km})$$

حيث  $\gamma_w$  و  $\gamma_o$  هما توهينان نوعيان (dB/km) سببهما الهواء الجاف (التوهين الناجم عن الأوكسجين وضغط الآزوت وطيف Debye اللاطنان) وبخار الماء على التوالي، و  $f$  هو التردد (GHz) و  $N''_{Water\ Vapour}(f)$  و  $N''_{Oxygen}(f)$  هما الجزآن التخيليان من الانكسارية المركبة المرتبطة بالتردد:

$$(أ2) \quad N''_{Oxygen}(f) = \sum_{i(Oxygen)} S_i F_i + N''_D(f)$$

$$(ب2) \quad N''_{Water\ Vapour}(f) = \sum_{i(Water\ Vapour)} S_i F_i$$

$S_i$  هي شدة الخط رقم  $i$  للأوكسجين أو بخار الماء، و  $F_i$  عامل الشكل لخط الأوكسجين أو بخار الماء، ويغطي المجموع كل الخطوط الطيفية الواردة في الجدولين 1 و 2؛

$N''_D(f)$  هو الطيف المستمر للجو الجاف الناجم عن الامتصاص المستحث من ضغط الآزوت وطيف Debye، المتحصل عليه بالمعادلة (8).

وتحدد شدة الخط على النحو التالي:

$$(3) \quad \begin{aligned} S_i &= a_1 \times 10^{-7} p \theta^3 \exp[a_2(1 - \theta)] && \text{for oxygen} \\ &= b_1 \times 10^{-1} e \theta^{3.5} \exp[b_2(1 - \theta)] && \text{for water vapour} \end{aligned}$$

حيث:

$p$ : ضغط الجو الجاف (hPa)

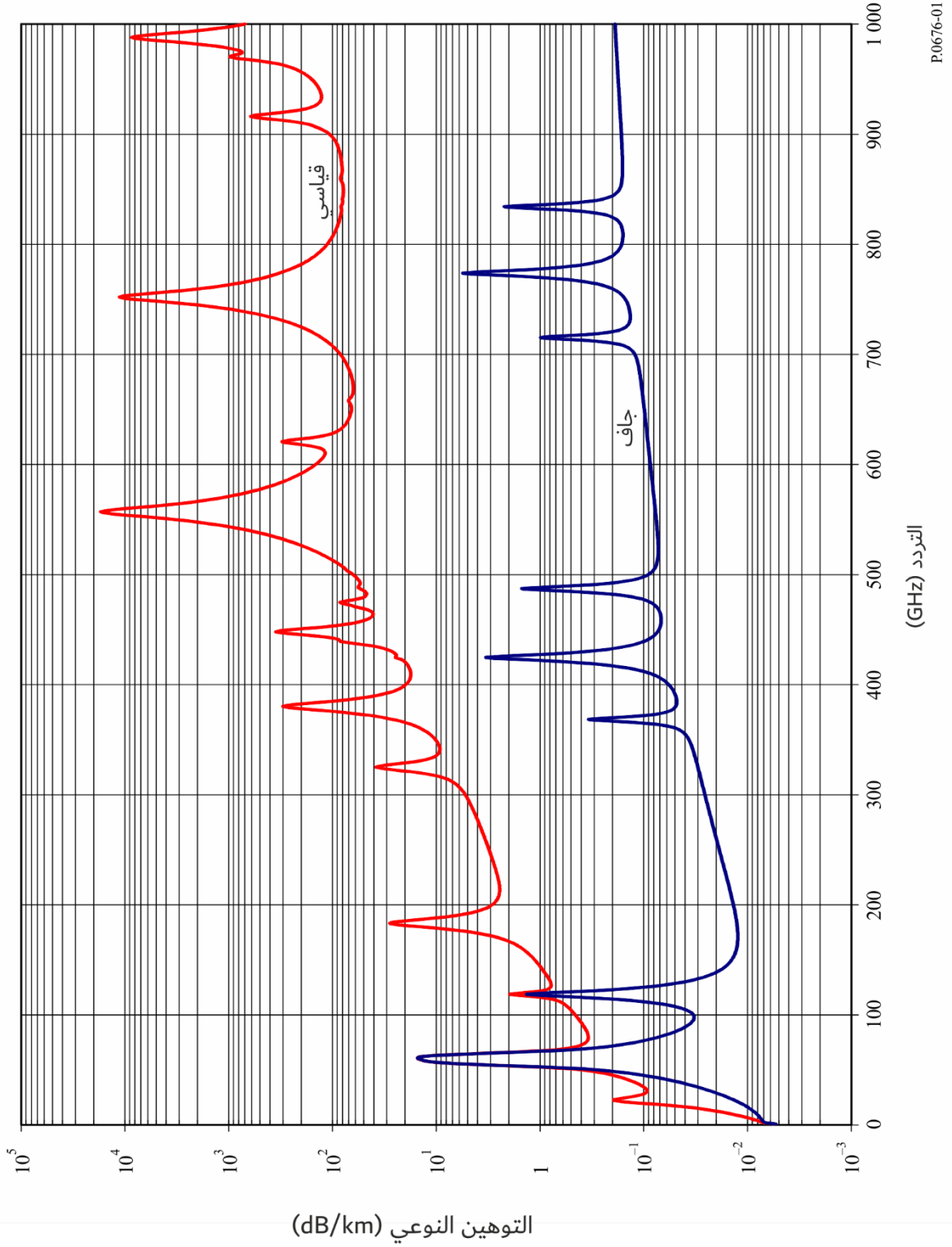
$e$ : الضغط الجزئي لبخار الماء معبراً عنه (hPa) (الضغط الجوي الكلي،  $p_{tot} = p + e$ )

$300/T = \theta$

$T$ : درجة الحرارة (K).

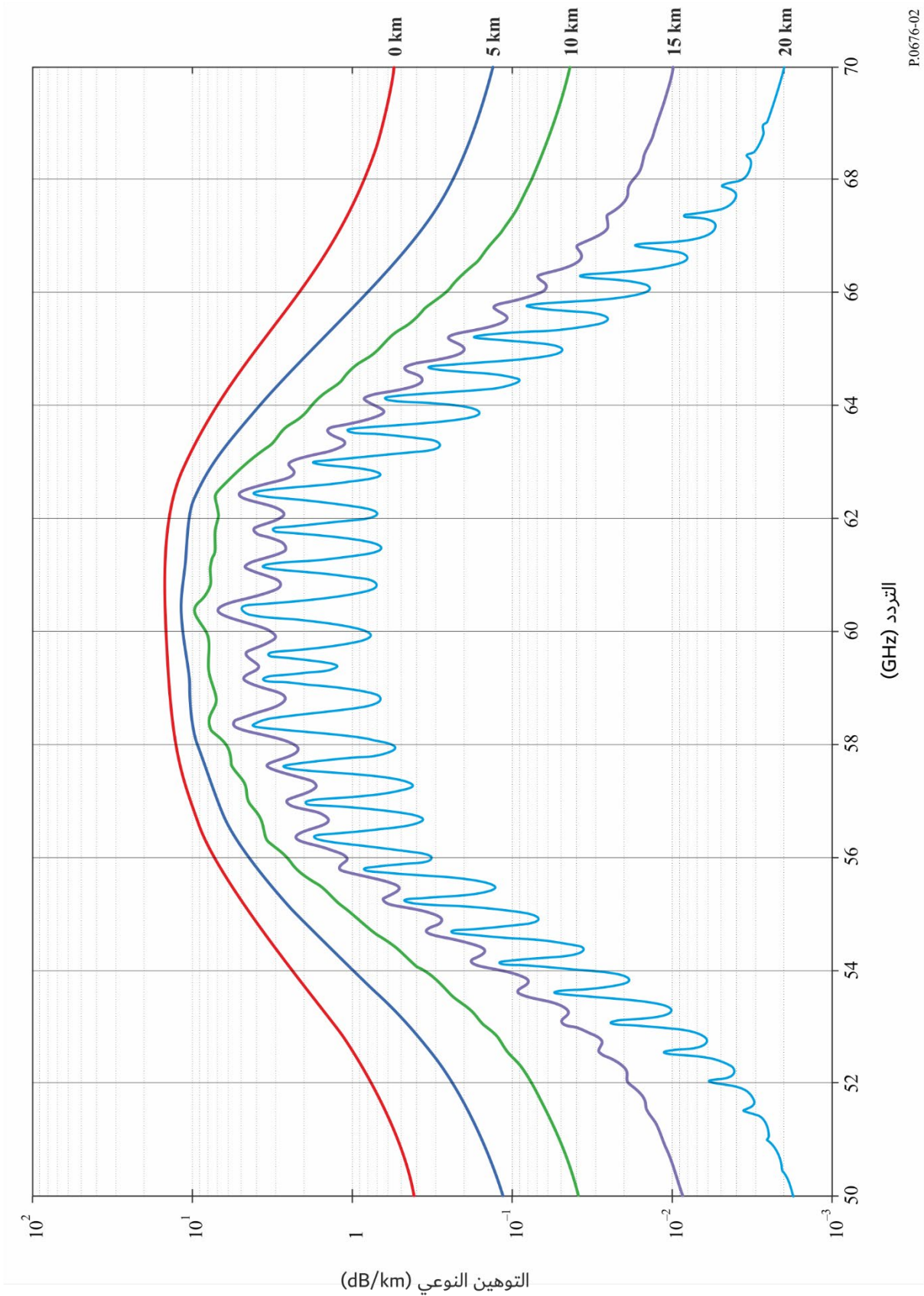
الشكل 1

التوهين النوعي الناجم عن الغازات الجوية محسوباً في فواصل قدر كل منها 1 GHz بما فيها الترددات المركزية للخطوط



الشكل 2

التوهين النوعي في مدى الترددات 50-70 GHz في الارتفاعات الميمنة، والمحسوب على فواصل 10 MHz، بما في ذلك مراكز الخطوط (0 و 5 و 10 و 15 و 20 km)



P.0676-02



ينبغي استعمال القيم الخاصة بالضغط  $p$  والضغط الجزئي  $e$  ودرجة الحرارة  $T$  (المتحصل عليها مثلاً بواسطة المسابير الراديوية). وينبغي عند الافتقار إلى البيانات المحلية، استعمال الظروف الجوية المعيارية المرجعية المناسبة الواردة في التوصية ITU-R P.835. (جدير بالذكر أنه في حال حساب التوهين الجوي الكلي يستعمل نفس الضغط الجزئي لبخار الماء في التوهين الناجم عن الأكسجين والتوهين الناجم عن بخار الماء.)

ويمكن الحصول على الضغط الجزئي لبخار الماء،  $e$ ، على أي ارتفاع من كثافة بخار الماء  $\rho$  ودرجة الحرارة  $T$  على هذا الارتفاع، باستعمال المعادلة التالية:

$$(4) \quad e = \frac{\rho T}{216.7}$$

وترد البيانات الطيفية للأوكسجين في الجدول 1، والبيانات الطيفية لبخار الماء في الجدول 2. وآخر مدخلات في الجدول 2 عبارة عن شبه خط مركزه 1 780 GHz، يمثل حده الأدنى المساهمة المشتركة تحت 1 000 GHz لرنين بخار الماء غير المدرج في طريقة التنبؤ بجمع مساهمات خطوط الامتصاص (أي التواصل الرطب). وتضبط معلمات شبه الخط لمراعاة الفارق بين الامتصاص المقاس عند النوافذ الجوية والامتصاص المحسوب للخط المحلي.

تعطي العبارة التالية عامل شكل الخط:

$$(5) \quad F_i = \frac{f}{f_i} \left[ \frac{\Delta f - \delta (f_i - f)}{(f_i - f)^2 + \Delta f^2} + \frac{\Delta f - \delta (f_i + f)}{(f_i + f)^2 + \Delta f^2} \right]$$

حيث  $f_i$  هو تردد خط الأوكسجين أو بخار الماء و  $\Delta f$  هو عرض الخط:

$$(6) \quad \begin{aligned} \Delta f &= a_3 \times 10^{-4} (p \theta^{0.8 - a_4} + 1.1 e \theta) && \text{for oxygen} \\ &= b_3 \times 10^{-4} (p \theta^{b_4} + b_5 e \theta^{b_6}) && \text{for water vapour} \end{aligned}$$

ويعدل عرض الخط لمراعاة تقسيم زمني لخطوط الأوكسجين وتوسيع دوبلر لخطوط بخار الماء:

$$(6) \quad \begin{aligned} \Delta f &= \sqrt{\Delta f^2 + 2.25 \times 10^{-6}} && \text{for oxygen} \\ &= 0.535 \Delta f + \sqrt{0.217 \Delta f^2 + \frac{2.1316 \times 10^{-12} f_i^2}{\theta}} && \text{for water vapour} \end{aligned}$$

و  $\delta$  عامل تصحيح ينتج عن تأثيرات التداخل في خطوط الأوكسجين:

$$(7) \quad \begin{aligned} \delta &= (a_5 + a_6 \theta) \times 10^{-4} (p + e) \theta^{0.8} && \text{for oxygen} \\ &= 0 && \text{for water vapour} \end{aligned}$$

## الجدول 1

## المعطيات المطيافية للتوهين بالأوكسجين

$a_6$	$a_5$	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$f_0$
6,850	2,566	0,0	6,690	9,651	0,975	50,474214
6,800	2,246	0,0	7,170	8,653	2,529	50,987745
6,729	1,947	0,0	7,640	7,709	6,193	51,503360
6,640	1,667	0,0	8,110	6,819	14,320	52,021429
6,526	1,388	0,0	8,580	5,983	31,240	52,542418
6,206	1,349	0,0	9,060	5,201	64,290	53,066934
5,085	2,227	0,0	9,550	4,474	124,600	53,595775
3,750	3,170	0,0	9,960	3,800	227,300	54,130025
2,654	3,558	0,0	10,370	3,182	389,700	54,671180
2,952	2,560	0,0	10,890	2,618	627,100	55,221384
6,135	1,172-	0,0	11,340	2,109	945,300	55,783815
0,978-	3,525	0,0	17,030	0,014	543,400	56,264774
6,547	2,378-	0,0	11,890	1,654	1331,800	56,363399
6,451	3,545-	0,0	12,230	1,255	1746,600	56,968211
6,056	5,416-	0,0	12,620	0,910	2120,100	57,612486
0,436	1,932-	0,0	12,950	0,621	2363,700	58,323877
1,273-	6,768	0,0	14,910	0,083	1442,100	58,446588
2,309	6,561-	0,0	13,530	0,387	2379,900	59,164204
0,776-	6,957	0,0	14,080	0,207	2090,700	59,590983
0,699	6,395-	0,0	14,150	0,207	2103,400	60,306056
2,825-	6,342	0,0	13,390	0,386	2438,000	60,434778
0,584-	1,014	0,0	12,920	0,621	2479,500	61,150562
6,619-	5,014	0,0	12,630	0,910	2275,900	61,800158
6,759-	3,029	0,0	12,170	1,255	1915,400	62,411220
0,844	4,499-	0,0	15,130	0,083	1503,000	62,486253
6,675-	1,856	0,0	11,740	1,654	1490,200	62,997984
6,139-	0,658	0,0	11,340	2,108	1078,000	63,568526
2,895-	3,036-	0,0	10,880	2,617	728,700	64,127775
2,590-	3,968-	0,0	10,380	3,181	461,300	64,678910
3,680-	3,528-	0,0	9,960	3,800	274,000	65,224078
5,002-	2,548-	0,0	9,550	4,473	153,000	65,764779
6,091-	1,660-	0,0	9,060	5,200	80,400	66,302096
6,393-	1,680-	0,0	8,580	5,982	39,800	66,836834
6,475-	1,956-	0,0	8,110	6,818	18,560	67,369601
6,545-	2,216-	0,0	7,640	7,708	8,172	67,900868
6,600-	2,492-	0,0	7,170	8,652	3,397	68,431006
6,650-	2,773-	0,0	6,690	9,650	1,334	68,960312
0,079	0,439-	0,0	16,640	0,010	940,300	118,750334

الجدول 1 (تتمة)

$a_6$	$a_5$	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$f_0$
0,000	0,000	0,0	16,400	0,048	67,400	368,498246
0,000	0,000	0,0	16,400	0,044	637,700	424,763020
0,000	0,000	0,0	16,000	0,049	237,400	487,249273
0,000	0,000	0,0	16,000	0,145	98,100	715,392902
0,000	0,000	0,0	16,200	0,141	572,300	773,839490
0,000	0,000	0,0	14,700	0,145	183,100	834,145546

الجدول 2

البيانات الطيفية للتوهين ببخار الماء

$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	$f_0$
1,00	5,087	,76	26,38	2,144	,1079	22,235080
,82	4,930	,69	28,58	8,732	,0011	67,803960
,79	4,780	,70	29,48	8,353	,0007	119,995940
,85	5,022	,77	29,06	,668	2,273	183,310087
,54	4,398	,67	24,04	6,179	,0470	321,225630
,74	4,893	,64	28,23	1,541	1,514	325,152888
,61	4,740	,69	26,93	9,825	,0010	336,227764
,89	5,063	,54	28,11	1,048	11,67	380,197353
,55	4,810	,63	21,52	7,347	,0045	390,134508
,48	4,230	,60	18,45	5,048	,0632	437,346667
,52	4,483	,63	20,07	3,595	,9098	439,150807
,50	5,083	,60	15,55	5,048	,1920	443,018343
,67	5,028	,66	25,64	1,405	10,41	448,001085
,65	4,506	,66	21,34	3,597	,3254	470,888999
,64	4,804	,65	23,20	2,379	1,260	474,689092
,72	5,201	,69	25,86	2,852	,2529	488,490108
,43	3,980	,61	16,12	6,731	,0372	503,568532
,45	4,010	,61	16,12	6,731	,0124	504,482692
1,00	4,500	,70	26,00	,158	,9785	547,676440
1,00	4,500	,70	26,00	,158	,1840	552,020960
1,00	4,552	,69	30,86	,159	497,0	556,935985
,68	4,856	,71	24,38	2,391	5,015	620,700807
,50	4,000	,60	18,00	8,633	,0067	645,766085
1,00	4,140	,69	32,10	7,816	,2732	658,005280
,84	4,352	,68	30,86	,396	243,4	752,033113

الجدول 2 (تتمة)

$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	$f_0$
,45	5,760	,33	15,90	8,177	,0134	841,051732
,84	4,090	,68	30,60	8,055	,1325	859,965698
,90	4,530	,68	29,85	7,914	,0547	899,303175
,95	5,100	,70	28,65	8,429	,0386	902,611085
,53	4,700	,70	24,08	5,110	,1836	906,205957
,78	5,150	,70	26,73	1,441	8,400	916,171582
,80	5,000	,70	29,00	10,293	,0079	923,112692
,67	4,940	,64	25,50	1,919	9,009	970,315022
,90	4,550	,68	29,85	,257	134,6	987,926764
5,00	24,15	2,00	196,3	,952	,17506	1 780,000000

ينتج تواصل الجو الجاف من طيف امتصاص الأوكسجين اللاطنان (طيف Debye) تحت 10 GHz، والتوهين المستحث من ضغط الأوزون فوق 100 GHz.

$$(8) \quad N_D''(f) = f p \theta^2 \left[ \frac{6.14 \times 10^{-5}}{d \left[ 1 + \left( \frac{f}{d} \right)^2 \right]} + \frac{1.4 \times 10^{-12} p \theta^{1.5}}{1 + 1.9 \times 10^{-5} f^{1.5}} \right]$$

حيث  $d$  هي معلمة العرض لطيف Debye:

$$(9) \quad d = 5.6 \times 10^{-4} (p + e) \theta^{0.8}$$

## 2 التوهين في المسير

### 1.2 مسيرات للأرض

يمكن، في حالة مسير للأرض أو المسيرات المائلة قليلاً قريباً من الأرض، أن يحسب التوهين في المسير،  $A$ ، على النحو التالي:

$$(10) \quad A = \gamma r_0 = (\gamma_o + \gamma_w) r_0 \quad \text{dB}$$

حيث  $r_0$  هو طول المسير (km).

### 2.2 المسيرات المائلة

يقدم القسمان 1.2.2 و 2.2.2 أساليب لحساب التوهين الغازي في المسير المائل أرض-فضاء لمسير صاعد بين موقع على سطح الأرض أو بالقرب منه وموقع فوق سطح الأرض أو في الفضاء باستخدام أسلوب الخط تلو الخط في الملحق 1 لما يُعرف من البيانات الوصفية للحرارة وضغط الهواء الجاف وكثافة بخار الماء. ويوسع القسم 3.2.2 هذا الأسلوب ليشمل مسير هابط بين موقع فوق سطح الأرض أو في الفضاء وموقع على سطح الأرض أو بالقرب منه. ويقدم القسمان 4.2.2 و 5.2.2 أساليب لحساب الانحناء وطول المسير الجوي الزائد، على التوالي، على مسير أرض-فضاء.

## 1.2.2 زوايا الارتفاع الظاهرية غير السالبة

التوهين الغازي للمسير المائل على المسير الصاعد بين العلوين  $h_2$  و  $h_1$  ( $h_2 > h_1 \geq 0$  km) هو:

$$(11) \quad A_{gas} = \int_{h_1}^{h_2} \frac{\gamma(h)}{\sin \varphi(h)} dh = \int_{h_1}^{h_2} \frac{\gamma(h)}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi(h)}} dh$$

حيث:

$$(12) \quad \cos \varphi(h) = \frac{(R_E + h_1) n(h_1)}{(R_E + h) n(h)} \cos \varphi_1$$

$\gamma(h)$  هو التوهين النوعي على العلو  $h$  و  $R_E$  هو متوسط نصف قطر الأرض (371 6 km) و  $\varphi_1$  هي زاوية الارتفاع الظاهرية المحلية على العلو  $h_1$  و  $n(h)$  هو مؤشر الانكسار على العلو  $h$ .

وبينما يمكن تقييم المعادلة (11) بالتكامل العددي<sup>2</sup>، يحسن تقريب التوهين الغازي للمسير المائل بتقسيم الغلاف الجوي إلى طبقات تتزايد أسياً، وتحديد التوهين النوعي (dB/km) لكل طبقة وطول مسير (km) عبر كل طبقة، وجمع جداء التوهين النوعي لكل طبقة وطول المسير عبر كل طبقة على النحو الموضح في المعادلة (13). وفي غياب البيانات الوصفية المحلية للحرارة وضغط الهواء الجاف والضغط الجزئي لبخار الماء مقابل العلو (من بيانات المسبار الراديوي على سبيل المثال)، يمكن استخدام أي من الأغلفة الجوية المعيارية المرجعية الستة (أي متوسط الغلاف الجوي المرجعي العالمي السنوي، أو الغلاف الجوي المرجعي لخط العرض المنخفض، أو الغلاف الجوي المرجعي الصيفي في منتصف خط العرض، أو الغلاف الجوي المرجعي الشتوي في منتصف خط العرض، أو الغلاف الجوي المرجعي الصيفي لخط العرض المرتفع، أو الغلاف الجوي المرجعي الشتوي لخط العرض المرتفع) الواردة في التوصية ITU-R P.835.

$$(13) \quad A_{gas} = \sum_{i=1}^{i_{max}} a_i \gamma_i \quad (\text{dB})$$

حيث  $\gamma_i$  هو التوهين النوعي (dB/km) للطبقة رقم  $i$  وفق المعادلة (1)، و  $a_i$  هو طول المسير (km) عبر الطبقة رقم  $i$ .

وفي مسير مائل بين سطح الأرض والفضاء وبالإشارة إلى الشكل الهندسي في الشكل 5، يزداد سمك الطبقات أسياً من 10 cm على سطح الأرض إلى 1 km على علو 100 km لضمان تقدير دقيق لإجمالي التوهين الغازي في المسير المائل. وسمك الطبقة  $i$ ،  $\delta_i$ ، هو:

$$(14) \quad \delta_i = 0.0001 e^{\frac{i-1}{100}} \quad (\text{km})$$

و  $h_1 = 0$  و  $h_i$  علو الجزء السفلي من الطبقة  $i$  من أجل  $i \geq 2$  هو:

$$(15) \quad h_i = \sum_{j=1}^{i-1} \delta_j = 0.0001 \frac{e^{\frac{i-1}{100}} - 1}{e^{\frac{1}{100}} - 1}$$

وفي حال استخدام أحد الأغلفة الجوية المعيارية المرجعية الستة المحددة في التوصية ITU-R P.835، تعرّف البيانات الوصفية الجوية لقيم علو هندسي تصل إلى 100 km، وفي هذه الحالة  $i_{max} = 922$  و  $\delta_{922} = 0.99966$  km و  $h_{922} = 99.457$  km.

<sup>2</sup> يمكن تقييم المعادلة (11) باستخدام أساليب مختلفة حسب التنفيذ: ومثال ذلك أ) الدالة المتكاملة في برمجيات Matlab، ب) الدالة الرباعية في برمجيات Octave، ج) الدالة الرباعية في برمجيات Python، د) العديد من دوال الوصفات العددية، وغيرها من أساليب مكافئة.

وفي مسير مائل بين علو أخفض داخل الغلاف الجوي،  $h_{lower}$ ، وعلو أعلى داخل الغلاف الجوي،  $(0 \text{ km} \leq h_{lower} < h_{upper} \leq 100 \text{ km})$ ، يمكن حساب توهين المسير المائل بإسناد  $r_1$  إلى نصف قطر العلو الأدنى من مركز الأرض وتعديل المعادلتين (14) و(15) للحفاظ تقريباً على توالي التزايد الأسّي للعلو بالنسبة لسطح الأرض على النحو التالي:

أ) يُحسب  $i_{lower}$  و  $i_{upper}$ :

$$(أ16) \quad i_{lower} = \text{floor} \left\{ 100 \ln \left[ 10^4 h_{lower} \left( e^{\frac{1}{100}} - 1 \right) + 1 \right] + 1 \right\}$$

$$(ب16) \quad i_{upper} = \text{ceiling} \left\{ 100 \ln \left[ 10^4 h_{upper} \left( e^{\frac{1}{100}} - 1 \right) + 1 \right] + 1 \right\}$$

حيث أرضية  $(x)$  تدور  $x$  إلى أقرب عدد صحيح تال، وسقف  $(x)$  يدور  $x$  إلى أقرب عدد صحيح تال.

ب) يستعاض عن الحد الأدنى في المعادلة (13) بقيمة  $i_{lower}$  ويستعاض عن الحد الأعلى بقيمة  $i_{upper} - 1$ .

ج) يستعاض عن 0,0001 في المعادلة (14) بالمتحول  $m$ ، حيث:

$$(ج16) \quad m = \left( \frac{e^{\frac{2}{100}} - e^{\frac{1}{100}}}{e^{\frac{i_{upper}}{100}} - e^{\frac{i_{lower}}{100}}} \right) (h_{upper} - h_{lower})$$

د) يستعاض عن المعادلة (15) بالمعادلة التالية:

$$(د16) \quad h_i = h_{lower} + \sum_{j=i_{lower}}^{i-1} \delta_j = h_{lower} + m \frac{e^{\frac{i-1}{100}} - e^{\frac{i_{lower}-1}{100}}}{e^{\frac{1}{100}} - 1}, i_{lower} \leq i \leq i_{upper}$$

وينبغي استخدام المعادلات من (أ16) إلى (د16) بحذر بسبب احتمال تردي الدقة في المسيرات المائلة حيث  $i_{upper} - i_{lower} < 50$  (في المسيرات بين منصتين محمولتين جواً على سبيل المثال).

$a_i$  هو طول المسير عبر الطبقة رقم  $i^{th}$  بسماكة  $\delta_i$  و  $n_i$  هو مؤشر الانكسار الراديوي للطبقة رقم  $i^{th}$ . و  $n_i$  هي دالة ضغط الهواء الجاف والحرارة والضغط الجزئي لبخار الماء للطبقة رقم  $i^{th}$  باستخدام المعادلتين (1) و(2) من التوصية ITU-R P.453 و  $\alpha_i$  و  $\beta_{i+1}$  هما زاويتا ورود الدخول والخروج عند السطح البيني بين الطبقة رقم  $i$  والطبقة رقم  $(i+1)$ ، و  $r_i$  هو نصف القطر من مركز الأرض إلى بداية الطبقة  $i^{th}$ ،  $r_{i+1} = r_i + \delta_i$ ، و  $r_1$  هو نصف القطر من مركز الأرض إلى بداية الطبقة الدنيا، وعادةً ما يكون متوسط نصف قطر الأرض (6 371 km). ومؤشر الانكسار،  $n_i$ ، والتوهين النوعي،  $\gamma_i$ ، للطبقة رقم  $i^{th}$  هما قيمتهما عند نقطة منتصف الطبقة رقم  $i^{th}$ ، أي على علو  $r_i + \delta_i/2$ .

وطول المسير  $a_i$  هو:

$$(17) \quad a_i = -r_i \cos \beta_i + \sqrt{r_i^2 \cos^2 \beta_i + 2 r_i \delta_i + \delta_i^2} \quad (\text{km})$$

وزاوية  $\alpha_i$  هي:

$$(أ18) \quad \alpha_i = \pi - \cos^{-1} \left( \frac{-a_i^2 - 2 r_i \delta_i - \delta_i^2}{2 a_i (r_i + \delta_i)} \right)$$

$$(ب18) \quad = \sin^{-1} \left( \frac{r_i}{r_i + \delta_i} \sin \beta_i \right)$$

وقد أُلغيت المعادلة (أ18) بسبب تردي الدقة. و  $\beta_1$  هي زاوية السمات المحلية عند سطح الأرض أو بالقرب منه (مكمل زاوية الارتفاع الظاهرية،  $\varphi$ ، أي  $\beta_1 = 90^\circ - \varphi$ ).

ويمكن حساب  $\beta_{i+1}$  بشكل متكرر من  $\alpha_i$  باستخدام قانون سنيل (Snell) على النحو التالي:

$$(أ19) \quad \beta_{i+1} = \sin^{-1} \left( \frac{n_i}{n_{i+1}} \sin \alpha_i \right)$$

وبدلاً من ذلك، يمكن حساب  $\beta_i$  مباشرةً دون حساب  $\alpha_i$  باستخدام قانون Snell في الإحداثيات القطبية على النحو التالي:

$$(19\text{ب}) \quad \beta_i = \sin^{-1} \left( \frac{n_1 r_1}{n_i r_i} \sin \beta_1 \right)$$

وبالمثل، يمكن حساب  $\alpha_i$  على النحو التالي:

$$(19\text{ج}) \quad \alpha_i = \sin^{-1} \left( \frac{n_1 r_1}{n_i r_{i+1}} \sin \beta_1 \right)$$

في الاتجاه أرض-فضاء، قد تصح المعادلات (19أ) أو (19ب) و(19ج) غير صالحة عند زوايا الارتفاع الظاهرية الأولية  $> 1$  درجة (أي زاوية السمات الأولية الظاهرية،  $\beta_1 > 89^\circ$ ) عندما يقل تدرج الانكسارية الراديوية  $dN/dh$  عن  $-157 \text{ N-unit/km}$ ، وقد يحدث ذلك عند استخدام بيانات المسبار الراديوي من مناطق معينة من العالم المعرضة للانتشار عبر مجار كبيانات وصفية جوية. وفي هذه الحالات، تنعكس الموجة الراديوية بواسطة الغلاف الجوي وتتبع انحناء الأرض (أي تنتقل عبر مجار)، وتكون صيغة مقلوب دالة الجيب في المعادلات (19أ) أو (19ب) و(19ج) أكبر من 1. وتصح المعادلات (19أ) و(19ب) و(19ج) لجميع زوايا الارتفاع الظاهرية غير السالبة عند استخدام أي من الأغلفة الجوية المعيارية المرجعية الستة الواردة في التوصية ITU-R P.835 كمدخلات، لأن هذه الأغلفة الجوية المرجعية تخلو من خاصية الانتشار عبر المجاري في تدرجات الانكسارية.

ويبين الشكل 4 التوهين باتجاه السمات المحسوب بفواصل يبلغ كل منها 1 GHz من أجل غلاف جوي متوسط مرجعي عالمي سنوي ورد في التوصية ITU-R P.835. والغلاف الجوي "المعياري" هو متوسط الغلاف الجوي المرجعي العالمي السنوي وفيه  $\rho_0 = 7.5 \text{ g/m}^3$ ، والغلاف الجوي "الجاف" هو متوسط الغلاف الجوي المرجعي العالمي السنوي وفيه  $\rho_0 = 0 \text{ g/m}^3$ .

### 2.2.2 زوايا الارتفاع الظاهرية السالبة

تفترض المعادلة (13) زيادة العلو بين المحطة الأرضية والفضاء. ولكن بالنسبة لزوايا الارتفاع الظاهرية السالبة من محطة أرضية مرتفعة، ينخفض العلو على طول مسير الانتشار بين المحطة الأرضية والعلو الأدنى للتماس ثم يزيد على طول مسير الانتشار بين العلو الأدنى للتماس والفضاء. ويظهر ذلك في الشكل 3 لمحطة أرضية على علو  $h_1$  بزوايا ارتفاع ظاهرية قدرها  $90^\circ - \beta_1$ .

ومن قانون Snell بالإحداثيات القطبية:

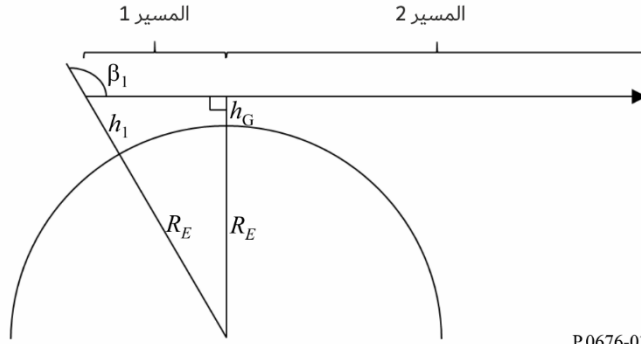
$$(20) \quad n(h_G)(R_E + h_G) = n(h_1)(R_E + h_1) \sin \beta_1$$

وفي هذه الحالة، يمكن تحديد علو التماس،  $h_G$ ، عن طريق حل المعادلة (20) التكراري. ويمكن تحديد مؤشر الانكسار الراديوي  $n(h)$  من المعادلتين (1) و(2) من التوصية ITU-R P.453 للبيانات الوصفية الجوية النوعية التي تسترعي الاهتمام، وهي عادةً إحدى مجموعات البيانات الوصفية المرجعية في التوصية ITU-R P.835.

وصافي التوهين الغازي هو مجموع التوهين الغازي للمسير 1 والمسير 2. والمسير 1 هو التوهين الغازي بين محطة أرضية افتراضية على علو  $h_G$  km والمحطة الأرضية الفعلية على علو  $h_1$  km بزوايا ارتفاع ظاهرية 0 درجة، والمسير 2 هو التوهين الغازي بين محطة أرضية افتراضية على علو  $h_G$  km وأقصى علو جوي (عادةً 100 km) بزوايا ارتفاع ظاهرية 0 درجة.

## الشكل 3

## هندسة علو التماس



P.0676-03

## 3.2.2 تبادلية فضاء-أرض-فضاء بالمثل

بالنسبة إلى مسير بين محطة فضائية ومحطة أرضية، حيث تكون زاوية الارتفاع الظاهرية،  $\varphi_s$ ، في المحطة الفضائية سالبة، وزاوية الارتفاع الظاهرية في المحطة الأرضية  $\varphi_e$ ، ترتبط زاويتا الارتفاع الظاهريتان بما يلي:

$$(أ21) \quad \varphi_s = -\cos^{-1}\left(\frac{r_e n_e}{r_s n_s} \cos \varphi_e\right)$$

و

$$(ب21) \quad \varphi_e = \cos^{-1}\left(\frac{r_s n_s}{r_e n_e} \cos \varphi_s\right)$$

حيث  $n_e$  هو مؤشر الانكسار على علو المحطة الأرضية  $r_e$  هو نصف القطر من مركز الأرض إلى المحطة الأرضية ( $r_e \geq R_E$ )، و  $n_s$  هو مؤشر الانكسار على علو المحطة الفضائية، و  $r_s$  هو نصف القطر من مركز الأرض إلى المحطة الفضائية ( $r_s > r_e$ ). وإذا كان علو المحطة الفضائية أعلى من 100 km فوق سطح الأرض، فإن  $n_s = 1$ .

وبما أن الانتشار عبر الغلاف الجوي تبادلي بالمثل، فإن التوهين الغازي لمسير أرض-فضاء، حيث تكون زاوية الارتفاع الظاهرية في المحطة الفضائية  $\varphi_s$ ، يطابق التوهين الغازي لمسير أرض-فضاء التبادلي بالمثل، حيث زاوية الارتفاع الظاهرية عند المحطة الأرضية  $\varphi_e$ . ونتيجة لذلك، يمكن حساب التوهين الغازي لمسير أرض-فضاء هابط باعتباره التوهين الغازي المقابل لمسير أرض-فضاء الصاعد. وإذا تحققت المتراجحة  $\frac{r_s n_s}{r_e n_e} \cos \varphi_s > 1$  فإن مسير فضاء-أرض لا يتقاطع مع الأرض.

## 4.2.2 الانحناء الجوي

إن إجمالي الانحناء الجوي، أي الانحناء، على طول مسير أرض-فضاء هو:

$$(أ22) \quad Bending = \sum_{i=1}^{i_{max}-1} (\beta_{i+1} - \alpha_i)$$

$$(ب22) \quad = \sum_{i=1}^{i_{max}-1} \left[ \sin^{-1}\left(\frac{n_1 r_1}{n_{i+1} r_{i+1}} \sin \beta_1\right) - \sin^{-1}\left(\frac{n_i r_i}{n_{i+1} r_{i+1}} \sin \beta_1\right) \right]$$

حيث تعني القيمة الموجبة للانحناء أن الشعاع ينحني نحو الأرض. والمعادلة (9) من التوصية ITU-R P.834 هي تقريب لمعادلتين (أ22) و(ب22) لمتوسط الغلاف الجوي المرجعي العالمي السنوي.

## 5.2.2 طول المسير الجوي الزائد

بما أن مؤشر الانكسار التروبوسفيري أكبر من 1، فإن طول المسير الجوي الفعال يتجاوز طول المسير الهندسي، وفي هذه الحالة يكون طول المسير الجوي الزائد،  $\Delta L$ :

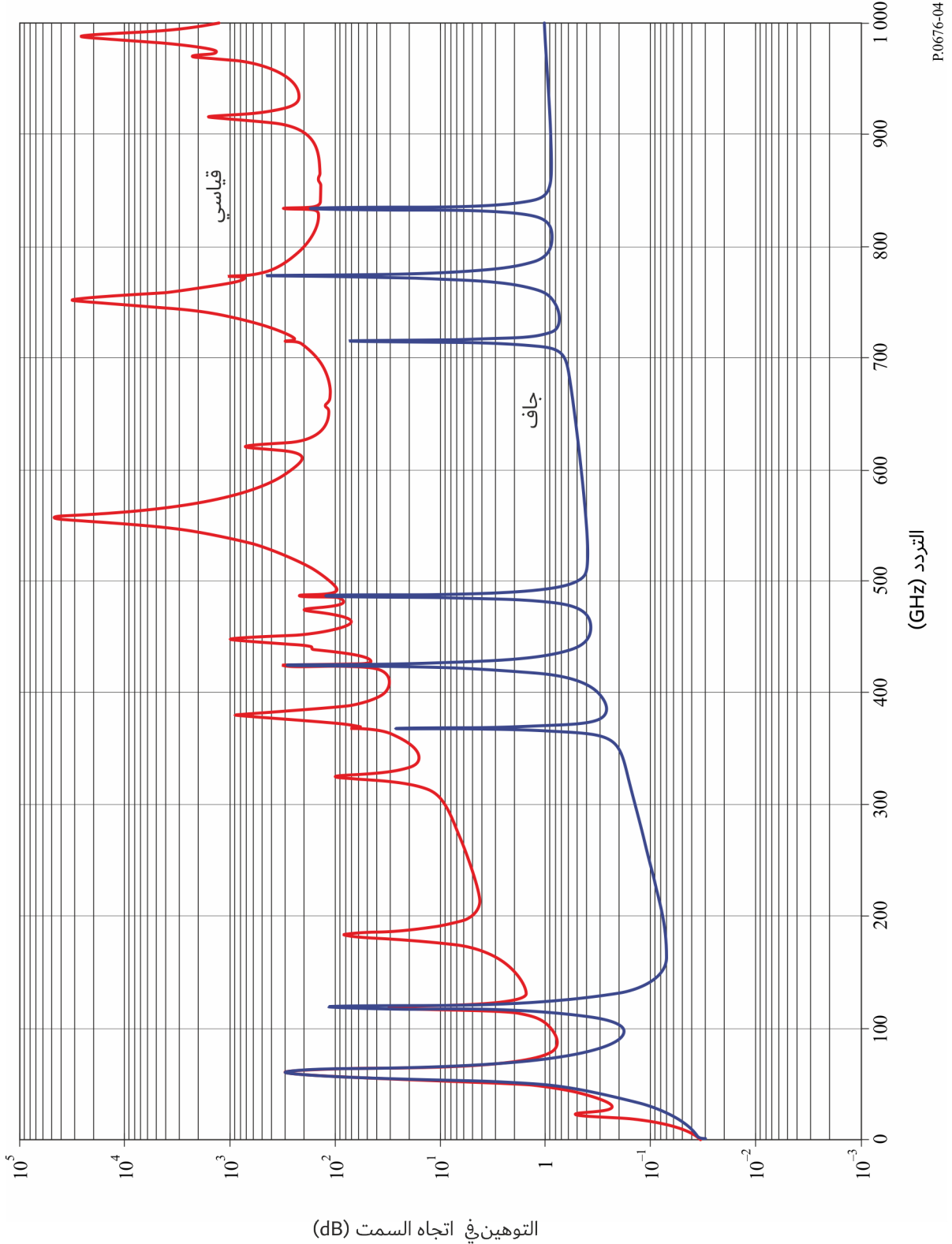


$$(23) \quad \Delta L = \sum_{i=1}^{i_{max}} a_i (n_i - 1) \quad (\text{km})$$

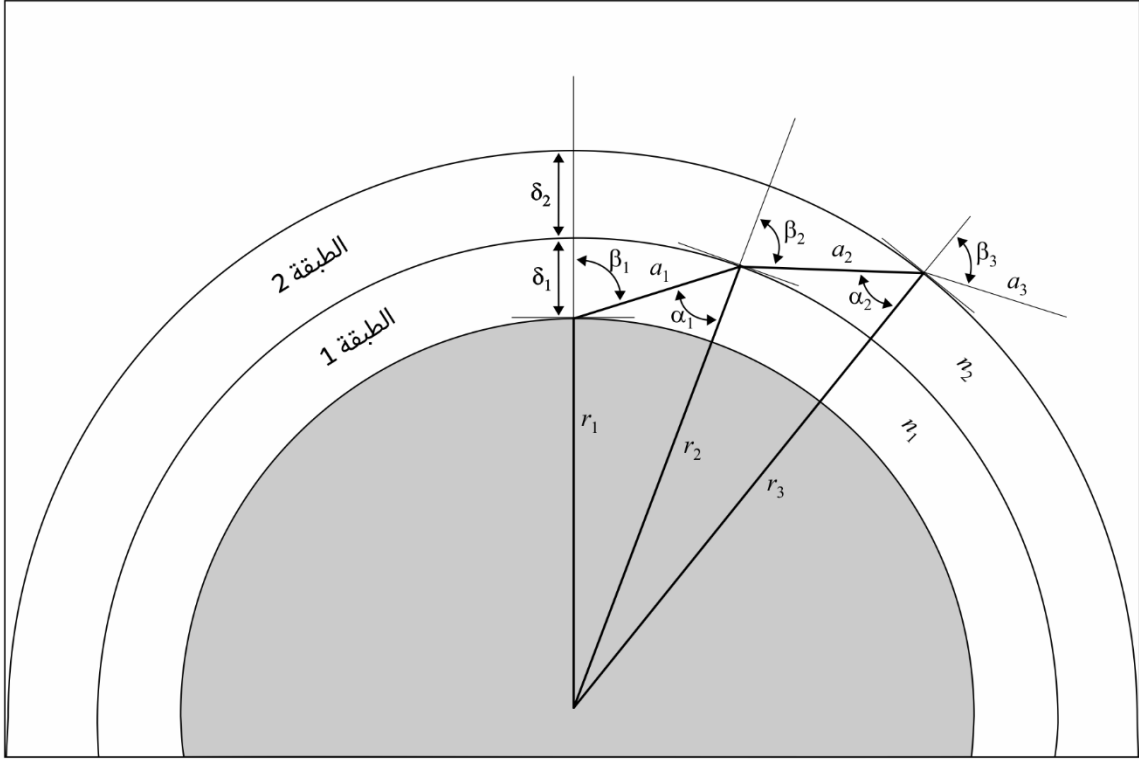
ومصطلح طول المسير الجوي الزائد مرادف لمصطلح طول المسير الراديوي الزائد في التوصية ITU-R P.834؛ وترد في الفقرة 6 من التوصية ITU-R P.834 طريقة للتنبؤ بالطول الزائد للمسير الراديوي كدالة للموقع، ويوم السنة، وزاوية الارتفاع الظاهرية.

الشكل 4

توهين السممت نتيجة للغازات الجوية والمحسوب عند فواصل قيمة كل منها 1 GHz بما فيها مراكز الخط



الشكل 5  
مسير عبر الغلاف الجوي



P.0676-05

### 3 آثار التشتت

إضافة إلى التوهين المشروح في الفقرة السابقة والقائم على الجزء التخيلي للانكسارية المركبة المعتمدة على التردد، يتولد عن الأوكسجين وبخار الماء تشتت يستند إلى الجزء الحقيقي للانكسارية المركبة المعتمدة على التردد. ويوضح هذا التأثير بدلالة تشتت الطور مقابل التردد (درجة/الكيلومتر) أو تأخر الزمرة (بيكوثانية/الكيلومتر) ويمكن حسابه، على غرار التوهين للمسيرات المائلة.

وعلى غرار المعادلة (1)، يعطى تشتت الطور الغازي النوعي،  $\varphi$ ، بواسطة:

$$(24) \quad \varphi = \varphi_o + \varphi_w = -1.2008f(N'_{Oxygen}(f) + N'_{WaterVapour}(f)) \quad (\text{deg/km})$$

حيث  $\varphi_o$  هو تشتت الطور النوعي (درجات/كيلومترات) بسبب الهواء الجاف، و  $\varphi_w$  هو تشتت الطور النوعي بسبب بخار الماء؛ و  $f$  هو التردد (GHz)؛ و  $N'_{WaterVapour}(f)$  هي الأجزاء الحقيقية لانكساريات المعقدة المعتمدة على التردد:

$$(أ25) \quad N'_{Oxygen}(f) = \sum_i (Oxygen) S_i F'_i + N'_D(f)$$

$$(ب25) \quad N'_{WaterVapour}(f) = \sum_i (WaterVapour) S_i F'_i$$

حيث:

و  $S_i$  هي شدة خط الأوكسجين أو بخار الماء  $i^{\text{th}}$  من المعادلة (3)، و  $F'_i$  هو الجزء الحقيقي من عامل شكل خط الأوكسجين أو بخار الماء:

$$(ج25) \quad F'_i = \frac{f}{f_i} \left[ \frac{(f_i - f) + \delta \Delta f}{(f_i - f)^2 + \Delta f^2} - \frac{(f_i + f) + \delta \Delta f}{(f_i + f)^2 + \Delta f^2} \right]$$

وتمتد عمليات الجمع لتشمل جميع الخطوط الطيفية في الجدولين 1 و2.

و  $N'_D(f)$  هو الجزء الحقيقي من الاستمرارية الجافة بسبب امتصاص الأوزون الناتج عن الضغط:

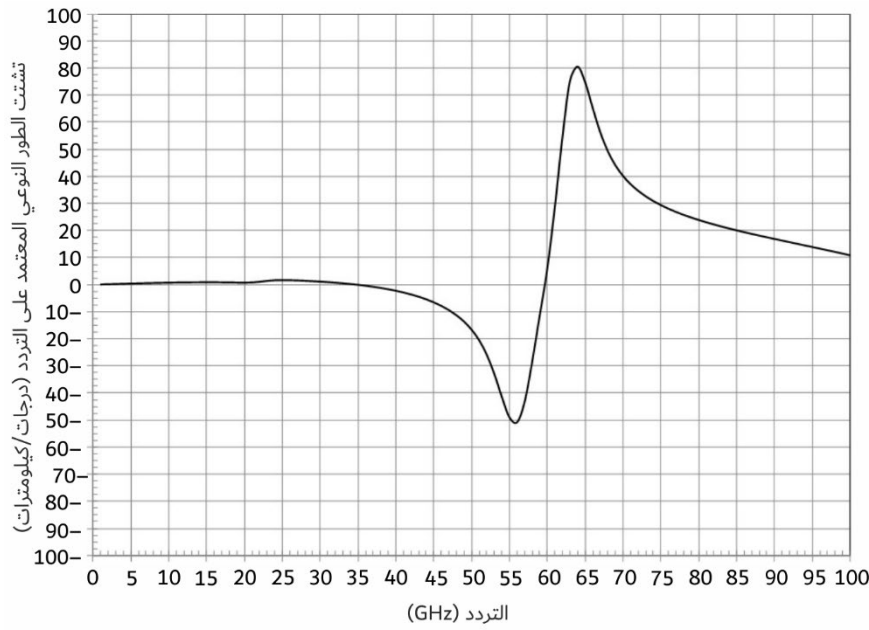
$$(د25) \quad N'_D(f) = \frac{-6.14 \times 10^{-5} p \theta^2 f^2}{f^2 + d^2}$$

ويرد تعريف  $\Delta f$  في المعادلة (6ب)، و  $\delta$  في المعادلة (7)، و  $d$  في المعادلة (9).

ويبين الشكل 6 تشتت الطور النوعي المعتمد على التردد للغلاف الجوي المعياري ( $p = 1013.25 \text{ hPa}$ ,  $\rho = 7.5 \text{ g/m}^3$ ,  $T = 15^\circ\text{C}$ ).

الشكل 6

تشتت الطور النوعي المعتمد على التردد للغلاف الجوي المعياري  
( $p = 1013.25 \text{ hPa}$ ,  $\rho = 7.5 \text{ g/m}^3$ ,  $T = 15^\circ\text{C}$ )



P.0676-06

#### 4 حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة هبوطاً والمتدفقة صعوداً

تعرف حرارة لمعان الموجات المكروية بأنها حرارة الضوضاء عند خرج هوائي بلا خسارة نتيجة اللمعان الجوي الوارد. وترتبط الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء  $S(f)$  بحرارة الضوضاء  $T(f)$  من خلال الدالة  $S(f) = k T(f)$ ، حيث  $k$  هو ثابت بولتزمان. ويمكن حساب حرارة لمعان الموجات المكروية من الفضاء إلى الأرض المتدفقة هبوطاً والناظرة إلى الأعلى وحرارة لمعان الموجات المكروية من الأرض إلى الفضاء المتدفقة صعوداً والناظرة إلى لأسفل على غرار المعادلة (13). وعادة ما تكون الطبقة 1 على سطح الأرض، والطبقة k في الجزء العلوي من الغلاف الجوي (100 km عادة). ومجموع حرارة لمعان الموجات المكروية هو مجموع درجات لمعان الموجات المكروية لكل طبقة جوية مضروبة بالخسارة بين تلك الطبقة الجوية ونقطة الرصد. ويُفترض أن الغلاف الجوي في حالة توازن دينامي حراري محلي وأن التشتت مهمل.

وفي الفقرات التالية، هي حرارة لمعان الموجات المكروية للطبقة رقم j المحددة بواسطة:

$$(26) \quad T_B(f_{GHz}, T_j) = 0.048 f_{GHz} \left[ \frac{1}{\exp\left(\frac{0.048 f_{GHz}}{T_j}\right) - 1} \right] \quad (\text{K})$$

حيث  $T_j$  هي الحرارة الفيزيائية للطبقة رقم  $j^{\text{th}}$ . ويمكن تقريب  $T_B(f_{GHZ}, T_j)$  تقريباً جيداً بواسطة  $T_j$  من أجل  $f_{GHZ} < 0.42 T_j$ ؛ و  $\gamma_j$  هو التوهين النوعي (dB/km) للطبقة رقم  $j^{\text{th}}$  المحدد في المعادلة (1)،  $a_j$  هو طول المسير (km) عبر الطبقة رقم  $j$  المحدد في المعادلة (17).

ويظهر في الشكل 7 الفرق بين الحرارة الفيزيائية،  $T$ ، وحرارة لمعان الموجات المكروية لمصدر جسم أسود،  $T_B$ . وفي تردد معين،  $f_{GHZ}$ ، يؤول هذا الفرق إلى قيمة التردد مضروبةً في المعامل 0,024  $(T - T_B \rightarrow 0.024 f_{GHZ})$  عند ارتفاع الحرارة الفيزيائية،  $T$ .

#### 1.4 حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة هبوطاً

إذا كانت البيانات الوصفية للحرارة الفيزيائية والضغط وبخار الماء على طول المسير معروفة، يمكن حسابها حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة هبوطاً التي تتمثل في مجموع: أ) حرارة لمعان الموجات المكروية الكونية الموهنة بالتوهين الجوي وب) حرارة لمعان الموجات المكروية الجوية المتدفقة هبوطاً، على النحو التالي:

$$T_{downwelling} = T_B(f_{GHZ}, 2.73) 10^{-\left(\frac{\sum_{j=1}^k a_j \gamma_j}{10}\right)} + \sum_{j=1}^k T_B(f_{GHZ}, T_j) \left(10^{\frac{a_j \gamma_j}{10}} - 1\right) 10^{-\left(\frac{\sum_{i=1}^j a_i \gamma_i}{10}\right)} \quad (K) \quad (27)$$

ومع ذلك، قد يكون من الأنسب تنفيذ صافي حرارة لمعان الموجات المكروية كتكرار باستخدام الأسلوب التكراري التالي:

$$T_{B,downwelling} = 0.048 \left[ \frac{f_{GHZ}}{\exp\left(\frac{0.048 f_{GHZ}}{2.73}\right) - 1} \right] \quad \text{الخطوة 1: وضع} \quad (أ27)$$

تكرار الخطوات من 2 إلى 5 من أجل  $j = k$  إلى  $j = 1$  بإنقاص  $j$  بقيمة 1 في كل تكرار:

$$T_{B,downwelling,last} = T_{B,downwelling} \quad \text{الخطوة 2: وضع} \quad (ب27)$$

$$T_B = 0.048 \left[ \frac{f_{GHZ}}{\exp\left(\frac{0.048 f_{GHZ}}{T_j}\right) - 1} \right] \quad \text{الخطوة 3:} \quad (ج27)$$

$$\text{Step 4: Set } L_j = 10^{\frac{-a_j \gamma_j}{10}} \quad \text{الخطوة 4:} \quad (د27)$$

$$T_{B,downwelling} = [T_{B,downwelling,last} L_j + (1 - L_j) T_B] \quad \text{الخطوة 5:} \quad (ه27)$$

حيث K 2,73 هي حرارة الجسم الأسود الخلفية الكونية المكروية خارج الغلاف الجوي.

ويوضح الشكل 8 حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة هبوطاً لمسار السميت في غلاف جوي معياري.

وإذا لم تكن البيانات الوصفية معروفة، يمكن استخدام الأسلوب الوارد في الفقرة 3 من الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.618 لتقدير حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة هبوطاً، بما في ذلك المؤثرات الأخرى من التوهين الكلي في الغلاف الجوي.

ويمكن استخدام التوصية ITU-R P.372 لتحديد حرارة ضوضاء نظام المحطة الأرضية من درجات حرارة اللمعان.

## 2.4 حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة صعوداً

يمكن حساب صافي حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة صعوداً، والذي هو مجموع: (أ) حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة صعوداً في الغلاف الجوي، (ب) حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة هبوطاً في الغلاف الجوي والمنعكسة على سطح الأرض والموهنة بصافي التوهين في الغلاف الجوي، (ج) حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة صعوداً على سطح الأرض والموهنة بالتوهين في الغلاف الجوي، على النحو التالي:

$$(28) \quad T_{B,upwelling} = (\epsilon T_B(f_{GHz}, T_{Earth}) + \rho T_{downwelling}) \times 10^{-\left(\frac{\sum_{j=1}^k a_j \gamma_j}{10}\right)} + \sum_{j=1}^k T_B(f_{GHz}, T_j) \left(10^{\frac{a_j \gamma_j}{10}} - 1\right) 10^{-\left(\frac{\sum_{i=j}^k a_i \gamma_i}{10}\right)} \text{ (K)}$$

ومع ذلك، قد يكون من الأنسب تنفيذ صافي حرارة لمعان الموجات المكروية كتكرار باستخدام الأسلوب التكراري التالي:

$$(أ28) \quad T_{B,upwelling} = \epsilon 0.048 \left[ \frac{f_{GHz}}{\exp\left(\frac{0.048 f_{GHz}}{T_{Earth}}\right)} - 1 \right] + \rho T_{B,downwelling} \text{ الخطوة 1: وضع}$$

تكرار الخطوات من 2 إلى 5 من أجل  $j = 1$  إلى  $j = k$  بزيادة  $j$  بقيمة 1 بعد كل تكرار:

$$(ب28) \quad T_{B,upwelling,last} = T_{B,upwelling} \text{ الخطوة 2: وضع}$$

$$(ج28) \quad T_B = 0.048 \left[ \frac{f_{GHz}}{\exp\left(\frac{0.048 f_{GHz}}{T_j}\right)} - 1 \right] \text{ الخطوة 3: وضع}$$

$$(د28) \quad L_j = 10^{-\frac{a_j \gamma_j}{10}} \text{ الخطوة 4: وضع}$$

$$(هـ28) \quad T_{B,upwelling} = [T_{B,upwelling,last} L_j + (1 - L_j) T_B] \text{ الخطوة 5: وضع}$$

حيث:

$\epsilon$ : انبعاثية سطح الأرض

$\rho$ : انعكاسية سطح الأرض

$$\rho = 1 - \epsilon$$

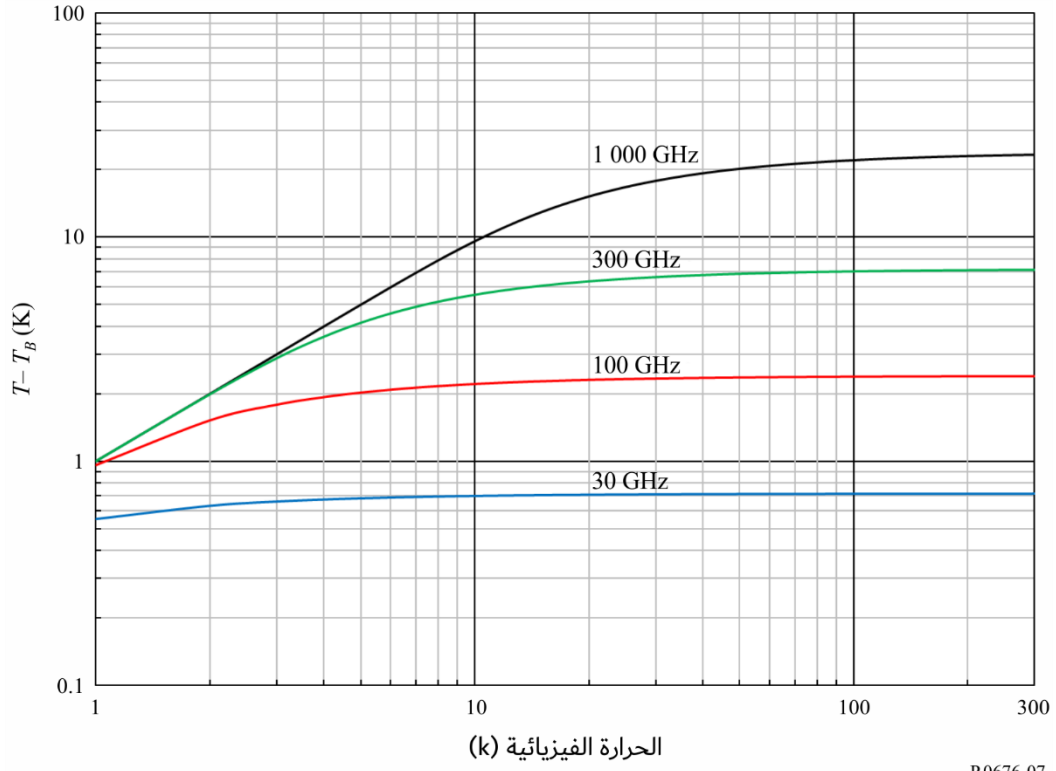
وفي غياب بيانات محلية أو إرشادات أخرى، يمكن استخدام قيمة 0,95 للانبعائية  $\epsilon$ .

ويوضح الشكل 9 حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة صعوداً السممت والغلاف الجوي العالمي السنوي المرجعي المعياري (أي المتوسط)

$$\text{حيث } \epsilon = 0.95 \text{ و } \rho = 0.05 \text{ و } T_{Earth} = 290 \text{ K}$$

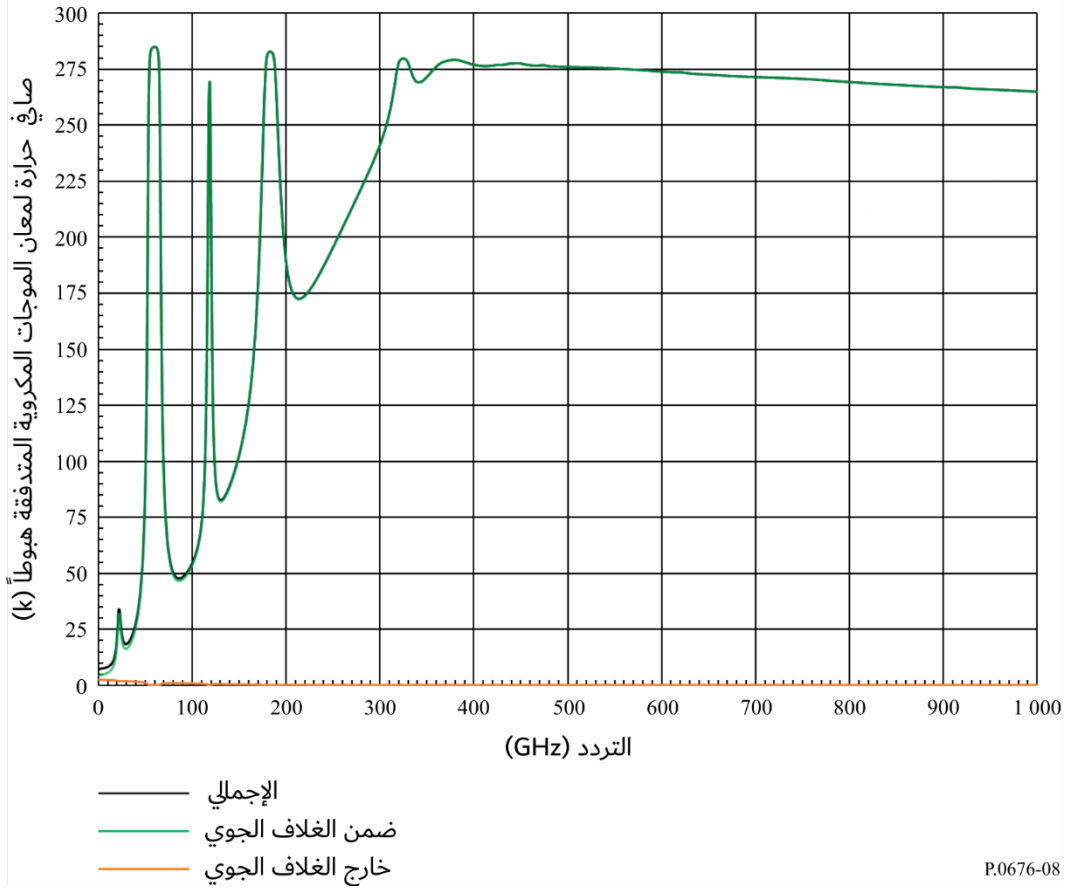
الشكل 7

الفرق بين درجات حرارة اللمعان الفيزيائية وحرارة لمعان الموجات المكروية من مصدر جسم أسود



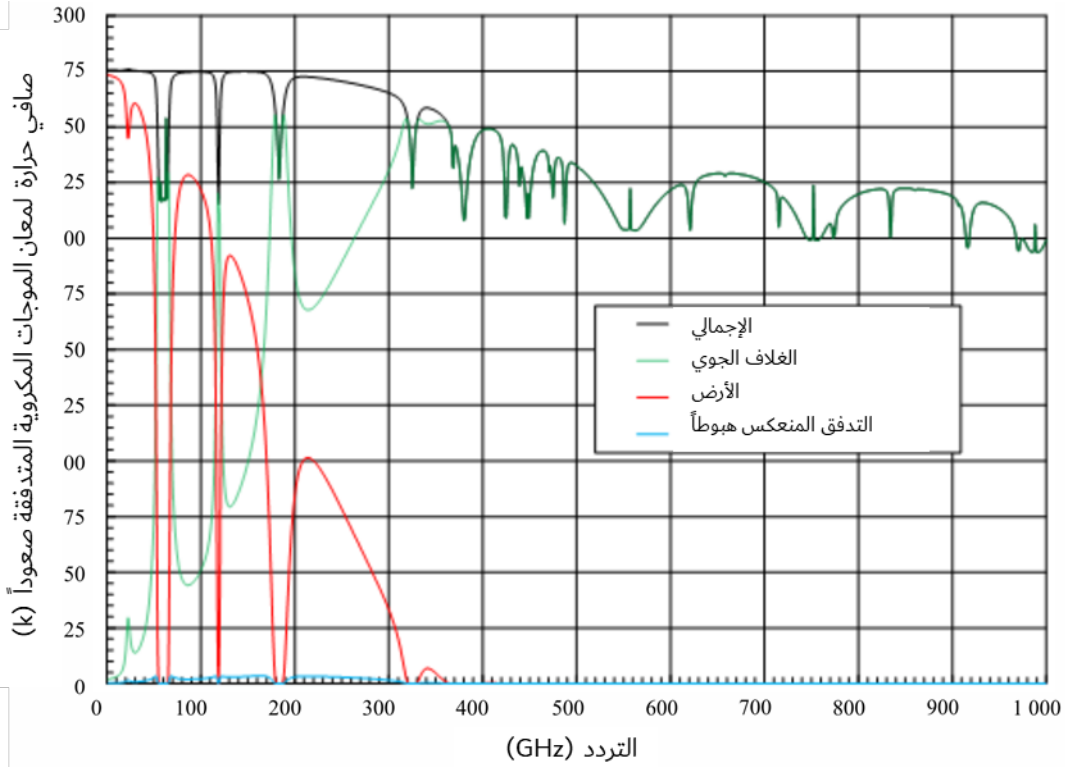
الشكل 8

حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة هبوطاً لمسير السميت في غلاف جوي معياري (مراكز 1 GHz)



الشكل 9

حرارة لمعان الموجات المكروية المتدفقة صعوداً للسمت في غلاف جوي معياري (مراكز 1 GHz)



P.0676-09

## 5 توهين المسير المائل باستخدام البيانات الوصفية الرأسية في الغلاف الجوي

يمكن حساب التوهين الغازي في المسير المائل لأي بيانات وصفية نوعية في الملحق 3 بالتوصية ITU-R P.835 باستخدام الإجراء الوارد في الفقرة 2.2 من الملحق 1 مع مراعاة ما يلي:

- 1 تحويل كثافة بخار الماء  $p$  إلى ضغط جزئي لبخار الماء  $e$  باستخدام المعادلة (4).
- 2 تحويل ضغط الهواء الكلي ( $p_{tot} = p_{dry} + e$ ) إلى ضغط الهواء الجاف،  $p_{dry}$ ، بطرح الضغط الجزئي لبخار الماء،  $e$ .
- 3 حساب التوهين الكلي باستعمال المعادلة (13) حيث تحدد سماكة الطبقة الرأسية في المعادلة (14).
- 4 إذا كان علو سطح الأرض فوق متوسط مستوى سطح البحر غير متاح من البيانات المحلية، يمكن الحصول على تقدير من التوصية ITU-R P.1511.
- 5 ينبغي أن يكون الجمع في المعادلة (13) من علو سطح الأرض فوق متوسط مستوى سطح البحر إلى أقصى علو في مجموعة البيانات.
- 6 ينبغي استكمال المستويات الاثني وثلاثين في كل مجموعة بيانات وصفية داخلياً وخارجياً (على سطح الأرض، إذا لزم الأمر) وفقاً لسماك الطبقة الرأسية المحدد في المعادلة (14) بافتراض ما يلي:
  - أ) علاقة خطية بين لوغاريتم الضغط والعلو.
  - ب) علاقة خطية بين الحرارة والعلو.
  - ج) علاقة خطية بين لوغاريتم كثافة بخار الماء والعلو.



وإذا لزم الأمر، يمكن استخدام المعادلات من (24أ) إلى (24ج) في الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.834 (والخرائط المصاحبة) للاستكمال الداخلي والخارجي لهذه البيانات الوصفية.

7 زاوية الارتفاع عند سطح الأرض أو بالقرب منه هي الزاوية الظاهرية بدلاً من زاوية الارتفاع في الفضاء الطلق. وبالنسبة لزاوية الارتفاع في الفضاء الطلق التي تقل عن أو تساوي 10 درجات، يمكن حساب زاوية الارتفاع الظاهرية من زاوية الارتفاع في الفضاء الطلق باستخدام المعادلة (13) من التوصية ITU-R P.834.

8 يمكن تقدير التوهين الغازي المقدر في المسير المائل عند أي خط عرض وخط طول بين نقاط الشبكة عن طريق الاستكمال الداخلي الثنائي الخطوط للتقديرات المقابلة للتوهين الغازي في المسير المائل عند نقاط الشبكة المحيطة باستخدام الإجراء الوارد في الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.1144. وينبغي أن يكون التوهين الغازي للمسير المائل عند كل نقطة شبكة محيطة من علو سطح الأرض فوق متوسط مستوى سطح البحر عند خط العرض وخط الطول الذي يسترعي الاهتمام حتى أقصى علو في كل مجموعة بيانات وصفية.

## الملحق 2

### التوهين الغازي للمسير المائل في مدى التردد 1-350 GHz

#### قائمة الرموز

التوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين	$A_o$
التوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء	$A_w$
التوهين الغازي الإجمالي للمسير المائل	$A_{total}$
الجزء التخيلي للانكسارية المركبة الناجمة عن الأكسجين	$N_{oxygen}''$
الجزء التخيلي للانكسارية المركبة الناجمة عن بخار الماء	$N_{water vapour}''$
زاوية الارتفاع	$\theta$
احتمال التجاوز	$p$
التوهين الغازي المحدد الناجم عن الأكسجين	$\gamma_o$
التوهين الغازي المحدد الناجم عن بخار الماء	$\gamma_w$
التردد	$f$
ضغط السطح الإجمالي اللحظي (الجوي)	$P_s$
ضغط السطح الإجمالي مقابل احتمال التجاوز	$P_s(p)$
ضغط السطح الجاف اللحظي	$p_s$
متوسط ضغط السطح الجاف	$\bar{p}_s$
درجة حرارة السطح اللحظية	$T_s$
متوسط درجة حرارة السطح	$\bar{T}_s$
درجة حرارة السطح مقابل احتمال التجاوز	$T_s(p)$
كثافة بخار الماء السطحي اللحظية	$\rho_{w_s}$
متوسط كثافة بخار الماء السطحي	$\bar{\rho}_{w_s}$
كثافة بخار الماء السطحي مقابل احتمال التجاوز	$\rho_{w_s}(p)$
الضغط الجزئي لبخار الماء اللحظي	$e_s$

متوسط الضغط الجزئي لبخار الماء	$\bar{e}_s$
متوسط محتوى بخار الماء المتكامل	$V_s$
محتوى بخار الماء المتكامل مقابل احتمال التجاوز	$V_s(p)$
معاملات الارتفاع $h_o$	$a_o, b_o, c_o, d_o$
ارتفاع مكافئ الأكسجين	$h_o$
معاملات الارتفاع $h_w$	$A, B, f_i, a_i, b_i$
ارتفاع مكافئ بخار الماء	$h_w$
معاملات المتغير $K_V$	$a_V, b_V, c_V, d_V$
معامل امتصاص كتلة بخار الماء	$K_V$
معلمة شكل ويول لمحتوى بخار الماء المتكامل	$k_{V_s}$
معلمة مقياس ويول لمحتوى بخار الماء المتكامل	$\lambda_{V_s}$

يحتوي هذا الملحق على أساليب التنبؤ التي تقدر التوهين الغازي للمسير المائل بين سطح الأرض والفضاء لزوايا ارتفاع تبلغ 5 درجات وما فوق وترددات بين 1 و 350 GHz. وتشمل أساليب التنبؤ طرائق التنبؤ اللحظي، حيث يكون ضغط السطح المحلي الإجمالي (الجوي) ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي أو محتوى بخار الماء المتكامل (انظر الحاشية 1) معروفة (مستقاة على سبيل المثال من محطة أرصاد جوية أو بيانات مسابير راديوية)؛ وطرائق التنبؤ الإحصائي، حيث تُعرف قيم احتمال تجاوز ضغط السطح الإجمالي (الجوي) ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي ومحتوى بخار الماء المتكامل ومعلمات مقياس وشكل ويول إما من البيانات المحلية طويلة الأجل أو من الخرائط الرقمية المتكاملة الواردة في التوصية ITU-R P.2145. ويُقدم تقريب ويول للتوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء لاستخدامه في التوصية ITU-R P.1853.

التوهين الغازي للمسير المائل الخالص هو مجموع التوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين،  $A_o$ ، والتوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء،  $A_w$ ؛ أي  $A_{total} = A_o + A_w$ . ويرد في الجدول 3 ملخص لطرائق التنبؤ بالتوهين الغازي للمسير المائل اللحظي والإحصائي. وعلى غرار الملحق 1، لا تشمل طرائق التنبؤ هذه التوهين الغازي الناجم عن نظائر الأكسجين، والأكسجين المثار اهتزازياً، والأوزون، ونظائر الأوزون، والأوزون المثار اهتزازياً، والجزئيات النزرة الأخرى. والتوهين الغازي الناجم عن هذه المكونات الجوية غير مهم نسبياً للمسيرات المائلة النمطية بين سطح الأرض والفضاء.

## 1 طرائق التنبؤ بالتوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين

هناك طريقتان للتنبؤ بالتوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين:

- (1) كما هو موضح في الفقرة 1.1، طريقة للتنبؤ اللحظي عندما يُعرف ضغط السطح الإجمالي (الجوي) ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي من البيانات المحلية المقاسة لحظياً؛
- (2) وكما هو موضح في الفقرة 2.1، طريقة للتنبؤ الإحصائي عندما تُعرف إحصاءات ضغط السطح الإجمالي (الجوي) ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي، إما من البيانات المحلية أو من الخرائط المتكاملة الواردة في التوصية ITU-R P.2145.

## الجدول 3

## ملخص طرائق التنبؤ اللحظي والإحصائي للتوهين الغازي للمسار المائل

طريقة التنبؤ الإحصائي	طريقة التنبؤ اللحظي	
<p>الفقرة 2.1</p> $A_o(f, p) = \frac{\gamma_o(f, \bar{p}_s, \bar{T}_s, \bar{e}_s) \cdot h_o(f, P_s(p), T_s(p), \rho_{w_s}(p))}{\sin \theta}$ <p>حيث:</p> $h_o(f, P_s(p), T_s(p), \rho_{w_s}(p)) = a_o(f) + b_o(f) \cdot T_s(p) + c_o(f) \cdot P_s(p) + d_o(f) \cdot \rho_{w_s}(p)$ <p>و:</p> $\bar{p}_s = \bar{P}_s - \bar{e}_s \bar{e}_s = \frac{\rho_{w_s} \bar{T}_s}{216.7}$	<p>الفقرة 1.1</p> $A_o(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = \frac{\gamma_o(f, p_s, T_s, e_s) \cdot h_o(f, P_s, T_s, \rho_{w_s})}{\sin \theta}$ <p>حيث:</p> $h_o(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = a_o(f) + b_o(f) \cdot T_s + c_o(f) \cdot P_s + d_o(f) \cdot \rho_{w_s}$ <p>و:</p> $p_s = P_s - e_s e_s = \frac{\rho_{w_s} T_s}{216.7}$	التوهين الناجم عن الأكسجين
	<p>الفقرة 1.2</p> $A_w(f, p_s, T_s, \rho_{w_s}) = \frac{\gamma_w(f, p_s, T_s, e_s) \cdot h_w(f)}{\sin \theta}$ <p>حيث:</p> $h_w(f) = A \cdot f + B + \sum_{i=1}^3 \frac{a_i}{(f - f_i)^2 + b_i}$ <p>و:</p> $p_s = P_s - e_s e_s = \frac{\rho_{w_s} T_s}{216.7}$	التوهين الناجم عن بخار الماء
<p>الفقرة 3.2</p> $A_w(f, p) = \frac{K_V(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) \cdot V_s(p)}{\sin \theta}$ <p>حيث:</p> $K_V(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) = a_V(f) + b_V(f) \cdot \bar{\rho}_{w_s} + c_V(f) \cdot \bar{T}_s + d_V(f) \cdot \bar{P}_s$	<p>الفقرة 2.2</p> $A_w(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = \frac{K_V(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) \cdot V_s}{\sin \theta}$ <p>حيث:</p> $K_V(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = a_V(f) + b_V(f) \cdot \rho_{w_s} + c_V(f) \cdot T_s + d_V(f) \cdot P_s$	

## 1.1 طريقة التنبؤ بالتوهين الغازي اللحظي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين

التوهين الغازي اللحظي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين المتنبأ به،  $A_o$ :

$$(29) \quad A_o(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = \frac{\gamma_o(f, p_s, T_s, e_s) \cdot h_o(f, P_s, T_s, \rho_{w_s})}{\sin \theta}$$

حيث:

$f$ : التردد المقصود، بوحدهات GHz

$P_s$ : ضغط السطح الإجمالي اللحظي (الجوي)، بوحدهات hPa، في الموقع المرغوب

$e_s = \frac{\rho_{w_s} T_s}{216.7}$ : الضغط الجزئي لبخار الماء السطحي اللحظي، بوحدهات hPa، في الموقع المرغوب، حيث

$p_s = P_s - e_s$ : ضغط السطح الجاف اللحظي، بوحدهات hPa، في الموقع المرغوب،

$T_s$ : درجة حرارة السطح اللحظية، بوحدهات K، في الموقع المرغوب

$\rho_{w_s}$ : كثافة بخار الماء السطحي اللحظية، بوحدهات g/m<sup>3</sup>، في الموقع المرغوب

$\theta$ : زاوية الارتفاع

$\gamma_o$ : التوهين الغازي المحدد الناجم عن الأكسجين، بوحدهات dB/km، يُعطى بالمعادلة:

$$(30) \quad \gamma_o = 0.1820 f N^{''}{}_{oxygen}(f)$$

الجزء التخيلي للانكسارية الراديوية المركبة الناتجة عن الأكسجين والمعطاة بالمعادلة (أ2) بالملحق 1؛ حيث:

$$(31) \quad h_o(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = a_o(f) + b_o(f) \cdot T_s + c_o(f) \cdot P_s + d_o(f) \cdot \rho_{w_s}$$

المعاملات  $a_o$  و  $b_o$  و  $c_o$  و  $d_o$  عند التردد المرغوب ينبغي استكمالها خطياً بين الترددات الواردة في الجزء 1 من ملف البيانات، وهو جزء لا يتجزأ من هذه التوصية<sup>3</sup>. ويشمل ملف البيانات المعاملات  $a_o$  و  $b_o$  و  $c_o$  و  $d_o$  للترددات بين 1 و 350 GHz بخطوات 0,5 GHz وتردد إضافي يساوي 118,75 GHz.

## 2.1 طريقة التنبؤ بالتوهين الغازي الإحصائي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين

التوهين الغازي اللحظي للمسير المائل الناجم عن الأكسجين المتنبأ به،  $A_o$ :

$$(32) \quad A_o(f, p) = \frac{\gamma_o(f, \bar{p}_s, \bar{T}_s, \bar{e}_s) \cdot h_o(f, P_s(p), T_s(p), \rho_{w_s}(p))}{\sin \theta}$$

حيث:

$f$ : التردد المقصود، بوحدهات GHz

$\bar{P}_s$ : متوسط ضغط السطح الإجمالي (الجوي)، بوحدهات hPa، في الموقع المرغوب

$\bar{e}_s$ : متوسط الضغط الجزئي لبخار الماء السطحي اللحظي، بوحدهات hPa، في الموقع المرغوب،

حيث:

$$\bar{e}_s = \frac{\bar{\rho}_{w_s} \bar{T}_s}{216.7}$$

$\bar{p}_s = \bar{P}_s - \bar{e}_s$ : متوسط ضغط السطح الجاف، بوحدهات hPa، في الموقع المرغوب،

$\bar{T}_s$ : متوسط درجة حرارة السطح، بوحدهات K، في الموقع المرغوب

<sup>3</sup> يمكن الاطلاع أيضاً على الجزأين 1 و 2 من ملفات البيانات هنا: <https://www.itu.int/oth/R1101000002/en>

$\overline{\rho_{w_s}}$ : متوسط كثافة بخار الماء السطحي، بوحدة  $\text{g/m}^3$ ، في الموقع المرغوب

$p$ : احتمال التجاوز (CCDF)<sup>4</sup> المقصود كنسبة مئوية

$P_s(p)$ : ضغط السطح الإجمالي (الجوي) عند احتمال التجاوز  $p$ ، بوحدة hPa، في الموقع المرغوب

$T_s(p)$ : درجة حرارة السطح عند احتمال التجاوز  $p$ ، بوحدة K، في الموقع المرغوب

$\rho_{w_s}(p)$ : كثافة بخار الماء السطحي عند احتمال التجاوز  $p$ ، بوحدة  $\text{g/m}^3$ ، في الموقع المرغوب

$\theta$ : زاوية الارتفاع

$\gamma_o$ : التوهين الغازي المحدد الناجم عن الأكسجين، بوحدة dB/km، يُعطى بالمعادلة:

$$(33) \quad \gamma_o = 0.1820 f N^{''}{}_{oxygen}(f)$$

الجزء التخليبي للانكسارية الراديوية المركبة الناتجة عن الأكسجين والمعطاة بالمعادلة (أ2) بالملحق 1؛ حيث:

$$(34) \quad h_o(f, P_s(p), T_s(p), \rho_{w_s}(p)) = a_o(f) + b_o(f) \cdot T_s(p) + c_o(f) \cdot P_s(p) + d_o(f) \cdot \rho_{w_s}(p)$$

المعاملات  $a_o$  و  $b_o$  و  $c_o$  و  $d_o$  عند التردد المرغوب ينبغي استكمالها خطياً بين الترددات الواردة في الجزء 1 من ملف البيانات، وهو جزء لا يتجزأ من هذه التوصية. ويشمل ملف البيانات المعاملات  $a_o$  و  $b_o$  و  $c_o$  و  $d_o$  للترددات بين 1 و 350 GHz بخطوات 0,5 GHz وتردد إضافي يساوي 118,75 GHz.

## 2 طرائق التنبؤ بالتوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء

هناك أربع طرائق للتنبؤ بالتوهين الغازي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء:

(1) كما هو موضح في الفقرة 1.2، طريقة للتنبؤ اللحظي، حيث تُعرف القيم الإجمالية لضغط السطح (الجوي) ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي من بيانات محلية مقاسة لحظياً؛

(2) كما هو موضح في الفقرة 2.2، طريقة للتنبؤ اللحظي، حيث تُعرف القيم الإجمالية لضغط السطح (الجوي) ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي ومحتوى بخار الماء المتكامل من بيانات محلية مقاسة لحظياً؛

(3) كما هو موضح في الفقرة 3.2، طريقة للتنبؤ الإحصائي، حيث تُعرف إحصاءات القيم الإجمالية لضغط السطح (الجوي) ودرجة حرارة السطح وكثافة بخار الماء السطحي ومحتوى بخار الماء المتكامل إما من بيانات محلية أو من خرائط متكاملة في الموقع المطلوب في التوصية ITU-R P.2145؛

(4) كما هو موضح في الفقرة 4.2، تقريب ويول لطريقة التنبؤ الإحصائي للمسير المائل، حيث تُعرف معلمتا مقياس وشكل ويول، إما من بيانات محلية أو من خرائط متكاملة في الموقع المطلوب في التوصية ITU-R P.2145.

إذا كانت كثافة بخار الماء السطحي اللحظية ومحتوى بخار الماء المتكامل اللحظي متماثلين بشكل متزامن، ينبغي استخدام طريقة التنبؤ اللحظي ببخار الماء باستخدام محتوى بخار الماء المتكامل اللحظي.

### 1.2 طريقة التنبؤ بالتوهين الغازي اللحظي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء

التوهين الغازي اللحظي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء المتنبأ به،  $A_w$ :

$$(35) \quad A_w(f, p_s, T_s, \rho_{w_s}) = \frac{\gamma_w(f, p_s, T_s, e_s) \cdot h_w(f)}{\sin \theta}$$

4 مصطلحا احتمال التجاوز ودالة التوزيع التراكمي التكميلية (CCDF) مترادفان.

حيث:

- $f$ : التردد المقصود، بوحدة GHz
- $P_s$ : ضغط السطح الإجمالي اللحظي (الجوي)، بوحدة hPa، في الموقع المرغوب
- $e_s = \frac{\rho_{w_s} T_s}{216.7}$ : الضغط الجزئي لبخار الماء السطحي اللحظي، بوحدة hPa، في الموقع المرغوب، حيث
- $p_s = P_s - e_s$ : ضغط السطح الجاف اللحظي، بوحدة hPa، في الموقع المرغوب
- $T_s$ : درجة حرارة السطح اللحظية، بوحدة K، في الموقع المرغوب
- $\rho_{w_s}$ : كثافة بخار الماء السطحي اللحظية، بوحدة  $g/m^3$ ، في الموقع المرغوب
- $\theta$ : زاوية الارتفاع
- $\gamma_o$ : التوهين الغازي المحدد الناجم عن بخار الماء، بوحدة dB/km، يُعطى بالمعادلة:

$$(36) \quad \gamma_w = 0.1820 f N''_{water\ vapour}(f)$$

الجزء التخيلي للانكسارية الراديوية المركبة الناتجة عن بخار الماء والمعطاة بالمعادلة (2ب) بالملحق 1؛ حيث:

$$(37) \quad h_w(f) = A \cdot f + B + \sum_{i=1}^3 \frac{a_i}{(f-f_i)^2 + b_i}$$

حيث  $A = 5.6585 \times 10^{-5}$  و  $B = 1.8348$ ، وتُعرض المعاملات  $f_i$  و  $a_i$  و  $b_i$  في الجدول 4.

الجدول 4

المعاملات  $f_i$  و  $a_i$  و  $b_i$

$b_i$	$a_i$	(GHz) $f_i$	i
2,7649	2,6846	22,235080	1
4,9219	5,8905	183,310087	2
3,0748	2,9810	325,152888	3

## 2.2 طريقة التنبؤ رقم 2 بالتوهين الغازي اللحظي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء

التوهين الغازي اللحظي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء المتنبأ به،  $A_w$ :

$$(38) \quad A_w(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = \frac{K_V(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) \cdot V_s}{\sin \theta}$$

حيث:

- $f$ : التردد المقصود، بوحدة GHz
- $P_s$ : ضغط السطح الإجمالي اللحظي (الجوي)، بوحدة hPa، في الموقع المرغوب
- $T_s$ : درجة حرارة السطح اللحظية، بوحدة K، في الموقع المرغوب
- $\rho_{w_s}$ : كثافة بخار الماء السطحي اللحظية، بوحدة  $g/m^3$ ، في الموقع المرغوب
- $V_s$ : محتوى بخار الماء المتكامل، بوحدة  $kg/m^2$ ، في الموقع المرغوب
- $\theta$ : زاوية الارتفاع

و

$$(39) \quad K_V(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = a_V(f) + b_V(f) \cdot \rho_{w_s} + c_V(f) \cdot T_s + d_V(f) \cdot P_s$$

المعاملات  $a_V$  و  $b_V$  و  $c_V$  و  $d_V$  عند التردد المرغوب ينبغي استكمالها خطياً بين الترددات الواردة في الجزء 2 من ملف البيانات، وهو جزء لا يتجزأ من هذه التوصية<sup>5</sup>. ويحتوي ملف البيانات على المعاملات  $a_V$  و  $b_V$  و  $c_V$  و  $d_V$  في الأعمدة 2 و 3 و 4 و 5، على التوالي للترددات بين 1 و 350 GHz بخطوات تصاعدية قيمتها 0,5 GHz في العمود 1.

### 3.2 طريقة التنبؤ بالتوهين الغازي الإحصائي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء

التوهين الغازي الإحصائي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء المتنبأ به،  $A_w$ :

$$(40) \quad A_w(f, p) = \frac{K_V(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) \cdot V_s(p)}{\sin \theta}$$

حيث:

$f$ : التردد المقصود، بوحدة GHz

$\bar{P}_s$ : متوسط ضغط السطح الإجمالي (الجوي)، بوحدة hPa، في الموقع المرغوب

$\bar{T}_s$ : متوسط درجة حرارة السطح، بوحدة K، في الموقع المرغوب

$\bar{\rho}_{w_s}$ : متوسط كثافة بخار الماء السطحي، بوحدة g/m<sup>3</sup>، في الموقع المرغوب

$p$ : احتمال التجاوز (CCDF) المقصود كنسبة مئوية

$V_s(p)$ : محتوى بخار الماء المتكامل عند احتمال التجاوز  $p$ ، بوحدة kg/m<sup>2</sup> أو mm، من سطح الأرض عند الموقع المرغوب

$\theta$ : زاوية الارتفاع

و

$$(41) \quad K_V(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) = a_V(f) + b_V(f) \cdot \bar{\rho}_{w_s} + c_V(f) \cdot \bar{T}_s + d_V(f) \cdot \bar{P}_s$$

المعاملات  $a_V$  و  $b_V$  و  $c_V$  و  $d_V$  عند التردد المرغوب ينبغي استكمالها خطياً بين الترددات الواردة في الجزء 2 من ملف البيانات، وهو جزء لا يتجزأ من هذه التوصية. ويحتوي ملف البيانات على المعاملات  $a_V$  و  $b_V$  و  $c_V$  و  $d_V$  في الأعمدة 2 و 3 و 4 و 5، على التوالي للترددات بين 1 و 350 GHz بخطوات تصاعدية قيمتها 0,5 GHz في العمود 1.

### 4.2 تقريب ويبول للتوهين الغازي الإحصائي للمسير المائل الناجم عن بخار الماء

تقريب ويبول للتوهين الغازي الإحصائي للمسير المائل المتنبأ به الناجم عن بخار الماء،  $A_w$ :

$$(42) \quad A_w(f, p) = \frac{\lambda_{V_s} \cdot K_V(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) \cdot \left[ -\ln\left(\frac{p}{100}\right) \right]^{\frac{1}{k_{V_s}}}}{\sin \theta}$$

حيث:

$f$ : التردد المقصود، بوحدة GHz

$\bar{P}_s$ : متوسط ضغط السطح الإجمالي (الجوي)، بوحدة hPa، في الموقع المرغوب

$\bar{T}_s$ : متوسط درجة حرارة السطح، بوحدة K، في الموقع المرغوب

- $\overline{\rho_{w_s}}$ : متوسط كثافة بخار الماء السطحي، بوحدات  $g/m^3$ ، في الموقع المرغوب
- $p$ : احتمال التجاوز (CCDF) المقصود كنسبة مئوية
- $\lambda_{V_s}$ : معلمة مقياس ويبول لبخار الماء السطحي عند الموقع المرغوب
- $k_{V_s}$ : معلمة شكل ويبول لبخار الماء السطحي عند الموقع المرغوب
- $\theta$ : زاوية الارتفاع

و

$$(43) \quad K_V(f, \overline{P_s}, \overline{T_s}, \overline{\rho_{w_s}}) = a_V(f) + b_V(f) \cdot \overline{\rho_{w_s}} + c_V(f) \cdot \overline{T_s} + d_V(f) \cdot \overline{P_s}$$

المعاملات  $a_V$  و  $b_V$  و  $c_V$  و  $d_V$  عند التردد المرغوب ينبغي استكمالها خطأً بين الترددات الواردة في الجزء 2 من ملف البيانات، وهو جزء لا يتجزأ من هذه التوصية. ويحتوى ملف البيانات على المعاملات  $a_V$  و  $b_V$  و  $c_V$  و  $d_V$  في الأعمدة 2 و 3 و 4 و 5، على التوالي للترددات بين 1 و 350 GHz بخطوات تصاعدية قيمتها 0,5 GHz في العمود 1.