التوصية ITU-R P.620-6*

معطيات الانتشار المطلوبة لتقدير مسافات التنسيق في مدى الترددات من 100 MHz إلى 105 GHz

(المسألة ITU-R 208/3)

(2005-2003-1999-1997-1995-1992-1986)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن منطقة التنسيق هي المنطقة المحيطة بمحطة أرضية والمعرّفة بحيث يمكن اعتبار أي تداخل بين المحطة الأرضية المعنية ومحطات الأرض خارج هذه المنطقة مهملاً؛

ب) أن تحديد منطقة التنسيق ينبغي أن يعتمد على أفضل معطيات متيسرة بشأن الانتشار وأن يكون متحفظاً بالقدر المطلوب؛

ج) أن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (إسطنبول، 2000) (WRC-2000) أقر مراجعة التذييل 7 للوائح الراديو (التي عدلها فيما بعد المؤتمر WRC-03) اعتماداً على المواد الواردة في التوصية ITU-R SM.1448 والتي تعتمد بدورها على مواد وردت في التوصية ITU-R P.620 تشمل مدى الترددات من 100 MHz إلى 105 GHz؛

د) أن القرار (WRC-03) 74 يصف عملية لجعل الأسس التقنية التي يقوم عليها التذييل 7 مواكبة للعصر،

توصي

1 بأن تستعمل الإدارات، لدى تحديد منطقة التنسيق عند الترددات فوق 100 MHz، طرائق حساب الانتشار المحددة في الملحق 1.

الملحق 1

1 مقدمة

يتناول هذا الملحق معطيات انتشار لكي تستعمل في حساب منطقة التنسيق ويعرض طريقة مباشرة لتقدير عوامل الانتشار المعنية في تحديد مسافات التنسيق.

وتمثل منطقة التنسيق المنطقة التي يمكن فيها إهمال التداخل الذي يحدث خارجها بين محطة أرضية ومحطات للأرض (أو بين محطات أرضية تعمل في الاتجاهين) تعمل في إطار الافتراضات المتحفظة الواردة في مكان آخر. وفي الجزء المتبقي من هذه التوصية فإن عبارة محطات للأرض يمكن أن تمثل أيضاً المحطات الأرضية العاملة في الاتجاهين. ولذلك فإن تحديد مسافة التنسيق تستوجب المقارنة بين خسارة الإرسال المطلوبة (الحد الأدنى من خسارة الإرسال الأساسية المسموح بها، $L_b(p)$ (dB)، الذي لا يتجاوز نسبة مئوية سنوية محددة من الزمن p)، على أساس اعتبارات النظام ونموذج التداخل، وخسارة الإرسال الذي يسهم فيها محيط الانتشار. ومسافة التنسيق المطلوبة هي تلك المسافة التي تتساوى فيها الخسارتان.

---

* ينبغي أن ترفع هذه التوصية إلى لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية.

وهنالك نماذج انتشار متنوعة لتشمل مختلف مجالات التردد ولكي تأخذ في الحسبان مختلف آليات الانتشار. وتتنبأ هذه النماذج بخسارة الانتشار كتابع للمسافة. وتحدد مسافات التنسيق بحساب خسارة الانتشار تكرارياً مع المساحة حتى الوصول إما إلى مستوى الخسارة في الإرسال أو إلى مسافة مقيدة.

ولا بد من الإشارة إلى أن منطقة التنسيق لا تمثل منطقة يستثنى داخلها تقاسم الترددات بين المحطة الأرضية والمحطة للأرض. وغالباً ما يكون هذا التقاسم ممكناً بل إن منطقة التنسيق تساعد في تحقيق ذلك بالإشارة إلى أماكن احتمال التداخل بين المحطة الأرضية وأي محطات للأرض الذي يحتاج إلى التقدير باستخدام تحليل أكثر تفصيلاً يعتمد على توصيات ITU-R ذات الصلة.

وإضافة إلى توفير طريقة حساب كفاف التنسيق توفر هذه التوصية أيضاً معلومات تمكّن من إعداد الأكفة المساعدة إسهاماً في سرعة إزالة غالبية حالات التداخل الكامنة أثناء المراحل اللاحقة لتحليل التنسيق من أجل محطات الأرض الواقعة داخل كفاف التنسيق.

2 بنية التوصية

التوصية مبنية على النحو التالي:

الملحق 1: المنهجية الإجمالية لتحديد منطقة التنسيق

التذييل 1 للملحق 1: تعريف معلمات الدخل

التذييلان 2 و3 للملحق 1: المعادلات المطلوبة لحساب أكفة التنسيق

التذييل 4 للملحق 1: مخطط إشعاع مرجعي لهوائيات نظام المرحلات الراديوية في خط البصر

التذييل 5 للملحق 1: تعريف جميع المعلمات.

3 اعتبارات عامة

1.3 افتراضات

يعتمد تحديد خصائص الانتشار في مسافة التنسيق بالنسبة لمحطة أرضية على الافتراضات التالية:

- مواقع المحطات للأرض التي يلتمس التنسيق معها غير معروفة؛
- في هندسة مسار التداخل لا يتوفر سوى المعلومات المتعلقة بالمحطة الأرضية؛
- ضرورة وضع افتراضات تقييدية حذرة بالنسبة لهندسة باقي مسير التداخل كما هو مبين أدناه.

تصنف ظواهر الانتشار في هذا الملحق في أسلوبين على النحو التالي:

- *الأسلوب (1)*: ظواهر الانتشار في الجو الصافي:
  - التي تتأثر بحكم سطح الأرض (الانعراج والانكسار والجريان والانعكاس/الانكسار الطبقي)،
  - وعن طريق الانتثار التروبوسفيري. وتقتصر هذه الظواهر على الانتشار على امتداد مسير الدائرة العظمى؛
- *الأسلوب (2)*: الانتثار بالماء الجوي الذي لا يقتصر على مسير الدائرة العظمى ولكنه يقتصر، كما سيذكر في هذا الملحق، على المحطات الأرضية المجهزة بسواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض.

ومن الضروري بالنسبة لكل سمت انطلاقاً من المحطة الأرضية ولكل من أسلوبي الانتشار الواردين أعلاه تحديد مسافة تكون فيها خسارة الانتشار مساوية للحد الأدنى المطلوب من خسارة الإرسال الأساسية المسموح بها. وتكون هذه المسافة (مسافة التنسيق) هي أكبر المسافتين المحسوبتين.

ويمكن دوماً لطريقة التكرار أن تستخدم خطوة موحدة من حيث الطول، ويوصى بأن يكون مقدارها 1 km. وتكون دالات تحديد خسارة الانتشار في الأسلوب (1) رتيبة مع المسافة ومن الممكن، إذا أردنا، استخدام إجراء تكراري أكثر كفاءة.

2.3 لمحة موجزة عن نماذج الانتشار

لدى تحديد مسافات التنسيق من أجل أسلوب الانتشار (1) جرى تقسيم مدى التردد قيد النظر إلى ثلاثة أقسام:

- للترددات VHF/UHF الواقعة بين 100 MHz و790 MHz يعتمد النموذج على مواءمة تجريبية للمعطيات المقيسة؛
- للترددات من 790 MHz إلى 60 GHz يستخدم نموذج انتشار يأخذ في الحسبان الانتثار التروبوسفيري والجريان والانعكاس/الانكسار الطبقي؛
- للترددات من 60 GHz إلى 105 GHz يستخدم نموذج ميليمتري يعتمد على الخسارة في الفضاء الحر وعلى تقدير متحفظ للامتصاص الغازي مع مراعاة وسائل تعزيز الإشارة في النسب المئوية الصغيرة من الزمن.

ويختلف عموماً مدى دخل المعلمة بالنسبة لكل آلية من آليات نموذج أسلوب الانتشار (1).

ومن أجل تحديد مسافات التنسيق لأسلوب الانتشار (2) تجري نمذجة التناثر المتناحي من الماء الجوي وذلك في الحجم المشترك الذي يتشكل من الحزم الرئيسية للمحطات التي يحتمل أن تكون مصدر التداخل. ولأغراض تنسيق الترددات في النطاقات دون 1 GHz وفوق 40,5 GHz يمكن إهمال التداخل الذي يتسبب عن تناثر الماء الجوي، إذ تكون سوية الإشارة المتناثرة دون 1 GHz منخفضة جداً وتكون فوق 40,5 GHz، رغم حدوث قدر لا بأس به من التناثر، موهنة جداً على امتداد المسير من حجم التناثر إلى محطة الأرض.

وبالنسبة للأسلوب (1) تتدرج المسافة بالزيادة اعتباراً من حد أدنى محدد يختلف تبعاً لعوامل الانتشار ذات الصلة بكل مدى من الترددات. أما بالنسبة للأسلوب (2) فإن المسافة تتدرج بالنقصان اعتباراً من حد أقصى يرد في الجدول 2. وبالنسبة للأسلوب المساعد (2) تتدرج المسافة بالنقصان اعتباراً من مسافة التنسيق في الأسلوب الرئيسي (2) من أجل نفس السمت.

وينبغي حساب الخسارة الناجمة عن الحجب بحكم التضاريس المحيطة بالمحطة الأرضية وذلك بالطريقة الموصوفة في البند 1 من التذييل 2 تبعاً لزوايا ارتفاع الأفق على امتداد أشعة مختلفة انطلاقاً من المحطة الأرضية. وينبغي أن تؤخذ هذه الخسارة الإضافية في الحسبان بالنسبة لجميع الترددات التي تتراوح بين 100 MHz و105 GHz.

4 معلومات المناخ الراديوي

1.4 معطيات المناخ الراديوي

لأغراض حساب مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (1) صنفت مناطق العالم إلى مناطق مناخات راديوية (انظر البند 2.4) وفقاً لمعلمة أرصاد جوية راديوية يشار إليها بالرمز β_p وهي تعبر عن احتمال ظروف الانتشار الشاذ في الجو الصافي.

وتعتمد قيمة β_p على خط العرض. وتتحدد درجة خط العرض الواجب استخدامها في تحديد قيمة β_p الصحيحة بالمعادلة التالية:

$$\zeta_r = \begin{cases} |\zeta| - 1.8 & \text{for} \quad |\zeta| > 1.8^\circ \quad (1a) \\ 0 & \text{for} \quad |\zeta| \le 1.8^\circ \quad (1b) \end{cases}$$

حيث ζ هي موقع المحطة الأرضية من حيث درجة العرض (بالدرجات).

عندئذ تتحدد قيمة β_p باستخدام العلاقة:

$$\beta_p = \begin{cases} 10^{1.67 - 0.015\,\zeta_r} & \text{for} \quad \zeta_r \le 70^\circ \quad (2a) \\ 4.17 & \text{for} \quad \zeta_r > 70^\circ \quad (2b) \end{cases}$$

وبالنسبة للترددات الواقعة بين 790 MHz و60 GHz تستخدم قرينة الانكسار السطحي عند مستوى البحر في مركز المسير N_0 في حسابات أسلوب الانتشار (1). ويمكن حساب ذلك باستخدام المعادلة:

$$N_0 = 330 + 62.6\, e^{-\left(\frac{\zeta - 2}{32.7}\right)^2} \quad (3)$$

2.4 مناطق المناخ الراديوي

لدى حساب مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (1) يقسم العالم إلى أربع مناطق مناخية راديوية أساسية. وتحدد هذه المناطق على النحو التالي:

- *المنطقة 1A:* الأراضي الساحلية ومناطق الشواطئ، أي الأراضي المتاخمة لمنطقة B أو منطقة C (انظر أدناه)، حتى ارتفاع 100 m بالنسبة إلى متوسط سوية البحر أو الماء، ولكنها تقتصر على مسافة أقصاها 50 km من أقرب منطقة B أو منطقة C حسبما تكون الحالة، وإذا لم تتوفر معلومات دقيقة عن كفاف مسافة 100 m يمكن استعمال قيمة تقريبية (300 قدم مثلاً)؛
- *المنطقة 2A:* كل الأراضي عدا الأراضي الساحلية والشواطئ المعرّفة في المنطقة 1A أعلاه؛
- *المنطقة B:* البحار والمحيطات والمياه الداخلية الكبرى الباردة الواقعة في خطوط عرض تتجاوز 30°، باستثناء البحر المتوسط والبحر الأسود؛
- *المنطقة C:* البحار والمحيطات والمياه الداخلية الكبرى الباردة الواقعة في خطوط عرض دون 30°، وكذلك البحر المتوسط والبحر الأسود؛

ويحتاج الأمر إلى معلمات المسافة التالية لكل منطقة في مختلف نماذج الترددات:

d_{lm} (km): أطول مسافة مستمرة داخل الأرض، المنطقة 2A، ضمن مسافة المسير الراهنة؛

d_{tm} (km): أطول مسافة برية مستمرة (أي داخل الأرض + ساحلية)، المنطقة 1A + المنطقة 2A، ضمن مسافة المسير الراهنة.

وإذا دعت الضرورة يتعين إعادة تقييم هذه المسافات لكل مسافة مسير بأكملها داخل عرى التكرار في نماذج الانتشار.

المساحات الكبيرة من المياه الداخلية

تعرّف منطقة كبيرة من المياه الداخلية، تعتبر أنها واقعة في المنطقة B أو المنطقة C حسبما يكون ملائماً، لغرض التنسيق إدارياً على أنها منطقة تبلغ مساحتها ما لا يقل عن 7 800 km^2، ولكن باستثناء مناطق الأنهار. والجزر الواقعة داخل مساحات المياه هذه تعتبر جزءاً منها في حسابات هذه المنطقة إذا كانت مرتفعاتها دون 100 m فوق متوسط سوية الماء لأكثر من 90% من مساحتها. أما الجزر التي لا تلبي هذه المعايير فتصنف على أنها مساحة برية وذلك لأغراض حساب مساحة المياه.

مناطق البحيرات الداخلية الكبرى أو المناطق البرية الرطبة

ينبغي للإدارات أن تعتبر المناطق الداخلية التي تزيد مساحتها عن 7 800 km^2 والتي تحتوي على العديد من البحيرات الصغيرة أو على شبكة من الأنهار جزءاً من المنطقة 1A الساحلية إذا كانت تلك المنطقة تحتوي على أكثر من 50% من المياه وكان ارتفاع أكثر من 90% من الأرض فيها دون 100 m فوق متوسط سوية المياه.

ونظراً لصعوبة تجنب الالتباس في تحديد المناطق المناخية التابعة للمنطقة 1A ومساحات المياه الداخلية الواسعة والبحيرات الداخلية الكبرى والمناطق البرية الرطبة يطلب من الإدارات أن تسجل لدى مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد تلك المناطق الواقعة داخل حدودها الوطنية والتي ترغب في اعتبارها تابعة لإحدى هذه الفئات. وما لم تتوفر معلومات مسجلة خلافاً لذلك تعتبر كل المناطق البرية على أنها تابعة للمنطقة المناخية 2A.

3.4 استخدام المعلومات المناخية الراديوية من توصيات أخرى

في بعض الأجزاء التي تتناول حسابات كل من الأسلوب (1) والأسلوب (2) ترد الإشارة إلى معلومات مناخية راديوية مستقاة من توصيات ITU-R أخرى، وهي:

أ) التوصية ITU-R P.836 لكثافة بخار الماء؛

ب) التوصية ITU-R P.837 لمعدل هطول المطر؛

ج) التوصية ITU-R P.839 لارتفاع المطر.

يشار إلى هذه التوصيات حيثما يكون ضرورياً للحصول على معلمة مناخية راديوية لموقع معين بإحداثيات خط الطول وخط العرض. وفي أجزاء أخرى من حسابات الأسلوب (1) والأسلوب (2) تستخدم قيم ثابتة لبعض المعلمات المناخية الراديوية. وفي هذه الحالات لا حاجة إلى الإشارة إلى توصيات أخرى.

5 حدود المسافة

1.5 حدود المسافة الدنيا

تتحدد مسافة التنسيق في أي اتجاه بحكم عدد من العوامل التي وردت أعلاه وقد تمتد هذه المسافات، على أساس عوامل الانتشار لوحدها، من مسافة قريبة نسبياً من المحطة الأرضية إلى عدة مئات الكيلومترات. ولكن من الضروري، لدواعي عملية وكذلك لكي تؤخذ بالحسبان الافتراضات التي ينبغي طرحها بشأن المسير الراديوي، تقرير الحدود الدنيا لمسافات التنسيق (d_{min}) التي تحسب على النحو التالي:

كخطوة أولى تمهيدية تحسب مسافة التنسيق الدنيا كتابع للتردد f (GHz)، حتى 40 GHz، باستخدام المعادلة:

$$d'_{min}(f) = 100 + \frac{(\beta_p - f)}{2} \quad \text{km} \tag{4}$$

ثم تحسب مسافة التنسيق الدنيا في أي تردد داخل المدى 100 MHz إلى 105 GHz باستخدام العلاقة:

$$d_{min}(f) = \begin{cases} d'_{min}(f) & \text{km} \quad \text{for} \quad f < 40\ \text{GHz} \quad (5a) \\ \dfrac{(54-f)d'_{min}(40)+10(f-40)}{14} & \text{km} \quad \text{for} \quad 40\ \text{GHz} \le f < 54\ \text{GHz} \quad (5b) \\ 10 & \text{km} \quad \text{for} \quad 54\ \text{GHz} \le f < 66\ \text{GHz} \quad (5c) \\ \dfrac{10(75-f)+45(f-66)}{9} & \text{km} \quad \text{for} \quad 66\ \text{GHz} \le f < 75\ \text{GHz} \quad (5d) \\ 45 & \text{km} \quad \text{for} \quad 75\ \text{GHz} \le f < 90\ \text{GHz} \quad (5e) \\ 45 - \dfrac{(f-90)}{1.5} & \text{km} \quad \text{for} \quad 90\ \text{GHz} \le f \le 105\ \text{GHz} \quad (5f) \end{cases}$$

يلاحظ في المعادلة (5b) أن d'_{min} (40) تقدر باستخدام المعادلة (4) حيث $f = 40$.

وتنطبق المسافة الدنيا على كل من أسلوبي الانتشار (1) و(2)، وتستخدم المسافة الدنيا وقدرها 55 كيلومتراً في جميع الترددات.

2.5 حدود المسافة العظمى

من الضروري أيضاً وضع حدود عليا (d_{max1} وd_{max2}) للمسافة العظمى المستخدمة في الحسابات التكرارية في أسلوبي الانتشار (1) و(2) على التوالي. ويحسب حد المسافة القصوى لأسلوب الانتشار (1) (d_{max1}) تبعاً للمعادلة التالية:

$$d_{max1} = \begin{cases} 1200 & \text{km} \quad \text{for} \quad f \le 60\ \text{GHz} \quad (6a) \\ 80 - 10\log\left(\dfrac{p_1}{50}\right) & \text{km} \quad \text{for} \quad f > 60\ \text{GHz} \quad (6b) \end{cases}$$

وحدود المسافة القصوى لحساب أسلوب الانتشار (2) (d_{max2}) واردة في الجدول 2.

3.5 استخدام حدود المسافة للحسابات التكرارية

في حسابات الأسلوب (1) تتدرج المسافة بالزيادة اعتباراً من الحد الأدنى للمسافة ولا يتجاوز مطلقاً الحد الأقصى للمسافة. وفي حسابات الأسلوب (2) تتدرج المسافة بالنقصان اعتباراً من الحد الأقصى للمسافة (أو من الكفاف الأساسي في حالة الأسلوب المساعد (2)) ولا يستمر مطلقاً لمسافات دون الحد الأدنى.

6 تحديد مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (1) – آليات الانتشار في الدائرة العظمى

1.6 مسافات التنسيق على أساس النسب المئوية من الزمن لأسوأ شهر

يعتمد حساب مسافة التنسيق على سوية التداخل التي لا ينبغي تجاوزها لأكثر من متوسط محدد لنسبة مئوية سنوية من الزمن p_1. وفي الحالات التي يتعين فيها أن يقوم التنسيق على أساس نسبة مئوية من الزمن لأسوأ شهر، p_{w1} يمكن حساب النسبة المئوية السنوية من الزمن المكافئة p_1 التي تتطلبها هذه الطريقة على النحو التالي:

ولتكن العلاقة:

$$G_L = \begin{cases} \sqrt{1.1 + |\cos 2\zeta_r|^{0.7}} & \text{for} \quad \zeta_r \le 45^\circ \quad (7a) \\ \sqrt{1.1 - |\cos 2\zeta_r|^{0.7}} & \text{for} \quad \zeta_r > 45^\circ \quad (7b) \end{cases}$$

عندئذ:

$$p_1 = 10^{\frac{\log(p_{w1}) + \log(G_L) - 0.444}{0.816}} \quad (8)$$

حيث p_1 (%) هي متوسط النسبة المئوية السنوية من الزمن لأسلوب الانتشار (1).

وإذا دعت الحاجة يتعين تحديد قيمة p_1 كأن تكون $p_{w1} \le 12p_1$.

2.6 حساب مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (1)

ينبغي استخدام الطرائق التالية لتحديد مسافات التنسيق لأسلوب الانتشار (1):

- للترددات الواقعة بين 100 MHz و790 MHz الطريقة الموصوفة في البند 2 من التذييل 2؛
- للترددات الواقعة بين 790 MHz و60 GHz الطريقة الموصوفة في البند 3 من التذييل 2؛
- للترددات الواقعة بين 60 GHz و105 GHz الطريقة الموصوفة في البند 4 من التذييل 2.

7 تحديد مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (2) – الانتثار بسبب الماء الجوي

1.7 اعتبارات عامة

يتحدد كفاف التنسيق للانتثار بسبب الماء الجوي (الانتثار بالمطر مثلاً) في هندسة مسير تختلف كل الاختلاف عن هندسة المسير في آليات الانتشار على الدائرة العظمى. ومن باب التقريب الأولي تتناثر الطاقة متناحية بسبب المطر مما قد يؤدي إلى التداخل بالنسبة لزوايا تناثر منفرجة وبالنسبة لتقاطعات الحزم بعيداً عن مسير الدائرة العظمى.

ولهذا الأسلوب من التناثر صُرف النظر عن استخدام التصنيف السابق لسطح الأرض إلى مناطق برية وساحلية وبحرية.

2.7 مسافات التنسيق على أساس النسب المئوية من الزمن لأسوأ شهر

يعتمد حساب مسافة التنسيق على سوية تداخل لا يجوز تجاوزها لأكثر من متوسط محدد من النسبة المئوية السنوية من الزمن p_2. وفي الحالات التي يتعين فيها أن يقوم التنسيق على أساس النسبة المئوية من الزمن لأسوأ شهر p_{w2} يمكن تحديد النسبة المئوية السنوية من الزمن المكافئة التي يتطلبها استعمال الطريقة على النحو التالي:

$$p_2 = 0.30(p_{w2})^{1.15} \quad (9)$$

حيث:

$$1.9 \times 10^{-4} < p_{w2} < 7.8$$

3.7 حساب الأكفة بأسلوب الانتشار (2)

في حالة أسلوب الانتشار (2) ينبغي حساب مسافات التنسيق باستخدام الطريقة الموصوفة في التذييل 3. ولا ضرورة لهذا الحساب إلا في مدى التردد من 1 GHz إلى 40,5 GHz. ومن الممكن خارج نطاق التردد هذا إهمال التناثر الناجم عن المطر وتكون مسافة التنسيق للأسلوب (2) مساوية لمسافة التنسيق الدنيا بحسب المعادلة (5).

8 الأكفة المساعدة

1.8 اعتبارات عامة

تعتمد أكفة التنسيق على افتراضات أسوأ حالة بالنسبة للتداخل. وقد لا تنطبق هذه الافتراضات بالضرورة على أرض الواقع، وفي بعض الظروف ترسم الأكفة المساعدة لاستبعاد محطات أرض لا تنطبق الافتراضات عليها.

وبالنسبة لأسلوب الانتشار (1) لا يتطلب اشتقاق الأكفة المساعدة أي معلومات انتشار إضافية. أما بالنسبة لأسلوب الانتشار (2) فإن الأكفة المساعدة تولد من أجل قيم مختلفة لزاوية التجنب وهي زاوية التخالف في السمت لمحور الحزمة الرئيسية لمحطة الأرض بعيداً عن اتجاه المحطة الأرضية. وهذا ينطوي على اعتبارات انتشار إضافية يأتي ذكرها في البند 2.8.

2.8 الانتشار بالماء الجوي (أسلوب الانتشار (2))

يحسب كفاف التنسيق لأسلوب الانتشار (2) حول محطة أرضية على افتراض أسوأ حالة هندسة فاصلة، أي أن الحزمتين الرئيسيتين تتقاطعان تماماً في مستوى الدائرة العظمى الذي يشمل كلتا المحطتين. وينجم عن ذلك منطقة تنسيق واسعة يجب أن تجري داخلها حسابات مفصلة لسويات التداخل الذي يسببه الانتشار بالماء الجوي. وعلى صعيد الواقع من المحتمل جداً أن يقع أسلوب الانتشار (2) خارج سطح الدائرة العظمى وألاّ يقع فيه، وعلاوة على ذلك من المستبعد أن تتقاطع الفصوص الرئيسية للهوائيات تقاطعاً تاماً. وفي أي من الحالتين من الممكن توليد أكفة مساعدة تؤدي إلى مناطق أصغر من منطقة التنسيق. وينبغي حساب الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2)، التي تأخذ في الحسبان التخالف السمتي φ لحزمة هوائي محطة أرض عن اتجاه المحطة الأرضية، تبعاً للطريقة الموصوفة في البند 4 من التذييل 3. وأي محطة تقع خارج الكفاف ذي الصلة لزاوية التجنب الخاصة بها لا حاجة لأن تعتبر مصدر تداخل ذي أهمية.

ومسافة التنسيق الدنيا لأسلوب الانتشار (2) لا تختلف عن مثيلتها لأسلوب الانتشار (1) أي d_{min}. وينبغي إعداد الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2) لزوايا التجنب 2° و5° و10° و20° و30° وزوايا إضافية حسبما يكون ملائماً. ومن الضروري بذل كل جهد ممكن لاستخدام مخطط الهوائي الفعلي لدى تحديد الأكفة المساعدة، ولكن إذا لم يتوفر هذا المخطط عندئذ يمكن استخدام مخطط الهوائي المرجعي الوارد في التذييل 4.

التذييل 1
للملحق 1

الجدول 1
معلمات الدخل

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
d_c	km	المسافة من المحطة الأرضية إلى الساحل بالاتجاه قيد النظر المستخدمة في حساب مسافة تنسيق أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (24)	دخل
d_h	km	مسافة الأفق الراديوي المرئية من مركز هوائي المحطة الأرضية	البند 1 في التذييل 2	دخل أو اشتقاق
d_{lm}	km	أطول مسافة برية مستمرة، المنطقة 2A، داخل المسافة d_i، المستخدمة في الحساب التكراري لمسافة تنسيق أسلوب الانتشار (1)	البند 2.4 في الملحق 1	دخل
d_{tm}	km	أطول مسافة على الأرض (أي برية + ساحلية)، المنطقة 1A + المنطقة 2A، داخل المسافة d_i المستخدمة في الحساب التكراري لمسافة تنسيق أسلوب الانتشار (1)	البند 2.4 في الملحق 1	دخل
D	m	قطر الهوائي المستخدم في تحديد مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	التذييل 4	دخل
f	GHz	التردد، 100 MHz إلى 105 GHz	–	دخل
G_{max}	dB	الكسب المحوري للهوائي المستخدم في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	المعادلة (83)	دخل أو اشتقاق
G_T	dB	كسب هوائي محطة الأرض، يفترض أن يكون 42 dB، المستخدم في حساب مسافة تنسيق أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (57)	دخل
h_R	km	ارتفاع المطر الفعلي فوق الأرض	التذييل 3	دخل
$L_b(p_1)$	dB	الحد الأدنى المسموح به من خسارة الإرسال الأساسية المطلوبة من أجل p_1% من زمن أسلوب الانتشار (1)	البند 1	دخل
$L_b(p_2)$	dB	الحد الأدنى المسموح به من خسارة الإرسال الأساسية المطلوبة من أجل p_2% من زمن أسلوب الانتشار (1)	البند 1	دخل
p_1	%	متوسط النسبة المئوية السنوية من الزمن لأسلوب الانتشار (1)، حيث p_1 هي في النطاق: 1% إلى 50% بالنسبة لتردد f بين 100 MHz و790 MHz 0,001% إلى 50% بالنسبة لتردد f بين 790 MHz و105 GHz	المعادلة (8)	دخل أو اشتقاق
p_{w1}	%	النسبة المئوية من الزمن في أسوأ شهر لأسلوب الانتشار (1)	البند 1.6	دخل
$p2$	%	متوسط النسبة المئوية السنوية من الزمن لأسلوب الانتشار (2) 0,001% إلى 10%	المعادلة (9)	دخل أو اشتقاق

الجدول 1 (*نهاية*)

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
p_{w2}	%	النسبة المئوية من الزمن في أسوأ شهر لأسلوب الانتشار (2)	البند 2.7	دخل
r_E	km	نصف القطر الفعلي للأرض (= 8 500 km)	التذييل 3	دخل
$R(_{p2})$	mm/h	معدل هطول المطر الذي يجري تجاوزه وسطياً بمقدار p_2% من السنة، المستخدم في حسابات أسلوب الانتشار (2)	التذييل 3	دخل
s	km	الزيادة في المسافة المستخدمة في الحساب التكراري لمسافة التنسيق (القيمة الموصى بها هي 1 km)	البند 1	دخل
ε	بالدرجات	زاوية ارتفاع الحزمة الرئيسية لهوائي المحطة الأرضية	البند 3 من التذييل 3	دخل
φ	بالدرجات	تخالف زاوي من محور الحزمة الرئيسية للهوائي مستخدم في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	التذييل 4	دخل
γ_P	dB/km	التوهين النوعي بسبب المطر	التذييل 3	دخل
λ	m	طول الموجة المستخدم في تحديد مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	التذييل 4	دخل
θ_h	بالدرجات	زاوية ارتفاع الأفق في المحطة الأرضية	البند 1 من التذييل 2	دخل
θ_{bw}	بالدرجات	عرض حزمة الهوائي 3 dB المستخدمة في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	المعادلتان (95) و(96)	دخل
ρ	g/m^3	كثافة بخار الماء الجوي التي يجري تجاوزها بمقدار 50% من الزمن	المعادلتان (21) و(56)	دخل
ρ_0	g/m^3	كثافة بخار الماء الجوي التي يجري تجاوزها بمقدار 50% من الزمن في المحطة الأرضية	المعادلة (22b)	دخل
ρ_{dmin}	g/m^3	كثافة بخار الماء الجوي التي يجري تجاوزها بمقدار 50% من الزمن عند d_{min} على السمت ذي الصلة	المعادلة (22b)	دخل
ρ_i	g/m^3	كثافة بخار الماء الجوي التي يجري تجاوزها بمقدار 50% من الزمن لكل خطوة من خطوات التكرار في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (32)	دخل
ω	بالدرجات	زاوية استقطاب محطة الأرض بالنسبة لمركز الحجم المشترك المستخدمة في حساب الأكفة المساعدة بأسلوب الانتشار (2)	البند 4 من التذييل 3	دخل
ζ	بالدرجات	خط عرض المحطة الأرضية (الشمال موجب، الجنوب سالب)	المعادلتان (1a) و(1b)	دخل

التذييل 2
للملحق 1

حساب مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (1)

1 حجب الموقع

قد يحدث بالنسبة لأسلوب الانتشار (1) أن تتعرض المحطة الأرضية لبعض الحجب (حجب الموقع) بحكم التضاريس المجاورة لها. ويستخدم تعبير A_h في نموذج أسلوب الانتشار (1) ليأخذ ذلك في الحسبان. وتحسب الخسارة الإضافية الناجمة عن حجب الموقع في جوار المحطة الأرضية على امتداد كل اتجاه شعاعي كما يلي.

تحدد مسافة الأفق الراديوي d_h المرئية من مركز هوائي المحطة الأرضية بالعلاقة التالية:

$$d_h = \begin{cases} 0{,}5 \text{ km} & \text{إذا لم تتوفر المعلومات عن مسافة الأفق أو إذا كانت المسافة} < 0{,}5 \text{ km} \\ \text{مسافة الأفق (km)} & \text{إذا كانت هذه المسافة داخل مدى } 0{,}5 \text{ km} \le \text{مسافة الأفق} \le 5{,}0 \text{ km} \\ 5{,}0 \text{ km} & \text{إذا كانت مسافة الأفق} > 5{,}0 \text{ km} \end{cases}$$

تحسب زاوية الأفق θ_h (بالدرجات). وهي تعرّف هنا على أنها الزاوية المرئية من مركز هوائي المحطة الأرضية بين المستوى الأفقي وشعاع يمسح الأفق المادي بالاتجاه المقصود. وتكون قيمة θ_h موجبة عندما يكون الأفق المادي فوق المستوى الأفقي. ومن الضروري تحديد الزوايا الأفقية لجميع السموت حول أي محطة أرضية. وعملياً يكفي القيام بذلك عموماً بزيادات متعاقبة في السمت بمقدار 5°. ومع ذلك لا بد من بذل كل جهد ممكن لتحديد زوايا الأفق الدنيا التي قد تحدث بين تلك السموت التي نظر فيها في الزيادات المتعاقبة بمقدار 5° وأخذ هذه الزوايا في الاعتبار.

عندئذ يحسب تصحيح مسافة الأفق A_d (dB) على امتداد كل سمت من محطة أرضية باستخدام المعادلة:

$$A_d = 15\left[1 - \exp\left(\frac{0.5 - d_h}{5}\right)\right]\left[1 - \exp\left(-\theta_h f^{1/3}\right)\right] \quad \text{dB} \tag{10}$$

ويحسب مجموع الخسارة الناجمة عن حجب التضاريس على امتداد كل سمت من محطة أرضية على النحو التالي:

$$A_h = \begin{cases} 20\log\left(1 + 4.5\theta_h f^{1/2}\right) + \theta_h f^{1/3} + A_d & \text{dB} \quad \text{for} \quad \theta_h \ge 0^\circ \quad (11a) \\ 3\left[(f+1)^{1/2} - 0.0001 f - 1.0487\right]\theta_h & \text{dB} \quad \text{for} \quad 0^\circ > \theta_h \ge -0.5^\circ \quad (11b) \\ -1.5\left[(f+1)^{1/2} - 0.0001 f - 1.0487\right] & \text{dB} \quad \text{for} \quad \theta_h < -0.5^\circ \quad (11c) \end{cases}$$

ويتعين تحديد قيمة A_h لكي تفي بالشرطين التاليين:

$$A_h \le (30 + \theta_h)$$

و (12)

$$A_h \ge -10$$

وجدير بالذكر أن قيمة θ_h في المعادلات (10) و(11) و(12) يتعين أن تكون دوماً بالدرجات. ويلاحظ أن الحدود المعرّفة في المعادلة (12) محددة لأن الحماية خارج هذه الحدود قد لا تتحقق في الأحوال الواقعية.

2 الترددات من 100 MHz حتى 790 MHz شاملة

يقتصر نموذج الانتشار الوارد في هذا الفرع على متوسط نسبة مئوية سنوية من الزمن p_1 في المدى من 1% إلى 50%.

ويتعين استخدام عملية التكرار الموصوفة في البند 1 من الملحق 1. ويجري تقييم المعادلة (14) ومن ثم يتكرر حساب المعادلات من (15) إلى (18) ابتداءً من مسافة التنسيق الدنيا d_{min} التي تنتج عن الطريقة الموصوفة في البند 1.5 وذلك بالنسبة للمسافات d_i حيث i = 0، 1، 2 ... وهكذا، متزايدة بخطوات مناسبة. وفي كل تكرار يشار إلى d_i على أنها المسافة الجارية. وتستمر هذه العملية إلى أن تصبح صحيحة أي من المتراجحتين التاليتين:

$$L_2(p_1) \geq L_1(p_1) \tag{13a}$$

أو

$$d_i \geq d_{max1} \tag{13b}$$

ثم تؤخذ مسافة التنسيق المطلوبة d_1 من المسافة الراهنة للتكرار الأخير.

والزيادة التدريجية الموصى بها في المسافة s (km) هي 1 km. والمعادلات (16) و(17a) و(17b) لا تتناول إلا المسيرات التي تنتمي كلها إلى تصنيف واحد. وعندما يشتمل على أقسام تنتمي إلى أكثر من منطقة واحدة (بر و/أو بحر بارد و/أو بحر دافئ، انظر البند 2.4) يمكن استنتاج مسافة التنسيق بتطبيق الاستكمال الداخلي على النتائج المحسوبة على افتراض أن كل المسير براً أو بحراً. وعندما يشتمل مسير بحري على أقسام من منطقة البحار الدافئة ينبغي افتراض كل البحار على امتداد المسير على أنها بحار دافئة.

$$L_1(p_1) = L_b(p_1) - A_h \tag{14}$$

حيث $L_b(p_1)$ (dB) هي الحد الأدنى المسموح به من خسارة الإرسال الأساسية المطلوبة من أجل p_1% من الزمن.

حسابات تكرارية

في بداية كل عملية تكرارية تحسب المسافة الراهنة من أجل i = 0، 1، 2 ... وهكذا:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \tag{15}$$

ويجري تقييم مقادير الخسارة $L_{bl}(p_1)$ و$L_{bs}(p_1)$ لافتراض أن المسير بري كلياً (المنطقة 1A أو 2A) أو بحر بارد كلياً (المنطقة B) أو بحر دافئ كلياً (المنطقة C) على التوالي، على التعاقب من المعادلات التالية:

$$L_{bl}(p_1) = 142.8 + 20\log f + 10\log p_1 + 0.1\,d_i \tag{16}$$

لمسيرات تقع كلياً في المنطقة 1A أو 2A

$$L_{bs}(p_1) = \begin{cases} 49.91\log\left(d_i + 1840 f^{1.76}\right) + 1.195 f^{0.393}(\log p_1)^{1.38} d_i^{0.597} \\ + (0.01\,d_i - 70)(f - 0.1581) + \left(0.02 - 2\times10^{-5} p_1^2\right) d_i + 9.72\times10^{-9} d_i^2\, p_1^2 \\ + 20.2 \end{cases} \quad \text{لمسيرات كلها في المنطقة B} \tag{17a}$$

$$\begin{cases} 49.343\log\left(d_i + 1840 f^{1.58}\right) + 1.266(\log p_1)^{(0.468 + 2.598 f)} d_i^{0.453} \\ + (0.037\,d_i - 70)(f - 0.1581) + 1.95\times10^{-10} d_i^2\, p_1^3 + 20.2 \end{cases} \quad \text{لمسيرات كلها في المنطقة C} \tag{17b}$$

وتحسب خسارة الإرسال الأساسية في المسافة الراهنة كما يلي:

$$L_2(p_1) = L_{bs}(p_1) + \left[1 - \exp\left(-5.5\left(\frac{d_{tm}}{d_i}\right)^{1.1}\right)\right](L_{bl}(p_1) - L_{bs}(p_1)) \quad (18)$$

حيث قيمة d_{tm} معرّفة في البند 2.4 من الملحق 1.

3 الترددات بين 790 MHz و60 GHz

يقتصر نموذج الانتشار الوارد في هذا الفرع على متوسط نسبة مئوية سنوية من الزمن (p_1) في المدى 0,001% إلى 50%.

ويتعين استعمال عملية تكرارية كتلك الموصوفة في البند 1 من الملحق 1. ويجري تقييم المعادلات من (20) إلى (30) ثم يجري اعتباراً من مسافة التنسيق الدنيا d_{min} الناتجة باستخدام الطريقة الموصوفة في البند 1.5 حساب المعادلات (31) إلى (41) تكرارياً بالنسبة للمسافات d_i حيث i = 0، 1، 2 ... وهكذا، المتزايدة بخطوات متناسبة. وفي كل تكرار يشار إلى قيمة d_i على أنها المسافة الراهنة. وتستمر هذه العملية إلى أن يصبح أي من الشرطين التاليين صحيحاً:

$$\left(L_5(p_1) \geq L_3(p_1)\right)$$

و

$$\left(L_6(p_1) \geq L_4(p_1)\right) \quad (19a)$$

أو

$$d_i \geq d_{max1} \quad (19b)$$

عندئذ تكون مسافة التنسيق المطلوبة d_1 هي المسافة الراهنة للتكرار الأخير.

والزيادة التدريجية للمسافة الموصى بها s (km) هي 1 km.

ثم يحسب التوهين النوعي (dB/km) بسبب الهواء الجاف كما يلي:

$$\gamma_o = \begin{cases} \left[7.19 \times 10^{-3} + \dfrac{6.09}{f^2 + 0.227} + \dfrac{4.81}{(f-57)^2 + 1.50}\right] f^2 \times 10^{-3} & \text{for } f \leq 56.77 \quad (20a) \\ 10 & \text{for } f > 56.77 \quad (20b) \end{cases}$$

ويعبر عن التوهين النوعي بسبب بخار الماء كدالة لقيمة ρ وهي كثافة بخار الماء لوحدات ^{3}m/g بحسب المعادلة التالية:

$$\gamma_w(\rho) = \left(0.050 + 0.0021\rho + \frac{3.6}{(f-22.2)^2 + 8.5}\right) f^2 \rho \times 10^{-4} \quad (21)$$

ويحسب التوهين النوعي (dB/km) بسبب بخار الماء بالنسبة لنموذج الانتشار التروبوسفيري باستعمال كثافة لبخار الماء قدرها 3,0 ^{3}m/g:

$$\gamma_{wt} = \gamma_w(3{,}0) \quad (22a)$$

ويستقى من التوصية ITU-R P.836 متوسط كثافات بخار الماء ρ_0 في المحطة الأرضية وρ_{dmin} عند مسافة d_{min} على امتداد السمت المقصود.

ثم يحسب التوهين الناجم عن بخار الماء لذلك الجزء من المسير الذي يقع داخل المسافة الدنيا باستخدام المعادلة:

$$A_w = d_{min} \cdot \gamma_w\left(\frac{\rho_0 + \rho_{dmin}}{2}\right) \quad (22b)$$

حيث ρ_0 وρ_{dmin} معرفتان في التذييل 1 للملحق 1.

ويحسب التوهين النوعي للجريان المعتمد على التردد (dB/km):

$$\gamma_d = 0.05 f^{1/3} \quad (23)$$

بالنسبة لنموذج الجريان الموجه

يحسب مقدار التصحيح للاقتران المباشر في المجال فوق البحر (dB):

$$A_c = \frac{-6}{(1 + d_c)} \quad (24)$$

حيث d_c (km) هي المسافة من محطة أرضية واقعة في البر إلى الساحل في الاتجاه المقصود.

وتكون d_c صفر في الظروف الأخرى.

يحسب ذلك الجزء من الخسائر التي لا تعتمد على المسافة (dB):

$$A_1 = 122.43 + 16.5 \log f + A_h + A_c + A_w \quad (25)$$

تحسب القيمة الدنيا المطلوبة للخسائر التي تعتمد على المسافة (dB):

$$L_3(p_1) = L_b(p_1) - A_1 \quad (26)$$

يحدد عامل يراعي مقدار الخسائر الإضافية المعتمدة على المسير وغيرها من الخسائر، بما فيها تلك المرتبطة بارتفاع التضاريس:

$$\varepsilon_L = 8.5 \quad (27)$$

بالنسبة لنموذج التناثر التربوسفيري

يحسب ذلك الجزء من الخسائر التي تعتمد على التردد (dB):

$$L_f = 25 \log(f) - 2.5\left[\log\left(\frac{f}{2}\right)\right]^2 \quad (28)$$

يحسب ذلك الجزء من الخسائر التي لا تعتمد على المسافة (dB):

$$A_2 = 187.36 + 10\,\theta_h + L_f - 0.15\,N_0 - 10.1\left(-\log\left(\frac{p_1}{50}\right)\right)^{0.7} \quad (29)$$

حيث:

θ_h: زاوية ارتفاع الأفق في المحطة الأرضية (بالدرجات)

N_0: انكسارية السطح في مستوى البحر في مركز المسير.

يحسب الحد الأدنى للقيمة المطلوبة للخسائر التي تعتمد على المسافة (dB):

$$L_4(p_1) = L_b(p_1) - A_2 \quad (30)$$

الحسابات التكرارية

في بداية كل عملية تكرار تحسب المسافة الراهنة من أجل i = 0، 1، 2 ... وهكذا:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \quad (31)$$

بالنسبة للموقع على سطح الأرض عند مسافة d_i على السمت المقصود يستقى من التوصية ITU-R P.836 تجاوز كثافة بخار الماء من أجل 50% من زمن ρ_i (g/m^3). ثم يحسب التوهين المعتمد على المسافة بسبب الامتصاص الغازي باستخدام المعادلة:

$$A_g = (\gamma_o + \gamma_d) \cdot d_i + \sum_{n=0}^{i} \gamma_w(\rho_n) \cdot s \quad (32)$$

حيث $\gamma_w(\rho_n)$ تحسب من المعادلة (21).

تحسب المعلمات التالية التي تعتمد على المنطقة:

$$\tau = 1 - \exp\left[-\left(4.12 \times 10^{-4} \; d_{lm}^{2.41}\right)\right] \tag{33}$$

حيث d_{lm} معرّفة في البند 2.4 من الملحق 1.

$$\mu_1 = \left[10^{\frac{-d_{tm}}{16 - 6.6\,\tau}} + \left[10^{-(0.496 + 0.354\,\tau)}\right]^5\right]^{0.2} \tag{34}$$

حيث d_{tm} معرّفة في البند 2.4 من الملحق 1.

μ_1 تقتصر على $\mu_1 \geq 1$.

$$\sigma = -0.6 - \varepsilon_L \times 10^{-9} \; d_i^{3.1} \; \tau \tag{35}$$

σ تقتصر على $\sigma \leq -3{,}4$.

$$\mu_2 = \left(2.48 \times 10^{-4} \; d_i^2\right)^{\sigma} \tag{36}$$

μ_2 تقتصر على $\mu_2 \geq 1$.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0.935 + 0.0176\zeta_r)\log \mu_1} & \text{for} \quad \zeta_r \leq 70^\circ \quad (37a) \\ 10^{0.3 \log \mu_1} & \text{for} \quad \zeta_r > 70^\circ \quad (37b) \end{cases}$$

يحسب حدوث الجريان المعتمد على المسير β ومعلمة مرتبطة بذلك Γ لحساب الاعتماد على الزمن لخسارة الإرسال الأساسية:

$$\beta = \beta_p \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_4 \tag{38}$$

$$\Gamma = \frac{1.076}{(2.0058 - \log \beta)^{1.012}} \; \exp\left[-\left(9.51 - 4.8 \log \beta + 0.198 \, (\log \beta)^2\right) \times 10^{-6} \; d_i^{1.13}\right] \tag{39}$$

يحسب الجزء المعتمد على المسافة في الخسائر (dB) لأجل الجريان:

$$L_5(p_1) = A_g + (1.2 + 3.7 \times 10^{-3} \; d_i) \log\left(\frac{p_1}{\beta}\right) + 12\left(\frac{p_1}{\beta}\right)^{\Gamma} \tag{40}$$

ومن أجل الانتشار التروبوسفيري:

$$L_6(p_1) = 20 \log (d_i) + 5.73 \times 10^{-4}\left(112 - 15 \cos (2\zeta)\right) d_i + (\gamma_o + \gamma_{wt}) \, d_i \tag{41}$$

4 الترددات ما بين 60 GHz و105 GHz

يعتمد نموذج الانتشار في مدى التردد الميليمتري من 60 GHz إلى 105 GHz على الخسارة في الفضاء الحر وعلى تقدير متحفظ للامتصاص الغازي بالإضافة إلى هامش لمراعاة تعزيزات الإشارة في نسب مئوية صغيرة من الزمن. ويصح استخدام نموذج الانتشار هذا للنسب المئوية السنوية من الزمن p_1 في المدى من 0,001% إلى 50%.

ويتعين استخدام عملية تكرارية كما أشير في البند 1 من الملحق 1. ويجري تقييم المعادلات من (43) إلى (47) ثم يجري تكرار المعادلتين (48) و(49) اعتباراً من مسافة التنسيق الدنيا d_{min} بحسب الطريقة الموصوفة في البند 1.5، حيث i = 0، 1، 2 ... وهكذا، متزايدة بخطوات مناسبة. وفي كل عملية تكرارية يشار إلى d_i على أنها المسافة الراهنة.

وتستمر هذه العملية إلى أن تصح إحدى المتراجحتين:

$$L_9(p_1) \geq L_8(p_1) \tag{42a}$$

أو

$$d_i \geq d_{max1} \tag{42b}$$

عندئذ تكون مسافة التنسيق المطلوبة d_1 هي المسافة الراهنة لآخر تكرار.

ومسافة الزيادة الموصى بها s (km) هي 1 km.

يحسب الامتصاص النوعي (dB/km) للهواء الجاف في مدى التردد 60-105 GHz باستخدام المعادلة:

$$\gamma_{om} = \begin{cases} \left[2 \times 10^{-4} \left(1 - 1.2 \times 10^{-5} f^{1.5} \right) + \dfrac{4}{(f - 63)^2 + 0.936} + \dfrac{0.28}{(f - 118.75)^2 + 1.771} \right] f^2 6.24 \times 10^{-4} & \text{for } f > 63.26 \text{ GHz} \quad (43a) \\ 10 \text{ dB/km} & \text{for } f \leq 63.26 \text{ GHz} \quad (43b) \end{cases}$$

ويحسب امتصاص بخار الماء النوعي (dB/km) لمحتوى بخار ماء جوي بمقدار 3 g/m^3 كما يلي:

$$\gamma_{wm} = \left(0.039 + 7.7 \times 10^{-4} f^{0.5} \right) f^2 2.369 \times 10^{-4} \tag{44}$$

ويحسب التقدير المتحفظ للامتصاص الغازي النوعي كما يلي:

$$\gamma_{gm} = \gamma_{om} + \gamma_{wm} \quad \text{dB/km} \tag{45}$$

من أجل التردد المطلوب وقيمة حجب الموقع في المحطة الأرضية A_h (dB) المحسوبة باستخدام الطريقة الموصوفة في البند 1 من هذا التذييل، يحسب ذلك الجزء الذي لا يعتمد على المسافة من خسارة الإرسال الأساسية كما يلي:

$$L_7 = 92{,}5 + 20 \log (f) + A_h \quad \text{dB} \tag{46}$$

تحسب القيمة المطلوبة الدنيا للخسائر المعتمدة على المسافة (dB):

$$L_8(p_1) = L_b(p_1) - L_7 \quad \text{dB} \tag{47}$$

الحسابات التكرارية

في بداية كل عملية تكرار تحسب المسافة الراهنة من أجل i = 0، 1، 2 ... وهكذا:

$$d_i = d_{min} + i \cdot s \tag{48}$$

تحسب الخسائر المعتمدة على المسافة بالنسبة للمسافة الراهنة:

$$L_9(p_1) = \gamma_{gm} d_i + 20 \log (d_i) + 2.6 \left[1 - \exp\left(\frac{-d_i}{10} \right) \right] \log \left(\frac{p_1}{50} \right) \tag{49}$$

التذييل 3
للملحق 1

حساب مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (2)

1 لمحة عامة

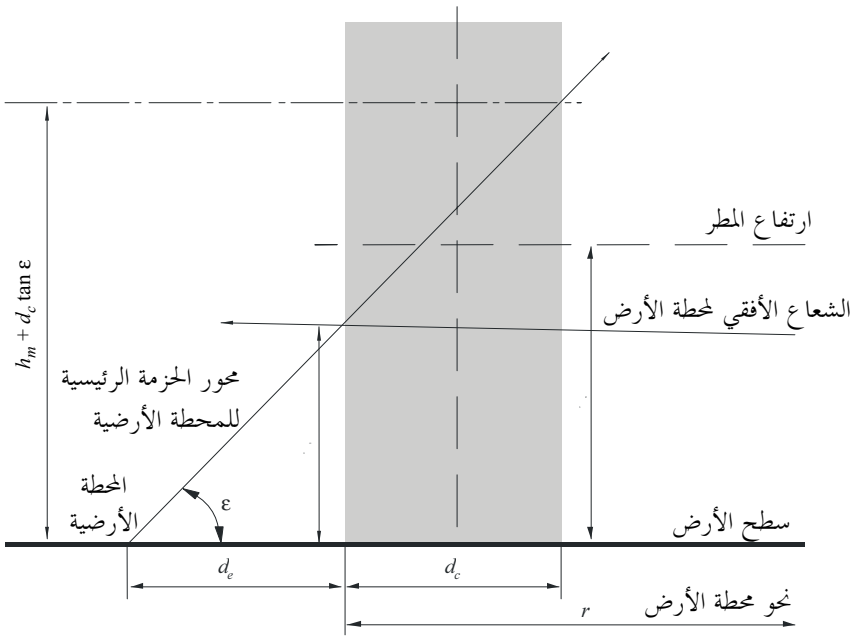
تعتمد منهجية تحديد مسافة التنسيق لحساب تداخل الانتشار بالمطر بالنسبة لأسلوب الانتشار (2) على معادلة رادار بمحطتين وما يسمى تقريب "الحزمة الضيقة" لهوائي المحطة الأرضية حيث تُعوَّض خسارة الانتشار الناجمة عن حجم الانتشار في هوائي المحطة الأرضية بكسب الهوائي. وعليه فإن الطريقة تعتمد بالدرجة الأولى على طول المسير من محطة الأرض إلى حجم الانتشار، أي خلية المطر.

إذا تم تجاوز معدل هطول المطر أثناء p_2% من الوقت $R(p_2) \geq$ 0,1 mm/h فإنه ينبغي تحديد أكفة تنسيق أسلوب الانتشار (2) من أجل هطول مطر افتراضي قدره 0,1 mm/h.

وتمكّن الخوارزمية الواردة أدناه من الحصول على مقدار خسارة الإرسال $L_r(p_2)$ (dB) كدالة بالنسبة لمعدل هطول المطر $R(p_2)$ (mm/h) وتستخدم كمعلمة المسافة الفاصلة بين حافة خلية المطر والموقع الممكن لمحطة الأرض r_i (km). ويوضح الشكل 1 هندسة عملية تناثر المطر.

الشكل 1

هندسة عملية تناثر المطر



وتكون كيفية تحديد كفاف تناثر الماء الجوي على النحو التالي:

ينبغي استخراج قيمة $R(p_2)$ من التوصية ITU-R P.837 من أجل المتوسط المطلوب من النسبة المئوية p_2 (0,001% إلى 10%) وتحديد نقطتي خط العرض وخط الطول الملائمتين لموقع المحطة الأرضية.

ثم تحسب قيم $L_r(p_2)$ لقيم r_i المتدرجة في النقصان ابتداءً من مسافة الحساب القصوى d_{max2} لأسلوب الانتشار (2) الواردة في الجدول 2. ومسافة التناقص الموصى بها s (km) هي 1 km. وتنتقص قيمة r_i تدريجياً حتى تكون القيمة المقابلة لمقدار $L_r(p_2)$ بالكاد دون خسارة الإرسال المطلوبة $L_b(p_2)$. وعليه تنتقص قيمة r_i تدريجياً حتى تصح إحدى المتراجحتين:

$$L_r(p_2) < L_b(p_2) \tag{50a}$$

أو

$$r_i < d_{min} \tag{50b}$$

حيث يمثل هذا الشرط الأخير مسافة الحساب الدنيا.

عندئذ تكون مسافة الحساب d_r هي القيمة السابقة مباشرة لقيمة r_i:

$$d_r = r_{i-1} = d_{max2} - s \cdot (i-1) \tag{51}$$

وتكون مسافة الحساب الناتجة d_r هي طول مسير الانتشار بين محطة الأرض وحافة خلية المطر التي سينجم عنها خسارة مسير الإرسال المطلوبة. وعلى افتراض تناحي الانتثار من خلية المطر في السمت يعرّف كفاف التنسيق على أنه دائرة مركزها حافة خلية المطر ونصف قطرها d_r.

عندئذ يرسم كفاف التنسيق على أنه دائرة نصف قطرها d_r يقع مركزها على مسافة d_e من المحطة الأرضية على امتداد الاتجاه السمتي للمحطة الأرضية حيث d_e هي المسافة من المحطة الأرضية إلى حافة خلية المطر كما يبين الشكل 1. وفيما يلي كيفية تحديد المسافة d_e.

2 مسافة الحساب العظمى

كما ذكر في البند 2.5 في الملحق 1 لا بد من وضع حدود عليا للمسافة القصوى المستخدمة في التحديد التكراري لمسافة الحساب التي تبدأ عندها الحسابات التكرارية. ومسافة الحساب العظمى المستخدمة من أجل أسلوب الانتشار (2) (d_{max2}) تعتمد على درجة خط العرض وهي واردة في الجدول 2.

الجدول 2

مسافات الحسابات العظمى (d_{max2}) (km) لأسلوب الانتشار (2)

خط العرض (بالدرجات)	30-0	40-30	50-40	60-50	60 <
المسافة (km)	350	360	340	310	280

3 حساب كفاف التنسيق بأسلوب الانتشار (2)

يحدد مقدار تجاوز معدل هطول المطر من أجل p_2% من الزمن $R(p_2)$ من التوصية ITU-R P.837-3 بالنسبة لخط العرض وخط الطول للمحطة الأرضية. ويلاحظ أن p_2% هي متوسط النسبة المئوية السنوية من الزمن التي تطبق في أسلوب الانتشار (2).

وجدير بالملاحظة أيضاً أن معدل هطول المطر وارتفاع المطر لن يتفاوت تفاوتاً كبيراً بين موقع المحطة الأرضية وموقع خلية المطر على امتداد اتجاه السمت للمحطة الأرضية إذ إن المسافة بين هاتين النقطتين تكون عموماً أقل من ~30 km عندما لا تقل زوايا ارتفاع المحطة الأرضية عن 10°.

يحدد التوهين النوعي γ_R (dB/km) الناجم عن المطر باستخدام التوصية ITU-R P.838 بافتراض استقطاب عمودي.

يحدد قطر خلية المطر d_c (km) كما يلي:

$$d_c = 3.3R(p_2)^{-0.08} \tag{52}$$

يحدد متوسط ارتفاع المطر فوق الأرض h_R (km) من التوصية ITU-R P.839 بالنسبة لخطي العرض والطول للمحطة الأرضية.

تحسب معلمة وسيطة η:

$$\eta = (R(p_2)+1)^{0.19} \tag{53}$$

تحسب المسافة المرجعية r_m (km) من أجل التوهين خارج حجم التناثر المشترك:

$$r_m = 600R(p_2)^{-0.5} \times 10^{-\eta} \tag{54}$$

ويجري تقييم التوهين النوعي بسبب الهواء الجاف (dB/km) من العلاقة التالية:

$$\gamma_o = \left[7.19\times10^{-3} + \frac{6.09}{f^2+0.227} + \frac{4.81}{(f-57)^2+1.5} \right] f^2 \times 10^{-3} \tag{55}$$

يحدد اعتماداً على التوصية ITU-R P.836 كثافة بخار الماء السطحية ρ (g/m^3) التي تتجاوز الحد بنسبة 50% من الزمن عند خطي العرض والطول للمحطة الأرضية. ويلاحظ أيضاً، من قبيل التبسيط في تحديد أكفة أسلوب الانتشار (2)، أن كثافة بخار الماء تفترض ثابتة على امتداد المسير. عندئذ يحدد التوهين النوعي لبخار الماء في شكل dB/km كما يلي:

$$\gamma_{wv} = \left[0.050 + 0.0021\rho + \frac{3.6}{(f-22.2)^2+8.5} \right] f^2 \rho \times 10^{-4} \tag{56}$$

يحدد كسب هوائي محطة الأرض (يفترض أن يكون 42 dBi):

$$G_T = 42 \tag{57}$$

الحسابات التكرارية

تقيّم المعادلات (58) إلى (77) شاملة، ابتداءً بمسافة الحساب القصوى المأخوذة من الجدول 2 لقيم متناقصة للمسافة r_i حيث تكون r_i مسافة الانفصال الراهنة بين خلية المطر والموقع الممكن لمحطة أرض وحيث تكون i = 0، 1، 2 ... وهكذا:

$$r_i = d_{max2} - i \cdot s \tag{58}$$

تواصل هذه العملية حتى يتحقق الشرط الوارد في المتراجع (50) وعندئذ يكون لمسافة حساب التناثر الناجم عن المطر d_r القيمة الأسبق للمسافة r_i، أي:

$$d_r = d_{max2} - (i-1) \cdot s \tag{59}$$

وإذا أدى حساب التكرار إلى $d_{min} > d_r$ عندئذ $d_{min} = d_r$ ومن ثم تنتهي عملية التكرار.

يحدد الارتفاع فوق سطح الأرض لنقطة التقاطع بين حزمتي الهوائي من محطة الأرض ومن المحطة الأرضية:

$$h_m = r_E\left(\frac{1}{\cos\delta} - 1\right) \tag{60}$$

حيث:

δ هي الفاصل الزاوي بين خلية المطر والنقطة على سطح الأرض في المسافة الراهنة r_i:

$$\delta = \frac{r_i}{r_E} \quad \text{rad} \tag{61}$$

r_E: نصف القطر الفعلي للأرض r_E = 8 500 km.

يحدد طول المسير من محطة الأرض إلى نقطة تقاطع الحزمتين:

$$r_t = h_m\sqrt{1 + 2\frac{r_E}{h_m}} \tag{62}$$

يحدد طول المسير من تقاطع الحزمتين إلى المحطة الأرضية:

$$r_r = \sqrt{r_E^2 \sin^2\varepsilon + h_m^2 + 2h_m r_E} - r_E \sin\varepsilon \tag{63}$$

حيث:

ε: زاوية ارتفاع هوائي المحطة الأرضية.

تحدد المسافة الأفقية من المحطة الأرضية إلى حافة خلية المطر:

$$d_e = r_E \arcsin\left(\frac{r_r}{h_m + r_E}\cos\varepsilon\right) \tag{64}$$

تحسب المعلمة h_c التي تعتمد على المنطقة داخل خلية المطر حيث تتقاطع الحزمتان:

$$h_c = \begin{cases} h_m & \text{for } h_R \le h_m \\ h_R & \text{for } h_m < h_R < h_m + d_c\tan\varepsilon \\ h_m + d_c\tan\varepsilon & \text{for } h_R \ge h_m + d_c\tan\varepsilon \end{cases} \tag{65}$$

يحسب التوهين من النقطة في المسافة الراهنة إلى تقاطع الحزمتين:

$$\Gamma_2 = \gamma_R r_m\left[1 - \exp\left(-\frac{r_t}{r_m}\right)\right] \tag{66}$$

والتوهين من تقاطع الحزمتين إلى المحطة الأرضية:

$$\Gamma_1 = \begin{cases} \gamma_R r_m\left[1 - \exp\left(-\dfrac{d_e}{r_m}\right)\right] & \text{for } h_m \le h_R \\ \gamma_R r_m\left[\exp\left(-\dfrac{(h_m - h_R)\cot\varepsilon}{r_m}\right) - \exp\left(-\dfrac{d_e}{r_m}\right)\right] & \text{for } h_m > h_R \end{cases} \tag{67}$$

ومن هذه الحسابات يقيم مجموع توهين المسار من أجل التناثر بسبب المطر تحت ارتفاع المطر:

$$\Gamma_b = \exp\left[-0.23\left(\frac{\Gamma_1}{\cos\varepsilon}+\Gamma_2\right)\right] \tag{68}$$

ومجموع توهين المسير للتناثر من طبقة الانصهار ومن الجليد فوق ارتفاع المطر:

$$\Gamma_a = \exp\left[-0.23\left(\frac{\Gamma_1}{\cos\varepsilon}+\gamma_R\frac{h_c-h_m}{\sin\varepsilon}\right)\right] \tag{69}$$

تحسب دالة نقل التناثر الفعلي للتناثر بسبب المطر تحت ارتفاع المطر:

$$C_b = \frac{4.34}{\gamma_R(1+\cos\varepsilon)}\left[1-\exp\left\{-0.23\,\gamma_R(h_c-h_m)\frac{\sin\varepsilon}{1-\cos\varepsilon}\right\}\right] \tag{70}$$

ومن أجل التناثر بسبب الجليد فوق ارتفاع المطر:

$$C_a = \frac{0.67}{\sin\varepsilon_s}\left[\exp\{-1.5(h_c-h_R)\}-\exp\{-1.5(h_m-h_R+d_c\tan\varepsilon)\}\right] \tag{71}$$

عندئذ تحسب دالة نقل التناثر الفعال الإجمالي كما يلي:

$$C = \Gamma_b C_b + \Gamma_a C_a \tag{72}$$

يحدد الانحراف من تناثر رايلي للترددات التي تتجاوز 10 GHz:

$$10\log S = \begin{cases} 0.005(f-10)^{1.7}R(p_2)^{0.4} & \text{for } 10 \le f \le 40 \\ 0 & \text{for } f < 10 \text{ or when } C_b = 0 \end{cases} \tag{73}$$

يلاحظ أن هذا الانحراف من تناثر رايلي لا ينطبق إلا على تناثر بسبب المطر تحت ارتفاع المطر.

والآن يقيّم التوهين الناجم عن الغازات في الجو من العلاقات التالية. أولاً تحدد أطوال المسير المكافئة لكي تأخذ في الحسبان التناقص في التوهين النوعي الغازي بازدياد الارتفاع. ومن أجل المسير من محطة الأرض إلى خلية المطر يكون ذلك:

$$d_{to} = \begin{cases} 0.9r_t & \text{for } r_t < 270 \text{ km} \\ 243 + 0.4(r_t - 270) & \text{for } r_t \ge 270 \text{ km} \end{cases} \tag{74a}$$

$$d_{tv} = \begin{cases} 0.85r_t & \text{for } r_t < 220 \text{ km} \\ 187 + 0.4(r_t - 220) & \text{for } r_t \ge 220 \text{ km} \end{cases} \tag{74b}$$

ومن أجل المسير من خلية المطر إلى المحطة الأرضية:

$$d_{ro} = 0.8r_r \tag{75a}$$

$$d_{rv} = 0.5r_r \tag{75b}$$

عندئذ يحدد التوهين الغازي كما يلي:

$$A_g = \gamma_o(d_{to} + d_{ro}) + \gamma_{wv}(d_{tv} + d_{rv}) \tag{76}$$

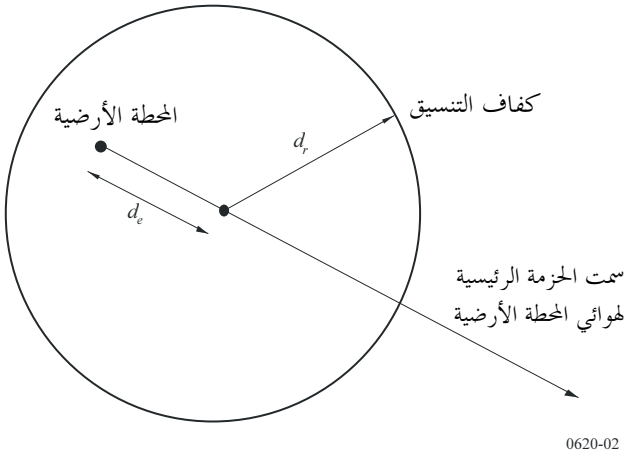
وأخيراً تتحدد خسارة الإرسال كما يلي:

$$L_r(p_2) = 173 + 20\log r_i - 20\log f - 14\log R(p_2) - 10\log C + 10\log S - G_T + A_g \quad (77)$$

وتكون المسافة d_r التي تنتج عن عملية التكرار هذه هي المسافة من محطة الأرض إلى حافة خلية المطر ويكون كفاف التنسيق عندئذ في شكل دائرة نصف قطرها d_r يكون مركزها على مسافة d_e من المحطة الأرضية على امتداد اتجاه سمتها، كما هو مبين في الشكل 2.

الشكل 2

موقع كفاف التنسيق



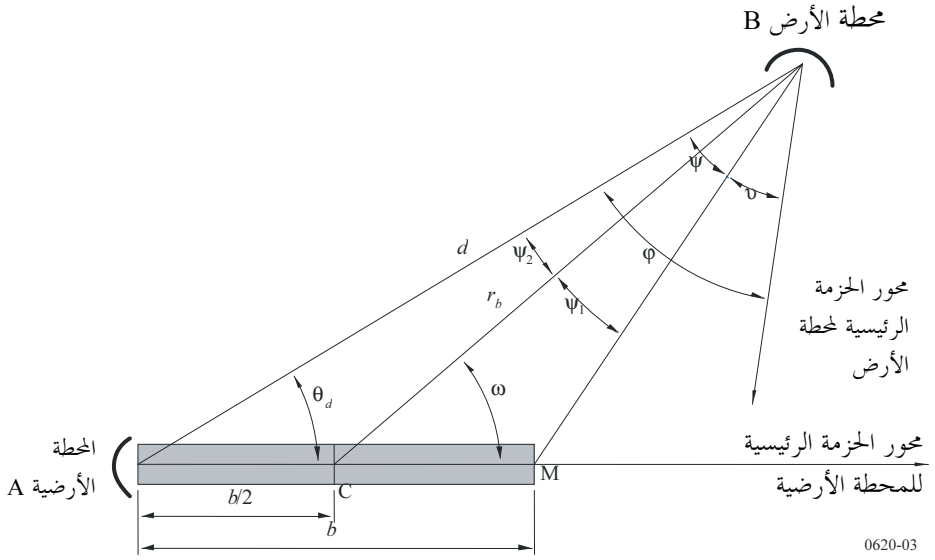
4 تحديد الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2)

تمكّن الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2) من أن يؤخذ في الحسبان التخالف السمتي لحزمة هوائي محطة أرض بالنسبة لموقع المحطة الأرضية المنسِّقة. ويبين الشكل 3 منطقة تناثر الماء الجوي مسقطة على مستو أفقي. وفي هذا الشكل تقع المحطة الأرضية ومحطة الأرض عند النقطتين A وB على التوالي حيث تكون محطة الأرض على شعاع تحدده زاوية ω من النقطة C في مركز الكفاف الرئيسي، أو الإضافي، لأسلوب الانتشار (2) وتكون النقطة C أيضاً مركز الكفاف المساعد.

تمثل المساحة المظللة في الشكل 3 المنطقة الحرجة على امتداد محور الحزمة الرئيسية للمحطة الأرضية وذلك بين المحطة الأرضية وارتفاع المطر. ويمكن في داخل هذه المنطقة الحرجة تشكيل حجم مشترك بين حزمة المحطة الأرضية وحزمة أي محطة للأرض داخل الكفاف الرئيسي، أو الإضافي، لأسلوب الانتشار (2). ويكون طول هذه المنطقة الحرجة b ويكون مداها الأفقي الأقصى عند النقطة M. وسوف يؤدي تقاطع هذه المنطقة الحرجة مع محور الحزمة الرئيسية لمحطة ما إلى قدر لا بأس به من التداخل الناجم عن تناثر الماء الجوي عن طريق اقتران الفصين الرئيسيين.

الشكل 3

هندسة الانتشار في المستوى الأفقي



وبالنسبة لنقطة ما داخل الكفاف الرئيسي أو الإضافي في أسلوب الانتشار (2) تسمى الزاوية المقابلة للمنطقة الحرجة الزاوية الحرجة ψ. وتمثل زاوية الحماية υ زاوية محور الحزمة الرئيسية لمحطة الأرض بعيداً عن المنطقة الحرجة. وتكون φ زاوية تجنب الحزمة بين محور الحزمة الرئيسية لمحطة الأرض وموقع المحطة الأرضية. وهي مجموع الزاويتين ψ وυ وهذه الكمية هي التي لها قيمة ثابتة بالنسبة لكفاف مساعد محدد. ويجري توليد كل كفاف مساعد بتغيير الزاوية ω واستخراج المسافة r_b من النقطة C إلى الكفاف المساعد. وكلما تزداد الزاوية ω من 0° إلى 360° تتغير الزاويتان ψ وυ ولكن مجموعهما يبقى على حاله.

ويمكن استخدام الخوارزمية في البند 1.4 في هذا التذييل لحساب الكفاف المساعد في أسلوب الانتشار (2) بالنسبة لقيمة معينة من زاوية تجنب الحزمة φ.

وتقوم الطريقة على أساس تنقيص المسافة r_b تدريجياً وتكرارياً بين محطة الأرض والمحطة الأرضية ابتداءً من مسافة الكفاف الرئيسي d_r الواردة في المعادلة (59) أعلاه حتى الوصول إلى أقل قيمة للمسافة r_b التي تتحقق فيها الخسارة الدنيا المطلوبة أو حتى الوصول إلى مسافة التنسيق الدنيا. وبالنسبة لكل قيمة من قيم r_b تقرر الزاوية الحرجة ψ ثم تحسب زاوية الحماية υ. ثم يستخدم كسب الهوائي في محطة الأرض المقابل لقيمة υ والمسافة الراهنة r_b عندئذ في المعادلة (77) لحساب خسارة المسير في أسلوب الانتشار (2).

وتكرر العملية الموصوفة أعلاه بالنسبة لكل زاوية ω لتوليد كفاف مساعد كامل لقيمة معينة من قيم زاوية تجنب الحزمة φ. وبالنسبة لبعض اقترانات زاوية تجنب الحزمة والزاوية ω فقد يتصادف كفاف مساعد مع الكفاف الرئيسي أو الإضافي في أسلوب الانتشار (2).

1.4 الخوارزمية خطوة خطوة

ترسم الأكفة المساعدة في أسلوب الانتشار (2) بحساب المسافات على امتداد الأشعة من مركز الكفاف الرئيسي أو الإضافي في أسلوب الانتشار (2) وهو النقطة C عند المسافة $b/2$ من المحطة الأرضية على امتداد سمت محور حزمتها الرئيسية. والمسافة $b/2$ تساوي d_e حيث d_e محسوبة في المعادلة (64).

بالنسبة للقيمة المختارة لزاوية تجنب الحزمة φ يولّد الكفاف المساعد لقيم الزاوية ω التي تشمل المجال من 0° إلى 180° في خطوات مقدار كل منها 1° على النحو التالي:

أ) تحدد r_b لمسافة الكفاف الرئيسي أو الإضافي في الأسلوب (2) المحسوبة في المعادلة (59).

ب) تحسب قيمة ψ من:

$$\psi_1 = \arctan\left(\frac{b \sin \omega}{2r_b - b \cos \omega}\right) \quad (78)$$

$$\psi_2 = \arctan\left(\frac{b \sin \omega}{2r_b + b \cos \omega}\right) \quad (79)$$

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \quad (80)$$

ج) إذا كانت $\varphi > \psi$ عندئذ يتصادف الكفاف المساعد في الأسلوب (2) مع الكفاف الرئيسي أو الإضافي في الأسلوب (2) بالنسبة للقيمة الراهنة ω ويستكمل حساب القيمة ω وينتقل إلى الخطوة ي). وإلاّ تتبع الخطى التالية د) إلى ط) إلى أن يتحقق أحد شروط الانتهاء الموصوفة في الخطوة و) والخطوة ط).

د) تنتقص r_b بطرح مقدار km 0,2، من قيمتها.

هـ) يعاد حساب الزاوية الحرجة ψ باستخدام المعادلات (78) و(79) و(80).

و) إذا كانت $d_{min} > (0.5\ b \sin \omega / \sin \psi_2)$، وكان الكفاف المساعد في الأسلوب (2) مصادف لمسافة التنسيق الدنيا d_{min} وقد اكتمل الحساب من أجل القيمة الراهنة ω – ينتقل إلى الخطوة ي) وإلاّ إلى الخطوة ز).

ز) تحسب زاوية الحماية $\upsilon = \varphi - \psi$.

ح) تحسب قيمة $G(\upsilon)$، وهي كسب هوائي محطة الأرض عند الزاوية υ بالنسبة إلى محور الحزمة، باستخدام مخطط الهوائي المرجعي الوارد في التذييل 4.

ط) في المعادلة (77)، يستخدم الكسب المحسوب في الخطوة ح) بدلاً من G_T والقيمة الجديدة للمسافة r_b، وتحسب خسارة المسير المقابلة في أسلوب الانتشار (2) L_r. فإذا كانت $L_r < L_b(p_2)$ عندئذ تزاد r_b بإضافة km 0,2 إلى قيمتها وتؤخذ هذه المسافة على أنها المسافة من أجل الشعاع الراهن. وإلاّ تكرر العملية ابتداءً من الخطوة د).

ي) حالما تعرف القيمة الجديدة r_b من أجل القيمة الراهنة للزاوية ω تحسب الزاوية θ_d من موقع المحطة الأرضية، وإذا دعا الأمر المسافة d، إلى نقطة الكفاف تلك، كما يلي:

$$d = 0.5\ b \sin \omega / \sin \psi_2 \quad (81)$$

$$\theta_d = \omega - \psi_2 \quad (82)$$

يكون الكفاف المساعد في أسلوب الانتشار (2) متناظراً حول محور الحزمة الرئيسية للمحطة الأرضية. وهكذا فإن قيم d وθ_d المقابلة لقيم ω من 181° إلى 359° يمكن التوصل إليها على أساس أن النتائج بالنسبة لأي قيمة معينة من قيم ω هي نفسها بالنسبة لقيمة $(-\omega)$ أو $(\omega - 360°)$.

ومقدار خطوة التزايد r_b المستخدمة أعلاه، أي km 0,2، مناسب في معظم الأحوال. وهو يتحكم بخشونة النتيجة عندما ينظر إليها كمجموعة من قيم r_b. وبالنسبة للقيم المنخفضة لارتفاع حزمة المحطة الأرضية تزداد الخشونة البادية في قيم d وθ_d ومن الممكن عندئذ تصغير مسافة الخطوة.

التذييل 4
للملحق 1

مخططات الإشعاع المرجعية لهوائيات خط البصر في أنظمة المرحلات الراديوية لاستعمالها في دراسات التنسيق وتقييم التداخل في مدى الترددات من 1 إلى نحو 40 GHz

(اعتماداً على التوصية ITU-R F.699)

يقدم هذا التذييل مخطط إشعاع مرجعي لهوائيات خط البصر في أنظمة المرحلات الراديوية لاستعمالها في حسابات التنسيق في أسلوب الانتشار (2) عندما لا يتوفر مخطط الهوائي الفعلي.

من الضروري جداً أن يبذل كل جهد ممكن لاستخدام مخطط الهوائي الفعلي في دراسات التنسيق وتقييم التداخل، ولكن إذا لم يتوفر ذلك ينبغي اعتماد مخطط الإشعاع المرجعي التالي من أجل الترددات في المدى من 1 إلى 40 GHz:

أ) عندما تكون النسبة بين قطر الهوائي وطول الموجة أكبر من 100 ينبغي استخدام العلاقات التالية:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \quad \text{for} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \tag{83}$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{for} \quad \varphi_m \le \varphi < \varphi_r \tag{84}$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{for} \quad \varphi_r \le \varphi < 48^\circ \tag{85}$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{for} \quad 48^\circ \le \varphi \le 180^\circ \tag{86}$$

$$G_1 = 2 + 15 \log\left(\frac{D}{\lambda}\right) \tag{87}$$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{max} - G_1} \tag{88}$$

$$\varphi_r = 15.85\left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-0.6} \tag{89}$$

ب) عندما تكون النسبة بين قطر الهوائي وطول الموجة أقل من 100 أو مساوية لها ينبغي استخدام العلاقات التالية (انظر الملاحظتين 6 و7):

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \quad \text{for} \quad 0 < \varphi < \varphi_m \tag{90}$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{for} \quad \varphi_m \le \varphi < 100\,\frac{\lambda}{D} \tag{91}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{for} \quad 100\,\frac{\lambda}{D} \le \varphi < 48^\circ \tag{92}$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{for} \quad 48^\circ \le \varphi \le 180^\circ \tag{93}$$

ج) عندما لا يكون معلوماً سوى الكسب الأقصى للهوائي عندئذ يمكن تقدير D/λ من العلاقة التالية:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{max} - 7.7 \quad (94)$$

حيث G_{max} هي كسب الفص الرئيسي في الهوائي (dBi).

د) عندما لا يكون معلوماً سوى عرض حزم الهوائي:

يمكن تقدير D/λ (معبراً عنها بنفس الوحدة) من العلاقة التالية:

$$D/\lambda \approx 69.3 / \theta_{bw} \quad (95)$$

حيث θ_{bw} هي عرض الحزمة (أدنى بمقدار 3 dB) (درجات)؛

عندئذ يمكن تقدير G_{max} على وجه التقريب كما يلي:

$$G_{max} \text{ (dBi)} \approx 44.5 - 20 \log \theta_{bw} \quad (96)$$

الملاحظة 1 – من الضروري جداً أن يبذل كل جهد ممكن لاستخدام مخطط الهوائي الفعلي في دراسات التنسيق وتقييم التداخل.

الملاحظة 2 – من الجدير بالملاحظة أن مخطط إشعاع الهوائي الفعلي قد يكون أسوأ من مخطط الإشعاع المرجعي في مدى معين من الزوايا (انظر الملاحظة 3). لذلك ينبغي ألاّ يفسر مخطط الإشعاع المرجعي في هذا التذييل على أنه يرسم الحد الأقصى لمخططات الإشعاع لهوائيات أنظمة المرحلات الراديوية الموجودة منها والمخطط لها.

الملاحظة 3 – ينبغي اتخاذ الحذر لدى استعمال مخطط الإشعاع المرجعي في ذلك المدى من الزوايا الذي قد يتسبب فيه نظام التغذية الخاص بمستويات عالية نسبياً من ظاهرة الطفح.

الملاحظة 4 – لا تنطبق المخططات المرجعية في أ) وب) إلاّ بالنسبة لاستقطاب واحد (أفقي أو عمودي) أما المخططات المرجعية للاستقطابين (الأفقي والعمودي) فهي قيد الدراسة.

الملاحظة 5 – يقتصر مخطط الإشعاع المرجعي الوارد في هذا التذييل على الهوائيات ذات الدوران المتناظر. أما مخطط الإشعاع المرجعي للهوائيات ذات الفتحات اللاتناظرية فتتطلب المزيد من الدراسة. ولمثل هذه الهوائيات يمكن اعتبار المخططات المرجعية سالفة الذكر صالحة مؤقتاً.

الملاحظة 6 – لمزيد من المعلومات تتضمن التوصية ITU-R F.1245 نموذجاً رياضياً لمتوسط مخططات الإشعاع لاستعمالها في بعض دراسات التنسيق وتقييم التداخل.

الملاحظة 7 – يحتاج الأمر إلى مزيد من الدراسة لضمان استمرار تطوير مخططات الإشعاع المرجعية لكي تأخذ في الحسبان ما يحرز من تقدم في تصميم الهوائيات.

الملاحظة 8 – ينطبق المخططان المرجعيان الواردان في أ) وب) بصفة عامة ولكنهما لا يصلحان نموذجاً لبعض هوائيات الخدمة الثابتة العملية، وينبغي توخي الحذر في استعمالهما في مدى الزوايا 5° إلى 70° (انظر أيضاً الملاحظتين 2 و3).

التذييل 5
للملحق 1

معلمات الدخل والاشتقاق

قد تكون معلمة ما في بعض الحالات إما معلمة دخل أو تكون مشتقة في إطار هذه التوصية. وقد أدرج وضع المعلمات (دخل أو اشتقاق) في الجدول 3. ويعرّف هذا الوضع على النحو التالي:

- *دخل:* معلمة دخل قيمتها غير محددة أو لا يمكن الحصول عليها في إطار هذه التوصية، مثال ذلك التردد ودرجة عرض المحطة الأرضية وغير ذلك.
- *اشتقاق:* معلمة تشتق قيمتها أو تعرّف (كأن تكون ثابتاً مثلاً) أو تكون محسوبة في إطار هذه التوصية، مثال ذلك معدل هطول المطر على السطح $R(p)$ (mm/h) (تستقى من الخرائط والرسوم)، وd_{max2} (تؤخذ من الجدول 3)، ومسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (1) d_1 (km) (محسوبة)، وغيرها.

الجدول 3

تعريف المصطلحات

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
A_1	dB	الجزء الذي لا يعتمد على المسافة في خسارة الجريان	المعادلة (25)	اشتقاق
A_2	dB	الجزء الذي لا يعتمد على المسافة في خسارة التناثر التربوسفيري	المعادلة (29)	اشتقاق
A_c	dB	تصحيح من أجل الاقتران المباشر داخل المجاري فوق البحر	المعادلة (24)	اشتقاق
A_d	dB	التصحيح من أجل مسافة الأفق على امتداد كل سمت من محطة أرضية	المعادلة (10)	اشتقاق
A_g	dB	التوهين الناجم عن الغازات في الغلاف الجوي في حسابات أسلوب الانتشار (1) وأسلوب الانتشار (2)	المعادلتان (32) و(76)	اشتقاق
A_h	dB	مجموع الخسارة بسبب حجب التضاريس على امتداد كل سمت من محطة أرضية	المعادلات (11a) إلى (11c) والبند 1 من التذييل 2	اشتقاق
A_w	dB	التوهين الناجم عن بخار الماء فوق ذلك الجزء من المسير داخل المسافة الدنيا بالنسبة لأسلوب الانتشار (1)	المعادلة (22b)	اشتقاق
b	km	المسافة الأفقية بين المحطة الأرضية وأبعد حجم مشترك ممكن المستخدمة في حساب الأكفة المساعدة في أسلوب الانتشار (2)	البند 1.4 من التذييل 3	اشتقاق
C	–	دالة نقل التناثر الفعال المستخدمة في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (72)	اشتقاق
C_b ،C_a	–	دالات نقل التناثر الفعالة للتناثر فوق ارتفاع المطر ودونه	المعادلتان (71) و(70)	اشتقاق
d	km	المسافة من المحطة الأرضية إلى نقطة على الكفاف المساعد المستخدمة في حساب الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2)	المعادلة (81) والبند 1.4 في التذييل 3	اشتقاق
d_1	km	مسافة التنسيق لأسلوب الانتشار (1)	البنود 2 و3 و4 في التذييل 2	اشتقاق

الجدول 3

تعريف المصطلحات

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
d_c	km	المسافة من المحطة الأرضية إلى الساحل في الاتجاه المقصود المستخدمة في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (24)	دخل
d_c	km	قطر خلية المطر المستخدمة في حسابات أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (52)	اشتقاق
d_e	km	المسافة الأفقية من المحطة الأرضية إلى حافة خلية المطر	المعادلة (64)	اشتقاق
d_h	km	مسافة الأفق الراديوي المرئية من مركز هوائي المحطة الأرضية	البند 1 في التذييل 2	دخل
d_i	km	المسافة الراهنة من المحطة الأرضية المستخدمة في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلات (15) و(31) و(48)	اشتقاق
d_{lm}	km	أطول مسافة مستمرة داخل البر، المنطقة 2A، داخل المسافة d_i، والمستخدمة في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	البند 2.4 في الملحق 1	دخل
d_{max1}	km	مسافة الحساب القصوى لأسلوب الانتشار (1)	البند 2.5	اشتقاق
d_{max2}	km	مسافة الحساب القصوى لأسلوب الانتشار (2)	الجدول 2	اشتقاق
d_{min}	km	مسافة التنسيق الدنيا لأسلوب الانتشار (1) وأسلوب الانتشار (2) على السواء	المعادلات من (5a) إلى (5f)	اشتقاق
d'_{min}	km	مسافة التنسيق الدنيا للترددات المنخفضة	المعادلة (4)	اشتقاق
d_{to}، d_{tv} d_{ro}، d_{rv}	km	المسافات المستخدمة في تحديد التوهين الغازي لحسابات أسلوب الانتشار (2)	المعادلات (74a) و(74b) و(75a) و(75b)	اشتقاق
d_r	km	المسافة من خلية المطر حيث الخسارة تساوي أو تتجاوز خسارة الإرسال المطلوبة لأسلوب الانتشار (2)	البند 1 في التذييل 3	اشتقاق
d_{tm}	km	أطول مسافة برية مستمرة (أي داخل البر + الساحل) المنطقة 1A + المنطقة 2A، داخل المسافة d_i المستخدمة في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	البند 2.4 في الملحق 1	دخل
D	m	قطر الهوائي المستخدم في تحديد مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	التذييل 4	دخل
f	GHz	التردد، 100 MHz إلى 105 GHz	لا ينطبق	دخل
$G(\varphi)$	dB	كسب الهوائي خارج محور زاوية قدرها φ المحدد من مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	المعادلات (83) إلى (86) و(90) إلى (93)	اشتقاق
G_L		تعبير مستخدم في التحويل من النسبة المئوية من الزمن لأسوأ شهر إلى النسبة المئوية السنوية من الزمن	المعادلتان (7a) و(7b)	اشتقاق

الجدول 3

تعريف المصطلحات

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
G_1	dB	كسب الفص الجانبي الأول للهوائي المحدد من مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	المعادلة (87)	اشتقاق
G_{max}	dB	كسب الهوائي على المحور المستخدم في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	التذييل 4	دخل
G_T	dB	الكسب في هوائي محطة الأرض، يفترض أن يكون 42 dB، المستخدم في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (57)	دخل
h_c	km	معلمة تستخدم في حسابات أسلوب الانتشار (2) تبعاً للمنطقة داخل خلية المطر	المعادلة (65)	اشتقاق
h_m	km	الارتفاع فوق الأرض لتقاطع الحزمتين في حسابات أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (60)	اشتقاق
h_R	km	ارتفاع المطر الفعلي فوق الأرض	لا ينطبق	دخل
$L(p_1)$	dB	الحد الأدنى من خسارة الإرسال الأساسية المسموح بها والمطلوبة من أجل p_1% من الزمن في أسلوب الانتشار (1)	البند 1	دخل
$L_b(p_2)$	dB	الحد الأدنى من خسارة الإرسال الأساسية المسموح بها والمطلوبة من أجل p_2% من الزمن في أسلوب الانتشار (2)	البند 1	دخل
$L_{bl}(p_1)$	dB	خسارة تنطبق على مسير يفترض أن يكون بري كلياً (المنطقة 1A أو 2A) تستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (16)	اشتقاق
$L_{bs}(p_1)$	dB	خسارة تنطبق على مسير يفترض أن يقع كلياً في بحار باردة (المنطقة B) أو بحار دافئة (المنطقة C) تستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلتان (17a) و(17b)	اشتقاق
$L_1(p_1)$ $L_2(p_1)$ $L_3(p_1)$ $L_4(p_1)$ $L_5(p_1)$ $L_6(p_1)$ $L_7(p_1)$ $L_8(p_1)$ $L_9(p_1)$	dB dB dB dB dB dB dB dB dB	خسائر مستخدمة في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلات (14) و(18) و(26) و(30) و(40) و(41) و(46) و(47) و(49)	اشتقاق
L_f	dB	خسارة تعتمد على التردد تستخدم في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (28)	اشتقاق
$L_r(p_2)$	dB	خسارة الإرسال المستخرجة كدالة رتيبة لمعدل هطول المطر R والمستخدمة في تحديد مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (77)	اشتقاق

الجدول 3

تعريف المصطلحات

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
N_0	–	انكسارية سطح مستوى البحر في مركز المسير	المعادلة (3)	اشتقاق
p_1	%	متوسط النسبة المئوية السنوية من الزمن لأسلوب الانتشار (1)، حيث p_1 هي في المدى: 1% إلى 50% من أجل f بين 100 MHz و790 MHz 0,001% إلى 50% من أجل f بين 790 MHz و105 GHz	المعادلة (8) والبند 1.6	دخل
p_{w1}	%	النسبة المئوية من الزمن لأسوأ شهر لأسلوب الانتشار (1)	البند 1.6	دخل
p_2	%	متوسط النسبة المئوية السنوية من الزمن لأسلوب الانتشار (2) تتراوح من 0,001% إلى 10%	المعادلة (9) والبند 2.7	دخل أو اشتقاق
p_{w2}	%	النسبة المئوية من الزمن لأسوأ شهر لأسلوب الانتشار (2)	البند 2.7	دخل
$R(p_2)$	mm/h	متوسط تجاوز معدل هطول المطر سطحياً p_2% من السنة، المستخدم في حسابات وأسلوب الانتشار (2)		دخل
r_b	km	المسافة من مركز الحجم المشترك إلى الكفاف المساعد المستخدمة في حساب الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2)	المعادلتان (78) و(79) والبند 1.4 في التذييل 3	اشتقاق
r_E	km	نصف القطر الفعلي للأرض (= 8 500 km)	البند 3 في التذييل 3	دخل
r_i	km	المسافة الراهنة بين منطقة التناثر الأقصى والموقع المحتمل لمحطة أرض، وتستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (51)	اشتقاق
r_m	km	المسافة المرجعية من أجل التوهين خارج حجم التناثر المشترك في حسابات أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (54)	اشتقاق
r_r	km	طول المسير من تقاطع الحزمتين إلى المحطة الأرضية في حسابات أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (63)	اشتقاق
r_t	km	طول المسير من تقاطع الحزمتين إلى محطة الأرض في حسابات أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (62)	اشتقاق
s	km	الزيادة التدريجية في المسافة المستخدمة في الحساب التكراري لمسافة التنسيق (القيمة الموصى بها هي 1 km)	البند 1	دخل
S	–	الانحراف عن تناثر رايلي في حساب أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (73)	اشتقاق
β	–	معلمة تستخدم في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (38)	اشتقاق
β_p	%	الحدوث النسبي للانتشار الشاذ في الجو الصافي	المعادلتان (2a) و(2b)	اشتقاق

الجدول 3

تعريف المصطلحات

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
δ	الأشعة	الفواصل الزاوية في مركز الأرض بين المحطة الأرضية والمسافة الراهنة في حسابات أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (61)	اشتقاق
ε_L	–	هامش سماح لخسائر إضافية تعتمد على المسافة وغيرها بما في ذلك تلك المرتبطة بارتفاع التضاريس	المعادلة (27)	اشتقاق
ε	بالدرجات	زاوية ارتفاع الحزمة الرئيسية لهوائي المحطة الأرضية	البند 3 في التذييل 3	دخل
φ	بالدرجات	تخالف زاوي من محور الحزمة الرئيسية للهوائي يستخدم في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	التذييل 4	دخل
φ_r	بالدرجات	تخالف زاوي من محور الحزمة الرئيسية للهوائي يستخدم في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	المعادلة (89)	اشتقاق
φ_m	بالدرجات	تخالف زاوي من محور الحزمة الرئيسية للهوائي يستخدم في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	المعادلة (88)	اشتقاق
Γ		تعبير مستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (39)	اشتقاق
Γ_1	dB	تعبير مستخدم في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (67)	اشتقاق
Γ_2	dB	تعبير مستخدم في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (66)	اشتقاق
Γ_a	dB	تعبير مستخدم في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (69)	اشتقاق
Γ_b	dB	تعبير مستخدم في حساب مسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (68)	اشتقاق
γ_d	dB/km	تعبير توهين نوعي يستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (23)	اشتقاق
γ_{gm}	dB/km	التوهين النوعي الناجم عن الامتصاص الغازي والمستخدم في مدى التردد 60 GHz إلى 105 GHz	المعادلة (45)	اشتقاق
γ_o	dB/km	التوهين النوعي بسبب الهواء الجاف	المعادلتان (20) و(55)	اشتقاق
γ_{om}	dB/km	التوهين النوعي الناجم عن الهواء الجاف والمستخدم في مدى التردد 60 GHz إلى 105 GHz	المعادلتان (43a) و(43b)	اشتقاق
γ_R	dB/km	التوهين النوعي الناجم عن المطر	التذييل 3	دخل
γ_w	dB/km	التوهين النوعي الناجم عن بخار الماء	المعادلة (21)	اشتقاق
γ_{wv}	dB/km	التوهين النوعي الناجم عن امتصاص بخار الماء والمستخدم في تناثر الماء الجوي	المعادلة (56)	اشتقاق

الجدول 3

تعريف المصطلحات

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
γ_{wt}	dB/km	التوهين النوعي الناجم عن امتصاص بخار الماء والمستخدم في نموذج انتشار التناثر التروبوسفيري (تستخدم كثافة بخار الماء بمقدار m/g^3)	المعادلة (22a)	اشتقاق
γ_{wm}	dB/km	التوهين النوعي الناجم عن امتصاص بخار الماء والمستخدم في مدى تردد 60 GHz إلى 105 GHz	المعادلة (44)	اشتقاق
η	–	معلمة وسيطة في حساب أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (53)	اشتقاق
λ	m	طول الموجة المستخدم في تحديد مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	التذييل 4	دخل
μ_1	–	معلمة تعتمد على مدى مرور المسير فوق الأرض (داخل الأرض أو على الساحل) والمياه تستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (34)	اشتقاق
μ_2	–	معلمة تستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (36)	اشتقاق
μ_4	–	معلمة تستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلتان (37a) و(37b)	اشتقاق
θ_d	بالدرجات	السمت بالنسبة إلى اتجاه الحزمة الرئيسية من المحطة الأرضية إلى نقطة على الكفاف المساعد وتستخدم في حساب الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2)	المعادلة (82) والبند 1.4 في التذييل 3	اشتقاق
θ_h	بالدرجات	زاوية ارتفاع أفق المحطة الأرضية	البند 1 في التذييل 2	دخل
θ_{bw}	بالدرجات	عرض حزمة الهوائي بمقدار 3 dB المستخدم في مخطط الإشعاع المرجعي للهوائي (التذييل 4)	المعادلتان (95) و(96)	دخل
ρ	g/m^3	تجاوز كثافة بخار الماء في الغلاف الجوي لفترة 50% من الزمن	المعادلتان (21) و(56)	دخل
ρ_0	g/m^3	تجاوز كثافة بخار الماء في الغلاف الجوي لفترة 50% من الزمن عند المحطة الأرضية	المعادلة (22b)	دخل
ρ_{dmin}	g/m^3	تجاوز كثافة بخار الماء في الغلاف الجوي لفترة 50% من الزمن عند d_{min} في السمت المقصود	المعادلة (22b)	دخل
ρ_i	g/m^3	تجاوز كثافة بخار الماء في الغلاف الجوي لفترة 50% من الزمن لكل خطوة تكرارية في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (32)	دخل
σ	–	معلمة تستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (36)	اشتقاق
τ	–	معلمة تستخدم في الحساب التكراري لمسافة التنسيق في أسلوب الانتشار (1)	المعادلة (33)	اشتقاق
υ	بالدرجات	زاوية الحماية المستخدمة في تحديد الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2)	الخطوة ز) والبند 1.4 في التذييل 3	اشتقاق

الجدول 3

تعريف المصطلحات

المعلمة	الوحدات	التعريف	موقع التعريف	الوضع
ω	بالدرجات	الزاوية القطبية لمحطة الأرض بالنسبة لمركز الحجم المشترك والمستخدمة في حساب الأكفة المساعدة لأسلوب الانتشار (2)	البند 4 في التذييل 3	دخل
ψ	بالدرجات	الزاوية المقابلة بحكم المنطقة الحرجة التي قد يقع فيها الحجم المشترك بين المحطة الأرضية وحزمة أي محطة للأرض في أسلوب الانتشار (2)	المعادلة (80) والبند 1.4 في التذييل 3	اشتقاق
ζ	بالدرجات	خط عرض المحطة الأرضية (الشمال موجب، الجنوب سالب)	المعادلتان (1a) و(1b)	دخل
ζ_r	بالدرجات	خط عرض مرتبط بخط عرض المحطة الأرضية يستخدم في تحديد القيمة الملائمة للحدوث النسبي للانتشار الشاذ في الهواء الصافي، β_p	المعادلتان (1a) و(1b)	اشتقاق