**التوصيـة ITU-R  P.676-11  
(2016/09)**

**التوهين الناجم عن الغازات الجوية**

**السلسلة P**

**انتشار الموجات الراديوية**

**تمهيـد**

يضطلع 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 لمدى 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)

يرد 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 الكهرتقنية الدولية (ITU‑T/ITU‑R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU‑R 1. وترد الاستمارات 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](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>) | |
| **السلسلة** | **العنـوان** |
| **BO** البث الساتلي | |
| **BR** التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | |
| **BS** الخدمة الإذاعية (الصوتية) | |
| **BT** الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | |
| **F** الخدمة الثابتة | |
| **M** الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | |
| **P انتشار الموجات الراديوية** | |
| **RA** علم الفلك الراديوي | |
| **RS** أنظمة الاستشعار عن بُعد | |
| **S** الخدمة الثابتة الساتلية | |
| **SA** التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | |
| **SF** تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | |
| **SM** إدارة الطيف | |
| **SNG** التجميع الساتلي للأخبار | |
| **TF** إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت | |
| **V** المفردات والمواضيع ذات الصلة | |

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

*النشر الإلكتروني*جنيف، 2017

© ITU 2017

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من  
الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصيـة ITU-R P.676-11

التوهين الناجم عن الغازات الجوية

(المسألة ITU-R 201/3)

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

مجال التطبيق

تعرض هذه التوصية أساليب تقدير التوهين الناجم عن الغازات الجوية على مسيرات الأرض والمسيرات المائلة باستعمال:

أ ) تقدير التوهين الناجم عن الغازات الجوية المحسوب بجمع فرادى خطوط الامتصاص الصالحة بالنسبة لمدى التردد GHz 1 000‑1؛

ب) أسلوب مبسط تقريب‍ي لتقدير التوهين الغازي المنطبق في مدى التردد GHz 350-1.

مصطلحات أساسية

امتصاص غازي، توهين محدد، توهين المسير المائل، التوهين الكلي، بخار الماء، الأوكسجين، الهواء الجاف

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

*أ )* ضرورة تقدير توهين الغازات الجوية على مسيرات الأرض والمسيرات المائلة،

توصـي

**1** بأن تستعمل للتطبيقات العامة الإجراء الوارد في الملحق 1 لحساب التوهين بالغازات الجوية على ترددات تصل حتى GHz 1 000؛

**2** بأن يستعمل الإجراء الأبسط حسابياً الوارد في الملحق 2 لإجراء تقدير تقريب‍ي للتوهين الناجم عن الغازات الجوية في مدى الترددات بين 1 وGHz 350.

دليل إرشادي إلى هذه التوصية

تقدم هذه التوصية الأساليب الثلاثة التالية للتنبؤ بالتوهين الغازي النوعي وعلى المسير الناتج عن الأوكسجين وبخار الماء:

1 حساب التوهين الغازي النوعي وعلى المسير باستخدام طريقة جمع مساهمات خطوط الامتصاص الواردة في الملحق 1 بافتراض الضغط الجوي ودرجة الحرارة وكثافة بخار الماء مقابل الارتفاع؛

2 تقدير تقريبي للتوهين الغازي النوعي وعلى المسير على النحو الوارد في الملحق 2 بافتراض كثافة بخار الماء على سطح الأرض؛

3 تقدير تقريبي لتوهين المسير على النحو الوارد في الملحق 2 بافتراض المحتوى المتكامل لبخار الماء عبر المسير.

ويمكن لطرائق التنبؤ هذه استعمال بيانات الأرصاد الجوية المحلية أو الظروف الجوية المرجعية أو خرائط الأرصاد الجوية المقابلة لاحتمال مطلوب للتجاوز والواردة في توصيات أخرى من سلسلة التوصيات P لقطاع الاتصالات الراديوية، وذلك في حالة عدم توفر البيانات المحلية.

التوهين النوعي

المعادلة (1) بالملحق 1 القابلة للتطبيق على الترددات حتى GHz 1 000 أو جمع المعادلتين (22) و(23) بالملحق 2 وهو ما يمكن تطبيقه على الترددات حتى GHz 350، يمكن استعمالها للتنبؤ بالتوهين المحدد. وتحتاج الطريقتان إلى الضغط ودرجة الحرارة وكثافة بخار الماء في الموقع المحدد. وفي حالة عدم وجود بيانات محلية، يمكن أن تستخدم بدلاً من الكثافة المرجعية القياسية لبخار الماء على السطح عند مستوى الأرض البالغة g/m3 7,5، توليفة من الآتي: أ )  المتوسط السنوي للظروف الجوية المرجعية العالمية الواردة في التوصية ITU‑R P.835، وب)  خريطة المتوسط السنوي لدرجة حرارة سطح الأرض الواردة في التوصية ITU‑R P.1510، وج)  خرائط كثافة بخار الماء على سطح الأرض مقابل احتمال التجاوز الواردة في التوصية ITU‑R P.836.

توهين المسير المائل (الاتجاه أرض-فضاء)

يمكن استخدام المعادلة (20) بالملحق 1 أو المعادلتين (28) أو (29) بالملحق 2.

• تتطلب المعادلة (20) بالملحق 1 معرفة مواصفات درجة الحرارة والضغط وكثافة بخار الماء عبر المسير. وفي حالة عدم توفر بيانات المواصفات المحلية، يمكن استعمال مواصفات الظروف الجوية المرجعية الواردة في التوصية ITU‑R P.835. ويمكن أن تستخدم بدلاً من الكثافة المرجعية القياسية لبخار الماء على السطح عند مستوى الأرض البالغة g/m3 7,5، خرائط كثافة بخار الماء على سطح الأرض مقابل احتمال التجاوز الواردة في التوصية ITU‑R P.836.

• تتطلب المعادلة (28) بالملحق 2 معرفة الضغط ودرجة الحرارة وكثافة بخار الماء على سطح الأرض. والمعادلة (28) عبارة عن تقريب للمعادلة (20) يمكن تطبيقها على الترددات حتى GHz 350 بافتراض المتوسط السنوي للظروف الجوية المرجعية العالمية وقيمة عشوائية كثافة بخار الماء على سطح الأرض بقيمة أسيه سالبة لكثافة بخار الماء مقابل الارتفاع. ويمكن استخدام المعادلة (28) بالملحق 2 للتنبؤ: أ )  بالتوهين الغازي اللحظي لقيمة محددة من الضغط ودرجة الحرارة وكثافة بخار الماء على السطح أو ب)  التوهين الغازي المقابل لكثافة بخار الماء على السطح عند احتمال مطلوب للتجاوز. وفي حالة عدم وجود بيانات محلية لكثافة بخار الماء على السطح، يمكن استخدام خرائط كثافة بخار الماء على السطح الواردة في التوصية ITU‑R P.836.

• تتطلب المعادلة (29) بالملحق 2 معرفة درجة الحرارة والضغط على السطح والمحتوى المتكامل لبخار الماء عبر المسير. وكما هو الحال مع المعادلة (28) بالملحق 2، يمكن استخدام المعادلة (29) بالملحق 2 للتنبؤ: أ )  بالتوهين الغازي اللحظي لقيمة محددة من الضغط ودرجة الحرارة على السطح والمحتوى المتكامل لبخار الماء، أو ب)  التوهين الغازي المقابل للمحتوى المتكامل لبخار الماء عند احتمال مطلوب للتجاوز. وفي حالة عدم توفر بيانات محلية للمحتوى المتكامل لبخار الماء، يمكن استخدام خرائط المحتوى المتكامل لبخار الماء الواردة في التوصية ITU‑R P.836.

في حالة توفر بيانات كثافة بخار الماء على السطح والمحتوى المتكامل لبخار الماء، فإن المعادلة (29) الملحق 2 مع استعمال البيانات المحلية للمحتوى المتكامل لبخار الماء تعتبر أكثر دقة من المعادلة (28) بالملحق 2 مع استعمال البيانات المحلية لكثافة بخار الماء. وبالمثل، في حالة عدم توفر بيانات محلية، فإن المعادلة (29) بالملحق 2 مع استعمال خرائط المحتوى المتكامل لبخار الماء الواردة في التوصية ITU‑R P.836، تعتبر أكثر دقة من المعادلة (28) بالملحق 2 مع استعمال خرائط كثافة بخار الماء على السطح الواردة في التوصية ITU‑R P.836.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | الملحق 1 المعادلة (20) | الملحق 2 المعادلة (28) | الملحق 2 المعادلة (29) |
| مدى الترددات | GHz 1 000≥ | GHz 350≥ | |
| الدقة | الأفضل في مجموع كل خط على حدة | تقريب | |
| الضغط مقابل الارتفاع | قيم عشوائية | مواصفة المتوسط السنوي للظروف الجوية المرجعية العالمية | |
| درجة الحرارة مقابل الارتفاع |
| كثافة بخار الماء مقابل الارتفاع | القيمة السطحية مع مواصفة أسية سالبة مقابل الارتفاع | المحتوى المتكامل لبخار الماء بدلاً من كثافة بخار الماء مقابل الارتفاع |

الملحق 1  
  
حساب التوهين الناجم عن الغازات الجوية بواسطة جمع مساهمات خطوط الامتصاص

# 1 التوهين النوعي

إن أدق طريقة لتقدير التوهين النوعي الذي يعزى إلى الهواء الجاف وبخار الماء في الترددات التي تصل إلى GHz 1 000 لأي قيمة من قيم الضغط والحرارة والرطوبة هي جمع مساهمات كل خط من خطوط الطنين الصادرة عن الأوكسجين وبخار الماء مع عوامل صغيرة إضافية مطابقة لطيف Debye اللاطنان الصادر عن الأوكسجين تحت GHz 10، وللتوهين المستحث من ضغط الآزوت فوق GHz 100 وللطيف المستمر لبخار الماء الذي يسمح بمراعاة القيم المقيسة لامتصاص بخار الماء التي تفوق القيم المتوقعة. ويوضح الشكل 1 التوهين النوعي باستخدام طريقة التنبؤ، والمحسوب من 0 إلى GHz 1 000 بفواصل يبلغ كل منها GHz 1، من أجل ضغط مقداره hPa 1 013,25 ودرجة حرارة هي °15 مئوية وذلك في حالتي كثافة بخار الماء البالغة g/m3 7,5 والجو القياسي (الجاف).

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

وفيما يخص التقييم السريع والتقريب‍ي للتوهين النوعي في ترددات تصل إلى GHz 350 وفي حالات لا تتطلب دقة كبيرة، يمكن استعمال الخوارزميات المبسطة الواردة في الملحق 2 من أجل مديات محدودة تتعلق بظروف الأرصاد الجوية.

تعطي العبارة التالية التوهين النوعي بالغازات الجوية:

(1) 

وهنا γ*o* وγ*w* 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 و هما الجزآن التخيليان من الانكسارية المركبة المرتبطة بالتردد:

(2a)

(2b)

*Si* هي شدة الخط رقم *i* للأوكسجين أو بخار الماء، و*Fi* عامل الشكل لخط الأوكسجين أو بخار الماء، ويغطي المجموع كل الخطوط الواردة في الجدولين 1 و2؛

** 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) 

لبخار الماء

للأوكسجين

حيث:

*p*: ضغط الجو الجاف (hPa)

*e*: الضغط الجزئي لبخار الماء معبراً عنه (hPa) (الضغط الجوي الكلي، (*ptot = p + e*

=θ 300/*T*

*T*: درجة الحرارة (K).

الشـكل 1

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



جاف

قياسي

التردد (GHz)

التوهين النوعي (dB/km)

الشـكل 2

توهين نوعي في مدى الترددات GHz 70-50 في الارتفاعات المبينة، والمحسوب على فواصل MHz 10،  
بما في ذلك مراكز الخطوط (0 و5 و10 و15 وkm 20)



التردد (GHz)

التوهين النوعي (dB/km)

ينبغي استعمال القيم الخاصة بالضغط *p* والضغط الجزئي *e* ودرجة الحرارة *T* (المتحصل عليها مثلاً بواسطة المسابير الراديوية). وينبغي عند الافتقار إلى المعلومات المحلية، استعمال الظروف الجوية القياسية المرجعية الواردة في التوصية ITU-R P.835. (جدير بالذكر أنه في حال حساب التوهين الجوي الكلي يستعمل نفس الضغط الجزئي لبخار الماء في كل من التوهينين الناجمين عن الهواء الجاف وبخار الماء.)

ويمكن الحصول على الضغط الجزئي لبخار الماء، *e*، على ارتفاع ما من كثافة بخار الماء ρ ودرجة الحرارة *T* على هذا الارتفاع، باستعمال المعادلة التالية:

(4) 

وترد البيانات الطيفية للأوكسجين في الجدول 1، والبيانات الطيفية لبخار الماء في الجدول 2. وآخر مدخلات في الجدول 2 عبارة عن شبه خط مركزه GHz 1 780، يمثل حده الأدنى المساهمة المشتركة تحت GHz 1 000 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) 

حيث *fi* هو تردد خط الأوكسجين أو بخار الماء وΔ*f* هو عرض الخط:

 (6a)

للأوكسجين

لبخار الماء

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

 (6b)

للأوكسجين

لبخار الماء

وδ عامل تصحيح ينتج عن تأثيرات التداخل في خطوط الأوكسجين:

 (7)

للأوكسجين

لبخار الماء

الجـدول 1

المعطيات المطيافية للتوهين بالأوكسجين

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

الجـدول 1 ( *تتمة*)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *f*0 | *a*1 | *a*2 | *a*3 | *a*4 | *a*5 | *a*6 |
| 368,498246 | 67,400 | 0,048 | 16,400 | 0,0 | 0,000 | 0,000 |
| 424,763020 | 637,700 | 0,044 | 16,400 | 0,0 | 0,000 | 0,000 |
| 487,249273 | 237,400 | 0,049 | 16,000 | 0,0 | 0,000 | 0,000 |
| 715,392902 | 98,100 | 0,145 | 16,000 | 0,0 | 0,000 | 0,000 |
| 773,839490 | 572,300 | 0,141 | 16,200 | 0,0 | 0,000 | 0,000 |
| 834,145546 | 183,100 | 0,145 | 14,700 | 0,0 | 0,000 | 0,000 |

الجـدول 2

البيانات الطيفية للتوهين ببخار الماء

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

الجـدول 2 ( *تتمة*)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *f*0 | *b*1 | *b*2 | *b*3 | *b*4 | *b*5 | *b*6 |
| 841,051732 | ,0134 | 8,177 | 15,90 | ,33 | 5,760 | ,45 |
| 859,965698 | ,1325 | 8,055 | 30,60 | ,68 | 4,090 | ,84 |
| 899,303175 | ,0547 | 7,914 | 29,85 | ,68 | 4,530 | ,90 |
| 902,611085 | ,0386 | 8,429 | 28,65 | ,70 | 5,100 | ,95 |
| 906,205957 | ,1836 | 5,110 | 24,08 | ,70 | 4,700 | ,53 |
| 916,171582 | 8,400 | 1,441 | 26,73 | ,70 | 5,150 | ,78 |
| 923,112692 | ,0079 | 10,293 | 29,00 | ,70 | 5,000 | ,80 |
| 970,315022 | 9,009 | 1,919 | 25,50 | ,64 | 4,940 | ,67 |
| 987,926764 | 134,6 | ,257 | 29,85 | ,68 | 4,550 | ,90 |
| \*1 780,000000 | 17506, | ,952 | 196,3 | 2,00 | 24,15 | 5,00 |

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

(8) 

حيث *d* هي معلمة العرض لطيف Debye:

(9) 

# 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)

حيث *r*0 هو طول المسير (km).

## 2.2 المسيرات المائلة

يقدم هذا القسم طريقة تسمح بتكامل التوهين النوعي المحسوب بجمع خطوط الامتصاص (انظر أعلاه) من أجل قيم مختلفة للضغط والحرارة والرطوبة عبر الجو. وتفيد هذه الطريقة في تحديد التوهين في المسير بدقة من أجل أنظمة الاتصالات التي تتنوع تشكيلاتها الهندسية والموجودة داخل الجو الأرضي أو خارجه وتقوم الطريقة ببساطة على أساس تقسيم الجو إلى طبقات أفقية وتعيين خصائص معلمات الأرصاد الجوية الخاصة بالضغط ودرجة الحرارة والرطوبة أثناء المسير. ويمكن عند الافتقار إلى الخصائص المحلية التي تم التوصل إليها مثلاً اعتباراً من معطيات الموجات الراديوية، استعمال الأجواء المرجعية الواردة في التوصية ITU‑R P.835 إما من أجل تطبيق عالمي أو تطبيق في مواقع منخفضة الارتفاع (سنوياً) ومتوسطة الارتفاع (صيفاً وشتاء) وعالية الارتفاع (صيفاً وشتاءً).

ويبين الشكل 3 التوهين باتجاه السمت المحسوب بفواصل يبلغ كل منها GHz 1 بهذه الطريقة من أجل جو مرجعي عالمي ورد في التوصية ITU-R P.835 مع طبقات أفقية تبلغ سماكة كل طبقة منها km 1 والتوهين المعبر عنه هو مجموع التوهينات المصاحبة لكل طبقة في حالة جو رطب (قياسي) وجو جاف (جاف).

ويمكن حساب التوهين الكلي أثناء المسير المائل *A*(*h*, ϕ)، اعتباراً من محطة ارتفاعها *h* وزاوية ارتفاعها ϕ كالآتي حين 0 ≤ ϕ:

(11) 

حيث يمكن تحديد قيمة Φ كالآتي على أساس قانون Snell بالإحداثيات القطبية:

(12) 

وحيث:

(13)

حيث *n*(*h*) هو دليل الانكسار الراديوي للجو المحسوب باستعمال المعادلتين (1) و(2) من التوصية ITU‑R P.453 استناداً إلى الضغط ودرجة الحرارة وضغط بخار الماء عبر المسير (انظر التوصية ITU-R P.835).

وعندما تكون 0 > ϕ يوجد ارتفاع أدنى *hmin* تصبح عنده الحزمة الراديوية موازية لسطح الأرض. ويمكن تحديد قيمة *hmin* بحل المعادلة المتسامية التالية:

(14) 

ويمكن بسهولة حل المعادلة وذلك بتكرار الحساب التالي على أن تكون القيمة الأولية هي *hmin* = *h*:

(15) 

ويمكن إذاً الحصول على التوهين*A*(*h*, ϕ) كالآتي:

(16) 

وينبغي عند إجراء التكامل للمعادلتين (11) و(16) الانتباه لأن التكامل يساوي لانهاية عند Φ = 0. ومع ذلك يمكن استبعاد هذا التميز بتحويل متغير مناسب كأن يستعمل في المعادلة (11) *u*4 = *H* – *h* وفي المعادلة (16) *u*4 = *H* – *hmin*.

وتسمح الخوارزمية أدناه بإيجاد حل رقمي للتوهين الذي يُعزى إلى الغازات الجوية.

ولا بد بغية حساب التوهين الكلي لوصلة ساتلية من معرفة التوهين النوعي في كل نقطة من الوصلة وكذلك لمعرفة طول المسير الذي يتضمن التوهين النوعي. ويجب لتحديد طول المسير مراعاة منحنى الشعاع الذي يعزى إلى كروية الأرض.

وإذا اتخذ الشكل 4 كمرجع *an* هو طول المسير خلال الطبقة *n* التي تقابل سماكتها δ*n* ودليل انكسارها *nn*. أما α*n* وβ*n* فهما زاويتا الحدوث للدخول والخروج. و*rn* هو نصف القطر من مركز الأرض إلى بداية الطبقة *n*. ويمكن التعبير عن *an* كالآتي:

(17) 

ويمكن حساب الزاوية *an* باستعمال الصيغة التالية:

(18) 

وβ1 هي زاوية الحدث على مستوى محطة على الأرض (أي تكملة زاوية الارتفاع θ). ويمكن حساب β*n* + 1 بدلالة α*n* عن طريق استعمال قانون Snell كالتالي:

(19) 

حيث *nn* و*nn* + 1 هما دليلا الانكسار للطبقتين *n* و*n* + 1.

ويمكن للمعادلة (19) أن تفقد صلاحيتها عند زوايا الارتفاع المنخفضة جداً (φ < 1°)، عندما تستخدم كمدخلات بيانات المسبارات الراديوية الموجودة في بعض مناطق العالم المعرضة لظروف تعدد مسارات الانتشار. وفي هذه الحالات، توجد طبقات جوية ذات تغيرات في قيم الانكسارية الراديوية أقل من N/km 157− ومن ثم لا يمكن أن تطبق فيها خوارزمية تتبع الشعاع (المعادلات (17) إلى (19)) القائمة على البصريات الهندسية. وتصبح دالة قوس الجيب (arcsine) في المعادلة (19) معقدة في ظل هذه الظروف الشاذة حيث تصبح قيمتها عندئذ أكبر قليلاً من الواحد الصحيح (1). وجدير بالذكر أن المعادلة (19) تصلح لكل زوايا الارتفاع عند استخدام طبقات الجو المعيارية المرجعية الواردة في التوصية ITU‑R P.835 كدخل للمعادلة، حيث أن هذه الطبقات النموذجية - لا تتضمن بالقطع تغيرات قوية سالبة من قيم الانكسارية - لا تدعم مثل ظروف الانتشار الشاذة هذه.

الشـكل 3

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



جاف

قياسي

التوهين في اتجاه السمت (dB)

التردد (GHz)

ويمكن تحديد التوهين الكلي، ، باستعمال الصيغة التالية:

(20) 

حيث γ*n* هي التوهين النوعي المحسوب بواسطة المعادلة (1) للطبقة n.

ويجب، بغية ضمان الدقة في تقييم التوهين، زيادة سماكة الطبقات أسياً بدلالة الارتفاع بدءاً من cm 10 كأدنى طبقة (مستوى الأرض) وحتى km 1 عند ارتفاع km 100 باستخدام المعادلة التالية:

(21) 

وبالنسبة إلى 1 = *i* إلى 922، مع العلم بأن km 1,0 ≅ δ922 وأن  ≅ km 100.

وعندما يتعلق الأمر بالتطبيقات الخاصة بالاتجاه "أرض-فضاء"، ينبغي إجراء التكامل حتى km 30 على الأقل وحتى km 100 عند الترددات المركزية لخطوط الأوكسجين.

الشـكل 4

مسير عبر الغلاف الجوي



الطبقة 1

الطبقة 2

# 3 آثار التشتت

إضافة إلى التوهين المشروح في الفقرة السابقة والقائم على الجزء التخيلي للانكسارية المركبة المعتمدة على التردد، يتولد عن الأوكسجين وبخار الماء أيضاً تشتت يستند إلى الجزء الحقيقي للانكسارية المركبة المعتمدة على التردد. ويوضح هذا التأثير بدلالة الطور مقابل التردد (درجات/كيلومترات)؛ ويمكن حسابه، على غرار التوهين للمسيرات المائلة. وتناقش آثار التشتت في الفصل 6 من كتيب قطاع الاتصالات الراديوية بشأن الأرصاد الجوية الراديوية والذي يتضمن نموذج حساب للتشتت قائم على طريقة التنبؤ بحساب مجموع مساهمات خطوط الامتصاص. ويفترض من الناحية العملية ألا تفضي آثار التشتت تقييدات صارمة على أنظمة الاتصالات للأرض التي تعمل في موجات ملليمترية والتي تصل عروض نطاقاتها بضع مئات MHz على مسافات قصيرة (مثلاً تقل عن حوالي km 20) وخاصة في نوافذ الانتشار لترددات بعيدة مراكز خطوط الامتصاص الرئيسية. وفيما يخص أنظمة الاتصالات الساتلية ونظراً إلى طول المسيرات عبر الجو، يجب حتماً استعمال ترددات تقع ضمن نوافذ الانتشار حيث يكون التوهين بالغازات الجوية شأنه شأن التشتت المطابق ضعيفاً.

الملحق 2  
  
التقييم التقريب‍ي للتوهين بالغازات الجوية  
في نطاق التردد GHz 350-1

يتضمن هذا الملحق خوارزميات مبسطة للتقدير التقريبي للتوهين بالغازات الجوية من أجل مدى محصور من ظروف الأرصاد الجوية وتنوع محدود من التشكيلات الهندسية.

# 1 التوهين النوعي

يمكن تقدير التوهين النوعي الذي يعزى إلى الهواء الجاف وبخار الماء اعتباراً من مستوى البحر وحتى ارتفاع km 10 بواسطة خوارزميات مبسطة ترد أدناه وتستند إلى التوهين النوعي للأوكسجين وبخار الماء المنبثق عن الحساب بجمع مساهمات خطوط الامتصاص والارتفاعات الفعلية للأوكسجين وبخار الماء. وتتفق عمليات التقريب بشكل جيد مع الحساب بجمع مساهمات خطوط الامتصاص. بيد أنه بالنسبة للارتفاعات التي تفوق km 10 وفي الحالات التي تتطلب دقة أكبر، ينبغي استعمال طريقة جمع مساهمات خطوط الامتصاص.

ويعطى التوهين النوعي في حالة الهواء الجاف، *o* (dB/km)، والتوهين النوعي في حالة الهواء الرطب، (dB/km) بالمعادلتين التاليتين:

(22)

(23)

حيث تعرف *Si وFi و* للأوكسجين في المعادلات (3) و(5) و(6a) و(7) و(8) و(9) و*Si وFi* لبخار الماء في المعادلات (3) و(4) و(5) و(6a) و(7). ولا تدرج المعادلة (6b) لعدم وجود حاجة إلى مراعاة تقسيم زماني لخطوط الأوكسجين والتوسيع الدوبلري لخطوط بخار الماء على الارتفاعات دون km 10. ويتم جمع الأوكسجين فوق جميع خطوط الأوكسجين الواردة في الجدول 1 ولبخار الماء فوق المجموعة الفرعية لخطوط بخار الماء الموسومة برمز النجمة في الجدول 2.

و*p* و*T* هما الضغط الجاف ودرجة الحرارة عند سطح الأرض وفي حالة عدم وجود بيانات محلية، يمكن استخدام المتوسط السنوي للظروف الجوية المرجعية العالمية الواردة في التوصية ITU-R P.835 لتحديد الضغط الجاف ودرجة الحرارة على ارتفاع سطح الأرض.

ويعرض الشكل 5 التوهين النوعي للهواء الجاف (الجاف) ولبخار الماء بكثافة g/m3 7,5 فقط (بخار الماء) والتوهين النوعي الكلي (الكلي) على ترددات من 1 إلى GHz 350 عند مستوى سطح البحر بالنسبة للمتوسط السنوي للأجواء المرجعية العالمية الواردة في التوصية ITU-R P.835.

# 2 التوهين في المسير

## 1.2 المسيرات للأرض

يمكن، في حالة المسير الأفقي، أو المسيرات المائلة قليلاً قريباً من الأرض، أن يحسب التوهين في المسير على النحو التالي:

 (24)

حيث *r*0 هو طول المسير بالكيلومتر (km).

الشـكل 5

التوهين النوعي نتيجة للغازات الجوية  
(الضغط = hPa 1 013,25؛ درجة الحرارة = °15 مئوية؛ كثافة بخار الماء = g/m3 7,5)



التردد (GHz)

التوهين المحدد (dB/km)

المجموع

جاف

بخار الماء

## 2.2 المسيرات المائلة

تتضمن هذه الفقرة خوارزميات أقل تعقيداً لحساب التوهين بالغازات الجوية على طول مسيرات مائلة عبر جو الأرض. وهي تستند إلى تحديد ارتفاع مكافئ يمكن به مضاعفة التوهين النوعي المحسوب في الفقرة 1 وذلك للحصول على التوهين على المسير في اتجاه السمت. وتتعلق الارتفاعات المكافئة بالضغط ويمكن بالتالي استعمالها في تحديد التوهين باتجاه السمت اعتباراً من مستوى البحر وحتى ارتفاع 10 km تقريباً. وتبلغ دقة نتائج توهينات السمت %10± بالنسبة إلى الجو الجاف و%5± بالنسبة إلى بخار الماء اعتباراً من مستوى البحر وحتى ارتفاعات تتقارب 10 km وذلك استناداً إلى معطيات الضغط ودرجة الحرارة وكثافة بخار الماء المناسبة للارتفاع المعني. أما فيما يخص الارتفاعات التي تزيد عن km 10 وخاصة بالنسبة إلى الترددات الواقعة ضمن الترددات القريبة من الترددات المركزية لخطوط الطنين بأقل من GHz 0,5 ومهما كان الارتفاع، فيستحسن تطبيق إجراء الملحق 1. وجدير بالإشارة أن الدالة الغوسية في المعادلة (25b) التي تصف الارتفاع المكافئ للأوكسجين في نطاق التردد GHz 60 قد تؤدي إلى معدل أخطاء يفوق %10 عند بعض الترددات، لأن هذا الإجراء ليس المقصود منه على وجه الدقة استنساخ البنية المبينة في الشكل 7. وتشتق المعادلات الواردة أدناه من توهينات السمت المحسوبة استناداً إلى إجراء الملحق 1 الذي يحسب بالأرقام تكامل التوهينات في عروض النطاق فوق MHz 500؛ وتمثل التوهينات الناتجة عملياً أدنى قيم تقريبية في النطاق 70-50 GHz. وفيما يخص الاتجاهات الأخرى غير اتجاه السمت يمكن تحديد التوهين على المسير باستعمال الإجراءات الموصوفة لاحقاً في هذه الفقرة.

تعطي العبارتان التاليتان الارتفاع المكافئ للهواء الجاف:

 (25a)

حيث:

 (25b)

 (25c)

 (25d)

مع العلم بأن:

 (25e)

ويكون الارتفاع المكافئ لبخار الماء:

 (26a)

for *f* 350 GHz

 (26b)

حيث:

*rp* = (*p + e*)/1013,25

وحساب التوهين في اتجاه السمت بين الترددات 50 وGHz 70 دالة معقدة للتردد كما هو مبين في الشكل 7. ولا تتيح عموماً الخوارزميات الواردة أعلاه إلا حساباً تقريبياً للسويات الدنيا للتوهين المحتمل وجوده في هذا المدى من الترددات. ويستحسن استعمال إجراء الملحق 1 للحصول على مزيد من الدقة.

ويستند مفهوم الارتفاع المكافئ إلى افتراض جو أسي يحدده سلم للارتفاع المكافئ هدفه وصف تناقص الكثافة وفقاً للارتفاع. وتجدر الإشارة إلى أن سلالم الارتفاع للهواء الجاف ولبخار الماء قد تتغير مع خط العرض والفصل و/أو المناخ، وأن توزيعات بخار الماء في الجو الفعلي قد تنحرف عن التوزيع الأسي، وتكون التغيرات مقابلة للارتفاعات المكافئة. وتطبق القيم المشار إليها أعلاه حتى ارتفاع km 10.

ويكون عندها التوهين الكلي باتجاه السمت:

(27) 

ويبين الشكل 6 التوهين الكلي باتجاه السمت عند مستوى البحر (الكلي)، إضافة إلى التوهين الناجم عن الهواء الجاف (الجاف) وعن بخار الماء (بخار الماء) وذلك استناداً إلى المتوسط السنوي العام المرجعي للجو والوارد في التوصية ITU-R P.835. ويمكن الحصول على دقة أكبر بين 50 وGHz 70 من خلال المنحني km 0 في الشكل 7. وقد استعملت للحصول على هذه الدقة طريقة جمع مساهمات خطوط الامتصاص الموصوفة في الملحق 1.

### 1.2.2 زوايا الارتفاع بين 5 وº90

#### 1.1.2.2 المسيرات أرض-فضاء

يمكن الحصول فيما يخص زوايا الارتفاع ϕ التي تتراوح ما بين º5 وº90 على التوهين على المسير باستعمال قانون قاطع التمام:

بالنسبة لتوهين المسير استناداً إلى بيانات الأرصاد الجوية السطحية:

(28) 

حيث:  و

وفيما يخص التوهين على المسير القائم على كثافة بخار الماء المتكاملة:

(29) 

حيث تعطى *Aw* في الفقرة 3.2.

#### 2.1.2.2 المسيرات المائلة

من أجل تحديد قيم التوهين على مسير مائل بين محطة تقع عند ارتفاع *h*1 ومحطة أخرى تقع عند ارتفاع أعلى *h*2، وعندما يقل كلا الارتفاعين عن km 10 عن مستوى البحر يجب أن يستعاض عن قيمتي *ho* و*hw* في المعادلة (28) بالقيمتين  و التاليتين:

(30) 

(31) 

مع التأكيد على أن القيمة ρ لكثافة بخار الماء المستعملة في المعادلة (23) هي القيمة الافتراضية على مستوى البحر المحسوبة كالآتي:

(32) 

وحيث 1 هي القيمة المقابلة للارتفاع *h*1 للمحطة الفضائية، وحيث يفترض أن الارتفاع المكافئ لبخار الماء هو km 2 (انظر التوصية ITU‑R P.835).

تستعمل المعادلات (30) و(31) و(32) تقييسات مختلفة للارتفاع المكافئة للجو الجاف ولبخار الماء. غير أنه يمكن اعتبار متوسط ضغط الجو بالنسبة إلى مستوى البحر ثابتاً في العالم بأكمله (أي أنه hPa 1 013,25) ولا تتمتع كثافة بخار الماء بمدى واسع من التغييرات المناخية وحسب بل هي مقيسة على الأرض (أي ارتفاع المحطة على الأرض). وفيما يخص قيم كثافة بخار الماء المقيسة على مستوى الأرض يرجع إلى التوصية ITU-R P.836.

### 2.2.2 زوايا الارتفاع بين 0 و°5

#### 1.2.2.2 المسيرات أرض-فضاء

يجب، في هذه الحالة، استعمال الملحق 1. كما ينبغي استعمال الملحق 1 بشأن الارتفاعات ما دون الصفر.

#### 2.2.2.2 المسيرات المائلة

يمكن تحديد قيم التوهين على مسير مائل بين محطة تقع عند ارتفاع *h*1 ومحطة أخرى تقع عند ارتفاع أعلى *h*2 (عندما يقل كلا الارتفاعين عند km 10 عن مستوى البحر) باستعمال المعادلة التالية:



حيث:

*Re*: نصف قطر الأرض الفعال بما في ذلك الانكسار، كما هو محدد في التوصية ITU-R P.834، معبراً عنه بالكيلومترات (قيمة من km 8 500 تعتبر عادة مقبولة في الجوار المباشر لسطح الأرض)

ϕ1: زاوية الارتفاع عند الارتفاع *h*1

F: دالة تعرف بالصيغة التالية:

(34) 

 (35a)

 (35b)

 (35c)

علماً بأن القيمة ρ لكثافة بخار الماء المستعملة في المعادلة (23) هي القيمة الافتراضية على مستوى البحر المحسوبة كالآتي:

(36) 

حيث 1 هي القيمة المقابلة للارتفاع *h*1 للمحطة المعنية، ويُفترض أن الارتفاع المكافئ لكثافة بخار الماء هو km 2 (انظر التوصية ITU-R P.835).

الشـكل 6

التوهين الكلي الناجم عن الهواء الجاف وبخار الماء على مستوى البحر في اتجاه السمت  
(الضغط = hPa 1 013,25؛ درجة الحرارة = °15 مئوية؛ كثافة بخار الماء = g/m3 7,5)



المجموع

جاف

بخار الماء

التوهين في اتجاه السمت (dB)

التردد (GHz)

الشـكل 7

توهين الأوكسجين باتجاه السمت في الارتفاعات المشار إليها والمحسوبة عند فواصل تبلغ MHz 10  
بما فيها مراكز الخطوط (0 km وkm 5 وkm 10 وkm 15 وkm 20)



التردد (GHz)

التوهين في اتجاه السمت (dB)

ويمكن الرجوع إلى التوصية ITU-R P.836 من أجل قيم 1 المقيسة على مستوى الأرض.

وقد تم شرح فروق صيغة الهواء الجاف وبخار الماء في الفقرة 2.2.2.2.

## 3.2 التوهين ببخار الماء على المسيرات في اتجاه السمت

تستند الطريقة أعلاه لحساب التوهين ببخار الماء على المسيرات المائلة إلى معرفة كثافة بخار الماء على السطح. وإذا عرف المكون المتكامل لبخار الماء، *Vt،* يمكن عندئذٍ تقدير التوهين الكلي ببخار الماء على النحو التالي:

dB (37)

حيث:

وحيث

: التردد (GHz)

: (GHz) 20,6

 =  (hPa) 815

=   (g/m3)

=   (°C)

*Vt*: المكون المتكامل لبخار الماء من: أ )  بيانات محلية لمسابير راديوية أو أجهزة قياس راديوية أو ب)  عند النسبة المئوية للوقت المطلوب (kg/m2 أو mm) المتحصل عليها من الخرائط الرقمية الواردة في التوصية ITU‑R P.836 (kg/m2 أو mm)

γ*W* (*f*, *p*, ρ, *t*): التوهين النوعي كدالة للتردد والضغط وكثافة بخار الماء ودرجة الحرارة يتم حسابه استناداً إلى المعادلة (dB/km) (23)

: ارتفاع المحطة فوق متوسط مستوى سطح البحر (a.m.s.l) (km).

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_