**طريقة تنبؤ بالانتشار من أجل الخدمات المتنقلة للطيران وخدمات الملاحة الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)**

**والموجات السنتيمترية (SHF)**

**السلسلة P**

**انتشار الموجات الراديوية**

**التوصيـة ITU-R  P.528-5  
(2021/09)**

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 القرار 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، 2022

© ITU 2022

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

التوصيـة ITU-R P.528-5[[1]](#footnote-1)\*،[[2]](#footnote-2)\*\*

طريقة تنبؤ بالانتشار من أجل الخدمات المتنقلة للطيران وخدمات الملاحة الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات السنتيمترية (SHF)

(المسألة ITU-R 203/3)

 (2021-2019-2012-1986-1982-1978)

مجال التطبيق

تحتوي هذه التوصية على طريقة للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية في مدى التردد GHz 30-MHz 100 لخدمات الطيران. وهي تقدم طريقة خطوة بخطوة لحساب خسارة الإرسال الأساسية. ولا تلزم بيانات لهذه الطريقة سوى المسافة بين الهوائيات ومرتفعات الهوائيات فوق متوسط مستوى سطح البحر والتردد، والاستقطاب، والنسبة المئوية من الوقت.

كما تعطي هذه التوصية أيضاً الحسابات لنسبة الحماية المتوقعة أو نسبة تجاوز الإشارة المطلوبة إلى غير المطلوبة في جهاز الاستقبال لمدة لا تقل عن %95 من الوقت، *R* (95). ويتطلب هذا الحساب البيانات الإضافية التالية للإشارات المطلوبة وغير المطلوبة على حد سواء: القدرة المرسَلة، وكسب هوائي الإرسال، وكسب هوائي الاستقبال.

إن جمعية الاتصالات الراديوية بالاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

*أ )* أن هناك احتياجاً لإرشاد المهندسين في تخطيط خدمات الراديو في نطاقات الموجات المترية والديسيمترية والسنتيمترية؛

*ب)* أن نموذج الانتشار الوارد في الملحق 2 مبني على قدر كبير من البيانات التجريبية (انظر الملحق 1)؛

*ج )* أن خدمات الاتصال للطيران توفر غالباً وظيفة سلامة الحياة، وعليه تتطلب نمطاً من التيسر أعلى من كثير من الخدمات الأخرى؛

*د )* يجب استخدام تيسرية من الوقت قدرها %95 للحصول على خدمة أكثر اعتمادية،

توصي

**1** باستعمال البرمجية المتكاملة الواردة في هذه التوصية لتحديد قيم ومنحنيات خسارة الإرسال الأساسية لارتفاعات المطاريف والترددات والنسب المئوية من الوقت المحتمل أن تصادف في خدمات الطيران؛

**2** أن يُنظر إلى الملاحظتين التاليتين على أنهما جزء من هذه التوصية.

**الملاحظـة 1** - ينبغي التشديد على أن القيم المتولدة مبنية على بيانات حاصلة أساساً لمناخ قاري معتدل.

**الملاحظـة 2** - تعطي الطريقة خسارة الإرسال الأساسية، أي الخسارة بين هوائيين مثاليين متناحيين خاليين من الخسارة. حيث خُفف انعكاس السطح المتعدد المسيرات في المحطة الأرضية أو المرفق بواسطة أثقال موازنة، وإلا ينبغي أن يتضمن التحليل مخطط إشعاع رأسي اتجاهي يناسب مخطط إشعاع الهوائي.

الملحق 1  
  
إعداد النموذج وتطبيقه

لقد تم تطوير طرائق التنبؤ بخسارة الإرسال بحيث تحدد خسارة الإرسال الأساسية لنسب مئوية من الوقت تتراوح بين %1 و%99 لارتفاعات الهوائيات الممكن تطبيقها على خدمات الطيران. هذه الطرائق مبنية على قدر كبير من البيانات التجريبية، وقد أجريت مقارنات موسعة بين التنبؤ والبيانات. وعند إجراء هذه الحسابات، استخدمت أرض ملساء (معلمة التضاريس 0 = *Δh*) بمتوسط جو مرجعي عالمي سنوي. ويعتمد النموذج الجوي على التقسيم الطبقي الأفقي الأسي للجو يجري من خلاله تتبع الشعاع لحساب انحناء الأشعة بسبب التغيرات في الانكسارية. وكذلك استخدمت ثوابت للاستقطاب الأفقي على الأرض الوسطية والهوائيات المتناحية وإحصائيات عن خبو القدرة على المدى الطويل للأجواء القارية المعتدلة. وبالرغم من أن هذه المعلمات يمكن اعتبارها إما معقولة أو تصف أسوأ حال للكثير من الاستخدامات، فإنه ينبغي استخدام القيم المحسوبة بحذر إذا ما اختلفت الظروف كثيراً عن تلك المفترضة.

وباستثناء المنطقة "المجاورة" للأفق الراديوي، حصل على متوسط الخسارة للإرسال الأساسي للمسيرات داخل الأفق بإضافة التوهين بسبب الامتصاص في الغلاف الجوي (ديسيبل) إلى خسارة الإرسال المناظر لأحوال الفضاء الحر. أما داخل المنطقة المجاورة للأفق فقد حسبت قيم خسارة الإرسال باستخدام قواعد الهندسة الضوئية، ليدخل في الحساب تأثير التداخل بين الشعاع المباشر وشعاع منعكس من على سطح الأرض.

لم يقتصر استخدام نموذج التداخل بين شعاعين على المنطقة القريبة من الأفق فقط، حيث إن بنية الفصوص الحاصلة منه للمسيرات القصيرة تعتمد بدرجة عالية على خصائص السطح (الخشونة بالإضافة للثوابت الكهربائية) والأحوال الجوية (يتغير نصف القطر الفعلي للكرة الأرضية مع الوقت) وخصائص الهوائي (الاستقطاب والتوجيه ومخطط الكسب). مثل تلك المنحنيات غالباً ما تكون مضللة أكثر مما هي مفيدة، لأن البنية التفصيلية للفصوص تعتمد كثيراً على معلمات يصعب تحديدها بدقة كافية. مع ذلك، فقد أعطيت بنية الفصوص اعتباراً إحصائياً في حساب التغيرية.

ولأوقات التيسر غير %50 لا تزيد دائماً قيم خسارة الإرسال الأساسية *Lb* التي يولدها المستعمل مع المسافة. ويحدث هذا لأن الاختلافات في التغيرية مع المسافة يمكن أن تزيد أحياناً على اختلافات السوية الوسطية. وتحتوي التغيرية على مشاركات من خبو القدرة الوسطى الساعية والخبو على المدى الطويل ومن خبو تداخل الطور أثناء الساعة أو على المدى القصير. ويشمل الخبو القصير المدى الانعكاس السطحي وتعدد المسيرات التروبوسفيرية. وتستند إحصاءات خبو القدرة طويل الأجل إلى كمية كبيرة من البيانات التجريبية المجمعة على فترات ممتدة من المرات في مختلف المواقع والأشكال الهندسية للوصلات.

ويمكن استخدام قيم خسارة الإرسال الأساسية *Lb*(5) لتقدير قيم *Lb* لإشارة متداخلة غير مطلوبة يتم تجاوزها خلال %95 (%100‑%5) من الوقت. أما ظروف الانتشار الوسطى (%50) فيمكن تقديرها من قيم *Lb*(50). أما قيم *Lb*(95) فيمكن استخدامها لتقدير حد مدى الخدمة لإشارة مطلوبة، تكون الخدمة متيسرة عندها لنسبة %95 من الوقت في غياب التداخل.

ويمكن تقدير نسبة الحماية المتوقعة أو نسبة الإشارة المطلوبة إلى غير المطلوبة التي يتم تجاوزها عند المستقبل لنسبة %95 من الوقت على الأقل *R*(95) كالتالي:

*R*(95)  *R*(50)  *YR*(95) (1)

*R*(50)  [*Pt*  *Gt*  *Gr* – *Lb*(50)]*Wanted* – [*Pt*  *Gt*  *Gr* – *Lb*(50)]*Unwanted* (2)

و:

(3)

وفي المعادلة (2)، *Pt* هي القدرة المرسلة، و*Gt* و*Gr* هما كسبا الهوائيين المتناحيين للإرسال والاستقبال معبراً عنهما بالديسيبل (dB).

ويمكن ضم تغييرات إضافية إلى المعادلة (3)، لمثل كسب الهوائي إذا أمكن تحديد التغيرات لها. إن استمرارية الخدمة (%100) من الوقت أو الاستفادة من قنوات في آن واحد، مضمن في صياغة المقدار *R*(95) الوارد أعلاه بحيث يمكن دراسة تأثير التشغيل المتقطع للمرسل على حدة.

ترد البرمجية المتكاملة لحساب قيم ومنحنيات خسارة الإرسال الأساسية في الملف المضغوط الإضافي [R-REC-P.528-5-202109-I!!ZIP-E.zip](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.528-5-202109-I/en) مع الوثائق. وإلى جانب ذلك، توجد قيم مختارة في جدول لخسارة الإرسال الأساسية في الملف المضغوط الإضافي.

الملحق 2  
  
طريقة الخطوة بخطوة

يستخدم هذا الملحق اصطلاحات بحيث إن المتغيرات التي تصف المطراف المنخفض ستُمثل بالرمز "1" أسفل الحرف (أي أن علو المطراف المنخفض يكون *hr1*) بينما ستُمثل المتغيرات الخاصة بالمطراف المرتفع بالرمز "2" أسفل الحرف (أي أن علو المطراف المرتفع يكون *hr2*). بالإضافة إلى ذلك، تدل الحروف الأساسية لبعض المتغيرات على مراجعها:

- ، مسافة الدائرة العظمى مقيسة على طول سطح الأرض؛

- ، الطول الذي يقطعه الشعاع بين نقطتين في الفضاء؛

- ، علو مقيس فوق متوسط مستوى سطح البحر؛

- ، نصف قطر مقيس من مركز الأرض.

ولأغراض هذه التوصية، يشير متوسط نصف قطر الأرض ومتوسط مستوى سطح البحر إلى نفس السطح المرجعي.

# 1 مقدمة

يصف هذا الملحق طريقة خطوة بخطوة لحساب خسارة الإرسال الأساسية لمسير محدد من قبل المستعمل، يعرف بما يلي:

- علوا المطرافين *hr*1 و*hr*2 بالكيلومتر فوق متوسط مستوى سطح البحر، حيث (m 1,5 إلى m 20 000)

- التردد، *f*، بوحدات MHz، حيث MHz 30 000 ≥ *f* ≥ 100

- النسبة المئوية من الوقت، *p*، حيث 99 ≥ *p* ≥ 1

- مسافة الدائرة العظمى، *d*، بين مطرافين، بالكيلومتر

- رمز يشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي، *Tpol*.

وفي بعض سيناريوهات الطيران، تُعرف الأشكال الهندسية للوصلة بواسطة زاوية ارتفاع المطراف المنخفض إلى المطراف المرتفع (بدلاً من مسافة الدائرة العظمى بين المطرافين). وبالتالي، من المفيد تقديم المجموعة التالية من المعادلات للتحويل من زاوية الارتفاع في الفضاء الطلق إلى مسافة الدائرة العظمى *d*، لتسهيل استخدام هذه التوصية.

(4)      (rad)

(5)      (rad)

(6)      (km)

ويبين الشكل 1 العلاقة بين مختلف المعلمات المستخدمة في هذه التوصية.

الشكل 1

العلاقة بين مختلف المعلمات في وصلة جو-أرض

Diagram

Description automatically generated

علماً بأن مؤثرات انحناء الأشعة على المسير الفعلي قد ضُخمت لأغراض الإيضاح.

# 2 افتراضات وتعاريف واصطلاحات

تفترض التوصية ITU-R P.528 القيم التالية:

: نصف القطر المتوسط للأرض. يضبط على km 6 371

: نصف القطر الفعلي للأرض. يضبط على km 9 257

: ثابت العزل النسبي. يضبط على 15 (يقابل أرضاً متوسطة)

: الإيصالية. تضبط على S/m 0,005 (تقابل أرضاً متوسطة).

# 3 طريقة الخطوة خطوة

*الخطوة 1-3*: تحسب المعلمات الخاصة بكل مطراف. ويستلزم ذلك استخدام الخطوات الواردة في الفقرة 4 لكل من المطراف المنخفض والمطراف العالي. وبعد الانتهاء من ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 2-3. وتستخدم الفقرة 4 كالتالي:

بافتراض:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

*f*: التردد بوحدة MHz؛

تحسب:

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطراف، بالتقويم الدائري؛

: العلو الفعلي للمطراف، بالكيلومتر؛

: حد تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

: خسارة الامتصاص الجوي الوسطى للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛

: طول مسير الشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر.

*الخطوة 2-3*: تحدد مسافة خط البصر القصوى، ، بين المطرفين.

(7)      (km)

*الخطوة 3-3*: ينمذج انعراج الأرض المستوية خطياً في هذه التوصية. ويتم ذلك باختيار مسافتين أبعد كثيراً من ، وتحسب خسارة انعراج الأرض المستوية عند هاتين المسافتين ويكون خط لانعراج الأرض المستوية يمر بهاتين النقطتين.

*الخطوة 1.3-3*: تحسب المسافتين و اللتان تبعدان كثيراً عن مسافة خط البصر القصوى، ، من المعادلة (7).

(8)      (km)

(9)      (km)

*الخطوة 2.3-3*: تحسب خسارتا الانعراج و عند المسافتين المقابلتين و. وسيتطلب ذلك استعمال الفقرة 10 مرتين - مرة لكل مسافة، . وبعد الحساب يتم الانتقال إلى الخطوة 3.3-3. وتستخدم الطريقة الواردة في الفقرة 10 كالتالي:

حيث:

: المسافة المعنية، ، حسب المطلوب للفقرة 10، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطرافين، و، بالكيلومتر على نحو ما تحدد في الخطوة 1-3 أعلاه؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: معلمة تشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي؛

تحسب:

: خسارة انعراج الأرض المستوية، ، بوحدات dB، المقابلة للمسافة .

*الخطوة 3.3-3*: يرسم خط انعراج الأرض المستوية من المسافتين و، وخسارة الانعراج الخاصة بهما، ، ، بحساب الميل، والقاطع .

(10)      (dB/km)

(11)      (dB)

*الخطوة 4.3-3*: تحسب خسارة الانعراج عند المسافة والمسافة.

(12)      (dB/km)

*الخطوة 5.3-3*: تحسب المسافة ، والتي يعطي عندها نموذج الانعراج قمية خسارة متنبأ بها تساوي dB 0.

(13)      (km)

*الخطوة 4-3*: يحدد ما إذا كان مسير الانتشار في منطقة خط البصر أو عابراً للأفق بالنسبة للمسافة المطلوبة . فإذا كانت ؛ فإن المسير يكون في منطقة خط البصر ويتم الانتقال إلى الخطوة 5-3. وخلاف ذلك، يكون المسير عابراً للأفق ويتم الانتقال إلى الخطوات من 6‑3 إلى 12-3.

*الخطوة 5-3*: يتم الرجوع إلى الفقرة 6 من أجل حسابات منطقة خط البصر.

*الخطوة 6-3*: في منطقة المسير العابر للأفق ، فإنه مع زيادة المسافة، يبدأ مسير الانتشار بانعراج الأرض المستوية وينتقل إلى الانتثار التروبوسفيري. وفيزيائياً، يتعين أن تكون نماذج انعراج الأرض المستوية والانتقال إلى الانتثار التروبوسفيري متسقة عند نقطة الانتقال. ويستوجب الاتساق الفيزيائي عدم وجود انقطاع (عدم استمرارية) عند نقطة الانتقال. وبما أن نموذج الانتثار التروبوسفيري غير خطي، تضمن العملية المتكررة التالية أن الانتقال بين النموذجين يحدث بدون انقطاع.

*الخطوة 1.6-3*: دعنا نفترض أن المسافتين و هما المسافتان المتكررتان للاختبار وتكون قيمتها الابتدائية:

(14)      (km)

(15)      (km)

*الخطوة 2.6-3*: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري و عند المسافتين و على التوالي. ويتطلب ذلك استعمال الخطوات المعروضة في الفقرة 11 لكلتا المسافتين و. وتستخدم الفقرة 11 كالتالي:

بحيث تكون:

: تمثل المسافة المطلوبة و، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد بوحدات MHz؛

: العلو الفعلي للمطراف، بالكيلومتر.

وتحسب:

: خسارة الانتثار التروبوسفيري المقابلة للمسافتين و بوحدات dB.

*الخطوة 3.6-3*: يحسب الميل، ، للخط الذي يضم نقطتي الانتثار التروبوسفيري و من الخطوة 2.6‑3. وهذا الخط متماس تقريباً مع نموذج الانتثار التروبوسفيري عند المسافة .

(16)      (dB/km)

*الخطوة 4.6-3*: قارن بين الميل وميل خط الانعراج، ، من المعادلة (10). فإذا كان ، تزاد المسافتان و بمقدار km 1 وتتم العودة إلى الخطوة 2.6-3 لمواصلة التكرار. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 5.6-3.

*الخطوة 5.6-3*: لا تصلح نتائج نموذج الانتثار التروبوسفيري إذا كانت أقل من 20 dB. وإذا كانت خسارةأو أقل من 20 dB، تزاد كلتا المسافتين و بمقدار 1 km وبالعودة إلى الخطوة 2.6-3 يتواصل التكرار. عدا ذلك، يُنتقل إلى الخطوة 6.6-3.

*الخطوة 6.6-3*: عندما تكون ، فإن المسافة تمثل المسافة التقريبية بحيث تكون:

الحالة 1: ضمان أن يقطع نموذج الانعراج نموذج الانتثار التروبوسفيري عند مسافة أكبر من أو تساوي تقريباً بفعل سلوك النموذج الفرعي. وخسارة الانتشار في المنطقة العابرة للأفق تكون متسقة فيزيائياً.

الحالة 2: يوازي خط الانعراج المماس لنموذج الانتثار التروبوسفيري. وبالتالي، قد لا تكون خسارة الانتشار في المنطقة العابرة للأفق متسقة فيزيائياً، أي هناك احتمال لوجود عدم استمرارية.

ولتحديد أي من الحالتين أعلاه هي الحقيقة، تحسب خسارة الانعراج عن المسافة .

(17) (dB)

إذا كانت ، تكون الحالة 1 في الخطوة 6.6-3 هي الحقيقة وتنتقل الحسابات إلى الخطوة 7-3. وخلاف ذلك، يلزم ضبط ميل خط الانعراج على نقطة التماس، بما يضمن الاتساق الفيزيائي لنموذج الانتشار عبر الأفق. ويجرى الضبط إحدى نهايتي خط الانعراج عند النقطة والنهاية الأخرى عند ، ثم يعاد حساب خط انعراج الأرض المستوية الجديد.

(18)      (dB/km)

(19)      (dB)

وعند هذه النقطة، تكون المنطقة العابرة للأفق متسقة فيزيائياً. ويتم الانتقال إلى الخطوة 7-3.

*الخطوة 7-3*: تحسب ، الخسارة غير المحتملة بخسارة الفضاء الحر والامتصاص الجوي. وتحدد هذه الخسارة استناداً إلى نماذج الانعراج والانتثار التروبوسفيري، بما في ذلك التعديلات التي أجريت في الخطوة 6-3.

*الخطوة 1.7-3*: تحسب خسارة انعراج الأرض المستوية المتنبأ بها، ، لمسافة المسير .

(20)      (dB)

*الخطوة 2.7-3*: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري، ، لمسافة المسير . وتستعمل الفقرة 7 كالتالي:

حيث:

: مسافة الدائرة العظمى، *d*، بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد بوحدات MHz؛

: العلو الفعلي للمطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

: خسارة الانتثار التروبوسفيري بوحدات dB؛

: علو الحجم المشترك، بالكيلومتر؛

: زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري.

*الخطوة 3.7-3*: تختار قيمة الخسارة تبعاً لما يلي:

إذا كانت (حيث تنشأ من التكرار النهائي في الخطوة 6-3)، فإنه:

(21)      (dB)

وخلاف ذلك، فتبعاً لأي من الحالتين 1 أو 2 هي الحالة الحقيقية في الخطوة 6.6-3:

(22)      (dB)

*الخطوة 8-3*: يُستخدم تتبع الشعاع، على النحو المعرَّف في الفقرة 5، لتحديد ما يلي:

حيث:

: علو الحجم المشترك، بالكيلومتر، من الخطوة 2.7-3؛

: التردد بوحدات MHz؛

تحسب:

: خسارة الامتصاص الجوي الوسطى لمسير الشعاع من الأفق إلى الحجم المشترك، بوحدة dB؛

: طول مسير الشعاع من الأفق إلى الحجم المشترك، بالكيلومتر.

*الخطوة 9-3*: يحسب إجمالي خسارة الامتصاص الجوي الوسطي، ، بوحدة dB، للمسير باستعمال النتائج من الخطوة 1-3 والخطوة 8-3:

(23)      (dB)

*الخطوة 10-3*: تحسب الخسارة في الفضاء الطلق، ، بوحدة dB، للمسير:

(24)      (km)

(25)      (dB)

*الخطوة 11-3*: تحسب خسارة التغاير طويل الأجل للنسبة المئوية *p*. وتستخدم الفقرة 12، ثم يتم الانتقال إلى الخطوة 12-3.

حيث:

: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى، *d*، بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: النسبة المئوية للوقت؛

: الخسارة من الخطوة 3.7-3، بوحدات dB؛

: زاوية الانتثار من الخطوة 2.7-3، بالتقويم الدائري؛

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، ، بوحدات dB.

*الخطوة 12-3*: تحسب خسارة الإرسال الأساسية، ، بوحدات dB.

(26)      (dB)

وهنا، ينتهي الإجراء خطوة خطوة في مسير عبر الأفق للمعلمات المحددة كمدخلات من المستعمل.

# 4 معلمات المطاريف

الشكل 2

الشكل الهندسي للمطراف

A picture containing sky, power line

Description automatically generated

تحسب في هذا القسم المعلمات التالية المرتبطة بأي مطراف، على النحو الظاهر في الشكل 2.

حيث:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

تحسب:

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطراف، بالتقويم الدائري؛

: العلو الفعلي للمطراف، بالكيلومتر؛

: حد تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

: خسارة الامتصاص الجوي الوسطي للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛

: طول مسير الشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر.

*الخطوة 1-4*: يستخدم تتبع الشعاع، على النحو المحدد في الفقرة 5، لتحديد ما يلي:

حيث:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

تحسب:

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطراف، بالتقويم الدائري؛

: خسارة الامتصاص الجوي الوسطي للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛

: طول مسير الشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر.

*الخطوة 2-4*: يحسب العلو الفعلي للمطراف، ، بالكيلومتر.

(27)      (rad)

(28)      (km)

*الخطوة 3-4: يحسب حد تصحيح علو المطراف، .*

(29)      (km)

*وهنا ينتهي القسم الخاص بحساب معلمات المطاريف.*

# 5 تتبع الشعاع

تنحني الموجات الراديوية التي تسافر في الغلاف الجوي نتيجة للتغيرات في الانكسارية الجوية. وفي النماذج الأرضية التقليدية، يراعي ذلك عادة من أجل استخدام طريقة المعيار "4/3 Earth"، التي تنمذج الانكسارية الجوية الحيطة وهي تقريب صالح للمسيرات القريبة من السطح. ومع ذلك، يعد التدرج الجوي الفعلي أسياً ومن شأن استخدام نموذج خطى في مسيرات الانتشار من الجو إلى الأرض أن يتسبب في أخطاء كبيرة.

وتستخدم هذه التوصية تقنيات تتبع الأشعة معرَّفة في الملحق 1 بالتوصية ITU R P.676-12 لحساب مسير شعاع عبر الغلاف الجوي. والغلاف الجوي هو متوسط الغلاف الجوي المرجعي العالمي السنوي المعرَّف في التوصية ITU-R P.835-6.

وحيث:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

تحسب:

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: زاوية ورود شعاع المماس من أفق الأرض المستوية للمطراف، بالتقويم الدائري؛

: خسارة الامتصاص الجوي الوسطي للشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بوحدة dB؛

: طول مسير الشعاع من المطراف إلى أفق الأرض المستوية لديه، بالكيلومتر (أُسند إليه الرمز *a* في التوصية ITU-R P.676-12)؛

: زاوية الانحناء لمسير الشعاع (يرمز إليها باعتبارها الانحناء في التوصية ITU-R P.676-12).

*الخطوة 1-5*: باستعمال الملحق 1 بالتوصية ITU R P.676-12، يُتتبع شعاع المماس () من سطح الأرض إلى علو المطراف، .

وأثناء عملية تتبع الشعاع، تحسب زاوية الانحناء الكلية للشعاع τ (المشار إليها باعتبارها الانحناء في التوصية ITU-R P.676-12) والامتصاص الجوي لمسير الشعاع، ، وطول مسير الشعاع، (المشار إليه بالرمز *a* في التوصية ITU-R P.676-12).

*الخطوة 2-5*: تحسب زاوية الورود، ، للشعاع عند المطراف وتنتج الخطوة 1-5 زاوية نهائية، ، بالنسبة إلى السمت.

(30)      (rad)

*الخطوة 3-5: تحسب مسافة الدائرة العظمى عبر سطح الأرض* بين *المطراف وأفق الأرض المستوية لديه باستخدام الزاوية المركزية .*

(31)      (rad)

(32)      (km)

وبهذه الخطوة ينتهي القسم الخاص بتتبع الشعاع.

# 6 منطقة خط البصر

يصف هذا القسم خطوات حساب خسارة الانتشار لمسير على خط البصر.

وحيث:

: مسافة خط البصر القصوى، بالكيلومتر، من المعادلة (7)؛

: المسافة التي يعطي عندها نموذج الانعراج قمية خسارة متنبأ بها تساوي dB 0، بالكيلومتر، من المعادلة (13)؛

: علو المطاريف الفعلي، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: خسارة الانعراج عن المسافة ، بوحدات dB، من المعادلة (12)؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

تحسب:

: خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB؛

: قيمة تستخدم في حسابات التغاير اللاحقة.

*الخطوة 1-6: تحسب طول الموجة،* .

(33)      (km)

*الخطوة 2-6*: تحدَد الزاوية ، وهي الزاوية العاكسة المقابلة للمسافة التي تتحقق عندها معادلة ، حيث هو الفرق في طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر. لتحديد الزاوية ، يطبَّق أسلوب بصريات الأشعة الوارد وصفه في الفقرة 7 بطريقة تكرارية لإجراء بحث اثنيني عن قيمة الزاوية . ونحدّث قيمة الزاوية استناداً إلى العلاقة القائمة على أن الزيادة في الزاوية ψ تنتج زيادة في ، وتُستعمل الفقرة 7 على النحو التالي:

بوجود المعطيات التالية:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: حدود تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية انعكاس ، بالكيلومتر.

*الخطوة 3-6: تحديد المسافة وهي المسافة التي يكون فيها الفرق في أطوال المسير بين الموجة المباشرة والموجة المنعكسة* λ/6 *بالأمتار، وكما في الخطوة* 2-6*، تحدَد هذه المسافة بتطبيق أسلوب بصريات الأشعة، الموصوف في الفقرة* 7*، بطريقة متكررة لإجراء بحث اثنيني عن الزاوية* ψ *وتُستخدم الفقرة* 7 *على النحو التالي:*

*بوجود المعطيات التالية:*

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: حدود تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية انعكاس ، بالكيلومتر.

*الخطوة 4-6: تحسب المسافة بالكيلومتر.*

إذا كانت أو ،

(34)      (km)

*وخلاف ذلك، إذا كانت*  و،

(35)      (km)

*الخطوة 5-6: والقيمة الحالية للمسافة يمكن أن تكون تقريباً غير دقيقة لبعض المسيرات. ولتوليفها، تحول المسافة بشكل تكراري إلى زاوية انعكاس باستخدام* الخطوة 3-6 *وتحسب المعلمات البصرية للشعاع على النحو المحدد في القسم* 7*. وإذا كانت المسافة له الناتجة عن القسم* 7 *تزيد عن أو تساوي المسافة الأصلية ، أو إذا أدت زيادة المسافة بمقدار متر واحد إلى أن تتجاوز المسافة ، تستخدم المسافة الناتجة عن المعلمات البصرية للشعاع كقيمة للمسافة . وخلاف ذلك تتم زيادة المسافة بمقدار متر واحد وتعاد طريقة حساب المعلمات البصرية للشعاع.*

*الخطوة 6-6: تحسب خسارة خط البصر عند المسافة . تطبَّق أولاً القسم* 7 *تارة أخرى لتحديد قيمة زاوية الانعكاس . ويستخدم بعد ذلك القسم* 8 *لتحديد الخسارة، .*

*الخطوة 7-6: تحول المسافة المطلوبة إلى زاوية انعكاسها المقابلة بتطبيق القسم* 7بطريقة متكررة. *ويفترض أن المسافة الناتجة النهائية عن حسابات المعلمات البصرية للشعاع تسمى .*

*الخطوة 8-6: يستخدم القسمان* 7 *و*8 *لحساب خسارة خط البصر. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة* 11-6*. ويستخدم القسمان*7 *و*8 *كالتالي:*

*بوجود المعطيات التالية*:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

: العُلوان الفعليان للمطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: حدود تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

تحسب:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية انعكاس ، بالكيلومتر.

*الخطوة 9-6: تحسب خسارة الامتصاص الجوي الوسطى، ، للمسير بتطبيق* الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.676. ويُتتبع الشعاع الممتد من المطراف المنخفض إلى المطراف العالي باستعمال بوصفها زاوية الارتفاع (علماً بأن مرجعية الزاوية هي المستوى الأفقي للمطراف، في حين أن مرجعيتها في التوصية ITU-R P.676 هي السمت). وتؤخذ الزاوية من المعادلة (53) المحسوبة خلال الخطوة 8-6. وأثناء تتبع الشعاع أيضاً، يحسب أيضاً الطول الإجمالي للشعاع، ، بالكيلومتر.

*الخطوة 10-6: تحسب الخسارة في الفضاء الطلق، ، بوحدة* dB*.*

(36)      (dB)

*الخطوة 11-6:* تحسب مساهمة التغاير في الخسارة الكلية، ويُستخدم القسم 13 لحساب الخسارة ، ثم تُتبع الخطوة 12-6، على النحو التالي:

*بوجود المعطيات التالية*:

: العُلوان الفعليان للمطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 12-6:* تحسب خسارة الإرسال الأساسية.

(37)      (dB)

*الخطوة 13-6*: تمثل الإحصاءات المرتبطة بالتغاير في التوصية ITU-R P.528 التغيرات المتوقعة في مستوى الإشارة بمرور الوقت. ويمكن التعامل مع هذه الإحصاءات باعتبارها مستقلة عن الإحصاءات المتعلقة بالخسارة الناجمة عن الجلبة على النحو الموضح في التوصية ITU-R P.2108. ولذلك، إذا وقع طرف واحد من الوصلة ضمن الجلبة الاصطناعية، على النحو الموضح والمطلوب في التوصية ITU-R P.2108، يمكن الجمع بين أسلوب الخسارة الناجمة عن الجلبة وما يقابلها من التوزيع الإحصائي لخسارة الإشارة الموضح في الفقرة 3.3 من التوصية ITU-R P.2108 وبين النتائج الإحصائية للتوصية ITU-R P.528.

وإذا كانت الخسائر الناتجة عن الجلبة مرغوبة، تحسب قيمة على النحو الموضح في الفقرة 3.3 من التوصية ITU-R P.2108 باستخدام قيمة الزاوية (من المعادلة (53)) كزاوية الارتفاع، ويمكن عندئذ إضافة الخسارة الناتجة إلى نتيجة المعادلة (37).

وهنا، ينتهي الإجراء خطوة خطوة للمعلمات المحددة كمدخلات من المستعمل في مسير خط البصر.

# 7 المعلمات البصرية لشعاع خط البصر

يوضح هذا القسم كيفية حساب معلمات المسير الهندسية لمطرافين ضمن مسافة خط البصر لكل منهما باستخدام المعلمات البصرية للشعاع.

والمدخلات في هذا القسم هي:

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: حد تصحيح علو المطراف، بالكيلومتر؛

ومخرجات هذا القسم هي:

: مسافة طول الشعاع بين الشعاع المباشر والشعاع غير المباشر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس ، بالكيلومتر.

*الخطوة 1-7*: يحسب نصف قطر الأرض المعدل، :

(38)

(39)

(40)      (km)

*الخطوة 2-7: يحسب حد تصحيح علو المطراف المعدل من الأرض،* .

(41)      (km)

*الخطوة 3-7: يحسب العلو،* .

(42)      (km)

*الخطوة 4-7*: *تحسب المعلمات الهندسية للمطرافين،*  و و و.

(43)      (km)

(44)      (rad)

(45)      (km)

(46)      (km)

*الخطوة 5-7: تحسب ، الفارق في شعاعي المطرافين.*

(47)      (km)

*الخطوة 6-7*: تحسب مسافة المسيرين المطرافين المقابلة لزاوية الانعكاس .

(48)      (km)

*الخطوة 7-7*: بعد حساب المعلمات الهندسية، يحدد طول الشعاع المباشر، والشعاع غير المباشر، .

(49)      (rad)

(50)      (km)

(51)      (km)

*الخطوة 8-7*: يحسب الفارق في الطول بين الشعاعين.

(52)      (km)

*الخطوة 9-7*: تحسب الزاويتان .

(53)      (rad)

(54)      (rad)

وبذلك ينتهي هذا القسم.

# 8 حسابات خسارة خط البصر

يوضح هذا القسم كيفية إجراء حسابات الخسارة لمسير على خط البصر.

حيث:

: المسافة المطلوبة للمسير، بالكيلومتر؛

: زاوية انعكاس الشعاع، بالتقويم الدائري؛

: مسافة المسير التي تبدأ عندها تأثير الانعراج على منطقة خط البصر، بالكيلومتر (من الخطوة 5-6)؛

: التردد، بالوحدات MHz؛

تحسب:

: خسارة خط البصر، بوحدات dB.

*الخطوة 1-8*: إذا كانت مسافة المسير أكبر من ، فإن المسير يقع ضمن منطقة خلط انعراج خط البصر، وتحدد الخسارة باستخدام المعادلة (55) ويُستكمَل هذا القسم. وخلاف ذلك، تكون ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 2-8.

(55)      (dB)

*الخطوة 2-8*: تُستعمل زاوية الانعكاس , من الخطوة 6-2، وإذا كانت زاوية الانعكاس ، تحدد الخسارة بالمقدار dB 0 ويُستكمَل هذا القسم حيث إن التوصية ITU‑R P.528 لم تتناول نموذج الشعاعين داخل هذه المنطقة. وخلاف ذلك تكون ، ويتم الانتقال إلى الخطوة 3-8.

*الخطوة 3-8*: طول المسير ، على أساس أن التوصية ITU-R P.528 تستخدم نموذج الشعاعين يحسب طول الموجه، .

(56)      (dB)

*الخطوة 4-8*: يحسب معاملا الانعكاس المركبان و باستخدام القسم 9.

*الخطوة 5-8*: عامل التباعد ، يأخذ في الاعتبار أن الانعكاس من سطح منحنى مستوى للأرض يكون أقل كفاءة من الأرض غير المنحنية. ويحسب عامل التباعد للمسير، باستعمال من المعادلة (45).

(57) (km)

(58) (km)

(59)

*الخطوة 6-8*: عامل طول الشعاع، ، يأخذ في الاعتبار العوامل الهندسية التي يكون فيها الشعاع المباشر ذا مطال أكبر بكثير (ومسافة أقصر) من الشعاع غير المباشر، بحيث يقابل الوضع الذي يكون فيه المطرافان عاليين وقريبين من بعضهما في حالة وجودهما على طائرتين. يحسب العامل ، مع من المعادلة (51).

(60)

*الخطوة 7-8*: يحسب معاملا الانعكاس الفعليان و.

(61)

(62)

*الخطوة 8-8*: تحسب الخسارة، .

(63)

(64)

(65)

(66)

وهنا ينتهي هذا القسم.

# 9 معاملات الانعكاس الأرضي

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب معاملات الانعكاس الأرضي.

حيث:

: زاوية الانعكاس، بالتقويم الدائري؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: رمز يشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي؛

يحسب:

: الجزء الحقيقي من معامل الانعكاس؛

: الجزء التخيلي من معامل الانعكاس.

وباستخدام الافتراضات المذكورة سابقاً للخواص الكهربائية للأرض، و (تقابل مجموعة متوسطة).

*الخطوة 1-9*: تحسب القيم التالية،

(67)

(68)

(69)

(70)

(71)

*الخطوة 2-9*: تحسب *B* و*A* استناداً إلى معلمة الاستقطاب، ،

(72)

(73)

*الخطوة 3-9*: يحسب الجزآن الحقيقي والتخيلي لمعامل الانعكاس.

(74)

(75)

(76)

(77)

وهنا ينتهي هذا القسم.

# 10 انعراج الأرض المستوية

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة في حساب خسارة انعراج الأرض المستوية عند مسافة محددة داخل منطقة الانعراج. ويفترض النموذج "أرضاً متوسطة" بإيصالية تساوي S/m 0,005 () وقيمة لثابت العزل النسبي تساوي 15 ().

حيث:

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: رمز يشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي؛

تحسب:

: خسارة انعراج الأرض المستوية، بوحدات dB.

و يحسب انعراج الأرض المستوية باستخدام المعادلة (78):

(78)      (dB)

*الخطوة 1-10*: يحسب الحد *K*، وفقاً لمعلمة الاستقطاب، .

(79)

(80)

*الخطوة 2-10*: تحسب المسافات المقيَّسة.

(81)      (km)

*الخطوة 3-10*: يحسب الحد الذي يعتمد على المسافة لجميع المسافات المقيسة الثلاث.

(82)      (dB)

*الخطوة 4-10*: يحسب الحد .

(83)      (dB)

*الخطوة 5-10*: تحسب دالّتا العلوين.

إذا كانت :

(84)      (dB)

وإذا كانت :

(85)

(86)      (dB)

وإذا كانت، .

(87)      (km)

(88)     (dB)

*الخطوة 6-10*: بعد حساب الدالتين و، تستخدم المعادلة (78) أعلاه لحساب خسارة انعراج الأرض المستوية.

وهذه هي نهاية هذا القسم.

# 11 الانتثار التروبوسفيري

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة في حساب الانتثار التروبوسفيري عند مسافة معينة. ويجرى حساب خسارة الانتثار التروبوسفيري باستخدام تقنيات رياضية تنظر في مسيرات الأشعة المنحنية التي تحيط بالحجم المشترك للمطرافين. ويحسب الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (89) والموضحة أدناه).

(89)      (dB)

حيث:

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: علوا المطرافين الفعليين، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: مسافة المسير المطلوبة، بالكيلومتر؛

تحسب:

: خسارة الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB؛

: علو الحجم المشترك، بالكيلومتر؛

: زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري.

*الخطوة 1-11*: تحسب مسافة الانتثار، ، بالكيلومتر.

(90)      (km)

*الخطوة 2-11*: إذا كانت ، لا يوجد حجم مشترك في هندسة المسير وبالتالي، لا يدعم الانتشار عبر الانتثار التروبوسفيري. تضبط النتائج أدناه ويُنتقَل إلى الخطوة 3.7-3 في القسم 3. وإذا كانت ، ثم مواصلة الحساب بالخطوة 3-11.

(91)      (dB)

(92)      (km)

(93)      (rad)

*الخطوة 3-11*: مسافة قوس الأرض المستوية من كل شعاع مماس للمطراف إلى مركز الحجم المشترك، :

(94)      (km)

*الخطوة 4-11*: تحسب معلمات التدرج الجوي:

(95)

(96)

(97)

*الخطوة 5-11*: تستخدم المعادلات التالية لتحديد المعلمات الهندسية المرتبطة بالانتثار التروبوسفيري، بما في ذلك علو حجم المشترك، ، بالكيلومتر، وميل لحل شعاع من الشعاعين عند زاوية العبور، ، بالتقويم الدائري.

(98)      (km)

(99)      (km)

(100)

(101)

(102)      (km)

(103)      (km)

(104)

(105)      (km)

(106)      (rad)

(107)      (rad)

*الخطوة 6-11*: يحسب حد حجم الانتثار، .

(108)

(109)

(110)

(111)      (dB)

*الخطوة 7-11*: يحسب حد حجم الانتثار، .

(112)

(113)      (km)

(114)      (km)

(115)

(116)

(117)

(118)      (km)

(119)      (dB)

حيث:

(120)

(121)

(122)

(123)

(124)

(125)

(126)

*الخطوة 8-11*: تحسب خسارة الانتثار التروبوسفيري باستخدام المعادلة (89).

وهذه هي نهاية هذا القسم.

# 12 التغاير الإجمالي للمسيرات العابرة للأفق

يحدد هذا القسم الطريقة التي تحسب بها المساهمة الإجمالية للتغاير في خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة لمسير عابر للأفق.

حيث:

: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

: التردد، بالوحدات MHz؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB؛

: زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري؛

تحسب:

: خسارة التغاير الإجمالية، بوحدات dB.

*الخطوة 1-12*: تحسب مساهمة التغاير طويل الأجل للنسبة المئوية من الوقت ، باستخدام القسم 14. ويتم بعد ذلك الانتقال إلى الخطوة 2-12. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد، بالوحدات MHz؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

: تضبط على القيمة ؛

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB؛

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 2-12*: لكي يتم الجمع بشكل سليم بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة، وكل منهما في صورة توزيع، يلزم وجود القيمة المتوسطة لتوزيع التغاير طويل الأجل. وتحسب مساهمة التغاير طويل الأجل لنسبة مئوية من الوقت تساوي 50 باستخدام القسم 14. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3-12. وتستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

: علوا المطرافين فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد، بالوحدات MHz؛

: النسبة المئوية المتوسطة من الوقت ()؛

: تضبط على القيمة ؛

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن الانعراج أو الانتثار التروبوسفيري، بوحدات dB؛

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 3-12*: لنقل تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة بسلاسة من منطقة خط البصر إلى المنطقة العابرة للأفق، ينبغي تحديد قيمة  التي تتحدد من عندها المسيرات التربوسفيرية المتعددة عند نقطة الانتقال من منطقة خط البصر والمنطقة خارج خط البصر. وتحسب خسارة خط البصر، كما هو موضح في القسم 6. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 4-12. ويستخدم القسم 6 كالتالي:

حيث:

: مسافة خط البصر القصوى، بالكيلومتر؛

: المسافة التي يعطي عندها نموذج الانعراج قمية خسارة متنبأ بها تساوي dB 0، بالكيلومتر، من المعادلة (13)؛

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد، بوحدات MHz؛

: خسارة الانعارج عند المسافة ، بوحدات dB؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

: مسافة المسير المطلوبة؛

تحسب:

: خسارة الإرسال الأساسية، بوحدات dB؛

: قيمة تستخدم في حسابات التغاير اللاحقة.

*الخطوة 4-12*: تحسب القيمة التي تستخدم لتحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة. نفترض أن  
 بالتقويم الدائري (1,5 درجة).

(127)

*الخطوة 5-12*: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت باستخدام القسم 15. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6-12. ويستخدم القسم 15 كالتالي:

حيث:

: القيمة

*:* النسبة المئوية من الوقت

تحسب:

: مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة عند النسبة المئوية من الوقت ، بوحدات dB.

*الخطوة 6-12*: الجمع بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغاير الإجمالي، ، باستخدام القيم التي تم حسابها من قبل و و. والقيمة المتوسطة للمسيرات المتعددة التروبوسفيرية تكون 0 = .

(128)

(129)

(130)      (dB)

وبذلك ينتهي هذا القسم.

# 13 التغاير الإجمالي لمسيرات خط البصر

يحدد هذه القسم كيفية حساب مساهمة التغاير في خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة.

حيث:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

: التردد، بالوحدات MHz؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB؛

: زاوية الانتثار، بالتقويم الدائري؛

: قيمة دخل؛

تحسب:

: خسارة التغاير الإجمالي، بوحدات dB.

*الخطوة 1-13*: تحسب القيمة باستخدام القيمة من حسابات المعلمات البصرية للشعاع التي أجريت قبل ذلك.

(131)

*الخطوة 2-13*: تحسب مساهمة التغاير طويل الأجل للنسبة المئوية من الوقت، ، باستخدام القسم 14. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 3-13. ويستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد، بالوحدات MHz؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

: قيمة دخل لهذا القسم؛

: الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB؛

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 3-13*: لكي يتم الجمع بشكل سليم بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة، وكل منهما في صورة توزيع، يلزم وجود القيمة المتوسطة لتوزيع التغاير طويل الأجل. وتحسب مساهمة التغاير طويل الأجل لنسبة مئوية من الوقت تساوي 50 باستخدام القسم 14. ثم يتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 4-13. وتستخدم القسم 14 كالتالي:

حيث:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: التردد بالوحدات MHz؛

: النسبة المئوية المتوسطة من الوقت ()؛

: قيمة الادخال في هذا القسم؛

: الخسارة المتنبأ بها، بوحدات dB؛

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

*الخطوة 4-13*: تحسب القيمة التالية للمتغير ، المستخدمة في تحديد تأثيرات المسيرات التروبوسفيرية المتعددة، باستعمال من المعادلة (166) و من المعادلة (61) على النحو التالي:

(132)

(133)

(134)

وتحسب قيمة ، كالتالي:

(135)      (dB)

حيث هو مسير طول الشعاع المحسوب أثناء تتبع الشعاع بين مطرافي خط البصر.

ثم يستخدم الجدول 5 للاستكمال الدخلي بقيمة المقابلة لقيمة وتستخدم قيمة تلك في حساب كالتالي:

(136)

وبعد حساب ، يستكمل حساب ، كالتالي:

(137)

(138)

(139)

*الخطوة 5-13*: تحسب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة للنسبة المئوية من الوقت ، باستخدام القسم 15. ويتم الانتقال بعد ذلك إلى الخطوة 6-13. ويستخدم القسم 15 كالتالي:

حيث:

: قيمة تضبط على القيمة ؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

تحسب:

: مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة عند النسبة المئوية من الوقت ، بوحدات dB.

*الخطوة 6-13*: يتم الجمع بين تأثير كل من التغاير طويل الأجل والمسيرات التروبوسفيرية المتعددة للحصول على مساهمة التغاير الإجمالي،، باستخدام القيم المحسوبة من قبل و و. والقيمة المتوسطة للمسيرات التروبوسفيرية المتعددة تكون 0 = .

(140)

(141)

(142)      (dB)

وتستكمل هذه الخطوة هذا القسم.

# 14 التغاير طويل الأجل

يوضح هذا القسم الخطوات المتبعة لحساب التوزيع الإحصائي للتغاير طويل الأجل للنسبة المئوية المطلوبة من الوقت، . ويستخدم التغاير طويل الأجل مسافة فعلية مقيسة، ، وهي دالة لمسافات المطراف في أفق الأرض المستوية ومسافة تعتمد على التردد[[3]](#footnote-3)1. ويعتمد هذا القسم على معلمات إحصائية تستند إلى بيانات قياس تجربية طويلة الأجل.

حيث:

: علو المطراف فوق متوسط مستوى سطح البحر، بالكيلومتر؛

: مسافة الدائرة العظمى إلى أفق الأرض المستوية للمطراف، بالكيلومتر؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

: التردد، بالوحدات MHz؛

: مسافة مسير الدائرة العظمى بين مطرافين، بالكيلومتر؛

: قيمة ثابتة أو معلمة حسبت من قبل، تتوقف على نوع المسير؛

: الخسارة المتنبأ بها الناجمة عن نموذج خط البصر أو نموذج الانعراج أو نماذج فرعية للانتثار التروبوسفيري (حسبت من قبل)، بوحدات dB؛

تحسب:

: خسارة التغاير طويل الأجل، بوحدات dB.

ملاحظة: دالة مقلوب التوزيع العادي التراكمي التكميلي، ، تستخدم في عدة مواضع في هذا القسم. وترد في التوصية ITU‑R P.1057 تقنية لتقريب قيمتها لطريقة الخطوة خطوة هذه. وتعرَّف الدالة بحيث .

*الخطوة 1-14*: تحسب المسافة ، المسافة الفعلية بين المطرافين بالكيلومتر.

(143)      (km)

(144)      (km)

(145)      (km)

(146)      (km)

*الخطوة 2-14*: يحسب و.

(147)

(148)

*الخطوة 3-14*: تحسب و و باستخدام المعادلات أدناه والقيم المأخوذة من الجدول 1.

الجدول 1

قيم لحساب معادلات التغاير طويل الأجل

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 1,59e-5 | 5,25e-4 | 2,93e-4 |
|  | 1,56e-11 | 1,57e-6 | 3,78e-8 |
|  | 2,77e-8 | 4,70e-7 | 1,02e-7 |
|  | 2,32 | 1,97 | 2,00 |
|  | 4,08 | 2,31 | 2,88 |
|  | 3,25 | 2,90 | 3,15 |
|  | 0,0 | 5,4 | 3,2 |
|  | 3,9 | 10,0 | 8,2 |

(149)

(150)      (dB)

*الخطوة 4-14*: تحسب ، التغاير المرتبط بخبو القدرة طويل الأجل (ساعة بساعة)، استناداً إلى النسبة المئوية من الوقت المطلوبة، .

إذا كانت ، فإن:

(151)      (dB)

وإذا كانت ، فإن:

(152)

(153)

(154)

(155)      (dB)

(156)      (dB)

وإذا كانت ، تتخذ خطوات إضافية. وإذا كانت ، فإن:

(157)

(158)

(159)

(160)      (dB)

(161)      (dB)

وخلاف ذلك، أي ، تستخدم قيم الجدول 2 من أجل الاستكمال الداخلي الخطي للمتغير من المتغير . وتطبق بعد ذلك المعادلتان (160) و(161) للحصول على .

الجدول 2

قيم الاحتمال المنخفض للمتغير

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 10 | 1,000 0 |
| 5 | 1,326 5 |
| 2 | 1,716 6 |
| 1 | 1,950 7 |

*الخطوة 5-14*: تحسب ، التغاير المرتبط بخبو القدرة طويل الأجل (كل ساعة) للقيمة .

(162)      (dB)

*الخطوة 6-14*: تحسب و.

(163)      (dB)

(164)      (dB)

*الخطوة 7-14*: تحسب ، التي تستخدم لمنع القيم المتاحة لقدرة الإشارة من تجاوز المستويات المتوقعة للانتشار في الفضاء الحر بمقادير غير واقعية عندما يكون التغاير حول القيمة المتوسطة كبيراً وقريباً من مستوياته في الفضاء الحر.

(165)      (dB)

(166)      (dB)

*الخطوة 8-14*: إذا كانت ، تحسب خسارة التغاير الإجمالي، وهو ما ينهي هذا القسم. وخلاف ذلك، يتم الانتقال إلى الخطوة 9-14 ومواصلة الحسابات.

(167)      (dB)

*الخطوة 9-14*: لقيم النسبة المئوية من الوقت الأقل من %10، قد يلزم تطبيق تصحيح إضافي. وتحسب قيمة .

(168)      (dB)

*الخطوة 10-14*: يستخدم الجدول 3 لإجراء الاستكمال الداخلي الخطى للمتغير من المتغير .

الجدول 3

قيم تصحيح الاحتمال المنخفض

|  |  |
| --- | --- |
| 10 | 0,00 |
| 5 | 3,70– |
| 5 | 4,50– |
| 1 | 5,00– |

*الخطوة 11-14*: تحسب خسارة التغاير الإجمالي.

(169)

وبذلك ينتهي قسم التغاير طويل الأجل.

# 15 المسيرات التروبوسفيرية المتعددة

يشرح هذا القسم كيفية حساب مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة في التغاير الإجمالي.

حيث:

: معلمة دخل؛

: النسبة المئوية من الوقت؛

تحسب:

: مساهمة المسيرات التروبوسفيرية المتعددة عند النسبة المئوية من الوقت،، بوحدات dB.

ويستخدم هذا القسم بيانات جدولية لتوزيع ناكاغامي-رايس. ويعرض الجدول 4 البيانات للنسبة بينما يعرض الجدول 5 البيانات للنسبة . وبالنسبة لجميع القيم التي تكون فيها النسبة ، فإن التغاير .

الجدول 4

قيم النسب المئوية المنخفضة من الوقت من أجل توزيع ناكاغامي-رايس

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 40− | 0,1417− | 0,1252− | 0,1004− | 0,0784− | 0,0634− | 0,0515− | 0,0321− | 0,0155− |
| 25− | 0,7676− | 0,6811− | 0,5497− | 0,4312− | 0,3504− | 0,2856− | 0,1790− | 0,0870− |
| 20− | 1,3183− | 1,1738− | 0,9524− | 0,7508− | 0,6121− | 0,5003− | 0,3151− | 0,1537− |
| 18− | 1,6263− | 1,4507− | 1,1805− | 0,9332− | 0,7623− | 0,6240− | 0,3940− | 0,1926− |
| 16− | 1,9963− | 1,7847− | 1,4573− | 1,1557− | 0,9462− | 0,7760− | 0,4916− | 0,2410− |
| 14− | 2,4355− | 2,1829− | 1,7896− | 1,4247− | 1,1695− | 0,9613− | 0,6113− | 0,3007− |
| 12− | 2,9491− | 2,6507− | 2,1831− | 1,7455− | 1,4375− | 1,1846− | 0,7567− | 0,3737− |
| 10− | 3,5384− | 3,1902− | 2,6407− | 2,1218− | 1,7535− | 1,4495− | 0,9307− | 0,4619− |
| 8− | 4,1980− | 3,7974− | 3,1602− | 2,5528− | 2,1180− | 1,7565− | 1,1345− | 0,5662− |
| 6− | 4,9132− | 4,4591− | 3,7313− | 3,0306− | 2,5247− | 2,1011− | 1,3655− | 0,6855− |
| 4− | 5,6559− | 5,1494− | 4,3315− | 3,5366− | 2,9578− | 2,4699− | 1,6150− | 0,8154− |
| 2− | 6,3810− | 5,8252− | 4,9219− | 4,0366− | 3,3871− | 2,8364− | 1,8638− | 0,9455− |
| 0 | 7,0247− | 6,4249− | 5,4449− | 4,4782− | 3,7652− | 3,1580− | 2,0804− | 1,0574− |
| 2 | 7,5229− | 6,8862− | 5,8424− | 4,8090− | 4,0446− | 3,3927− | 2,2344− | 1,1347− |
| 4 | 7,8532− | 7,1880− | 6,0963− | 5,0145− | 4,2145− | 3,5325− | 2,3227− | 1,1774− |
| 6 | 8,0435− | 7,3588− | 6,2354− | 5,1234− | 4,3022− | 3,6032− | 2,3656− | 1,1975− |
| 20 | 8,2238− | 7,5154− | 6,3565− | 5,2137− | 4,3726− | 3,6584− | 2,3979− | 1,2121− |

الجدول 5

قيم النسب المئوية المرتفعة من الوقت من أجل توزيع ناكاغامي-رايس

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 40− | 0,0156 | 0,0323 | 0,0518 | 0,0639 | 0,0791 | 0,1016 | 0,1271 | 0,1441 |
| 25− | 0,0878 | 0,1828 | 0,2953 | 0,3651 | 0,4537 | 0,5868 | 0,7390 | 0,8420 |
| 20− | 0,1564 | 0,3269 | 0,5308 | 0,6585 | 0,8218 | 1,0696 | 1,3572 | 1,5544 |
| 18− | 0,1969 | 0,4127 | 0,6722 | 0,8355 | 1,0453 | 1,3660 | 1,7417 | 2,0014 |
| 16− | 0,2478 | 0,5209 | 0,8519 | 1,0615 | 1,3326 | 1,7506 | 2,2463 | 2,5931 |
| 14− | 0,3114 | 0,6573 | 1,0802 | 1,3505 | 1,7028 | 2,2526 | 2,9156 | 3,3872 |
| 12− | 0,3903 | 0,8281 | 1,3698 | 1,7198 | 2,1808 | 2,9119 | 3,8143 | 4,4714 |
| 10− | 0,4874 | 1,0404 | 1,7348 | 2,1898 | 2,7975 | 3,7820 | 5,0373 | 5,9833 |
| 8− | 0,6045 | 1,2999 | 2,1887 | 2,7814 | 3,5868 | 4,9288 | 6,7171 | 8,1319 |
| 6− | 0,7415 | 1,6078 | 2,7374 | 3,5059 | 4,5714 | 6,4060 | 8,9732 | 11,0973 |
| 4− | 0,8935 | 1,9530 | 3,3611 | 4,3363 | 5,7101 | 8,1216 | 11,5185 | 14,2546 |
| 2− | 1,0458 | 2,2979 | 3,9771 | 5,1450 | 6,7874 | 9,6276 | 13,4690 | 16,4251 |
| 0 | 1,1723 | 2,5755 | 4,4471 | 5,7363 | 7,5266 | 10,5553 | 14,5401 | 17,5511 |
| 2 | 1,2535 | 2,7446 | 4,7144 | 6,0581 | 7,9073 | 11,0003 | 15,0270 | 18,0526 |
| 4 | 1,2948 | 2,8268 | 4,8377 | 6,2021 | 8,0724 | 11,1869 | 15,2265 | 18,2566 |
| 6 | 1,3130 | 2,8619 | 4,8888 | 6,2610 | 8,1388 | 11,2607 | 15,3047 | 18,3361 |
| 20 | 1,3255 | 2,8855 | 4,9224 | 6,2992 | 8,1814 | 11,3076 | 15,3541 | 18,3864 |

*الخطوة 1-15*: يجرى باستخدام الجدولين 4 و5 الاستكمال الداخلي الخطي من أجل تحديد التغاير للقيم المطلوبة لكل من  و. يرجى العلم بأن .

وبذلك ينتهي هذا القسم.

الملحق 3  
  
النتائج التجريبية

أجريت اختبارات انتشار عند التردد MHz 930 لمسيرات من الجو إلى الأرض في اليابان في نوفمبر 1982 وأبريل ويونيو 1983. وطبقاً لنتائج الاختبارات فإن خسارات الانتشار داخل مسيرات خط البصر اتفقت بصورة جيدة مع القيم في الفضاء الحر. وقد كانت مسافة خط البصر كما تم حسابها مع المعطيات المقيسة على ارتفاع m 10 000، أقصر من المسافة المعتبرة.

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

1. \* ترفع هذه التوصية إلى علم لجنة الدراسات 5. [↑](#footnote-ref-1)
2. \*\* أجرت لجنة الدراسات 3 تعديلات صياغية على هذه التوصية في 2022 طبقاً للقرار ITU-R 1. [↑](#footnote-ref-2)
3. 1 اعتمد الأسلوب السابق لحساب إحصاءات التغاير طويل الأجل التي على أرض فعالة ذات قيمة انكسارية سطحية قدرها 329 وحدة N. وقد أظهر الاستقصاء والاختبار أن استعمال المتوسط السنوي للظروف الجوية المرجعية العالمية في هذه القياسات المحسوبة يؤدي إلى نتائج شبه متماثلة وتقدم وصفاً أقرب إلى الوصف الفيزيائي للأساليب الجاري وصفها. [↑](#footnote-ref-3)