

التوصية ITU-R P.1812-8

(2025/09)

السلسلة P: انتشار الموجات الراديوية

طريقة تنبؤ بانتشار خاصة بمسير لخدمات الأرض
من نقطة-إلى-منطقة في مدى الترددات
من GHz 30 إلى MHz 6



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 والسياسية 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 تقدير الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوكيد القياسي واللجنة الكهربائية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار 1. وترت الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلال توقيف قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <https://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة تحديد الراديوى للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	
علم الفلك الراديوى	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	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 والمواقع ذات الصلة	V

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

التوصية 8-1812-R ITU

طريقة تنبؤ بانتشار خاصة بمسير خدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في مدى الترددات من 30 MHz إلى 6 GHz

(المسألة 203/3)

(2007-2009-2012-2013-2015-2019-2021-2023-2025)

مجال التطبيق

تصف هذه التوصية طريقة تنبؤ بانتشار تناوب خدمات الأرض من نقطة-إلى-منطقة في مدى الترددات من 30 MHz إلى 6 GHz. وهي تتباين بمستويات الإشارة المتجاوزة خلال نسبة معينة من الوقت p (%) ضمن المدى ($p \leq 50\% \leq p_L \leq 1\%$)، وفي نسبة مئوية معينة من الواقع، p_L (%)، ضمن المدى ($p_L \leq 99\% \leq 1\%$)، وذلك في متوسط توزيع المسيرات المتعددة. وتقدم هذه الطريقة تحليلاً مفصلاً يقتصر 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 المطrafين على ارتفاع يقرب من 3 km فوق الأرض. ولا تلائم هذه الطريقة تنبؤات الانتشار على دارات راديوية جو-أرض أو فضاء-أرض.

هذا وتتمم هذه التوصية التوصية 1546 ITU-R P.

كلمات أساسية

الانتشار طوبل المدى الخاص بمسير، المسيرات/الدارات التربوبسفيرية، التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية، التغير في الزمن والموقع

المختصرات/مسرد المصطلحات

فوق مستوى سطح البحر (Above Mean Sea Level)	amsl
التلفزيون الرقمي للأرض (Digital Terrestrial Television)	DTT
خريطة العالم المرقمنة لدى الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU Digitized World Map)	IDWM
خط البصر (Line-of-Sight)	LoS
على غير خط البصر (Non-Line-of-Sight)	NLoS
من نقطة-إلى-نقطة (Point-to-Point)	P-P
الموجات الديسيمترية (Ultra-High Frequency)	UHF
الموجات المترية (Very High Frequency)	VHF

توصيات الاتحاد الدولي للاتصالات ذات الصلة

التوصية ITU R P.452 - إجراء التنبؤ لتقدير التداخل بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات تفوق MHz 100 تقريباً

التوصية ITU R P.528 - طريقة تنبؤ بالانتشار من أجل الخدمات المتنقلة للطيران وخدمات الملاحة الراديوية العاملة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات السنتيمترية (SHF)

التوصية ITU R P.530 - بيانات الانتشار وطائق التنبؤ المطلوبة لتصميم أنظمة راديوية للأرض في خط البصر

التوصية 7 ITU R P.617 - تقنيات التنبؤ بالانتشار والبيانات المطلوبة من أجل تصميم أنظمة المراحل الراديوية عبر الأفق
التوصية 44 ITU-R P.844 - العوامل الأيونوسفيرية المؤثرة في تقاسم الترددات في نطاقي الموجات المترية والموجات الديسيمترية (GHz 3-MHz 30)

التوصية 144 ITU-R P.1144 - دليل تطبيق أساليب الانتشار للجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية

التوصية 1406 ITU R P.1406 - آثار الانتشار المتعلقة بالخدمة المتنقلة البرية للأرض والخدمة الإذاعية في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF)

التوصية 1411 ITU R P.1411 - بيانات الانتشار وطرق التنبؤ لتخفيض أنظمة الاتصالات الراديوية قصيرة المدى المعدة للعمل خارج المباني والشبكات المحلية الراديوية في مدى الترددات المتواحة بين 300 MHz و 100 GHz

التوصية 1546 ITU R P.1546 - طريقة التنبؤ من نقطة-إلى-منطقة لخدمات الأرض في مدى الترددات بين 30 MHz و 4 000 MHz

التوصية 2001 ITU-R P.2001 - نموذج انتشار أرضي واسع المدى للأغراض العامة في مدى الترددات من 30 MHz إلى GHz 50

التوصية 2040 ITU-R P.2040 - آثار مواد البناء وهياكل المباني على انتشار الموجات الراديوية فوق 100 MHz تقريباً
ملاحظة - ينبغي استخدام أحدث مراجعة/طبعة من التوصية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية لاتحاد الدولى للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

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

(ب) أن من الأهمية بمكان تحديد مسافة جغرافية دنيا تفصل بين المطارات التي تعمل على نفس قنوات التردد أو على قنوات متقاربة لتفادي التداخلات غير المقبولة من جراء انتشار الأرضي على مسافة طويلة،

وإذ تقر

(ج) بأن التوصية 528 ITU-R P.528 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية من نقطة-إلى-منطقة فيما يتعلق بالخدمة المتنقلة للطيران في مدى الترددات من 100 MHz إلى 30 GHz؛

(د) بأن التوصية 452 ITU-R P.452 تقدم إرشادات بشأن التقييم الفحصي للتداخلات الصغرية بين المطارات المقامة على سطح الأرض عند ترددات تزيد عن 0,1 GHz تقريباً؛

(هـ) بأن التوصية 617 ITU-R P.617 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الانتشار من نقطة-إلى-نقطة (P-P) بالنسبة إلى أنظمة المراحل الراديوية عبر الأفق فيما يتعلق بمدى الترددات الذي يزيد عن 30 MHz، وبالنسبة إلى مدى المسافات من 100 إلى 1 000 km؛

(ز) بأن التوصية 1411 ITU-R P.1411 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بالانتشار فيما يتعلق بخدمات الاتصالات الراديوية خارج المباني ذات المدى القصير (إلى حد 1 km)؛

(و) بأن التوصية 530 ITU-R P.530 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الانتشار من نقطة إلى نقطة فيما يتعلق بأنظمة خط البصر الأرضية؛

(ز) بأن التوصية 1546 ITU-R P.1546 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ من نقطة-إلى-منطقة بقيم شدة المجال في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) بالاستناد في المقام الأول إلى تحاليل إحصائية للبيانات التجريبية؛

- ز) بأن 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) بأن التوصية ITU-R P.2040 تقدم توجيهات بشأن آثار خواص مواد البناء وهياكل المباني على انتشار الموجات الراديوية،

توضي

باستعمال الإجراء الوارد في الملحق من أجل التقييم المفصل لمستويات الإشارة من نقطة-إلى-منطقة فيما يتعلق بهذه الخدمات.

ملاحظة - قد تحدث أيضاً مسارات انتشار طويلة المدى في النطاق VHF عبر طبقة الأيونوسفير. ويرد تلخيص لهذه الأساليب في التوصية ITU-R P.844.

الملحق

جدول المحتويات

الصفحة

5	.....	مقدمة.....	1
6	.....	عناصر النموذج لطريقة التنبؤ بالانتشار.....	2
6	.....	معلومات الدخل.....	3
6	.....	بيانات الدخل الأساسية.....	1.3
7	.....	المظهر الجانبي للمسير الراديوي.....	2.3
9	.....	المناطق المناخية الراديوية.....	3.3
10	.....	مسافات المطراف من الساحل.....	4.3
10	.....	معلومات الأرصاد الجوية الراديوية الأساسية.....	5.3
10	.....	حالة الانتشار التربووسفيري الموجه.....	6.3
11	.....	نصف قطر الأرض الفقال.....	7.3
12	.....	المعلومات التي يتم الحصول عليها من تحليل المظهر الجانبي للمسير.....	8.3
12	.....	إجراء التنبؤ.....	4
12	.....	نظرة عامة.....	1.4
12	.....	الانتشار في خط البصر (بما في ذلك التأثيرات قصيرة الأجل).....	2.4
13	.....	الانتشار بالانعراج.....	3.4
20	.....	الانتشار بالتناثر التربووسفيري	4.4
20	.....	الانتشار الناتج عن الانتشار التربووسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات.....	5.4
22	.....	خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي 50% من المواقع.....	6.4
24	.....	تغير الخسارة حسب الموقع.....	7.4
25	.....	خسارة الدخول إلى المباني.....	8.4
25	.....	خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي $p_L\%$ من المواقع.....	9.4
26	.....	شدة المجال التي يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي $p_L\%$ من المواقع.....	10.4

27	.....	المرفق 1 للملحق 1 - تحليل المظهر الجانبي للمسير.....	
27	.....	مقدمة.....	1
27	.....	رسم المظهر الجانبي للمسير.....	2
29	.....	طول المسير.....	3
29	.....	تصنيف المسيرات.....	4
30	.....	اشتقاق المعلمات من المظهر الجانبي لمسير.....	5
30	.....	زاوية ارتفاع الأفق فوق الأفق المحلي لهوائي الإرسال، θ_t	1.5
30	.....	مسافة أفق الهوائي المرسل، d_{lt}	2.5
31	.....	زاوية ارتفاع أفق الهوائي فوق الأفق المحلي المستقبل، θ_r	3.5
31	.....	مسافة أفق الهوائي المستقبل، d_{lr}	4.5
31	.....	المسافة الزاوية θ (mrad).....	5.5
31	.....	نموذج "الأرض الممهدة" وارتفاعات الهوائي الفعالة.....	6.5
34	.....	المرفق 2 للملحق 1 - تقريب لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلى العكسي.....	
35	.....	المرفق 3 للملحق 1 - طريقة بديلة لحساب خسارة الانتعاج في الأرض الكروية، L_{bulls}	

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 مدى الترددات من 30 MHz إلى 6 000 MHz. وتتبأ 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 الموقع، ضمن المدى ($1\% \leq p_L \leq 99\%$). ومن ثم يمكن استعمال هذه الطريقة للتتبؤ بمنطقة الخدمة وتيسيرها على حد سواء لمستوى إشارة (التغطية) مرغوب (مرغوبة)، وبالانخفاضات في منطقة الخدمة هذه وتيسيرها بفعل الإشارات (التدخل) في نفس القناة أو في القناة المجاورة.

ونموذج انتشار هذه الطريقة تنازلي يعنى أنه يعامل كلا المطرافين الراديويين على قدم المساواة. فمن منظور النموذج، لا يهم أي من المطرافين هو المرسل وأيهما هو المستقبل. لكن تسهيلاً لوصف النموذج، يُستعمل مصطلحاً "المرسل" و"المستقبل" للدلالة على المطرافين 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 للموقع. ثم تحدد خصائص عنصر تغير الموقع إحصائياً بالنسبة لموقع المستقبل بالإضافة إلى عنصر خسارة الدخول إلى المباني من التوصية ITU-R P.2040. بعدها، يتم القيام بإجراء التحويل إلى شدة مجال كهربائي بالوحدة ($\mu\text{V/m}$) بالنسبة إلى قدرة مشعة فعالة قدرها 1 kW.

وهذه الطريقة معدّة، بالدرجة الأولى، من أجل الاستعمال مع أنظمة تستعمل هوائيات ذات كسب منخفض. ييد أن التغيير في الدقة عند استعمال هوائيات ذات كسب عالي لا يؤثر إلا في عنصر الانتشار التروبوسفيري من محمل الطريقة، ويكون التغيير في التنبؤات طفيفاً. فمثلاً، حتى في حالة هوائيين كسبهما 40 dBi على طرق الوصلة، لا يزيد التقدير المفترض لإشارات الانتشار التروبوسفيري عن 1 dB.

وتناسب هذه الطريقة التنبؤات في أنظمة الاتصالات الراديوية التي تستخدم دارات أرضية تتراوح أطوال مسيراتها بين km 0,25 ونحو 3 000 km مسافةً، على أن يكون كلا المطرافين 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 بمسير 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 لقيم المواقع، بالنسبة للمقادير المقابلة للمناطق الأساسية التي تغطيها.

وعليه، ثُقِرِضَ قدرة مستعملٍ هذه التوصية على توصيف المظاهر الجانبية المفصلة لتضاريس الأرض (أي الارتفاعات فوق متوسط مستوى البحر) كدوال في المسافة على امتداد مسارات الدائرة العظمى (أي المحنبيات الجيوديسية) بين الأجهزة المطرافية، 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 متsequ 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 التغطية في الموقع لهذه التوصية وعنصر الدخول إلى المباني للتوصية ITU-R P.2040 عبر إحصائيات التوزيعات اللوغاريتمية العادية بالنسبة لموقع المستقبل. وعلى الرغم من أن عملية التحديد الإحصائي للخصوصيات هذه للانتشار من نقطة إلى منطقة قد يتبع عنها مشكلة وهي أن النموذج الإجمالي يكون لا تنازرياً (أي غير تبادلي)، ينبغي على مستعملٍ هذه التوصية أن يلحظوا أن التغيير في الموقع يمكن تطبيقه، من حيث المبدأ، على أي من طرق المسير (يعنى أي من المطرافين)، أو حتى على كليهما (أي

على المرسل والمستقبل معاً). ييد أنه لا يوجد ما يدعو لتصحيح التغير في الموقع إلا في الحالات التي يجهل فيها الموقع الدقيق لمطراف معين ويلزم تمثيل إحصائي للموقع المحتملة لذاك المطراف. ولا يرجح حدوث حالات عديدة يطبق فيها ذلك على موقع المرسل على نحو ذي مغزى. أما إذا علم موقعا هذين المطوفين بدقة، واستعمل هذا الإجراء بأسلوب من نقطة إلى نقطة، فلا تطبق هذه التوصية إلا بقيمة $p_L = 50\%$.

ويصير الأمر نفسه بالنسبة لخسارة الدخول إلى المبني. غير أن الأمر يكون أكثر تعقيداً بقليل مما عليه الحال بالنسبة للتغير في الموقع نظراً لأن متوسط تصحيح خسارة الدخول ليس صفرأ. ففي طرف المرسل، يتبعن على المستعملين إضافة خسارة الدخول إلى المبني إلى خسارة الإرسال الأساسية إذا كان المرسل داخل مبني. غير أنه يجب على المستعملين أن يتبعوا إلى أن قيم الخسارة المتوسطة قد تكون مضليلة 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 يتلف حول الأرض الملساء والتضاريس الأرضية غير المنتظمة وحالات المسير الفرعية)؛
- الانتشار التربوبوسفيري؛
- الانتشار غير المنتظم (الانتشار التربوبوسفيري الموجه والانعكاس والانكسار على الطبقات)؛
- التغير في الموقع؛
- خسارة الدخول إلى المبني (من التوصية ITU-R P.2040).

3 معلومات الدخل

1.3 بيانات الدخل الأساسية

يصف الجدول 1 بيانات الدخل الأساسية التي تعرف المطارات الراديوية والتردد والنسبة المئوية من الوقت والموقع التي تستلزم تنبؤاً بشأنها. يتم إدراج خطى العرض والطول للمحطتين كمدخلين أساسين من منطلق أنهما لازمان للحصول على المظهر الجانبي لمسيير. ويتعين الحصول على معلومات الأرصاد الجوية الراديوية لموقع واحد مصاحب للمسير الراديوي، فيما ينبغي انتقاء مركز المسير بالنسبة لمسيير طويل. ومن المناسب الحصول على معلومات الأرصاد الجوية الراديوية لموقع المرسل عند التنبؤ بمنطقة تغطيته.

الجدول 1

بيانات الدخل الأساسية

الوصف	الحد الأقصى	الحد الأدنى	المعلمة
(GHz)	6,0	0,03	f (GHz)
النسبة المئوية لسنة متعددة التي يتم فيها تجاوز مستوى الإشارة المحسوبة	50,0	1,0	p (%)
النسبة المئوية للموقع التي يتم فيها تجاوز مستوى الإشارة المحسوبة	99	1	p_L (%)
خط عرض المرسل، المستقبل	80+	80-	(درجات) φ_t, φ_r
خط طول المرسل، المستقبل (موجب = شرق غرينتش)	180,0	180,0-	(درجات) ψ_t, ψ_r
ارتفاع مركز الهوائي فوق مستوى الأرض	3 000	1	h_{tg}, h_{rg} (m)
استقطاب الإشارة، رأسيا أم أفقي مثلاً			الاستقطاب
عرض الشارع. ينبغي استخدام القيمة 27 ما لم تتوفر قيم محلية محددة.	100	1	w_s (m)

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

2.3 المظهر الجانبي للمسير الراديوي

تطلُب المظاهِر الجانبيَّة للمسير المستخدمة في الطريقة الموصوفة أدناه بيانات خاصة بالمسير لفئات ارتفاعات التضاريس وبإضافة إلى ذلك إما فئات الجلبة الخاصة بالمسير (تعطية الأرض) أو ارتفاعات السطح الخاصة بالمسير على طول المسير. وتشير ارتفاعات التضاريس إلى الأرض الجرداء لتمييزها عن ارتفاعات السطح التي تشمل الهياكل الطبيعية أو التي من صنع الإنسان فوق التضاريس. ويلزم المظهر الجانبي للتضاريس الأرض للمسير الراديوي من أجل تطبيق طريقة التبُؤ بالانتشار. وهو يتألف مبدئيًّا من ثلات 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 التضاريس لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i فوق مستوى البحر (m)

(1c) g_i : ارتفاع السطح لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب i فوق مستوى البحر (m)

حيث:

$i: (n, 2, 3, \dots, 1)$ = دليل نقطة المظهر الجانبي

n : عدد نقاط المظهر الجانبي.

ولا ينبغي إضافة ارتفاع الجلبة إلى ارتفاعات التضاريس عند المرسل والمستقبل. وبالتالي، g_1 هو ارتفاع التضاريس عند المرسل بالأمتار فوق مستوى سطح البحر و g_n هو ارتفاع التضاريس عند المستقبل بالأمتار فوق مستوى سطح البحر.

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

لاحظ أن نقطة المظهر الجانبي الأولى تكون عند المرسل. إذًا، 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 المظاهِر الجانبيَّة تستخرج من مجموعات البيانات المتعلقة بارتفاع التضاريس الرقمي والغطاء الأرضي (الجلبة)، فإن التباعد المناسب سيتشابه نظرًا مع تباعد نقاط المصادر في مجموعات البيانات بدقة متماثلة فيما بينها. وليس مطلوبًا تساوي تباعد نقاط المظهر الجانبي، ولكن من المستحسن أن يكون التباعد هو نفسه تقريبًا بالنسبة إلى المظهر الجانبي كله.

ويمكن استخدام طريقتين لحساب المظهر الجانبي لاشتقاق ارتفاع السطح g_i ، وهو موضحتان في الأقسام التالية. فتستخدم الأولى بيانات الغطاء الأرضي لتحديد ارتفاع الجلبة التمثيلي الذي يمكن إضافته إلى ارتفاعات التضاريس، وتستخدم الثانية بيانات ارتفاع السطح، حيث تتضمن الارتفاعات الجلبة دون تمييز صريح بين التضاريس والجلبة.

1.2.3 بيانات التضاريس والغطاء الأرضي

تضمن هذه الطريقة:

- إنشاء ملف للمظهر الجانبي للتضاريس باستخدام ارتفاعات الفعلية للتضاريس؛

- على أساس فئات الجلبة، إضافة ارتفاعات التمثيلية للجلبة إلى ملف المظهر الجانبي للتضاريس.

وإذا استخدمت هذه الطريقة لحساب خسارة الانعراج باستخدام المظهر الجانبي للتضاريس بدون الجلبة، فسيكون تقدير خسارة الانعراج أقل من قيمتها في البيانات ذات الجلبة، مقارنةً بالتمثيل المشترك للتضاريس والجلبة. وأعدّت وأجيزت هذه الطريقة إزاء بيانات

التضاريس الرقمية، من خلال دمج بيانات التضاريس الرقمية مع فئات الجلبة التمثيلية الإحصائية بدلاً من الاستعمال المباشر لبيانات ارتفاع السطح، حيث تشمل الارتفاعات الجلبة بدون تمييز واضح بين التضاريس والجلبة. ومن المهم ملاحظة أن تقدير خسارة الانتعاج قد يكون مبالغًا فيه إذا تضمنت ارتفاعات التضاريس، h_i ، هيكل طبيعية أو من صنع الإنسان فوق التضاريس. وإذا توفّرت بيانات دقيقة عن ارتفاع السطح يمكن الحصول على تقدير محسن للخسارة المتعلقة بالانتشار. باستخدام طريقة حساب المظهر الجانبي الموسع في الفقرة 2.2.3، أو يمكن استكشاف تقنيات أخرى مثل تتبع الأشعة الثلاثية الأبعاد، تشمل تأثير الانتعاج حول المبني.

وفي هذه الطريقة، يجري تقريب المظهر الجانبي لارتفاع السطح باستخدام ارتفاعات التضاريس مع إضافة ارتفاعات الجلبة التمثيلية بناء على فئات الجلبة في كل نقطة من نقاط المظهر الجانبي.

وتعطى ارتفاعات السطح، g_i ، بواسطة:

$$(1d) \quad g_i = \begin{cases} h_i + \text{representative clutter height of } i\text{-th profile point (m)} & \text{for } i = 2, \dots, n - 1 \\ h_1 & \text{for } i = 1 \\ h_n & \text{for } i = n \end{cases}$$

و عند استخدام هذه الطريقة، يجب ألا يقل تباعد المظاهر الجانبية عن 30 متراً.

ويتعلق "ارتفاع الجلبة التمثيلي" 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 الراديوسي يمر فوق مناطق حرارية أو حضرية حيث يحدث انتعاج أو انسداد في مسارات فرعية، يزداد الارتفاع الفعلي للمظهر الجانبي لأن الإشارات الراديوية ستعبر فوق الجلبة. وبالتالي يمكن الحصول على تمثيل أنساب للمظهر الجانبي عن طريق إضافة ارتفاعات لاحتساب الجلبة.

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

وهذا ينطبق بشكل خاص على المناطق الحضرية ذات المبني الشاهقة. وتغطي فئات المناطق مثل "الحضرية الكثيفة" أو "المناطق الحضرية ذات المبني الشاهقة" لأن تكون مرتبطة بارتفاعات مبني بواقع 30 متراً أو أكثر. ولكن تتخلل بعض مناطق المبني الشاهقة فسح واسعة فيما بينها، ويمكن أن تتسع مسارات منخفضة الخسارة تمر خلالها بدلاً من فوق الأسطح. وقد تكون القيم الأصغر للارتفاعات التمثيلية بدلاً من ارتفاعات الجلبة المادية مناسبة في هذه الحالات.

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

وبالتالي، فإن ارتفاع الجلبة التمثيلي لا يتوقف فقط على الارتفاع المادي النمطي للأشياء المسيبة للجلبة وإنما أيضاً على التباعد الأفقي لهذه الأشياء والفجوات بينها. عموماً، ليس 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. بل تستخدم بعض الإدارات نماذج تصنيف الجلبة المطورة على أساس البيانات الجغرافية المكانية المحلية أو الإقليمية التي جرى التتحقق من صحتها مقابل القياسات. ويقترح الجدول 2 قيمًا افتراضية لارتفاعات الجلبة التمثيلية، يمكن استخدامها في حالة عدم وجود معلومات محددة بشأن المنطقة/البلد.

الجدول 2

القيم الافتراضية لارتفاعات الجلبة التمثيلية

الارتفاع التمثيلي للجلبة (m)	فئة الجلبة
أضاف إلى معادلة المظهر الجانبي (1c) بالنسبة إلى $i = 2$ إلى $n - 1$	
0	مياه/بحر
0	منطقة ريفية/مفتوحة
10	ضواحي
15	حضرية/أشجار/غابة
20	حضرية كثيفة

2.2.3 بيانات التضاريس والسطح

في هذه الطريقة، يستخرج المظهر الجانبي لارتفاع السطح مباشرة من بيانات ارتفاع السطح.

وتعطى ارتفاعات السطح، g_i ، بواسطة:

$$(1e) \quad g_i = \begin{cases} \text{surface height of } i\text{-th profile point above sea level (m)} & \text{for } i = 2, \dots, n - 1 \\ h_1 & \text{for } i = 1 \\ h_n & \text{for } i = n \end{cases}$$

علمًا بأن بيانات ارتفاع السطح ينبغي استخدامها باستثناء مماثلة لتبعاد المظهر الجانبي، وعند استخدام هذه الطريقة، قد يؤدي التباعد الذي يقل عن 10 أمتار إلى المبالغة في تقدير خسارة الإرسال الأساسية لأن البيانات ستتصف العقبات الفردية. وقد أظهرت الاختبارات المكثفة أن استخدام تباعد المظهر الجانبي الذي يزيد عن 50 متراً لا يعطي أي فائدة إضافية قياساً بالطريقة الموصوفة في الفقرة 1.2.3.

3.3 المناطق المناخية الراديوية

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

لأغراض مرجعية، قد تود الإدارة استخدام الأكفة الساحلية على النحو الوارد في الخارطة العالمية الرقمية للاتحاد الدولي للاتصالات (IDWM) المتاحة من مكتب الاتصالات الراديوية (BR): <https://www.itu.int/pub/R-SOFT-IDWM>. 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 حُزنلت معلومات المنطقة في نقاط متتالية على طول المسير الراديوسي، ينبغي افتراض أن التغيرات تحدث في منتصف المسافة بين نقاط ذات شفرات منطقة مختلفة.

الجدول 3

المناطق المناخية الراديوية

التعريف	الشفرة	نطاق المنطقة
الأراضي الساحلية أو المناطق الشاطئية، أي الأرضي 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 تقريرية إذا لم تتوفر بيانات دقيقة تتعلق بالارتفاع البالغ 100 m	A1	ساحلية
كل الأرضي غير المناطق الساحلية والشواطئ المعرفة " بالأرضي الساحلية " أعلاه	A2	داخلية بحرية
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 عابرًا للمنطقة B، فتلزم معلمتان إضافيتان (d_{ct} و 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 لوصف قابلية التغير في الانكسارية الجوية.

- ΔN (وحدات-N/km)، هو متوسط معدل التفاوت للانكسارية الراديوية في الكيلومتر الأدنى من الجو الذي يوفر البيانات التي يمكن استناداً إليها حساب نصف قطر الأرض الفعال المناسب لتحليل المظهر الجانبي للمسير والانعراج بالعواقب. ويلاحظ أن ΔN في هذا الإجراء تكون كمية موجبة.

- N_0 (وحدات-N)، هي الانكسارية على مستوى سطح البحر وستعمل فقط في نموذج الانتشار التروبوسفيري كمقاييس 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. وترتدى الخرائط في الملفين DN50.txt وN050.txt، على التوالي. وترتدى البيانات من 0° إلى 360° في خط الطول ومن -90° إلى $+90^{\circ}$ في خط العرض، باستثناء $1,5^{\circ}$ في الخطين. وستعمل البيانات بالاقتران مع ملفي البيانات المصاحبة LAT و LON في خطوط العرض وخطوط الطول، على التوالي، لل نقاط المراقبة (النقاط الشبكية) في الملفين DN50.txt وDN50.txt. وبالنسبة إلى أي موقع يختلف عن النقاط الشبكية، يمكن اشتقاء المعلمة عند الموقع المطلوب بإجراء استكمال داخلي ثانوي الخطية على القيم عند أقرب أربع نقاط شبكية، كما هو موضح في التوصية ITU-R P.1144.

الجدول 4

نواتج رقمية تكميلية

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

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

ترتدى هذه الخرائط الرقمية في الملف المضغوط [R-REC-P.1812-8-202509-I!!ZIP-E.zip](#).

6.3 حالة الانتشار التروبوسفيري الموجه

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

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

$$(2) \quad \mu_1 = \left(10^{\frac{-d_{tm}}{16-6.6\tau}} + 10^{-5(0.496 + 0.354\tau)} \right)^{0.2}$$

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

٩

$$(3) \quad \tau = 1 - \exp(-0.000412d_m^{2.41})$$

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

d_{lm} : أطول جزء بري مستمر داخل الأرضي من مسیر الدائرة العظمى (km).

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

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

$$(4) \quad \begin{aligned} \mu_4 &= \mu_1^{(-0.935 + 0.0176|\phi|)} && \text{for } |\phi| \leq 70^\circ \\ \mu_4 &= \mu_1^{0.3} && \text{for } |\phi| > 70^\circ \end{aligned}$$

حيث:

٦: خط عرض منتصف المسير (درجات).

: β_0 احسب

$$(5) \quad \beta_0 = \begin{cases} 10^{-0.015|\varphi| + 1.67} \mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 4.17 \mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{cases}$$

7.3 نصف قطر الأرض الفعال

يمدد عاماً نصف قُطْر الأرض، الفعال المتوسط k_{50} للمسير يواسطه المعادلة التالية:

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

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

ويُمكن أن تحدد القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعال a_e بواسطة المعادلة التالية:

$$(7a) \quad a_\rho = k_{50} a \quad \text{km}$$

يبينما يُحدد نصف قُطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه ملدة β_0 ، a_β ، بواسطة المعادلة التالية:

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

حيث $k_\beta = 3,0$ هي قيمة تقديرية لعامل نصف قطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه لمدة β_0 . ويحدد نصف قطر فعلي عام للأرض حيث $a_p = a_e$ لمدة 50% من الوقت و $a_p = a_\beta$ 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 الم��ق 1 من هذا الملحق معلومات حول اشتراك المظهر الجانبي للمسير وبنائه وتحليله.

4 إجراء التنبؤ

1.4 نظرية عامة

تناول هذه الفقرة بالوصف إجراء التنبؤ بكامله. أولاً، تُقيّم خسارة الإرسال الأساسية، L_b (dB)، التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية السنوية من الوقت المطلوب، $p\%$ ، وفي 50% من الواقع حسب الوصف في الفقرات 6.4-2.4 (أي خسائر الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتشار في خط البصر (LoS) والانتشار بالانعراج والانتشار بالانتشار التربوسيفيري والانتشار التربوسيفيري الموجي والانعكاس على الطبقات وتحميم الآليات الانتشار هذه للتتبُّؤ بخسارة الإرسال الأساسية، على التوالي). أما في الفقرتين 7.4-8.4، فيرد وصف لطائق لتضمين تأثيرات التغيير في الموقع وخسارة الدخول إلى المباني. وفي النهاية تقدم الفقرة 10.4 صيغًا تعزو خسارة الإرسال الأساسية إلى شدة المجال (Kw μ V/m) (dB) بالنسبة إلى 1 من القدرة المشعة الفعالة.

الجدول 5

قيم معلمات مستخلصة من تحليل المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
d	مسافة مسیر الدائرة العظمى (km)
d_{ls}, d_{lr}	المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال والأفق المقابل لهما (km)
θ_b, θ_r	زاويا ارتفاع الأفق عند الإرسال والاستقبال (mrad)
θ	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
h_{ls}, h_{rs}	ارتفاع مركز الهوائي فوق المستوى المتوسط للبحر (m)
h_{lc}, h_{rc}	h_{ls} و h_{rs} على التوالي
h_{le}, h_{re}	الارتفاع الفعال للهوائي فوق الأرض (m) لنموذج الانتشار الموجي/الانعكاس على الطبقات وعلى النحو المحدد في الم��ق 1 بالملحق 1
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.

تُحدَّد خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتشار في الفضاء الحر بالمعادلة:

$$(8) \quad L_{bfs} = 92.4 + 20 \log f + 20 \log(d_{fs}) \text{ dB}$$

حيث:

ـ التردد (GHz)

ـ المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال (km): d_{fs}

$$(8a) \quad d_{fs} = \sqrt{d^2 + \left(\frac{h_{ts} - h_{rs}}{1000}\right)^2}$$

ـ مسافة مسیر الدائرة العظمى (km): d

ـ ارتفاع هوائي الإرسال فوق سطح البحر (masl): h_{ts}

ـ ارتفاع هوائي الاستقبال فوق سطح البحر (masl): h_{rs}

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

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

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

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:

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

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:

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

3.4 الانتشار بالانعراج

تحسب 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 العائق. ويستخدم هذا الجزء من الطريقة مرتين: للمظهر الجانبي الفعلي للمسير، وللمظهر الجانبي الأملس عدم 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 تقديرًا لخسارة الانعراج لجميع أنماط المسيرات سواء كانت عبر البحر أم البر أم الأراضي الساحلية وسواء كان المسير أملساً أم وعراً وسواء كان على خط البصر أم عابراً للأفق.

تُستعمل طريقة الانعراج هذه عادة لمتوسط نصف قطر الأرض الفعال. وعند الحاجة إلى تنبؤ إجمالي بالنسبة إلى ($p = 50\%$)، تنتهي الحاجة إلى حساب آخر لأنعراج.

وفي الحالة العامة عندما يكون ($p < 50\%$)، يجب إجراء حساب الانعراج كثة ثانية لعامل نصف قطر الأرض الفعال المساوي 3. ويتوفر هذا الحساب الثاني تقديرًا 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 الانتعاج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت، بالنسبة إلى ($p \leq 50\% \leq 1\%$)، باستعمال عملية التحديد أو الاستكمال الداخلي الموضحة في الفقرة 5.3.4.

وتلجز الطريقة أعلاه لعملية تقرير خسارة انتعاج حد سكين واحدة كدالة معلمة دون أبعاد، v ، وتعطى كما يلي:

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

يلاحظ أن ($0 \approx -0.78 - J$)، وهذا يُعرف الحد الأقل الذي ينبغي استعمال هذا التقرير عنده. هنا وتُضبط (v) J بقيمة الصفر لكل ($v \leq -0.78$).

ويوضح حساب الانتعاج الكلي في الفقرات الفرعية على النحو التالي:

تصف الفقرة 1.3.4 جزء بولينغتون من طريقة الانتعاج. وهو يستخدم مرتين لكل حساب انتعاج من أجل قيمة فعالة معينة لنصف قطر الأرض. وفي المرة الثانية يتم تعديل ارتفاعات الهوائي وتتصدر جميع ارتفاعات المظهر الجانبي.

وتصف الفقرة 2.3.4 جزء الأرض الكروية من نموذج الانتعاج. وهو يستخدم مع ارتفاعات الهوائي نفسها المستخدمة في المرة الثانية من جزء بولينغتون 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 للانتعاج من أجل قيمة فعالة معينة لنصف قطر الأرض. ونظراً للطريقة التي يستخدم فيها جزء بولينغتون والأرض الكروية، بات الحساب الكامل يُعرف بنموذج "دلتا بولينغتون".

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

1.3.4 جزء بولينغتون من حساب الانتعاج

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

إيجاد 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 يتحدد مؤشر المظهر الجانبي i قيماً تتراوح بين 2 و 1 - n .

وتحسب ميل الخط من المرسل إلى المستقبل بافتراض مسیر على خط البصر:

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

ويجب الآن أن تؤخذ حالتان بعين الاعتبار.

الحالة I: مسیر الانتعاج على خط البصر

في حال ($S_{tim} < S_{tr}$)، يكون مسیر الانتعاج على خط البصر.

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

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

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمًا تتراوح بين 2 و n .

وفي هذه الحالة، تعطى خسارة حد السكين 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.

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

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيمًا تتراوح بين 2 و n .

وتحسب مسافة نقطة بولينغتن من المرسل:

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

وتحسب معلمة الانعراج، v_b ، لنقطة بولينغتن:

$$(19) \quad v_b = \left[h_{tc} + S_{tim} d_{bp} - \frac{h_{tc}(d - d_{bp}) + h_{rc} d_{bp}}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_{bp}(d - d_{bp})}}$$

وفي هذه الحالة، تعطى خسارة حد السكين 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:

$$(21) \quad L_{bull} = L_{uc} + \left[1 - \exp \left(\frac{-L_{uc}}{6} \right) \right] (10 + 0.02d) \quad \text{dB}$$

2.3.4 خسارة الانعراج في الأرض الكروية

وتحسب خسارة الانعراج، L_{dsph} ، في الأرض الكروية لارتفاعي الهوائي h_{tesph} و h_{resph} (m) الفعالين، على النحو التالي.

وتحسب المسافة الهامشية على خط البصر لمسير أملس:

$$(22) \quad d_{los} = \sqrt{2a_p} \left(\sqrt{0.001h_{tesph}} + \sqrt{0.001h_{resph}} \right) \quad \text{km}$$

وتعد القيم التي يتعين استخدامها من أجل a_p في الفقرة 5.3.4. ويحدد ارتفاعاً هوائي الفعالين h_{resph} و h_{tesph} في المعادلتين (38a) و (38b).

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

وبحلaf ذلك، يُستمر على النحو التالي:

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

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

حيث:

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

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

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

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 الانتعاج، h_{req} , ويعطى بما يلي:

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

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

وبحلaf ذلك، يُستمر على النحو التالي:

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

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

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

إذا كانت الخسارة L_{dft} سالبة، تُنعدم خسارة الانتعاج في الأرض الكروية L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانتعاج في الأرض الكروية.

وبحلaf ذلك، يُستمر على النحو التالي:

وتحسب خسارة الانعراج في الأرض الكروية بالاستكمال الداخلي:

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

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 الكلية 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 $\sigma = 0,003 \text{ S/m}$ وتحسب الخسارة L_{dft} باستخدام المعادلات (29) حتى (36) وتدعى النتيجة $L_{dfiland}$.

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

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

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

حيث ω هو شطر المسير فوق البحر.

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

العامل المقيس لسماحية السطح في الاستقطاب الأفقي والرئيسي:

$$(29a) \quad K_H = 0036 (a_{dft} f)^{-1/3} \left[(\epsilon_r - 1)^2 + \left(\frac{18\sigma}{f} \right)^2 \right]^{-1/4} \quad (\text{أفقي})$$

و

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

إذا تضمن متوجه الاستقبال المكونتين الأفقية والرأسي، كأن يكون دائرياً أو مائلاً مثلاً، يفكك إلى مكونتين أفقية ورأسي، وتحسب كل منها على حدة وتحمع النتيجة بجمع متوجه لاتساع المجال. ولن تكون عملية التفكيك هذه ضرورية في الحالة العملية لأنه يمكن فوق 300 MHz استعمال قيمة قدرها 1 من أجل β_{dft} في المعادلة (30).

وتحسب 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 المقيسة:

$$(31) \quad X = 21.88 \beta_{dft} \left(\frac{f}{a_{dft}^2} \right)^{1/3} d$$

والارتفاع المقيّس 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:

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

وتحدد 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:

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

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

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

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

4.3.4 نموذج "دلتا بولينغتون" لخسارة الانتعاج الكاملة

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.3.4 للاحترافات (g_i) في المظهر الجانبي للمسير وارتفاعات الهوائي (h_{tc}, h_{rc}). وتحدد خسارة انتعاج بولينغتون الناتجة في المسير الفعلي بالمساواة $L_{bull} = L_{bulb}$ على النحو المعطى في المعادلة (21).

ويقدم المرفق 3 بهذا الملحق طريقة بديلة لحساب قيمة L_{bulb} دون استخدام طريقة تحليل المظهر الجانبي للتضاريس.

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

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

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

حيث يعطى ارتفاعاً الأرض المتساء عند المرسل والمستقبل h_{std} و h_{srd} في الفقرة 2.6.5 من المرفق 1 بهذا الملحق. وتحدد خسارة الانتعاج بطريقة بولينغتون لهذا المسير الأملس، $L_{bull} = L_{bulb}$ ، على النحو المعطى بالمعادلة (21).

وُتستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 2.3.4 لحساب خسارة الانتعاج 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 الانتعاج في مسیر عام بما يلي:

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

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

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

وفي حال $P = 50\%$ ، تعطى خسارة الانتعاج غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $p\%$ من الوقت، L_{dp} ، بالخسارة L_{d50} وفي حال ($p < 50\%$)، فإن خسارة الانتعاج غير المتجاوزة خلال النسبة $p\%$ من الوقت، L_{dp} ، تحسب على النحو التالي.

يُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 4.3.4 لحساب خسارة الانتعاج، L_d غير المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة $\beta_0\%$ من الوقت $a_p = a_\beta$ من أجل نصف قطر الأرض الفعال، كما تعطى بالمعادلة (7b). وتحدد خسارة الانتعاج خلال نسبة مئوية معينة $\beta_0\%$ من الوقت $L_d = L_{d\beta}$ بالمساواة.

ويتحكم في تطبيق القيمتين المحتملتين لعامل نصف قطر الأرض الفعال عامل استكمال داخلي F_i يستند إلى توزيع لوغاريمى عادى لخسارة الانتعاج على مدى ($\beta_0\% \leq p \leq 50\%$)، ويتم الحصول عليه بالمعادلات:

$$(40) \quad F_i = \begin{cases} 0 & \text{if } p = 50\% \\ \frac{I(p/100)}{I(\beta_0/100)} & \text{if } \beta_0\% < p < 50\% \\ 1 & \text{if } 1\% \leq p \leq \beta_0\% \end{cases}$$

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

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

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

ويحدد العامل F_i بالمعادلة (40)، تبعاً لقيم p و β_0 .

ويتم الحصول على متوسط خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانتعاج، 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 للانتعاج 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. وبذلك يعتبر نموذج "الانتشار التروبوسفيري" الذي اعتمدته هذه النوصية تعليمياً تجريبياً لمفهوم الانتشار التروبوسفيري الذي يشمل أيضاً تأثيرات الانتشار الثانوية. ويسمح ذلك بإجراء تنبؤ مستمر متسق بخسارة الإرسال الأساسية في أثناء نسب مئوية من الوقت p تتراوح بين 0,001% و 50%， وتؤدي بذلك إلى وصل نموذج الانتشار الموجة والانعكاس على الطبقات عند نسب مئوية صغيرة من الوقت مع "أسلوب الانتشار" الحقيقي المناسب للمجال المتغير الضعيف الذي يتم تجاوزه في أثناء نسب مئوية أكبر من الوقت.

الملاحظة 2 - لقد تم استقاء هذا النموذج للتنبؤ بالانتشار التروبوسفيري من أجل الأهداف الخاصة بالتبؤ بالتدخل ولا يعتبر مناسباً لحساب شروط الانتشار في أثناء أكثر من 50% من الوقت والتي تؤثر في الجوانب الخاصة بالأداء في أنظمة المرحلات الراديوية عبر الأفق.

وتعطي المعادلة التالية خسارة الإرسال الأساسية العائد إلى الانتشار التروبوسفيري معياراً عنها بوحدة (dB) والتي لا يتم تجاوزها أثناء أية نسبة مئوية من الوقت p أدنى من 50%:

$$(44) \quad L_{bs} = 190.1 + L_f + 20 \log_{10}(d) + 0.573\theta - 0.15N_0 - 10.125 \left[\log_{10}\left(\frac{50}{p}\right) \right]^{0.7} \text{ dB}$$

حيث:

L_f : الخسارة بدلالة التردد

$$(45) \quad L_f = 25 \log_{10}(f) - 2.5 \left[\log_{10}\left(\frac{f}{2}\right) \right]^2 \text{ dB}$$

N_0 : الانكسارية للسطح على مستوى البحر عند منتصف المسير المستمد من الخريطة الرقمية N050.txt

5.4 الانتشار الناتج عن الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات

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

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

حيث:

A_f : إجمالي خسائر الاقتران الثابتة بين الهوائيات وبنية الانتشار غير المنتظم في الجو:

$$(47) \quad A_f = 102.45 + 20 \log(f) + 20 \log(d_{lt} + d_{lr}) + A_{lf} + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \text{ dB}$$

A_{lf} : تصحيح عملي لمراقبة 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} : خسارات الانعراج العائد إلى تأثير حجب الموقع للمحطة المرسلة والمحطة المستقبلة، على التوالي:

$$(48) \quad A_{st,sr} = \begin{cases} 20 \log\left(1 + 0.361\theta_{t,r}'' \left(fd_{lt,lr}\right)^{1/2}\right) + 0.264\theta_{t,r}'' f^{1/3} \text{ dB} & \text{for } \theta_{t,r}'' > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB for } \theta_{t,r}'' \leq 0 \text{ mrad} \end{cases}$$

حيث:

$$(48a) \quad \theta_{t,r}'' = \theta_{t,r} - 0.1 d_{lt,lr} \text{ mrad}$$

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

$$(49) \quad A_{ct,cr} = -3 \exp(-0.25d_{ct,cr}^2) \left\{ 1 + \tanh[0.07(50 - h_{ts,rs})] \right\} \quad \text{dB for } \omega \geq 0.75$$

$$A_{ct,cr} = \begin{cases} -3 \exp(-0.25d_{ct,cr}^2) \left\{ 1 + \tanh[0.07(50 - h_{ts,rs})] \right\} & \text{dB for } d_{ct,cr} \leq d_{lt,lr} \\ 0 & \text{dB for all other conditions} \end{cases} \quad \begin{matrix} \omega \geq 0.75 \\ d_{ct,cr} \leq 5 \text{ km} \end{matrix}$$

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)):)

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

$$(52a) \quad \theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{for } \theta_{t,r} \leq 0.1 d_{lt,lr} \\ 0.1 d_{lt,lr} & \text{for } \theta_{t,r} > 0.1 d_{lt,lr} \end{cases} \quad \text{mrad}$$

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

$$(53) \quad A(p) = -12 + (1.2 + 3.7 \cdot 10^{-3} d) \log \left(\frac{p}{\beta} \right) + 12 \left(\frac{p}{\beta} \right)^\Gamma \quad \text{dB}$$

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

$$(54) \quad \beta = \beta_0 \mu_2 \mu_3 \quad \% \quad \mu_2: \text{التصحيح بالنسبة إلى هندسة المسير:}$$

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

ويجب ألا تتجاوز قيمة α مقدار 1:

$$(55a) \quad \alpha = -0.6 - \tau d^{3.1} \varepsilon \cdot 10^{-9}$$

حيث:

$\varepsilon = 3,5$

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 و 2 وفي المفق 1 لهذا الملحق.

6.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي 50% من الواقع

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 الواقع. ولتحاشي عدم الاستمرارية غير المعقولة فيما يتبناه به من خسائر إرسال أساسية افتراضية، يجب خلط نماذج الانتشار السالفة معًا للحصول على قيم معدلة لخسائر الإرسال الأساسية بغية تحقيق تنبؤ إجمالي من أجل النسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي 50% من الواقع.

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

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

حيث:

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

κ : 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 مسیر 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 وانتعاج 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 الانتعاج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية p من الوقت، المعطاة بالمعادلة (41)

L_{bd50} : متوسط خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانتعاج، المعطى بالمعادلة (42)

F_i : عامل الاستكمال الداخلي للانتعاج، 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_{b0} : 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 للانتعاج 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 للانتعاج 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 الموضع، L_{bc} (dB)، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة:

$$(63) \quad L_{bc} = -5 \log(10^{-0.2L_{bs}} + 10^{-0.2L_{bam}}) \quad \text{dB}$$

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 الموجة والانعكاس على الطبقات، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (62).

7.4 تغير الخسارة حسب الموقع

في هذه النوصية، 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. وعما أن التغيير في الموقع يُعرف على نحو يبتعد 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 ومحظوظ التشفير. وتقدم التوصية ITU-R P.1406 إرشادات بشأن نمذجة هذه التأثيرات.

ويبين التحليل المكثف للبيانات أن توزيع شدة المجال المتوسطة المحلية الناجمة عن تغيرات الغطاء الأرضي هو توزيع لوغاريثمي عادي تقريباً. وتعتمد قيم الانحراف المعياري على درجة استبابة التنبؤ وعلى التردد، وقد أظهرت الدراسات التجريبية حدوث انتشار. ويمكن الحصول على القيم التمثيلية للعتبة المئوية الخمسين (50) لتوزيع الانحراف المعياري للتغير حسب الموقع بواسطة المعادلة التالية:

$$(64) \quad \sigma_L = (0.024f + 0.52)w_a^{0.28} \quad \text{dB}$$

حيث:

f : التردد المطلوب (GHz)

w_a : درجة استبابة التنبؤ (m).

ودرجة استبابة التنبؤ هي عرض المساحة المربعة التي يسري عليها التغير. ويمكن لموقع النسب المئوية، $p_L\%$ ، أن تتعذر بين 1% و99%. ولا يصلح هذا المموج لموقع نسب مئوية تقل عن 1% أو تزيد عن 99%.

وتحدد القيم الواردة في الجدول 6 ملائمة للتخطيط لخدمات التلفزيون الرقمي للأرض (DTT). وقد تبين أنها متساوية للعتبة المئوية 93rd لدالة التوزيع التراكمي لقياس هوائي بارتفاع أعلى الأسطح في منطقة تبلغ مساحتها $100 \times 100 \text{ m}$.

الجدول 6

قيم الانحراف المعياري للتغير في الموقع المستعملة في بعض حالات التخطيط

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

وعند وضع المستقبل/المتنقل على الأرض وخارج المباني بينما يكون ارتفاعه فوق الأرض أكبر من أو يساوي ارتفاع الجلبة التمثيلية، فمن المقبول، مع ارتفاعات أعلى، توقع التناقض المطرد للتغير في الموقع إلى حد التلاشي في نقطة ما. وفي هذه التوصية، يمكن الحصول على تغير ارتفاع التغيير في الموقع، $(h)_u$ ، بالعلاقات التالية:

$$(65) \quad \begin{aligned} u(h) &= 1 && \text{for } 0 \leq h < R \\ u(h) &= 1 - \frac{(h - R)}{10} && \text{for } R \leq h < R + 10 \\ u(h) &= 0 && \text{for } R + 10 \leq h \end{aligned}$$

حيث R (m) هو ارتفاع الجلبة التمثيلية في موقع المستقبل/المتنقل. لذا، بالنسبة إلى مستقبل/متنقل موجود خارج المباني، فإن الانحراف المعياري للتغيير في الموقع، σ_L ، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (64) أو من الجدول 6، ينبغي ضربه في دالة تغير الارتفاع، $(h)_u$ ، التي يتم الحصول عليها (65)، وذلك عند حساب قيم خسارة الإرسال الأساسية لقيمة p_L % المختلفة عن 50%.

8.4 خسارة الدخول إلى المباني

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

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

$$(66) \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{be}^2} \quad \text{dB}$$

حيث σ_L ، الانحراف المعياري للتغيير في الموقع على النحو المتحصل عليه بالمعادلة (64) أو من الجدول 6.

9.4 خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p_L % من الوقت وفي L_{loc} من الموضع

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

$$(67a) \quad L_{loc} = 0 \quad (\text{خارج المباني}) \quad \text{dB}$$

$$(67b) \quad L_{loc} = L_{be} \quad (\text{داخل المباني}) \quad \text{dB}$$

: و

$$(68a) \quad \sigma_{loc} = u(h)\sigma_L \quad (\text{خارج المباني}) \quad \text{dB}$$

$$(68b) \quad \sigma_{loc} = \sigma_i \quad \text{dB} \quad (\text{داخل المباني})$$

حيث يرد متوسط خسارة الدخول إلى المباني، L_{be} ، في التوصية ITU-R P.2040، ويتم الحصول على دالة الارتفاع، $u(h)$ ، بالمعادلة (65) والأخراfan المعياريان، σ_L و σ_i ، يتم الحصول عليهما بالمعادلة (64) (أو الجدول 6) وبالمعادلة (66)، على التوالي.

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

$$(69) \quad L_b = \max \left[L_{b0p}, L_{bc} + L_{loc} - I \left(\frac{P_L}{100} \right) \sigma_{loc} \right] \quad \text{dB}$$

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 جبلة المطراف، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (63)

L_{loc} : متوسط قيمة خسارة الموقع الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (67a) و(67b)

$I(x)$: توزيع طبيعي تراكمي عكسي كدالة في الاحتمال، x . ويرد في المرفق 2 لهذا الملحق تقريب للدالة يمكن استعماله عندما تكون $(0,000001 \leq x \leq 0,999999)$

σ : انحراف معياري مركب (أي خسارة الدخول إلى المباني والتغيير في الموقع)، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (68a) و(68b).

ويمكن ملوقع النسبة المئوية، $p_L\%$ ، أن تتغير بين 1% و99%. ولا يصلح هذا النموذج لملوقع نسب مئوية تقل عن 1% أو تزيد عن 99%.

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

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

$$(70) \quad E_p = 199.36 + 20 \log(f) - L_b \quad \text{dB}(\mu\text{V/m})$$

حيث:

L_b : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية $p\%$ من الوقت وفي $p_L\%$ من المواقع، والمحسبة بالمعادلة (69)

f : التردد المطلوب (GHz).

المرفق 1 للملحق

تحليل المظهر الجانبي للمسير

مقدمة 1

يتطلب تحليل المظهر الجانبي للمسير وجود مظهر جانبي لارتفاعات التضاريس الأرضية على طول المسير فوق متوسط مستوى البحر. ويقدم الجدول 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من تحليل المظهر الجانبي للمسير لأغراض نماذج الانتشار.

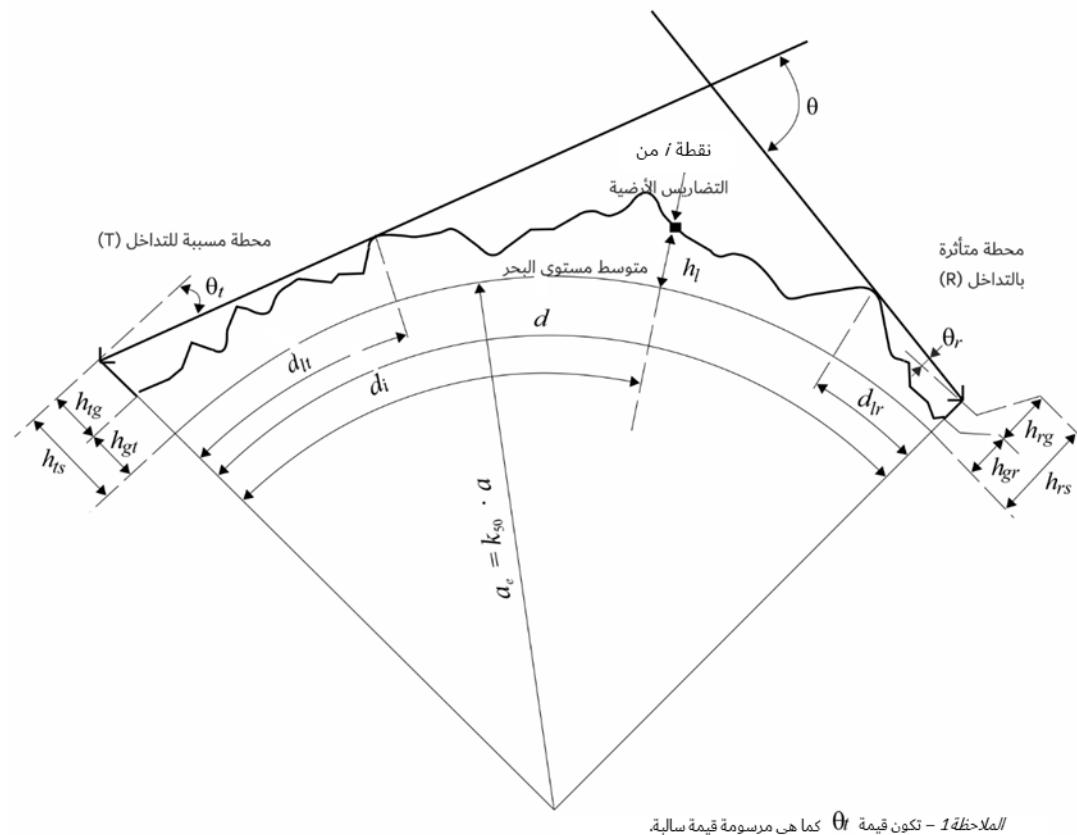
2 رسم المظهر الجانبي للمسير

استناداً إلى الإحديات الجغرافية للمحطة المرسلة (φ_r , ψ_r) والمحطة المستقبلة (φ_s , ψ_s) ينبغي أن تستنق ارتفاعات التضاريس الأرضية (فوق متوسط مستوى البحر) على طول مسیر الدائرة العظمى من قاعدة بيانات طبوغرافية أو من خرائط كفافية كبيرة مناسبة. وقدر 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. وبيني للمظهر الجانبي أن يحتوي على ارتفاع الأرض عند موقعى المحطة المرسلة والمحطة المستقبلة باعتبارهما نقطتي البداية والنهاية. وتأخذ المعادلات التالية أختاء 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 تتوفّر 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 المستقبلة النقطة n . وبهذا يتشكّل المظهر الجانبي للمسير من n نقطة. ويعطي الشكل 1 مثالاً للمظهر الجانبي للمسير عبر ارتفاعات التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر مبيناً المعلمات المختلفة المتعلقة بالتضاريس الأرضية الفعلية.

الشكل 1
مثال للمظهر الجانبي لمسير (عبر الأفق)



P.1812-01

ويحدد الجدول 7 المعلمات المستعملة أو المشتقة أثناء تحليل المظهر الجانبي لمسير.

الجدول 7

تعاريف معلمات المظهر الجانبي لمسير

الوصف	المعلمة
متوسط نصف قطر الأرض المادي (km 6 371)	a
نصف قطر الأرض الفعال (km)	a_e
مسافة مسیر الدائرة العظمى (km)	d
مسافة الدائرة العظمى للنقطة α للمظهر الجانبي من المرسل	d_i
الزيادة التدرجية في المسافة المستعملة في معطيات المظهر الجانبي لمسير منتظم (km) (أي بتباعدات متساوية)	d_{ii}
التردد (GHz)	f
طول الموجة (m)	λ
ارتفاع هوائي المرسل (m) فوق متوسط مستوى البحر (amsl)	h_{ls}
ارتفاع هوائي المستقبل (amsl) (m)	h_{rs}

المجدول 7 (تممة)

الوصف	المعلمة
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_t
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_r
المسافة الزاوية للمسير (mrad)	θ
ارتفاع "الأرض الممدة" فوق متوسط مستوى البحر (amsl) عند موقع المحطة المرسلة (m)	h_{st}
ارتفاع "الأرض الممدة" فوق متوسط مستوى البحر (amsl) عند موقع المحطة المستقبلة (m)	h_{sr}
ارتفاع النقطة n في التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر (m) h_i : الارتفاع الأرضي للمرسل h_n : الارتفاع الأرضي للمستقبل	h_i
وعورة التضاريس الأرضية (m)	h_m
الارتفاع الفعال للهوائي المرسل (m)	h_{te}
الارتفاع الفعال للهوائي المستقبل (m)	h_{re}

3 طول المسير

يمكن الحصول على طول المسير باستعمال هندسة الدائرة العظمى (استناداً إلى متوسط نصف قطر الأرض المادي، a) من الإحداثيات المعرفية للمحطتين المرسلة (φ_s, ψ_s) والمستقبلة (φ_r, ψ_r). ويمكن بدلاً من ذلك تحديد طول المسير من المظهر الجانبي للمسير. وفي الحالات العامة، يمكن الحصول على طول المسير، d (km)، من بيانات المظهر الجانبي للمسير:

$$(71) \quad d = d_n \quad \text{km}$$

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

$$(72) \quad d_i = (i-1)d_{ii} \quad \text{km}$$

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

4 تصنيف المسيرات

يجب ألا يصنف المسير تبعاً لكونه على خط البصر أو عابراً للأفق إلا لأغراض تحديد المسافتين d_{ii} و d_{re} وزاوية الارتفاع θ_t و θ_r ، انظر أدناه. يجب أن يستعمل المظهر الجانبي (LoS) للمسير لتصنيف المسير فيما لو كان في خط البصر أو عبر الأفق استناداً إلى نصف قطر الأرض الفعال، 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 لمرسل).

ويكون الاختبار الخاص بشروط المسير عبر الأفق على النحو التالي:

$$(73) \quad \theta_{max} > \theta_{id} \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(74) \quad \theta_{max} = \max_{i=2}^{n-1} (\theta_i) \quad \text{mrad}$$

θ_i : زاوية الارتفاع بالنسبة إلى النقطة i في التضاريس الأرضية

$$(75) \quad \theta_i = 1000 \arctan \left(\frac{h_i - h_{ts}}{10^3 d_i} - \frac{d_i}{2a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

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)

$$(76) \quad \theta_{td} = 1000 \arctan \left(\frac{h_{rs} - h_{ts}}{10^3 d} - \frac{d}{2a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث:

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

d : المسافة الكلية لمسير الدائرة العظمى (km)

a_e : متوسط نصف قطر الأرض الفعال المناسب للمسير (المعادلة (7a)).

5 اشتقاق المعلمات من المظهر الجانبي لمسير

يعرض الجدول 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من المظهر الجانبي لمسير.

1.5 زاوية ارتفاع الأفق فوق الأفق المحلي هوائي الإرسال، θ_t

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

$$(77) \quad \theta_t = \max (\theta_{max}, \theta_{td}) \quad \text{mrad}$$

وتكون θ_{max} كما هي محددة في المعادلة (74). ومن ثم، في مسیر 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 (74).

$$(78) \quad d_{lt} = d_i \quad \text{km} \quad \text{for } \max(\theta_i)$$

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

$$(78a) \quad v_{max} = \max \left\{ \left[h_i + 500C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts}(d - d_i) + h_{rs} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث يأخذ دليل المظهر الجانبي i قيمًا تتراوح من 2 إلى 1 - n . و C_e هو الانحصار الفعلي للأرض كما هو معرف في الفقرة 1.3.4. و n هو الملاحق 1.

3.5 زاوية ارتفاع أفق الهوائي فوق الأفق الخلوي المستقبل، θ_r

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

$$(79) \quad \theta_r = 1000 \arctan \left(\frac{h_{ts} - h_{rs}}{10^3 d} - \frac{d}{2a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

وإلا تعطى الزاوية θ_r كما يلي:

$$(80) \quad \theta_r = \max_{j=2}^{n-1} (\theta_j) \quad \text{mrad}$$

$$(80a) \quad \theta_j = 1000 \arctan \left[\frac{h_j - h_{rs}}{10^3 (d - d_j)} - \frac{d - d_j}{2a_e} \right] \quad \text{mrad}$$

4.5 مسافة أفق الهوائي المستقبل، d_{lr}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المستقبل تحسب عندها أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي من المعادلة (80).

$$(81) \quad d_{lr} = d - d_j \quad \text{km} \quad \text{for } \max(\theta_j)$$

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

$$(81a) \quad d_{lr} = d - d_{lt} \quad \text{km}$$

5.5 المسافة الزاوية θ

$$(82) \quad \theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

6.5 نموذج "الأرض الممهدة" وارتفاعات الهوائي الفعالة

"السطح الأميس" هو سطح مستخلص من المظهر الجانبي لحساب ارتفاعات الهوائي الفعالة لنموذج الانتعاج وكذلك لإجراء تقييم لوعورة المسير، وهو أمران يتطلبهما نموذج الانتشار بالمجرى/الانعكاس عن طبقة وتحتختلف تعريف ارتفاع الهوائي الفعال في هذين الغرضين. حيث يكيف القسم 1.6.5 سطح أميس للأرض مع المظهر الجانبي الذي يحصل 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 الأميس للأرض المعدلين عند المطرافين h_{std} و h_{srd} ، اللذين يستخدمان في الفقرة 4.3.4 من الملحق 1 لحساب الارتفاعات الفعلية للهوائيات لنموذج الانتعاج. 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_{te} و h_{re} ومعلمة خشونة الأرض h_m اللازمة لنموذج انعكاس المجرى/الطبقة في الفقرة 5.4 من الملحق 1.

1.6.5 اشتاقاق سطح الأرض الأميس

احتساب ارتفاع التضاريس الأرضية الأميس على المطرافين h_{sr} و h_{st} على النحو التالي:

$$(83) \quad v_1 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})$$

$$(84) \quad v_2 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1}) [h_i(2d_i + d_{i-1}) + h_{i-1}(d_i + 2d_{i-1})]$$

$$(85) \quad h_{st} = \left(\frac{2v_1d - v_2}{d^2} \right) \quad \text{m}$$

$$(86) \quad h_{sr} = \left(\frac{v_2 - v_1d}{d^2} \right) \quad \text{m}$$

حيث:

h_{st} : الارتفاع فوق سطح الأرض الأملس عند بداية المسير أي عند المرسل

h_{sr} : الارتفاع فوق سطح الأرض للأرض عند نهاية المسير، أي عند المستقبل

2.6.5 ارتفاعات السطح للأرض لنموذج الانعراج

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

$$(87a) \quad h_{obs} = \max(H_i) \quad \text{m}$$

$$(87b) \quad \alpha_{obt} = \max\left(\frac{H_i}{d_i}\right) \quad \text{mrad}$$

$$(87c) \quad \alpha_{obr} = \max\left[\frac{H_i}{(d - d_i)}\right] \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(87d) \quad H_i = h_i - \frac{[h_{ic}(d - d_i) + h_{rc}d_i]}{d} \quad \text{m}$$

ويتخد مؤشر المظهر الجانبي i قيماً تتراوح بين 2 و (1 - n).

وتحسب القيم المؤقتة لارتفاعات السطح الأملس في طرف الإرسال والاستقبال للمسير:

إذا كان h_{obs} أقل من الصفر أو يساويه، عندئذ:

$$(88a) \quad h_{stp} = h_{st} \quad \text{m amsl}$$

$$(88b) \quad h_{srp} = h_{sr} \quad \text{m amsl}$$

وإلا:

$$(88c) \quad h_{stp} = h_{st} - h_{obs}g_t \quad \text{m amsl.}$$

$$(88d) \quad h_{srp} = h_{sr} - h_{obs}g_r \quad \text{m amsl}$$

حيث:

$$(88e) \quad g_t = \frac{\alpha_{obt}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

$$(88f) \quad g_r = \frac{\alpha_{obr}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

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

$$(89a) \quad h_{std} = h_1 \text{ m amsl}$$

وإلا:

$$(89b) \quad h_{std} = h_{stp} \text{ m amsl}$$

إذا كان h_{srp} أكبر من h_n ، عندئذ:

$$(89c) \quad h_{srd} = h_n \text{ m amsl}$$

وإلا:

$$(89d) \quad h_{srd} = h_{srp} \text{ m amsl}$$

3.6.5 معلمات نموذج الانتشار التربووسفيري الموجه/الانعكاس عن طبقة

تحسب ارتفاعاً الأرض المنساء عند المرسل والمستقبل على النحو المطلوب من أجل عامل الوعورة كما يلي:

$$(90a) \quad h_{st} = \min(h_{st}, h_1) \text{ m}$$

$$(90b) \quad h_{sr} = \min(h_{sr}, h_n) \text{ m}$$

ينبغي حساب ميل سطح الأرض m كالتالي:

$$(91) \quad m = \frac{h_{sr} - h_{st}}{d} \text{ m/km}$$

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

$$(92a) \quad h_{te} = h_{tg} + h_1 - h_{st} \text{ m}$$

$$(92b) \quad h_{re} = h_{rg} + h_n - h_{sr} \text{ m}$$

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

$$(93) \quad h_m = \max_{i=1}^{i_{lr}} \left[h_i - (h_{st} + md_i) \right] \text{ m}$$

حيث:

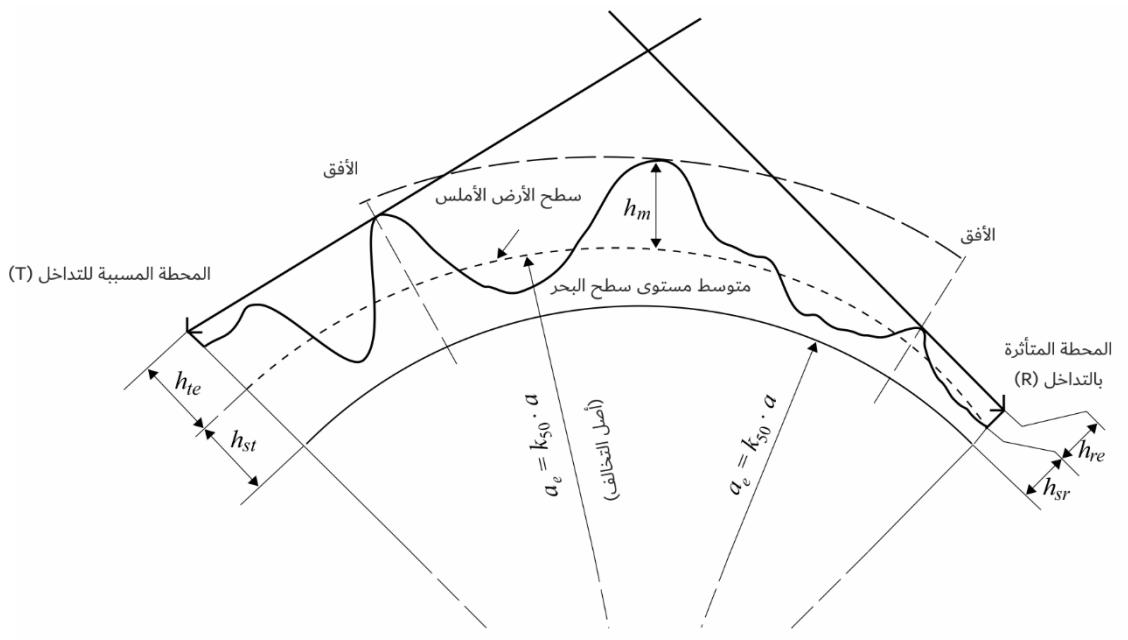
i_{lt} : دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة d_{lt} من المرسل

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

ويعتبر الشكل 2 سطح الأرض الملمس ومعلمات وعورة التضاريس الأرضية h_m .

الشكل 2

مثال لسطح الأرض الملمس ومعلمات وعورة التضاريس الأرضية



المرفق 2 للملحق

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 0,000054). فإن كانت $(x < 0,000001)$ ، مما يعني ضمناً $(\beta_0 > 0,0001\%)$ ، فينبع 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 (40) و(59) و(69). بيد أنه في المعادلة الأخيرة، يجب أن تتحصر قيمة x داخل المتباينة: $(0,99 \leq x \leq 0,01)$.

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

$$(94a) \quad I(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{for } 0.000001 \leq x \leq 0.5$$

وبالتناطر:

$$(94b) \quad I(x) = \xi(1-x) - T(1-x) \quad \text{for } 0.5 < x \leq 0.999999$$

حيث:

$$(95a) \quad T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]}$$

$$(95b) \quad \xi(x) = \frac{[(C_2 T(x) + C_1) T(x)] + C_0}{[(D_3 T(x) + D_2) T(x) + D_1] T(x) + 1}$$

$$(95c) \quad C_0 = 2.515516698$$

$$(95d) \quad C_1 = 0.802853$$

$$(95e) \quad C_2 = 0.010328$$

$$(95f) \quad D_1 = 1.432788$$

$$(95g) \quad D_2 = 0.189269$$

$$(95h) \quad D_3 = 0.001308$$

المرفق 3 للملحق

طريقة بديلة لحساب خسارة الانتعاج 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 الانتعاج لأصغر خلوص ارتفاع h_{se} (المعادلة 23) بين المسير المنحني على الأرض والشعاع بين الهوائيين بمسافة d_{sel} (المعادلة 24a) على النحو التالي:

$$(96) \quad v_{max} = -h_{se} \cdot \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_{sel}(d-d_{sel})}}$$

وُتُعطى خسارة حد السكين لهذه النقطة بالمعادلة التالية:

$$(97) \quad L_{us} = J(v_{max}) \quad \text{dB}$$

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

$$(98) \quad S_{tm} = 500C_e d - 2\sqrt{500C_e h_{tesph}} \quad \text{m/km}$$

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

$$(99) \quad S_{rm} = 500C_e d - 2\sqrt{500C_e h_{resph}} \quad \text{m/km}$$

ويُستخدم هذان الميلان لحساب نقطة بولينغتون كما يلي:

$$(100) \quad d_s = \frac{h_{resph} - h_{tesph} + S_{rm}d}{S_{tm} + S_{rm}} \quad \text{km}$$

وتحسب ملعة الانعراج v_s لنقطة بولينغتن على النحو التالي:

$$(101) \quad v_s = \left[h_{tesph} + S_{tm} d_s - \frac{h_{tesph}(d - d_s) + h_{resph} d_s}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_s(d - d_s)}}$$

وتعطى خسارة حد السكين لنقطة بولينغتن بالمعادلة التالية:

$$(102) \quad L_{us} = J(v_s) \quad \text{dB}$$

وفي حال حساب L_{us} باستخدام أي من المعادلين (97 أو 102)، تعطى خسارة الانعراج بطريقة بولينغتن لهذا المسير الأملس بالمعادلة التالية:

$$(103) \quad L_{bulls} = L_{us} + \left(1 - \exp\left(\frac{-L_{us}}{6}\right) \right) (10 + 0.02d)$$
