

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.1812-5
(2019/08)

طريقة تنبؤ بانتشار خاصة بمسیر
لخدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة
في نطاقات الموجات المترية (VHF)
والموجات الديسيمترية (UHF)

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

تمهيد

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 مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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 الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/ar> 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/ar>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2020

© ITU 2020

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).

التوصية ITU-R P.1812-5

طريقة تنبؤ بانتشار خاصة بمسير لخدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF)

(المسألة ITU-R 203/3)

(2019-2015-2013-2012-2009-2007)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية طريقة تنبؤ بانتشار تناسب خدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في المدى الترددي من 30 MHz إلى 3 GHz. وهي تتنبأ بمستويات الإشارة المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة من الوقت p % ضمن المدى $(1\% \leq p \leq 50\%)$ ، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع، p_L ، ضمن المدى $(1\% \leq p_L \leq 99\%)$ ، وذلك في متوسط توزيع المسيرات المتعددة. وتقدم هذه الطريقة تحليلاً مفصلاً يقوم على المظهر الجانبي لتضاريس الأرض.

وتناسب هذه الطريقة التنبؤات في أنظمة الاتصالات الراديوية التي تستخدم دارات أرضية تتراوح أطوال مسيراتها بين 0,25 km ونحو 3 000 km مسافةً، مع كون كلا المطرفين على ارتفاع يقرب من 3 km فوق الأرض. ولا تلائم هذه الطريقة تنبؤات الانتشار على دارات راديوية جو-أرض أو فضاء-أرض.

هذا وتتم هذه التوصية التوصية ITU-R P.1546.

كلمات أساسية

الانتشار طويل المدى الخاص بمسیر، المسيرات/الدارات التروبوسفيرية، التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية، التغير في الزمن والموقع

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ أن من الضروري تقديم إرشادات إلى المهندسين المكلفين بتخطيط خدمات الاتصالات الراديوية للأرض في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)؛

ب أن من الأهمية بمكان تحديد مسافة جغرافية دنيا تفصل بين المحطات التي تعمل على نفس قنوات التردد أو على قنوات متجاورة لتفادي التداخلات غير المقبولة من جراء الانتشار الأرضي على مسافة طويلة،

وإذ تلاحظ

أ أن التوصية ITU-R P.528 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية من نقطة-إلى-منطقة فيما يتعلق بالخدمة المتنقلة للطيران في مدى الترددات من 125 MHz إلى 15,5 GHz والمسافات التي تصل إلى 1 800 km؛

ب أن التوصية ITU-R P.452 تقدم إرشادات بشأن التقييم المفصل للتداخلات الصغيرة بين المحطات المقامة على سطح الأرض عند ترددات تزيد عن 0,1 GHz تقريباً؛

ج أن التوصية ITU-R P.617 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الانتشار من نقطة-إلى-نقطة (P-P) بالنسبة إلى أنظمة المرحلات الراديوية عبر الأفق فيما يتعلق بمدى الترددات الذي يزيد عن 30 MHz، وبالنسبة إلى مدى المسافات من 100 إلى

1 000 km؛

- د) أن التوصية ITU-R P.1411 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بالانتشار فيما يتعلق بخدمات الاتصالات الراديوية خارج المباني ذات المدى القصير (إلى حد 1 km)؛
- هـ) أن التوصية ITU-R P.530 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الانتشار من نقطة إلى نقطة فيما يتعلق بأنظمة خط البصر الأرضية؛
- و) أن التوصية ITU-R P.1546 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ من نقطة إلى نقطة—منطقة بـقيم شدة المجال في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) بالاستناد في المقام الأول إلى تحاليل إحصائية للبيانات التجريبية؛
- ز) أن التوصية ITU-R P.2001 توفر نموذج انتشار للأرض واسع المدى من أجل مدى الترددات من 30 MHz إلى 50 GHz بما في ذلك إحصاءات الخبو والتعزيز التي درست جيداً من أجل استعمالها في عمليات محاكاة مونت كارلو؛
- ح) أن التوصية ITU-R P.2040 تقدم توجيهات بشأن آثار خواص مواد البناء وهياكل المباني على انتشار الموجات الراديوية،

توصي

باستعمال الإجراء الوارد في الملحق 1 من أجل التقييم المفصل لمستويات الإشارة من نقطة إلى منطقة فيما يتعلق بهذه الخدمات. ملاحظة - قد تحدث أيضاً مسيرات انتشار طويلة المدى في النطاق VHF عبر طبقة الأيونوسفير. ويرد تلخيص هذه الأساليب في التوصية ITU-R P.844.

الملحق 1

1 مقدمة

يوصى باستخدام طريقة التنبؤ بالانتشار الموصوفة في هذا الملحق من أجل التقييم المفصل لمستويات الإشارة المناسبة للاستعمال فيما يتعلق بخدمات الأرض من نقطة إلى منطقة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF). وتتنبأ هذه الطريقة بمستوى الإشارة (أي شدة المجال الكهربائي) المتجاوز خلال نسبة مئوية معينة من الوقت p % لسنة متوسطة ضمن المدى $(1\% \leq p \leq 50\%)$ ، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع، p_L %، ضمن المدى $(1\% \leq p_L \leq 99\%)$. ومن ثم يمكن استعمال هذه الطريقة للتنبؤ بمنطقة الخدمة وتيسرها على حد سواء لمستوى إشارة (التغطية) مرغوب (مرغوبة)، وبالإنخفاضات في منطقة الخدمة هذه وتيسرها بفعل الإشارات (التداخل) في نفس القناة أو في القناة المجاورة.

ونموذج انتشار هذه الطريقة تناظري بمعنى أنه يعامل كلا المطرفين الراديوين على قدم المساواة. فمن منظور النموذج، لا يهم أي من المطرفين هو المرسل وأيها هو المستقبل. لكن تسهياً لوصف النموذج، يُستعمل مصطلحا "المرسل" و"المستقبل" للدلالة على المطرفين عند بدء ونهاية المسير الراديوي على التوالي.

توصف الطريقة، بدايةً، من خلال حساب خسارة الإرسال الأساسية (dB) التي لا يتم تجاوزها خلال وقت p % بالنسبة إلى قيمة متوسطة للمواقع. ثم تحدد خصائص عنصر تغير الموقع إحصائياً بالنسبة لمواقع المستقبل بالإضافة إلى عنصر خسارة الدخول إلى المباني من التوصية ITU-R P.2040. بعدئذ، يتم القيام بإجراء التحويل إلى شدة مجال كهربائي بالوحدة $(\mu V/m)$ dB بالنسبة إلى قدرة مشعة فعالة قدرها 1 kW.

وهذه الطريقة معدة، بالدرجة الأولى، من أجل الاستعمال مع أنظمة تستعمل هوائيات ذات كسب منخفض. بيد أن التغيير في الدقة عند استعمال هوائيات ذات كسب عالٍ لا يؤثر إلا في عنصر الانتشار التروبوسفيري من مجمل الطريقة، ويكون التغيير في التنبؤات

طفيفاً. فمثلاً، حتى في حالة هوائيين كسبهما 40 dBi على طرفي الوصلة، لا يزيد التقدير المفرط لإشارات الانتشار التروبوسفيري عن 1 dB.

وتناسب هذه الطريقة التنبؤات في أنظمة الاتصالات الراديوية التي تستخدم دارات أرضية تتراوح أطوال مسيراتها بين 0,25 km ونحو 3 000 km مسافةً، على أن يكون كلا المطرفين على ارتفاع يقرب من 3 km فوق الأرض. ولا تلائم هذه الطريقة تنبؤات الانتشار على دارات راديوية جو-أرض أو فضاء-أرض.

وطريقة التنبؤ بالانتشار الواردة في هذا الملحق هي طريقة خاصة بمسار محدد. وتتألف التنبؤات من نقطة-إلى-منطقة التي تستعمل هذه الطريقة من سلسلة من العديد من تنبؤات من نقطة-إلى-نقطة (P-P) (أي من نقطة مرسل إلى نقاط مستقبل متعددة) موزعة بانتظام عبر مناطق خدمة افتراضية. وينبغي أن يكون عدد النقاط كبيراً بما يكفي لضمان أن تكون القيم المتوقعة لخسارة الإرسال الأساسية أو قيم شدة المجال المتحصل عليها عبارة عن تقديرات معقولة للقيم المتوسطة، بالنسبة للمواقع، للمقادير المقابلة للمناطق الأساسية التي تمثلها.

وعليه، تُفترض قدرة مستعملي هذه التوصية على توصيف المظاهر الجانبية المفصلة لتضاريس الأرض (أي الارتفاعات فوق متوسط مستوى البحر) كدوال في المسافة على امتداد مسيرات الدائرة العظمى (أي المنحنيات الجيوديسية) بين الأجهزة المطرفية، بالنسبة للعديد من مواقع هذه الأجهزة (نقاط المستقبل) المختلفة. وبالنسبة لمعظم التطبيقات العملية لهذه الطريقة على التغطية من نقطة-إلى-منطقة وعلى تنبؤات التداخل، يقتضي هذا الافتراض وجود قاعدة بيانات رقمية لارتفاع تضاريس الأرض مرجعها إلى إحداثيات العرض والطول بالنسبة لبيان جيوديسي متسق يمكن استخراج المظاهر الجانبية لتضاريس الأرض منه بوسائل آلية. وفي حال عدم تيسر هذه المظاهر الجانبية المفصلة لتضاريس الأرض، ينبغي الرجوع إلى التوصية ITU-R P.1546 بدلاً من هذه التوصية من أجل الحصول على هذه التنبؤات.

وبالنظر لما تقدم، يتم تحديد خصائص عنصر خسارة التغير في الموقع لهذه التوصية وعنصر الدخول إلى المباني للتوصية ITU-R P.2040 عبر إحصائيات التوزيعات اللوغاريتمية العادية بالنسبة لمواقع المستقبل. وعلى الرغم من أن عملية التحديد الإحصائي للخصائص هذه للانتشار من نقطة-إلى-منطقة قد ينتج عنها مشكلة وهي أن النموذج الإجمالي يكون لا تناظرياً (أي غير تبادلي)، ينبغي على مستعملي هذه التوصية أن يلاحظوا أن التغير في الموقع يمكن تطبيقه، من حيث المبدأ، على أي من طرفي المسير (بمعنى أي من المطرفين)، أو حتى على كليهما (أي على المرسل والمستقبل معاً). بيد أنه لا يوجد ما يدعو لتصحيح التغير في الموقع إلا في الحالات التي يُجهل فيها الموقع الدقيق لمطراف معين ويلزم تمثيل إحصائي للمواقع المحتملة لذلك المطراف. ولا يرحح حدوث حالات عديدة يُطبق فيها ذلك على موقع المرسل على نحو ذي مغزى. أما إذا عُلم موقعا هذين المطرفين بدقة، واستُعمل هذا الإجراء بأسلوب من نقطة-إلى-نقطة، فلا تُطبق هذه التوصية إلا بقيمة $p_L = 50\%$.

ويصير الأمر نفسه بالنسبة لخسارة الدخول إلى المباني. غير أن الأمر يكون أكثر تعقيداً بقليل مما عليه الحال بالنسبة للتغير في الموقع نظراً لأن متوسط تصحيح خسارة الدخول ليس صفرًا. ففي طرف المرسل، يتعين على المستعملين إضافة خسارة الدخول إلى المباني إلى خسارة الإرسال الأساسية إذا كان المرسل داخل مبنى. غير أنه يجب على المستعملين أن يتنبهوا إلى أن قيم الخسارة المتوسطة قد تكون مضللة إذا لم يقع المرسل في موقع "متوسط".

2 عناصر النموذج لطريقة التنبؤ بالانتشار

تأخذ طريقة التنبؤ بالانتشار هذه عناصر النموذج التالية في الحسبان:

- خط البصر (LoS)
- الانعراج (الذي يلتف حول الأرض الملساء والتضاريس الأرضية غير المنتظمة وحالات المسير الفرعي)
- الانتشار التروبوسفيري
- الانتشار غير المنتظم (الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس والانكسار على الطبقات)

- تغيير كسب الارتفاع في الجلبة
- التغيير في الموقع
- حسارة الدخول إلى المباني (من التوصية ITU-R P.2040).

3 معلمات الدخول

1.3 بيانات الدخول الأساسية

يصف الجدول 1 بيانات الدخول الأساسية التي تعرف المطاريف الراديوية والتردد والنسبة المئوية من الوقت والمواقع التي تستلزم تنبؤاً بشأنها.

يتم إدراج خطي العرض والطول للمحطتين كمدخلين أساسيين من منطلق أنهما لازمان للحصول على المظهر الجانبي لمسير. ويتعين الحصول على معلمات الأرصاد الجوية الراديوية لموقع واحد مصاحب للمسير الراديوي، فيما ينبغي انتقاء مركز المسير بالنسبة لمسير طويل. ومن المناسب الحصول على معلمات الأرصاد الجوية الراديوية لموقع المرسل عند التنبؤ بمنطقة تغطيته.

الجدول 1

بيانات الدخول الأساسية

المعلمة	الوحدات	الحد الأدنى	الحد الأقصى	الوصف
f	GHz	0,03	3,0	التردد (GHz)
p	%	1,0	50,0	النسبة المئوية لسنة متوسطة التي يتم فيها تجاوز مستوى الإشارة المحسوبة
p_L	%	1	99	النسبة المئوية للمواقع التي يتم فيها تجاوز مستوى الإشارة المحسوبة
ϕ_t, ϕ_r	درجات	80-	80+	خط عرض المرسل، المستقبل
ψ_t, ψ_r	درجات	180,0-	180,0	خط طول المرسل، المستقبل (موجب = شرق غرينتش)
h_{tg}, h_{rg}	m	1	3 000	ارتفاع مركز الهوائي فوق مستوى الأرض
الاستقطاب				استقطاب الإشارة، رأسي أم أفقي مثلاً
w_s	m	1	100	عرض الشارع. ينبغي استخدام القيمة 27 ما لم تتوفر قيم محلية محددة.

الاستقطاب في الجدول 1 ليس بمعلمة لها قيمة عددية. وتعلق المعلومات المستعملة في الفقرة 3.3.4 بالمعادلات (29a) و(29b) و(30).

2.3 المظهر الجانبي لتضاريس الأرض

يلزم المظهر الجانبي لتضاريس الأرض للمسير الراديوي من أجل تطبيق طريقة التنبؤ بالانتشار. وهو يتألف مبدئياً من ثلاث مصفوفات لكل منها نفس عدد القيم n ، كما يلي:

(1a) d_i : المسافة من المرسل لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i (km)

(1b) h_i : ارتفاع فوق نقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i فوق مستوى البحر (m)

(1c) $h_i + g_i$: ارتفاع الجلبة التمثيلي لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i (m)

حيث:

i : (1, 2, 3 ... n) = دليل نقطة المظهر الجانبي

n : عدد نقاط المظهر الجانبي.

يتعين وجود نقطة مظهر جانبي وسيطة واحدة على الأقل بين المرسل والمستقبل. وبالتالي يجب أن تحقق $n \geq 3$ الشرط n . وهذا العدد القليل من النقاط لا يناسب إلا المسيرات القصيرة الأقصر من 1 km.

لاحظ أن نقطة المظهر الجانبي الأولى تكون عند المرسل. إذاً، d_1 تساوي صفرًا و h_1 هو ارتفاع الأرض عند المرسل بالأمتار فوق مستوى البحر. وبالمثل تكون نقطة المظهر الجانبي n عند المستقبل. وعلى ذلك تكون d_n هي طول المسير بالكيلومتر و h_n هو ارتفاع الأرض عند المستقبل فوق مستوى سطح البحر بالأمتار.

لا تعطى أي مسافة محددة بين نقاط المظهر الجانبي. وبافتراض أن المظاهر الجانبية تُستخرج من نموذج ارتفاع التضاريس الرقمي، فإن التباعد المناسب سيتشابه نمطياً مع تباعد النقاط في بيانات المصدر. وليس مطلوباً تساوي تباعد نقاط المظهر الجانبي، ولكن من المستحسن أن تماثل هذه النقاط في تباعدها المظهر الجانبي كله.

ويستحسن توفر معلومات عن الغطاء الأرضي (الجلبة) على طول المسير. ومن الملائم تخزين فئات الجلبة في صيف إضافي من النقاط n لمطابقة بيانات ارتفاع المظهر الجانبي.

ويتعلق "ارتفاع الجلبة التمثيلي R " المشار إليه في المعادلة (1c) بمعلومات الارتفاع الإحصائية المرتبطة بتصنيف الغطاء الأرضي كالنباتات والمباني أي قيمة ارتفاع وحيدة مخصصة لكل غطاء أرضي/صنف الجلبة. وإضافة ارتفاعات الجلبة التمثيلية إلى المظهر الجانبي تستند إلى افتراض أن الارتفاعات h_i تمثل سطح الأرض الأجرد. وإذا كان المسير الراديوي يمر فوق مناطق حراجية أو حضرية حيث يحدث انعراج أو انسداد في مسيرات فرعية، يزداد الارتفاع الفعلي للمظهر الجانبي لأن الإشارات الراديوية ستعبر فوق الجلبة. وبالتالي يمكن الحصول على تمثيل أنسب للمظهر الجانبي عن طريق إضافة ارتفاعات لاحتساب الجلبة.

ولا تكون الإضافة المناسبة مادية بالضرورة، مثل ارتفاعات الأسطح في حالة المباني. وحيث توجد فجوات بين كائنات الجلبة، كما تراها موجة راديوية، يمكن لبعض الطاقة أن تعبر من خلالها بدلاً من فوقها. وفي هذه الحالة يُتوقع للجلبة أن تزيد من الخسارة جراء الانعراج، ولكن ليس بنسبة تصل إلى رفع المظهر الجانبي إلى ارتفاع الجلبة الفيزيائية.

وهذا ينطبق بشكل خاص على المناطق الحضرية ذات المباني الشاهقة. وتميل فئات المناطق مثل "الحضرية الكثيفة" أو "المناطق الحضرية ذات المباني الشاهقة" لأن تكون مرتبطة بارتفاعات مباني بواقع 30 متراً أو أكثر. ولكن تتخلل بعض مناطق المباني الشاهقة فسخ واسعة فيما بينها، ويمكن أن تتسع لمسيرات منخفضة الخسارة تمر خلالها بدلاً من فوق الأسطح.

وعلى الطرف الآخر، حتى في المناطق التي تصنف على أنها "مفتوحة" أو "ريفية" فمن غير المألوف أن تكون الأرض جرداء تماماً، أي خالية من أي شيء يمكن أن يضيف إلى خسائر الانتشار. وبالتالي، فإن إسناد قيم صغيرة لارتفاع الجلبة التمثيلي R ، بدلاً من الصفر، قد يكون مناسباً في كثير من الحالات.

وبالتالي، فإن ارتفاع الجلبة التمثيلي R ، لا يتوقف فقط على الارتفاع المادي النمطي للأشياء المسببة للجلبة وإنما أيضاً على التباعد الأفقي لهذه الأشياء والفجوات بينها. وليس هناك معيار متعارف عليه بشأن ما تمثله فئة جلبة، "الحضرية" مثلاً، من الناحية المادية في مختلف البلدان. وينبغي استعمال معلومات ارتفاع الجلبة التمثيلية استناداً إلى إحصائيات ارتفاع الجلبة المحلية أو مصادر أخرى، متى توفرت، ويقترح الجدول 2 قيمة افتراضية لارتفاع الجلبة التمثيلي R ، يمكن استخدامها في حالة عدم وجود معلومات محددة بشأن المنطقة/البلد.

وهناك استفادة منفصلة من المعلومات لتقدير خسائر جلبة مطراف، على النحو الموضح في الفقرة 7.4. فيُحتفظ بمفهوم ارتفاع الجلبة التمثيلي R ، ولكن يؤوّل بشكل مختلف. وهذا اعترافاً بزيادة توافر معلومات ارتفاع الجلبة التمثيلية ثلاثية الأبعاد باستبانة عالية، كارتفاعات المباني الدقيقة والنباتات. وينبغي استعمال ارتفاعات الجلبة التمثيلية استناداً إلى معلومات ارتفاع الجلبة في الفقرة 7.4 متى توفرت.

الجدول 2

المعلومات الافتراضية لنمذجة الخسارة الناجمة عن الجلبة

نموذج خسارة الجلبة للمطراف	الارتفاع التمثيلي للجلبة (m)		نمط الجلبة
	خسائر جلبة المطراف الفقرة 7.4 وأضف إلى معادلة المظهر الجانبي (1c) بالنسبة إلى $i = 1$ إلى n	أضف إلى معادلة المظهر الجانبي (1c) بالنسبة إلى $i = 2$ إلى $1-n$	
المعادلة (64b)	10	0	مياه/بحر
المعادلة (64b)	10	0	منطقة ريفية/مفتوحة
المعادلة (64a)	10	10	ضواحي
المعادلة (64a)	15	15	حضرية/أشجار/غابة
المعادلة (64a)	20	20	حضرية كثيفة

يتطلب الأسلوب الموصوف أعلاه الذي يقوم على إضافة ارتفاعات الجلبة التمثيلية إلى أرض جرداء أو مظهر جانبي للتضاريس، بيانات منفصلة بشأن ارتفاع التضاريس ووجود الجلبة. ولا يناسب هذا الأسلوب الاستعمال المباشر لبيانات الارتفاع عن السطح المستشعرة عن بُعد، حيث تشمل الارتفاعات الجلبة بدون تمييز واضح بين التضاريس والجلبة. ومن المهم ملاحظة أن خسارة الانعراج قد يُبالغ في تقديرها إلى حد كبير في حال استخراج المظاهر الجانبية للتضاريس من السطح مباشرة بدلاً من الأرض الجرداء وبيانات الارتفاع.

3.3 المناطق المناخية الراديوية

يرد في الجدول 3 وصف لمعلومات لازمة بشأن ماهية أطوال المسيرات في المناطق المناخية الراديوية.

لتحقيق الاتساق الأقصى في النتائج بين الإدارات، ينبغي لحسابات هذا الإجراء أن تستند إلى الخارطة العالمية الرقمية للاتحاد الدولي للاتصالات (IDWM) المتيسرة من مكتب الاتصالات الراديوية (BR). فإذا كانت جميع النقاط على المسير على مسافة لا تقل عن 50 km من البحر أو المساحات الأخرى الكبيرة من الماء، لا تُطبق إلا فئة المنطقة الداخلية البرية.

وإذا ما حُزنت معلومات المنطقة في نقاط متتالية على طول المسير الراديوي، ينبغي افتراض أن التغيرات تحدث في منتصف المسافة بين نقاط ذات شفرات منطقة مختلفة.

الجدول 3

المناطق المناخية الراديوية

التعريف	الشفرة	نمط المنطقة
الأراضي الساحلية أو المناطق الشاطئية، أي الأراضي المجاورة للبحر حتى ارتفاع 100 m بالنسبة إلى متوسط مستوى البحر أو الماء، لكنها محددة بمسافة 50 km من أقرب منطقة بحرية، ويمكن استعمال قيمة تقريبية إذا لم تتوفر بيانات دقيقة تتعلق بالارتفاع البالغ 100 m	A1	ساحلية
كل الأراضي غير المناطق الساحلية والشواطئ المعرفة "بالأراضي الساحلية" أعلاه	A2	داخلية برية
البحار والمحيطات والمساحات الأخرى الكبيرة من الماء (أي التي تغطي دائرة قطرها 100 km، على الأقل).	B	بحرية

4.3 مسافات المطراف من الساحل

أما إذا كان المسير عابراً للمنطقة B، فتلزم معلمتان إضافيتان (d_{cr} , d_{cr})، تعطيان مسافة المرسل والمستقبل من الساحل (km)، على التوالي، باتجاه المطراف الآخر. وتكون هذه المسافة صفرًا إذا كان المطراف على ظهر سفينة أو منصة بحرية.

5.3 معلمات الأرصاد الجوية الراديوية الأساسية

يتطلب إجراء التنبؤ معلمتين من الأرصاد الجوية الراديوية لوصف قابلية التغير في الانكسارية الجوية.

- ΔN (وحدات -km/N)، هو متوسط معدل التفاوت لدليل الانكسار الراديوي في الكيلومتر الأدنى من الجو الذي يوفر البيانات التي يمكن استناداً إليها حساب نصف قطر الأرض الفعال المناسب لتحليل المظهر الجانبي للمسار والانعراج بالعوائق. ويلاحظ أن ΔN في هذا الإجراء تكون كمية موجبة.
- N_0 (وحدات -N)، هي الانكسارية على مستوى سطح البحر وتستعمل فقط في نموذج الانتشار التروبوسفيري كمقياس للتغير في آليات الانتشار التروبوسفيري.

إذا لم تتوفر قياسات محلية، يمكن الحصول على هذه المقادير من الخرائط الموجودة في النواتج الرقمية التكميلية المقدمة مع هذه التوصية. وترد الخرائط في الملفين DN50.txt و N050.txt، على التوالي. وترد البيانات من 0° إلى 360° في خط الطول ومن +90° إلى -90° في خط العرض، باستثناء 1,5° في الخططين. وتستعمل البيانات بالاقتران مع ملفي البيانات المصاحبة LAT و LON، اللذين يتضمنان خطوط العرض وخطوط الطول، على التوالي، للنقاط المناظرة (النقاط الشبكية) في الملفين DN50.txt و N050.txt. وبالنسبة إلى أي موقع يختلف عن النقاط الشبكية، يمكن اشتقاق المعلمة عند الموقع المطلوب بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية على القيم عند أقرب أربع نقاط شبكية، كما هو موضح في التوصية ITU-R P.1144.

الجدول 4

نواتج رقمية تكميلية

اسم الملف	المنشأ	خط العرض			خط الطول	
		من (بالدرجات)	إلى (بالدرجات)	المباعدة (بالدرجات)	إلى (بالدرجات)	المباعدة (بالدرجات)
DN50.txt	P.453	90	-90	1,5	0	360
N050.txt	P.453	90	-90	1,5	0	360
LAT.txt	P.453	90	-90	1,5	0	360
LON.txt	P.453	90	-90	1,5	0	360

اشتقت هذه الخرائط الرقمية من تحليل لمجموعة بيانات عالمية لمجموعات سابقة من المسبارات الراديوية لمدة عشر سنوات (1983-1992).

ترد هذه الخرائط الرقمية في الملف المضغوط [Rec-P.1812-4 Supplement.zip](#).

6.3 حالة الانتشار التروبوسفيري الموجه

يتم التحديد الكمي للدرجة التي تتعزز إليها مستويات الإشارة بفعل الانتشار غير المنتظم، لا سيما الانتشار التروبوسفيري الموجه، بالمعلمة β_0 (%). وهي النسبة المئوية من الوقت التي يتوقع في أثناءها وفي المائة متر الأولى من الطبقة المنخفضة من الجو، أن تتجاوز معدلات التفاوت لدليل الانكسار $N - 100$ وحدات/km. وتُحسب قيمة β_0 كما يلي.

احسب المعلمة μ_1 ، التي تعتمد على الدرجة التي يعبر فيها المسير الأرض (في الداخل/أو على الساحل) والمياه:

$$(2) \quad \mu_1 = \left(10^{\frac{-d_{im}}{16-6,6\tau}} + 10^{-5(0,496+0,354\tau)} \right)^{0,2}$$

حيث يحد قيمة μ_1 المتباينة ($\mu_1 \leq 1$)،

و

$$(3) \quad \tau = 1 - \exp(-0,000412 d_{im}^{2,41})$$

d_{im} : أطول جزء بري مستمر (في الداخل وعلى الساحل) من مسير الدائرة العظمى (km)

d_{im} : أطول جزء بري مستمر داخل الأراضي من مسير الدائرة العظمى (km).

ويعرّف الجدول 3 المناطق المناخية الراديوية التي يجب استعمالها للحصول على d_{im} و d_{im} . فإن كانت جميع النقاط على المسير على مسافة لا تقل عن 50 km من البحر أو المساحات الأخرى الكبيرة من الماء، لا تُطبق إلا فئة المنطقة الداخلية البرية وبالتالي فإن d_{im} و d_{im} يساويان طول المسير، d .

احسب المعلمة μ_4 ، التي تعتمد على μ_1 وخط العرض لمركز المسير بالدرجات:

$$(4) \quad \begin{aligned} \mu_4 &= \mu_1^{(-0,935+0,0176|\varphi|)} & \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ \mu_4 &= \mu_1^{0,3} & \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{aligned}$$

حيث:

φ : خط عرض منتصف المسير (درجات).

احسب β_0 :

$$(5) \quad \beta_0 = \begin{cases} 10^{-0,015|\varphi|+1,67} \mu_1 \mu_4 & \% & \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 4.17 \mu_1 \mu_4 & \% & \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{cases}$$

7.3 نصف قطر الأرض الفعّال

يحدد عامل نصف قطر الأرض الفعّال المتوسط k_{50} للمسير بواسطة المعادلة التالية:

$$(6) \quad k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$$

يمكن الحصول على قيمة متوسط معدل التفاوت لقابلية في الانكسارية الراديوية، ΔN ، من الخريطة الرقمية التكميلية DN50.txt باستعمال خطي العرض والطول لمركز المسير كممثل للمسير برمته.

ويمكن أن تحدد القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعّال a_e بواسطة المعادلة التالية:

$$(7a) \quad a_e = 6371 k_{50} \quad \text{km}$$

بينما يُحدد نصف قطر الأرض الفعّال الذي يتم تجاوزه لمدة β_0 ، a_β ، بواسطة المعادلة التالية:

$$(7b) \quad a_\beta = 6371 k_\beta \quad \text{km}$$

حيث $k_{\beta} = 3,0$ هي قيمة تقديرية لعامل نصف قطر الأرض الفعّال الذي يتم تجاوزه لمدة β_0 .

ويحدد نصف قطر فعلي عام للأرض حيث $a_e = a_p$ لمدة 50% من الوقت و $a_{\beta} = a_p$ لمدة β_0 % من الوقت.

8.3 المعلمات التي يتم الحصول عليها من تحليل المظهر الجانبي للمسير

يجب الحصول على القيم الخاصة بعدد من المعلمات المتعلقة بالمسير والضرورية لإجراء الحسابات والواردة في الجدول 5 بواسطة تحليل أولي للمظهر الجانبي للمسير مبني على قيمة a_e التي يتم الحصول عليها من المعادلة (7a). ويقدم المرفق 1 من هذا الملحق معلومات حول اشتقاق المظهر الجانبي للمسير وبنائه وتحليله.

4 إجراء التنبؤ

1.4 نظرة عامة

تناول هذه الفقرة بالوصف إجراء التنبؤ بكامله. أولاً، تُقيّم خسارة الإرسال الأساسية، L_b (dB)، التي لا يتم تجاؤها أثناء النسبة المتوقعة السنوية من الوقت المطلوب، p %، وفي 50% من المواقع حسب الوصف في الفقرات 2.4-6.4 (أي خسائر الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتشار في خط البصر (LOS) والانتشار بالانعراج والانتشار بالتروبوسفيري والانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات وتجميع لآليات الانتشار هذه للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية، على التوالي). أما في الفقرات 7.4-10.4، فيرد وصف لطرائق لتضمين تأثيرات جلبة المطراف، وتأثيرات التغيير في الموقع وخسارة الدخول إلى المباني. وفي النهاية تقدم الفقرة 11.4 صيغاً تعزو خسارة الإرسال الأساسية إلى شدة المجال (dB μ V/m) بالنسبة إلى 1 kW من القدرة المشعة الفعّالة.

الجدول 5

قيم معلمات مستخلصة من تحليل المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_{lt}, d_{lr}	المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال والأفق المقابل لهما (km)
θ_t, θ_r	زاويتا ارتفاع الأفق عند الإرسال والاستقبال (mrad)
θ	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
h_{ts}, h_{rs}	ارتفاع مركز الهوائي فوق المستوى المتوسط للبحر (m)
h_{tc}, h_{rc}	الحد الأقصى لقيم (h_{ts}, g_t) و (h_{rs}, g_r) على التوالي
h_{te}, h_{re}	الارتفاع الفعّال للهوائي فوق الأرض (m)
d_b	الطول الإجمالي لأجزاء المسير فوق الماء (km)
ω	جزء المسير الكلي فوق الماء: $\omega = d_b / d$
	حيث d هي مسافة الدائرة العظمى (km) المحسوبة باستخدام المعادلة (73). بالنسبة للمسيرات البرية بكاملها: $\omega = 0$.

2.4 الانتشار في خط البصر (بما في ذلك التأثيرات قصيرة الأجل)

ينبغي تقييم كل ما يلي بالنسبة إلى مسيرات خط البصر والمسيرات عبر الأفق. تُحدد خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتشار في الفضاء الحر بالمعادلة:

$$(8) \quad L_{bfs} = 92.45 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{dB}$$

وتعطي تصحيحات تأثيرات المسيرات المتعددة والتركيز في النسبتين المئويتين للوقت p و β_0 ، على التوالي، بالمعادلتين:

$$(9a) \quad E_{sp} = 2.6 \left[1 - \exp\left(-\frac{d_{lt} + d_{lr}}{10}\right) \right] \log\left(\frac{p}{50}\right) \quad \text{dB}$$

$$(9b) \quad E_{s\beta} = 2.6 \left[1 - \exp\left(-\frac{d_{lt} + d_{lr}}{10}\right) \right] \log\left(\frac{\beta_0}{50}\right) \quad \text{dB}$$

احسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت والتي تعود إلى الانتشار في خط البصر (بصرف النظر عما إذا كان المسير في خط البصر فعلياً أم لا)، والتي تعطى بالمعادلة التالية:

$$(10) \quad L_{b0p} = L_{bfs} + E_{sp} \quad \text{dB}$$

واحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية β_0 من الوقت والتي تعود إلى الانتشار في خط البصر (بصرف النظر عما إذا كان المسير في خط البصر فعلياً أم لا)، والتي تعطى بالمعادلة التالية:

$$(11) \quad L_{b0\beta} = L_{bfs} + E_{s\beta} \quad \text{dB}$$

3.4 الانتشار بالانعراج

تُحسب خسارة الانعراج عن طريق الجمع بين طريقة تعتمد على بناء بولينغتون (Bullington) وانعراج الأرض الكروية. وجزء بولينغتون من هذه الطريقة هو توسيع لبناء بولينغتون الأساسي للسيطرة على الانتقال بين ظروف الفضاء الحر والظروف التي تتخللها العوائق. ويستخدم هذا الجزء من الطريقة مرتين: للمظهر الجانبي الفعلي للمسير، وللمظهر الجانبي الأملس عديم الارتفاعات ذي ارتفاعات الهوائي المعدلة التي يشار إليها بارتفاعات الهوائي الفعالة. وتستخدم أيضاً ارتفاعات الهوائي الفعالة نفسها لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية. ويتم الحصول على النتيجة النهائية بجمع ثلاث خسائر تحسب على النحو الوارد أعلاه. وفي المسير الأملس تماماً، تكون خسارة الانعراج النهائية هي خرج نموذج الأرض الكروية.

وتقدم هذه الطريقة تقديراً لخسارة الانعراج لجميع أنماط المسيرات سواء كانت عبر البحر أم البر أم عبر الأراضي الساحلية وسواء كان المسير أملساً أم وعراً وسواء كان على خط البصر أم عابراً للأفق.

تُستعمل طريقة الانعراج هذه عادةً لمتوسط نصف قطر الأرض الفعّال. وعند الحاجة إلى تنبؤ إجمالي بالنسبة إلى ($p = 50\%$)، تنتفي الحاجة إلى حساب آخر للانعراج.

وفي الحالة العامة عندما يكون ($p < 50\%$)، يجب إجراء حساب الانعراج كرتة ثانية لعامل نصف قطر الأرض الفعّال المساوي 3. ويوفر هذا الحساب الثاني تقديراً لخسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية β_0 من الوقت، حيث يتم الحصول على β_0 بالمعادلة (5).

وبعد ذلك، تُحسب خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت، بالنسبة إلى ($1\% \leq p \leq 50\%$)، باستعمال عملية التحديد أو الاستكمال الداخلي الموضحة في الفقرة 5.3.4.

وتلجأ الطريقة أعلاه لعملية تقريب لخسارة انعراج حد سكين واحدة كدالة لمعلمة دون أبعاد، v ، وتُعطى كما يلي:

$$(12) \quad J(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right)$$

يلاحظ أن $J(-0,78) \approx 0$ ، وهذا يُعرّف الحد الأقل الذي ينبغي استعمال هذا التقريب عنده. هذا وتُضبط $J(v)$ بقيمة الصفر لكل $(v \leq -0,78)$.

ويوضّح حساب الانعراج الكلي في الفقرات الفرعية على النحو التالي:

تصف الفقرة 1.3.4 جزء بولينغتن من طريقة الانعراج. وهو يُستخدم مرتين لكل حساب انعراج من أجل قيمة فعّالة معينة لنصف قُطر الأرض. وفي المرة الثانية يتم تعديل ارتفاعات الهوائي وتصنّف جميع ارتفاعات المظهر الجانبي.

وتصف الفقرة 2.3.4 جزء الأرض الكروية من نموذج الانعراج. وهو يُستخدم مع ارتفاعات الهوائي نفسها المستخدمة في المرة الثانية من جزء بولينغتن في الفقرة 1.3.4.

وتصف الفقرة 3.3.4 كيف تستخدم الطريقتين المذكورتين في الفقرتين 1.3.4 و 2.3.4 معاً لإجراء العملية الحسابية الكاملة للانعراج من أجل قيمة فعّالة معينة لنصف قُطر الأرض. ونظراً للطريقة التي يُستخدم فيها جزءا بولينغتن والأرض الكروية، بات الحساب الكامل يُعرف بنموذج "دلنا بولينغتن".

وتصف الفقرة 4.3.4 الحساب الكامل لخسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $p\%$ من الوقت.

1.3.4 جزء بولينغتن من حساب الانعراج

في المعادلات التالية، تحسب المنحدرات بوحدة m/km نسبة إلى خط الأساس الواصل لمستوى سطح البحر عند المرسل بمستوى سطح البحر عند المستقبل. وتكون المسافة والارتفاع للنقطة ذات الترتيب i في المظهر الجانبي d_i و g_i m فوق مستوى سطح البحر على التوالي، ويتخذ المتحول i قيماً تتراوح بين 1 و n حيث n هو عدد نقاط المظهر الجانبي والطول الكامل للمسير هو d km . وتسهيلاً للعمل، يشار إلى المطرافين في بداية ونهاية المظهر الجانبي كمرسل ومستقبل بارتفاعين بالأمتار فوق مستوى سطح البحر h_{rs} و h_{ts} على التوالي. ويعطي انحناء الأرض الفعّال، $(C_e km^{-1})$ ، بالكسر $1/a_p$ حيث a_p هو نصف قُطر الأرض الفعّال بالكيلومترات. ويمثل طول الموجة بالأمتار بالرمز λ . ترد القيم التي يتعين استخدامها لحساب a_p في الفقرة 5.3.4.

يُيجاد النقطة الوسيطة في المظهر الجانبي ذات أعلى ميل للخط من المرسل إلى النقطة.

$$(13) \quad S_{tim} = \max \left[\frac{g_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - h_{tc}}{d_i} \right] \quad m/km$$

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيماً تتراوح بين 2 و $n-1$.

ويُحسب ميل الخط من المرسل إلى المستقبل بافتراض مسير على خط البصر:

$$(14) \quad S_{ir} = \frac{h_{rc} - h_{tc}}{d} \quad m/km$$

ويجب الآن أن تؤخذ حالتان بعين الاعتبار.

الحالة 1: مسير الانعراج على خط البصر

في حال $(S_{tim} < S_{ir})$ ، يكون مسير الانعراج على خط البصر.

إيجاد النقطة الوسيطة في المظهر الجانبي ذات أعلى معلمة انعراج v :

$$(15) \quad v_{\max} = \max \left\{ \left[g_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{tc} (d - d_i) + h_{rc} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002 d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمة تتراوح بين 2 و $n-1$.

وفي هذه الحالة، تعطى خسارة حد السكن لنقطة بولينغتن كما يلي:

$$(16) \quad L_{uc} = J(v_{\max}) \quad \text{dB}$$

حيث تعطى الدالة J بالمعادلة (12) من أجل v_b أكبر من -0,78، وتكون صفرًا خلاف ذلك.

الحالة 2: المسير عبر الأفق

في حال ($S_{tim} \geq S_{tr}$)، يكون المسير عبر الأفق.

إيجاد النقطة الوسيطة في المظهر الجانبي ذات أعلى ميل للخط من المستقبل إلى النقطة.

$$(17) \quad S_{rim} = \max \left[\frac{g_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - h_{rc}}{d - d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمة تتراوح بين 2 و $n-1$.

تُحسب مسافة نقطة بولينغتن من المرسل:

$$(18) \quad d_{bp} = \frac{h_{rc} - h_{tc} + S_{rim} d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad \text{km}$$

وتُحسب معلمة الانعراج، v_b ، لنقطة بولينغتن:

$$(19) \quad v_b = \left[h_{tc} + S_{tim} d_{bp} - \frac{h_{tc} (d - d_{bp}) + h_{rc} d_{bp}}{d} \right] \sqrt{\frac{0,002 d}{\lambda d_{bp} (d - d_{bp})}}$$

وفي هذه الحالة، تعطى خسارة حد السكن لنقطة بولينغتن كما يلي:

$$(20) \quad L_{uc} = J(v_b) \quad \text{dB}$$

ومن أجل الخسارة L_{uc} المحسوبة باستخدام إحدى المعادلتين (16) أو (20)، تعطى خسارة انعراج بولينغتن في المسير كما يلي:

$$(21) \quad L_{bull} = L_{uc} + \left[1 - \exp\left(\frac{-L_{uc}}{6}\right) \right] (10 + 0,02 d) \quad \text{dB.}$$

2.3.4 خسارة الانعراج في الأرض الكروية

تُحسب خسارة الانعراج، L_{dsph} ، في الأرض الكروية غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $p\%$ من الوقت لارتفاعي الهوائي h_{tesph} و h_{resph} (m)، على النحو التالي.

تُحسب المسافة الهامشية على خط البصر لمسير أملس:

$$(22) \quad d_{los} = \sqrt{2a_p} \left(\sqrt{0,001 h_{tesph}} + \sqrt{0,001 h_{resph}} \right) \quad \text{km}$$

في حال ($d \geq d_{los}$)، تُحسب خسارة الانعراج باستخدام الطريقة المذكورة في الفقرة 3.3.4 من أجل ($a_{dft} = a_p$) للحصول على L_{dft} وتساوى الخسارتان L_{dft} و L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية.

وبخلاف ذلك، يُستمر على النحو التالي:

يُحسب أصغر خلوص ارتفاع بين المسير المنحني على الأرض والشعاع بين الهوائيين، h_{se} ، المعطى بما يلي:

$$(23) \quad h_{se} = \frac{\left(h_{tesph} - 500 \frac{d_{se1}^2}{a_p} \right) d_{se2} + \left(h_{resph} - 500 \frac{d_{se2}^2}{a_p} \right) d_{se1}}{d} \quad \text{m}$$

حيث:

$$(24a) \quad d_{se1} = \frac{d}{2} (1 + b) \quad \text{km}$$

$$(24b) \quad d_{se2} = d - d_{se1} \quad \text{km}$$

$$(24c) \quad b = 2 \sqrt{\frac{m_c + 1}{3m_c}} \cos \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m_c}{(m_c + 1)^3}} \right) \right\}$$

حيث تنتج دالة قوس جيب التمام زاوية بالراديان

$$(24d) \quad c = \frac{h_{tesph} - h_{resph}}{h_{tesph} + h_{resph}}$$

$$(24e) \quad m_c = \frac{250d^2}{a_p (h_{tesph} + h_{resph})}$$

يُحسب الخلوص المطلوب عند انعدام خسارة الانعراج، h_{req} ، ويعطى بما يلي:

$$(25) \quad h_{req} = 17.456 \sqrt{\frac{d_{se1} d_{se2} \lambda}{d}} \quad \text{m}$$

في حال ($h_{se} > h_{req}$) تنعدم خسارة الانعراج في الأرض الكروية L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية.

وبخلاف ذلك، يُستمر على النحو التالي:

يُحسب نصف قطر الأرض الفعّال المعدل، a_{em} ، مما يعطي خط بصر هامشي على مسافة d تعطى بما يلي:

$$(26) \quad a_{em} = 500 \left(\frac{d}{\sqrt{h_{tesph}} + \sqrt{h_{resph}}} \right)^2 \quad \text{km}$$

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 3.3.4 من أجل ($a_{dft} = a_{em}$) للحصول على الخسارة L_{dft} .

فإذا كانت الخسارة L_{dft} سالبة، تنعدم خسارة الانعراج في الأرض الكروية L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية.

وبخلاف ذلك، يُستمر على النحو التالي:

تُحسب خسارة الانعراج في الأرض الكروية بالاستكمال الداخلي:

$$(27) \quad L_{dsph} = \left[1 - \frac{h_{se}}{h_{req}} \right] L_{dft} \quad \text{dB}$$

3.3.4 جزء الحد الأول من خسارة الانعراج في الأرض الكروية

تعطي هذه الفقرة الفرعية طريقة لحساب الانعراج في الأرض الكروية باستخدام الحد الأول فقط من السلاسل المتبقية. وهي تشكل جزءاً من طريقة الانعراج الكلي الموضحة في الفقرة 2.3.4 أعلاه لتعطي الحد الأول من خسارة الانعراج L_{dft} ، من أجل قيمة معينة لنصف قطر الأرض الفعال a_{dft} . وترد قيمة a_{dft} التي يتعين استخدامها في الفقرة 2.3.4.

وتحدد الخصائص الكهربائية للتضاريس النمطية على البر بالسماحية النسبية $\epsilon_r = 22,0$ والإيصالية النوعية $\sigma = 0,003 \text{ S/m}$ وتُحسب الخسارة L_{dft} باستخدام المعادلات (29) حتى (36) وتدعى النتيجة $L_{dftland}$.

وتحدد الخصائص الكهربائية للتضاريس النمطية في البحر بالسماحية النسبية $\epsilon_r = 80,0$ والإيصالية النوعية $\sigma = 5,0 \text{ S/m}$ وتُحسب الخسارة L_{dft} باستخدام المعادلات (29) حتى (36) وتدعى النتيجة L_{dftsea} .

ويعطى الآن الحد الأول لخسارة الانعراج في الأرض الكروية بما يلي:

$$(28) \quad L_{dft} = \omega L_{dftsea} + (1 - \omega) L_{dftland} \quad \text{dB}$$

حيث ω هو شطر المسير فوق البحر.

بدء الحساب الذي يتعين القيام به مرتين، على النحو الموضح أعلاه:

العامل المقيس لسماحية السطح في الاستقطاب الأفقي والرأسي:

$$(29a) \quad K_H = 0,036 (a_{dft} f)^{-1/3} \left[(\epsilon_r - 1)^2 + \left(\frac{18\sigma}{f} \right)^2 \right]^{-1/4} \quad (\text{أفقي})$$

$$(29b) \quad K_V = K_H \left[\epsilon_r^2 + \left(\frac{18\sigma}{f} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{رأسي})$$

إذا تضمن متجه الاستقبال المكونتين الأفقية والرأسية، كأن يكون دائرياً أو مائلاً مثلاً، يفكك إلى مكونتين أفقية ورأسية، وتُحسب كل منهما على حدة وتجمع النتيجة بجمع متجهي لاتساع المجال. ولن تكون عملية التفكيك هذه ضرورية في الحالة العملية لأنه يمكن فوق 300 MHz استعمال قيمة قدرها 1 من أجل B_{dft} في المعادلة (30).

وتُحسب معلمة الاستقطاب الأرضية:

$$(30) \quad \beta_{dft} = \frac{1 + 1.6K^2 + 0.67K^4}{1 + 4.5K^2 + 1.53K^4}$$

حيث K هو K_H أو K_V وفقاً للاستقطاب.
المسافة المقيّسة:

$$(31) \quad X = 21.88 \beta_{dft} \left(\frac{f}{a_{dft}} \right)^{1/3} d$$

والارتفاعان المقيّسان للمرسل والمستقبل:

$$(32a) \quad Y_t = 0.9575 \beta_{dft} \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{tesph}$$

$$(32b) \quad Y_r = 0.9575 \beta_{dft} \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{resph}$$

ويُحسب حد المسافة كما يلي:

$$(33) \quad F_X = \begin{cases} 11 + 10 \log(X) - 17.6X & \text{for } X \geq 1.6 \\ -20 \log(X) - 5.6488 X^{1.425} & \text{for } X < 1.6 \end{cases}$$

وتحدّد دالة الارتفاع المقيّس بما يلي:

$$(34) \quad G(Y) = \begin{cases} 17.6(B - 1.1)^{0.5} - 5 \log(B - 1.1) - 8 & \text{for } B > 2 \\ 20 \log(B + 0.1B^3) & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث:

$$(35) \quad B = \beta_{dft} Y$$

وتُحدّد الدالة $G(Y)$ بحيث أن $G(Y) \geq 2 + 20 \log K$.

ويعطى الآن الحد الأول لخسارة الانعراج في الأرض الكروية بما يلي:

$$(36) \quad L_{dft} = -F_X - G(Y_t) - G(Y_r) \quad \text{dB}$$

4.3.4 نموذج "دلّتا بولينغتن" لخسارة الانعراج الكاملة

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.3.4 للمظهر الجانبي الفعلي للتضاريس وارتفاعات الهوائي. وتحدّد خسارة انعراج بولينغتن الناتجة في المسير الفعلي بالمساواة $L_{bull} = L_{bulla}$ على النحو المعطى في المعادلة (21).

ويقدم المرفق 4 طريقة بديلة لحساب قيمة L_{bulls} دون استخدام طريقة تحليل المظهر الجانبي للتضاريس.

وتُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.3.4 لمرة ثانية، مع تصفير جميع ارتفاعات المظهر الجانبي، g_i ، وتعديل ارتفاعات الهوائي، كما يلي:

$$(37a) \quad h'_{tc} = h_{tc} - h_{std} \quad \text{m}$$

$$(37b) \quad h'_{rc} = h_{rc} - h_{srd} \quad \text{m}$$

حيث يعطى ارتفاعا الأرض الملساء عند المرسل والمستقبل h_{std} و h_{srd} في الفقرة 2.6.5 من المرفق 1. وتحدد خسارة الانعراج بطريقة بولينغتن لهذا المسير الأملس، $L_{bull} = L_{bulls}$ ، على النحو المعطى بالمعادلة (21).
وتستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 2.3.4 لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية، L_{dsph} ، من أجل طول المسير الفعلي d km ومع ما يلي:

$$(38a) \quad h'_{tesph} = h'_{tc} \quad \text{m}$$

$$(38b) \quad h'_{resph} = h'_{rc} \quad \text{m}$$

وتعطى الآن خسارة الانعراج في مسير عام بما يلي:

$$(39) \quad L_d = L_{bulla} + \max\{L_{dsph} - L_{bulls}, 0\} \quad \text{dB}$$

5.3.4 خسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال النسبة المئوية $p\%$ من الوقت

تستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 4.3.4 لحساب خسارة الانعراج L_d في متوسط نصف قطر الأرض الفعّال، $a_p = a_e$ ، كما يعطى بالمعادلة (7a). ويحدد متوسط خسارة الانعراج بالمساواة $L_d = L_{d50}$.

وفي حال $p = 50\%$ ، تعطى خسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $p\%$ من الوقت، L_{dp} ، بالخسارة L_{d50} ،

وفي حال ($p < 50\%$)، فإن خسارة الانعراج غير المتجاوزة خلال النسبة $p\%$ من الوقت، L_{dp} ، تحسب على النحو التالي.

تستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 4.3.4 لحساب خسارة الانعراج، L_d غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $\beta_0\%$ من الوقت a_β ، من أجل نصف قطر الأرض الفعّال، كما تعطى بالمعادلة (7b). وتحدد خسارة الانعراج خلال نسبة مئوية معينة $\beta_0\%$ من الوقت بالمساواة $L_d = L_{d\beta}$. ويتحكم في تطبيق القيمتين المحتملتين لعامل نصف قطر الأرض الفعّال عامل استكمال داخلي F_i يستند إلى توزيع لوغاريتمي عادي لخسارة الانعراج على مدى ($50\% > p \geq \beta_0\%$)، ويتم الحصول عليه بالمعادلات:

$$(40a) \quad F_i = \frac{I\left(\frac{p}{100}\right)}{I\left(\frac{\beta_0}{100}\right)} \quad \text{if } 50\% > p > \beta_0\%$$

$$(40b) \quad = 1 \quad \text{if } \beta_0\% \geq p$$

حيث $I(x)$ هو مقلوب التوزيع الطبيعي التراكمي التكميلي بدلالة الاحتمال x . ويرد في المرفق 2 بهذا الملحق في بقية التوصية تقريب لدالة $I(x)$ يمكن استعماله بهامش ثقة عندما تكون ($x \leq 0,5$).

أما خسارة الانعراج، L_{dp} ، التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت فهي تُعطى هنا بالمعادلة:

$$(41) \quad L_{dp} = L_{d50} + (L_{d\beta} - L_{d50}) F_i \quad \text{dB}$$

ويُحدد العامل F_i بالمعادلات (40a-b)، تبعاً لقيم p و β_0 .

ويتم الحصول على متوسط خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج، L_{bd50} ، بالمعادلة:

$$(42) \quad L_{bd50} = L_{bfs} + L_{d50} \quad \text{dB}$$

حيث يتم الحصول على L_{bfs} بالمعادلة (8).

ويتم الحصول على خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج والتي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت بالمعادلة:

$$(43) \quad L_{bd} = L_{b0p} + L_{dp} \quad \text{dB}$$

حيث يتم الحصول على L_{b0p} بالمعادلة (10).

4.4 الانتشار بالتناثر التروبوسفيري

الملاحظة 1 - من الصعب، عند نسب مئوية أدنى بكثير من 50%، فصل أسلوب الانتشار التروبوسفيري الحقيقي عن ظواهر الانتشار الثانوية الأخرى التي تنتج تأثيرات انتشار مماثلة. ومن ثم يعتبر نموذج "الانتشار التروبوسفيري" الوارد في هذه التوصية تعميماً تجريبياً لمفهوم الانتشار التروبوسفيري الذي يشمل أيضاً تأثيرات الانتشار الثانوية هذه. ويسمح ذلك بإجراء تنبؤ مستمر متنسق لخسارة الإرسال الأساسية عبر نسب مئوية من الوقت p تتراوح بين 0,001% و 50%، ويؤدي ذلك إلى ربط نموذج الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات عند نسب مئوية صغيرة من الوقت مع "أسلوب الانتشار" الحقيقي المناسب للمجال المتبقي الضعيف الذي يتم تجاوزه أثناء أكبر نسبة مئوية من الوقت.

الملاحظة 2 - لقد تم اشتقاق هذا النموذج للتنبؤ بالانتشار التروبوسفيري لأغراض التنبؤ بالتداخل ولا يعتبر مناسباً لحساب شروط الانتشار خلال أكثر من 50% من الوقت والتي تؤثر في الجوانب الخاصة بالأداء في أنظمة المرشحات الراديوية عبر الأفق.

وتعطي المعادلة التالية خسارة الإرسال الأساسية العائدة إلى الانتشار التروبوسفيري L_{bs} معبراً عنها بوحدة (dB) والتي لا يتم تجاوزها أثناء أية نسبة مئوية من الوقت p أدنى من 50%:

$$(44) \quad L_{bs} = 190.1 + L_f + 20 \log d + 0.573 \theta - 0.15 N_0 - 10.125 \left[\log \left(\frac{50}{p} \right) \right]^{0.7} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_f : الخسارة حسب التردد:

$$(45) \quad L_f = 25 \log(f) - 2,5 \left[\log \left(\frac{f}{2} \right) \right]^2 \quad \text{dB}$$

N_0 : الانكسارية للسطح على مستوى البحر عند منتصف المسير

5.4 الانتشار الناتج عن الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات

يتم الحصول على خسارة الإرسال الأساسية L_{ba} (dB)، المصاحبة للانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت، بالمعادلة:

$$(46) \quad L_{ba} = A_f + A_d(p) \quad \text{dB}$$

حيث:

A_f : إجمالي خسائر الاقتران الثابتة (باستثناء الخسائر الناتجة عن العوائق المحلية) بين الهوائيات وبنية الانتشار غير المنتظم في الجو:

$$(47) \quad A_f = 102,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d_{lt} + d_{lr}) + A_{lf} + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB}$$

A_{lf} : تصحيح عملي لمراعاة زيادة التوهين بزيادة طول الموجة في الانتشار التروبوسفيري الموجه

$$(47a) \quad A_{lf}(f) = \begin{cases} 45,375 - 137,0f + 92,5f^2 & \text{dB for } f < 0,5\text{GHz} \\ 0 & \text{dB for } f \geq 0,5\text{GHz} \end{cases}$$

A_{sr}, A_{st} : خسارتا الانعراج العائد إلى تأثير حجب الموقع للمحطة المرسله والمحطة المستقبله، على التوالي:

$$(48) \quad A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log \left(1 + 0,361 \theta''_{t,r} \left(f d_{lt,lr} \right)^{1/2} \right) + 0,264 \theta''_{t,r} f^{1/3} \text{ dB} & \text{for } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB for } \theta''_{t,r} \leq 0 \text{ mrad} \end{cases}$$

حيث:

$$(48a) \quad \theta''_{t,r} = \theta_{t,r} - 0,1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad}$$

A_{cr}, A_{ct} : قيمتا تصحيح الاقتران بالانتشار التروبوسفيري الموجه على السطح فوق البحر للمحطة المرسله والمحطة المستقبله، على التوالي:

$$(49) \quad A_{ct, cr} = \begin{cases} -3 \exp \left(-0,25 d_{ct,cr}^2 \right) \left\{ 1 + \tanh \left[0,07 (50 - h_{ts,rs}) \right] \right\} & \text{dB for } \omega \geq 0,75 \\ -3 \exp \left(-0,25 d_{ct,cr}^2 \right) \left\{ 1 + \tanh \left[0,07 (50 - h_{ts,rs}) \right] \right\} & \text{dB for } \omega \geq 0,75 \\ & \text{dB for } d_{ct,cr} \leq d_{lt,lr} \\ & \text{dB for } d_{ct,cr} \leq 5 \text{ km} \\ 0 & \text{dB for all other conditions} \end{cases}$$

ومن المفيد الإشارة إلى المجموعة المحدودة من الشروط التي تكون فيها المعادلة (49) ضرورية.

$A_d(p)$: الخسائر بدلالة النسبة المئوية من الوقت والمسافة الزاوية داخل آلية الانتشار غير المنتظم:

$$(50) \quad A_d(p) = \gamma_d \theta' + A(p) \quad \text{dB}$$

حيث:

γ_d : التوهين النوعي:

$$(51) \quad \gamma_d = 5 \cdot 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad}$$

θ' : المسافة الزاوية (مصححة وفقاً للحاجة (من خلال المعادلة (48a)) من أجل إتاحة تطبيق نموذج تأثير حجب الموقع في المعادلة (46)):

$$(52) \quad \theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad \text{mrad}$$

$$(52a) \quad \theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{for } \theta_{t,r} \leq 0,1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \\ 0,1 d_{lt,lr} & \text{for } \theta_{t,r} > 0,1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \end{cases}$$

$A(p)$: التغير في النسبة المئوية من الوقت (توزيع تراكمي):

$$(53) \quad A(p) = -12 + (1,2 + 3,7 \cdot 10^{-3} d) \log \left(\frac{p}{\beta} \right) + 12 \left(\frac{p}{\beta} \right)^\Gamma \quad \text{dB}$$

$$(53a) \quad \Gamma = \frac{1.076}{(2.0058 - \log \beta)^{1.012}} \exp \left[- \left(9.51 - 4.8 \log \beta + 0.198 (\log \beta)^2 \right) \cdot 10^{-6} d^{1.13} \right]$$

$$(54) \quad \beta = \beta_0 \mu_2 \mu_3 \quad \%$$

μ_2 : التصحيح بالنسبة إلى هندسة المسير:

$$(55) \quad \mu_2 = \left(\frac{500}{a_e} \frac{d^2}{(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right)^\alpha$$

ويجب ألا تتجاوز قيمة μ_2 مقدار 1:

$$(55a) \quad \alpha = -0,6 - \tau d^{3,1} \varepsilon \cdot 10^{-9}$$

حيث:

ε : 3,5

τ : محددة في المعادلة (3)، ويجب ألا تقل قيمة α عن -3,4

μ_3 : تصحيح عدم الانتظام في التضاريس الأرضية:

$$(56) \quad \mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{for } h_m \leq 10 \text{ m} \\ \exp[-4.6 \cdot 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6 d_I)] & \text{for } h_m > 10 \text{ m} \end{cases}$$

و:

$$(56a) \quad d_I = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km}$$

ويرد تعريف المصطلحات الأخرى في الجدولين 1 و2 وفي المرفق 1 لهذا الملحق.

6.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت وفي 50% من المواقع بغض النظر عن تأثيرات جلبة المطراف

ينبغي تطبيق الإجراء التالي على نتائج الحسابات السالفة بالنسبة لكل المسيرات كي تُحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت وفي 50% من المواقع. ولتحاشي عدم الاستمرارية غير المعقولة فيما يُتنبأ به من خسائر إرسال أساسية افتراضية، يجب خلط نماذج الانتشار السالفة معاً للحصول على قيم معدلة لخسائر الإرسال الأساسية بغية تحقيق تنبؤ إجمالي من أجل النسبة المئوية p % من الوقت وفي 50% من المواقع.

يحسب عامل الاستكمال الداخلي، F_j ، لأخذ المسافة الزاوية للمسير في الحسبان:

$$(57) \quad F_j = 1,0 - 0,5 \left[1,0 + \tanh \left(3,0 \xi \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right) \right]$$

حيث:

Θ : معلمة ثابتة تحدد المدى الزاوي للخلط المصاحب؛ وتأخذ القيمة 0,3

ξ : معلمة ثابتة تحدد ميل الخلط في نهاية المدى؛ وتأخذ القيمة 0,8

θ : المسافة الزاوية للمسير (mrad)، التي يرد تعريفها في الجدول 7.

يحسب عامل الاستكمال الداخلي، F_k ، لأخذ مسافة الدائرة العظمى للمسير في الحساب:

$$(58) \quad F_k = 1,0 - 0,5 \left[1,0 + \tanh \left(3,0 \kappa \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right]$$

حيث:

- d : طول مسير الدائرة العظمى (km) المحدد في الجدول 3
- d_{sw} : معلمة ثابتة تحدد مدى المسافة للخلط المصاحب؛ وتأخذ القيمة 20
- κ : معلمة ثابتة تحدد ميل الخلط في نهايتي المدى؛ وتأخذ القيمة 0,5.

تحسب خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية، L_{minb0p} (dB)، المصاحبة لانتشار خط البصر وانعراج المسير الفرعي فوق البحر:

$$(59) \quad L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{for } p < \beta_0 \quad \text{dB} \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50})F_i & \text{for } p \geq \beta_0 \quad \text{dB} \end{cases}$$

حيث:

- L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية في خط البصر التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (10)
- $L_{b0\beta}$: خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية في خط البصر التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية β_0 % من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (11)
- L_{dp} : خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت، المعطاة بالمعادلة (41)
- L_{bd50} : متوسط خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج، المعطى بالمعادلة (42)
- F_i : عامل الاستكمال الداخلي للانعراج، ويتم الحصول عليه بالمعادلة (40).

تحسب خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية، L_{minbap} (dB)، المصاحبة لانتشار خط البصر وتعزيزات الإشارة عبر الأفق:

$$(60) \quad L_{minbap} = \eta \ln \left[\exp \left(\frac{L_{ba}}{\eta} \right) + \exp \left(\frac{L_{b0p}}{\eta} \right) \right] \quad \text{dB}$$

حيث:

- L_{ba} : خسارة الإرسال الأساسية في الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (46)
- L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية في خط البصر الافتراضي التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p % من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (10)

$$\eta = 2,5$$

تحسب خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية، L_{bda} (dB)، المصاحبة للانعراج وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات:

$$(61) \quad L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{for } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap})F_k & \text{for } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bd} : خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت من المعادلة (43)

L_{minbap} : خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية المصاحبة لانتشار خط البصر وتعزيزات الإشارة عبر الأفق من المعادلة (60)

F_k : عامل الاستكمال الداخلي، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (58)، وفق قيمة مسافة الدائرة العظمى للمسير، d .

تحسب خسارة الإرسال الأساسية المعدلة، L_{bam} (dB)، التي تأخذ في الحسبان الانعراج، وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات:

$$(62) \quad L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda})F_j \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bda} : خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية المصاحبة للانعراج وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (61)

L_{minb0p} : خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية المصاحبة لانتشار خط البصر وانعراج المسير الفرعي فوق البحر، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (59)

F_j : عامل الاستكمال الداخلي الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (57)، وفق قيمة المسافة الزاوية للمسير، θ .

تحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت وفي 50% من المواقع بغض النظر عن تأثيرات جلبة المطراف، L_{bu} (dB)، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة:

$$(63) \quad L_{bu} = -5 \log(10^{-0,2L_{bs}} + 10^{-0,2L_{bam}}) \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bs} : خسارة الإرسال الأساسية نتيجة الانتشار التروبوسفيري والتي لا يتم تجاوزها أثناء أية نسبة مئوية من الوقت p ، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (44)

L_{bam} : خسارة الإرسال الأساسية المعدلة التي تأخذ في الحسبان الانعراج، وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (62).

7.4 خسائر إضافية من محيط المطراف

عند توضّع هوائي المرسل أو المستقبل تحت الارتفاعين R_r أو R_t الممثلين للغطاء الأرضي المحيط بالمرسل أو المستقبل، فإن تقدير الخسارتين الإضافيتين للمرسل وللمستقبل، A_{hr} ، A_{ht} يُحسب كما يلي. ويرد بحث القيم المناسبة للارتفاع R في الفقرة 2.3.

وتعطي الطريقة الواردة أدناه متوسط الخسائر الناجمة عن مختلف ما يحيط بمطراف. وتشمل الآليات الممكنة الخسارة جراء العوائق، والانعكاسات بفعل الأشياء المسببة للجلبة على ارتفاع تمثيلي، والانتشار والانعكاس من الأرض والأشياء الأصغر المسببة للجلبة. وعند استخدام تطبيق حاسوبي حيث يُستخرج المظهر الجانبي للتضاريس من نموذج رقمي للتضاريس، وتحدد فئة الجلبة البيئة المحيطة بالمطراف،

يصعب من الناحية العملية تحديد الآليات الفردية. وتميز الطريقة المستخدمة هنا بين حالتين عامتين: ففي فئات الغابات والمناطق الحضرية، يفترض أن الآلية السائدة هي الانعراج فوق الجلبة، وفي الفئات الأخرى، يُفترض أن الانعكاس أو الانتشار هما السائدان. والطريقة المستخدمة للمرسل والمستقبل واحدة وتكون في الأحوال التالية، A_{hr} أو $A_{ht} = A_h$ ، و h_{rg} أو $h_{ig} = h$ ، و R_r أو $R_t = R$ حسب الاقتضاء.

فإذا كان $(h \geq R)$ فإن $(A_h = 0)$

وإذا كان $(h < R)$ ، فإن A_h يمكن أن تتخذ إحدى صيغتين، تبعاً لنمط الجلبة (انظر الجدول 2):

$$(64a) \quad A_h = J(v) - 6,03 \quad \text{dB}$$

أو:

$$(64b) \quad A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{dB}$$

تُحسب الدالة $J(v)$ بواسطة المعادلة (12).

ويتم الحصول على الحدين v و K_{h2} بالمعادلات:

$$(64c) \quad v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}}$$

$$(64d) \quad h_{dif} = R - h \quad \text{m}$$

$$(64e) \quad \theta_{clut} = \arctan\left(\frac{h_{dif}}{w_s}\right) \quad \text{degrees}$$

$$(64f) \quad K_{h2} = 21,8 + 6,2 \log(f)$$

$$(64g) \quad K_{nu} = 0,342 \sqrt{f}$$

حيث:

f : التردد (GHz).

w_s : تشير إلى عرض الشارع. وينبغي استعمال القيمة 27 ما لم تتوفر معلومات محلية محددة.

تمثل صيغة المعادلة (64a) خسارة انعراج فرينل (Fresnel) عبر عائق، وتُطبق على فئات الجلبة من قبيل جلبة المباني. وتكون الجلبة الحضرية، على وجه الخصوص، من هذا النمط.

وتمثل المعادلة (64b) دالة كسب الارتفاع الناجم عن القرب من الأرض في مواقع أكثر انفتاحاً. وحيثما يحدث انعكاس مرآوي عن الأرض يدل ذلك نمطياً على أن تغيرات الإشارة تقع تحت أول ذروة لتداخل شعاعين. وحيثما لا يحدث انعكاس مرآوي يدل ذلك نمطياً على أن التغيرات تحت الارتفاع R تعود إلى تظليل أجسام وحالات عدم انتظام طفيفة.

ولا تحدث أول ذروة شعاعين واضحة المعالم إلا في ظروف خاصة تسمح بانعكاس عن الأرض، وهي ظروف لا يمكن تحديدها من البيانات الطبوغرافية المعتادة المتاحة لأنظمة الحاسوب. وما لم تتوفر معلومات خاصة عن محيط مطراف، ينبغي استخدام قيمة R المرتبطة بفتحة الجلبة في المعادلة (64b).

وفي حال توفر معلومات خاصة تحدد سطحاً مستويماً أملساً عاكساً بخلوص فرينل مناسب لدعم الانعكاس عن الأرض، يمكن حساب R باستخدام الطريقة الواردة في المرفق 3. بيد أن هذا النهج يحاول التعرف على نقطة محددة في توزيع متعدد المسيرات، بما لا يتسق مع المبادئ التي يقوم عليها التنبؤ من نقطة-إلى-منطقة، ولا يتوافق مع حساب تغير الموقع الوارد في الفقرة 8.4. وينبغي بالتالي أن يقتصر التقدير المفصل للانعكاس عن الأرض على استخدام توصية غير تلك المعنية بالتنبؤ من نقطة-إلى-منطقة.

ويتم الحصول على خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت وفي 50% من المواقع بما فيها تأثيرات جلبة المطراف، L_{bc} (dB)، بالمعادلة:

$$(65) \quad L_{bc} = L_{bu} + A_{ht} + A_{hr} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bu} : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت وفي 50% من المواقع عند ارتفاع الجلبة التمثيلية (أو فوقه حسب الاقتضاء)، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (63)

$A_{ht,hr}$: خسائر إضافية لاحتمال محيط المطراف في المعادلتين (64a و 64b) حسب الاقتضاء.

8.4 تغيير الخسارة حسب الموقع

في هذه التوصية، وبصفة عامة، يشير مفهوم التغيير في الموقع إلى الإحصائيات المكانية الخاصة بتغيرات الغطاء الأرضي المحلي. وهو ما يمثل نتيجة مفيدة بالنسبة إلى المقاييس التي تفوق بكثير تغيرات الغطاء الأرضي، والتي لا تمثل تغيرات المسير بالنسبة إليها أي أهمية. وبما أن التغيير في الموقع يُعرّف على نحو يستبعد تغيرات المسيرات المتعددة، فإنه لا يعتمد على عرض نطاق النظام.

وسيكون من الضروري أيضاً، فيما يتعلق بتخطيط الأنظمة الراديوية، أن تؤخذ تأثيرات المسيرات المتعددة في الحسبان. وسيختلف تأثير هذه الآثار باختلاف الأنظمة وبالتالي يتوقف على عرض النطاق والتشكيل ومخطط التشغيل. وتقدم التوصية ITU-R P.1406 إرشادات بشأن نمذجة هذه التأثيرات.

ويبين التحليل المكثف للبيانات أن توزيع شدة المجال المتوسط المحلي الناجمة عن تغيرات الغطاء الأرضي هو توزيع لوغاريتمي عادي تقريباً.

وتعتمد قيم الانحراف المعياري على درجة استبانة التنبؤ وعلى التردد، وقد أظهرت الدراسات التجريبية حدوث انتشار. ويمكن الحصول على القيم التمثيلية للعبء المئوية الخمسين (50) لتوزيع الانحراف المعياري للتغير حسب الموقع بواسطة المعادلة التالية:

$$(66) \quad \sigma_L = (0.024f + 0.52)w_a^{0.28} \quad \text{dB}$$

حيث:

f : التردد المطلوب (GHz)

w_a : درجة استبانة التنبؤ (m).

ودرجة استبانة التنبؤ هي عرض المساحة المربعة التي يسري عليها التغير. ويمكن لمواقع النسب المئوية، p_L ، أن تتغير بين 1% و 99%. ولا يصلح هذا النموذج لمواقع نسب مئوية تقل عن 1% أو تزيد عن 99%.

وتعد القيم الواردة في الجدول 6 ملائمة للتخطيط لخدمات التلفزيون الرقمي للأرض (DTT). وقد تبين أنها مساوية للعبء المئوية 93^{rd} لدالة التوزيع التراكمي لقياس هوائي بارتفاع أعلى الأسطح في منطقة تبلغ مساحتها 100×100 m.

الجدول 6

قيم الانحراف المعياري للتغير في الموقع المستعملة في بعض حالات التخطيط

الانحراف المعياري (dB)			
MHz 2 000	MHz 600	MHz 100	
5,5	5,5	5,5	الخدمة الإذاعية، التلفزيون الرقمي للأرض (DTT)

وعند وضع المستقبل/المتنقل على الأرض وخارج المباني بينما يكون ارتفاعه فوق الأرض أكبر من أو يساوي ارتفاع الجلبة التمثيلية، فمن المعقول، مع ازدياد الارتفاع، توقع التناقص المطرد للتغير في الموقع إلى حد التلاشي في نقطة ما. وفي هذه التوصية، يمكن الحصول على تباير ارتفاع التغير في الموقع، $u(h)$ ، بالعلاقات التالية:

$$(67) \quad \begin{aligned} u(h) &= 1 & \text{for } 0 \leq h < R \\ u(h) &= 1 - \frac{(h-R)}{10} & \text{for } R \leq h < R+10 \\ u(h) &= 0 & \text{for } R+10 \leq h \end{aligned}$$

حيث R (m) هو ارتفاع الجلبة التمثيلية في موقع المستقبل/المتنقل. لذا، بالنسبة إلى مستقبل/متنقل موجود خارج المباني، فإن الانحراف المعياري للتغير في الموقع، σ_L ، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (66) أو من الجدول 6، ينبغي ضربه في دالة تباير الارتفاع، $u(h)$ ، التي يتم الحصول عليها (67)، وذلك عند حساب قيم خسارة الإرسال الأساسية لقيم p_L % المختلفة عن 50%.

9.4 خسارة الدخول إلى المباني

يمكن الاطلاع على التعاريف والنماذج النظرية والإحالات إلى النتائج التحريبية المتعلقة بخسارة الدخول إلى المباني في التوصية ITU-R P.2040.

أما تغيّر شدة المجال بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني فهو حصيلة دمج التغير خارج المباني، σ_L ، والتغير الناجم عن توهين البناء، σ_{be} (انظر التوصية ITU-R P.2040). ولا يوجد على الأرجح ارتباط بين هذين التغيرين. ومن ثم يمكن حساب الانحراف المعياري بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني σ_i بأخذ الجذر التربيعي لمجموع مربعي الانحرافين المعياريين الفرديين.

$$(68) \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{be}^2} \quad \text{dB}$$

حيث σ_L ، الانحراف المعياري للتغير في الموقع على النحو المتحصل عليه بالمعادلة (66) أو من الجدول 6.

10.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p % من الوقت وفي p_L % من المواقع

لحساب مواقع النسبة المئوية المرغوبة، يتم الحصول على متوسط الخسارة، L_{loc} ، والانحراف المعياري، σ_{loc} ، من المعادلات التالية:

$$(69a) \quad L_{loc} = 0 \quad \text{dB (خارج المباني)}$$

$$(69b) \quad L_{loc} = L_{be} \quad \text{dB (داخل المباني)}$$

و:

$$(70a) \quad \sigma_{loc} = u(h)\sigma_L \quad \text{dB (خارج المباني)}$$

$$(70b) \quad \sigma_{loc} = \sigma_i \quad \text{dB (داخل المباني)}$$

حيث يرد متوسط خسارة الدخول إلى المباني، L_{be} ، في التوصية ITU-R P.2040، ويتم الحصول على دالة الارتفاع، $u(h)$ ، بالمعادلة (67) والانحرافان المعياريان، σ_L و σ_i ، يتم الحصول عليهما بالمعادلة (66) (أو الجدول 6) وبالمعادلة (68)، على التوالي.

ويتم الحصول على خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p % من الوقت وفي p_L % من المواقع، L_b (dB)، بالمعادلة:

$$(71) \quad L_b = \max \left[L_{b0p}, L_{bc} + L_{loc} - I \left(\frac{p_L}{100} \right) \sigma_{loc} \right] \quad \text{dB}$$

حيث:

- L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي 50% من المواقع والمصاحبة لخط البصر مع تعزيزات قصيرة الأجل، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (10)
- L_{bc} : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي 50% من المواقع، بما فيها تأثيرات خسائر جلبه المطراف، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (65)
- L_{loc} : متوسط قيمة خسارة الموقع الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (69a) و(69b)
- $I(x)$: توزيع طبيعي تراكمي تكميلي عكسي كدالة في الاحتمال، x . ويرد في المرفق 2 لهذا الملحق تقريب للدالة $I(x)$ يمكن استعماله عندما تكون $(0,000001 \leq x \leq 0,999999)$
- σ_{loc} : انحراف معياري مركّب (أي خسارة الدخول إلى المباني والتغيّر في الموقع)، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (70a) و(70b).

ويمكن لمواقع النسبة المئوية، p_L ، أن تتغيّر بين 1% و 99% . ولا يصلح هذا النموذج لمواقع نسب مئوية تقل عن 1% أو تزيد عن 99% .

11.4 شدة المجال التي يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي $p_L\%$ من المواقع

يمكن حساب شدة المجال المقيّسة إلى قدرة مشعة فعّالة مقدارها 1 kW والتي يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت، وفي 50% و E_p dB($\mu\text{V}/\text{m}$) من المواقع، باستخدام المعادلة:

$$(72) \quad E_p = 199.36 + 20 \log(f) - L_b \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

حيث:

- L_b : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي $p_L\%$ من المواقع، والمحسوبة بالمعادلة (71)
- f : التردد المطلوب (GHz).

المرفق 1

للملحق 1

تحليل المظهر الجانبي للمسير

1 مقدمة

يتطلب تحليل المظهر الجانبي للمسير وجود مظهر جانبي لارتفاعات التضاريس الأرضية على طول المسير فوق متوسط مستوى البحر. ويقدم الجدول 8 المعلومات الواجب اشتقاقها من تحليل المظهر الجانبي للمسير لأغراض نماذج الانتشار.

2 رسم المظهر الجانبي للمسير

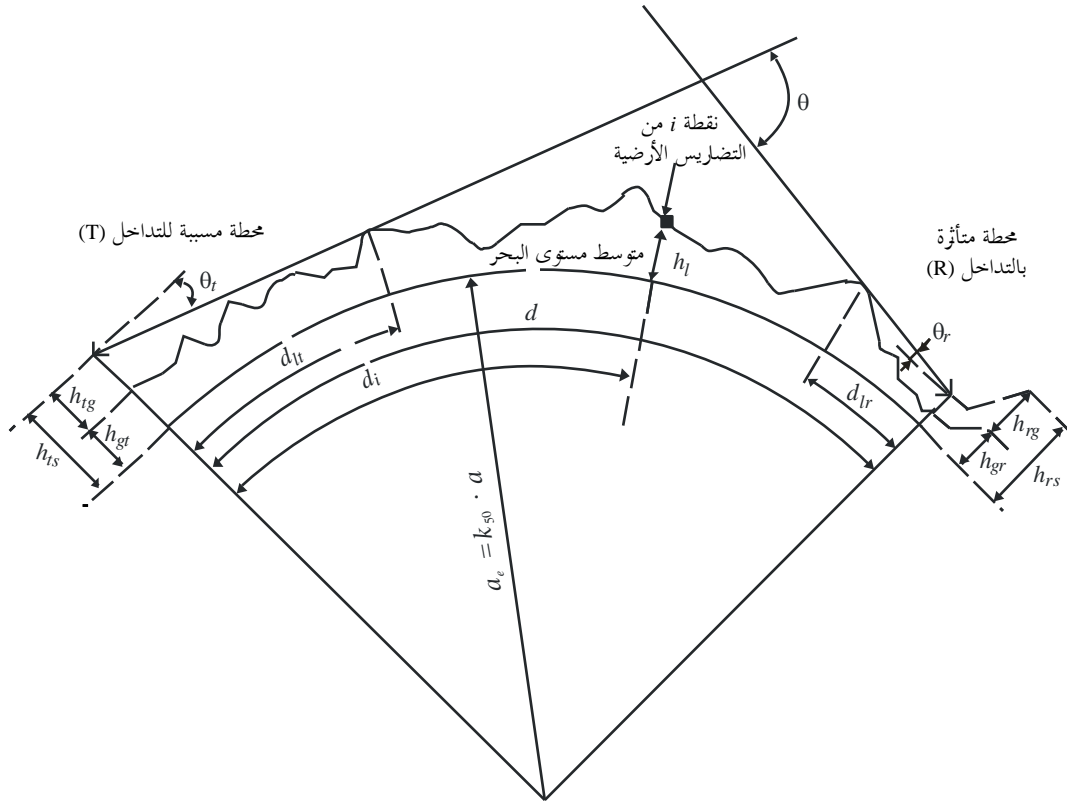
استناداً إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطة المرسل (ψ_r، φ_r) والمحطة المستقبلية (ψ_t، φ_t) ينبغي أن تشتق ارتفاعات التضاريس الأرضية (فوق متوسط مستوى البحر) على طول مسير الدائرة العظمى من قاعدة بيانات طبوغرافية أو من خرائط كافية كبيرة مناسبة. ويقدر الإمكان من الناحية العملية، ينبغي أن تجسّد استبانة المسافة للمظهر الجانبي المعالم الهامة للتضاريس الأرضية. وعادةً تكون الزيادة في المسافة من 30 m إلى 1 km مناسبة. كما يصح عموماً استعمال زيادات أطول للمسافة من أجل المسيرات الأطول. وينبغي للمظهر الجانبي أن يحتوي على ارتفاع الأرض عند موقعي المحطة المرسل والمحطة المستقبلية باعتبارهما نقطتي البداية والنهاية. وتأخذ المعادلات التالية انحناء الأرض في الحسبان وفق الضرورة استناداً إلى قيمة a_e في المعادلة (7a).

ورغم أنه من المفضل استعمال نقاط مظهر جانبي منتظمة التباعد، فمن الممكن استعمال هذه الطريقة مع نقاط مظهر جانبي غير منتظمة التباعد. وقد يكون ذلك مفيداً عندما يستخلص المظهر الجانبي من خريطة رقمية ذات مناسب لارتفاعات التضاريس الأرضية. إلا أنه تجدر الإشارة إلى أن التوصية قد أعدت استناداً إلى اختبارات تستعمل نقاط مظهر جانبي منتظمة التباعد ولا تتوفر أي معلومات عن تأثير النقاط غير منتظمة التباعد على الدقة.

وتعتبر، لأغراض هذه التوصية، نقطة المظهر الجانبي للمسير في محطة الإرسال النقطة 1، بينما تعتبر النقطة في المحطة المستقبلية النقطة n . وبهذا يتشكل المظهر الجانبي للمسير من n نقطة. ويعطي الشكل 1 مثلاً للمظهر الجانبي للمسير عبر ارتفاعات التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر مبيناً المعلمة المختلفة المتعلقة بالتضاريس الأرضية الفعلية.

الشكل 1

مثال للمظهر الجانبي لمسير (عبر الأفق)



الملاحظة 1 - تكون قيمة θ_r كما هي مرسومة قيمة سالبة.

P.1812-01

ويجدد الجدول 7 المعلمة المستعملة أو المشتقة أثناء تحليل المظهر الجانبي للمسير.

الجدول 7

تعريفات معالم المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
a_e	نصف قطر الأرض الفعّال (km)
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_{ii}	الزيادة التدريجية في المسافة المستعملة في معطيات المظهر الجانبي للمسير المنتظم (km) (أي بتباعدات متساوية)
f	التردد (GHz)
λ	طول الموجة (m)
h_{ts}	ارتفاع هوائي المرسل (m) فوق متوسط مستوى البحر (amsl)
h_{rs}	ارتفاع هوائي المستقبل (m) (amsl)
θ_t	بالنسبة للمسير عبر الأفق، زاوية ارتفاع الأفق فوق خط الأفق المحلي (mrad) مقاسة من الهوائي المرسل. وبالنسبة لمسير خط البصر، ينبغي أن تكون هذه الزاوية زاوية ارتفاع الهوائي المستقبل
θ_r	بالنسبة للمسير عبر الأفق، زاوية ارتفاع الأفق فوق خط الأفق المحلي (mrad) مقاسة من الهوائي المستقبل. وبالنسبة لمسير خط البصر، ينبغي أن تكون هذه الزاوية زاوية ارتفاع الهوائي المرسل
θ	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
h_{st}	ارتفاع "الأرض الممهدة" فوق متوسط مستوى البحر (amsl) عند موقع المحطة المرسل (m)
h_{sr}	ارتفاع "الأرض الممهدة" فوق متوسط مستوى البحر (amsl) عند موقع المحطة المستقبل (m)
h_i	ارتفاع النقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر (m) h_t : الارتفاع الأرضي للمرسل h_n : الارتفاع الأرضي للمستقبل
h_m	وعورة التضاريس الأرضية (m)
h_{te}	الارتفاع الفعّال للهوائي المرسل (m)
h_{re}	الارتفاع الفعّال للهوائي المستقبل (m)

3 طول المسير

يمكن الحصول على طول المسير باستعمال هندسة الدائرة العظمى من الإحداثيات الجغرافية للمحطتين المرسل (ψ_r, ϕ_r) والمستقبل (ψ_t, ϕ_t). ويمكن بدلاً من ذلك تحديد طول المسير من المظهر الجانبي للمسير. إذ يمكن الحصول على طول المسير، d (km)، من بيانات المظهر الجانبي للمسير:

$$(73) \quad d = d_n \quad \text{km}$$

وبالنسبة إلى بيانات المظهر الجانبي لمسير منتظم التباعد، تصح العلاقة التالية أيضاً:

$$(74) \quad d_i = (i-1)d_{ii} \quad \text{km}$$

بالنسبة إلى $i = 1, \dots, n$ ، حيث d_{ii} هي الزيادة التدريجية في مسافة المسير (km).

4 تصنيف المسيرات

يجب أن يستعمل المظهر الجانبي (LoS) للمسير لتصنيف المسير فيما لو كان في خط البصر أو عبر الأفق استناداً إلى نصف قُطر الأرض الفعّال a_e ، الذي يمكن الحصول عليه بالمعادلة (7a).

ويكون المسير عبر الأفق إذا كانت زاوية ارتفاع الأفق المادي من ناحية الهوائي المرسل (بالنسبة إلى خط الأفق المحلي) أكبر من الزاوية المرئية من جهة الهوائي المستقبل (أيضاً بالنسبة إلى خط الأفق المحلي المرسل).

ويكون الاختبار الخاص بشروط المسير عبر الأفق على النحو التالي:

$$(75) \quad \theta_{max} > \theta_{td} \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(76) \quad \theta_{max} = \max_{i=2}^{n-1} (\theta_i) \quad \text{mrad}$$

θ_i : زاوية الارتفاع بالنسبة إلى النقطة i في التضاريس الأرضية

$$(77) \quad \theta_i = 1000 \arctan \left(\frac{h_i - h_{ts}}{10^3 d_i} - \frac{d_i}{2 a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث:

h_i : ارتفاع النقطة i في التضاريس الأرضية (m) فوق متوسط مستوى البحر

h_{ts} : ارتفاع الهوائي المرسل (m) فوق متوسط مستوى البحر

d_i : المسافة بين المرسل والنقطة i في التضاريس الأرضية (km)

$$(78) \quad \theta_{td} = 1000 \arctan \left(\frac{h_{rs} - h_{ts}}{10^3 d} - \frac{d}{2 a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث:

h_{rs} : ارتفاع الهوائي المستقبل (m) فوق متوسط مستوى البحر

d : المسافة الكلية لمسير الدائرة العظمى (km)

a_e : متوسط نصف قُطر الأرض الفعّال المناسب للمسير (المعادلة (7a)).

5 اشتقاق المعلمات من المظهر الجانبي لمسير

يعرض الجدول 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من المظهر الجانبي للمسير.

1.5 زاوية ارتفاع الأفق فوق الأفق المحلي لهوائي الإرسال، θ_t

تعطى زاوية ارتفاع الأفق لهوائي الإرسال بالنسبة إلى الأفق المحلي كما يلي:

$$(79) \quad \theta_t = \max (\theta_{max}, \theta_{td}) \quad \text{mrad}$$

وتكون θ_{max} كما هي محددة في المعادلة (76). ومن ثم، في مسير على خط البصر، تُعتبر زاوية ارتفاع الأفق للهوائي المرسل هي زاوية ارتفاع الخط الواصل إلى هوائي الاستقبال.

2.5 مسافة أفق الهوائي المرسل، d_{lt}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المرسل المحسوب عندها أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي من المعادلة (76).

$$(80) \quad d_{lt} = d_i \quad \text{km} \quad \text{for max } (\theta_i)$$

وفي مسير على خط البصر، ينبغي أن يكون المؤشر i هو القيمة التي تعطي معلمة الانعراج v القصوى:

$$(80a) \quad v_{\max} = \max \left\{ \left[h_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts} (d - d_i) + h_{rs} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002 d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث يأخذ دليل المظهر الجانبي i قيمة تتراوح من 2 إلى $n - 1$. و C_e هو الانحناء الفعلي للأرض كما هو معرف في الفقرة 1.3.4. بالملحق 1.

3.5 زاوية ارتفاع أفق الهوائي فوق الأفق المحلي المستقبل، θ_r

في مسير على خط البصر، تعطى الزاوية θ_r كما يلي:

$$(81) \quad \theta_r = 1000 \arctan \left(\frac{h_{ts} - h_{rs}}{10^3 d} - \frac{d}{2 a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

وإلا تعطى الزاوية θ_r كما يلي:

$$(82) \quad \theta_r = \max_{j=2}^{n-1} (\theta_j) \quad \text{mrad}$$

$$(82a) \quad \theta_j = 1000 \arctan \left[\frac{h_j - h_{rs}}{10^3 (d - d_j)} - \frac{d - d_j}{2 a_e} \right] \quad \text{mrad}$$

4.5 مسافة أفق الهوائي المستقبل، d_{lr}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المستقبل تحسب عندها أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي من المعادلة (82).

$$(83) \quad d_{lr} = d - d_j \quad \text{km} \quad \text{for max } (\theta_j)$$

وفي مسير على خط البصر، تعطى الزاوية d_{lr} كما يلي:

$$(83a) \quad d_{lr} = d - d_{lt} \quad \text{km}$$

5.5 المسافة الزاوية θ (mrad)

$$(84) \quad \theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

6.5 نموذج "الأرض الممهدة" وارتفاعات الهوائي الفعالة

"السطح الأملس" هو سطح مستخلص من المظهر الجانبي لحساب ارتفاعات الهوائي الفعالة لنموذج الانعراج وكذلك لإجراء تقييم لوعورة المسير، وهما أمران يتطلبهما نموذج الانتشار بالبحر/الانعكاس عن طبقة وتختلف تعاريف ارتفاع الهوائي الفعال في هذين الغرضين.

حيث يكيف القسم 1.6.5 سطح أملس للأرض مع المظهر الجانبي الذي يتحصل منه على ارتفاعي هذين السطحين عند المطرافين، h_{sr} و h_{st} .

وفي الفقرة 2.6.5، يستخدم الارتفاعان h_{sr} و h_{st} ، لحساب ارتفاعي السطح الأملس للأرض المعدلين عند المطرافين h_{std} و h_{srd} ، اللذين يستخدمان في الفقرة 4.3.4 من الملحق 1 لحساب الارتفاعات الفعلية للهوائيات لنموذج الانعراج. وطبقاً للمظهر الجانبي، قد تختلف قيمتا h_{std} و h_{srd} عن قيمتي h_{sr} و h_{st} ، على التوالي.

وفي الفقرة 3.6.5، تستعمل قيمتا الارتفاعين h_{sr} و h_{st} ، لحساب الارتفاعين الفعليين للهوائي h_{re} و h_{te} ومعلمة خشونة الأرض h_m اللازمة لنموذج انعكاس الجرى/الطبقة في الفقرة 5.4 من الملحق 1.

1.6.5 اشتقاق سطح الأرض الأملس

يشترك تقريب خطي مستقيم لارتفاع التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر بالأمتار على الشكل التالي:

$$(85) \quad v_1 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})$$

$$(86) \quad v_2 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1})[h_i(2d_i + d_{i-1}) + h_{i-1}(d_i + 2d_{i-1})]$$

$$(87) \quad h_{st} = \left(\frac{2v_1 d - v_2}{d^2} \right) \quad \text{m}$$

$$(88) \quad h_{sr} = \left(\frac{v_2 - v_1 d}{d^2} \right) \quad \text{m}$$

حيث:

h_{st} : الارتفاع فوق متوسط مستوى البحر (m) لسطح الأرض الأملس عند بداية المسير أي عند المرسل

h_{sr} : الارتفاع فوق مستوى سطح البحر (m) للسطح الأملس للأرض عند نهاية المسير، أي عند المستقبل

2.6.5 ارتفاعا السطح الأملس للأرض لنموذج الانعراج

يحدّد أعلى ارتفاع لعائق فوق مسير خط مستقيم من المرسل إلى المستقبل، h_{obs} ، وزاويتي الارتفاع عن الأفق α_{obr} و α_{obt} ، وكل ذلك على أساس هندسة الأرض المستوية، وفقاً لما يلي:

$$(89a) \quad h_{obs} = \max(H_i) \quad \text{m}$$

$$(89b) \quad \alpha_{obt} = \max\left(\frac{H_i}{d_i}\right) \quad \text{mrad}$$

$$(89c) \quad \alpha_{obr} = \max\left[\frac{H_i}{(d - d_i)}\right] \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(89d) \quad H_i = h_i - \frac{[h_{te}(d - d_i) + h_{re}d_i]}{d} \quad \text{m}$$

ويتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمة تتراوح بين 2 و $(n-1)$.

وتُحسب القيم المؤقتة لارتفاعات السطح الأملس في طرفي الإرسال والاستقبال للمسير:
إذا كان h_{obs} أقل من الصفر أو يساويه، عندئذ:

$$(90a) \quad h_{stp} = h_{st} \quad \text{m amsl}$$

$$(90b) \quad h_{srp} = h_{sr} \quad \text{m amsl}$$

وإلا:

$$(90c) \quad h_{stp} = h_{st} - h_{obs}g_t \quad \text{m amsl.}$$

$$(90d) \quad h_{srp} = h_{sr} - h_{obs}g_r \quad \text{m amsl}$$

حيث:

$$(90e) \quad g_t = \frac{\alpha_{obt}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

$$(90f) \quad g_r = \frac{\alpha_{obr}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

وتُحسب القيم النهائية لارتفاعي السطح الأملس في طرفي الإرسال والاستقبال للمسير كما يتطلب نموذج الانعراج:
فإذا كان h_{stp} أكبر من h_1 ، عندئذ:

$$(91a) \quad h_{std} = h_1 \quad \text{m amsl}$$

وإلا:

$$(91b) \quad h_{std} = h_{stp} \quad \text{m amsl}$$

وإذا كان h_{srp} أكبر من h_n ، عندئذ:

$$(91c) \quad h_{srd} = h_n \quad \text{m amsl}$$

وإلا:

$$(91d) \quad h_{srd} = h_{srp} \quad \text{m amsl}$$

3.6.5 معلمات نموذج الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس عن طبقة

يُحسب ارتفاعا الأرض الملساء عند المرسل والمستقبل على النحو المطلوب من أجل عامل الوعورة كما يلي:

$$(92a) \quad h_{st} = \min (h_{st}, h_1) \quad \text{m}$$

$$(92b) \quad h_{sr} = \min (h_{sr}, h_n) \quad \text{m}$$

ينبغي حساب ميل سطح الأرض الأملس m كالتالي:

$$(93) \quad m = \frac{h_{sr} - h_{st}}{d} \quad \text{m/km}$$

ويتم الحصول على الارتفاعين الفعالين للمطرفين في نموذج الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس عن طبقة، h_{re} و h_{te} بالمعادلتين:

$$(94a) \quad h_{te} = h_{tg} + h_1 - h_{st} \quad \text{m}$$

$$(94b) \quad h_{re} = h_{rg} + h_n - h_{sr} \quad \text{m}$$

معلمة وعورة التضاريس الأرضية h_m (m) هي أقصى ارتفاع للتضاريس الأرضية فوق سطح الأرض الأملس في قسم المسير الواقع بين نقطتي الأفق، حصراً:

$$(95) \quad h_m = \max_{i=i_{lt}}^{i_{lr}} [h_i - (h_{st} + md_i)] \quad \text{m}$$

حيث:

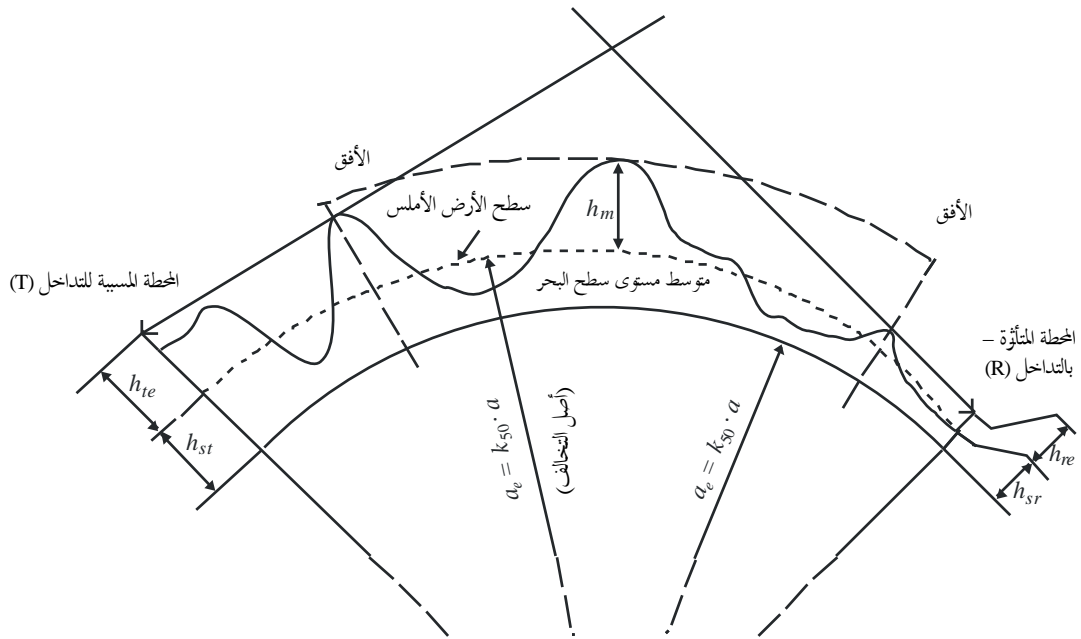
i_{lt} : دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة d_{lt} من المرسل

i_{lr} : دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة d_{lr} من المستقبل.

ويمثل الشكل 2 سطح الأرض الأملس ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية h_m .

الشكل 2

مثال لسطح الأرض الأملس ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية



المرفق 2 للملحق 1

تقريب لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلي العكسي

يكون التقريب التالي لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلي العكسي صحيحاً للقيمة $(0,000001 \leq x \leq 0,999999)$ ويكون أقصى مقدار للخطأ 0,00054. فإن كانت $(x < 0,000001)$ ، مما يعني ضمناً $(\beta_0 < 0,0001\%)$ ، فينبغي ضبط x بقيمة 0,000001. وتسري اعتبارات مشابهة بالنسبة إلى $(x > 0,999999)$. ويمكن الوثوق في استخدام هذا التقريب لحساب دالة الاستكمال الداخلي في المعادلات (40b) و(59) و(71). بيد أنه في المعادلة الأخيرة، يجب أن تنحصر قيمة x داخل المتباينة: $(0,01 \leq x \leq 0,99)$.

ويتم الحصول على الدالة $I(x)$ كالتالي:

$$(96a) \quad I(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{for } 0,000001 \leq x \leq 0,5$$

وبالتناظر:

$$(96b) \quad I(x) = \xi(1-x) - T(1-x) \quad \text{for } 0,5 < x \leq 0,999999$$

حيث:

$$(97a) \quad T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]}$$

$$(97b) \quad \xi(x) = \frac{[(C_2 T(x) + C_1) T(x)] + C_0}{[(D_3 T(x) + D_2) T(x) + D_1] T(x) + 1}$$

$$(97c) \quad C_0 = 2,515516698$$

$$(97d) \quad C_1 = 0,802853$$

$$(97e) \quad C_2 = 0,010328$$

$$(97f) \quad D_1 = 1,432788$$

$$(97g) \quad D_2 = 0,189269$$

$$(97h) \quad D_3 = 0,001308$$

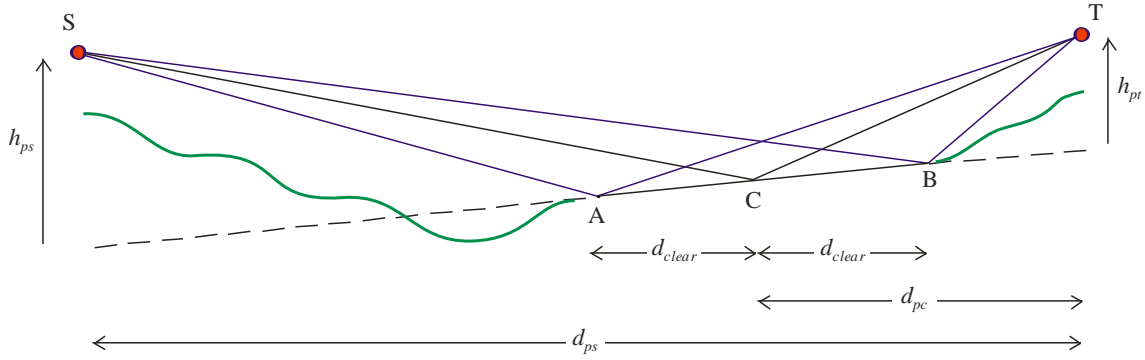
المرفق 3 للملحق 1

معايير الانعكاس عن الأرض وحساب ذروة الانعكاس الأول

يعطي هذا المرفق معايير لتحديد الحالات التي يقع فيها انعكاس شعاعين عن الأرض. وتتطلب معلومات المسير اللازمة عادة تفقد مفصّل لمحيط المطراف، أو استخدام بيانات طبوغرافية عالية الاستبانة بدقة أقرب من متر واحد إلى الواقع. فإذا استوفيت هذه المعايير، يمكن حساب ارتفاع ذروة أول شعاعين. لأن ذلك يمثل نقطة محددة في التوزيع المتعدد المسيرات على مستوى الإشارة. وينبغي ألا تستخدم هذه الطريقة في حساب تغير الخسارة حسب الموقع الذي يرد وصفه في الفقرة 8.4 من هذه التوصية. ومن غير المناسب استخدام هذه الطريقة في حسابات النقطة-إلى-منطقة.

الشكل 3

الهندسة المطلوبة للانعكاسات عن الأرض



P.1812-03

ويوضح الشكل 3 الهندسة اللازمة للانعكاس عن الأرض. فالنقطة "T" إلى اليمين هي المطراف قيد النظر. والنقطة "S" هي نقطة مصدر الانعكاس التي ستكون المطراف الآخر في مسير على خط البصر، أو الأفق الراديوي للنقطة T في مسير عبر الأفق.

ويشار إلى المظهر الجانبي النظري بواسطة الخط الأخضر المتعرج. ويجب تحديد شطر من المظهر الجانبي بين النقطتين A و B على أنه مستوٍ وأملس، ويجب أن يكون هناك خط بصر بخلوص فرينل كامل للخطوط S-A و S-B و A-T و B-T.

وتستخدم وحدات متسقة ذاتياً في جميع فقرات هذا المرفق.

والنقطة C هي نقطة الانعكاس المرآوي في مركز الخط A-B وتبعد مسافة d_{cp} عن المطراف، وتعطى كما يلي:

$$(98) \quad d_{pc} = \frac{d_{ps} h_{ps}}{(h_{ps} + h_{pt})}$$

حيث h_{ps} و h_{pt} هما ارتفاعا S و T على التوالي فوق خط A-B الممدد.

ويعطى نصف قطر خلوص فرينل المطلوب r_{clear} في النقطة C كما يلي:

$$(99) \quad r_{clear} = 0.6 \sqrt{\frac{\lambda d_{pc} (d_{ps} - d_{pc})}{d_{ps}}}$$

حيث λ هو طول الموجة.

ويجب أن يكون السطح العاكس مستوياً وأملساً، وأن يقع على خط البصر إلى S و T كليهما لمساحة تصل إلى r_{clear} على جانبي المسير (أي إلى اليسار وإلى اليمين) من T إلى المطراف الآخر.

وتُحسب مسافة الخلوص المطلوبة d_{clear} تقريباً على جانبي النقطة C وعلى امتداد المسير الراديوي، كما يلي:

$$(100) \quad d_{clear} \approx \frac{r_{clear} d_{pc}}{h_{pt}}$$

ويعطى معيار الاستواء والملاسة لسطح عاكس كما يلي:

$$(101) \quad \Delta \approx \frac{\lambda d_{pc}}{10h_{pt}}$$

حيث Δ هو المنطلق المسموح به لسطح انعكاس من مستو. وينبغي أن يفسر ذلك على نطاق ضيق من حيث الوعورة، وعلى نطاق المنطقة كلها من حيث الاستواء.

فإذا استوفيت المعايير المذكورة أعلاه، يمكن حساب قيمة R في المعادلة (64b) كما يلي:

$$(102) \quad R = \frac{\lambda d_{ps}}{4h_{pt}}$$

وإذا ما استُخدمت قيمة R ، المحسوبة باستخدام المعادلة (102)، في المعادلة (64b)، فإن تناقص ارتفاع المطراف تحت الارتفاع R يفضي إلى تزايد جودة التقريب إلى نموذج الأرض المستوية ذي الشعاعين في انعكاس الورد التماسي. وبتناقص ارتفاع المطراف، يتعين توسيع السطح العاكس الأملس المبين في الشكل 3 باتجاه المطراف، وهو ما يكافئ تحرك النقطة B في الشكل إلى اليمين.

ويمكن أيضاً حساب تصحيح كسب الارتفاع باستخدام الجمع الصريح لشعاعين الذي يعطي ما يلي:

$$(103) \quad A_h = 20 \log \left[1 + \rho \exp \left(-j \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right) \right]$$

حيث:

ρ : معامل انعكاس معقد يمكن تقديره، في الورد التماسي، كرقم صرف تبلغ قيمته التقريبية -0,95

δ : الفارق في طول المسير المعطى كما يلي:

$$(104) \quad \delta = \frac{2h_{ps}h_{pt}}{d_{ps}}$$

وإذا استُخدمت المعادلة (103) ستبلغ قيمة $A_h + 6$ dB عند $R = h_{pt}$. وسيحدث انقطاع مع المعادلة (64b) في هذه النقطة. حيث إن خفض الارتفاع من معادلة R (103) سيزيد التقريب إلى المعادلة (64b). فإذا ما استُخدمت المعادلة (103) على ارتفاع تحت R ، ينبغي التنبيه إلى التحذير أعلاه بشأن مدى اتساع السطح العاكس. وإذا ما استُخدمت المعادلة (103) على ارتفاع فوق R لا بد من أن يكون السطح العاكس على مسافة مقابلة أبعد عن المطراف، وينبغي أيضاً أن يؤخذ في الاعتبار احتمال تزايد مسافة المصدر d_s ، أي أن موضع S في الشكل 3 قد يتغير. ويمكن تجنب هذا الإشكال الأخير إذا استُخدمت طريقة الانعكاس في مسير على خط البصر (LoS) فقط.

المرفق 4 للملحق 1

طريقة بديلة لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية، L_{bulls}

يقدم هذا المرفق طريقة بديلة لحساب قيمة L_{bulls} دون استخدام طريقة تحليل المظهر الجانبي للتضاريس. فإذا كانت $d_{los} > d$ (على خط البصر (LoS))، تُحسب معلمة الانعراج لأصغر خلوص ارتفاع h_{se} (23) بين المسير المنحني على الأرض والشعاع بين الهوائيين بمسافة d_{sel} (24a) على النحو التالي:

$$v_{\max} = -h_{se} \cdot \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_{sel}(d - d_{sel})}} \quad (105)$$

وتُعطى خسارة حد السكن لهذه النقطة بالمعادلة التالية:

$$L_{us} = J(v_{\max}) \quad \text{dB} \quad (106)$$

وإذا كانت $d_{los} \leq d$ (على غير خط البصر (NLoS))، يُحدّد أعلى ميل للخط من هوائي الإرسال إلى المسير المنحني على الأرض.

$$S_{tm} = 500 C_e d - 2\sqrt{500 C_e h_{tesph}} \quad \text{m/km} \quad (107)$$

ثم يُحدّد أعلى ميل للخط من هوائي الاستقبال إلى المسير المنحني على الأرض.

$$S_{rm} = 500 C_e d - 2\sqrt{500 C_e h_{resph}} \quad \text{m/km} \quad (108)$$

ويُستخدم هذان الميلان لحساب نقطة بولينغتن كما يلي:

$$d_s = \frac{h_{resph} - h_{tesph} + S_{rm}d}{S_{tm} + S_{rm}} \quad \text{km} \quad (109)$$

وتُحسب معلمة الانعراج v_s لنقطة بولينغتن على النحو التالي:

$$v_s = \left[h_{tesph} + S_{tm}d_s - \frac{h_{tesph}(d - d_s) + h_{resph}d_s}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_s(d - d_s)}} \quad (110)$$

وتُعطى خسارة حد السكن لنقطة بولينغتن بالمعادلة التالية:

$$L_{us} = J(v_s) \quad \text{dB} \quad (111)$$

وفي حال حساب L_{us} باستخدام أي من المعادلتين (106) أو (111)، تُعطى خسارة الانعراج بطريقة بولينغتن لهذا المسير الأملس بالمعادلة التالية:

$$L_{bulls} = L_{us} + \left(1 - \exp\left(\frac{-L_{us}}{6}\right) \right) (10 + 0.02d) \quad (112)$$