

التوصية ITU-R P.452-18

(2023/08)

السلسلة P: انتشار الموجات الراديوية

إجراء التنبؤ لتقدير التداخل بين المحطات على سطح
الأرض عند ترددات تفوق 100 MHz تقريباً

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد المدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/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 <https://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2024

© ITU 2024

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).

التوصية ITU-R P.452-18

إجراء التنبؤ لتقدير التداخل بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات تفوق 100 MHz تقريباً

(المسألة 208/3 ITU-R)

(1970-1974-1978-1982-1986-1992-1994-1995-1997-1999-2001-2003-2005-2007-2009-2013-2015-2021-2023)

مجال التطبيق

تضم هذه التوصية طريقة تنبؤ لتقييم التداخل بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات من 100 MHz تقريباً إلى 50 GHz، آخذة في الحسبان آليتي التداخل في الجو الصافي والتداخل بالانتشار في الماء الجوي.

مصطلحات أساسية

التداخل، الانتشار الموجه، الانتشار التروبوسفيري، الانعراج، الانتشار في الماء الجوي، نواتج بيانات رقمية

الاختصارات/مسرد المصطلحات

Amsl	فوق مستوى سطح البحر (Above mean sea level)
IDWM	خارطة العالم الرقمية لدى الاتحاد (ITU Digitized World Map)
LoS	خط البصر (Line-of-sight)

التوصيات المتعلقة بالاتحاد والتقارير

التوصية ITU-R S.465

التوصية ITU-R S.580

التوصية ITU-R P.676

التوصية ITU-R F.699

التوصية ITU-R P.837

التوصية ITU-R P.838

التوصية ITU-R P.839

التوصية ITU-R P.1058

التوصية ITU-R P.1144

التوصية ITU-R F.1245

التوصية ITU-R F.1336

ملاحظة - ينبغي استخدام أحدث مراجعة/طبعة للتوصية/التقرير.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن ازدحام الطيف الراديوي يستوجب تقاسم نطاقات التردد بين مختلف الخدمات للأرض وبين مختلف الأنظمة في الخدمة نفسها وبين الأنظمة في الخدمات للأرض والخدمات أرض-فضاء؛

(ب) أن التعايش المرضي بين الأنظمة التي تتقاسم نطاقات التردد نفسها يتطلب إجراءات للتعويض بانتشار التداخلات تكون دقيقة وموثوقة الاستعمال ومقبولة من كل الأطراف المعنية؛

(ج) أن التنبؤات بانتشار التداخلات تطبق في إجراءات التعويض بالتداخل التي تكون غالباً ضرورية للاستجابة لأهداف الأداء والتيسر في أثناء "الشهر الأسوأ"؛

(د) أن طرائق التعويض ضرورية في التطبيق على كل أنماط المسيرات في كل أنحاء العالم،

توصي

بأنه ينبغي استعمال إجراء التعويض بالتداخل الوارد في الملحق 1 من أجل تقدير خسارة الانتشار المتيسرة على مسير الإشارة غير المرغوبة بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات تفوق 100 MHz تقريباً.

الملحق 1

جدول المحتويات

الصفحة

1	مقدمة.....	4
2	آليات انتشار التداخل.....	4
3	تنبؤ تداخل الهواء الصافي.....	6
1.3	اعتبارات عامة.....	6
2.3	اشتقاق التنبؤ.....	6
4	نماذج الانتشار في الجو الصافي.....	12
1.4	الانتشار في خط البصر (بما في ذلك التأثيرات قصيرة الأجل).....	13
2.4	الانعراج.....	14
3.4	الانتشار التروبوسفيري.....	21
4.4	الانتشار الموجه/الانعكاس على الطبقات.....	21
5.4	التنبؤ الإجمالي.....	24
6.4	حساب خسارة الإرسال.....	25
5	التنبؤ بالتداخل الذي يسببه الانتشار بالماء الجوي.....	27
1.5	الأساس النظري لخسارة الإرسال الناتجة عن الانتشار بالماء الجوي.....	28

29	.....	2.5	معلومات دخل النموذج
32	.....	3.5	خطوات تطبيق خوارزمية الانتشار بالماء الجوي
47	.....		المرفق 1 للملحق 1 - بيانات الأرصاد الجوية الراديوية اللازمة لإجراء التنبؤ في الجو الصافي
47	.....	1	مقدمة
48	.....	2	خرائط التغير الرأسي لبيانات الانكسار الراديوي وانكسارية سطح الأرض
48	.....		المرفق 2 للملحق 1 - تحليل المظهر الجانبي للمسير
48	.....	1	مقدمة
48	.....	2	رسم المظهر الجانبي للمسير
50	.....	3	طول المسير
51	.....	4	تصنيف المسيرات
51	.....	5	اشتقاق المعلومات من المظهر الجانبي للمسير
51	.....	1.5	المسيرات عبر الأفق والمسيرات على خط البصر
57	.....		المرفق 3 للملحق 1 - تقريب لدالة التوزيع العادي التراكمي العكسي للقيمة $x \leq 0,5$

1 مقدمة

لقد أصبح تقاسم عدة نطاقات من الترددات ضرورياً بين مختلف الخدمات الراديوية وبين مختلف المشغلين لخدمات راديوية متماثلة وذلك بسبب ازدحام طيف الترددات الراديوية. ولضمان تعايش مرضٍ بين الأنظمة للأرض والأنظمة أرض-فضاء المعنية، لا بد من التمكن من التنبؤ، بدقة معقولة، باحتمالات التداخل فيما بين الأنظمة بواسطة تنبؤات بالانتشار ونماذج مقبولة من كل الأطراف المعنية وتكون قد أثبتت دقتها وموثوقيتها.

ويمكن أن توجد عدة أنماط وعدة تركيبات من مسيرات التداخل بين محطات على سطح الأرض، وبين هذه المحطات ومحطات في الفضاء، وتتطلب كل حالة من هذه الحالات وجود طرائق للتنبؤ. ويعالج هذا الملحق إحدى أهم مجموعات مشاكل التداخل، أي الحالات التي يحتتمل فيها حصول تداخل بين محطات راديوية تقع على سطح الأرض.

وتعمل النماذج الواردة في هذه التوصية بناء على الافتراض بأن كلاً من المرسل المسبب للتداخل والمستقبل المعرض للتداخل يعملان ضمن الطبقة السطحية للغلاف الجوي. ومن غير المناسب لهذه النماذج استعمال ارتفاعات للهوائيات تكون كبيرة بشكل استثنائي لنمذجة عمليات من قبيل أنظمة الطيران. وقد تم اختبار إجراء التنبؤ لمحطات راديوية تعمل في مدى الترددات بين 0,1 GHz تقريباً و 50 GHz.

وقد صممت النماذج الواردة في هذه التوصية لحساب خسارات الانتشار التي لا يتم تجاوزها لنسبة من الوقت في المدى $0,001 \leq p \leq 50\%$. ولا يعني هذا الافتراض أن الخسارة القصوى تحدث عند $p = 50\%$.

وتشمل الطريقة مجموعة إضافية من نماذج الانتشار التي تضمن تغطية كل آليات انتشار التداخل الهامة التي يمكن أن تظهر. وتتوفر طرائق خاصة بتحليل خصائص المسير المتعلقة بالأرصاء الجوية الراديوية وخصائصه الطبوغرافية وهي تمكن من التنبؤ في أية حالة يقع فيها مسير التداخل عملياً في مجال تطبيق الإجراء المعني حتى مسافة لا تتعدى 10 000 km.

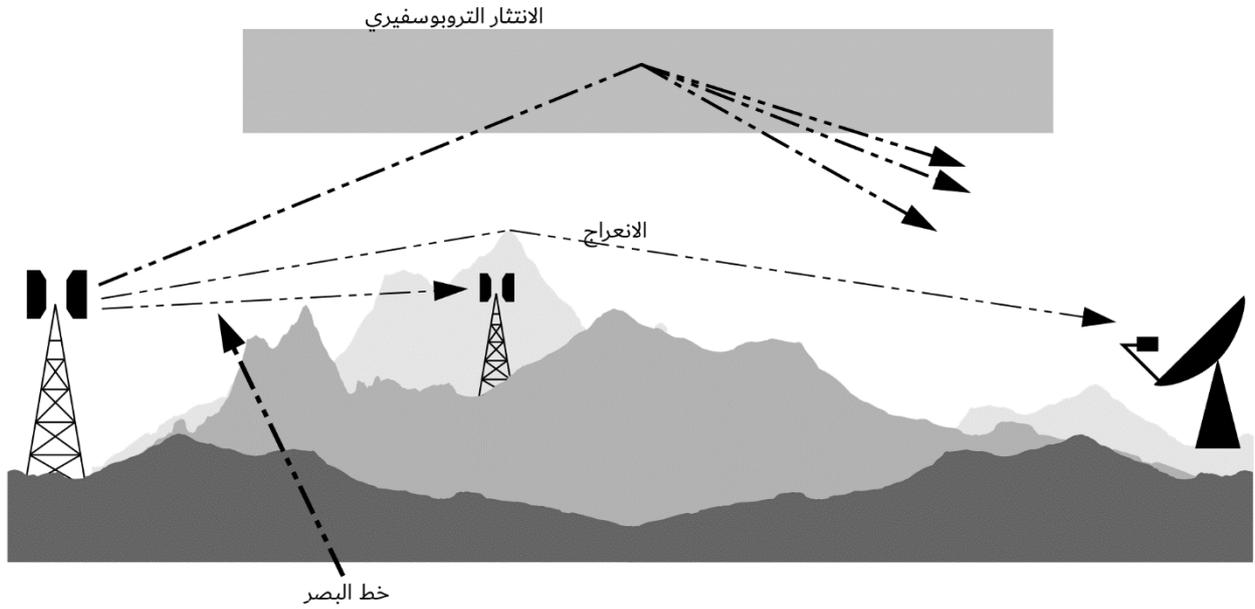
2 آليات انتشار التداخل

يمكن أن يظهر التداخل عبر مجموعة من آليات الانتشار تتعلق أهميتها الفردية بالمناخ والتردد الراديوي وبالنسبة المتقوية المعنية من الوقت وبالمسافة وبطوبوغرافيا المسير. ويمكن في أي وقت أن تظهر آلية واحدة أو عدة آليات. وتكون أهم آليات انتشار التداخل هي التالية:

- في خط البصر (الشكل 1): تكون أبسط حالة انتشار للتداخل عندما يوجد مسير إرسال في خط البصر في الظروف الجوية العادية (أي، الجو المختلط فعلاً). غير أن تعقيداً إضافياً يمكن أن يظهر عندما يسبب الانعراج على المسير الفرعي تزايداً في سوية الإشارة يفوق قليلاً السوية المتوقعة عادة. ويمكن أيضاً أن تعزز غالباً سويات الإشارات تعزيزاً كبيراً ما عدا على أقصر المسيرات (أي، على المسيرات الأطول من 5 km تقريباً)، ولفترات قصيرة من الوقت، وذلك بسبب تأثيرات تعدد المسيرات والتركيز الناتجة عن تكون الطبقات الجوية (انظر الشكل 2).
- الانعراج (الشكل 1): تسود عموماً تأثيرات الانعراج وراء خط البصر وفي الشروط العادية، كلما وجدت سويات إشارات ملحوظة. أما في الخدمات التي لا تكون فيها مشكلات الشدوذ قصير الأجل ذات أهمية، تتعلق عادة كثافة الأنظمة التي يمكن تحقيقها بالدقة التي يمكن أن تحدد بها نماذج الانعراج. ويجب أن يكون التنبؤ بالانعراج قادراً على تغطية حالات الأرض المنتظمة، والعوائق المعزولة، والتضاريس والجلبة غير المنتظمة (بلا بنية).
- الانتشار التروبوسفيري (الشكل 1): تعرف هذه الآلية سوية تداخل "الخلفية" لمسيرات أطول (أي أطول من 100-150 km، مثلاً) حيث يصبح مجال الانعراج ضعيفاً جداً. ولكن وباستثناء بعض الحالات الخاصة التي تعني مستقبلات حساسة أو مسببات للتداخل عالية القدرة (أنظمة رادار مثلاً)، تكون سوية التداخل عبر الانتشار التروبوسفيري منخفضة جداً بحيث لا تكون ذات دلالة.

الشكل 1

آليات انتشار التداخلات طويلة الأجل

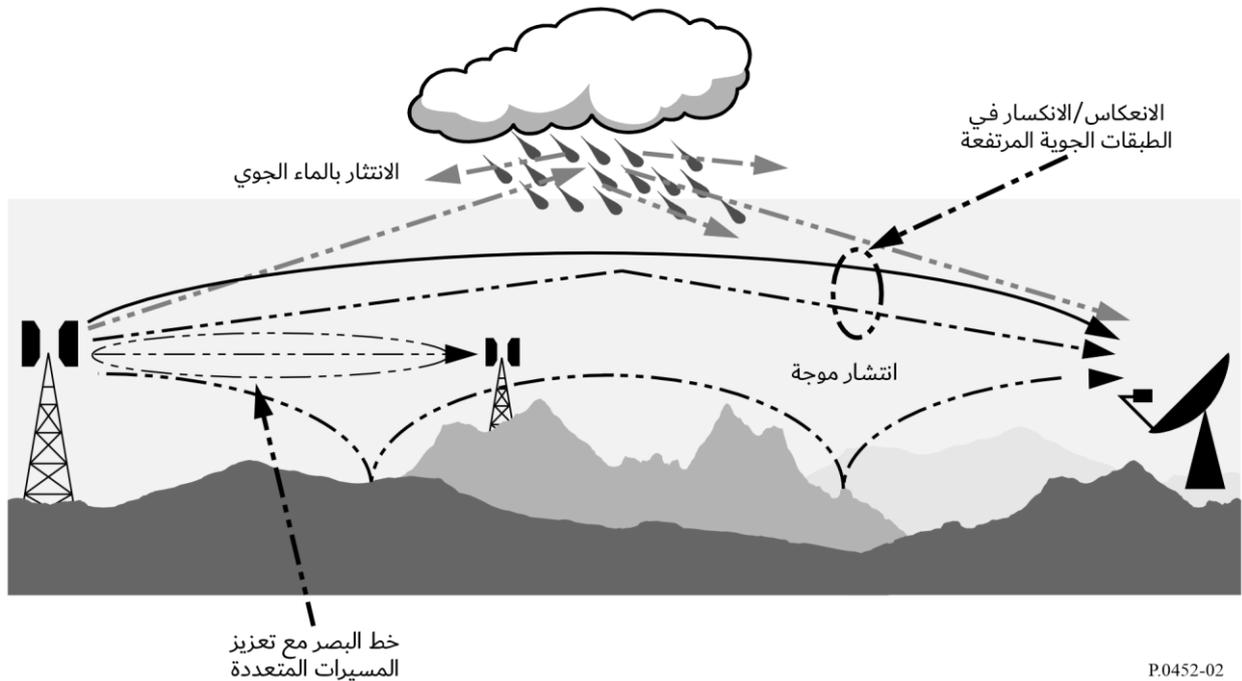


P.0452-01

الانتشار الموجّه على السطح (الشكل 2): وهو أهم آلية للانتشار قصير الأجل الذي يمكن أن يحدث التداخل فوق الماء وفي المناطق الساحلية المنبسطة ويمكن أن يسبب سويات مرتفعة من الإشارات على امتداد مسافات كبيرة (أكثر من 500 km فوق البحر). ويمكن أن تتجاوز هذه الإشارات، في ظروف معينة، سوية "الفضاء الحر" المكافئة.

الشكل 2

آليات انتشار التداخل (قصير الأجل) الشاذة



P.0452-02

- الانعكاس والانعكاس على الطبقات الجوية المرتفعة (الشكل 2): تكتسي معالجة الانعكاس و/أو الانكسار على طبقات عند ارتفاعات تصل إلى بضع مئات من الأمتار أهمية كبيرة لأن هذه الآليات تسمح للإشارات بمواجهة خسارة الانعراج على الأرض مواجهة فعالة جداً في ظروف تكون فيها هندسة المسير مؤاتيةً. وهنا أيضاً يمكن أن يكون التأثير كبيراً على مسافات طويلة جداً (تصل إلى 300-250 km).
- الانتشار بالماء الجوي (الشكل 2): يمكن أن يشكل الانتشار بالماء الجوي مصدراً كامناً من مصادر التداخل بين مرسلات الوصلات للأرض والمحطات الأرضية لأنه قد يعمل في كل الاتجاهات تقريباً ومن ثم قد يؤثر خارج مسير التداخل في مستوى الدائرة العظمى. غير أن سويات الإشارات المسببة للتداخل منخفضة جداً ولا تمثل عادة مشكلة ذات أهمية.
- ثمة مشكلة أساسية في التنبؤ بالتداخل (وهي بالفعل مشتركة لكل إجراءات التنبؤ بالانتشار التروبوسفيري)، وهي صعوبة توفير مجموعة موحدة متسقة من الطرائق العملية التي تغطي مدى واسعاً من المسافات ومن النسب المئوية الزمنية، أي في ظروف الجو الفعلي التي تندمج فيها، تدريجياً، إحصائيات هيمنة إحدى الآليات مع آلية أخرى عندما تتغير شروط الأرصاد الجوية و/أو المسير. ويمكن، خاصة في هذه المناطق الانتقالية، أن تأخذ الإشارة سوية معينة لنسبة مئوية كلية من الوقت تمثل مجموع هذه النسب في مختلف الآليات. وكان النهج في هذا الإجراء أن تحدد طرائق منفصلة تماماً للتنبؤ بالتداخل في الجو الصافي وفي الانتشار بالماء الجوي كما يرد وصفها في الفقرتين 4 و 5 على التوالي.
- وتتكون طريقة الجو الصافي من نماذج مختلفة للانعراج والانتشار الموجه/الانعكاس على الطبقات والانتشار التروبوسفيري. وتطبق النماذج الثلاثة كلها في جميع الحالات بغض النظر عما إذا كان المسير في خط البصر أم عبر الأفق. ثم تضم النتائج إلى تنبؤ إجمالي يستخدم تقنية تجمع ما بين مختلف آليات الانتشار وتضمن وصول تعزيز الإشارة في نموذج خط البصر المكافئ النظري إلى أقصى حد ممكن، مهما كانت مسافة المسير أو النسبة المئوية من الوقت.

3 تنبؤ تداخل الهواء الصافي

1.3 اعتبارات عامة

- على الرغم من تطبيق طريقة الجو الصافي من خلال ثلاثة نماذج مستقلة، لكن نتائجها تجمع، ويراعي الإجراء أربعة أنماط أساسية تتعلق بآليات الانتشار وهي:
- خط البصر (بما في ذلك تعزيزات الإشارات بسبب تأثيرات المسيرات المتعددة والتبشير)؛
- الانعراج (ويشمل الأرض المنتظمة والتضاريس الأرضية غير المنتظمة والجلبة وحالات وجود مسيرات فرعية)؛
- الانتشار التروبوسفيري؛
- الانتشار الشاذ (الانتشار الموجه والانعكاس/الانعكاس على الطبقات).

2.3 اشتقاق التنبؤ

1.2.3 عرض عام للإجراء المطبق

تتمثل الخطوات اللازمة لتحقيق التنبؤ بما يلي:

الخطوة 1: بيانات الدخل

يعرض الجدول 1 بيانات الدخل الأساسية اللازمة للإجراء. وتشتق كل المعلومات الأخرى المطلوبة من هذه البيانات الأساسية في أثناء تنفيذ الإجراء.

الجدول 1

بيانات الدخل الأساسية

المعلمة	الاستبانة المفضلة	الوصف
f	0,01	التردد (GHz)
p	0,001	النسبة (أو النسب) المئوية المطلوبة من الوقت التي لا يتم أثناءها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية المحسوبة
φ_r, φ_t	0,001	خط عرض المحطة (درجات)
ψ_t, ψ_r	0,001	خط طول المحطة (درجات)
h_{tg}, h_{rg}	1	ارتفاع مركز الهوائي فوق سوية الأرض (m)
h_{ts}, h_{rs}	1	ارتفاع مركز الهوائي فوق متوسط مستوى البحر (m)
G_t, G_r	0,1	كسب الهوائي في اتجاه الأفق على طول مسير التداخل في الدائرة العظمى (dBi)
الاستقطاب	غير متاح	إشارة، مثلاً عمودية أو أفقية

الملاحظة 1 - من أجل المحطات المسببة للتداخل والمحطات المعرضة للتداخل:

t : محطة مسببة للتداخل.

r : محطة معرضة للتداخل.

والاستقطاب في الجدول 1 ليس معلمة ذات قيمة عددية. وتستعمل المعلومات في الفقرة 1.2.2.4 بالتوافق مع المعادلات (30a) و(30b) و(31).

الخطوة 2: الانتقاء بين التنبؤ لسنة متوسطة أو التنبؤ للشهر الأسوأ

يتحدد عادة الاختيار بين التنبؤات السنوية أو التنبؤ للشهر الأسوأ وفقاً لأهداف النوعية (أي الأداء واليسر) للنظام الراديوي المعرض للتداخل عند طرف استقبال مسير التداخل. ولما كان التداخل غالباً مشكلة ثنائية الاتجاه فقد يتوجب تقدير مجموعتين من هذه الأهداف الخاصة بالنوعية بهدف تحديد اتجاه الحالة الأسوأ التي ينبغي أن تبني عليها أدنى خسارة إرسال يسمح بها. ويعبر عن أهداف النوعية، في أغلب الحالات، بالنسبة المئوية "لأي شهر"، ويجب عندها أن تستعمل بيانات الشهر الأسوأ.

ونماذج التنبؤ بالانتشار هذه تتنبأ بالتوزيع السنوي لخسارة الإرسال الأساسية. وتستعمل مباشرة في إجراء التنبؤ لسنة متوسطة النسب المئوية من الوقت p التي لا يتم في أثنائها تجاوز قيم خاصة من خسارة الإرسال الأساسية. أما في حالة التنبؤ بالشهر الأسوأ المتوسط فيجب أن تحسب النسب المئوية المكافئة السنوية، p ، للنسبة المئوية للشهر الأسوأ p_w من أجل خط عرض نقطة منتصف المسير φ بواسطة الصيغة التالية:

$$(1) \quad p = 10^{\left(\frac{\log_{10}(p_w) + \log_{10}(G_L) - 0.186\omega - 0.444}{0.816 + 0.078\omega} \right)}$$

حيث:

ω : الجزء من المسير الواقع فوق الماء (انظر الجدول 4).

$$(1a) \quad G_L = \begin{cases} \sqrt{1.1 + |\cos 2 \varphi|^{0.7}} & \text{for } |\varphi| \leq 45^\circ \\ \sqrt{1.1 - |\cos 2 \varphi|^{0.7}} & \text{for } |\varphi| > 45^\circ \end{cases}$$

وإذا اقتضى الأمر يجب أن تحدد قيمة p بحيث تكون $p_w \geq 12$.

وجدير بالإشارة أن خط العرض φ (درجات) يفترض بأنه موجب في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. وتمثل عندها النتيجة المحسوبة خسارة الإرسال الأساسية أثناء النسبة المئوية من الوقت p_{10} % المطلوبة للشهر الأسوأ.

الخطوة 3: بيانات الأرصاد الجوية الراديوية

- يستعمل إجراء التنبؤ ثلاث معلمات من الأرصاد الجوية الراديوية لوصف تغير شروط الانتشار الخلفية والشاذة عند مختلف المواقع في العالم.
- ΔN (N-وحدة/km)، هو متوسط معدل تفاوت الانكسار الراديوي في الكيلومتر الأدنى من الجو الذي يوفر البيانات التي يمكن من خلالها حساب نصف قطر الأرض الفعال المناسب لتحليل المظهر الجانبي للمسير والانعراج بالعوائق. ويشار إلى أن ΔN تمثل في هذا الإجراء كمية موجبة.
- β_0 (%)، هي النسبة المئوية من الوقت التي يتوقع في أثنائها وفي المائة متر الأولى من الطبقة المنخفضة من الجو، أن تتجاوز معدلات تفاوت الانكسار 100 N-وحدة/km. وتستعمل للإشارة لتقدير الورد النسبي للانتشار الشاذ تماماً في منطقة خط العرض المعنية. وقيمة β_0 التي يتعين استخدامها هي التي توافق خط عرض منتصف المسير.
- N_0 (N-وحدة)، هي الانكسارية على سطح البحر وتستعمل فقط في نموذج الانتشار التروبوسفيري كمقياس للتغيرات في آليات الانتشار التروبوسفيري وفقاً للموقع. ولما كان حساب مسير الانتشار مبنياً على هندسة للمسير تحددتها القيم السنوية ΔN أو قيم الشهر الأسوأ، فلا حاجة أيضاً لقيم N_0 خاصة بالشهر الأسوأ. وتقابل قيم ΔN و N_0 الصحيحة القيم على منتصف المسير المشتقة من الخريطة المناسبة.

يحدد الورد النقطي للانتشار الشاذ، β_0 (%)، عند منتصف المسير بواسطة الصيغة التالية:

$$(2) \quad \beta_0 = \begin{cases} 10^{-0.015|\varphi| + 1.67} \mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 4.17\mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{cases}$$

حيث:

φ : خط عرض منتصف المسير (درجات).

وتتعلق المعلمة μ_1 بنسبة المسير فوق البر (في الأراضي الداخلية و/أو الساحلية) والمسير فوق الماء، وتعطى بالصيغة التالية:

$$(3) \quad \mu_1 = \left[10^{\frac{-d_{lm}}{16 - 6.6\tau}} + \left[10^{-(0.496 + 0.354\tau)} \right]^5 \right]^{0.2}$$

حيث تقتصر قيمة μ_1 على $\mu_1 \geq 1$ ،

وتكون:

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

حيث:

d_{lm} : 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 2 مناطق المناخات الراديوية التي يجب استعمالها لاشتقاق d_{im} و d_m .

$$(4) \quad \mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0.935+0.0176|\varphi|) \log_{10} \mu_1} & \text{for } |\varphi| \leq 70^\circ \\ 10^{0.3 \log_{10} \mu_1} & \text{for } |\varphi| > 70^\circ \end{cases}$$

الجدول 2

مناطق المناخات الراديوية

نقط المنطقة	الشفرة	التعريف
منطقة 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 أي 300 ft إذا لم تتوفر بيانات دقيقة تتعلق بارتفاع 100 m.
منطقة داخلية برية	A2	كل الأراضي غير المناطق الساحلية والشواطئ المعرفة باسم "الأراضي الساحلية" أعلاه.
منطقة بحرية	B	البحار والمحيطات والمساحات الأخرى الكبيرة من الماء (أي التي تغطي دائرة قطرها 100 km، على الأقل).

المساحات الكبيرة من المياه الداخلية

تعرف المساحة "الكبيرة" من المياه الداخلية باعتبارها تقع ضمن المنطقة B بأنها منطقة تكون مساحتها 7 800 km² على الأقل، لكنها تستثنى منطقة الأنهار. وتدرج الجزر الواقعة داخل هذه الكتل المائية على أنها مناطق مياه في حساب مساحة هذه المنطقة إذا كان أكثر من 90% من مساحتها على ارتفاع أقل من 100 m فوق مستوى المياه المتوسط. ويجب أن تصنف الجزر التي لا تطابق هذه المقاييس كمناطق برية في حساب مساحة المياه.

مناطق البحيرات الداخلية أو المناطق البرية الرطبة الكبيرة

تعتبر الإدارات المناطق الداخلية الأوسع من 7 800 km² والتي تحتوي على عدة بحيرات صغيرة أو على شبكة من الأنهار بأنها تابعة للمنطقة A1 "الساحلية"، إذا احتوت المنطقة على أكثر من 50% من المياه وكان ارتفاع أكثر من 90% من الأرض أقل من 100 m فوق المستوى المتوسط للماء.

ومن الصعب جداً أن تحدد بدون لبس المناطق المناخية التابعة للمنطقة A1 ومساحات المياه الداخلية الواسعة والبحيرات الداخلية الكبيرة والمناطق البرية الرطبة الواسعة. ولهذا يطلب من الإدارات أن تسجل لدى مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد المناطق الواقعة داخل حدودها الوطنية والتي ترغب في اعتبارها تابعة لإحدى هذه الفئات. أما في غياب معلومات مسجلة مخالفة لذلك فسوف تعتبر كل المناطق البرية تابعة للمنطقة المناخية A2.

وسعيًا إلى تأمين أقصى اتساق للنتائج فيما بين الإدارات ينبغي أن تستند الحسابات في هذا الإجراء إلى خريطة العالم المرقمنة (IDWM) الصادرة عن الاتحاد والتي يمكن الحصول عليها من مكتب الاتصالات الراديوية. فإذا كانت جميع النقاط على المسير على مسافة لا تقل عن 50 km من البحر أو المساحات الأخرى الكبيرة من الماء، لا تُطبق إلا فئة المنطقة الداخلية البرية.

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

نصف قطر الأرض الفعال

يحدد متوسط عامل نصف قطر الأرض الفعال k_{50} بالنسبة إلى المسير بواسطة الصيغة التالية:

$$(5) \quad k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$$

وإذا افترضنا أن نصف قطر الأرض المادي يبلغ $a = 6371 \text{ km}$ ، عندئذٍ يمكن أن تحدد القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعال a_e بواسطة الصيغة التالية:

$$(6a) \quad a_e = k_{50} a \quad \text{km}$$

ويتحدد نصف قطر الأرض الفعال $\beta_0\%$ من الوقت، a_β ، في العلاقة:

$$(6b) \quad a_\beta = k_\beta a \quad \text{km}$$

حيث $k_\beta = 3,0$ وهو عامل نصف قطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه خلال $\beta_0\%$ من الوقت. وسوف يحدد في الفقرتين 1.2.4 و 2.2.4 نصف قطر عام وفعال للأرض، a_p ، بقيمة a_e خلال 50% من الوقت وقيمة a_β خلال النسبة $\beta_0\%$ من الوقت.

الخطوة 4: المظهر الجانبي للمسير الراديوي

تتطلب المظاهر الجانبية للمسير المستخدمة في الطريقة الموصوفة أدناه بيانات خاصة بالمسير لفئات التضاريس (الأرض الجرداء) والجلبة الخاصة بالمسير (تغطية الأرض) على طول المسير. وتشمل الطريقة:

— إنشاء ملف للمظهر الجانبي للتضاريس باستخدام الارتفاعات الفعلية للتضاريس؛

— على أساس فئات الجلبة، إضافة الارتفاعات التمثيلية للجلبة إلى ملف المظهر الجانبي للتضاريس.

وإذا استخدمت هذه الطريقة لحساب خسارة الانعراج باستخدام المظهر الجانبي للتضاريس بدون الجلبة، فسيكون تقدير خسارة الانعراج أقل من قيمتها في البيئات ذات الجلبة، مقارنةً بالتمثيل المشترك للتضاريس والجلبة. وأعدت وأُجيزت هذه الطريقة إزاء بيانات التضاريس الرقمية، من خلال دمج بيانات التضاريس الرقمية مع فئات الجلبة التمثيلية الإحصائية بدلاً من الاستعمال المباشر لبيانات ارتفاع السطح، حيث تشمل الارتفاعات الجلبة بدون تمييز واضح بين التضاريس والجلبة. ومن المهم ملاحظة أن تقدير خسارة الانعراج قد يكون مبالغاً فيه إذا تضمنت المظاهر الجانبية للتضاريس بيانات ارتفاع السطح. وإذا توفرت بيانات دقيقة عن ارتفاع السطح، يمكن استكشاف تقنيات أخرى مثل تتبع الأشعة الثلاثية الأبعاد، تشمل تأثير الانعراج حول المباني، للوصول إلى تقدير أكثر دقة لقيم الخسارة المتعلقة بالانتشار.

ويلزم المظهر الجانبي لتضاريس الأرض للمسير الراديوي من أجل تطبيق طريقة التنبؤ بالانتشار. وينبغي أن يشتمل المظهر الجانبي على معلومات عن ارتفاعات التضاريس (الأرض الجرداء) وارتفاعات الجلبة (تغطية الأرض) على طول المسير. ومن المناسب تخزين المعلومات في ثلاث مصفوفات تحتوي كل منها على نفس عدد القيم، $n + 1$ ، كما يلي:

$$(6c) \quad d_i: \text{المسافة من المرسل لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب } i \text{ (km)}$$

$$(6d) \quad h_i: \text{ارتفاع التضاريس لنقطة المظهر الجانبي ذات الترتيب } i \text{ فوق مستوى البحر (m)}$$

$$(6e) \quad g_i = \begin{cases} h_i + \text{representative clutter height of } i\text{-th profile point (m)} & \text{for } i = 1, \dots, n - 1 \\ h_0 & \text{for } i = 0 \\ h_n & \text{for } i = n \end{cases}$$

حيث:

$i = 0, 1, 2, \dots, n$ دليل نقطة المظهر الجانبي

$n + 1$: عدد نقاط المظهر الجانبي.

ويتعين وجود نقطة مظهر جانبي وسيطة واحدة على الأقل بين المرسل والمستقبل. وبالتالي يجب أن تحقق $n \geq 2$ الشرط n . وهذا العدد القليل من النقاط لا يناسب إلا المسيرات القصيرة التي تكون أقصر من 1 km.

ولاحظ أن نقطة المظهر الجانبي الأولى تكون عند المرسل. إذاً، d_0 تساوي صفرًا و h_0 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.

ولا تعطى أي مسافة محددة بين نقاط المظهر الجانبي. وبافتراض أن المظاهر الجانبية تُستخرج من مجموعات البيانات المتعلقة بارتفاع التضاريس الرقمي والغطاء الأرضي (الجلبة)، فإن التباعد المناسب سيتشابه نمطياً مع تباعد نقاط المصدر في مجموعات البيانات بدقة متماثلة فيما بينها. وليس مطلوباً تساوي تباعد نقاط المظهر الجانبي، ولكن من المستحسن أن يكون التباعد هو نفسه تقريباً بالنسبة إلى المظهر الجانبي كله وألا يقل عن 30 متراً.

وتشتمل المصفوفات المستخدمة في الحسابات على المسافة، d_i ، وارتفاعات التضاريس، h_i ، على النحو الوارد في المعادلة (6d) وارتفاعات التضاريس مع إضافة ارتفاعات الجلبة التمثيلية، g_i ، على النحو الوارد في المعادلة (6e). ولا ينبغي إضافة ارتفاع الجلبة التمثيلي إلى ارتفاعات التضاريس عند المرسل والمستقبل وإذا كانت المسافة من المرسل أو المستقبل أقل من 50 متراً. وبالتالي، g_0 هو ارتفاع التضاريس عند المرسل بالأمتار فوق مستوى سطح البحر و g_n هو ارتفاع التضاريس عند المستقبل بالأمتار فوق مستوى سطح البحر و g_i هو ارتفاع التضاريس بالأمتار فوق مستوى سطح البحر لجميع النقاط التي تكون على مسافة أقل من 50 متراً من المرسل أو المستقبل.

ويتعلق "ارتفاع الجلبة التمثيلي" المشار إليه في المعادلة (6e) بمعلومات الارتفاع الإحصائية المرتبطة بتصنيف الغطاء الأرضي كالنباتات والمباني أي قيمة ارتفاع وحيدة مخصصة لكل غطاء أرضي/صنف الجلبة. وإضافة ارتفاعات الجلبة التمثيلية إلى المظهر الجانبي تستند إلى افتراض أن الارتفاعات h_i تمثل سطح الأرض الأجرد. وإذا كان المسير الراديوي يمر فوق مناطق حرجية أو حضرية حيث يحدث انعراج أو انسداد في مسيرات فرعية، يزداد الارتفاع الفعلي للمظهر الجانبي لأن الإشارات الراديوية ستعبر فوق الجلبة. وبالتالي يمكن الحصول على تمثيل أنسب للمظهر الجانبي عن طريق إضافة ارتفاعات لاحتساب الجلبة.

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

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

وعلى الطرف الآخر، حتى في المناطق التي تصنف على أنها "مفتوحة" أو "ريفية" فمن غير 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 لارتفاعات الجلبة التمثيلية، بدلاً من الصفر، قد يكون مناسباً في كثير من الحالات.

وبالتالي، فإن ارتفاع الجلبة التمثيلي لا يتوقف فقط على الارتفاع المادي النمطي للأشياء المسببة للجلبة وإنما أيضاً على التباعد الأفقي لهذه الأشياء والفجوات بينها. وليس هناك معيار متعارف عليه بشأن ما تمثله فئة جلبة، "الحضرية" مثلاً، من الناحية المادية في مختلف البلدان. وينبغي استعمال معلومات ارتفاع الجلبة التمثيلية استناداً إلى إحصائيات ارتفاع الجلبة المحلية أو مصادر أخرى، متى توفرت، ويقترح الجدول 3 قيمة افتراضية لارتفاعات الجلبة التمثيلية، يمكن استخدامها في حالة عدم وجود معلومات محددة بشأن المنطقة/البلد.

الجدول 3

القيم الافتراضية لارتفاعات الجلبة التمثيلية

الارتفاع التمثيلي للجلبة (m)	فئة الجلبة
أضف إلى المظهر الجانبي في المعادلة (6e) بالنسبة إلى $i = 1$ إلى $1 - n$	
0	مياه/بحر
0	منطقة ريفية/مفتوحة
10	ضواحي
15	حضرية/أشجار/غابة
20	حضرية كثيفة

ويجب أن تستخلص القيم الخاصة بعدد من المعلمات ذات العلاقة بالمسير والضرورية لإجراء الحسابات، كما يشير إليها الجدول 4، بواسطة تحليل أولي للمظهر الجانبي للمسير مبني على قيمة a_e كما تحددها المعادلة (6a). ويقدم المرفق 2 للملحق 1 معلومات حول اشتقاق المظهر الجانبي للمسير وبنائه وتحليله.

الجدول 4

قيم المعلمات المشتقة من تحليل المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
d	مسافة مسار الدائرة العظمى (km)
d_{lr}, d_{lr}	المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال والأفق المقابل لهما (km).
θ_r, θ_r	فيما يتعلق بالمسار عبر الأفق، زاويتا ارتفاع الأفق عند الإرسال والاستقبال (mrad) على التوالي. أما فيما يتعلق بمسارات خط البصر فيتحدد كل منها بزاوية الارتفاع بالنسبة إلى المطراف الآخر.
θ	المسافة الزاوية للمسار (mrad)
h_{ls}, h_{rs}	ارتفاع مركز الهوائي فوق المستوى المتوسط للبحر (m)
h_{le}, h_{re}	الارتفاعان الفعالان للهوائي فوق الأرض (m) فيما يتعلق بنموذج الانتشار الموجه/الانعكاس على الطبقات (انظر التعريفين في المرفق 2 للملحق 1). جدير بالملاحظة أن اسمي المعلمتين نفسيهما مستخدمان للدلالة على الارتفاع الفعال في نموذج الانعراج، ولكن المعلمتين h_{re} و h_{le} لهما تعريفان مختلفان في نموذج الانعراج. انظر المعادلتين (39a) و (39b)
d_b	الطول المجمع لأجزاء المسار فوق الماء (km)
ω	جزء المسار الكلي فوق الماء: $\omega = d_b/d$ حيث d هي مسافة الدائرة العظمى (km) المحسوبة في المعادلة (134). من أجل المسيرات البرية بكاملها: $\omega = 0$
$d_{et,cr}$	المسافة فوق الأرض بين هوائي الإرسال والاستقبال والساحل على طول مسار التداخل في الدائرة العظمى (km). يوضع على صفر في حالة مطراف على متن سفينة أو منصة بحرية

4 نماذج الانتشار في الجو الصافي

تقيّم خسارة الإرسال الأساسية، L_b (dB)، التي لا يتم تجاوزها أثناء النسبة المثوية السنوية المطلوبة في الوقت، p ، حسب الوصف الوارد في الفقرات التالية.

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

ينبغي تقييم ما يلي في حالتى مسارات خط البصر والمسارات عبر الأفق. وتكون خسارة الإرسال الأساسية الناتجة عن الانتشار في الفضاء الحر والتوهين الناجم عن الغازات الجوية:

$$(8) \quad L_{bfs_g} = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d_{fs} + A_g(d_{fs}) \quad \text{dB}$$

حيث:

f : التردد (GHz)

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

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

d : مسافة مسير الدائرة العظمى (km)

h_{ts} : ارتفاع هوائي الإرسال فوق مستوى سطح البحر (m)

h_{rs} : ارتفاع هوائي الاستقبال فوق مستوى سطح البحر (m)

A_g : الامتصاص الغازي الكلي (dB):

$$(9) \quad A_g(d_{fs}) = [\gamma_0 + \gamma_w(\rho)] d_{fs} \quad \text{dB}$$

حيث:

$\gamma_0, \gamma_w(\rho)$: التوهين النوعي بسبب الجو الجاف وبخار الماء، على التوالي، يستخلص من معادلات في التوصية ITU-R P.676

ρ : كثافة بخار الماء:

$$(9a) \quad \rho = 7.5 + 2.5\omega \quad \text{g/m}^3$$

ω : الجزء من المسير الكلي فوق الماء.

تصحيح تأثيرات المسارات المتعددة والتبئير في النقطة p والنسبة المئوية β_0 من الوقت:

$$(10a) \quad E_{sp} = 2.6 [1 - \exp(-0.1 \{d_{lt} + d_{lr}\})] \log_{10} (p/50) \quad \text{dB}$$

$$(10b) \quad E_{s\beta} = 2.6 [1 - \exp(-0.1 \{d_{lt} + d_{lr}\})] \log_{10} (\beta_0/50) \quad \text{dB}$$

خسارة الإرسال الأساسية التي لم يتم تجاوزها أثناء النسبة $p\%$ من الوقت والناجمة عن الانتشار في خط البصر (بصرف النظر عما إذا كان المسير في خط البصر فعلياً أم لا)، والتي تعطى بالمعادلة التالية:

$$(11) \quad L_{b0p} = L_{bfs_g} + E_{sp} \quad \text{dB}$$

خسارة الإرسال الأساسية التي لم يتم تجاوزها خلال النسبة $\beta_0\%$ من الوقت والناجمة عن الانتشار في خط البصر (بصرف النظر عما إذا كان المسير في خط البصر فعلياً أم لا):

$$(12) \quad L_{b0\beta} = L_{bfs_g} + E_{s\beta} \quad \text{dB}$$

2.4 الانعراج

يفترض بأن التغير الزمني للخسارة الفائضة العائدة إلى آلية الانعراج هو نتيجة التغيرات في معدل التفاوت لدليل الانكسار الراديوي الجوي الكلي، أي أنه يفترض تزايد عامل نصف قطر الأرض الفعال $k(p)$ كلما تناقصت النسبة المئوية p من الوقت. ويعتبر هذا الإجراء مقبولاً لقيمة $50 \geq p \geq \beta_0$ %. أما لنسب الوقت التي تقل عن β_0 فإن سويات الإشارات تكون خاضعة لآليات الانتشار الشاذة أكثر منها لمجموع خصائص الانكسار في الجو. وهكذا يفترض أن تكون خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $p > \beta_0$ % هي نفسها أثناء $p = \beta_0$ % من الوقت.

وبناء على ذلك، ففي الحالة العامة حيث $p > 50$ %، يجب إجراء حساب الانعراج مرتين، أولاً لعامل نصف قطر الأرض الفعال المتوسط k_{50} (المعادلة 5)، وثانياً لعامل نصف قطر الأرض الفعال المقيّد k_β الذي يساوي 3. ويعطي هذا الحساب الثاني قيمة تقديرية لخسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها خلال β_0 % من الوقت، حيث تعطى β_0 بالمعادلة (2).

وتحسب عندئذ خسارة الانعراج، L_{dp} ، التي لا يتم تجاوزها خلال نسبة p % من الوقت، حيث $50 \geq p \geq 0,001$ %، باستخدام إجراء التقييد أو الاستكمال الداخلي الوارد في الفقرة 4.2.4.

ويحسب نموذج الانعراج الكميات التالية المطلوبة في الفقرة 5.4:

L_{dp} : خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء p % من الوقت

L_{bd50} : خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة المصاحبة للانعراج

L_{bd} : خسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج الذي لم يتم تجاوزه أثناء p % من الوقت.

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

وتسمح هذه الطريقة بتقدير خسارة الانعراج في جميع أنماط المسارات بما فيها المسارات البحرية أو البرية أو الساحلية، وبغض النظر عن التضاريس الأرضية أو عما إذا كان في خط البصر أو عبر الأفق.

كما نشرت هذه الطريقة أيضاً استعمال تقريب الخسارة الناجمة عن انعراج واحد على حد سكين كدالة لمعلمة دون أبعاد، v ، تعطى في العلاقة:

$$(13) \quad J(v) = 6.9 + 20 \log_{10} \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right)$$

تجدر الإشارة إلى أن $J(0,78-) \approx 0$ ، وهذا يعرّف الحد الأدنى الذي ينبغي استعمال هذا التقريب عنده. وتعطى $J(v)$ القيمة صفر إذا كان $v > 0,78$.

ويوضّح حساب الانعراج الكلي في الفقرات الفرعية على النحو التالي:

تصف الفقرة 1.2.4 جزء بولينغتون من طريقة الانعراج. وهو يُستخدم مرتين لكل حساب انعراج من أجل قيمة فعالة معينة لنصف قطر الأرض. وفي المرة الثانية يتم تعديل ارتفاعات الهوائي وتصفّر جميع ارتفاعات المظهر الجانبي.

وتصف الفقرة 2.2.4 جزء الأرض الكروية من نموذج الانعراج. وهو يُستخدم مع ارتفاعات الهوائي نفسها المستخدمة في المرة الثانية من جزء بولينغتون في الفقرة 1.2.4.

وتصف الفقرة 3.2.4 كيف تستخدم الطريقتان المذكورتان في الفقرتين 1.2.4 و 2.2.4 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 4.2.4 الحساب الكامل لخسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها خلال نسبة مئوية معينة $p\%$ من الوقت.

1.2.4 جزء بولينغتن من حساب الانعراج

في المعادلات التالية، تحسب المنحدرات بوحدة m/km نسبة إلى خط الأساس الذي يصل مستوى سطح البحر عند المرسل بمستوى سطح البحر عند المستقبل. وتكون المسافة والارتفاع (بما في ذلك ارتفاع الجلبة التمثيلي) للنقطة ذات الترتيب i في المظهر الجانبي d_i و g_i m فوق مستوى سطح البحر على التوالي، ويتخذ المؤشر i قيمة تتراوح بين 0 و n حيث $n+1$ هو عدد نقاط المظهر الجانبي والطول الكامل للمسير هو d km . وتسهيلاً للعمل، يشار إلى الطرفين في بداية ونهاية المظهر الجانبي كمرسل ومستقبل بارتفاعين بالأمتار فوق مستوى سطح البحر h_{rs} و h_{ts} على التوالي. ويعطي انحناء الأرض الفعال، $(C_e km^{-1})$ ، بالكسر $1/a_e$ حيث a_p هو نصف قطر الأرض الفعال بالكيلومترات. ويمثل طول الموجة بالأمتار بالرمز λ . وترد القيم التي يتعين استخدامها من أجل a_p في الفقرة 4.2.4.

ويلزم توخي الحذر بالقرب من المطاريف لضمان ألا تتسبب إضافة ارتفاعات تمثيلية للجلبة المحلية في زيادة غير واقعية في زوايا ارتفاع الأفق كما يراها كل هوائي.

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

$$(14) \quad S_{tim} = \max \left[\frac{g_i + 500C_e d_i (d - d_i) - h_{ts}}{d_i} \right] \quad m/km$$

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

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

$$(15) \quad S_{tr} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} \quad m/km$$

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.

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

$$(16) \quad v_{\max} = \max \left\{ \left[g_i + 500C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts}(d - d_i) + h_{rs}d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

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

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

$$(17) \quad L_{uc} = J(v_{\max}) \quad dB$$

حيث تعطى الدالة J بالمعادلة (13) من أجل v_b أكبر من -0,78، وتكون صفرًا خلاف ذلك.

الحالة 2: المسير عبر الأفق

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

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

$$(18) \quad S_{rim} = \max \left[\frac{g_i + 500 C_e d_i (d - d_i) - h_{rs}}{d - d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

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

تُحسب مسافة نقطة بولينغتن من المرسل:

$$(19) \quad d_{bp} = \frac{h_{rs} - h_{ts} + S_{rim} d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad \text{km}$$

وتُحسب معلمة الانعراج، v_b ، لنقطة بولينغتن:

$$(20) \quad v_b = \left[h_{ts} + S_{tim} d_{bp} - \frac{h_{ts}(d - d_{bp}) + h_{rs} d_{bp}}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_{bp}(d - d_{bp})}}$$

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

$$(21) \quad L_{uc} = J(v_b) \quad \text{dB}$$

ومن أجل الخسارة L_{uc} المحسوبة باستخدام إحدى المعادلتين (17) أو (21)، تعطى خسارة انعراج بولينغتن في المسير كما يلي:

$$(22) \quad L_{bull} = L_{uc} + [1 - \exp(-L_{uc}/6)](10 + 0.02 d) \quad \text{dB}$$

2.2.4 خسارة الانعراج في الأرض الكروية

تُحسب خسارة الانعراج، L_{dsph} ، في الأرض الكروية لارتفاعي الهوائي h_{re} و h_{te} (m)، على النحو التالي.

تُحسب المسافة الهامشية على خط البصر لمسير أملس:

$$(23) \quad d_{los} = \sqrt{2a_p} \cdot \left(\sqrt{0.001h_{te}} + \sqrt{0.001h_{re}} \right) \quad \text{km}$$

وترد القيم التي يتعين استخدامها من أجل a_p في الفقرة 4.2.4. ويحدد ارتفاعا الهوائي الفعالان h_{re} و h_{te} في المعادلتين (39a) و (39b).

في حال $d \geq d_{los}$ ، تُحسب خسارة الانعراج باستخدام الطريقة المذكورة في الفقرة 1.2.2.4 من أجل $a_{dfi} = a_p$ للحصول على L_{dfi} وتساوى الخسارتان L_{dfi} و L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية.

وبخلاف ذلك، يواصل العمل على النحو التالي:

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

$$(24) \quad h_{se} = \frac{\left(h_{te} - 500 \frac{d_{se1}^2}{a_p} \right) d_{se2} + \left(h_{re} - 500 \frac{d_{se2}^2}{a_p} \right) d_{se1}}{d} \quad \text{m}$$

حيث:

$$(25a) \quad d_{se1} = \frac{d}{2} (1 + b) \quad \text{km}$$

$$(25b) \quad d_{se2} = d - d_{se1} \quad \text{km}$$

$$(25c) \quad b = 2\sqrt{\frac{m+1}{3m}} \cos \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right\}$$

حيث تنتج دالة قوس جيب التمام زاوية بالراديان.

$$(25d) \quad c = \frac{h_{te} - h_{re}}{h_{te} + h_{re}}$$

$$(25e) \quad m = \frac{250d^2}{a_p(h_{te} + h_{re})}$$

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

$$(26) \quad h_{req} = 17.456 \sqrt{\frac{d_{se1} \cdot d_{se2} \cdot \lambda}{d}} \quad \text{m}$$

في حال ($h_{se} > h_{req}$) تنعدم خسارة الانعراج في الأرض الكروية L_{dsph} . ولا ضرورة لمزيد من حساب الانعراج في الأرض الكروية. وبخلاف ذلك، يواصل العمل على النحو التالي:

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

$$(27) \quad a_{em} = 500 \left(\frac{d}{\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}}} \right)^2 \quad \text{km}$$

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.2.2.4 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، يواصل العمل على النحو التالي:

تُحسب خسارة الانعراج في الأرض الكروية بالاستكمال الداخلي:

$$(28) \quad L_{dsph} = [1 - h_{se} / h_{req}] L_{dft} \quad \text{dB}$$

1.2.2.4 جزء الحد الأول من خسارة الانعراج في الأرض الكروية

تقدم هذه الفقرة الفرعية طريقة لحساب الانعراج في الأرض الكروية باستخدام الحد الأول فقط من سلسلة البقايا. وهي تشكل جزءاً من طريقة الانعراج الكلي الموضحة في الفقرة 2.2.4 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 2.2.4.

وتحدد الخصائص الكهربائية للتضاريس النمطية على البر بالسماحية النسبية $\epsilon_r = 22,0$ والإيصالية النوعية $\sigma = 0,003 \text{ S/m}$ وتُحسب الخسارة L_{dft} باستخدام المعادلات (30) حتى (37) وتدعى النتيجة $L_{dftland}$.

وتحدد الخصائص الكهربائية للتضاريس النمطية في البحر بالسماحية النسبية $\epsilon_r = 80,0$ والإيصالية النوعية $\sigma = 5,0 \text{ S/m}$ وتُحسب الخسارة L_{dft} باستخدام المعادلات (30) حتى (37) وتدعى النتيجة L_{dftsea} .

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

$$(29) \quad L_{dft} = \omega L_{dftsea} + (1 - \omega) L_{dftland} \quad \text{dB}$$

حيث ω هو شطر المسير فوق البحر.

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

العامل المقيس لسماحية السطح في الاستقطاب الأفقي والرأسي:

$$(30a) \quad K_H = 0.036(a_{dft}f)^{-1/3} [(\epsilon_r - 1)^2 + (18\sigma/f)^2]^{-1/4} \quad \text{(أفقي)}$$

و:

$$(30b) \quad K_V = K_H \left[\epsilon_r^2 + (18\sigma/f)^2 \right]^{1/2} \quad \text{(رأسي)}$$

وإذا كان متجه الاستقطاب يتضمن مركبات أفقية وعمودية، مثلاً دائرية أو مائلة، يفكك إلى مركبتين أفقية وعمودية، وتحسب كل واحدة بشكل منفصل بدءاً من المعادلتين (30a) و(30b) وتجمع النتائج بالجمع المتجهي لاتساع المجال. وعموماً هذا التفكيك غير ضروري من الناحية العملية لأنه فوق 300 MHz يمكن استعمال القيمة 1 للمعلمة β_{dft} في المعادلة (31).

وتُحسب معلمة الاستقطاب الأرضية:

$$(31) \quad \beta_{dft} = \frac{1 + 1.6K^2 + 0.67K^4}{1 + 4.5K^2 + 1.53K^4}$$

حيث K هو K_H أو K_V وفقاً للاستقطاب.

المسافة المقيسة:

$$(32) \quad X = 21.88 \beta_{dft} \left(\frac{f}{a_{dft}^2} \right)^{1/3} d$$

والارتفاعان المقيَّسان للمرسل والمستقبل:

$$(33a) \quad Y_t = 0.9575 \beta_{dft} \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{te}$$

$$(33b) \quad Y_r = 0.9575 \beta_{dft} \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{re}$$

ويُحسب حد المسافة كما يلي:

$$(34) \quad F_X = \begin{cases} 11 + 10 \log_{10}(X) - 17.6X & \text{إلى } X \geq 1.6 \\ -20 \log_{10}(X) - 5.6488X^{1.425} & \text{أو } X < 1.6 \end{cases}$$

وتحدّد دالة الارتفاع المقيَّس بما يلي:

$$(35) \quad G(Y_{t/r}) = \begin{cases} 17.6(B_{t/r} - 1.1)^{0.5} - 5 \log_{10}(B_{t/r} - 1.1) - 8 & \text{for } B_{t/r} > 2 \\ 20 \log_{10}(B_{t/r} + 0.1B_{t/r}^3) & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث:

$$(36a) \quad B_t = \beta_{dft} Y_t$$

$$(36b) \quad B_r = \beta_{dft} Y_r$$

وإذا كانت $G(Y)$ أقل من $2 + 20 \log_{10} K$ ، تُحدّ الدالة $G(Y)$ بحيث أن $G(Y) = 2 + 20 \log_{10} K$. ويعطى الآن الحد الأول لخسارة الانعراج في الأرض الكروية بما يلي:

$$(37) \quad L_{dft} = -F_X - G(Y_t) - G(Y_r) \quad \text{dB}$$

3.2.4 نموذج "دلتا بولينغتن" لخسارة الانعراج الكاملة

تُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.2.4 لارتفاعات (g_i) المظهر الجانبي للمسير وارتفاعات الهوائي. وتحدّد خسارة انعراج بولينغتن الناتجة في المسير الفعلي بالمساواة $L_{bull} = L_{bulla}$ على النحو المعطى في المعادلة (22). وتُستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 1.2.4 مرة ثانية مع تصفير جميع ارتفاعات المظهر الجانبي، g_i ، وتعديل ارتفاعات الهوائي، كما يلي:

$$(38a) \quad h'_{ts} = h_{ts} - h_{std} \quad \text{m (amsl)}$$

$$(38b) \quad h'_{rs} = h_{rs} - h_{srd} \quad \text{m (amsl)}$$

حيث يعطى ارتفاعا الأرض الملساء عند المرسل والمستقبل h_{std} و h_{srd} في الفقرة 3.6.1.5 من المرفق 2. وتحدد خسارة الانعراج بطريقة بولينغتن لهذا المسير الأملس، $L_{bull} = L_{bulls}$ ، على النحو المعطى بالمعادلة (22).

وتستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 2.2.4 لحساب خسارة الانعراج في الأرض الكروية، L_{dsph} ، من أجل طول المسير الفعلي d km ومع ما يلي:

$$(39a) \quad h_{te} = h'_{ts} \quad \text{m (amsl)}$$

$$(39b) \quad h_{re} = h'_{rs} \quad \text{m (amsl)}$$

وتعطى الآن خسارة الانعراج في مسير عام بما يلي:

$$(40) \quad L_d = L_{bulla} + \max\{L_{dsph} - L_{bulls}, 0\} \quad \text{dB}$$

4.2.4 خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها خلال النسبة المئوية $p\%$ من الوقت

تستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 3.2.4 لحساب خسارة الانعراج L_d في متوسط نصف قطر الأرض الفعال، $a_p = a_e$ ، كما يعطى بالمعادلة (6a). ويحدد متوسط خسارة الانعراج بالمساواة $L_d = L_{d50}$.

وفي حال $p = 50\%$ ، تعطى خسارة الانعراج التي لا يتم تجاوزها خلال نسبة مئوية معينة $p\%$ L_{dp} من الوقت بالخسارة L_{d50} ، ويكمل ذلك حساب الانعراج.

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

تستخدم الطريقة المذكورة في الفقرة 3.2.4 لحساب خسارة الانعراج، L_d ، من أجل نصف قطر الأرض الفعال ($a_p = a_\beta$)، كما تعطى بالمعادلة (6b). وتحدد خسارة الانعراج خلال نسبة مئوية معينة $\beta_0\%$ من الوقت بالمساواة $L_d = L_{d\beta}$.

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

$$(41a) \quad F_i = \frac{I\left(\frac{p}{100}\right)}{I\left(\frac{\beta_0}{100}\right)} \quad \text{for } 50\% > p > \beta_0\%$$

$$(41b) \quad = 1 \quad \text{for } \beta_0\% \geq p$$

حيث $I(x)$ هو مقلوب التوزيع العادي التراكمي التكميلي بدلالة الاحتمال x . ويرد في المرفق 3 للملحق 1 تقريب لدالة $I(x)$ يمكن استعماله بهامش ثقة عندما تكون ($x < 0.5$).

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

$$(42) \quad L_{dp} = L_{d50} + F_i (L_{d\beta} - L_{d50}) \quad \text{dB}$$

حيث يعرف L_{d50} و $L_{d\beta}$ أعلاه ويُحدد العامل F_i بالمعادلتين (41a) و (41b) تبعاً لقيم p و β_0 .

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

$$(43) \quad L_{bd50} = L_{bfs_g} + L_{d50} \quad \text{dB}$$

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

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

$$(44) \quad L_{bd} = L_{b0p} + L_{dp} \quad \text{dB}$$

حيث يتم الحصول على L_{b0p} بالمعادلة (11).

3.4 الانتشار التروبوسفيري

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

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

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

$$(45) \quad L_{bs} = 190 + L_f + 20 \log_{10} d + 0.573\theta - 0.15 N_0 + L_c + A_g - 10.1[-\log_{10} (p/50)]^{0.7} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_f : الخسارة بدلالة التردد:

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

L_c : الخسارة بالاقتران بين الفتحة والوسط الحامل (dB):

$$(45b) \quad L_c = 0.051 \cdot e^{0.055(G_t+G_r)} \quad \text{dB}$$

N_0 : الانكسارية للسطح على مستوى البحر عند منتصف المسير المستمدة من الخرائط الواردة في المرفق 1 بالملاحق 1

A_g : الامتصاص الغازي ويشترك من المعادلة (9) مع $\rho = 3 \text{ g/m}^3$ على طول المسير بكامله.

4.4 الانتشار الموجه/الانعكاس على الطبقات

يستند التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية L_{ba} (dB) التي تحدث في أثناء فترات الانتشار الشاذ (الانتشار الموجه والانعكاس على الطبقات)، إلى الدالة التالية:

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

حيث:

A_f : مجموع خسائر الاقتران الثابتة بين الهوائيات وبنية الانتشار الشاذ داخل الجو.

$$(47) \quad A_f = 102.45 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10}(d_{lt} + d_{lr}) + A_{lf} + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB}$$

A_{lf} : تصحيح تجريبي لمراعاة زيادة التوهين مع زيادة الطول الموجي في الانتشار عبر مسيرات في طبقات الجو.

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

$$A_{lf}(f) = 0.0 \text{ dB} \quad \text{otherwise}$$

A_{sr} , A_{st} : خسارتا الانعراج العائد إلى تأثير حجب التضاريس الأرضية للمحطة المسببة للتداخل والمحطة المعرضة للتداخل، على التوالي:

$$(48) \quad A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log_{10} \left[1 + 0.361 \theta''_{t,r} (f \cdot d_{lt,lr})^{1/2} \right] + 0.264 \theta''_{t,r} f^{1/3} & \text{dB for } \theta''_{t,r} > 0 \text{ mrad} \\ 0 & \text{dB for } \theta''_{t,r} \leq 0 \text{ mrad} \end{cases}$$

حيث:

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

A_{cr} , A_{ct} : قيمتا تصحيح الاقتران بالانتشار الموجه على السطح فوق البحر من أجل المحطة المسببة للتداخل والمحطة المعرضة للتداخل، على التوالي:

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

$$(49) \quad d_{ct, cr} \leq d_{lt, lr}$$

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

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

وتجدر الإشارة هنا إلى المجموعة المحدودة من الشروط التي تكون فيها المعادلة (49) ضرورية.

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

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

حيث:

γ_d : التوهين النوعي:

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

θ' : المسافة الزاوية (مصححة وفقاً للحاجة (من خلال المعادلة (52a)) من أجل إتاحة تطبيق نموذج تأثير حجب التضاريس الأرضية في المعادلة ((48):

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

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

$A(p)$: تغير النسبة المثوية من الوقت (التوزيع التراكمي):

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

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

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

μ_2 : التصحيح بالنسبة إلى هندسة المسير:

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

ويجب ألا تتجاوز قيمة μ_2 مقدار 1:

يحدّد ارتفاعا الهوائي الفعالان h_{re} و h_{te} في المعادلة (156).

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

حيث:

$$3,5 = \varepsilon$$

τ : معرفة في المعادلة (3a)

ويجب ألا تقل قيمة a عن 3,4

μ_3 : تصحيح التعرج في التضاريس الأرضية:

$$(56) \quad \mu_3 = \begin{cases} 1 & \text{for } h_m \leq 10 \text{ m} \\ \exp \left[-4,6 \times 10^{-5} (h_m - 10) (43 + 6 d_i) \right] & \text{for } h_m > 10 \text{ m} \end{cases}$$

$$(57) \quad dI = \min (d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km}$$

A_g : الامتصاص الغازي الكلي الذي تحدده المعادلتان (9) و(9a).

ويرد تعريف المصطلحات الأخرى في الجدولين 1 و 2 وفي المرفق 2 بالملحق 1.

5.4 التنبؤ الإجمالي

ينبغي تطبيق الإجراء التالي على نتائج الحسابات السابقة لجميع المسيرات.

يحسب عامل استكمال داخلي، F_j ، لكي تؤخذ معلمتا الميل في الحساب:

$$(58) \quad F_j = 1.0 - 0.5 \left(1.0 + \tanh \left(3.0 \xi \frac{(S_{tim} - S_{tr})}{\Theta} \right) \right)$$

حيث:

ξ : معلمة قابلة للتعديل تضبط حالياً على القيمة 0,8

$(S_{tim} - S_{tr})$: معلمتا الميل المعرفتان في المعادلتين (14) و(15) باستثناء استعمال h_i بدلاً من g_i في المعادلة (14)

Θ : معلمة قابلة للتعديل تضبط حالياً على القيمة 0,3 mrad.

يحسب عامل استكمال داخلي، F_k ، لأخذ طول مسير الدائرة العظمى في الاعتبار:

$$(59) \quad F_k = 1.0 - 0.5 \left(1.0 + \tanh \left(3.0 \kappa \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right)$$

حيث:

d : طول مسير الدائرة العظمى (km) (معرف في الجدول 4)

d_{sw} : معلمة ثابتة تحدد مدى المسافات لتقنية جميع آليات الانتشار (blending)، وتتحدد قيمتها بـ 20

κ : معلمة ثابتة تحدد منحني تقنية الجمع (blending) عند أطراف المدى، وتتحدد قيمتها بـ 0,5.

تحسب أدنى قيمة نظرية لخسارة الإرسال الأساسية L_{minb0p} (dB) تصاحب الانتشار في خط البصر وفي انعراج المسير الفرعي فوق البحر.

$$(60) \quad L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{for } p < \beta_0 \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50}) \cdot F_i & \text{for } p \geq \beta_0 \end{cases} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية النظرية في خط البصر التي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (11)

$L_{b0\beta}$: خسارة الإرسال الأساسية النظرية في خط البصر التي لم يتم تجاوزها خلال $\beta\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (12)

L_{dp} : خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت وتحسب باستخدام الطريقة الواردة في الفقرة 2.4.

F_i : عامل الاستكمال الداخلي للانعراج، يحدّد من خلال المعادلة (41).

تحسب القيمة الدنيا النظرية لخسارة الإرسال الأساسية، L_{minbap} (dB)، المصاحبة لتعزيز الإشارة في خط البصر وعبر الأفق:

$$(61) \quad L_{minbap} = \eta \ln \left(\exp \left(\frac{L_{ba}}{\eta} \right) + \exp \left(\frac{L_{b0p}}{\eta} \right) \right) \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{ba} : خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن الانتشار الموجه/الانعكاس على الطبقات، التي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (46)

L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية النظرية في خط البصر التي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (11)

$$\eta = 2.5$$

تحسب خسارة الإرسال الأساسية النظرية، L_{bda} (dB)، المصاحبة للانعراج وتعزيز الإشارة في خط البصر أو في الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات:

$$(62) \quad L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{for } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap})F_k & \text{for } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bd} : خسارة الإرسال الأساسية في الانعراج التي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (44)

F_k : عامل استكمال داخلي ينتج عن المعادلة (59) تبعاً لقيمة مسافة مسير الدائرة العظمى، d .

تحسب خسارة الإرسال الأساسية المعدلة، L_{bam} (dB)، التي تراعي الانعراج وتعزيز الإشارة في خط البصر أو في الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات:

$$(63) \quad L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda})F_j \quad \text{dB}$$

تحسب خسارة الإرسال الأساسية النهائية التي لم يتم تجاوزها أثناء $p\%$ من الوقت، L_b (dB)، كما في المعادلة التالية:

$$(64) \quad L_b = -5 \log_{10}(10^{-0.2L_{bs}} + 10^{-0.2L_{bam}}) \quad \text{dB}$$

6.4 حساب خسارة الإرسال

تمكن الطريقة التي يرد وصفها في الفقرات من 1.4 إلى 5.4 من حساب خسارة الإرسال الأساسية بين المحطتين. ولحساب سوية الإشارة عند محطة واحدة من جراء حدوث تداخل تسببه المحطة الأخرى لا بد من معرفة خسارة الإرسال، التي تأخذ في الاعتبار كسب الهوائي في المحطتين في اتجاه المسير الراديوي (أي التداخل) بينهما. وعندما تكون زاوية وصول الموجات الراديوية معروفة، يمكن استعمال كسب الهوائي في اتجاه زاوية الوصول هذه.

ويقدم الإجراء التالي طريقة لحساب خسارة الإرسال بين محطتين للأرض. ويقدم هذا الإجراء أيضاً، بوصفه مرحلة وسيطة في هذه الطريقة، صيغاً لحساب طول المسير على طول الدائرة العظمى ولحساب المسافة الزاوية للمسير بالاستناد إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطتين بدلاً من اشتقاق هذه الكميات انطلاقاً من المظهر الجانبي للمسير، وفقاً للفرضية التي ترد في الجدول 4.

وتحسب الزاوية التي تقع قبالة المسير عند مركز الأرض، δ ، انطلاقاً من الإحداثيات الجغرافية للمحطتين بواسطة الصيغة التالية:

$$(65) \quad \delta = \arccos(\sin(\varphi_t) \sin(\varphi_r) + \cos(\varphi_t) \cos(\varphi_r) \cos(\psi_t - \psi_r)) \quad \text{rad}$$

وتكون مسافة الدائرة العظمى، d ، بين المحطتين:

$$(66) \quad d = 6371 \cdot \delta \quad \text{km}$$

وتحسب زاوية السميت (اتجاه السميت بحسب الشمال الجغرافي في اتجاه عقارب الساعة) من المحطة t إلى المحطة r كما يلي:

$$(67) \quad \alpha_{tr} = \arccos(\{\sin(\varphi_r) - \sin(\varphi_t) \cos(\delta)\} / \sin(\delta) \cos(\varphi_t)) \quad \text{rad}$$

وبعد تطبيق المعادلة (67)، إذا كانت $\psi_t - \psi_r > 0$ عندئذ:

$$(68) \quad \alpha_{tr} = 2\pi - \alpha_{tr} \quad \text{rad}$$

وتحسب زاوية السميت من المحطة r إلى المحطة t بصفة تناظرية انطلاقاً من المعادلتين (67) و(68).

ويفترض بعد ذلك أن اتجاه الخزمة الرئيسية (اتجاه التسديد) للمحطة t ، α_{tr} يعطى بواسطة زاويتي الارتفاع وتسديد البصر $(\alpha_t, \varepsilon_t)$ ، وأن اتجاه الخزمة الرئيسية للمحطة r يُشار إليه بواسطة الزاويتين $(\alpha_r, \varepsilon_r)$. ومن الضروري، للحصول على زاويتي ارتفاع المسير الراديوي (في هذه الحالة، مسير التداخل) عند المحطتين t و r ، المشار إليهما بواسطة ε_{pt} و ε_{pr} ، على التوالي، التمييز بين مسيرات خط البصر والمسيرات عبر الأفق. فبالنسبة إلى مسيرات خط البصر مثلاً تكون:

$$(69a) \quad \varepsilon_{pt} = \frac{h_r - h_t}{d} - \frac{d}{2a_e} \quad \text{rad}$$

و:

$$(69b) \quad \varepsilon_{pr} = \frac{h_t - h_r}{d} - \frac{d}{2a_e} \quad \text{rad}$$

حيث h_r و h_t هما ارتفاعا المحطتين فوق السوية المتوسطة لسطح البحر km، أما بالنسبة إلى المسيرات عبر الأفقية فتكون زاويتا الارتفاع هما زاويتا الأفق، أي:

$$(70a) \quad \varepsilon_{pt} = \frac{\theta_t}{1000} \quad \text{rad}$$

و:

$$(70b) \quad \varepsilon_{pr} = \frac{\theta_r}{1000} \quad \text{rad}$$

وتجدر الإشارة إلى أن زاويتي الأفق الراديوي θ_t و θ_r (mrad) تظهران للمرة الأولى في الجدول 4 ويرد تعريفهما على التوالي في الفقرتين 1.1.5 و 3.1.5 من المرفق 2 للملحق 1.

ولحساب زاويتي الابتعاد عن خط التسديد فيما يتعلق بالمحطتين t و r المشار إليهما بواسطة χ_t و χ_r على التوالي في اتجاه مسير التداخل عند المحطتين t و r ، يوصى باستعمال المعادلتين:

$$(71a) \quad \chi_t = \arccos(\cos(\varepsilon_t) \cos(\varepsilon_{pt}) \cos(\alpha_{tr} - \alpha_t) + \sin(\varepsilon_t) \sin(\varepsilon_{pt}))$$

و:

$$(71b) \quad \chi_r = \arccos(\cos(\varepsilon_r) \cos(\varepsilon_{pr}) \cos(\alpha_{rt} - \alpha_r) + \sin(\varepsilon_r) \sin(\varepsilon_{pr}))$$

وباستعمال زاويتي الابتعاد عن خط التسديد يحسب كسب هوائي المحطتين t و r ، أي G_t و G_r (dB) على التوالي. وإذا كانت المخططات الحقيقية لإشعاع الهوائي غير متيسرة يمكن الحصول على التغير في الكسب بحسب الزاوية بالنسبة إلى محور التسديد انطلاقاً من المعلومات في التوصية ITU-R S.465.

وللحصول على خسارة الإرسال L تستعمل المعادلة:

$$(72) \quad L = L_b(p) - G_t - G_r \quad \text{dB}$$

وستكون زاويتا الارتفاع، فيما يتعلق بسيناريوهات التداخل في الجو الصافي حيث يهيمن الانتشار التروبوسفيري على الانتشار الراديوي، أعلى قليلاً من زاويتي الأفق الراديوي، θ_r و θ_t . ولا ينبغي لهاتين الأخيرتين أن تؤديا إلى خطأ كبير إلا إذا تطابقتا أيضاً مع اتجاه التسديد لمحطة كل منهما.

5 التنبؤ بالتداخل الذي يسببه الانتشار بالماء الجوي

عند الترددات الأعلى من 5 GHz تقريباً، حيث تكون أبعاد الماء الجوي قريبة من أطوال الموجة أو أكبر منها، قد يكون للتداخل الناتج عن الانتشار بالماء الجوي تفاعلات قوية. وخلافاً لطرق التنبؤ بالتداخل في الجو الصافي، تستعمل طريقة التنبؤ بالتداخل الناتج عن الانتشار بالماء الجوي (التي يرد وصفها فيما يلي) عبارات تتعلق بخسارة الإرسال بين محطتين مباشرة نظراً لأنها تفترض معرفة مخطط إشعاع كل من المحطة المسببة للتداخل والمحطة المعرضة للتداخل.

وهذه الطريقة عامة جداً ويمكن استعمالها في أي مخطط إشعاع هوائي يوفر طريقة لتحديد كسب الهوائي عند أية زاوية انحراف عن التسديد. ويمكن، على سبيل المثال، استعمال كافة مخططات الإشعاع كتلك التي ترد في التوصيات ITU-R F.699 و ITU-R F.1245 و ITU-R S.465 و ITU-R S.580، مثلما هو الحال بالنسبة إلى مخططات أكثر تعقيداً تستند إلى دوال بيسل (Bessel) أو مخططات حقيقية مقيسة، في حال تيسرها. ويمكن استعمال هذه الطريقة أيضاً في هوائيات شاملة الاتجاهات أو هوائيات قطاعية، مثل الهوائيات التي ترد خصائصها في التوصية ITU-R F.1336 والتي يتحدد كسبها عادةً انطلاقاً من زاوية الانحراف عن التسديد الأفقي (أي الارتفاع بالنسبة إلى زاوية الكسب الأقصى).

وهذه الطريقة عامة أيضاً من حيث إنها لا تقتصر على أي هندسة خاصة شرط تيسر مخططات الإشعاع الهوائي. وبالتالي فهي تشمل كلاً من تغطية اقتران الحزمة الرئيسية بالحزمة الجانبية بالهزمة الرئيسية، وكلاً من هندسة الانتشار على الدائرة العظمى وهندسة الانتشار الجانبية. ويمكن بهذه الطريقة حساب سويات التداخل بالنسبة إلى المسيرات الطويلة (>100 km) والمسيرات القصيرة (حتى بضعة كيلومترات) على حد سواء، ويتم اختيار زوايا الارتفاع والسمت المقيسة عند سوية هذه المحطة أو تلك بصفة عشوائية. وبالتالي، فإن هذه الطريقة مناسبة لفئة عريضة من السيناريوهات والخدمات لا سيما فيما يتعلق بتحديد التداخل الناتج عن الانتشار بالمطر بين محطتين للأرض، وبين محطة للأرض ومحطة أرضية وبين محطتين أرضيتين تعملان في نطاقات ترددات موزعة في اتجاهي الإرسال. وتستند المنهجية إلى صياغة رياضية تصف خسارة الإرسال الناجمة عن الانتشار بالماء الجوي بين محطتين. ولا تأخذ صيغة خسارة الإرسال في الاعتبار سوى الانتشار الفردي الناتج عن قطرات المطر. ويتم تجاهل الانتشار المتعدد

بسبب ارتفاع قيم التوهين المنسوبة لكل من غازات الغلاف الجوي وهطول الأمطار. وعلاوةً على ذلك، يمكن تجاهل الانتثار بالماء الجوي للحالات التالية:

- عدم هطول الأمطار بين المحطتين؛
- التردد الأقل من 5 GHz؛
- عدم تداخل عروض نطاق قنوات المحطتين، حيث يكون من غير المرجح أن تتسبب الآلية في تداخل القناة المجاورة؛
- الحزم الرئيسية لهوائيات المحطتين متوازية لبعضها البعض (78)؛
- زاوية الحول خارج المحور لمحطة واحدة (79) أكبر من عرض حزمها.

وتحسب المنهجية الموضحة أدناه خسارة الانتثار بالماء الجوي لحالة واحدة من اقتران حزمة رئيسية بحزمة رئيسية. غير أنه يمكن تكييفها لحساب خسارة الانتثار بالماء الجوي بسبب اقتران حزمة رئيسية بفص جانبي أو اقتران فص جانبي بحزمة رئيسية. ويمكن تحقيق ذلك من خلال استبدال خصائص الحزمة الرئيسية لهوائي المحطة المطلوبة بخصائص الفص الجانبي. وفي هذه الحالة، تحل جميع معلمات الفص الجانبي محل المعلمات المقابلة للحزمة الرئيسية المستبدلة. وعلى سبيل المثال، عند استبدال الحزمة الرئيسية بفص جانبي، يتم قياس زاوية الانتثار (78) وزوايا الحول (79) بالنسبة إلى تسديد الفص الجانبي المستعمل.

الشكل 3

مخطط تدفق خوارزمية الانتثار بالماء الجوي



P.0452-03

1.5 الأساس النظري لخسارة الإرسال الناتجة عن الانتثار بالماء الجوي

خسارة الإرسال، (dB)، الناتجة عن الانتثار بالماء الجوي بين محطتين، المحطة 1 باستقطاب $(q = v, h)$ والمحطة 2 باستقطاب p ($p = v, h$) استناداً إلى معادلة الرادار ذي المحطتين:

$$(73) \quad L_{pq} = 73.4399 + 20 \log_{10} f - 10 \log_{10} C_{pq} \quad \text{dB}$$

حيث:

f : التردد (GHz)

C_{pq} : معادلة نقل الانتثار التكامل على حجم خلية المطر ($\text{m}^{-1}\text{km}^{-1}$)

$$(74) \quad C_{pq} = \iiint \frac{G_1 G_2 \sigma_{pq}}{r_{A1}^2 r_{A2}^2} \exp(-c[\mathcal{K}_{atm} + \mathcal{K}_{rain}]) \zeta(h) dV$$

ملاحظة - يرد تعبير رقمي لهذا التكامل في الجزء المتبقي من الملحق بوصفه المعادلتين (132) و(133).

$G_{1,2}$: المكاسب الخطية للمحطة 1 والمحطة 2، على التوالي

$r_{A1,2}$: المسافات من عنصر التكامل dV للمحطة 1 والمحطة 2 (km)

σ_{pq} : المقطع العرضي ذو المحطتين لقطرات المطر لكل وحدة حجم؛ الفقرة 4.4.3.5 (m^2m^{-3})

c : قيمة ثابتة لتحويل التوهين من dB إلى Nepers ($c = 0.23026$)

\mathcal{K}_{atm} : التوهين الناتج عن غازات الغلاف الجوي على امتداد المسير من المرسل إلى المستقبل (dB) الذي يمر من خلال عنصر التكامل؛ الفقرة 2.4.3.5

\mathcal{K}_{rain} : التوهين الناتج عن المطر على امتداد المسير من المرسل إلى المستقبل (dB) الذي يمر من خلال عنصر التكامل؛ الفقرة 3.4.3.5

$\zeta(h)$: انعكاسية الرادار تبعاً للارتفاع:

$$(75) \quad \zeta(h) = \begin{cases} 1 & \text{for } h \leq h_R \\ 10^{-0.65(h-h_R)} & \text{for } h > h_R \end{cases}$$

h_R : ارتفاع المطر (km)؛

dV : حجم عنصر التكامل التفاضلي (km^3).

2.5 معلمات دخل النموذج

الجدول 5

قائمة معلمات الدخل

(تشير اللاحقة 1 إلى معلمات المحطة 1 واللاحقة 2 إلى معلمات المحطة 2)

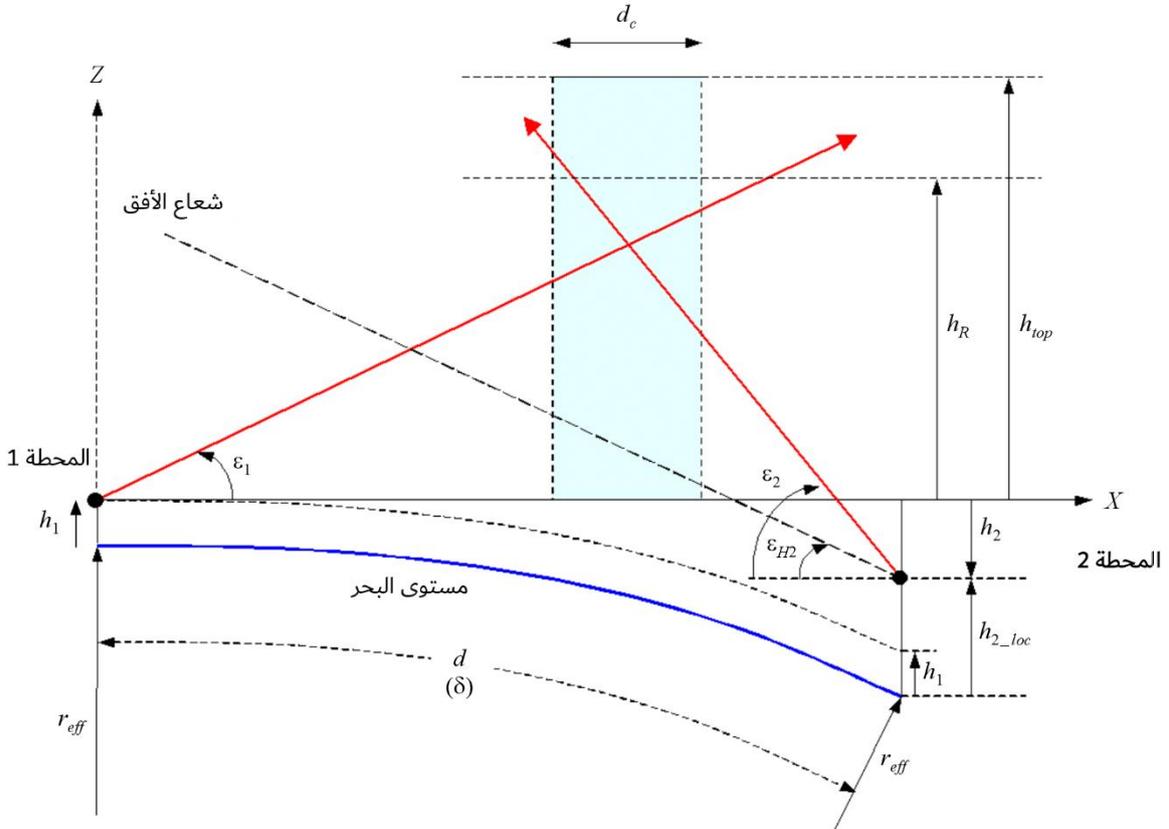
المعلمة	الوحدات	الوصف
d	km	مسافة مسير الدائرة الكبرى
f	GHz	التردد
h_{1_loc}, h_{2_loc}	km	الارتفاعات المحلية للمحطة 1 والمحطة 2 فوق مستوى سطح البحر
G_1, G_2	dB	كسب كل هوائي كدالة لكل من زاوية التسديد واستقطاب الهوائي
BW_1, BW_2	rad	عرض حزم الهوائي. ويمكن أن يكون عرض الحزم إما للحزم الرئيسية أو الفصوص الجانبية حسب الاقتران المطلوبة.
$p_R(R)$		توزيع احتمالات هطول الأمطار
M	dB	عدم موافقة الاستقطاب بين الأنظمة
P	hPa	الضغط عند السطح (القيمة المفترضة 1013,25 hPa)
$p_h(h)$		توزيع احتمالات ارتفاع الأمطار
T	°C	درجة الحرارة عند السطح (القيمة المفترضة 15°C)
$\alpha_{1_loc}, \alpha_{2_loc}$	rad	التقويم الزاوي المحلي للمحطة 1 بالنسبة إلى المحطة 2 وللحطة 2 بالنسبة إلى المحطة 1، في اتجاه عقارب الساعة
$\epsilon_{H1_loc}, \epsilon_{H2_loc}$	rad	زاويتنا موقع الأفق المحلي للمحطة 1 والمحطة 2
ρ	g/m^3	كثافة بخار الماء عند السطح (القيمة المفترضة 8 g/m^3)
τ	بالدرجات	زاوية استقطاب الوصلة (0° بالنسبة إلى الاستقطاب الأفقي، 90° بالنسبة إلى الاستقطاب العمودي)
Lat_1,2 Lon_1,2	بالدرجات	خط العرض وخط الطول للمحطة 1 وللحطة 2
R_p		النسبة المثوية لكمية الكائن التي لن يتم تجاوزها

1.2.5 المعلومات الهندسية للوصلة

إلى جانب معلومات الدخل المذكورة أعلاه، يمكن اعتبار المعلومات الهندسية للوصلة بمثابة معلومات دخل. وإذا لم يتم توفيرها، فسيتم حساب هذه المعلومات وحفظها لاستخدامها في المستقبل.

الشكل 4

هندسة المخطتين على الأرض المحدبة



P.0452-04

1.1.2.5 محاور تسديد هوائي المحطة (الجزء الرئيسية)

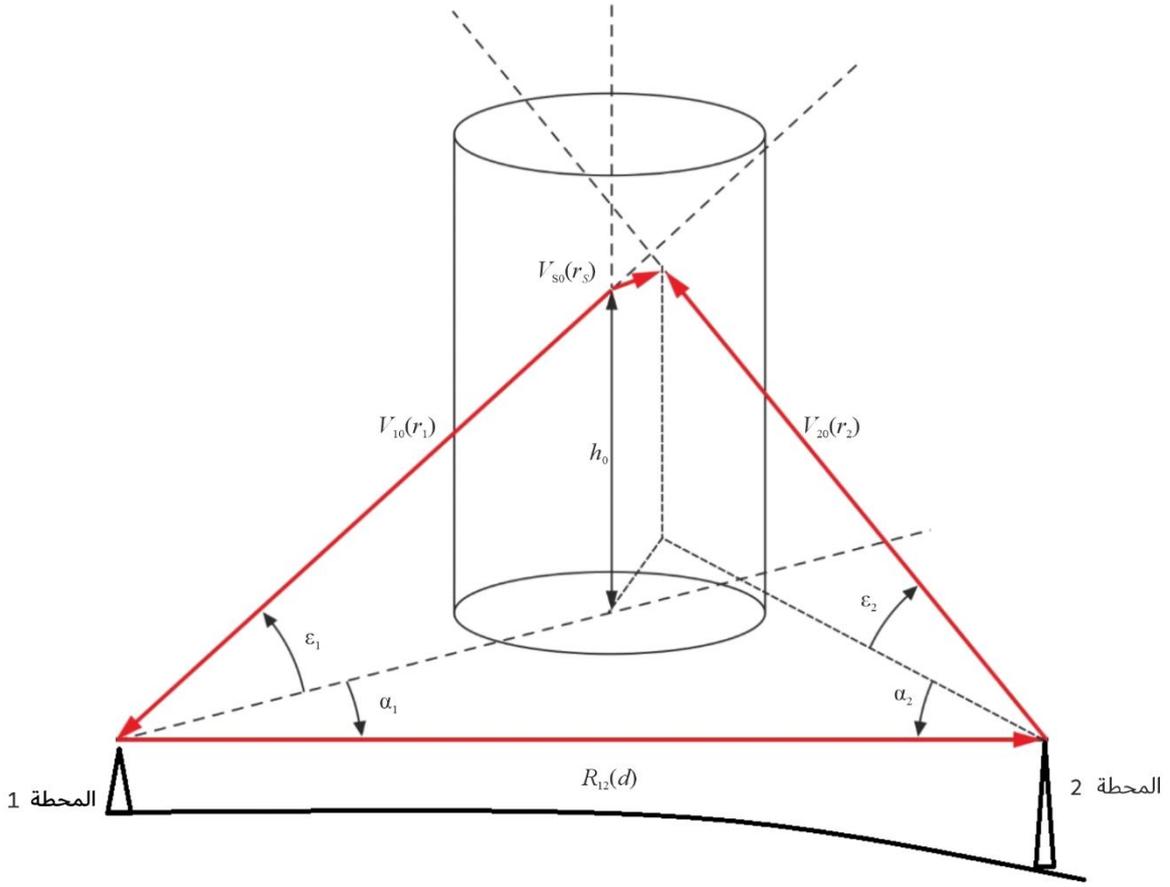
يعرض الشكل 5 التشكيلة الهندسية لوصلة الانتثار بالماء الجوي باستخدام الإحداثيات الديكارتية للمحطة 1 كإحداثيات مشتركة. وفي هذه الإحداثية، تقع المحطة 1 عند نقطة الأصل (0,0,0) ويكون المستوي x-y هو المستوي الأفقي، ويشير المحور x نحو المحطة 2، ويشير المحور z عمودياً إلى الأعلى. ويُعطى محور تسديد هوائي المحطة 1 بواسطة متجه الوحدة V_{10} :

$$(76) \quad V_{10} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_1 \cos \alpha_1 \\ \cos \varepsilon_1 \sin \alpha_1 \\ \sin \varepsilon_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{10} \\ y_{10} \\ z_{10} \end{bmatrix}$$

وفي المعادلة (76)، تكون $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1_loc}$ ، $\alpha_1 = \alpha_{1_loc}$ مع α_{1_loc} و ε_{1_loc} الارتفاعين المحليين وزاويتي السميت لمحور تسديد هوائي المحطة 1.

الشكل 5

مخطط هندسة وصلة الانتشار بالماء الجوي للحالة العامة للانتشار الجانبي



P.0452-05

ومحور تسديد هوائي المحطة 2 يمثله متجه وحدة الطول V_{20} :

$$(77a) \quad V_{20} = \begin{bmatrix} \cos \epsilon_2 \cos \alpha_2 \\ \cos \epsilon_2 \sin \alpha_2 \\ \sin \epsilon_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \epsilon_{2_loc} \sin \delta - \cos \epsilon_{2_loc} \cos \alpha_{2_loc} \cos \delta \\ -\cos \epsilon_{2_loc} \sin \alpha_{2_loc} \\ \sin \epsilon_{2_loc} \cos \delta + \cos \epsilon_{2_loc} \cos \alpha_{2_loc} \sin \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{20} \\ y_{20} \\ z_{20} \end{bmatrix}$$

والزاويتان ϵ_2 و α_2 هما زاويتا الارتفاع والسمت للمحطة 2 من المحطة 1 في الرتل المشترك؛ و ϵ_{2_loc} و α_{2_loc} هما الزاويتان المقابلتان في الرتل المحلي لهوائي المحطة 2. بالإضافة إلى ذلك، δ هي الزاوية التي تواجهها المحطتان في مركز الأرض ($\delta = d/r_{eff}$)، $r_{eff} = a_e = k_{50}a$ هو نصف قطر الأرض الفعلي (الوسيط)، و a هو متوسط نصف قطر الأرض، و a (كما هي محددة في المعادلة (6a)) و k_{50} (كما هي محددة في المعادلة (5)) هي عامل نصف القطر الوسيط). وعند القيم δ الصغيرة، يمكن تجاهل انحناء الأرض؛ و ϵ_2 و α_2 يساويان $\epsilon_{2_loc} + \pi$ و α_{2_loc} على التوالي.

والمتمجه من المحطة 1 على المحطة 2 هو:

$$(77b) \quad V_{12} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad R_{12} = V_{12}$$

2.1.2.5 زاوية انتشار الحزمة الرئيسية

زاوية انتشار الحزمة الرئيسية φ_{ms} ، هي الزاوية بين الحزمتين الرئيسيتين للهوائي (محاور خط التسديد)، ويتم تحديدها من حاصل الضرب القياسي لمتجهي الوحدة V_{20} و V_{10} :

$$(78) \quad \varphi_{ms} = \cos^{-1}(-V_{20} \cdot V_{10}) = \cos^{-1}(-\{\cos \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2\})$$

وإذا كانت $\varphi_{ms} > 0,001 \text{ rad}$ ، تكون حزمتا الهوائي إما متوازيتين تقريباً أو على خط واحد. وإذا كانت حزمتا الهوائي متوازيتين تقريباً لبعضها البعض، يكون الاقتران عن طريق الانتثار بالمطر لا يذكر ولا تكون هناك حاجة إلى حساب الانتثار بالماء الجوي.

3.1.2.5 زاوية الحول خارج المحور

تحسب زاوية الحول خارج المحور $\Psi_{1,2}$ عند المحطة 1 أو المحطة 2 لنقطة التقارب الأعظمي على الحزمة الرئيسية للمحطة الأخرى بالمعادلة التالية:

$$(79) \quad \Psi_{1,2} = \tan^{-1}\left(\frac{r_s}{r_{1,2}}\right)$$

ويمكن الحصول على المسافات r_1 و r_2 و r_s من المعادلة (80)، حيث (x_{10}, y_{10}, z_{10}) و (x_{20}, y_{20}, z_{20}) هي مكونات متجهي الوحدة V_{20} و V_{10} على التوالي.

$$(80) \quad \begin{bmatrix} r_s \\ r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{s0} & x_{10} & -x_{20} \\ y_{s0} & y_{10} & -y_{20} \\ z_{s0} & z_{10} & -z_{20} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} d \\ 0 \\ h_2 \end{bmatrix}, \quad h_2 = h_{2_loc} - h_{1_loc} - d \frac{\delta}{2} \text{ km}$$

وفي المعادلة (80)، h_2 هي ارتفاع المحطة 2 فوق المستوى المرجعي.

والعامل $^{-1}$ [] هو عامل المصفوفة العكسية. أما بالنسبة إلى x_{s0} و y_{s0} و z_{s0} ، فهي مكونات متجه الوحدة V_{s0} المنبثقة عن ناتج المتجه المتعلق بمتجهي الوحدة V_{20} و V_{10} .

$$(81) \quad V_{s0} = \frac{V_{20} \times V_{10}}{\sin \varphi_{ms}} = \frac{1}{\sin \varphi_{ms}} \begin{bmatrix} y_{20}z_{10} - z_{20}y_{10} \\ z_{20}x_{10} - x_{20}z_{10} \\ x_{20}y_{10} - y_{20}x_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{s0} \\ y_{s0} \\ z_{s0} \end{bmatrix}$$

وإذا كانت زاوية الحول أقل من عرض الحزمة البالغ 3 dB للهوائي ذي الصلة، يكون اقتران الحزمة الرئيسية بالحزمة الرئيسية ممكناً ويلزم حساب الانتثار بالماء الجوي.

3.5 خطوات تطبيق خوارزمية الانتثار بالماء الجوي

إذا تقرر أن حساب خسارة الإرسال بسبب الانتثار بالماء الجوي مطلوب، يمكن اتباع خطوات الخوارزمية التالية للحصول على خسارة الإرسال.

1.3.5 الخطوة 1: تحديد المعلمات ذات الصلة بالأرصاد الجوية

المعلومات المتعلقة بالأرصاد الجوية التي تتطلبها الخوارزمية هي:

- التوهين النوعي للغلاف الجوي؛
- التوهين النوعي للمطر؛
- بنية خلية المطر؛
- ارتفاع المطر.

فيما يلي الوصفات لكل معلمة.

1.1.3.5 التوهين النوعي للغلاف الجوي γ_{atm}

التوهين النوعي للغلاف الجوي γ_{atm} مطلوب للحصول على التوهين الناجم عن الغازات الجوية K_{atm} على طول مسير الانتشار من المرسل إلى المستقبل مروراً بحجم الانتشار (انظر الفقرة 3.3.5). ويمكن الحصول على التوهين النوعي للغلاف الجوي من الملحق 1 بالتوصية ITU-R P.676 من حيث درجة حرارة الغلاف الجوي والضغط وكثافة بخار الماء.

2.1.3.5 التوهين النوعي للمطر γ_R

يختلف نموذج التنبؤ بالتوهين النوعي للمطر في هذه التوصية عن النموذج الوارد في التوصية ITU-R P.838 وينبغي عدم استعماله إلا للأغراض المطلوبة في الفقرة 5 للتنبؤ بالتداخل الناتج عن الانتشار بالماء الجوي. والسبب في هذا التحذير هو أن نموذج التنبؤ بالتوهين النوعي للمطر الوارد في التوصية ITU-R P.838 وضع لقطرات المطر الكروية المفلطحة، في حين وضع نموذج الانتشار بالماء الجوي لقطرات المطر الكروية. ويؤثر هذا الاختلاف على صيغ التوهين النوعي للمطر الواردة في المعادلات من (82) إلى (87)، وصيغ المقطع العرضي الثنائي لقطرات المطر الواردة في المعادلات من (123a) إلى (123d). وعلاوةً على ذلك، فإن نموذج التوهين النوعي للمطر الوارد في التوصية ITU-R P.838 لا يعتمد على درجة الحرارة، في حين يعتمد كل من التوهين النوعي للمطر والمقطع العرضي الثنائي في هذا القسم على درجة الحرارة.

والتوهين النوعي للمطر γ_R مطلوب لحساب التوهين الناتج عن المطر K_{rain} على طول مسير الانتشار من المرسل إلى المستقبل مروراً بحجم الانتشار، ويُعطى من حيث معدل هطول المطر R بالمعادلة التالية:

$$(82) \quad \gamma_{R1,2} = \kappa_{1,2} R^{\alpha_{1,2}} \quad (\text{dB/km})$$

والمعاملان $\kappa_{1,2}$ و $\alpha_{1,2}$ هما دالتان للتردد f (GHZ) ودرجة حرارة قطرة المطر على النحو الوارد في المعادلات (83) إلى (85).

$$(83) \quad \alpha_{1,2} = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5 + a_6 x^6$$

$$(84) \quad \kappa_{1,2} = \exp(b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 + b_4 x^4 + b_5 x^5)$$

$$(85) \quad x = \ln(f)$$

وتعتمد معاملات a_m للمعادلة (83) ومعاملات b_n للمعادلة (84) على درجة الحرارة T (°C).

ويمكن كتابة الاعتماد على درجة حرارة كل من المعاملتين a_n و b_n على النحو التالي:

$$(86) \quad a_m = c_0^m + c_1^m T + c_2^m T^2, \quad m = 0,1,2,3,4,5,6$$

$$(87) \quad b_m = d_0^m + d_1^m T + d_2^m T^2, \quad m = 0,1,2,3,4,5$$

ويوفر الجدولان 6 و 7 قيم c_i^m و d_i^m ($i = 0,1,2$).

3.1.3.5 هيكل خلية المطر

تتمتع خلية المطر بتناظر أسطواني داخل المقطع العرضي الأفقي، حيث يفترض أن معدل هطول الأمطار يتحلل بشكل مطرد بعيداً عن مركز خلية المطر، ويمكن التعبير عنها على النحو التالي:

$$(88) \quad R(\rho) = R_m \exp(-\rho/\rho_0) \quad \text{mm/hr}$$

حيث ρ هي المسافة القطرية من مركز خلية المطر، و R_m هي معدل ذروة المطر في المركز، و ρ_0 هي "المسافة المميزة" من مركز الخلية مع:

$$(89) \quad \rho_0 = \frac{10-1.5 \log_{10} R_m}{\ln\left(\frac{R_m}{0.4}\right)} \quad \text{km, } R_m > 0.4 \text{ mm/hr}$$

4.1.3.5 ارتفاع المطر

يمكن الحصول على متوسط ارتفاع المطر السنوي فوق متوسط مستوى سطح البحر، h_R ، والذي يقع في حدود 4 إلى 5 km، من ارتفاع خط تساوي درجة الحرارة بقيمة 0 درجة مئوية h_{iso} .

$$(90) \quad h_R = h_{iso} + 0.36 \quad \text{km}$$

ويمكن حساب ارتفاع خط تساوي درجة الحرارة بقيمة 0 درجة مئوية h_{iso} فوق مستوى سطح البحر باستعمال التوصية [R-REC-P.839-4-201309-I!!ZIP-E](#) ITU-R P.839-4

2.3.5 الخطوة 2: بناء مقطع عرضي ذي محطتين لقطرات المطر المحلية

يمكن كتابة المقطع العرضي الثنائي لقطرات المطر η_1 في الرتل المحلي لقطرات المطر المتناظرة من حيث زاوية الانتثار φ_s على النحو التالي.

$$(91) \quad \eta_1(\varphi) = \exp\{u_0 + u_1(\sin 0.5\varphi_s)^2 + u_2(\sin 0.5\varphi_s)^4 + u_3(\sin 0.5\varphi_s)^6\}$$

ومعاملات u_i 's (i=0,1,2,3) الواردة في المعادلة (91) مرتبطة بمعدل هطول الأمطار على النحو الوارد في المعادلة (92)

$$u_i = a_0^i + a_1^i \ln(R) + a_2^i \{\ln(R)\}^2, \quad i = 0, 1$$

$$(92) \quad u_i = a_0^i + a_1^i \ln(R) + a_2^i \{\ln(R)\}^2 + a_3^i \{\ln(R)\}^3, \quad i = 2, 3$$

وعلاوةً على ذلك، يمكن رصد اعتماد كل معامل من معاملات a_n^i 's الواردة في المعادلة (92) على التردد f من خلال معادلة جبرية متعددة الحدود من المرتبة السادسة.

$$(93) \quad a_n^i = \sum_{m=0}^7 b_{n,m}^i f^m, \quad i = 0,1,2,3 \text{ and } n = 0,1,2,3$$

وعلاوةً على ذلك، فإن كل معامل من معاملات $b_{n,m}^i$'s الواردة في المعادلة (93) يرتبط بدرجة الحرارة T على النحو الوارد في المعادلة (94).

$$(94) \quad b_{n,m}^i = c_0 + c_1 T + c_2 T^2$$

وترد قيم معاملات c_0 's و c_1 's و c_2 's في الجداول 8 إلى 21.

3.3.5 الخطوة 3: بناء هندسة الانتثار بالماء الجوي

يتم بناء هندسة الانتثار بالماء الجوي (باستعمال تقريب الأرض المسطحة) عن طريق بناء خلية مطر يتقاطع محورها الرأسي مع محور الحزمة الرئيسية للمحطة 1 عند النقطة 0 (x_0, y_0, h_0) على النحو الموضح في الشكل 6.

$$x_0 = r_1 \cos \varepsilon_1 \cos \alpha_1$$

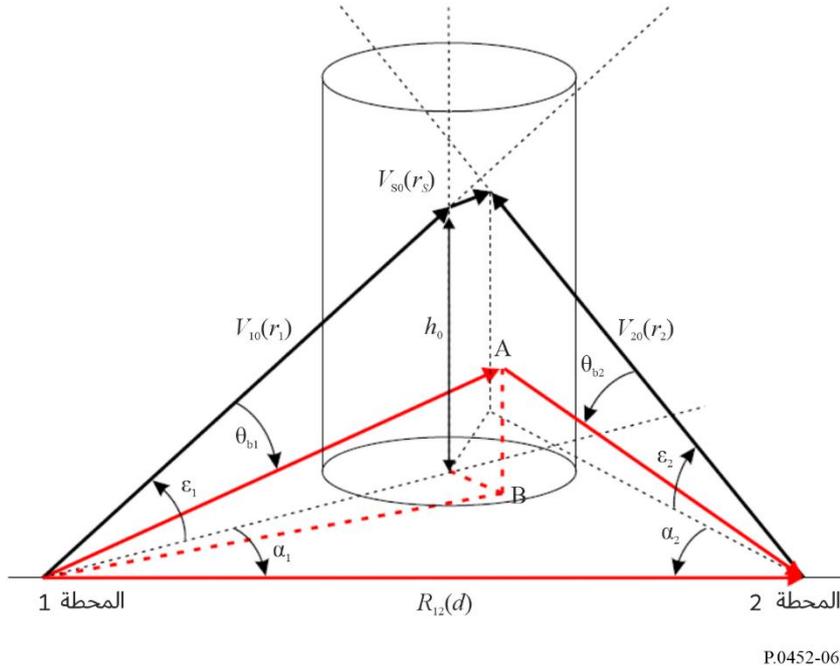
$$y_0 = r_1 \cos \varepsilon_1 \sin \alpha_1$$

$$(95) \quad h_0 = r_1 \sin \varepsilon_1$$

ويمكن الحصول على المسافة r_1 الواردة في المعادلة (95) من المعادلة (80). وعند بناء هندسة الانتشار بالماء الجوي، يمكن أن يتغير مركز خلية المطر تبعاً للسيناريوهات التي تقلل قيم خسائر الإرسال إلى أدنى حد، وبالتالي تزيد قدرة الانتشار المسبب للتداخل إلى الحد الأقصى. وتمثل النقطة $A(x, y, h)$ داخل الخلية عنصر تكامل عشوائياً والنقطة B هي إسقاط النقطة A على المستوى الأرضي (انظر الشكل 6).

الشكل 6

هندسة الانتشار بالماء الجوي



ولتيسير تنفيذ تكامل دالة نقل الانتشار في المعادلة (74)، يتم تحويل الإحداثية الديكارتية لعنصر التكامل $A(x, y, h)$ إلى إحداثية أسطوانية (ρ, φ, z) .

$$x = x_0 + \rho \cos \varphi$$

$$y = y_0 + \rho \sin \varphi$$

$$h = h_0 + z$$

(96)

$$dV = \rho d\rho d\varphi dz$$

ومركز الإحداثية الأسطوانية هو النقطة $0(x_0, y_0, h_0)$ حيث يتقاطع المحور الرأسي لخلية المطر مع محور تسديد المحطة 1. وضمن الإحداثيات الأسطوانية، يمكن التعبير عن المسافات $r_{A1,2}$ من المحطة 1 والمحطة 2 إلى عنصر التكامل عند $A(\rho, \varphi, z)$ على النحو التالي:

$$r_{A1} = r'_1 D_{A1}, \quad D_{A1} = \sqrt{1 + \{\rho^2 + z^2 + 2\rho d'_1 \cos(\alpha_1 - \varphi) + 2h_0 z\} / (r'_1)^2}$$

$$r'_1 = \sqrt{(d'_1)^2 + h_0^2}, \quad d'_1 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{y_0}{x_0} \right)$$

$$r_{A2} = r'_2 D_{A2}$$

$$(97) \quad D_{A2} = \sqrt{1 + \{\rho^2 + z^2 + 2\rho d'_2 \cos(\alpha_2 - \varphi) + 2(h_0 - h_2)z\}/(r'_2)^2}$$

$$r'_2 = \sqrt{(d'_2)^2 + (h_0 - h_2)^2}, \quad d'_2 = \sqrt{(x_0 - d)^2 + y_0^2}$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{y_0}{x_0 - d} \right)$$

ويتم الحصول على متجهات الموقع $R_{A1,2}(\rho, \varphi, z)$ عن طريق ما يلي:

$$(98a) \quad R_{A1}(\rho, \varphi, z) = \begin{bmatrix} x \\ y \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 + \rho \cos \varphi \\ y_0 + \rho \sin \varphi \\ h_0 + z \end{bmatrix} = r_{A1} \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_{A1} \cos \alpha_{A1} \\ \cos \varepsilon_{A1} \sin \alpha_{A1} \\ \sin \varepsilon_{A1} \end{bmatrix}$$

$$(98b) \quad R_{A2}(\rho, \varphi, z) = \begin{bmatrix} x - d \\ y \\ h - h_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 + \rho \cos \varphi - d \\ y_0 + \rho \sin \varphi \\ h_0 + z - h_2 \end{bmatrix} = r_{A2} \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_{A2} \cos \alpha_{A2} \\ \cos \varepsilon_{A2} \sin \alpha_{A2} \\ \sin \varepsilon_{A2} \end{bmatrix}$$

حيث

$$(99a) \quad |R_{A1}| = \sqrt{(x_0 + \rho \cos \varphi)^2 + (y_0 + \rho \sin \varphi)^2 + (h_0 + z)^2} = r_{A1}$$

و

$$(99b) \quad |R_{A2}| = \sqrt{(x_0 + \rho \cos \varphi - d)^2 + (y_0 + \rho \sin \varphi)^2 + (h_0 + z - h_2)^2} = r_{A2}$$

وعلاوة على ذلك، يمكن الحصول على زوايا الارتفاع $\varepsilon_{A1,2}$ لمتجهات الموقع $R_{A1,2}(\rho, \varphi, z)$ عن طريق ما يلي:

$$(100a) \quad \varepsilon_{A1} = \tan^{-1} \left(\frac{h_0 + z}{d_{B1}} \right)$$

$$(100b) \quad \varepsilon_{A2} = \tan^{-1} \left(\frac{(h_0 - h_2) + z}{d_{B2}} \right)$$

حيث:

$$d_{B1} = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{d'^2_1 + \rho^2 + 2\rho d'_1 \cos(\alpha_1 - \varphi)}$$

و

$$(101) \quad d_{B2} = \sqrt{(x - d)^2 + y^2} = \sqrt{(d'_2)^2 + \rho^2 + 2\rho d'_2 \cos(\alpha_2 - \varphi)}$$

وجدير بالذكر أن $r_{A1} = \sqrt{(d_{B1})^2 + (h_0 + z)^2}$ ، و $r_{A2} = \sqrt{(d_{B2})^2 + (h_0 - h_2 + z)^2}$ ، وعلاوةً على ذلك، للوصول إلى (100a) و (100b) يتم استعمال أقصى الجانب الأيمن من المعادلتين (98a) و (98b) على التوالي مع المعادلة (101).

وزوايا السمات $\alpha_{A1,2}$ لمتجهات الموقع $R_{A1,2}(\rho, \varphi, z)$ هي:

$$(102) \quad \begin{aligned} \alpha_{A1} &= \tan^{-1} \left(\frac{y_0 + \rho \sin \varphi}{x_0 + \rho \cos \varphi} \right) \\ \alpha_{A2} &= \tan^{-1} \left(\frac{y_0 + \rho \sin \varphi}{x_0 - d + \rho \cos \varphi} \right) \end{aligned}$$

واستناداً إلى المعادلة (96)، يمكن اختزال تكامل دالة نقل الانتثار في المعادلة (74) إلى:

$$(103) \quad C_{pq} = \int_{z_{min}}^{z_{max}} \int_0^{2\pi} \int_0^{\rho_{max}} \mathcal{F}(\rho, \varphi, z) \rho d\rho d\varphi dz$$

$$(104) \quad \mathcal{F}(\rho, \varphi, z) = \frac{G_1(\theta_{A1})G_2(\theta_{A2})\sigma_{pq}\exp(-c\mathcal{K}(A))\zeta(h)}{r_{A1}^2 r_{A2}^2}$$

$\mathcal{K}(A)$ هو التوهين من المحطة 1 إلى المحطة 2 مروراً بالنقطة A مع

$$(105) \quad \mathcal{K}(A) = \mathcal{K}_{atm}(A) + \mathcal{K}_{rain}(A)$$

وفي المعادلة (105)، يمثل $\mathcal{K}_{atm}(A)$ و $\mathcal{K}_{rain}(A)$ التوهين من المحطة 1 إلى المحطة 2 مروراً بالنقطة A بسبب الغازات الجوية والمطر على التوالي.

وبالنسبة لحدود التكامل في المعادلة (103)، يتحدد الارتفاعان الأدنى والأقصى z_{min} و z_{max} بعرض حزمة المحطة 1 والمحطة 2.

$$(106) \quad z_{1max} = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \tan(\epsilon_1 + 0.5BW_1) - h_0$$

$$(107) \quad z_{1min} = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \tan(\epsilon_1 - 0.5BW_1) - h_0$$

$$(108) \quad z_{2max} = \sqrt{(x_0 - d)^2 + y_0^2} \tan(\epsilon_2 + 0.5BW_2) - h_0$$

$$(109) \quad z_{2min} = \sqrt{(x_0 - d)^2 + y_0^2} \tan(\epsilon_2 - 0.5BW_2) - h_0$$

$$(110) \quad z_{max} = \min\{\max(z_{1max}, z_{2max}), h_R\}$$

$$(111) \quad z_{min} = \min(z_{1min}, z_{2min})$$

و BW_1 و BW_2 هما عرض حزمة المحطة 1 والمحطة 2 على التوالي بقيم الراديان. أما بالنسبة لتحديد ρ_{max} لحد التكامل على $d\rho$ فيعطى بالمعادلة (112).

$$(112) \quad \rho_{max} = \frac{1}{2}\{\rho_1 + \rho_2\} \quad \text{km}$$

$$(113) \quad \rho_1 = x_0 - \frac{d}{1 + \tan(\epsilon_1 + 0.5BW_1) \cot(\epsilon_2 - 0.5BW_2)} \quad \text{km}$$

$$(114) \quad \rho_2 = (d - x_0) - \frac{d}{1 + \tan(\epsilon_2 + 0.5BW_2) \cot(\epsilon_1 - 0.5BW_1)} \quad \text{km}$$

وتعتمد شدة المجال القريب للهوائيات على تفاصيل الأجهزة المحددة التي قد لا تكون متاحة عند إجراء تحليل التداخل. ومن المناسب افتراض أن شدة المجال ستكون بنفس القدر تقريباً من حيث الحجم كما كانت في بداية منطقة المجال البعيد. ويتفق هذا التقريب مع القياسات الفعلية لشدة المجال القريب.

وزاوية الانتثار φ_s من المحطة 1 إلى نقطة التكامل A هي:

$$(115) \quad \varphi_s = \cos^{-1} \left(-\frac{r_{A1}}{r_{A2}} + \frac{d(x_0 + \rho \cos \varphi) + h_2(h_0 + z)}{r_{A1}r_{A2}} \right)$$

4.3.5 بناء عناصر دالة نقل الانتثار

1.4.3.5 كسب الهوائي

يمكن الحصول على مكاسب الهوائي G_1 و G_2 عند عنصر التكامل $A(\rho, \varphi, z)$ من خلال إدخال قيم خارج زوايا التسديد $\theta_{A1,2}$ في نمط الكسب المقابل المقدم ضمن معلمات الدخل في الجدول 6. والزاوية خارج التسديد θ_{A1} هي الزاوية الواقعة بين متجه الوحدة V_{A1} الممتد من المحطة 1 إلى عنصر التكامل واتجاه الحزمة الرئيسية للمحطة 1. وتعطى هذه الزاوية بالمعادلة التالية:

$$(116) \quad \theta_{A1} = \cos^{-1} \{ \cos \varepsilon_1 \cos \varepsilon_{A1} \cos(\alpha_1 - \alpha_{A1}) + \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_{A1} \}$$

والزاوية خارج التسديد θ_{A2} هي الزاوية بين متجه الوحدة V_{A2} الممتد من المحطة 2 إلى عنصر التكامل والحزمة الرئيسية للمحطة 2. وتعطى هذه الزاوية بالمعادلة التالية:

$$(117) \quad \theta_{A2} = \cos^{-1} \{ \cos \varepsilon_2 \cos \varepsilon_{A2} \cos(\alpha_2 - \alpha_{A2}) + \sin \varepsilon_2 \sin \varepsilon_{A2} \}$$

2.4.3.5 التوهين الجوي

يمكن حساب التوهين \mathcal{K}_{atm} الناتج عن الامتصاص عن طريق الغازات الجوية على طول مسيرات الانتشار إلى عنصر التكامل الموجود عند النقطة $A(\rho, \varphi, z)$ من التوهين النوعي للغلاف الجوي γ_{atm} الوارد في الفقرة 1.1.3.5.

ويؤدي تقسيم مسافات الانتشار $r_{A1,2}$ إلى $N_{1,2}$ من فواصل أطوال $\Delta h_{t1,2} / \sin \varepsilon_{A1,2}$ إلى الجمع التالي، ويتم تعريف الفترات في الفقرة 3.4.3.5.

$$(118) \quad \mathcal{K}_{atm} = \sum_{t1=1}^{N_1} \frac{\gamma_{atm}(t1)\Delta h_{t1}}{\sin \varepsilon_{A1}} + \sum_{t2=1}^{N_2} \frac{\gamma_{atm}(t2)\Delta h_{t2}}{\sin \varepsilon_{A2}} \approx \sum_{t1=1}^{N_1} \frac{\gamma_{atm}(t1)r_{A1}}{N_1} + \sum_{t2=1}^{N_2} \frac{\gamma_{atm}(t2)r_{A2}}{N_2}$$

3.4.3.5 التوهين الناتج عن المطر

على غرار التوهين الناتج عن الغازات الجوية، يمكن حساب التوهين \mathcal{K}_{rain} على طول مسيرات الانتشار إلى عنصر التكامل الموجود عند النقطة $A(\rho, \varphi, z)$ من التوهين النوعي للمطر $\gamma_{R1,2}$ الوارد في الفقرة 2.1.3.5.

ويؤدي تقسيم مسافات الانتشار $r_{A1,2}$ إلى فواصل $N_{1,2}$ ذات أطوال $\Delta h_{t1,2} / \sin \varepsilon_{A1,2}$ إلى الجمع التالي.

$$(119) \quad \mathcal{K}_{rain} = \sum_{t1=1}^{N_1} \frac{\gamma_{R1}(t1)\Delta h_{t1}}{\sin \varepsilon_{A1}} + \sum_{t2=1}^{N_2} \frac{\gamma_{R2}(t2)\Delta h_{t2}}{\sin \varepsilon_{A2}}$$

أولاً، يتم بتحديد مسار الانتشار بالمعلمة t على الفاصل الزمني $(0,1)$ من النقطة $(0,0,0)$ إلى نقطة التكامل A كما يلي:

$$(120) \quad s(t) = \mathbf{R}_{A1}t + (0,0,0) = \begin{bmatrix} x_0 + \rho \cos \varphi \\ y_0 + \rho \sin \varphi \\ h_0 + z \end{bmatrix} t$$

$$(121) \quad |R_{A1}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{(x_0 + \rho \cos \varphi)^2 + (y_0 + \rho \sin \varphi)^2 + (h_0 + z)^2}$$

وبالتالي، بالنسبة لنقاط تكامل N_1 ، يكون العامل $\frac{\Delta h_{t1}}{\sin \varepsilon_{A1}} = \frac{r_{A1}}{N_1}$

وثانياً، يتم تحديد معالم مسير الانتشار بالمعلمة t على الفاصل $(0,1)$ من النقطة $(d, d \sin \alpha_1, h_{2_loc})$ إلى نقطة التكامل A كما يلي:

$$(122) \quad s(t) = R_{A2}t + \begin{bmatrix} d \\ d \sin \alpha_1 \\ h_{2_loc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 + \rho \cos \varphi - d \\ y_0 + \rho \sin \varphi + d \sin \alpha_1 \\ h_0 + z - h_2 \end{bmatrix} t + \begin{bmatrix} d \\ d \sin \alpha_1 \\ h_2 \end{bmatrix}$$

وبالتالي، بالنسبة لنقاط تكامل N_2 يكون العامل $\frac{\Delta h_{t2}}{\sin \varepsilon_{A1}} = \frac{r_{A2}}{N_2}$

4.4.3.5 المقطع العرضي الثنائي في الرتل المشترك

عند عنصر التكامل $A(\rho, \varphi, z)$ ، يمكن استعمال المقاطع العرضية المحلية الثنائية لقطرات المطر η_1 من المعادلة (91) لصياغة المقاطع العرضية الثنائية في الرتل المشترك σ_{pq} 's.

$$(123a) \quad \sigma_{vv} = \eta_1 \{ \cos \varphi_s \cos \alpha_{vs} \cos \alpha_{vi} + \sin \alpha_{vs} \sin \alpha_{vi} \}^2$$

$$(123b) \quad \sigma_{vh} = \eta_1 \{ \cos \varphi_s \cos \alpha_{vs} \sin \alpha_{vi} - \sin \alpha_{vs} \cos \alpha_{vi} \}^2$$

$$(123c) \quad \sigma_{hv} = \eta_1 \{ \cos \varphi_s \sin \alpha_{vs} \cos \alpha_{vi} - \cos \alpha_{vs} \sin \alpha_{vi} \}^2$$

$$(123d) \quad \sigma_{hh} = \eta_1 \{ \cos \varphi_s \sin \alpha_{vs} \sin \alpha_{vi} + \cos \alpha_{vs} \cos \alpha_{vi} \}^2$$

والزاويتان α_{vs} و α_{vi} هما الزاويتان اللتين تدوران من الحادث \hat{v}_i والاستقطابات الرأسية المتناثرة \hat{v}_s في عكس اتجاه عقارب الساعة إلى الاستقطاب المتعامد على مستوى الانتثار الوارد في الفقرة 3.3.5. والمستوى المتناثر لقطرة المطر هو المستوى المتكون من الحادثة والاتجاهات المتناثرة.

ويتم الحصول على الزاوية α_{vi} بالمعادلة التالية:

$$(124) \quad \alpha_{vi} = \tan^{-1} \left\{ \frac{(h_0+z)((x_0+\rho \cos \varphi)(x_0-d+\rho \cos \varphi) + (y_0+\rho \sin \varphi)^2) - d_{B1}^2(h_0-h_2+z)}{r_{A1}d(y_0+\rho \sin \varphi)} \right\}$$

وزاوية الدوران α_{vi} هي

$$(125) \quad \alpha_{vs} = \cos^{-1} \{ -\sin \alpha_{vi} (\hat{h}_{A1} \cdot \hat{v}_{A2}) + \cos \alpha_{vi} (\hat{v}_{A1} \cdot \hat{v}_{A2}) \}$$

حيث

$$(126) \quad (\hat{h}_{A1} \cdot \hat{v}_{A2}) = \frac{\{(h_0-h_2)+z\}(y_0+\rho \sin \varphi)}{d_{B1}d_{B2}r_{A2}} d$$

$$(127) \quad (\hat{h}_{A1} \cdot \hat{v}_{A2}) = \frac{1}{d_{B1}\sqrt{1+(h_0+z-h_2)^2}} \left(-(y_0 + \rho \sin \varphi) + \frac{(x_0+\rho \cos \varphi)}{d_{B2}(h_0+z-h_2)} \right)$$

$$(128) \quad (\hat{v}_{A1} \cdot \hat{v}_{A2}) = \frac{d_{B1}^2 r_{A2}^2 + \{(h_0-h_2)+z\} \{h_2 d_{B1}^2 - (h_0+z)(x_0+\rho \cos \varphi) d\}}{r_{A1} d_{B1} r_{A2} d_{B2}}$$

$$(129) \quad (\hat{v}_{A1} \cdot \hat{v}_{A2}) = \frac{1}{1+(h_0+z-h_2)^2} \left(1 + \frac{1}{d_{B1}^2(h_0+z-h_1)^2} + \frac{d_{B2}^2 r_2^2}{(h_0+z-h_2)^2} \right)$$

5.3.5 تكامل دالة نقل الانتثار

يمكن إجراء تكامل دالة نقل الانتثار (المعادلة (103)) باستعمال أي تقنية تكامل عددي مناسبة مثل تقنية تريبع ليجيندر-غاوس المطبقة أدناه.

1.5.3.5 التكامل بواسطة تريبع ليجيندر-غاوس

عند تطبيق تريبع ليجيندر-غاوس، يتم استعمال التغيير التالي للمتغيرات

$$\rho = \frac{\rho_{max}}{2} (\chi + 1)$$

$$\varphi = \pi(\eta + 1)$$

$$(131) \quad z = \frac{(z_{max}-z_{min})}{2} \varsigma + \frac{(z_{max}+z_{min})}{2}$$

حيث $-1 \leq \chi, \eta, \varsigma \leq 1$.

وعند إدخال المعادلة (131) إلى المعادلات (103-104) واستعمال تريبع ليجيندر-غاوس، نحصل على:

$$(132) \quad C_{pq} = \sum_{n=1}^{M_3} \mathcal{H}_n$$

$$(133) \quad \mathcal{H}_n = \frac{\pi(z_{max}-z_{min})d_c^2}{4} w_n \sum_{i=1}^{M_1} w_i \sum_{j=1}^{M_2} w_j \mathcal{F}_{ijn}(\chi_i, \eta_j, \varsigma_n)$$

ملاحظة: $\mathcal{F}_{ijn}(\chi_i, \eta_j, \varsigma_n) \rightarrow \mathcal{F}(\rho, \varphi, z)$ عن طريق المعادلة (104).

M_1 و M_2 و M_3 هي إجمالي عدد نقاط التكامل. وعلاوةً على ذلك، χ_i ($i = 1, \dots, M_1$) و η_j ($j = 1, \dots, M_2$) و ς_n ($n = 1, \dots, M_3$) هي عقد تريبع غاوس؛ و w_i و w_j و w_n هي الأوزان المقابلة الواردة في التوصية ITU-R P.1144.

ويكون إجراء التكامل باستعمال المعادلات من (131) إلى (133) كما يلي:

- 1 حدد نقاط تريبع غاوس χ_i ($i = 1, \dots, M_1$) و η_j ($j = 1, \dots, M_2$)؛ والأوزان المقابلة w_j و w_i من الفقرة 7.3.5.
- 2 أدخل نقاط تريبع غاوس في المعادلة (131) لحساب نصف القطر ρ_i 's وزوايا السمات φ_j والارتفاعات z_n 's ضمن حجم التكامل.
- 3 ابدأ بالطبقة السفلية داخل خلية المطر ($n = 1$) مع العقدة التريبعية ς_1 والوزن w_1 .
- 4 استخدم نصف القطر الناتج وزوايا السمات والارتفاع (ρ_i, φ_j, z_1) لحساب قيم المعلمات المبلغ عنها في المعادلات من (97) إلى (102).
- 5 لكل نقطة، استعمل القيم المذكورة أعلاه لتحديد زوايا خارج التسديد (المعادلتان (116) و(117)) وبالتالي كسب كل هوائي، والمقاطع العرضية الثنائية، والمعادلات من (123a) إلى (123d)، والتوهين للغلاف الجوي (المعادلة (118)) والتوهين للمطر (المعادلة (119)).
- 6 استخدم نتائج الإجراء 5 في حساب الدالة المقابلة $\mathcal{F}_{ij1}(\chi_i, \eta_j, \varsigma_1)$ الواردة في المعادلة (104).
- 7 اضرب كل $\mathcal{F}_{ij1}(\chi_i, \eta_j, \varsigma_1)$ في أوزان غاوس المقابلة (w_i, w_j , and w_1).

- 8 اجمع كل قيم $F_{ij1}(X_i, \eta_j, \varsigma_1)$ واضرب النتيجة في $\frac{\pi(z_{max}-z_{min})d_c^2}{4}$ لتحصل على \mathcal{H}_1 كما في المعادلة (133) مع $n = 1$.
- 9 كرر الإجراءات 1 إلى 8 مع زيادة درجة n بمقدار $n = 1, \dots, M_3$ 1 للحصول على قيم كل \mathcal{H}_n $n = 1, \dots, M_3$ كما هو موضح في المعادلة (133).
- 10 اجمع كل قيم \mathcal{H}_n $n = 1, \dots, M_3$ وقسم الناتج على $(r_1 r_2')^2$ للحصول على قيمة دالة نقل الانتثار C_{pq} كما هو موضح في المعادلة (132).

6.3.5 الجداول الخاصة بالقسم 2.1.3.5

الجدول 6

قيم المعاملات c_i^m ($i = 0, 1, 2$) للمعادلة (86)

c_2^m	c_1^m	c_0^m	m
3,2727e-05-	0,0025984	0,86481	0
0,00040852	0,025593-	0,32507-	1
0,00084479-	0,041632	0,70075	2
0,00063446	0,023144-	0,4162-	3
0,00022071-	0,0054147	0,11971	4
3,6339e-05	0,00049312-	0,018495-	5
2,2949e-06-	8,1571e-06	0,0012143	6

الجدول 7

قيم المعاملات d_i^m ($i = 0, 1, 2$) للمعادلة (87)

d_2	d_1	d_0	m
7,4162e-05	0,026677-	9,2859-	0
0,001127	0,021172-	1,5977	1
0,0014558-	0,0010862-	0,45627	2
0,00066036	0,016763	0,15347-	3
0,00012758-	0,0062665-	0,040141	4
8,9007e-06	0,00064387	0,0049951-	5

الجدول 8

قيم المعاملات $c_0^{0,0,m}$ و $c_1^{0,0,m}$ و $c_2^{0,0,m}$ بشأن $b_{0,m}^0$ في المعادلة (94)
في حالة a_0^0 من u_0 في المعادلة (92)

c_2	c_1	c_0	m
1,3511e-07-	0,019039-	23,033-	0
1,8732e-05-	0,0057909	1,0988	1
2,8893e-06	0,00051258-	0,053826-	2
1,5242e-07-	2,0326e-05	0,0017167	3
3,8089e-09	4,2625e-07-	3,3231e-05-	4
4,969e-11-	4,9297e-09	3,7396e-07	5
3,2787e-13	2,9763e-11-	2,2438e-09-	6
8,6497e-16-	7,3317e-14	5,5409e-12	7

الجدول 9

قيم المعاملات $c_0^{0,1,m}$ و $c_1^{0,1,m}$ و $c_2^{0,1,m}$ بشأن $b_{1,m}^0$ في المعادلة (94)
في حالة a_1^0 من u_0 في المعادلة (92)

$c_2^{0,1,m}$	$c_1^{0,1,m}$	$c_0^{0,1,m}$	m
0,00019642-	0,0078061	1,758	0
4,8582e-05	0,0010409-	0,034774-	1
3,9051e-06-	1,2441e-05	0,0031934	2
1,5195e-07	1,6661e-06	0,00014758-	3
3,2085e-09-	7,0142e-08-	3,3014e-06	4
3,7652e-11	1,1439e-09	3,8772e-08-	5
2,3101e-13-	8,5799e-12-	2,3188e-10	6
5,779e-16	2,4612e-14	5,5887e-13-	7

الجدول 10

قيم المعاملات $c_2^{0,2,m}$ و $c_1^{0,2,m}$ و $c_0^{0,2,m}$ بشأن $b_{2,m}^0$ في المعادلة (94)
في حالة a_2^0 من u_0 في المعادلة (92)

$c_2^{0,2,m}$	$c_1^{0,2,m}$	$c_0^{0,2,m}$	m
1,1534e-05	0,00081531	0,051224-	0
2,3173e-06-	0,00031961-	0,0011587	1
1,4933e-07	3,5484e-05	8,8754e-05-	2
4,7112e-09-	1,6609e-06-	9,6328e-07	3
8,0972e-11	3,9523e-08	5,927e-08	4
7,7464e-13-	5,0408e-10-	1,6618e-09-	5
3,8749e-15	3,2862e-12	1,5626e-11	6
7,8859e-18-	8,6057e-15-	5,0972e-14-	7

الجدول 11

قيم المعاملات $c_2^{1,0,m}$ و $c_1^{1,0,m}$ و $c_0^{1,0,m}$ بشأن $b_{0,m}^1$ في المعادلة (94)
في حالة a_0^1 من u_1 في المعادلة (92)

$c_2^{1,0,m}$	$c_1^{1,0,m}$	$c_0^{1,0,m}$	m
0,00010078-	0,037271	0,28927	0
6,6665e-05	0,011059-	0,11742-	1
8,6068e-06-	0,00093297	0,010231	2
4,2065e-07	3,5477e-05-	0,00041831-	3
1,0192e-08-	7,2358e-07	8,8529e-06	4
1,3111e-10	8,2014e-09-	1,0313e-07-	5
8,5865e-13-	4,8736e-11	6,2591e-10	6
2,2546e-15	1,1849e-13-	1,5469e-12-	7

الجدول 12

قيم المعاملات $c_2^{1,1,m}$ و $c_1^{1,1,m}$ و $c_0^{1,1,m}$ بشأن $b_{1,m}^1$ في المعادلة (94)
في حالة a_1^1 من u_1 في المعادلة (92)

$c_2^{1,1,m}$	$c_1^{1,1,m}$	$c_0^{1,1,m}$	m
0,00045796	0,005093-	0,2317-	0
0,00011298-	0,00076558-	0,020016	1
9,1237e-06	0,00020785	0,00060157	2
3,5392e-07-	1,2384e-05-	9,7303e-05-	3
7,4324e-09	3,3064e-07	3,2711e-06	4
8,6694e-11-	4,5084e-09-	5,0187e-08-	5
5,2868e-13	3,0694e-11	3,6714e-10	6
1,3148e-15-	8,2853e-14-	1,0386e-12-	7

الجدول 13

قيم المعاملات $c_0^{1,2,m}$ و $c_1^{1,2,m}$ و $c_2^{1,2,m}$ بشأن $b_{2,m}^1$ في المعادلة (94)
في حالة a_2^1 من u_1 في المعادلة (92)

$c_2^{1,2,m}$	$c_1^{1,2,m}$	$c_0^{1,2,m}$	m
2,6162e-05-	0,0025519-	0,036841-	0
5,2688e-06	0,00084793	0,012953	1
3,3134e-07-	8,5265e-05-	0,001305-	2
9,6604e-09	3,7912e-06	5,9518e-05	3
1,4711e-10-	8,7204e-08-	1,454e-06-	4
1,1752e-12	1,085e-09	1,91e-08	5
4,3973e-15-	6,9419e-12-	1,2719e-10-	6
5,0804e-18	1,7914e-14	3,3748e-13	7

الجدول 14

قيم المعاملات $c_0^{2,0,m}$ و $c_1^{2,0,m}$ و $c_2^{2,0,m}$ بشأن $b_{0,m}^2$ في المعادلة (94)
في حالة a_0^2 من u_2 في المعادلة (92)

$c_2^{2,0,m}$	$c_1^{2,0,m}$	$c_0^{2,0,m}$	m
0,00030493	0,0014792-	0,0022144-	0
8,8598e-05-	0,00055742-	0,008123-	1
8,3245e-06	0,00015755	0,0018507	2
3,572e-07-	8,944e-06-	8,484e-05-	3
7,9876e-09	2,323e-07	1,9127e-06	4
9,6893e-11-	3,1221e-09-	2,2827e-08-	5
6,0585e-13	2,1074e-11	1,4148e-10	6
1,5317e-15-	5,6545e-14-	3,5797e-13-	7

الجدول 15

قيم المعاملات $c_0^{2,1,m}$ و $c_1^{2,1,m}$ و $c_2^{2,1,m}$ بشأن $b_{1,m}^2$ في المعادلة (94)
في حالة a_1^2 من u_2 في المعادلة (92)

$c_2^{2,1,m}$	$c_1^{2,1,m}$	$c_0^{2,1,m}$	m
3,8001e-06	0,019603-	0,048207-	0
1,0444e-05-	0,0045669	0,00041118-	1
1,7242e-06	0,00031651-	0,0016887	2
1,0534e-07-	1,0267e-05	0,00011195-	3
2,9975e-09	1,776e-07-	3,0478e-06	4
4,3294e-11-	1,6755e-09	4,1397e-08-	5
3,0902e-13	8,0718e-12-	2,8014e-10	6
8,6683e-16-	1,5353e-14	7,5246e-13-	7

الجدول 16

قيم المعاملات $c_0^{2,2,m}$ و $c_1^{2,2,m}$ و $c_2^{2,2,m}$ بشأن $b_{2,m}^2$ في المعادلة (94)
في حالة a_2^2 من u_2 في المعادلة (92)

$c_2^{2,2,m}$	$c_1^{2,2,m}$	$c_0^{2,2,m}$	m
7,7431e-05-	0,0018073-	0,1208-	0
2,2037e-05	0,00099445	0,039712	1
2,1388e-06-	0,00012817-	0,0039312-	2
9,7426e-08	6,5734e-06	0,00017579	3
2,3253e-09-	1,669e-07-	4,0495e-06-	4
3,0006e-11	2,2341e-09	5,0716e-08	5
1,9832e-13-	1,512e-11-	3,2704e-10-	6
5,2636e-16	4,0796e-14	8,496e-13	7

الجدول 17

قيم المعاملات $c_2^{2,3,m}$ و $c_1^{2,3,m}$ و $c_0^{2,3,m}$ بشأن $b_{3,m}^2$ في المعادلة (94)
في حالة a_3^2 من u_2 في المعادلة (92)

$c_2^{2,3,m}$	$c_1^{2,3,m}$	$c_0^{2,3,m}$	m
9,4104e-06	0,0005804	0,02176	0
2,5829e-06-	0,00020457-	0,0067089-	1
2,4395e-07	2,156e-05	0,0006556	2
1,0876e-08-	9,9711e-07-	2,966e-05-	3
2,5604e-10	2,3723e-08	6,9633e-07	4
3,2742e-12-	3,0371e-10-	8,7919e-09-	5
2,15e-14	1,9905e-12	5,6633e-11	6
5,6776e-17-	5,2428e-15-	1,462e-13-	7

الجدول 18

قيم المعاملات $c_2^{3,0,m}$ و $c_1^{3,0,m}$ و $c_0^{3,0,m}$ بشأن $b_{0,m}^3$ في المعادلة (94)
في حالة a_0^3 من u_3 في المعادلة (92)

$c_2^{3,0,m}$	$c_1^{3,0,m}$	$c_0^{3,0,m}$	m
0,00018642-	0,0057663-	0,046298-	0
4,8813e-05	0,0017156	0,01272	1
4,0434e-06-	0,0001572-	0,0010278-	2
1,5655e-07	6,2343e-06	3,4667e-05	3
3,2237e-09-	1,3209e-07-	6,1228e-07-	4
3,65e-11	1,5529e-09	5,8573e-09	5
2,1505e-13-	9,5349e-12-	2,9595e-11-	6
5,1597e-16	2,3843e-14	6,2019e-14	7

الجدول 19

قيم المعاملات $c_2^{3,1,m}$ و $c_1^{3,1,m}$ و $c_0^{3,1,m}$ بشأن $b_{1,m}^3$ في المعادلة (94)
في حالة a_1^3 من u_3 في المعادلة (92)

$c_2^{3,1,m}$	$c_1^{3,1,m}$	$c_0^{3,1,m}$	m
9,7633e-05-	0,0042536-	0,15558-	0
3,2832e-05	0,0017754	0,047606	1
3,4242e-06-	0,00020881-	0,0046542-	2
1,6314e-07	1,0088e-05	0,00020312	3
4,0092e-09-	2,4592e-07-	4,6089e-06-	4
5,2747e-11	3,2014e-09	5,6717e-08	5
3,5329e-13-	2,1241e-11-	3,5983e-10-	6
9,4664e-16	5,6467e-14	9,2209e-13	7

الجدول 20

قيم المعاملات $c_0^{3,2,m}$ و $c_1^{3,2,m}$ و $c_2^{3,2,m}$ بشأن $b_{2,m}^3$ في المعادلة (94)
في حالة a_2^3 من u_3 في المعادلة (92)

$c_2^{3,2,m}$	$c_1^{3,2,m}$	$c_0^{3,2,m}$	m
5,7319e-05	0,0061252	0,11087	0
1,5993e-05-	0,0017355-	0,029622-	1
1,5228e-06	0,00016036	0,0025942	2
6,7714e-08-	6,8539e-06-	0,00010795-	3
1,5828e-09	1,5498e-07	2,3816e-06	4
2,0088e-11-	1,9149e-09-	2,8856e-08-	5
1,3102e-13	1,2223e-11	1,8081e-10	6
3,4402e-16-	3,1539e-14-	4,5761e-13-	7

الجدول 21

قيم المعاملات $c_0^{3,3,m}$ و $c_1^{3,3,m}$ و $c_2^{3,3,m}$ بشأن $b_{3,m}^3$ في المعادلة (94)
في حالة a_3^3 من u_3 في المعادلة (92)

$c_2^{3,3,m}$	$c_1^{3,3,m}$	$c_0^{3,3,m}$	m
6,1847e-06-	0,00071563-	0,015838-	0
1,6456e-06	0,00019142	0,0042926	1
1,5321e-07-	1,6809e-05-	0,00039171-	2
6,7237e-09	6,9046e-07	1,6946e-05	3
1,5611e-10-	1,5112e-08-	3,8371e-07-	4
1,9738e-12	1,8183e-10	4,6824e-09	5
1,2841e-14-	1,1361e-12-	2,9185e-11-	6
3,3644e-17	2,8813e-15	7,3004e-14	7

المرفق 1

للملحق 1

بيانات الأرصاد الجوية الراديوية اللازمة لإجراء التنبؤ في الجو الصافي

1 مقدمة

يستند إجراء التنبؤ في الجو الصافي إلى بيانات الأرصاد الجوية الراديوية من أجل تحديد التغيير بحكم الموقع. وتقدم هذه البيانات على شكل خرائط واردة في هذا المرفق.

2 خرائط التغير الرأسي لبيانات الانكسار الراديوي وانكسارية سطح الأرض

تكون خصائص بيانات الأرصاد الجوية للمسير في الجو الصافي، في الإجراء العام، وبالنسبة إلى آليات التداخل المستمرة (طويلة الأجل) هي القيمة المتوسطة السنوية ΔN (معدل تفاوت دليل الانكسار على الكيلومتر الأول من الجو) وبالنسبة إلى آليات التداخل الشاذ (قصير الأجل) هي النسبة المئوية من الوقت $\beta_0\%$ التي يكون فيها تدرج دليل الانكسار في الجو المنخفض أقل من $100 - (N\text{-units/km})$. وتشكل هاتان المعلمتان قاعدة معقولة لبناء نموذج آليات الانتشار في الجو الصافي الموصوفة في الفقرة 2 من الملحق 1. وتستخدم قيمة متوسط الانكسارية للسطح عند مستوى البحر، N_0 ، في حساب نموذج الانتثار التروبوسفيري.

وإذا لم تكن القياسات المحلية متوفرة، يمكن الحصول على هذه الكميات من الخرائط المتضمنة في المنتجات الرقمية المكتملة الواردة مع هذه التوصية في الملف [R-REC-P.452-18-202310-I!!ZIP.zip](http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/R-REC-P.452-18-202310-I!!ZIP.zip) المضغوط بطريقة zip. وقد اشتقت هذه الخرائط الرقمية من تحليل أجري على مدى عشر سنوات (1992-1983) لمجموعة عالمية من بيانات صعود المسبارات الراديوية. وترد الخرائط في الملفين DN50.txt وN050.tx، على التوالي. وتتراوح البيانات من خط الطول 0° إلى 360° ومن خط العرض $90^\circ+$ إلى $90^\circ-$ ، باستثناء قدرها 1.5° لكل من خط الطول وخط العرض. وتستخدم البيانات بالترافق مع ملفي البيانات المرافقين LAT.txt وLON.txt اللذين يحتويان على خطوط طول وخطوط عرض البنود المقابلة (النقاط الشبكية) في الملفين DN50.txt وN050.tx. وبالنسبة إلى موقع مختلف عن النقاط الشبكية، يمكن اشتقاق المعلمة عند الموضع المطلوب بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية للقيم الواقعة عند أقرب أربع نقاط شبكية، كما هو وارد في التوصية ITU-R P.1144.

المرفق 2

للملحق 1

تحليل المظهر الجانبي للمسير

1 مقدمة

يتطلب تحليل المظهر الجانبي للمسير توفير مظهر جانبي لارتفاعات التضاريس الأرضية على طول المسير فوق مستوى البحر. ويقدم الجدول 22 المعلومات الواجب اشتقاقها من تحليل المظهر الجانبي للمسير من أجل أهداف نماذج الانتشار.

2 رسم المظهر الجانبي للمسير

استناداً إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطة المسببة للتداخل (φ_r, ψ_r) والمحطة المعرضة للتداخل (φ_t, ψ_t) ، يجب أن تشتق ارتفاعات التضاريس الأرضية (فوق متوسط مستوى البحر) على طول مسير الدائرة العظمى من قاعدة بيانات طوبوغرافية أو من خرائط مناسبة واسعة النطاق للأكفة. وينبغي أن تلتقط المسافة ما بين نقاط المظهر الجانبي، كلما أمكن ذلك عملياً، الخصائص الدلالية للتضاريس الأرضية. وعموماً تعد زيادات أخرى للمسافة تتراوح بين 30 m و 1 km ملائمة. وينبغي للمظهر الجانبي أن يشمل ارتفاع الأرض عند موقعي المحطة المسببة للتداخل والمحطة المعرضة للتداخل باعتبارهما نقطتي المغادرة والوصول. وتراعي المعادلات التالية انحناء الأرض عند الاقتضاء استناداً إلى قيمة a_e في المعادلة (6a).

الجدول 22

تعريف معالم المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
a	متوسط نصف قطر الأرض المادية (km 6 371)
a_e	نصف قطر الأرض الفعال (km)
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_i	المسافة على الدائرة العظمى بين النقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية والمحطة المسببة للتداخل (km)
d_{ii}	المسافة التدرجية المستعملة في بيانات المظهر الجانبي للمسير المنتظم (km)
f	التردد (GHz)
λ	طول الموجة (m)
h_{ts}	ارتفاع هوائي المحطة المسببة للتداخل (m) فوق متوسط مستوى البحر (amsl)
h_{rs}	ارتفاع هوائي المحطة المعرضة للتداخل (m) فوق متوسط مستوى البحر
θ_t	زاوية ارتفاع الأفق فوق خط الأفق المحلي (mrad) مقيسة من هوائي المحطة المسببة للتداخل
θ_r	زاوية ارتفاع الأفق فوق خط الأفق المحلي (mrad) مقيسة من هوائي المحطة المعرضة للتداخل
θ	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
h_{st}	ارتفاع "الأرض المنتظمة" فوق متوسط مستوى البحر عند موقع المحطة المسببة للتداخل (m)
h_{sr}	ارتفاع "الأرض المنتظمة" فوق متوسط مستوى البحر عند موقع المحطة المعرضة للتداخل (m)
h_i	ارتفاع النقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر (m) h_0 : ارتفاع المحطة المسببة للتداخل h_n : ارتفاع المحطة المعرضة للتداخل
h_m	وعورة التضاريس الأرضية (m)
h_{te}	الارتفاع الفعال للهوائي المسبب للتداخل (m)
h_{re}	الارتفاع الفعال للهوائي المعرض للتداخل (m)

3 طول المسير

يمكن استخلاص طول المسير باستعمال هندسة الدائرة العظمى (استناداً إلى متوسط نصف قطر الأرض المادية a) من الإحداثيات الجغرافية للمحطة المسببة للتداخل (ψ_t, ϕ_t) والمحطة المعرضة للتداخل (ψ_r, ϕ_r) . وكبديل لذلك يمكن استخلاص طول المسير من المظهر الجانبي للمسير. ويمكن بصفة عامة استخلاص طول المسير d (km) من بيانات المظهر الجانبي للمسير:

$$(134) \quad d = \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1}) \quad \text{km}$$

غير أن هذه العبارة تبسّط في بيانات المظهر الجانبي للمسير المنتظم التباعد على النحو التالي:

$$(135) \quad d = n \cdot d_{ii} \quad \text{km}$$

حيث d_{ii} هي الزيادة التدرجية في مسافة المسير (km).

4 تصنيف المسيرات

يجب ألا يصنف المسير تبعاً لخط البصر أو عبر الأفق إلا لأغراض تحديد المسافتين d_{lr} و d_{li} وزاويتي الارتفاع θ_r و θ_i ، انظر أدناه. يجب أن يستعمل المظهر الجانبي للمسير لتحديد المسير في خط البصر أو عبر الأفق استناداً إلى نصف قطر الأرض الفعال a_e كما في المعادلة (6a).

يكون المسير عبر الأفق إذا كانت زاوية ارتفاع الأفق المادي مرئية من الهوائي المسبب للتداخل (بالنسبة إلى خط الأفق المحلي) أكبر من الزاوية المرئية من الهوائي المعرض للتداخل (أيضاً بالنسبة إلى خط الأفق المحلي مسبب التداخل). ويكون الاختبار الخاص بشروط المسير عبر الأفق على النحو التالي:

$$(136) \quad \theta_{max} > \theta_{id} \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(137) \quad \theta_{max} = \max_{i=1}^{n-1} (\theta_i) \quad \text{mrad}$$

θ_i : زاوية الارتفاع بالنسبة إلى النقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية

$$(138) \quad \theta_i = 1000 \arctan \left(\frac{h_i - h_{ts}}{10^3 d_i} - \frac{d_i}{2 a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث:

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

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

d_i : المسافة بين المحطة المسببة للتداخل والنقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية (km).

$$(139) \quad \theta_{id} = 1000 \arctan \left(\frac{h_{rs} - h_{ts}}{10^3 d} - \frac{d}{2 a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث:

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

d : المسافة الكلية لمسير الدائرة العظمى (km)

a_e : متوسط نصف قطر الأرض المناسب للمسير (المعادلة (6a)).

5 اشتقاق المعلومات من المظهر الجانبي للمسير

1.5 المسيرات عبر الأفق والمسيرات على خط البصر

يعرض الجدول 22 المعلومات الواجب اشتقاقها من المظهر الجانبي للمسير.

1.1.5 زاوية ارتفاع الأفق الهوائي المحطة المسببة للتداخل، θ_t

زاوية ارتفاع الأفق الهوائي المحطة المسببة للتداخل هي أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي عندما تطبق المعادلة (137) على ارتفاعات المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية $n - 1$.

$$(140) \quad \theta_t = \max(\theta_{max}, \theta_{td}) \quad \text{mrad}$$

وتكون θ_{max} كما هي محددة في المعادلة (137). ومن ثم، في مسير على خط البصر، تُعتبر زاوية ارتفاع الأفق للهوائي المسبب للتداخل زاوية ارتفاع الخط الواصل إلى الهوائي المعرض للتداخل.

2.1.5 مسافة أفق الهوائي المسبب للتداخل، d_{it}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المرسل حيث تحسب أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي وفقاً للمعادلة (137).

$$(141) \quad d_{it} = d_i \quad \text{km} \quad \text{for max} (\theta_i)$$

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

$$(141a) \quad v_{\max} = \max \left\{ \left[h_i + 500C_e d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts}(d - d_i) + h_{rs} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث يأخذ دليل المظهر الجانبي i قيمة تتراوح من 1 إلى $n - 1$ ، و C_e هو الانحناء الفعلي للأرض كما هو معرف في الفقرة 1.2.4 من الملحق 1.

3.1.5 زاوية ارتفاع أفق الهوائي المعرض للتداخل، θ_r

زاوية ارتفاع أفق هوائي الاستقبال هي أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي عندما تطبق المعادلة (137) على ارتفاعات المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية $n - 1$.

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

$$(142a) \quad \theta_r = 1000 \arctan \left(\frac{h_{ts} - h_{rs}}{10^3 d} - \frac{d}{2a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

وإلا تعطى الزاوية θ_r كما يلي:

$$(142b) \quad \theta_r = \max_{j=1}^{n-1} (\theta_j) \quad \text{mrad}$$

$$(143) \quad \theta_j = 1000 \arctan \left(\frac{h_j - h_{rs}}{10^3 (d - d_j)} - \frac{d - d_j}{2a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

4.1.5 مسافة أفق الهوائي المعرض للتداخل، d_{ir}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المستقبل حيث تحسب أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي وفقاً للمعادلة (142b).

$$(144) \quad d_{ir} = d - d_j \quad \text{km} \quad \text{for max} (\theta_j)$$

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

$$(144a) \quad d_{lr} = d - d_{lt} \quad \text{Km}$$

5.1.5 المسافة الزاوية θ (mrad)

$$(145) \quad \theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

6.1.5 نموذج "الأرض المستوية" وارتفاعات الهوائي الفعالة

1.6.1.5 اعتبارات عامة

"السطح المستوي" هو سطح مستخلص من المظهر الجانبي لحساب ارتفاعات الهوائي الفعالة لنموذج الانعراج وكذلك لإجراء تقييم لوعورة المسير، وهما أمران يتطلبهما نموذج الانتشار الموجّه/الانعكاس على الطبقات. وتختلف تعاريف ارتفاع الهوائي الفعّال في هذين الغرضين. وتصف الفقرة 2.6.1.5 اشتقاق ارتفاعي سطح الأرض المستوية غير المصححين عند المرسل والمستقبل، وهما h_{sr} و h_{st} على التوالي. ثم تصف الفقرة 3.6.1.5 اشتقاق ارتفاعي سطح الأرض المستوية المعدّلين عند المرسل والمستقبل في نموذج الانعراج، وهما h_{srd} و h_{std} على التوالي، اللذين يُستخدمان في الفقرة 3.2.4 من الملحق 1 لحساب الارتفاعات الفعلية للهوائيات لنموذج الانعراج. وتصف الفقرة 4.6.1.5 حساب ارتفاعي الهوائي الفعّالين، h_{re} و h_{te} ، ومعلمة وعورة التضاريس، h_m ، لنموذج الانتشار الموجه.

2.6.1.5 اشتقاق سطح الأرض المنتظمة

يشقق تقريب خطي لارتفاع التضاريس الأرضية (m) فوق متوسط مستوى البحر على الشكل التالي:

$$(146) \quad h_{si} = [(d - d_i)h_{st} + d_i h_{sr}] / d \quad \text{m}$$

حيث:

h_{si} : الارتفاع فوق متوسط مستوى البحر (m) للسطح المضبوط بأقل عدد من المربعات عند مسافة d_i (km) من مصدر التداخل

h_{st} : الارتفاع فوق متوسط مستوى البحر (m) لسطح الأرض المنتظمة عند نقطة أصل المسير أي عند المحطة المسببة للتداخل

h_{sr} : الارتفاع فوق متوسط مستوى البحر (m) لسطح الأرض المنتظمة عند نهاية المسير أي عند محطة المستقبل.

يحسب h_{sr} و h_{st} كما يلي باستخدام المعادلات (147) إلى (150):

$$(147) \quad v_1 = \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})$$

حيث:

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

d_i : المسافة من مسبب التداخل إلى النقطة من الرتبة i في التضاريس الأرضية (km):

$$(148) \quad v_2 = \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1}) [h_i(2d_i + d_{i-1}) + h_{i-1}(d_i + 2d_{i-1})]$$

ويعطى ارتفاع سطح الأرض المنتظمة عند المحطة المسببة للتداخل h_{st} :

$$(149) \quad h_{st} = \left(\frac{2v_1d - v_2}{d^2} \right) \quad \text{m}$$

ومن ثم، تعطي العبارة التالية ارتفاع سطح الأرض المنتظمة عند المحطة المعرضة للتداخل h_{sr} :

$$(150) \quad h_{sr} = \left(\frac{v_2 - v_1d}{d^2} \right) \text{m}$$

3.6.1.5 ارتفاعات سطح الأرض المنتظمة لنموذج الانعراج

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

$$(151a) \quad h_{obs} = \max_{i=1}^{n-1} \{H_i\} \quad \text{m}$$

$$(151b) \quad \alpha_{obt} = \max_{i=1}^{n-1} \{H_i / d_i\} \quad \text{mrad}$$

$$(151c) \quad \alpha_{obr} = \max_{i=1}^{n-1} \{H_i / (d - d_i)\} \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(151d) \quad H_i = h_i - [h_{ts}(d - d_i) + h_{rs}d_i] / d \quad \text{m}$$

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

$$(152a) \quad h_{stp} = h_{st} \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

$$(152b) \quad h_{srp} = h_{sr} \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

وإلا:

$$(152c) \quad h_{stp} = h_{st} - h_{obs} g_t \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

$$(152d) \quad h_{srp} = h_{sr} - h_{obs} g_r \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

حيث:

$$(152e) \quad g_t = \alpha_{obt} / (\alpha_{obt} + \alpha_{obr})$$

$$(152f) \quad g_r = \alpha_{obr} / (\alpha_{obt} + \alpha_{obr})$$

وتُحسب القيم النهائية لارتفاعي السطح الأملس في طرفي الإرسال والاستقبال للمسير على النحو المطلوب في نموذج الانعراج:
إذا كان h_{stp} أكبر من h_0 ، عندئذ:

$$(153a) \quad h_{std} = h_0 \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

وإلا:

$$(153b) \quad h_{std} = h_{stp} \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

إذا كان h_{srp} أكبر من h_n ، عندئذ:

$$(153c) \quad h_{srd} = h_n \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

وإلا:

$$(153d) \quad h_{srd} = h_{srp} \quad (\text{m}) \text{ amsl}$$

4.6.1.5 معلمات نموذج الانتشار التروبوسفيري الموجه/الانعكاس على الطبقات

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

$$(154a) \quad h_{st} = \min(h_{st}, h_0) \quad \text{m}$$

$$(154b) \quad h_{sr} = \min(h_{sr}, h_n) \quad \text{m}$$

وإذا تم تصحيح أحد الارتفاعين h_{st} أو h_{sr} أو كليهما بواسطة المعادلة (154a) أو (154b)، فيجب عندها أن يصحح أيضاً ميل سطح الأرض الأملس، m ، كالتالي:

$$(155) \quad m = \frac{h_{sr} - h_{st}}{d} \quad \text{m/km}$$

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

$$(156) \quad \begin{aligned} h_{te} &= h_{tg} + h_0 - h_{st} & \text{m} \\ h_{re} &= h_{rg} + h_n - h_{sr} & \text{m} \end{aligned}$$

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

$$(157) \quad h_m = \max_{i=i_t}^{i_r} [h_i - (h_{st} + m \cdot d_i)] \quad m$$

حيث:

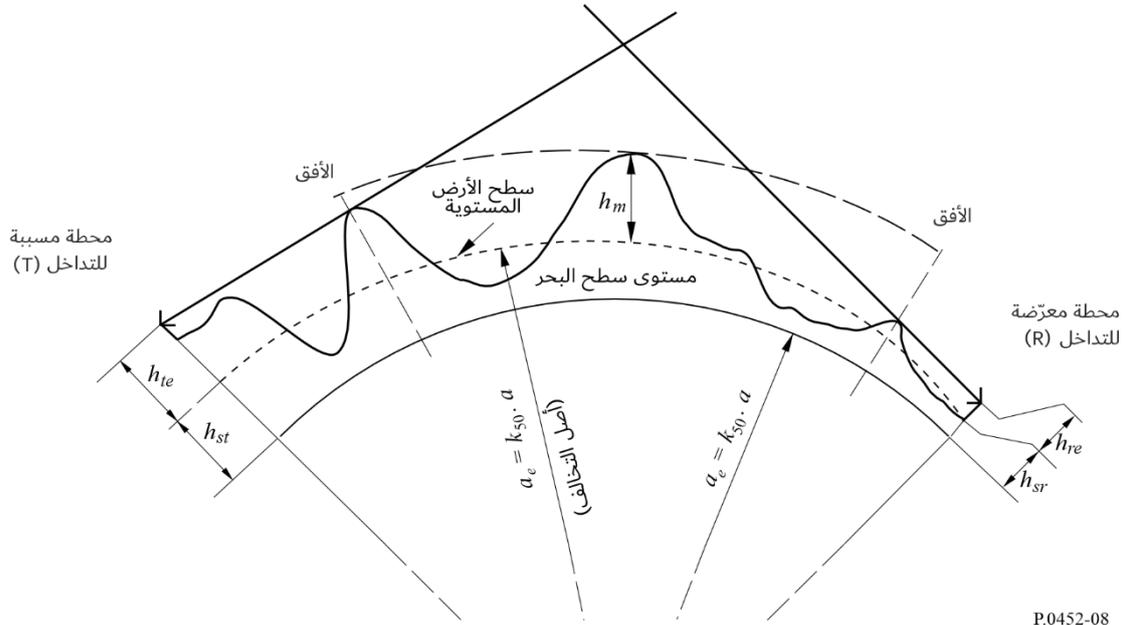
i_t : دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة d_{it} من المرسل

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

ويمثل الشكل 8 سطح الأرض المستوية ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية h_m .

الشكل 8

مثال لسطح الأرض المستوية ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية



المرفق 3 للملحق 1

تقريب لدالة التوزيع العادي التراكمي العكسي للقيمة $x \leq 0,5$

يكون التقريب التالي لدالة التوزيع العادي التراكمي العكسي صحيحاً للقيمة $0,000001 \leq x \leq 0,5$ ويكون أقصى مقدار للخطأ $0,00054$. ويمكن الوثوق في استخدامه لحساب دالة الاستكمال الداخلي كما ورد في المعادلة (41). وإذا كانت $x < 0,000001$ مما يعني أن $\beta_0 < 0,0001\%$ عندئذ يجب ضبط x لتكون $0,000001$. وتستخلص الدالة $I(x)$ كالتالي:

$$(158) \quad I(x) = \xi(x) - T(x)$$

حيث:

$$(158a) \quad T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]}$$

$$(158b) \quad \xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) T(x) + D_1] T(x) + 1}$$

$$(158c) \quad C_0 = 2.515516698$$

$$(158d) \quad C_1 = 0.802853$$

$$(158e) \quad C_2 = 0.010328$$

$$(158f) \quad D_1 = 1.432788$$

$$(158g) \quad D_2 = 0.189269$$

$$(158h) \quad D_3 = 0.001308$$