الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R P.1812-2 التوصيـــة

(2012/02)

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

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/en)

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

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

النشر الإلكتروني
جنيف، 2012

© ITU 2012
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصيـــة ITU-R P.1812-2

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

(المسألة ITU-R 203/3)

(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 المتجاوَزة خلال نسبة مئوية معينة من الوقت p% ضمن المدى ($50\% \geq p \geq 1\%$)، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع، p_L، ضمن المدى ($99\% \geq p_L \geq 1\%$)، 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 المطرافين 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 التوصيةُ التوصية ITU-R P.1546.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن من الضروري تقديم إرشادات إلى المهندسين المكلّفين 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 في المسير من نقطة–إلى–منطقة فيما يتعلق بالخدمة المتنقلة للطيران في مدى الترددات من 125 MHz إلى 30 GHz والمسافات التي تصل إلى 1 800 km؛

ب) أن التوصية ITU-R P.452 تقدم إرشادات بشأن التقييم المفصّل للتداخلات الصغرية بين المحطات المقامة على سطح الأرض عند ترددات تزيد عن 0,7 GHz تقريباً؛

ج) أن التوصية ITU-R P.617 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بخسارة الإرسال في المسير 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 الإرسال في المسير من نقطة إلى نقطة فيما يتعلق بأنظمة خط البصر (LoS) الأرضية؛

و) أن التوصية 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،

توصـــي

1 باستعمال الإجراء الوارد في الملحق 1 من أجل التقييم المفصَّل لمستويات الإشارة من نقطة–إلى–منطقة فيما يتعلق بهذه الخدمات.

الملحق 1

1 مقدمة

يوصى باستخدام طريقة التنبؤ بالانتشار الموصوفة في هذا الملحق من أجل التقييم المفصّل 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) المتجاوَز خلال نسبة مئوية معينة من الوقت p% لسنة متوسطة ضمن المدى ($1\% \le p \le 50\%$)، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع، p_L%، ضمن المدى ($1\% \le p_L \le 99\%$). ومن ثم يمكن استعمال هذه الطريقة للتنبؤ بمنطقة الخدمة وتيسرها على حد سواء لمستوى إشارة (التغطية) مرغوب(مرغوبة)، وبالانخفاضات في منطقة الخدمة هذه وتيسرها بفعل الإشارات (التداخل) في نفس القناة أو في القناة المجاورة.

ونموذج انتشار هذه الطريقة تناظري بمعنى 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 مصطلحا "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 للمواقع. ثم تحدد خصائص خسارة تغير الموقع والدخول إلى المباني إحصائياً بالنسبة لمواقع المستقبل. بعدئذ، يتم القيام بإجراء التحويل إلى شدة مجال كهربائي بالوحدة(dB(μV/m)) بالنسبة إلى قدرة مشعة فعالة قدرها 1 kW.

وهذه الطريقة معدّة، بالدرجة الأولى، من أجل الاستعمال مع أنظمة تستعمل هوائيات ذات كسب منخفض. بيد أن التغيّر في الدقة عند استعمال هوائيات ذات كسب عال لا يؤثر إلا في عنصر الانتشار التروبوسفيري من مجمل الطريقة، ويكون التغيّر 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 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 (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 المفصّلة لتضاريس الأرض (أي الارتفاعات فوق متوسط مستوى البحر) كدوال في المسافة على امتداد مسيرات الدائرة العظمى (أي المنحنيات 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 متسق يمكن استخراج المظاهر الجانبية لتضاريس الأرض منه بوسائل آلية. وفي حال عدم تيسر هذه المظاهر الجانبية المفصّلة 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 عناصر خسارة التغيّر في الموقع والدخول إلى المباني لهذه التوصية 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 يلحظوا أن التغيّر في الموقع يمكن تطبيقه، من حيث المبدأ، على أي من طرفي المسير (بمعنى أي من المطرافين)، أو حتى على كليهما (أي على المرسل والمستقبل معاً). بيد أنه لا يوجد ما يدعو لتصحيح التغيّر في الموقع إلا في الحالات التي يُجهل فيها الموقع الدقيق لمطراف معيّن ويلزم تمثيل إحصائي للمواقع المحتملة لذاك المطراف. ولا يرجّح حدوث حالات عديدة يُطبق فيها ذلك على موقع المرسل على نحو ذي مغزى. أما إذا عُلم موقعا هذين المطرافين بدقة، واستُعمل هذا الإجراء بأسلوب من نقطة–إلى–نقطة، فلا تُطبَّق 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 للتغيّر في الموقع نظراً لأن متوسط تصحيح خسارة الدخول ليس صفراً. ففي طرف المرسل، يتعيّن 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 الواردة في الجدول 6 قد تكون مضلِلة 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)
- *تغيّر كسب الارتفاع في الجلبة*
- *التغيّر في الموقع*
- *خسارة الدخول إلى المباني.*

3 معلمات الدخل

1.3 بيانات الدخل الأساسية

يصف الجدول 1 بيانات الدخل الأساسية التي تعرّف 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. ويتعيَّن 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.

الجـــدول 1

بيانات الدخل 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

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:

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

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

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

حيث:

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

n: عدد نقاط المظهر الجانبي.

لاحظ أن نقطة المظهر الجانبي الأولى تكون عند المرسل. إذاً، d_1 تساوي صفراً وh_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 وh_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 صفيف إضافي من النقاط n لمطابقة بيانات ارتفاع المظهر الجانبي.

ويتعلق "ارتفاع الجلبة التمثيلي" المشار إليه في المعادلة (1c) بما يغطي الأرض كالنباتات والمباني. وإضافة ارتفاعات الجلبة 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 أكثر دقة من 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 فسح 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.

وهناك استفادة منفصلة من المعلومات لتقدير خسائر جلبة مطراف، على النحو الموضح في الفقرة 7.4. فيُحتفظ بمفهوم ارتفاع الجلبة التمثيلي R، ولكن يؤوَل بشكل مختلف. فالهدف هو تحديد الارتفاع الذي يجب على الإشارة أن تنتشر عليه لمطراف يقع تحت ارتفاع الجلبة، ولا سيما بالنسبة للفئات الحضرية. وينبغي في مثل هذه الحالات مرة أخرى تقدير إلى أي مدى، على أساس إحصائي، تلتف الإشارة حول الأشياء المسببة للجلبة بدلاً من المرور فوقها. وفي حالة فئات المناطق الريفية والمياه المفتوحة، يكون ارتفاع الجلبة التمثيلي R، في الأساس عامل مقايسة للمعادلة (54b).

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. ويقترح الجدول 2 قيماً افتراضية لارتفاع الجلبة التمثيلي R، يمكن استخدامها في حالة عدم وجود معلومات أكثر تحديداً مناسبة للمنطقة المعنية.

الجـــدول 2

المعلومات الافتراضية لنمذجة الخسارة الناجمة عن الجلبة

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

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، يوصى بشدة أن تستند حسابات هذا الإجراء إلى الخارطة العالمية الرقمية للاتحاد الدولي للاتصالات (IDWM) المتيسرة من مكتب الاتصالات الراديوية (BR) لبيئتي الحاسوب الكبير أو الحاسوب الشخصي. 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 خُزنت معلومات المنطقة في نقاط متتالية على طول المسير الراديوي، ينبغي افتراض أن التغيرات تحدث في منتصف المسافة بين نقاط ذات شفرات منطقة مختلفة.

الجـــدول 3

المناطق المناخية الراديوية

نمط المنطقة	الشفرة	التعريف
ساحلية	A1	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
داخلية برية	A2	كل الأراضي غير المناطق الساحلية والشواطئ المعرفة "بالأراضي الساحلية" أعلاه
بحرية	B	البحار والمحيطات والمساحات الأخرى الكبيرة من الماء (أي التي تغطي دائرة قطرها 100 km، على الأقل)

4.3 مسافات المطراف من الساحل

أما إذا كان المسير عابراً للمنطقة B، فتلزم معلمتان إضافيتان (d_{ct}, d_{cr})، تعطيان مسافة المرسل والمستقبل من الساحل (km)، على التوالي، باتجاه المطراف الآخر. وتكون هذه المسافة صفراً 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 للمسير 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.

ترد في التذييل 1 خرائط عالمية لقيم ΔN وN_0 وملفات بيانات تحوي الخرائط المرقمنة المتيسرة من مكتب الاتصالات الراديوية.

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 أثنائها وفي المائة متر الأولى من الطبقة المنخفضة من الجو، أن تتجاوز معدلات التفاوت لدليل الانكسار 100 N–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:

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

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

و

$$\tau = 1 - e^{-\left(4.12 \times 10^{-4} \times d_{lm}^{2.41}\right)} \quad (3)$$

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

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

ويعرّف الجدول 3 المناطق المناخية الراديوية التي يجب استعمالها للحصول على d_{tm} وd_{lm}. 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_{tm} وd_{lm} يساويان طول المسير، d.

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

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

حيث:

φ: خط عرض منتصف المسير (درجات).

احسب β_0:

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

7.3 نصف قطر الأرض الفعال

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

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

يمكن الحصول على قيمة متوسط معدل التفاوت لقابلية في الانكسارية الراديوية، ΔN، من الشكل 1 باستعمال خطي العرض والطول لمركز المسير كممثل للمسير برمته.

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

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

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

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

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

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 4 بواسطة تحليل أولي للمظهر الجانبي للمسير مبني على قيمة a_e التي يتم الحصول عليها من المعادلة (7a). ويقدم التذييل 2 من هذا الملحق معلومات حول اشتقاق المظهر الجانبي للمسير وبنائه وتحليله.

4 إجراء التنبؤ

1.4 نظرة عامة

تتناول هذه الفقرة بالوصف إجراء التنبؤ بكامله. أولاً، تُقيَّم خسارة الإرسال الأساسية، L_b (dB)، التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية 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 بالانتثار التروبوسفيري 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 التغيّر في الموقع وخسارة الدخول إلى المباني. وفي النهاية تقدم الفقرة 11.4 صيغاً تعزو خسارة الإرسال الأساسية إلى شدة المجال (dB μV/m) بالنسبة إلى 1 kW من القدرة المشعة الفعالة.

الجـــدول 4

قيم معلمات مستخلصة من تحليل المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_{lt}, d_{lr}	المسافة بين هوائيي 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_1) و(h_{rs}, g_n) على التوالي
h_{te}, h_{re}	الارتفاع الفعال 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:

$$L_{bfs} = 92.44 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{dB} \tag{8}$$

وتعطى تصحيحات تأثيرات المسيرات المتعددة والتبئير في النسبتين المئويتين للوقت p وβ_0، على التوالي، بالمعادلتين:

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

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

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:

$$L_{b0\,p} = L_{bfs} + E_{sp} \quad \text{dB} \tag{10}$$

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:

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

3.4 الانتشار بالانعراج

تُحسب خسارة الانعراج عن طريق الجمع بين طريقة تعتمد على بناء بولينغتن (Bullington) وانعراج الأرض الكروية. وجزء بولينغتن من هذه الطريقة هو توسيع لبناء بولينغتن 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 عادة لمتوسط نصف قطر الأرض الفعال. 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 كرّة ثانية لعامل نصف قطر الأرض الفعال 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 ($1\% \le p \le 50\%$)، 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، ν، وتُعطى كما يلي:

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

يلاحظ أن ($J(-0{,}78) \approx 0$)، وهذا يُعرِّف الحد الأقل الذي ينبغي استعمال هذا التقريب عنده. هذا وتُضبط $J(\nu)$ بقيمة الصفر لكل ($\nu \le -0{,}78$).

ويوضَّح 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 فعالة معينة لنصف قطر الأرض. وفي المرة الثانية يتم تعديل ارتفاعات الهوائي وتصفَّر جميع ارتفاعات المظهر الجانبي.

وتصف الفقرة 2.3.4 جزء الأرض الكروية من نموذج الانعراج. وهو يُستخدم مع ارتفاعات الهوائي نفسها المستخدمَة 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 و2.3.4 معاً لإجراء العملية الحسابية الكاملة للانعراج من أجل قيمة فعالة معينة لنصف قطر الأرض. ونظراً للطريقة التي يُستخدم فيها جزءا بولينغتن والأرض الكروية، بات الحساب الكامل يُعرف بنموذج "دلتا بولينغتن".

وتصف الفقرة 4.3.4 الحساب الكامل لخسارة الانعراج غير المتجاوَزة 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 km وh_i m فوق مستوى سطح البحر على التوالي، ويتخذ المتحول i قيماً تتراوح بين 1 وn 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_{ts} وh_{rs} على التوالي. ويعطي انحناء الأرض الفعال، ($C_e\ km^{-1}$)، بالكسر $1/a_e$ حيث a_e هو نصف قطر الأرض الفعال بالكيلومترات. ويمثل طول الموجة بالأمتار بالرمز λ.

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

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

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيماً تتراوح بين 2 وn-1.

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

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

ويجب الآن أن تؤخذ حالتان بعين الاعتبار.

الحالة 1: المسير هو على خط البصر

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

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

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

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيماً تتراوح بين 2 وn-1.

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

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

حيث تعطى الدالة J بالمعادلة (12) من أجل ν_b أكبر من −0,78، وتكون صفراً 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.

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

حيث يتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيماً تتراوح بين 2 وn-1.

تُحسب مسافة نقطة بولينغتن من المرسل:

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

وتُحسب معلمة الانعراج، ν_b، لنقطة بولينغتن:

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

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

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

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

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

2.3.4 خسارة الانعراج في الأرض الكروية

تُحسب خسارة الانعراج، L_{dsph}، في الأرض الكروية غير المتجاوَزة خلال نسبة مئوية معينة p% من الوقت لارتفاعي الهوائي h_{te} وh_{re} (m)، على النحو التالي.

تُحسب المسافة الهامشية على خط البصر لمسير أملس:

$$d_{los} = \sqrt{2a_p} \cdot \left(\sqrt{0.001 h_{te}} + \sqrt{0.001 h_{re}} \right) \quad \text{km} \tag{22}$$

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_{dsph} وL_{dft}. 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، المعطى بما يلي:

$$h_{se} = \frac{\left(h_{te} - 500 \frac{d_{se1}^2}{a_p} \right) d_2 + \left(h_{re} - 500 \frac{d_{se2}^2}{a_p} \right) d_1}{d} \quad \text{m} \tag{23}$$

حيث

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

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

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

حيث تنتج دالة قوس جيب التمام زاوية بالراديان

$$c = \frac{h_{te} - h_{re}}{h_{te} + h_{re}} \tag{24d}$$

$$m = \frac{250 d^2}{a_p (h_{te} + h_{re})} \tag{24e}$$

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

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

في حال ($h > h_{req}$) 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 الفعال المعدل، a_{em}، مما يعطي خط بصر هامشي على مسافة d تعطى بما يلي:

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

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:

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

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.

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

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

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

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

حيث ω هو شطر المسير فوق البحر.

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

العامل المقيَّس لسماحية السطح في الاستقطاب الأفقي والرأسي:

$$K_H = 0.036 \left(a_{dft} f\right)^{-1/3} \left[(\varepsilon_r - 1)^2 + (18\,\sigma / f)^2\right]^{-1/4} \quad \text{.....(أفقي)} \tag{29a}$$

و

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

وتُحسب معلمة الاستقطاب الأرضية:

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

حيث K هو K_H أو K_V وفقاً للاستقطاب.

المسافة المقيَّسة:

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

والارتفاعان المقيّسان للمرسل والمستقبل:

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

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

ويُحسب حد المسافة كما يلي:

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

وتحدَد دالة الارتفاع المقيّس بما يلي:

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

حيث:

$$B = \beta_{dft}\, Y \tag{35}$$

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

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

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

4.3.4 نموذج "دلتا بولينغتن" لخسارة الانعراج الكاملة

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

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

$$h'_{ts} = h_{ts} - h_{std} \quad \text{masl} \tag{37a}$$

$$h'_{rs} = h_{rs} - h_{srd} \quad \text{masl} \tag{37b}$$

حيث يعطى ارتفاعا الأرض الملساء عند المرسل والمستقبل h_{std} وh_{srd} في الفقرة 3.6.1.5 من التذييل 2. وتحدَد لخسارة الانعراج بطريقة بولينغتن لهذا المسير الأملس، $L_{bull} = L_{bulls}$، على النحو المعطى بالمعادلة (21).

وتُستخدم 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:

$$h_{te} = h'_{ts} \quad \text{m} \tag{38a}$$

$$h_{re} = h'_{rs} \quad \text{m} \tag{38b}$$

وتعطى الآن خسارة الانعراج في مسير عام بما يلي:

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

5.3.4 خسارة الانعراج غير المتجاوَزة خلال النسبة المئوية p% من الوقت

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

وفي حال $p = 50\%$، تعطى خسارة الانعراج غير المتجاوَزة خلال نسبة مئوية معينة p% من الوقت بالخسارة L_{d50}، ويكمل ذلك حساب الانعراج.

وفي حال ($p < 50\%$)، يُستمر على النحو التالي.

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 4.3.4 لحساب خسارة الانعراج، L_d غير المتجاوَزة خلال نسبة مئوية معينة β_0% من الوقت a_β، من أجل نصف قطر الأرض الفعال، كما تعطى بالمعادلة (7b). وتحدَد خسارة الانعراج خلال نسبة مئوية معينة β_0% من الوقت بالمساواة $L_d = L_{d\beta}$.

ويتحكم في تطبيق القيمتين المحتملتين لعامل نصف قطر الأرض الفعال عامل استكمال داخلي F_i يستند إلى توزيع لوغاريتمي عادي لخسارة الانعراج على مدى ($\beta_0\% < p \le 50\%$)، ويتم الحصول عليه بالمعادلات:

$$F_i = 0 \quad \text{if } p = 50\% \tag{40a}$$

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

$$= 1 \quad \text{if } \beta_0\% \geq p \tag{40c}$$

حيث $I(x)$ هو مقلوب التوزيع الطبيعي التراكمي التكميلي بدلالة الاحتمال x. ويرد في التذييل 3 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:

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

ويُحدد العامل F_i بالمعادلات (40a-c)، تبعاً لقيم p وβ_0.

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

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

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:

$$L_{bd} = L_{b0\,p} + L_{dp} \quad \text{dB} \tag{43}$$

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

4.4 الانتشار بالتناثر التروبوسفيري

الملاحظـــة 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 متسق لخسارة الإرسال الأساسية عبر نسب مئوية من الوقت p تتراوح بين 0,001% و50%، 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.

الملاحظـــة 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 المرحِّلات 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%:

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

حيث:

L_f: الخسارة حسب التردد:

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

N_0: الانكسارية للسطح على مستوى البحر عند منتصف المسير، التي يمكن أن تشتق من الشكل 2.

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:

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

حيث:

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

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

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

$$A_{lf}(f) = 45.375 - 137.0\,f + 92.5\,f^2 \quad \text{dB} \quad \text{if } f < 0.5 \text{ GHz} \tag{47a}$$
$$\mathrm{A_{lf}(f) = 0.0\ dB} \quad \text{otherwise}$$

A_{st}، A_{sr}: خسارتا الانعراج العائد إلى تأثير حجب الموقع للمحطة المرسلة والمحطة المستقبلة، على التوالي:

$$A_{st,sr} = \begin{cases} 20\log\left[1 + 0.361\,\theta''_{t,r}\left(f \cdot d_{lt,lr}\right)^{1/2}\right] + 0.264\,\theta''_{t,r}\,f^{1/3} & \text{dB} \quad \text{for } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB} \quad \text{for } \theta''_{t,r} \le 0 \text{ mrad} \end{cases} \tag{48}$$

حيث:

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

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

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

$$d_{ct,cr} \le d_{lt,lr} \tag{49}$$

$$d_{ct,cr} \le 5 \text{ km}$$

$$A_{ct,cr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{for all other conditions} \tag{49a}$$

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

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

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

حيث:

γ_d: التوهين النوعي:

$$\gamma_d = 5 \times 10^{-5}\,a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad} \tag{51}$$

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

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

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

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

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

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

$$\beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad \% \tag{54}$$

μ_2: التصحيح بالنسبة إلى هندسة المسير:

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

ويجب ألا تتجاوز قيمة μ_2 مقدار 1:

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

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:

$$\mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{for } h_m \le 10 \text{ m} \\ e^{-4.6 \times 10^{-5} (h_m - 10)(43 + 6 d_I)} & \text{for } h_m > 10 \text{ m} \end{cases} \tag{56}$$

و:

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

ويرد تعريف المصطلحات الأخرى في الجدولين 1 و2 وفي التذييل 2 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 معدّلة 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:

$$F_j = 1.0 - 0.5\left(1.0 + \tanh\left(3.0\,\xi \cdot \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta}\right)\right) \tag{57}$$

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 الحسبان:

$$F_k = 1.0 - 0.5\left(1.0 + \tanh\left(3.0\,\kappa \cdot \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}}\right)\right) \tag{58}$$

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:

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

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:

$$L_{minbap} = \eta \cdot \ln\left(e^{\left(\frac{L_{ba}}{\eta}\right)} + e^{\left(\frac{L_{b0p}}{\eta}\right)} \right) \quad \text{dB} \tag{60}$$

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)

η = 2,5.

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

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

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:

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

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:

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

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_t أو R_r الممثلين للغطاء الأرضي المحيط بالمرسل أو المستقبل، فإن تقدير الخسارتين الإضافيتين للمرسل وللمستقبل، A_{ht}، A_{hr} 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، والانتثار 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 الانتثار هما السائدان.

والطريقة المستخدمة للمرسل والمستقبل واحدة وتكون في الأحوال التالية، $A_{ht} = A_h$ أو A_{hr}، و$h_{tg} = h$ أو h_{rg}، و$R_t = R$ أو R_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):

$$A_h = J(\nu) - 6.03 \quad \text{dB} \tag{64a}$$

أو:

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

تُحسب الدالة $J(\nu)$ بواسطة المعادلة (12).

ويتم الحصول على الحدين ν وK_{h2} بالمعادلات:

$$\nu = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \; \theta_{clut}} \tag{64c}$$

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

$$\theta_{clut} = \tan^{-1} (h_{dif} / 27) \quad \text{degrees} \tag{64e}$$

$$K_{h2} = 21.8 + 6.2 \log (f) \tag{64f}$$

$$K_{nu} = 0.342 \sqrt{f} \tag{64g}$$

حيث:

f: التردد (GHz).

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 بفئة الجلبة في المعادلة (64b).

وفي حال توفر معلومات خاصة تحدد سطحاً مستوياً أملساً عاكساً بخلوص فرينل مناسب لدعم الانعكاس عن الأرض، يمكن حساب R باستخدام الطريقة الواردة في التذييل 4. 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:

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

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 لاحتساب محيط المطراف في المعادلتين (64a و64b) حسب الاقتضاء.

8.4 تغيّر الخسارة حسب الموقع

في هذه التوصية، وبصفة عامة، يشير مفهوم التغيّر 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 التغيّر 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 التشفير. وتقدم التوصية ITU-R P.1406 إرشادات بشأن نمذجة هذه التأثيرات.

ويبين التحليل المكثف للبيانات أن توزيع شدة المجال المتوسطة الناجمة عن تغيرات الغطاء الأرضي في منطقة في البيئات الحضرية والضواحي، هو توزيع لوغاريتمي عادي تقريباً ذو متوسط صفري.

وتعتمد قيم الانحراف المعياري على التردد والبيئة، وقد أظهرت الدراسات التجريبية انتشاراً كبيراً. ويمكن الحصول على القيم التمثيلية للانحراف المعياري بالنسبة لمساحات تبلغ 500 × 500 m بواسطة المعادلة التالية:

$$\sigma_L = K + 1.3 \log(f) \quad \text{dB} \tag{66}$$

حيث:

K = 5,1 بالنسبة إلى المستقبلات ذات الهوائيات المنصوبة تحت ارتفاع الجلبة في البيئة الحضرية وبيئة الضواحي للأنظمة المتنقلة ذات هوائيات شاملة الاتجاهات بارتفاع سقف سيارة

K= 4,9 بالنسبة إلى المستقبلات ذات هوائيات سقف قرب ارتفاع الجلبة

K= 4,4 بالنسبة إلى المستقبلات في المناطق الريفية

f: التردد المطلوب (GHz).

وإذا كانت المنطقة التي يُزمع تطبيق التغيّر في الموقع عليها أكبر مساحة من 500 × 500 m، أو إذا كان التغيّر يتعلق بكل المناطق في مدىً معيّن، وليس عبر مناطق فردية، فسوف تزداد قيمة الانحراف المعياري، σ_L. وقد بينت الدراسات التجريبية أن الزيادة في التغيّر في الموقع (بالنسبة لقيم منطقة صغيرة) تصل إلى 4 dB لمنطقة نصف قطرها 2 km وإلى 8 dB لمنطقة نصف قطرها 50 km.

ويمكن لمواقع النسب المئوية، p_L، أن تتغيّر بين 1% و99%. ولا يصلح هذا النموذج لمواقع نسب مئوية تقل عن 1% أو تزيد عن 99%.

وتجدر الإشارة إلى أنه سيكون من الضروري بوجه عام، لبعض أغراض التخطيط (على سبيل المثال، خطط التعيين المتعدد الأطراف) استعمال تعريف "التغير في الموقع" الذي يشتمل على درجة من خبو المسيرات المتعددة. ويسري ذلك على حالة مستقبل متنقل، بأسلوب ثابت في حالة عدم وجود آثار مترتبة على الانتشار عبر مسيرات متعددة أو هوائي فوق السطح عليه استقبال عدد من الترددات ولا يمكن توجيهه على نحو أمثل للجميع. وإضافة إلى ذلك، يمكن أن يحتاج هذا التخطيط إلى مراعاة التغير في منطقة أكبر من المنطقة المفترضة في هذه التوصية.

وفي هذا السياق، تعد القيم الواردة في الجدول 5 ملائمة بالنسبة إلى عدد من الخدمات الراديوية المخطط لها.

الجـــدول 5

قيم الانحراف المعياري للتغير في الموقع المستعملة في بعض حالات التخطيط

	الانحراف المعياري		
	MHz 100	**MHz 600**	**MHz 2 000**
الخدمة الإذاعية، تماثلية (dB)	8,3	9,5	–
الخدمة الإذاعية، رقمية (dB)	5,5	5,5	5,5

ولا ينطبق تصحيح تغير الموقع عندما يكون المستقبل/المتنقل مجاوراً للبحر.

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 تغاير ارتفاع التغيّر في الموقع، $u(h)$، بالعلاقات التالية:

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

حيث R (m) هو ارتفاع الجلبة التمثيلية في موقع المستقبل/المتنقل. لذا، بالنسبة إلى مستقبل/متنقل موجود خارج المباني، فإن الانحراف المعياري للتغيّر في الموقع، σ_L، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (66) أو من الجدول 5، ينبغي ضربه في دالة تغاير 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

تُعرَّف خسارة الدخول إلى المباني على أنها الفارق بوحدة (dB) بين متوسط شدة المجال (بالنسبة للمواقع) خارج بناء على ارتفاع معيّن فوق مستوى الأرض ومتوسط شدة المجال داخل البناء نفسه (بالنسبة للمواقع) على الارتفاع نفسه فوق مستوى الأرض.

ولا بد أيضاً من مراعاة معلمتين هامتين بالنسبة إلى *الاستقبال داخل المباني*. الأولى هي خسارة الدخول إلى المبنى والثانية هي التغيّر في خسارة الدخول إلى المبنى نتيجة اختلاف مواد البناء. والانحرافات المعيارية الواردة أدناه تأخذ في الحسبان التفاوت الكبير في خسارة الدخول إلى المباني، إلا أنها لا تشمل التغيّر في الموقع ضمن مختلف المباني. وتجدر الإشارة إلى أن المعلومات الموثوقة ونتائج القياس الخاصة بخسارة الدخول إلى المباني محدودة. وترد قيم خسارة الدخول إلى المباني الممكن استعمالها في الجدول 6 أدناه، وذلك بصورة مؤقتة.

الجـــدول 6

خسارة الدخول إلى المباني[1]، L_{be}، σ_{be}

F	متوسط القيمة، L_{be} (dB)	الانحراف المعياري، σ_{be} (dB)
GHz 0,2	9	3
GHz 0,6	11	6
GHz 1,5	11	6

[1] يمكن تحديث هذه القيم عند تيسر المزيد من البيانات التجريبية.

بالنسبة للترددات تحت GHz 0,2، L_{be} = 9 dB، σ_{be} = 3 dB؛ وبالنسبة للترددات فوق GHz 1,5، L_{be} = 11 dB، σ_{be} = 6 dB. وما بين الترددين GHz 0,2 وGHz 0,6 (وبين GHz 0,6 وGHz 1,5)، يمكن الحصول على قيم مناسبة لكل من L_{be} وσ_{be} بالاستكمال الداخلي الخطي بين قيم L_{be} وσ_{be} الواردة في الجدول بالنسبة للترددات بين GHz 0,2 وGHz 0,6 (GHz 0,6 وGHz 1,5).

أما تغيّر شدة المجال بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني فهو حصيلة دمج التغيّر خارج المباني، σ_L، والتغيّر الناجم عن توهين البناء، σ_{be}. ولا يوجد على الأرجح ارتباط بين هذين التغيّرين. ومن ثم يمكن حساب الانحراف المعياري بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني σ_i بأخذ الجذر التربيعي لمجموع مربعي الانحرافين المعياريين الفرديين.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{be}^2} \tag{68}$$

حيث σ_L، الانحراف المعياري للتغيّر في الموقع على النحو المتحصل عليه بالمعادلة (66) أو من الجدول 5.

فمثلاً، بالنسبة للإرسالات الرقمية بعرض نطاق أكبر من MHz 1، في الموجات المترية (VHF)، حيث الانحرافان المعياريان للإشارة هما dB 5,5 وdB 3 على التوالي، تكون القيمة المركّبة dB 6,3. أما في النطاق IV/V، حيث الانحرافان المعياريان للإشارة هما dB 5,5 وdB 6، تكون القيمة المركّبة dB 8,1.

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:

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

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

و:

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

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

حيث يرد متوسط خسارة الدخول إلى المباني، L_{be}، في الجدول 6، ويتم الحصول على دالة الارتفاع، $u(h)$، بالمعادلة (67) والانحرافان المعياريان، σ_L وσ_i، يتم الحصول عليهما بالمعادلة (66) (أو الجدول 5) 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:

$$L_b = \max\left\{L_{b0\,p}, L_{bc} + L_{loc} - I\left(\frac{p_L}{100}\right)\cdot \sigma_{loc}\right\} \quad \text{dB} \tag{71}$$

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 جلبة 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 التذييل 3 لهذا الملحق تقريب للدالة $I(x)$ يمكن استعماله عندما تكون $(0.000001 \le x \le 0.999999)$

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% و99%. 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 فعالة مقدارها 1 kW والتي يتم تجاوزها للنسبة المئوية p% من الوقت، وفي 50% وE_p dB(μV/m) من المواقع، باستخدام المعادلة:

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

حيث:

L_{bc}: خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية p% من الوقت وفي p_L% من المواقع، والمحسوبة بالمعادلة (71)

f: التردد المطلوب (GHz).

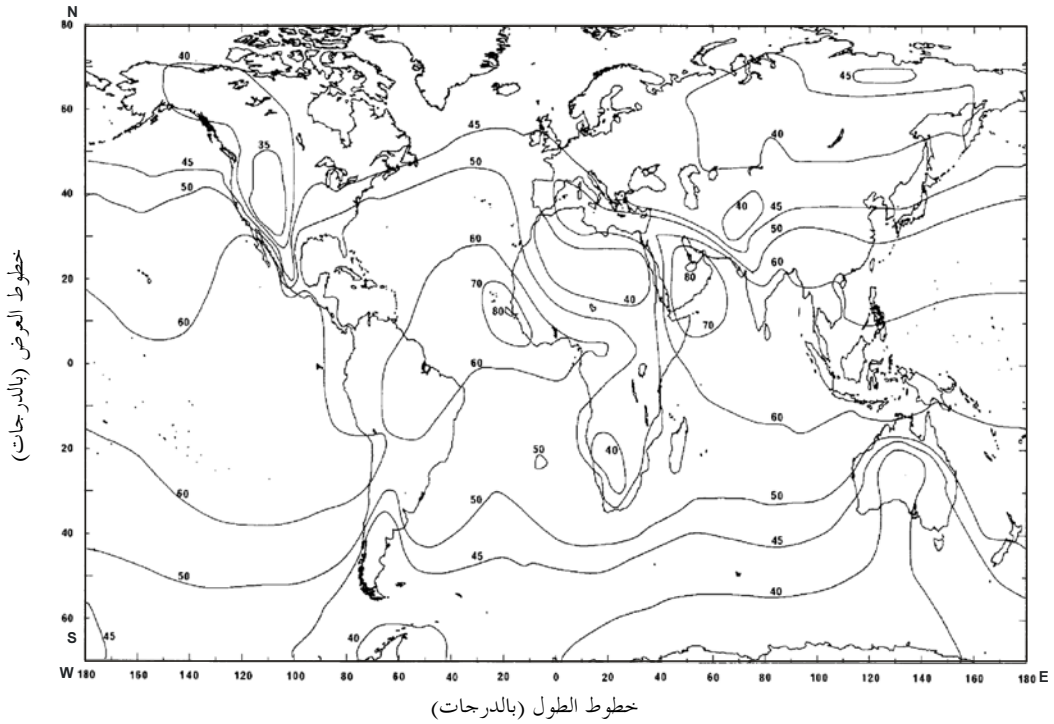
التذييل 1
للملحق 1

بيانات الأرصاد الجوية الراديوية المطلوبة لإجراء التنبؤ

ترد في الشكل 1 قيم ΔN السنوية المتوسطة كقيم موجبة بوحدات–km/N.

الشـــكل 1

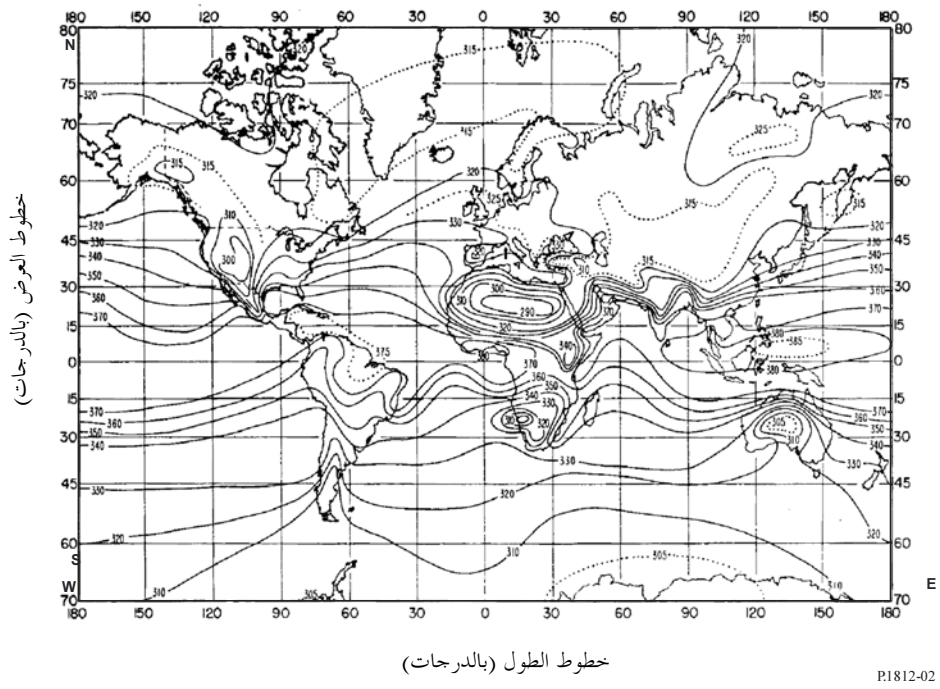
قيم ΔN السنوية المتوسطة كقيم موجبة بوحدات–km/N



وترد في الشكل 2 القيم السنوية المتوسطة لانكسارية سطح في مستوى البحر، N_0، بوحدات–N. وتستعمل المعلمة N_0 فقط في جزء الانتشار التروبوسفيري من الطريقة الكاملة.

الشـــكل 2

انكسارية سطح في مستوى البحر بوحدات–N



التذييل 2
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 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من تحليل المظهر الجانبي للمسير لأغراض نماذج الانتشار.

2 رسم المظهر الجانبي للمسير

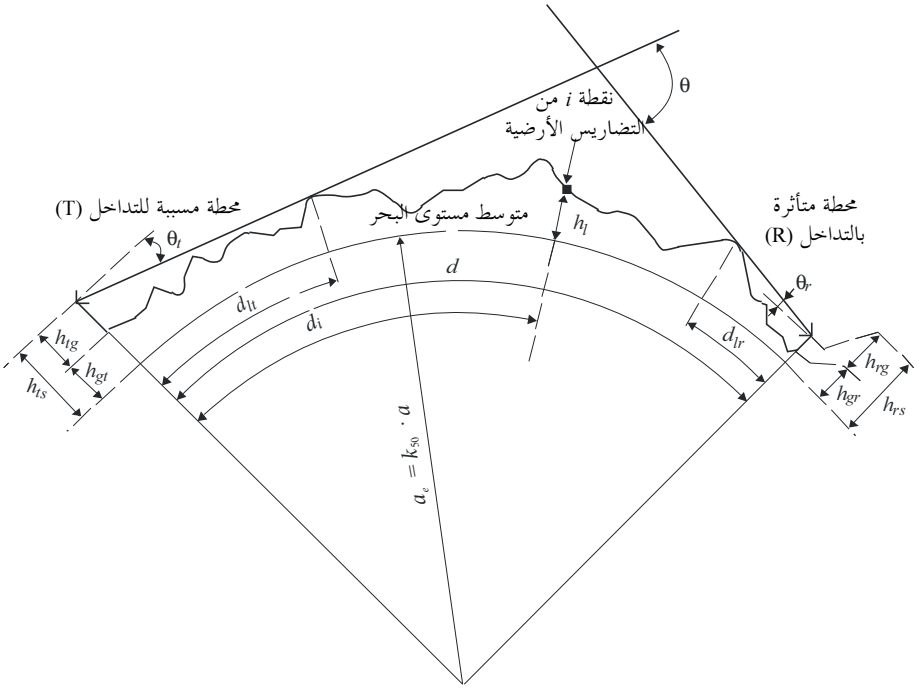
استناداً إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطة المرسلة (φ_t، ψ_t) والمحطة المستقبلة (φ_r، ψ_r) ينبغي أن تشتق ارتفاعات التضاريس الأرضية (فوق متوسط مستوى البحر) على طول مسير الدائرة العظمى من قاعدة بيانات طبوغرافية أو من خرائط كفافية كبيرة مناسبة. وبقدر الإمكان من الناحية العملية، ينبغي أن تجسّد استبانة المسافة 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 المرسلة والمحطة المستقبلة 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 مناسيب 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 المستقبلة النقطة n. وبهذا يتشكل المظهر الجانبي للمسير من n نقطة. ويعطي الشكل 3 مثالاً للمظهر الجانبي للمسير عبر ارتفاعات التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر مبيناً المعلمات المختلفة المتعلقة بالتضاريس الأرضية الفعلية.

الشـــكل 3

مثال للمظهر الجانبي لمسير (عبر الأفق)



الملاحظة 1 – تكون قيمة θ_t كما هي مرسومة قيمة سالبة.

P.1812-03

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

الجـــدول 7

تعاريف معلمات المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
a_e	نصف قطر الأرض الفعال (km)
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_{ii}	الزيادة التدرجية 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 المرسلة (m)
h_{sr}	ارتفاع "الأرض الممهدة" فوق متوسط مستوى البحر (amsl) عند موقع المحطة المستقبلة (m)
h_i	ارتفاع النقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر (m) h_1: الارتفاع الأرضي للمرسل h_n: الارتفاع الأرضي للمستقبل
h_m	وعورة التضاريس الأرضية (m)
h_{te}	الارتفاع الفعال للهوائي المرسل (m)
h_{re}	الارتفاع الفعال للهوائي المستقبل (m)

3 طول المسير

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

$$d = d_n \quad \text{km} \tag{73}$$

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

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

بالنسبة إلى $i = 1$، ...، n، حيث d_{ii} هي الزيادة التدرجية 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 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:

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

حيث:

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

θ_i: زاوية الارتفاع بالنسبة إلى النقطة i في التضاريس الأرضية

$$\theta_i = \frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 \, d_i}{2 \, a_e} \quad \text{mrad} \tag{77}$$

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)

$$\theta_{td} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 \, d}{2 \, a_e} \quad \text{mrad} \tag{78}$$

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

1.5 بالنسبة لجميع المسيرات

يعرض الجدول 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من المظهر الجانبي للمسير.

1.1.5 زاوية ارتفاع الأفق فوق الأفق المحلي لهوائي الإرسال، θ_t

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

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

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.

2.1.5 مسافة أفق الهوائي المرسل، d_{lt}

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

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

وفي مسير على خط البصر، ينبغي أن يكون المؤشر i هو القيمة التي تعطي معلمة الانعراج ν القصوى في المعادلة (15).

3.1.5 زاوية ارتفاع أفق الهوائي فوق الأفق المحلي المستقبل، θ_r

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

$$\theta_r = \frac{h_{ts} - h_{rs}}{d} - 10^3 \frac{d}{2a_e} \quad \text{mrad} \tag{81}$$

وإلا تعطى الزاوية θ_r كما يلي:

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

$$\theta_j = \frac{h_j - h_{rs}}{d - d_j} - \frac{10^3 \, (d - d_j)}{2 \, a_e} \quad \text{mrad} \tag{82a}$$

4.1.5 مسافة أفق الهوائي المستقبل، d_{lr}

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

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

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

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

5.1.5 المسافة الزاوِّية θ (mrad)

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

6.1.5 نموذج "الأرض الممهدة" وارتفاعات الهوائي الفعالة

1.6.1.5 اعتبارات عامة

"السطح الأملس" هو سطح مستخلص من المظهر الجانبي لحساب ارتفاعات الهوائي الفعالة لنموذج الانعراج وكذلك لإجراء تقييم لوعورة المسير، وهما أمران يتطلبهما نموذج الانتشار بالمجرى/الانعكاس عن طبقة وتختلف تعاريف ارتفاع الهوائي الفعال في هذين الغرضين. وتصف الفقرة الفرعية 2.6.1.5 اشتقاق ارتفاعي سطح الأرض الأملس غير المصححين عند المرسل والمستقبل، وهما h_{st} وh_{sr} على التوالي. ثم تصف الفقرتان الفرعيتان 3.6.1.5 و4.6.1.5 اشتقاق ارتفاعي الهوائي الفعالين لنموذج الانعراج، h_{ted} وh_{red}، وحساب معلمة وعورة التضاريس، h_m، على التوالي.

2.6.1.5 اشتقاق سطح الأرض الأملس

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

$$h_{si} = h_{st} + m \cdot d_i \quad \text{m} \tag{85}$$

حيث:

h_{si}: الارتفاع فوق متوسط مستوى البحر (m) للسطح المطابق بالمربعات الصغرى عند مسافة d_i (km) من المرسل

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

m: ميل السطح (m/km) المطابق بالمربعات الصغرى بالنسبة إلى مستوى البحر.

وهناك طرائق بديلة فيما يتعلق بالخطوتين التاليتين من الحساب حيث يمكن استعمال المعادلتين (86a) و(87a) إذا كان تباعد نقاط المظهر الجانبي منتظماً. فيما يتعين استعمال المعادلتين (86b) و(87b)، وهما أكثر تعقيداً، إذا لم تكن نقاط المظهر الجانبي منتظمة التباعد، ويمكن استعمالهما في أي من الحالتين.

فبالنسبة إلى نقاط المظهر الجانبي منتظمة التباعد:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{n} (h_i - h_a)\left(d_i - \frac{d}{2}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(d_i - \frac{d}{2}\right)^2} \quad \text{m/km} \tag{86a}$$

وبالنسبة إلى أي مظهر جانبي آخر:

$$m = \left(\frac{1}{d^3}\right) \sum_{i=2}^{n} 3\,(d_i - d_{i-1})\,(d_i + d_{i-1} - d)\,(h_i + h_{i-1} - 2h_a) + (d_i - d_{i-1})^2\,(h_i - h_{i-1}) \quad \text{m/km} \tag{86b}$$

حيث:

h_i: الارتفاع الحقيقي للنقطة i في التضاريس الأرضية (m) فوق متوسط مستوى البحر

h_a: متوسط ارتفاعات المسير الحقيقية فوق متوسط مستوى البحر من h_0 إلى h_n حصراً (m) ويمكن الحصول عليه:

بالنسبة إلى نقاط المظهر الجانبي ذات التباعد المنتظم:

$$h_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} h_i \quad \text{m} \tag{87a}$$

بالنسبة إلى أي مظهر جانبي آخر، تحسب قيمة متوسطة مرجّحة:

$$h_a = \left(\frac{1}{2d}\right) \sum_{i=2}^{n} (d_i - d_{i-1})\,(h_i + h_{i-1}) \quad \text{m} \tag{87b}$$

ويمكن الحصول على ارتفاع سطح الأرض الأملس عند المحطة المرسلة h_{st} من المعادلة:

$$h_{st} = h_a - m\frac{d}{2} \quad \text{m} \tag{88}$$

ومن ثم، تعطي الصيغة التالية ارتفاع سطح الأرض الأملس عند المحطة المستقبلة h_{sr}:

$$h_{sr} = h_{st} + m \cdot d \quad \text{m} \tag{89}$$

3.6.1.5 ارتفاعا الهوائي الفعالين لنموذج الانعراج

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

$$h_{obs} = \max\{h_{obi}\} \quad \text{m} \tag{90a}$$

$$\alpha_{obt} = \max\{h_{obi} / d_i\} \quad \text{mrad} \tag{90b}$$

$$\alpha_{obr} = \max\{h_{obi} / (d - d_i)\} \quad \text{mrad} \tag{90c}$$

حيث:

$$h_{obi} = h_i - [h_{ts}(d - d_i) + h_{rs} d_i] / d \quad \text{m} \tag{90d}$$

ويتخذ مؤشر المظهر الجانبي i قيماً 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:

$$h_{stp} = h_{st} \quad \text{masl} \tag{91a}$$

$$h_{srp} = h_{sr} \quad \text{masl} \tag{91b}$$

وإلا:

$$h_{stp} = h_{st} - h_{obs} g_t \quad \text{masl} \tag{91c}$$

$$h_{srp} = h_{sr} - h_{obs} g_r \quad \text{masl} \tag{91d}$$

حيث:

$$g_t = \alpha_{obt} / (\alpha_{obt} + \alpha_{obr}) \tag{91e}$$

$$g_r = \alpha_{obr} / (\alpha_{obt} + \alpha_{obr}) \tag{91f}$$

وتُحسب القيم النهائية لارتفاعي السطح الأملس في طرفي الإرسال والاستقبال للمسير:

إذا كان h_{stp} أكبر من h_1، عندئذ:

$$h_{std} = h_1 \quad \text{masl} \tag{92a}$$

وإلا:

$$h_{std} = h_{stp} \quad \text{masl} \tag{92b}$$

إذا كان h_{srp} أكبر من h_n، عندئذ:

$$h_{srd} = h_n \quad \text{masl} \tag{92c}$$

وإلا:

$$h_{srd} = h_{srp} \quad \text{masl} \tag{92d}$$

4.6.1.5 معلمات نموذج الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس عن طبقة

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

$$h_{str} = \min\ (h_{st}, h_1) \quad \text{m} \tag{93a}$$

$$h_{srr} = \min\ (h_{sr}, h_n) \quad \text{m} \tag{93b}$$

وإذا تم تصحيح أحد الارتفاعين h_{st} أو h_{sr} أو كليهما بواسطة المعادلتين (80a) أو (80b)، فيجب عندها أن يصحح أيضاً ميل سطح الأرض الأملس m كالتالي:

$$m = \frac{h_{sr} - h_{st}}{d} \quad \text{m/km} \tag{94}$$

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

$$\begin{aligned} h_{te} &= h_{tg} + h_1 - h_{st} \quad \text{m} \\ h_{re} &= h_{rg} + h_n - h_{sr} \quad \text{m} \end{aligned} \tag{95}$$

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

$$h_m = \max_{i = i_{lt}}^{i_{lr}} \left[h_i - (h_{st} + m \cdot d_i) \right] \quad \text{m} \tag{96}$$

حيث:

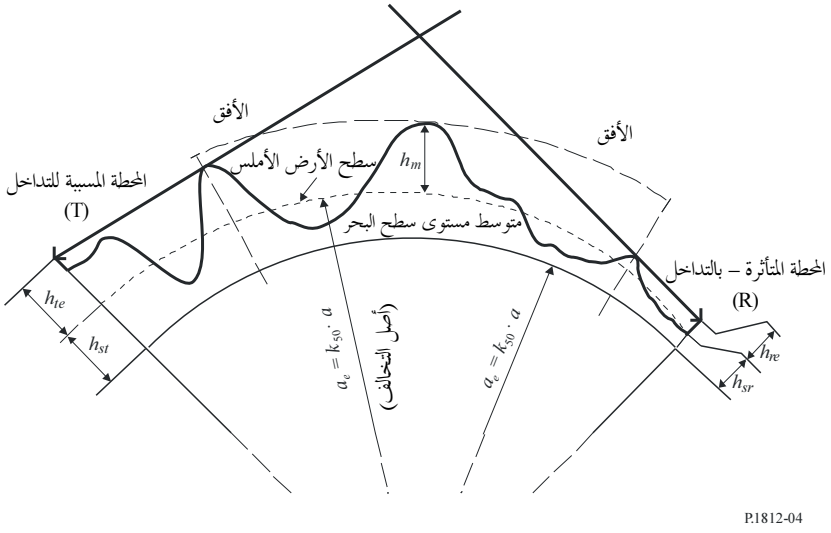
i_{lt}: دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة d_{lt} من المرسل

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

ويمثل الشكل 4 سطح الأرض الأملس ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية h_m.

الشـــكل 4

مثال لسطح الأرض الأملس ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية



التذييل 3
للملحق 1

تقريب لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلي العكسي

يكون التقريب التالي لدالة التوزيع العادي التراكمي التكميلي العكسي صحيحاً للقيمة ($0{,}000001 \le x \le 0{,}999999$) 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 (30b) و(49) و(61). بيد أنه في المعادلة الأخيرة، يجب أن تنحصر قيمة x داخل المتباينة: ($0.01 \le x \le 0.99$).

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

$$I(x) = T(x) - \xi(x) \qquad \text{for } 0{,}000001 \le x \le 0{,}5 \tag{97a}$$

وبالتناظر:

$$I(x) = \xi(1-x) - T(1-x) \qquad \text{for } 0{,}5 < x \le 0{,}999999 \tag{97b}$$

حيث:

$$T(x) = \sqrt{[-2\ln(x)]} \tag{98a}$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) T(x) + D_1] T(x) + 1} \tag{98b}$$

$$C_0 = 2{,}515516698 \tag{98c}$$

$$C_1 = 0{,}802853 \tag{98d}$$

$$C_2 = 0{,}010328 \tag{98e}$$

$$D_1 = 1{,}432788 \tag{98f}$$

$$D_2 = 0{,}189269 \tag{98g}$$

$$D_3 = 0{,}001308 \tag{98h}$$

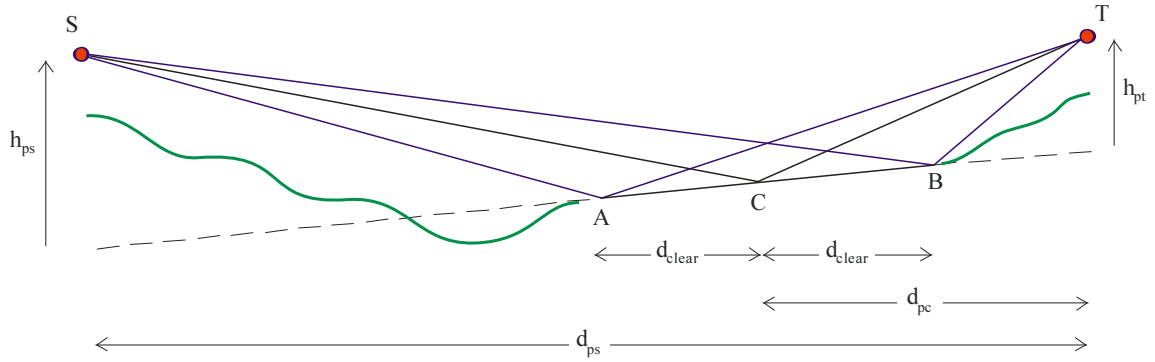
التذييل 4
للملحق 1

معايير الانعكاس عن الأرض وحساب ذروة الانعكاس الأول

يعطي هذا التذييل معايير لتحديد الحالات التي يقع فيها انعكاس شعاعين عن الأرض. وتتطلب معلومات المسير اللازمة عادة تفقّد 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.

الشـــكل 5

الهندسة المطلوبة للانعكاسات عن الأرض



P.1812-05

ويوضح الشكل 5 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 وB على أنه مستوٍ وأملس، ويجب أن يكون هناك خط بصر بخلوص فرينل كامل للخطوط S-A وS-B وA-T وB-T.

وتستخدم وحدات متسقة ذاتياً في جميع فقرات هذا التذييل.

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

$$d_{pc} = d_{ps} h_{ps} / \left(h_{ps} + h_{pt} \right) \tag{99}$$

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

ويعطى نصف قطر خلوص فرينل المطلوب في النقطة C كما يلي:

$$r_{clear} = 0.6 \sqrt{\lambda d_{pc} \left(d_{ps} - d_{pc} \right) / d_{ps}} \tag{100}$$

حيث λ هو طول الموجة.

ويجب أن يكون السطح العاكس مستوياً وأملساً، وأن يقع على خط البصر إلى S وT كلتيهما 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:

$$d_{clear} \approx r_{clear} d_{pc} / h_{pt} \tag{101}$$

ويعطى معيار الاستواء والملاسة لسطح عاكس كما يلي:

$$\Delta \approx \frac{\lambda d_{pc}}{10 h_{pt}} \tag{102}$$

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:

$$R = \frac{\lambda d_{ps}}{4 h_{pt}} \tag{103}$$

وإذا ما استُخدمت قيمة R، المحسوبة باستخدام المعادلة (103)، في المعادلة (64b)، فإن تناقص ارتفاع المطراف تحت الارتفاع R يفضي إلى تزايد جودة التقريب إلى نموذج الأرض المستوية ذي الشعاعين في انعكاس الورود التماسي. وبتناقص ارتفاع المطراف، يتعين توسيع السطح العاكس الأملس المبين في الشكل 5 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:

$$A_h = 20 \log\left[1 + \rho \exp\left(-j \frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)\right] \tag{104}$$

حيث:

ρ: معامل انعكاس معقد يمكن تقديره، في الورود التماسي، كرقم صرف تبلغ قيمته التقريبية $-0{,}95$

δ: الفارق في طول المسير المعطى كما يلي:

$$\delta = \frac{2 h_{ps} h_{pt}}{d_{ps}} \tag{105}$$

وإذا استُخدمت المعادلة (104) 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 (104) سيزيد التقريب إلى المعادلة (64b). فإذا ما استُخدمت المعادلة (104) على ارتفاع تحت R، ينبغي التنبه إلى التحذير أعلاه بشأن مدى اتساع السطح العاكس. وإذا ما استُخدمت المعادلة (104) 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 5 قد يتغير. ويمكن تجنب هذا الإشكال الأخير إذا استُخدمت طريقة الانعكاس في مسير على خط البصر (LoS) فقط.