

## التوصية ITU-R P.1812

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

(المسألة ITU-R 203/3)

(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 من أجل التقييم المفصل لمستويات الإشارة المتجاوزة خلال نسبة مئوية معينة من الوقت  $p\%$  ضمن المدى  $1\% \geq p \geq 50\%$ ، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع،  $p_L$ ، ضمن المدى  $1\% \geq p_L \geq 99\%$ . وتقدم هذه الطريقة تحليلاً مفصلاً يقوم على المظهر الجانبي لتضاريس الأرض.

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

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

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

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

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

وإذ تلاحظ

أ) أن التوصية ITU-R P.258 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 المفصل للتداخلات الصغيرة 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 بالنسبة إلى أنظمة الرحلات 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 الأرضية؛

و) أن التوصية ITU-R P.1546 تقدم إرشادات بشأن التنبؤ بقيم شدة المجال في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF) بالاستناد في المقام الأول إلى تحاليل إحصائية للبيانات التجريبية،

### توصي

1 باستعمال الإجراء الوارد في الملحق 1 من أجل التقييم المفصل 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 المفصل لمستويات الإشارة المناسبة للاستعمال فيما يتعلق بخدمات الأرض من نقطة إلى منطقة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والديسيمترية (UHF). وتتنبأ هذه الطريقة بمستوى الإشارة (أي شدة المجال الكهربائي) المتجاوز خلال نسبة مئوية معينة من الوقت  $p\%$  لسنة متوسطة ضمن المدى  $1\% \geq p \geq 50\%$ ، وفي نسبة مئوية معينة من المواقع،  $p_L\%$ ، ضمن المدى  $1\% \geq p_L \geq 99\%$ . ومن ثم يمكن استعمال هذه الطريقة للتنبؤ بمنطقة الخدمة وتيسرها على حد سواء لمستوى إشارة (لتغطية) مرغوب (ة)، 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 الطرفين الراديوين على قدم المساواة. فمن منظور النموذج، لا يهم أي من الطرفين هو المرسل وأيهما هو المستقبل. لكن تسهياً لوصف النموذج، يُستعمل مصطلحا "المرسل" و"المستقبل" للدلالة على الطرفين عند بدء ونهاية المسير الراديو على التوالي.

توصف الطريقة، بداية، 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 معدة، بالدرجة الأولى، من أجل الاستعمال مع أنظمة تستعمل هوائيات ذات كسب منخفض. بيد أن التغيير في الدقة عند استعمال هوائيات ذات كسب عال لا يؤثر إلا في عنصر الانتثار التروبوسفيري من مجمل الطريقة، ويكون التغيير في التنبؤات طفيفاً. فمثلاً، حتى في حالة هوائيين كُسبهما 40 dBi على طرفي الوصلة، لا يزيد التقدير المفرط لإشارات الانتثار التروبوسفيري عن 1 dB.

وتناسب هذه الطريقة التنبؤات في أنظمة الاتصالات الراديوية التي تستخدم دوائر أرضية تتراوح أطوال مسيراتها بين 0,25 km ونحو 3 000 km مسافةً، على أن يكون كلا الطرفين على ارتفاع يقرب من 3 km فوق الأرض. ولا تلائم هذه الطريقة تنبؤات الانتشار على دوائر 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 المفصلة 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 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 عناصر خسارة التغير 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 يلاحظوا أن التغير 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 التغير في الموقع إلا في الحالات التي يُجهل فيها الموقع الدقيق لمطراف معين ويلزم تمثيل إحصائي للمواقع المحتملة لذلك المطراف. ولا يرجح 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 تُطبّق هذه التوصية إلا بقيمة  $p_L = 50\%$ .

ويصير الأمر نفسه بالنسبة لخسارة الدخول إلى المباني. غير أن الأمر يكون أكثر تعقيداً بقليل مما عليه الحال بالنسبة للتغير في الموقع نظراً لأن متوسط تصحيح خسارة الدخول ليس صفرًا. ففي طرف المرسل، يتعين على المستعملين إضافة خسارة الدخول إلى المباني إلى خسارة الإرسال الأساسية إذا كان المرسل داخل مبنى. غير أنه يجب على المستعملين أن يتنبهوا إلى أن قيم الخسارة المتوسطة الواردة في الجدول 6 قد تكون مضللة إذا لم يقع المرسل في موقع "متوسط".

## 2 عناصر النموذج لطريقة التنبؤ بالانتشار

تأخذ طريقة التنبؤ بالانتشار هذه عناصر النموذج التالية في الحسبان:

- خط البصر؛
- 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)؛
- تغير كسب الارتفاع في الجلبة؛
- التغير في الموقع؛
- خسارة الدخول إلى المباني.

### 3 معلمات الدخل

#### 1.3 بيانات الدخل الأساسية

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

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

#### الجدول 1

##### بيانات 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
$\phi_t, \phi_r$	deg	80-	80+	خط عرض المرسل، المستقبل
$\psi_t, \psi_r$	deg	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:

$$(1a) \quad d_i = \text{المسافة من المرسل لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب } i \quad (\text{km})$$

$$(1b) \quad h_i = \text{ارتفاع فوق نقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب } i \text{ فوق مستوى البحر} \quad (\text{m})$$

$$(1c) \quad g_i = \text{ارتفاع الجلبة التمثيلي لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب } i + h_i \quad (\text{m})$$

حيث:

$$i = 1, 2, 3 \dots n = \text{دليل نقطة المظهر الجانبي}$$

$$n = \text{عدد نقاط المظهر الجانبي.}$$

لاحظ أن نقطة المظهر الجانبي الأولى تكون عند المرسل. إذن،  $d_1$  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. وإن لم تتيسر معلومات الارتفاع التمثيلي للجلبة للمظهر الجانبي للمسير، فإن  $h_i = g_i$ .

ونظراً لعدم وجود مجموعة قياسية من فئات الجلبة، لا تعرف هذه التوصية أنماطاً للجلبة أو ارتفاعات يتعين استعمالها. وللعلم، إذا استعملت ارتفاعات للجلبة، فينبغي أن تكون ارتفاعات "تمثيلية" تحسّن دقة النموذج، وليس الارتفاعات المادية للجلبة الممثّلة. ولعل الجدول 2 يقدم إرشاداً مفيداً بشأن أنماط الجلبة. أما في هذه التوصية، فإن ضبط ارتفاع الجلبة بقيمة الصفر يكافئ إزالة خسارة الجلبة.

## الجدول 2

## الأنماط التمثيلية للجلبة

نمط الجلبة	الارتفاع التمثيلي للجلبة (m)	نموذج خسارة الجلبة للمطراف
منطقة مفتوحة/ريفية/مياه	10	المعادلة (54b)
ضواحي	10	المعادلة (54a)
حضرية/أشجار/غابة	15	المعادلة (54a)
حضرية كثيفة	20	المعادلة (54a)

## 3.3 المناطق المناخية الراديوية

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

## الجدول 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)

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) لبيئي 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.

### 4.3 مسافات المطراف من الساحل

أما إذا كان المسير عابراً للمنطقة B، فتلزم معلمتان إضافيتان  $d_{cr}$ ،  $d_{ct}$ ، 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.

- $\Delta N$  (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  $\Delta N$  في هذا الإجراء تكون كمية موجبة.
  - $N_0$  (وحدات -N) هي الانكسارية على مستوى سطح البحر وتستعمل فقط في نموذج الانتثار التروبوسفيري كمقياس للتغير في آليات الانتثار التروبوسفيري.
- ترد في التذييل 1 خرائط عالمية لقيم  $\Delta N$  و  $N_0$  وملفات بيانات تحوي الخرائط المرقمنة المتيسرة من مكتب الاتصالات الراديوية.

### 6.3 حالة الانتثار التروبوسفيري الموجه

يتم التحديد الكمي للدرجة التي تتعزز إليها مستويات الإشارة بفعل الانتشار غير المنتظم، لا سيما الانتثار التروبوسفيري الموجه، بالمعلمة  $\beta_0$  (%)، وهي النسبة المئوية من الوقت التي يتوقع في أثنائها وفي المائة متر الأولى من الطبقة المنخفضة من الجو، أن تتجاوز معدلات التفاوت لدليل الانكسار  $N-100$  وحدة/km. وتُحسب قيمة  $\beta_0$  كما يلي.

احسب المعلمة  $\mu_1$ ، التي تعتمد على الدرجة التي يعبر فيها المسير الأرض (في الداخل/أو على الساحل) والمياه:

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

حيث يحد قيمة  $\mu_1$  المتباينة  $\mu_1 \leq 1$ ، و:

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

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

$d_m$ : أطول جزء بري مستمر داخل الأراضي من مسير الدائرة العظمى (km).

ويعرّف الجدول 3 المناطق المناخية الراديوية التي يجب استعمالها للحصول على  $d_{lm}$  و  $d_m$ . 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  $d_{lm}$  و  $d_m$  يساويان طول المسير،  $d$ .

احسب المعلمة  $\mu_4$ ، التي تعتمد على  $\mu_1$  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:

$\phi$ : خط عرض منتصف المسير (درجات).

احسب  $\beta_0$ :

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

## 7.3 نصف قطر الأرض الفعال

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

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

يمكن الحصول على قيمة متوسط معدل التفاوت لقابلية في الانكسارية الراديوية،  $\Delta N$ ، من الشكل 1 باستعمال خطي العرض والطول لمركز المسير كمثل للمسير برمته.ويمكن أن تحدد القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعال  $a_e$  بواسطة المعادلة التالية:

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

بينما يُحدد نصف قطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه لمدة  $\beta_0$ ،  $a_\beta$ ، بواسطة المعادلة التالية:

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

حيث  $k_\beta = 3,0$  هي قيمة تقديرية لعامل نصف قطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه لمدة  $\beta_0$ .

## 8.3 المعلومات التي يتم الحصول عليها من تحليل المظهر الجانبي للمسير

يجب الحصول على القيم الخاصة بعدد من المعلومات 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 7 من هذا الملحق معلومات حول اشتقاق المظهر الجانبي للمسير وبنائه وتحليله.

## الجدول 4

## قيم معلومات مستخلصة من تحليل المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
$d$	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
$d_{it}, d_{ir}$	المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال والأفق المقابل لهما (km)
$\theta_s, \theta_r$	زاويتا ارتفاع الأفق عند الإرسال والاستقبال (mrad)
$\theta$	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
$h_{ts}, h_{rs}$	ارتفاع مركز الهوائي فوق المستوى المتوسط للبحر (m)
$h_{tc}, h_{rc}$	الحد الأقصى لقيم $(h_{ts}, g_t)$ و $(h_{rs}, g_r)$ على التوالي
$h_{te}, h_{re}$	الارتفاع الفعال للهوائي فوق الأرض (m)
$d_b$	الطول الإجمالي لأجزاء المسير فوق الماء (km)
$\omega$	جزء المسير الكلي فوق الماء: $\omega = d_b / d$
	حيث $d$ هي مسافة الدائرة العظمى (km) المحسوبة باستخدام المعادلة (63). بالنسبة للمسيرات البرية بكاملها: $0 = \omega$

## 4 إجراء التنبؤ

### 1.4 نظرة عامة

تتناول هذه الفقرة بالوصف إجراء التنبؤ بكامله. أولاً، تُقِيمُ 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 والانتشار بالانعراج والانتشار بالتروبوسفيري والانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات وتجميع لآليات الانتشار هذه للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية، على التوالي). أما في الفقرات 7.4-10.4، فيرد وصف لطرائق لتضمين تأثيرات جلبة المطراف، وتأثيرات التغير في الموقع وخسارة الدخول إلى المباني. وفي النهاية تقدم الفقرة 11.4 صيغاً تعزو خسارة الإرسال الأساسية إلى شدة المجال (dB  $\mu$ V/m) بالنسبة إلى 1 kW من القدرة المشعة الفعالة.

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

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

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

وتعطي تصحيحات تأثيرات المسيرات المتعددة والتبغير في النسبتين المئويتين للوقت  $p$  و  $\beta_0$ ، على التوالي، بالمعادلتين:

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

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

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

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

واحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت والتي تعود إلى الانتشار في خط البصر (بصرف النظر عما إذا كان المسير في خط البصر فعلياً أم لا) والتي تعطي بالمعادلة التالية:

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

### 3.4 الانتشار بالانعراج

الملاحظة 1 - تبين أن لهذه الطريقة المأخوذة من التوصية ITU-R P.452 أوجه قصور<sup>1</sup>، ومن ثم فإن العمل جارٍ لطرح طريقة محسنة. وللعلم، تجري دراسة طرائق انعراج أخرى حالياً وهو ما سينتج عنه تحديث هذا القسم.

<sup>1</sup> خاصة أن القياسات في سويسرا قد أسفرت عن نتائج غير متسقة ذات انحراف معياري قدره 15 dB.



تُحسب خسارة الانعراج بطريقة تعتمد على بناء دايجوت (Deygout) لثلاث حواف كحد أقصى. والحافة الرئيسية موجودة دائماً، وتُعرّف بنقطة المظهر الجانبي ذات أعلى قيمة لمعلمة الانعراج،  $v$ . والحافتان الثانويتان يمكن وجودهما على جانبي المرسل والمستقبل من الحافة الرئيسية. ثم تُدمج خسائر حد السكين للحواف الموجودة مع تصحيح تجريبي. وتقدم هذه الطريقة تقديراً لخسارة الانعراج لجميع أنماط المسيرات سواء أكانت عبر البحر أم البر أم عبر الأراضي الساحلية وسواء أكان المسير ممهداً أم وعراً.

تُستعمل الطريقة أعلاه عادة لمتوسط نصف قطر الأرض الفعال كما يأتي وصفه في الفقرة 1.3.4. وعند الحاجة إلى تنبؤ إجمالي بالنسبة إلى  $p = 50\%$ ، تنتفي الحاجة إلى حساب آخر للانعراج.

وفي الحالة العامة عندما يكون  $P > 50\%$ ، يجب إجراء الحساب كرتة ثانية لعامل نصف قطر الأرض الفعال المساوي 3، كما يأتي وصفه في الفقرة 2.3.4. ويوفر هذا الحساب الثاني تقديراً لخسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت، حيث يتم الحصول على  $\beta_0$  بالمعادلة (5).

وبعد ذلك، تُحسب خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت، بالنسبة إلى  $p \geq 0,001\%$ ، باستعمال عملية التحديد أو الاستكمال الداخلي الموضحة في الفقرة 3.3.4.

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

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

يلاحظ أن  $J(-0.78) \approx 0$ ، وهذا يُعرّف الحد الأقل الذي ينبغي استعمال هذا التقريب عنده. هذا وتُضبط  $J(v)$  بقيمة الصفر لكل  $v \geq -0.78$ .

### 1.3.4 متوسط خسارة الانعراج

يُحسب متوسط خسارة الانعراج،  $L_{d50}$  (dB)، باستعمال القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعال،  $a_e$ ، تعطى بالمعادلة (7a).  
متوسط خسارة الانعراج للحافة الرئيسية

يحسب التصحيح،  $\zeta_m$ ، بالنسبة لميل المسير ككل ويتم الحصول عليه بالمعادلة:

$$(13) \quad \zeta_m = \cos \left( \tan^{-1} \left( 10^{-3} \cdot \frac{h_{rc} - h_{tc}}{d} \right) \right)$$

تحدد الحافة الأساسية (أي الرئيسية)، وتحسب معلمة الانعراج خاصتها،  $v_{m50}$ ، المعطاة بالمعادلة:

$$(14) \quad v_{m50} = \max_{i=2}^{n-1} \left( \zeta_m H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d}{\lambda d_i \cdot (d - d_i)}} \right)$$

حيث الخلوص الرأسي،  $H_i$ ، هو:

$$(14a) \quad H_i = g_i + 10^3 \frac{d_i \cdot (d - d_i)}{2a_e} - \frac{h_{tc} \cdot (d - d_i) + h_{rc} \cdot d_i}{d}$$

و:

$\lambda$ : طول الموجة (m)  $f/0,3$

$f$ : التردد (GHz)

$d$ : طول المسير (km)

$d_i$ : مسافة نقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب  $i$  من المرسل (km)، (انظر الفقرة 2.3)

$h_{tc,rc}$ : قيمة  $(h_{ts,rs}, g_{1,n})$  القصوى، على التوالي.

يُضبط  $i_{m50}$  على دليل نقطة المظهر الجانبي ذات القيمة القصوى،  $v_{m50}$ .

ويحسب متوسط خسارة انعراج حد السكن للحافة الرئيسية،  $L_{m50}$ ، بالمعادلة:

$$(15) \quad L_{m50} = J(v_{m50}) \text{ if } v_{m50} \geq -0.78 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

إذا كان  $L_{m50} = 0$ ، فإن متوسط خسارة الانعراج،  $L_{d50}$ ، وخسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المثوية  $\beta_0\%$  من الوقت،  $L_{d\beta}$ ، تساويان صفرًا، وتنتفي الحاجة لإجراء مزيد من حسابات الانعراج.

وإلا ينبغي دراسة خسائر أخرى محتملة منشأها الحافتين الثانويتين على جانبي المرسل والمستقبل من الحافة الرئيسية، كما يلي.

متوسط خسارة الانعراج للحافة الثانوية من جانب المرسل

إذا كان  $i_{m50} = 2$ ، فلا توجد حافة ثانوية من جانب المرسل، وينبغي ضبط خسارة الانعراج المصاحبة،  $L_{t50}$ ، على الصفر. وخلاف ذلك، فإن الحساب يتواصل كما يلي. يحسب التصحيح  $\zeta_t$ ، لميل المسير من المرسل إلى الحافة الرئيسية:

$$(16) \quad \zeta_t = \cos \left( \tan^{-1} \left( 10^{-3} \cdot \frac{g_{im50} - h_{tc}}{d_{im50}} \right) \right)$$

وتحدد الحافة الثانوية من جانب المرسل وتحسب معلمة الانعراج خاصتها،  $v_{t50}$ ، بالمعادلة:

$$(17) \quad v_{t50} = \max_{i=2}^{i_{m50}-1} \left( \zeta_i H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d_{im50}}{\lambda d_i \cdot (d_{im50} - d_i)}} \right)$$

حيث:

$$(17a) \quad H_i = g_i + 10^3 \frac{d_i \cdot (d_{im50} - d_i)}{2a_e} - \frac{h_{tc} \cdot (d_{im50} - d_i) + g_{im50} \cdot d_i}{d_{im50}}$$

يُضبط  $i_{m50}$  على دليل نقطة المظهر الجانبي للحافة الثانوية من جانب المرسل (أي دليل عنصر صفيق ارتفاع تضاريس الأرض المقابل للقيمة  $v_{50}$ ).

ويحسب متوسط خسارة انعراج حد السكن،  $L_{t50}$ ، للحافة الثانوية من جانب المرسل بالمعادلة:

$$(18) \quad L_{t50} = J(v_{t50}) \text{ if } v_{t50} \geq -0.78 \text{ and } i_{m50} > 2 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

متوسط خسارة الانعراج للحافة الثانوية من جانب المستقبل

إذا كان  $i_{m50} = n - 1$ ، فلا توجد حافة ثانوية من جانب المستقبل، وينبغي ضبط خسارة الانعراج المصاحبة  $L_{r50}$  على الصفر. وخلاف ذلك، فإن الحساب يتواصل كما يلي. يحسب التصحيح  $\zeta_r$ ، لميل المسير من الحافة الرئيسية إلى المستقبل:

$$(19) \quad \zeta_r = \cos \left( \tan^{-1} \left( 10^{-3} \cdot \frac{h_{rc} - g_{im50}}{d - d_{im50}} \right) \right)$$

وتحدد الحافة الثانوية من جانب المستقبل وتحسب معلمة الانعراج خاصتها،  $v_{r50}$ ، بالمعادلة:

$$(20) \quad v_{r50} = \max_{i=i_{m50}+1}^{n-1} \left( \zeta_r H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} (d - d_{im50})}{\lambda (d_i - d_{im50}) \cdot (d - d_i)}} \right)$$

حيث:

$$(20a) \quad H_i = g_i + 10^3 \frac{(d_i - d_{im50}) \cdot (d - d_i)}{2a_e} - \frac{g_{im50} \cdot (d - d_i) + h_{rc} \cdot (d_i - d_{im50})}{d - d_{im50}}$$

يُضبط  $i_{r50}$  على دليل نقطة المظهر الجانبي للحافة الثانوية من جانب المستقبل (أي دليل عنصر صفيح ارتفاع تضاريس الأرض المقابل للقيمة  $v_{r50}$ ).

يحسب متوسط خسارة انعراج حد السكين،  $L_{r50}$ ، للحافة الثانوية من جانب المستقبل بالمعادلة:

$$(21) \quad L_{r50} = J(v_{r50}) \text{ if } v_{r50} \geq -0.78 \text{ and } i_{m50} < n-1 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

مجموعة خسائر الحافة لمتوسط انحناء الأرض

يحسب متوسط خسارة الانعراج،  $L_{d50}$ ، بالمعادلة:

$$(22) \quad L_{d50} = L_{m50} + \left( 1 - e^{-\frac{L_{m50}}{6}} \right) \cdot (L_{r50} + L_{r50} + 10 + 0.04d) \text{ if } v_{m50} > -0.78 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

وفي المعادلة (22)، تكون  $L_{r50}$  صفراً في حال عدم وجود الحافة الثانوية من جانب المرسل، وبالمثل، تكون  $L_{r50}$  صفراً في حال عدم وجود الحافة الثانوية من جانب المستقبل.

وإذا كانت  $L_{d50} = 0$ ، فإن خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت ستكون صفراً أيضاً.

وعند الحاجة إلى التنبؤ عند  $p = 50\%$  فقط، تنتفي الحاجة لإجراء مزيد من حسابات الانعراج (انظر الفقرة 3.3.4). وخلاف ذلك، يجب حساب خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت كما يلي.

#### 2.3.4 خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية $\beta_0\%$ من الوقت

تُحسب خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت باستعمال نصف قطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت،  $a_\beta$ ، والذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (7b). وبالنسبة لهذا الحساب الثاني للانعراج، ينبغي استعمال الحواف نفسها كذلك التي تم التوصل إليها للحالة المتوسطة من أجل بناء دايغوت. ثم يتواصل حساب خسارة الانعراج هذه كما يلي.

خسارة الانعراج للحافة الرئيسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت

تحدد معلمة الانعراج للحافة الأساسية (أي الرئيسية)،  $v_{m\beta}$ ، بالمعادلة:

$$(23) \quad v_{m\beta} = \zeta_m H_{im\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d}{\lambda d_{im50} \cdot (d - d_{im50})}}$$

حيث:

$$(23a) \quad H_{im\beta} = g_{im50} + 10^3 \frac{d_{im50} \cdot (d - d_{im50})}{2a_\beta} - \frac{h_{tc} \cdot (d - d_{im50}) + h_{rc} \cdot d_{im50}}{d}$$

تُحسب خسارة انعراج حد السكين للحافة الأساسية،  $L_{m\beta}$ ، بالمعادلة:

$$(24) \quad L_{m\beta} = J(v_{m\beta}) \text{ if } v_{m\beta} \geq -0.78 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

خسارة الانعراج للحافة الثانوية من جانب المرسل التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت  
إذا كانت  $L_{t50} = 0$ ، فإن  $L_{t\beta}$  تكون صفراً. وخلاف ذلك، تحسب معلمة الانعراج للحافة الثانوية من جانب المرسل  $v_{t\beta}$ ،  
المعطاة بالمعادلة:

$$(25) \quad v_{t\beta} = \zeta_t H_{it\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d_{im50}}{\lambda d_{it50} \cdot (d_{im50} - d_{it50})}}$$

حيث:

$$(25a) \quad H_{it\beta} = g_{it50} + 10^3 \frac{d_{it50} \cdot (d_{im50} - d_{it50})}{2a\beta} - \frac{h_{tc} \cdot (d_{im50} - d_{it50}) + g_{im50} \cdot d_{it50}}{d_{im50}}$$

تحسب خسارة انعراج حد السكين للحافة الثانوية من جانب المرسل،  $L_{t\beta}$ ، المعطاة بالمعادلة:

$$(26) \quad L_{t\beta} = J(v_{t\beta}) \quad \text{if } v_{t\beta} \geq -0.78 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

خسارة الانعراج للحافة الثانوية من جانب المستقبل التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت  
إذا كانت  $L_{r50} = 0$  فإن  $L_{r\beta}$  تكون صفراً. وخلاف ذلك، تحسب معلمة الانعراج للحافة الثانوية من جانب المستقبل  $v_{r\beta}$ ،  
المعطاة بالمعادلة:

$$(27) \quad v_{r\beta} = \zeta_r H_{ir\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} (d - d_{im50})}{\lambda (d_{ir50} - d_{im50}) \cdot (d - d_{ir50})}}$$

حيث:

$$(27a) \quad H_{ir\beta} = g_{ir50} + 10^3 \frac{(d_{ir50} - d_{im50}) \cdot (d - d_{ir50})}{2a\beta} - \frac{g_{im50} \cdot (d - d_{ir50}) + h_{rc} \cdot (d - d_{im50})}{d - d_{im50}}$$

تحسب خسارة انعراج حد السكين للحافة الثانوية من جانب المستقبل،  $L_{r\beta}$ ، المعطاة بالمعادلة:

$$(28) \quad L_{r\beta} = J(v_{r\beta}) \quad \text{if } v_{r\beta} \geq -0.78 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

مجموعة خسائر الحافة التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت

تحسب خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $\beta_0\%$  من الوقت  $L_{d\beta}$  المعطاة بالمعادلة:

$$(29) \quad L_{d\beta} = L_{m\beta} + \left( 1 - e^{-\frac{L_{m\beta}}{6}} \right) \cdot (L_{t\beta} + L_{r\beta} + 10 + 0.04d) \quad \text{if } v_{m\beta} > -0.78 \\ = 0 \quad \text{otherwise}$$

3.3.4 خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت

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

$$(30a) \quad F_i = 0 \quad \text{if } p=50\%$$

$$(30b) \quad = \frac{I\left(\frac{p}{100}\right)}{I\left(\frac{\beta_0}{100}\right)} \quad \text{if } 50\% > p > \beta_0\%$$

$$(30c) \quad = 1 \quad \text{if } \beta_0\% \geq p$$

حيث  $I(x)$  هو معكوس التوزيع الطبيعي التراكمي التكميلي بدلالة الاحتمال  $x$ . ويرد في التذييل 3 تقريب لدالة  $I(x)$  يمكن استعماله بامامش ثقة عندما تكون  $x \geq 0,5$ .

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

$$(31) \quad L_{dp} = L_{d50} + (L_{d\beta} - L_{d50}) F_i \quad \text{dB}$$

حيث تحدد الخسارتان  $L_{d50}$  و  $L_{d\beta}$  بالمعادلتين (22) و (29) على التوالي، ويُحدد العامل  $F_i$  بالمعادلات (30a-c)، تبعاً لقيم  $p$  و  $\beta_0$ .

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

$$(32) \quad L_{bd50} = L_{bfs} + L_{d50} \quad \text{dB}$$

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

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

$$(33) \quad L_{db} = L_{b0p} + L_{dp} \quad \text{dB}$$

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

## 4.4 الانتشار بالتناثر التروبوسفيري

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

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

$$(34) \quad L_{bs}(p) = 190 + L_f + 20 \log d + 0.573\theta - 0.15 N_0 + L_c + A_g - 10.1[-\log(p/50)]^{0.7} \quad \text{dB}$$

حيث:

$L_f$ : الخسارة حسب التردد:

$$(35) \quad L_f = 25 \cdot \log(f) - 2.5 \cdot \left[ \log\left(\frac{f}{2}\right) \right]^2 \quad \text{dB}$$

$N_0$ : 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:

$$(36) \quad L_{ba} = A_f + A_d(p) \quad \text{dB}$$

حيث:

$A_f$ : إجمالي خسائر الاقتران الثابتة (باستثناء الخسائر الناتجة عن العوائق المحلية) بين الهوائيات وبنية

الانتشار غير المنتظم في الجو:

$$(37) \quad A_f = 102.45 + 20 \log f + 20 \log(d_{lt} + d_{lr}) + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB}$$

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

$$(38) \quad A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log \left[ 1 + 0.361 \theta''_{t,r} (f \cdot d_{lt,lr})^{1/2} \right] + 0.264 \theta''_{t,r} f^{1/3} \quad \text{dB} & \text{for } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 \quad \text{dB} & \text{for } \theta''_{t,r} \leq 0 \text{ mrad} \end{cases}$$

حيث:

$$(38a) \quad \theta''_{t,r} = \theta_{t,r} - 0.1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad}$$

$A_{ct}$ ,  $A_{cr}$ : قيمتا تصحيح الاقتران بالانتشار التروبوسفيري الموجه على السطح فوق البحر للمحطة المرسله

والمحطة المستقبلية، على التوالي:

$$(39) \quad A_{ct, cr} = -3 e^{-0.25 d_{ct, cr}^2} (1 + \tanh(0.07(50 - h_{ts,rs}))) \quad \text{dB} \quad \text{for } \omega \geq 0.75$$

$$d_{ct, cr} \leq d_{lt, lr}$$

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

$$(39a) \quad \text{for all other conditions} \quad \text{dB} \quad A_{ct, cr} = 0$$

ومن المفيد الإشارة إلى المجموعة المحدودة من الشروط التي تكون فيها المعادلة (39) ضرورية.

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

$$(40) \quad A_d(p) = \gamma_d \cdot \theta' + A(p) \quad \text{dB}$$

حيث:

$\gamma_d$ : التوهين النوعي:

$$(41) \quad \gamma_d = 5 \times 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad}$$

$\theta'$ : المسافة الزاوية (مصححة وفقاً للحاجة) من خلال المعادلة (38a) من أجل إتاحة تطبيق نموذج تأثير حجب الموقع في المعادلة (36):

$$(42) \quad \theta' = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad \text{mrad}$$

$$(42a) \quad \theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{mrad} & \text{for } \theta_{t,r} \leq 0.1 d_{t,lr} & \text{mrad} \\ 0.1 d_{t,lr} & \text{mrad} & \text{for } \theta_{t,r} > 0.1 d_{t,lr} & \text{mrad} \end{cases}$$

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

$$(43) \quad A(p) = -12 + (1.2 + 3.7 \times 10^{-3} d) \log\left(\frac{p}{\beta}\right) + 12 \left(\frac{p}{\beta}\right)^\Gamma \quad \text{dB}$$

$$(43a) \quad \Gamma = \frac{1.076}{(2.0058 - \log \beta)^{1.012}} \times e^{-(9.51 - 4.8 \log \beta + 0.198 (\log \beta)^2) \times 10^{-6} \cdot d^{1.13}}$$

$$(44) \quad \beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad \%$$

$\mu_2$ : التصحيح بالنسبة إلى هندسة المسير:

$$(45) \quad \mu_2 = \left[ \frac{500 d^2}{a_e (\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right]^\alpha$$

ويجب ألا تتجاوز قيمة  $\mu_2$  مقداراً 1:

$$(45a) \quad \alpha = -0.6 - \varepsilon \cdot 10^{-9} \cdot d^{3.1} \cdot \tau$$

حيث:

$\varepsilon$ : 3,5

$\tau$ : محددة في المعادلة (3) ويجب ألا تقل قيمة  $\alpha$  عن -3,4

$\mu_3$ : تصحيح عدم الانتظام في التضاريس الأرضية:

$$(46) \quad \mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{for } h_m \leq 10 \text{ m} \\ \exp\left[-4.6 \times 10^{-5} (h_m - 10)(43 + 6d_i)\right] & \text{for } h_m > 10 \text{ m} \end{cases}$$

$$(46a) \quad d_I = \min(d - d_{It} - d_{Irs}, 40) \quad \text{km}$$

ويرد تعريف المصطلحات الأخرى في الجدولين 1 و 2 وفي التذييل 2.

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

ينبغي تطبيق الإجراء التالي على نتائج الحسابات السالفة بالنسبة لكل المسيرات كي تُحسب خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت وفي  $50\%$  من المواقع. ولتحاشي عدم الاستمرارية غير المعقولة فيما يُتنبأ به

من خسائر إرسال أساسية افتراضية، يجب خلط نماذج الانتشار السالفة معاً للحصول على قيم معدلة لخسائر الإرسال الأساسية بغية تحقيق تنبؤ إجمالي من أجل النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت وفي  $50\%$  من المواقع.

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

$$(47) \quad F_j = 1.0 - 0.5 \left( 1.0 + \tanh \left( 3.0 \cdot \xi \cdot \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right) \right)$$

حيث:

$\Theta$ : معلمة ثابتة تحدد المدى الزاوي للخلط المصاحب؛ وتأخذ القيمة 0,3؛

$\xi$ : معلمة ثابتة تحدد ميل الخلط في نهاية المدى؛ وتأخذ القيمة 0,8؛

$\theta$ : المسافة الزاوية للمسير، التي يرد تعريفها في الجدول 7.

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

$$(48) \quad F_k = 1.0 - 0.5 \left( 1.0 + \tanh \left( 3.0 \cdot \kappa \cdot \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right)$$

حيث:

$d$ : طول مسير الدائرة العظمى (km) المحدد في الجدول 3

$d_{sw}$ : معلمة ثابتة تحدد مدى المسافة للخلط المصاحب؛ وتأخذ القيمة 20

$\kappa$ : 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:

$$(49) \quad L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{for } p < \beta_0 \quad \text{dB} \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50}) \cdot F & \text{for } p \geq \beta_0 \quad \text{dB} \end{cases}$$

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  $\beta_0\%$  من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (11)

$L_{dp}$ : خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت، من المعادلة (31) والمحسوبة باستعمال الطريقة الموصوفة في الفقرة 3.4

$L_{bd50}$ : متوسط خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج، من المعادلة (32)، والمحسوب باستعمال الطريقة الموصوفة في الفقرة 3.4

$F_i$ : عامل الاستكمال الداخلي لانعراج نصف قطر الأرض الفعالين، ويتم الحصول عليه بالمعادلة (30).

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

$$(50) \quad L_{minbap} = \eta \cdot \ln \left( e^{\left( \frac{L_{ba}}{\eta} \right)} + e^{\left( \frac{L_{b0p}}{\eta} \right)} \right) \quad \text{dB}$$



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 (36)

$L_{b0p}$ : خسارة الإرسال الأساسية في خط البصر الافتراضي التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (10)

$$\eta = 2,5.$$

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

$$(51) \quad L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{for } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap}) \cdot F_k & \text{for } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \quad \text{dB}$$

حيث:

$L_{bd}$ : خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت من المعادلة (33)

$L_{minbap}$ : خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية المصاحبة لانتشار خط البصر وتعزيزات الإشارة عبر الأفق من المعادلة (50)

$F_k$ : عامل الاستكمال الداخلي، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (48)، وفق قيمة مسافة الدائرة العظمى للمسير،  $d$ .

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

$$(52) \quad L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda}) \cdot F_j \quad \text{dB}$$

حيث:

$L_{bda}$ : خسارة الإرسال الأساسية الافتراضية المصاحبة للانعراج وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (51)

$L_{minb0p}$ : خسارة الإرسال الأساسية الدنيا الافتراضية المصاحبة لانتشار خط البصر وانعراج المسير الفرعي فوق البحر، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (49)

$F_j$ : عامل الاستكمال الداخلي الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (47)، وفق قيمة المسافة الزاوية للمسير،  $\theta$ .

تُحسب 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:

$$(53) \quad L_{bu} = -5 \log(10^{-0.2L_{bs}} + 10^{-0.2L_{bam}}) \quad \text{dB}$$

حيث:

$L_{bs}$ : خسارة الإرسال الأساسية نتيجة الانتشار التروبوسفيري (dB) والتي لا يتم تجاوزها أثناء أية نسبة مئوية من الوقت  $P\%$ ، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (34)

$L_{bam}$ : خسارة الإرسال الأساسية المعدلة التي تأخذ في الحسبان الانعراج، وتعزيزات خط البصر أو الانتشار التروبوسفيري الموجه والانعكاس على الطبقات، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (52).

### 7.4 خسائر جلبة المطراف

عند توضع هوائي المرسل أو المستقبل تحت الارتفاعين  $R_r$  أو  $R_t$  الممثلين للغطاء الأرضي المحيط بالمرسل أو المستقبل، فإن خسارتي الجلبة للمرسل وللمستقبل،  $A_{hr}$ ،  $A_{ht}$  تحسبان كما يلي. والطريقة المستخدمة للمرسل والمستقبل واحدة وتكون في الأحوال التالية،  $A_{hr} = A_h$  أو  $A_{ht} = A_h$ ، و  $h_{rg} = h$  أو  $h_{rg} = R$ ، و  $R_r = R$  أو  $R_t = R$  حسب الاقتضاء.

فإذا كان  $h \geq R$  فإن  $A_h = 0$

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

$$(54a) \quad A_h = J(v) - 6.03 \quad \text{dB}$$

أو:

$$(54b) \quad A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{dB}$$

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

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

$$(54c) \quad v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}}$$

$$(54d) \quad h_{dif} = R - h \quad \text{m}$$

$$(54e) \quad \theta_{clut} = \tan^{-1} (h_{dif} / 27) \quad \text{درجات}$$

$$(54f) \quad K_{h2} = 21.8 + 6.2 \log(f)$$

$$(54g) \quad K_{nu} = 0.342 \sqrt{f}$$

حيث:

$f$ : التردد (GHz).

تمثل صيغة المعادلة (54a) خسارة انعراج فريسنل (Fresnel) عبر عائق، وتُطبق على فئات الجلبة من قبيل جلبة المباني. وتكون الجلبة الحضرية، على وجه الخصوص، من هذا النمط.

وتُستعمل المعادلة (54b) لتمثيل دالة كسب الارتفاع تحت أول ذروة ناجمة عن تداخل شعاعين من الأرض. وليست هذه بقضية جلبة، في الواقع، بيد أن هذا النهج البسيط يتيح معاملتها ضمن نفس إطار الجلبة. فإن لزم الأمر، فإنها تُستعمل بتوصيف نمط جلبة "غير مجلّبة" مع "ارتفاع جلبة"،  $R$ ، يمثل ارتفاع أول فص تداخل.

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:

$$(55) \quad L_{bc} = L_{bu} + A_{ht} + A_{hr} \quad \text{dB}$$

حيث:

$L_{bu}$ : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المئوية  $p\%$  من الوقت وفي  $50\%$  من

المواقع عند ارتفاع الجلبة التمثيلية (أو فوقه حسب الاقتضاء)، والتي يتم الحصول عليها بالمعادلة (53)

$A_{ht,hr}$ : الخسارة الإضافية الناتجة عن الجلبة الحاجبة للمرسل والمستقبل، والتي يتم الحصول عليها في المعادلتين

(54a و 54b) حسب الاقتضاء. وينبغي ضبطها بقيمة الصفر في غياب مثل هذا الحجب.

## 8.4 تغيير الخسارة حسب الموقع

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

وسيكون من الضروري أيضاً، فيما يتعلق بتخطيط الأنظمة الراديوية، أن تؤخذ تأثيرات المسيرات المتعددة في الحسبان. وسيختلف تأثير هذه الآثار باختلاف الأنظمة وبالتالي يتوقف على عرض النطاق والتشكيل ومخطط 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 m في 500 m بواسطة المعادلة التالية:

$$\sigma_L = K + 1.3 \log(f) \text{ dB} \quad (56)$$

حيث:

$K = 5,1$  بالنسبة إلى المستقبلات ذات الهوائيات المنصوبة تحت ارتفاع الجلبة في البيئة الحضرية وبيئة

الضواحي للأنظمة المتحركة 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 التغيير في الموقع عليها أكبر مساحة من 500 m في 500 m، أو إذا كان التغيير يتعلق بكل المناطق في مدى معين، وليس عبر مناطق فردية، فسوف تزداد قيمة الانحراف المعياري،  $\sigma_L$ . وقد بينت الدراسات التجريبية أن الزيادة في التغيير 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 تتغير بين 1% و 99%. 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 "التغيير 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 التغيير 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.

## الجدول 5

## قيم الانحراف المعياري للتغيير في الموقع المستعملة في بعض حالات التخطيط

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

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 تباير ارتفاع التغير في الموقع،  $u(h)$ ، بالعلاقات التالية:

$$(57) \quad \begin{aligned} u(h) &= 1 & \text{for } 0 \leq h < R \\ u(h) &= 1 - \frac{(h-R)}{10} & \text{for } R \leq h < R+10 \\ u(h) &= 0 & \text{for } R+10 \leq h \end{aligned}$$

حيث  $R$  (m) هو ارتفاع الجلبة التمثيلية في موقع المستقبل/المتنقل. لذا، بالنسبة إلى مستقبل/متنقل موجود خارج المباني، فإن الانحراف المعياري للتغير في الموقع،  $\sigma_L$ ، الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (56) أو من الجدول 5، ينبغي ضربه في دالة تباير الارتفاع،  $u(h)$ ، التي يتم الحصول عليها (57)، وذلك عند حساب قيم خسارة الإرسال الأساسية لقيم  $p_L$  المختلفة عن 50%.

#### 9.4 خسارة الدخول إلى المباني

تُعرّف خسارة الدخول إلى المباني على أنها الفارق بوحدة (dB) بين متوسط شدة المجال (بالنسبة للمواقع) خارج بناء على ارتفاع معين 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 التغير 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 التغير في الموقع ضمن مختلف المباني. وتصدر 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.

#### الجدول 6

#### خسارة الدخول إلى المباني<sup>(1)</sup>، $\sigma_{be}$ ، $L_{be}$

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

(1) يمكن تحديث هذه القيم عند تيسر المزيد من البيانات التجريبية.

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

أما تغيّر شدة المجال بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني فهو حصيلة دمج التغيّر خارج المباني ( $\sigma_L$ ) والتغيّر الناجم عن توهين البناء ( $\sigma_{be}$ ). ولا يوجد على الأرجح ارتباط بين هذين التغيّرين. ومن ثمّ يمكن حساب الانحراف المعياري بالنسبة إلى الاستقبال داخل المباني ( $\sigma_j$ ) بأخذ الجذر التربيعي لمجموع مربعي الانحرافين المعياريين الفرديين.

$$(58) \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{be}^2}$$

حيث:

$\sigma_L$ : الانحراف المعياري للتغير في الموقع على النحو المتحصل عليه بالمعادلة (56) أو من الجدول 5.

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

#### 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،  $\sigma_{loc}$ ، من المعادلات التالية:

$$(59a) \quad L_{loc} = 0 \quad (\text{خارج المباني})$$

$$(59b) \quad L_{loc} = L_{be} \quad (\text{داخل المباني})$$

و:

$$(60a) \quad \sigma_{loc} = u(h) \cdot \sigma_L \quad (\text{خارج المباني})$$

$$(60b) \quad \sigma_{loc} = \sigma_i \quad (\text{داخل المباني})$$

حيث يرد متوسط خسارة الدخول إلى المباني،  $L_{be}$ ، في الجدول 6، ويتم الحصول على دالة الارتفاع،  $u(h)$ ، بالمعادلة (57) والانحرافان المعياريان،  $\sigma_L$  و  $\sigma_i$ ، يتم الحصول عليهما بالمعادلة (56) (أو الجدول 5) وبالمعادلة (58)، 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:

$$(61) \quad L_b = \max \left\{ L_{b0p}, L_{bc} + L_{loc} - I \left( \frac{PL}{100} \right) \cdot \sigma_{loc} \right\} \quad \text{dB}$$

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 جلبة المطراف، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (55)

$L_{loc}$ : متوسط قيمة خسارة الموقع الذي يتم الحصول عليه بالمعادلة (59a) و (59b)

$I(x)$ : توزيع طبيعي تراكمي تكميلي عكسي كدالة في الاحتمال،  $x$ . ويرد في التذييل 3 تقريب للدالة  $I(x)$  يمكن استعماله عندما تكون  $0,000001 \leq x \leq 0,999999$

$\sigma_{loc}$ : انحراف معياري مركب (أي خسارة الدخول إلى المباني والتغير في الموقع)، ويمكن الحصول عليها بالمعادلة (60a) و (60b).

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

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

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

$$(62) \quad E_p = 199.36 + 20 \log(f) - L_b \quad \text{dB}(\mu\text{V/m})$$

حيث:

$L_b$ : خسارة الإرسال الأساسية التي لا يتم تجاوزها للنسبة المئوية  $p$  % من الوقت وفي  $p_L$  % من المواقع، والمحسوبة بالمعادلة (61)  
 $f$ : التردد المطلوب (GHz).

## التذييل 1

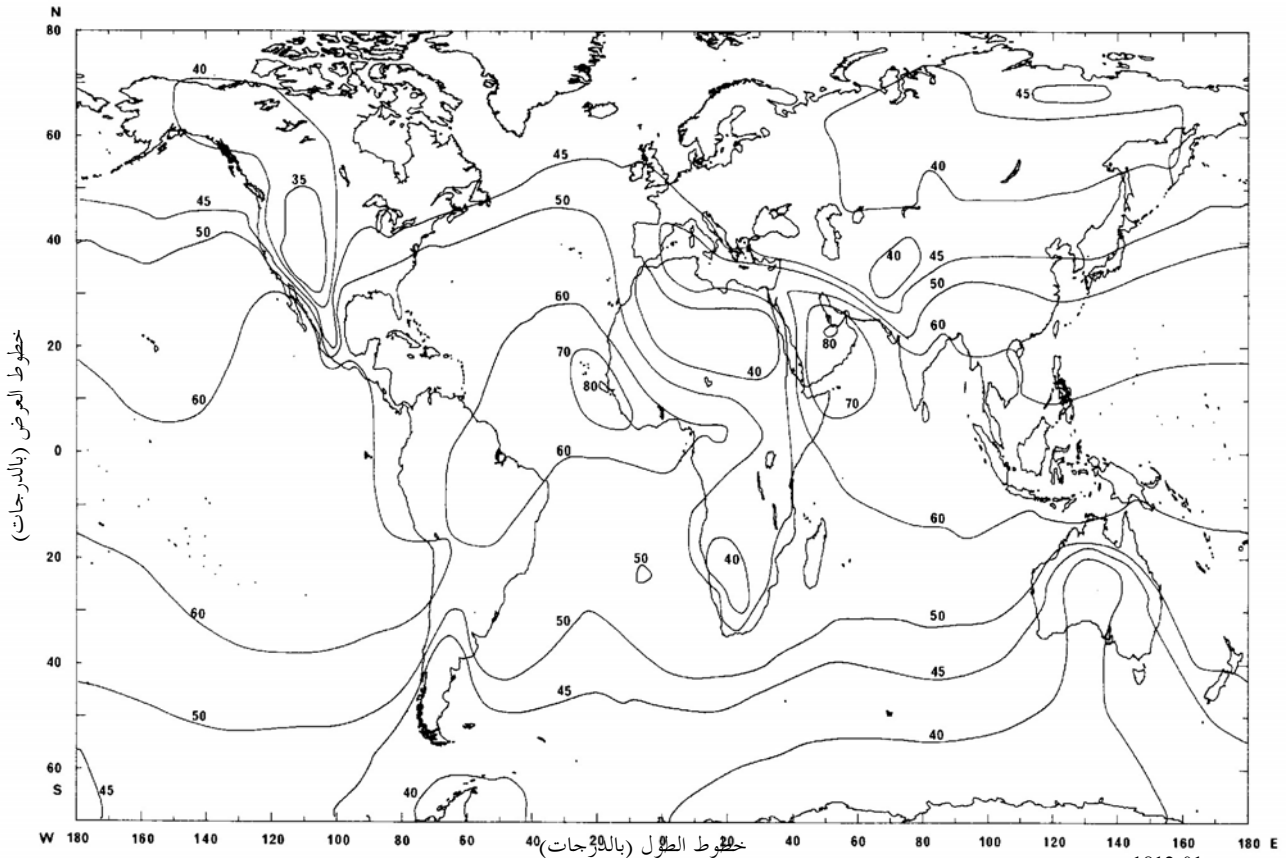
## للملحق 1

## بيانات الأرصاد الجوية الراديوية المطلوبة لإجراء التنبؤ

ترد في الشكل 1 قيم  $\Delta N$  السنوية المتوسطة كقيم موجبة بوحدات km/N.

## الشكل 1

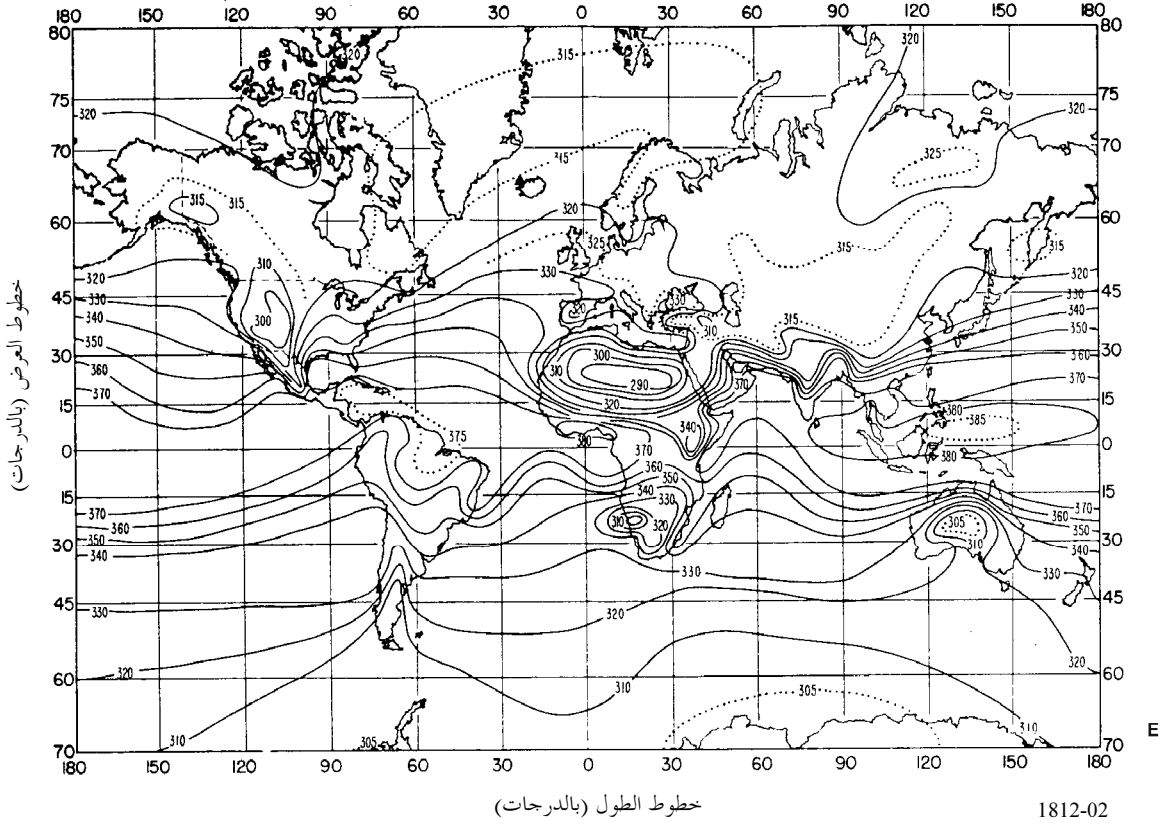
قيم  $\Delta N$  السنوية المتوسطة كقيم موجبة بوحدات km/N



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.

الشكل 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 المعلومات الواجب اشتقاقها من تحليل المظهر الجانبي للمسير لأغراض نماذج الانتشار.

### 2 رسم المظهر الجانبي للمسير

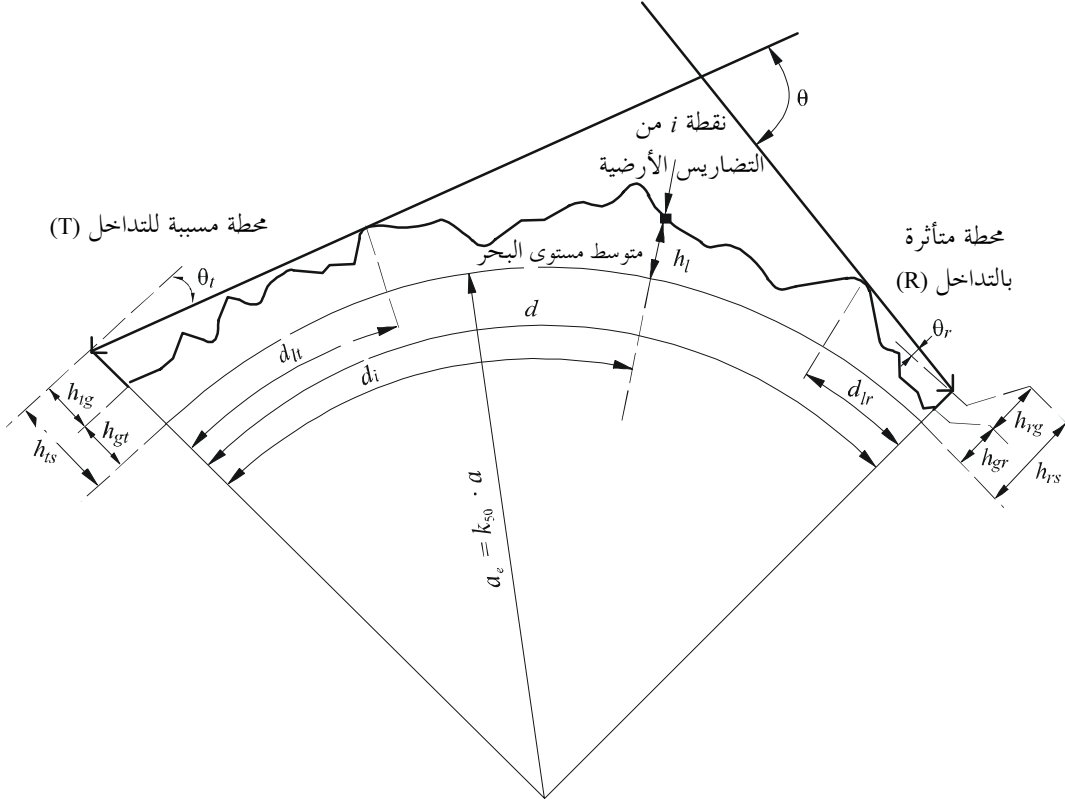
استناداً إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطة المرسل (ψ<sub>r</sub>, φ<sub>r</sub>) والمحطة المستقبلية (ψ<sub>r</sub>, φ<sub>r</sub>)، ينبغي أن تشتق ارتفاعات التضاريس الأرضية (فوق متوسط مستوى البحر) على طول مسير الدائرة العظمى من قاعدة بيانات طبوغرافية أو من خرائط كفاية كبيرة مناسبة. وبقدر الإمكان من الناحية 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 المرسل والمحطة المستقبلية باعتبارهما نقطتي البداية والنهاية. وتأخذ المعادلات التالية انحناء الأرض في الحسبان وفق الضرورة استناداً إلى قيمة  $a_e$  في المعادلة (7a).

ورغم أنه من المفضل استعمال نقاط مظهر جانبي منتظمة التباعد، فمن الممكن استعمال هذه الطريقة مع نقاط مظهر جانبي غير منتظمة التباعد. وقد يكون ذلك مفيداً عندما يستخلص المظهر الجانبي من خريطة رقمية ذات 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 المستقبلية النقطة  $n$ . وبهذا يتشكل المظهر الجانبي للمسير من  $n$  نقطة. ويعطي الشكل 3 مثلاً للمظهر الجانبي للمسير عبر ارتفاعات التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر مبيناً المعلومات المختلفة المتعلقة بالتضاريس الأرضية الفعلية.

الشكل 3

مثال للمظهر الجانبي لمسير (عبر الأفق)



الملاحظة 1 - تكون قيمة  $\theta_i$  كما هي مرسومة قيمة سالبة.

1812-03

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

## الجدول 7

## تعريفات معالم المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
$a_e$	نصف قطر الأرض الفعال (km)
$d$	مسافة مسار الدائرة العظمى (km)
$d_{ii}$	الزيادة التدريجية في المسافة المستعملة في معطيات المظهر الجانبي للمسير المنتظم (km) (أي بتباعدات متساوية)
$f$	التردد (GHz)
$\lambda$	طول الموجة (m)
$h_{ts}$	ارتفاع هوائي المرسل (m) فوق متوسط مستوى البحر (amsl)
$h_{rs}$	ارتفاع هوائي المستقبل (m) (amsl)
$\theta_t$	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.
$\theta_r$	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.
$\theta$	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
$h_{st}$	ارتفاع "الأرض الممهدة" فوق متوسط مستوى البحر عند موقع المحطة المرسل (m)
$h_{sr}$	ارتفاع "الأرض الممهدة" فوق متوسط مستوى البحر عند موقع المحطة المستقبل (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 المرسل (ψ<sub>t</sub>, φ<sub>t</sub>) والمستقبلة (ψ<sub>r</sub>, φ<sub>r</sub>). ويمكن بدلاً من ذلك تحديد طول المسير من المظهر الجانبي للمسير. إذ يمكن الحصول على طول المسير،  $d$  (km)، من بيانات المظهر الجانبي للمسير:

$$(63) \quad d = d_n \quad \text{km}$$

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

$$(64) \quad d_i = (i-1) \cdot d_{ii} \quad \text{km}$$

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

### 4 تصنيف المسيرات

يجب أن يستعمل المظهر الجانبي 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 المرسل).

ويكون الاختبار الخاص بشروط المسير عبر الأفق على النحو التالي:

$$(65) \quad \theta_{\max} > \theta_{td} \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(66) \quad \theta_{\max} = \max_{i=1}^{n-1} (\theta_i) \quad \text{mrad}$$

$\theta_i$ : زاوية الارتفاع بالنسبة إلى النقطة  $i$  في التضاريس الأرضية

$$(67) \quad \theta_i = \frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2 a_e} \quad \text{mrad}$$

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)

$$(68) \quad \theta_{td} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2 a_e} \quad \text{mrad}$$

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

## 1.5 بالنسبة لجميع المسيرات

يعرض الجدول 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من المظهر الجانبي للمسير.

1.1.5 زاوية ارتفاع الأفق لهوائي الإرسال،  $\theta_t$ 

زاوية ارتفاع الأفق لهوائي الإرسال هي أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي عندما تطبق المعادلة (66) على ارتفاعات المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية  $n - 2$ .

$$(69) \quad \theta_t = \max(\theta_{\max}, \theta_{td}) \quad \text{mrad}$$

وتكون  $\theta_{\max}$  كما هي محددة في المعادلة (66).

2.1.5 مسافة أفق الهوائي المرسل،  $d_{It}$ 

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المرسل المحسوب عندها أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي من المعادلة (66).

$$(70) \quad d_{It} = d_i \quad \text{km} \quad \text{for } \max(\theta_i)$$

وإن لم يُكشف الأفق، توضع  $d_{It} = d_{im50}$  (انظر الفقرة 1.3.4).

3.1.5 زاوية ارتفاع أفق الهوائي المستقبل،  $\theta_r$ 

إن لم يُكشف الأفق ( $\theta_t = \theta_{td}$ )، توضع:

$$(71) \quad \theta_r = \frac{h_{ts} - h_{rs}}{d} - 10^3 \frac{d}{2a_e} \quad \text{mrad}$$

لكن إن كُشف أفق المرسل، فإن زاوية ارتفاع أفق هوائي الاستقبال هي أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي عندما تطبق المعادلة (66) على ارتفاعات المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية  $n - 2$ .

$$(72) \quad \theta_r = \max_{j=2}^{n-1}(\theta_j) \quad \text{mrad}$$

$$(72a) \quad \theta_j = \frac{h_j - h_{rs}}{d - d_j} - \frac{10^3 (d - d_j)}{2a_e} \quad \text{mrad}$$

4.1.5 مسافة أفق الهوائي المستقبل،  $d_{Ir}$ 

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المستقبل تحسب عندها أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي من المعادلة (64).

$$(73) \quad d_{Ir} = d - d_j \quad \text{km} \quad \text{for } \max(\theta_j)$$

وإن لم يُكشف الأفق، توضع  $d_{Ir} = d - d_{im50}$  (انظر الفقرة 1.3.4).

5.1.5 المسافة الزاوية  $\theta$  (mrad)

$$(74) \quad \theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

## 6.1.5 نموذج "الأرض الممهدة" وارتفاعات الهوائي الفعالة

## 1.6.1.5 اعتبارات عامة

لتحديد ارتفاعات الهوائي الفعالة وإتاحة الفرصة لإجراء تقييم مناسب لوعورة المسير، لا بد من أن يستخلص سطح فعال "أرض ممهدة" على أنه المستوى المرجعي المفترض أن تكون فوقه الأرض غير المنتظمة من المسير. ويمكن بمجرد الحصول على هذا السطح الحصول على قيم معلمة ووعورة التضاريس الأرضية (انظر الفقرة 4.6.1.5) وارتفاع الهوائي الفعال لكل من المخطتين المرسل والمستقبل.

## 2.6.1.5 الاستثناءات

يمكن، وفقاً للحاجة، التخلي عن اشتقاق سطح "الأرض الممهدة" في المسيرات "البحرية" الصريحة، أي عندما تكون:  $\omega \geq 0,9$ ، وحينما يقع أفقا الهوائيين على سطح البحر. ويمكن أن يؤخذ المستوى المرجعي في هذه الحالة باعتباره متوسط مستوى البحر (أو الماء) على كامل طول المسير، ويمكن اعتبار ووعورة التضاريس الأرضية  $m_0$  وارتفاعات الهوائيات الفعالة مساوية للارتفاعات الحقيقية فوق سطح البحر.

ومن الضروري أن يطبق على كل المسيرات الأخرى إجراء تقريب الأرض الممهدة المفصل في الفقرة 1.5، وأن تستخلص قيم ارتفاعات الهوائيات الفعالة ووعورة التضاريس الأرضية على النحو الوارد في الفقرة 4.6.1.5.

## 3.6.1.5 اشتقاق سطح الأرض الممهدة

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

$$(75) \quad h_{si} = h_{st} + m \cdot d_i \quad m$$

حيث:

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

$h_{st}$ : الارتفاع فوق متوسط مستوى البحر (m) لسطح الأرض الممهدة عند بداية المسير أي عند المحطة 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 (76a) و(77a) إذا كان تباعد نقاط المظهر الجانبي منتظماً. فيما يتعين استعمال المعادلتين (76b) و(77b)، وهما أكثر تعقيداً، إذا لم تكن نقاط المظهر الجانبي منتظمة التباعد، ويمكن استعمالهما في أي من الحالتين.

فبالنسبة إلى نقاط المظهر الجانبي منتظمة التباعد:

$$(76a) \quad m = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_a) \left( d_i - \frac{d}{2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( d_i - \frac{d}{2} \right)^2} \quad \text{m/km}$$

وبالنسبة إلى أي مظهر جانبي آخر:

$$(76b) \quad m = \left( \frac{1}{d^3} \right) \sum_{i=2}^n 3(d_i - d_{i-1})(d_i + d_{i-1} - d)(h_i + h_{i-1} - 2h_a) + (d_i - d_{i-1})^2 (h_i - h_{i-1}) \quad \text{m/km}$$

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:

$$(77a) \quad h_a = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n h_i \quad \text{m}$$

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

$$(77b) \quad h_a = \left( \frac{1}{2d} \right) \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1}) \quad \text{m}$$

ويمكن الحصول على ارتفاع سطح الأرض الممهدة عند المحطة المرسله  $h_{st}$  من المعادلة:

$$(78) \quad h_{st} = h_a - m \frac{d}{2} \quad \text{m}$$

ومن ثم، تعطي الصيغة التالية ارتفاع سطح الأرض الممهدة عند المحطة المستقبلية  $h_{sr}$ :

$$(79) \quad h_{sr} = h_{st} + m \cdot d \quad \text{m}$$

ويجب، عندها، إجراء تصحيح إذا وقعت ارتفاعات الأرض الممهدة فوق الارتفاع الحقيقي على الأرض، أي:

$$(80a) \quad h_{st} = \min(h_{st}, h_1) \quad \text{m}$$

$$(80b) \quad h_{sr} = \min(h_{sr}, h_n) \quad \text{m}$$

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 الممهدة  $m$  كالتالي:

$$(81) \quad m = \frac{h_{sr} - h_{st}}{d} \quad \text{m/km}$$

ويتم الحصول على الارتفاعين الفعالين للمطرفين،  $h_{re}$  و  $h_{te}$  بالمعادلتين:

$$(82) \quad \begin{aligned} h_{te} &= h_{tg} + h_1 - h_{st} & \text{m} \\ h_{re} &= h_{rg} + h_n - h_{sr} & \text{m} \end{aligned}$$

4.6.1.5 وعورة التضاريس الأرضية،  $h_m$

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

$$(83) \quad h_m = \max_{i=i_l}^{i=i_r} [h_i - (h_{st} + m \cdot d_i)] \quad m$$

حيث:

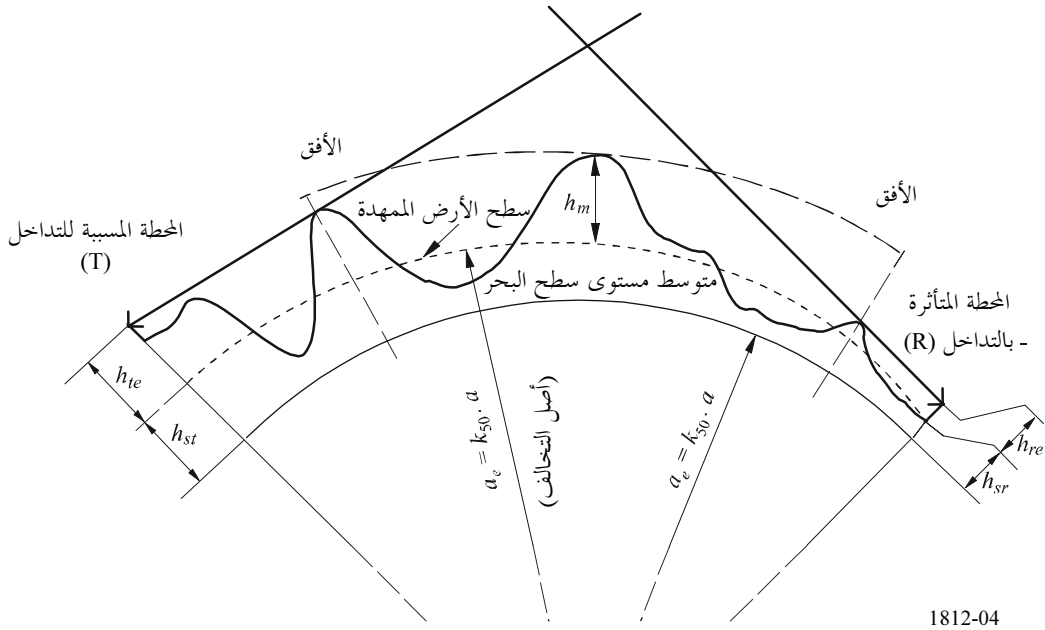
$i_l$ : دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة  $d_{i_l}$  من المرسل

$i_r$ : دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة  $d_{i_r}$  من المستقبل.

ويمثل الشكل 4 سطح الأرض الممهدة ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية  $h_m$ .

الشكل 4

مثال لسطح الأرض الممهدة 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  $0,000001 \leq x \leq 0,999999$  ويكون أقصى مقدار للخطأ 0,00054. فإن كانت  $x < 0,000001$ ، مما يعني ضمناً  $\beta_0 < 0,0001\%$ ، فينبغي ضبط  $x$  بقيمة 0,000001. وتسري اعتبارات مشابهة بالنسبة إلى  $x > 0,999999$ . ويمكن الوثوق في استخدام هذا التقريب لحساب دالة الاستكمال الداخلي في المعادلات (30b) و(49) و(61). بيد أنه في المعادلة الأخيرة، يجب أن تنحصر قيمة  $x$  داخل المتباينة:  $0,01 \leq x \leq 0,99$ .

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

$$(84a) \quad I(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{for } 0,000001 \leq x \leq 0,5$$

وبالتناظر:

$$(84b) \quad I(x) = \xi(1-x) - T(1-x) \quad \text{for } 0,5 < x \leq 0,999999$$

حيث:

$$(85a) \quad T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]}$$

$$(85b) \quad \xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2)T(x) + D_1]T(x) + 1}$$

$$(85c) \quad C_0 = 2,515516698$$

$$(85d) \quad C_1 = 0,802853$$

$$(85e) \quad C_2 = 0,010328$$

$$(85f) \quad D_1 = 1,432788$$

$$(85g) \quad D_2 = 0,189269$$

$$(85h) \quad D_3 = 0,001308$$