

التوصية ITU-R P.2001-6

(2025/09)

السلسلة P: انتشار الموجات الراديوية

نموذج انتشار أرضي واسع المدى للأغراض العامة
في مدى الترددات من 30 MHz إلى 50 GHz

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجميعيات 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 <https://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/ar>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة 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، 2025

التوصية ITU-R P.2001-6

نموذج انتشار أرضي واسع المدى للأغراض العامة في مدى الترددات من 30 MHz إلى 50 GHz

(المسألة ITU-R 205/3)

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

مجال التطبيق

تضم هذه التوصية نموذج انتشار أرضي واسع المدى للأغراض العامة يتنبأ بخسارة الإرسال الأساسية نتيجة كل من تحسينات الإشارة والخبث فعلياً فوق المدى بين 0% و100% من السنة المتوسطة، مما يجعل هذا النموذج ملائماً بشكل خاص لطرائق مونت كارلو والدراسات التي يحدّ فيها استعمال نفس نموذج الانتشار، دون انقطاعات في خرجة، للإشارات التي قد تكون مطلوبة أو من المحتمل أن تكون سبباً للتداخل. ويغطي النموذج مدى الترددات من 30 MHz إلى 50 GHz والمسافات من 3 km إلى ما لا يقل عن 1 000 km.

مصطلحات أساسية

مونت كارلو، الانعراج، الانتشار الموجّه، هطول الأمطار، انعكاس الطبقات، الانتشار التروبوسفيري، الامتصاص الغازي، الانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E

المختصرات/مسرد المصطلحات

ICDF	الدالة العكسية للتوزيع التراكمي (<i>Inverse cumulative distribution function</i>)
IDWM	خريطة العالم الرقمية لدى الاتحاد الدولي للاتصالات (<i>ITU Digitized World Map</i>)
LoS	خط البصر (<i>Line-of-sight</i>)
NLoS	خارج خط البصر (<i>Non-line-of-sight</i>)
UHF	الموجات الـديسيمترية (<i>Ultra-high frequency</i>)
VHF	الموجات المترية (<i>Very high frequency</i>)
WRPM	نموذج الانتشار الواسع المدى (<i>Wide-range propagation model</i>)

توصيات الاتحاد وتقاريره ذات الصلة

التوصية ITU-R P.452
التوصية ITU-R P.528
التوصية ITU-R P.530
التوصية ITU-R P.617
التوصية ITU-R P.676
التوصية ITU-R P.836

التوصية ITU-R P.837

التوصية ITU-R P.838

التوصية ITU-R P.839

التوصية ITU-R P.844

التوصية ITU-R P.1144

التوصية ITU-R P.1411

التوصية ITU-R P.1546

التوصية ITU-R P.1812

ملاحظة - ينبغي استخدام أحدث مراجعة/طبعة من التوصية/التقرير.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن دعم كفاءة استخدام الطيف الراديوي يدعو إلى الحاجة إلى إجراء دراسات تقاسم يتم فيها الأخذ في الاعتبار تفاوت كل من سويات الإشارات المطلوبة والمحتمل أن تكون سبباً للتداخل؛

(ب) أنه من أجل تخطيط الأنظمة الراديوية عالية الأداء، يجب أن يتضمن التنبؤ بتفاوت سويات الإشارات الذبول الضعيفة الاحتمالية لكل من توزيعات الخبؤ والتحسينات؛

(ج) أن محاكاة طرائق مونت كارلو مفيدة لأغراض تخطيط الطيف،

وإذ تلاحظ

(أ) أن التوصية ITU-R P.528 تقدم توجيهاً بشأن التنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية من نقطة-إلى-نقطة للخدمة المتنقلة للطيران مدى الترددات من 100 MHz إلى 30 GHz؛

(ب) أن التوصية ITU-R P.452 تنص على توجيهه يتعلق بالتقييم المفصل لتداخل الموجات الصغيرة فيما بين المحطات فوق سطح الأرض عند ترددات تزيد على 700 MHz تقريباً؛

(ج) أن التوصية ITU-R P.617 تقدم توجيهاً بشأن التنبؤ بخسارة الإرسال من نقطة-إلى-نقطة لأنظمة المرحلات الراديوية عبر الأفق مدى الترددات فوق 30 MHz ولمسافات تتراوح من 100 إلى 1 000 km؛

(د) أن التوصية ITU-R P.1411 تقدم توجيهاً بشأن التنبؤ بالخدمات القصيرة المدى خارج المباني (تصل إلى 1 km)؛

(هـ) أن التوصية ITU-R P.530 تنص على توجيهه بشأن التنبؤ بخسارة الانتشار من نقطة-إلى-نقطة للأنظمة الراديوية للأرض في خط البصر؛

(و) أن التوصية ITU-R P.1546 تقدم توجيهاً بشأن التنبؤ بشدة المجال من نقطة-إلى-منطقة في نطاقات الموجات المتريية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) بالاستناد بشكل رئيسي إلى التحليلات الإحصائية للمعطيات التجريبية؛

(ز) أن التوصية ITU-R P.1812 تنص على توجيهه بشأن التنبؤ بشدة المجال من نقطة-إلى-منطقة في نطاقات الموجات المتريية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) بالاستناد بشكل رئيسي إلى طريقة حتمية؛

(ح) أن التوصية ITU-R P.844 تلخص أساليب مسيرات الانتشار طويلة المدى التي يمكن أن تحدث أيضاً في النطاق VHF عبر طبقة الأيونوسفير،

توصي

بأنه ينبغي استعمال الإجراء الوارد في الملحق لدراسات التقاسم على المدى التام لتفاوت الإشارة، بما في ذلك الذيل الضعيفة الاحتمالية لخبو الإشارات وتحسينها، ولطرائق محاكاة مونت كارلو.

الملحق

نموذج الانتشار الواسع المدى
وصف طريقة الحساب
جدول المحتويات

الصفحة

6	.....	1	مقدمة
6	.....	1.1	إمكانية التطبيق
6	.....	2.1	التبادلية، وتسمية المطاريق
6	.....	3.1	التكرار
6	.....	4.1	تنظيم التوصية
7	.....	5.1	أسلوب الوصف
7	.....	2	المدخلات
7	.....	1.2	المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية
8	.....	2.2	مدخلات أخرى
8	.....	3.2	الثوابت
9	.....	4.2	نواتج رقمية مكتملة
10	.....	3	الحسابات الأولية
11	.....	1.3	النسب المئوية الزمنية المحدودة
12	.....	2.3	طول المسير، والنقاط الوسيطة، وجزء المسير فوق البحر
12	.....	3.3	ارتفاعات الهوائي وميل المسير
12	.....	4.3	المعلومات المناخية
14	.....	5.3	هندسة نصف قطر الأرض الفعّال
14	.....	6.3	طول الموجة
14	.....	7.3	تصنيف المسير ومعلومات أفق المطراف
16	.....	8.3	الارتفاعات الفعّالة ومعلمة خشونة المسير
18	.....	9.3	قِطْع مسير الانتثار التروبوسفيري

18	.....	10.3	الامتصاص الغازي على المسيرات السطحية.
19	.....	11.3	الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر.
19	.....	12.3	خسارة الانعراج على حدّ السكين
19	.....	4	الحصول على تنبؤات للنماذج الفرعية الرئيسية.
20	.....	1.4	النموذج الفرعي 1 الانتشار العادي بالقرب من سطح الأرض.
20	.....	2.4	النموذج الفرعي 2 الانتشار غير المألوف.
21	.....	3.4	النموذج الفرعي 3 الانتشار بالانتثار التروبوسفيري
22	.....	4.4	النموذج الفرعي 4 الانتشار بالتأين المتفرق للطبقة E.
22	.....	5	جمع نتائج النماذج الفرعية.
23	.....	1.5	جمع النموذجين الفرعيين 1 و 2.
23	.....	2.5	جمع النماذج الفرعية 1 + 2 و 3 و 4.
23	.....	3.5	جمع النماذج الفرعية ضمن نظام للمحاكاة باعتماد طريقة مونت كارلو.
24	.....		المرفق A - خسارة الانعراج.
24	.....	1.A	مقدمة.
24	.....	2.A	خسارة الانعراج على أرض كروية.
25	.....	3.A	الحد الأول لخسارة الانعراج على أرض كروية.
27	.....	4.A	خسارة انعراج بولنغتون للمظهر الجانبي للمسير الفعلي.
28	.....	5.A	خسارة انعراج بولنغتون لمظهر جانبي وطني لمسير منتظم.
30	.....		المرفق B - عمليات التحسين والخبو في الجو الصافي.
30	.....	1.B	مقدمة.
30	.....	2.B	تحديد خصائص النشاط المتعدد المسيرات.
31	.....	3.B	حساب النسبة الزمنية المثوية السنوية للخبو الصفري نظرياً.
31	.....	4.B	النسبة الزمنية التي يتم فيها تجاوز مستوى خبو معين في الهواء الصافي على مسير سطحي.
32	.....	5.B	النسبة الزمنية التي يتم خلالها تجاوز مستوى خبو معين في الجو الصافي على مسير انتشار تروبوسفيري.
33	.....		المرفق C - الخبو بسبب هطول الأمطار.
33	.....	1.C	مقدمة.
33	.....	2.C	الحسابات الأولية.
37	.....	3.C	النسبة المثوية من الوقت التي يتم خلالها تجاوز مستوى خبو معين بسبب الأمطار.
37	.....	4.C	نموذج طبقة الدوبان.
39	.....	5.C	معامل الضرب المتوسط على المسير.
41	.....		المرفق D - نموذج الانعكاس غير المألوف للطبقات.
41	.....	1.D	تحديد خواص المناطق المناخية الراديوية المهيمنة على المسير.
42	.....	2.D	نقطة الانتشار الموجه.

43	3.D	خسارات حجب المواقع بالنسبة لآلية الانتشار غير المؤلف.....
43	4.D	تصحيح الاقتران للمجرى السطحي فوق البحر.....
44	5.D	خسارة الاقتران الكلية لآلية الانتشار غير المؤلف.....
44	6.D	الخسارة المعتمدة على المسافة الزاوية.....
45	7.D	الخسارة المعتمدة على المسافة والوقت.....
45	8.D	خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالانتشار الموجه.....
46		المرفق E - الانتشار التروبوسفيري.....
46	1.E	مقدمة.....
46	2.E	التصنيف المناخي.....
47	3.E	حساب خسارة الإرسال الأساسية للانتشار التروبوسفيري.....
48		المرفق F - التوهين الناتج عن الامتصاص الغازي.....
48	1.F	مقدمة.....
49	2.F	الامتصاص الغازي للمسیر السطحي.....
49	3.F	الامتصاص الغازي لمسیر الانتشار التروبوسفيري.....
50	4.F	الامتصاص الغازي للمسیر من المطراف إلى الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري.....
51	5.F	كثافة بخار الماء في حالة المطر.....
51	6.F	التوهينات المحددة بمستوى سطح البحر.....
52		المرفق G - الانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E.....
52	1.G	استخراج ترددات الطبقة E (foE).....
53	2.G	الانتشار لقفزة واحدة.....
54	3.G	الانتشار لقفزتين.....
55	4.G	خسارة الإرسال الأساسية.....
56		المرفق H - حسابات مسير الدائرة الكبرى.....
56	1.H	مقدمة.....
56	2.H	طول المسير واتجاهه الزاوي.....
57	3.H	حساب النقطة الوسيطة للمسیر.....
58		المرفق I - الإجراء التكراري لعكس دالة التوزيع التراكمي.....
58	1.I	مقدمة.....
58	2.I	طريقة التكرار.....
60		المرفق J - بنية نموذج الانتشار الواسع المدى.....
60	1.J	مقدمة.....
60	2.J	الجمع بين النماذج الفرعية.....

1 مقدمة

تصف هذه التوصية طريقة انتشار الموجات الراديوية للمسيرات الأرضية. ولديها مجموعة واسعة من إمكانيات التطبيق في مجالات التردد والمسافة والنسبة المئوية للزمن. وهي تتنبأ بوجه خاص بكل من تحسينات سوية الإشارة والخبو. وبذلك تعتبر مناسبة بوجه خاص لطرائق محاكاة مونت كارلو.

ويصف المرفق J بنية النموذج، وبالتحديد كيفية توليف وضم النتائج التي تمثل آليات الانتشار المختلفة.

1.1 إمكانية التطبيق

يرد مدى إمكانية التطبيق على النحو التالي:

التردد: 30 MHz إلى 50 GHz.

المسافة: يُعتقد أن هذا النموذج هو النموذج الأكثر دقة ضمن مسافة تتراوح من 3 km إلى 1 000 km. وعند مسافات أقصر نحو تأثير الجلبة (كالمباني والأشجار ونحو ذلك) يكون التأثير المهيمن، ما لم تكن ارتفاعات الهوائيات ذات علو كافٍ بالنسبة لمسير غير معاق. ولا يوجد حد أدنى معين، علماً بأن طول المسير يجب أن يتجاوز الصفر. كما أن التنبؤ بخسارة أساسية للإرسال تقل عن 20 dB يجب اعتبارها عملية غير موثوقة. وبشكل مماثل، لا توجد مسافة قصوى محددة.

النسبة المئوية للزمن: يتنبأ هذا النموذج بالخسارة الأساسية للإرسال غير المتعددة خلال نسبة مئوية معينة من السنة المتوسطة. وكدخل للنموذج يمكن استخدام أي نسبة مئوية للزمن تتراوح من 0% إلى 100%. وينحصر ذلك بأسلوب تدريجي ضمن النموذج بحيث يتفاوت الوقت المستخدم في النموذج من 0,00001% إلى 99,99999%. ولا يوجد لهذا التقييد الداخلي أي تأثير ملحوظ ضمن نسبة زمنية من 0,001% إلى 99,999%.

ارتفاعات الهوائي: ارتفاعات الهوائي فوق مستوى سطح الأرض يجب أن تكون أكبر من الصفر. ولا يوجد ارتفاع أقصى محدد فوق مستوى سطح الأرض. ويعتقد أن الطريقة تعطي نتائج يعتمد عليها عند ارتفاعات للهوائي تصل إلى 8 000 m فوق مستوى سطح البحر.

2.1 التبادلية، وتسمية المطاريف

يُستخدم المصطلحان "هوائي الإرسال" و"هوائي الاستقبال"، أو باختصار "المرسل" و"المستقبل"، للتمييز بين المطرافين. ويُعتبر ذلك ملائماً لأغراض الوصف.

ومع ذلك يُعتبر هذا النموذج متناظراً. فتسمية أيٍّ من المطرافين "مرسلاً" لا يؤثر في النتيجة بأي شكل من الأشكال. ومن المتعارف عليه أن "المرسل" يكون في بداية المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية.

3.1 التكرار

تستدعي بعض أجزاء النموذج إجراء حسابات تكرارية. ويرد وصفٌ لإجراءات التكرار المعلنة التي تبين أنها كفؤة ومستقرة. بيد أن ذلك لا يعني بالضرورة أنها إجراءات مثلى. فقد تُستخدم نماذج تكرارية أخرى إذا ما تبين أنها تقدم نتائج مماثلة إلى حد بعيد.

4.1 تنظيم التوصية

يرد في الفقرة 2 وصف للمدخلات والرموز التي استعملت للإشارة إليها.

ويرد في الفقرة 3 وصف للعمليات الحسابية الأولية بما في ذلك الحصول على مختلف المعلومات المناخية الراديوية. وتُدرج في الجدول 4 المعلومات المناخية والقيم المستخرجة من المدخلات بحسب الترتيب الأبجدي الإنكليزي لرموزها تقريباً. ويُستخدم الكثير من تلك المعلومات في أكثر من مكان واحد في النموذج بأكمله، وتُعتبر كل الرموز الواردة في الجدول 4 مميزة ومتفرّدة داخل هذه التوصية.

ويعرض القسم 4 النماذج الفرعية الرئيسية الأربعة التي قُسمت الطريقة إليها. وتصف الأجزاء الفرعية التالية العمليات الحسابية للنماذج الفرعية تلك، التي ينطبق معظمها على مجموعة من آليات الانتشار. وتُشير تلك الأوصاف بشكل موسّع إلى المرفقات التي تعرّف مختلف وحدات الحسابات. أما النماذج الفرعية في نموذج الانتشار الواسع المدى (WRPM) فمستقلة عن بعضها البعض ويقوم كل منها بحساب النتائج على مدى يتراوح من 0% إلى 100%.

ويصف القسم 5 كيفية الحصول على التنبؤات النهائية بضمّ النتائج المستقاة من النماذج الفرعية الرئيسية الأربعة. كما تأخذ طريقة الضم في الحسبان خواص الترابط الإحصائي بين النماذج الفرعية. وقد قُدمت طريقتان بديلان، إحداهما تُعتبر ملائمة حين يلزم الحساب المباشر لخسارة الإرسال الأساسية الكلية المتعلقة بقيمة معينة للنسبة المئوية للزمن. وتتضمن هذه الطريقة معالجة تقريبية لإحصاءات غير مترابطة. أما الطريقة الثانية فتعد مناسبة عند استخدام نموذج الانتشار الواسع المدى (WRPM) في محاكاة طرائق مونت كارلو. وفي هذه الحالة، يمكن نمذجة الإحصاءات غير المترابطة بدقة أكبر عن طريق ضمّ النماذج الفرعية داخل طريقة مونت كارلو.

5.1 أسلوب الوصف

يجري وصف الطريقة بأسلوب متدرج، أي أن التعابير تقدم حسب الترتيب الذي ينبغي تقييمها على أساسه. وتُتبع المعادلات أحياناً بكلمة "حيث"، علماً بأن ذلك لا يتعدى بضعة أسطر قليلة. وقد جرى تجنب القوائم الطويلة التي تتضمن كلمة "حيث".

أما الرموز الواردة في المرفقات والتي لا تظهر في الجدول 4 فيجب اعتبارها قابلة لإعادة الاستعمال. ويتم تعريفها بالقرب من موضع استعمالها، أو إسنادها مرجعياً عند الاقتضاء.

وأما اللوغاريتمات فتوضع بالأساس 10 بالتغيب، أي أن $\log_{10}(x) = \log(x)$. ويُشار إلى اللوغاريتمات الطبيعية حيثما تستخدم بوصفها $\log_e(x) = \ln(x)$.

2 المدخلات

تتألف مُدخلات النموذج من المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية، الذي ورد وصفه في الفقرة 1.2، ومن مدخلات أخرى جرى وصفها في الفقرة 2.2.

1.2 المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية

يجب أن يتوفر المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية الذي يعطي ارتفاعات سطح الأرض فوق سطح البحر، سواء كانت أرضية أم مائية، عند نقاط على امتداد مسير الدائرة العظمى الراديوي. كما تلزم معلومات عن مسافات تمتد فوق البحر أو فوق كتلة مائية كبيرة، وفوق الأراضي أو المناطق الساحلية المنخفضة التي تكثر فيها البحيرات، وفقاً للمناطق المحددة في المرفق D، الفقرة 1.D.

ويتألف المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية، من حيث المبدأ، من صفيقات يكون لكل صفيق منها نفس العدد من القيم، n ، وذلك على النحو التالي:

(1a) d_i : المسافة من المرسل إلى النقطة رقم i -th من المظهر الجانبي (km)

(1b) h_i : ارتفاع النقطة رقم i -th من المظهر الجانبي فوق سطح البحر (m)

حيث:

$i: 1, 2, 3 \dots n$ = مؤشر نقطة من نقاط المظهر الجانبي

n : عدد نقاط المظهر الجانبي.

ومن السهل تحديد صفيق إضافي يضم رموز المناطق كجزء من المظهر الجانبي:

(1c) z_i : رمز المنطقة عند المسافة d_i من المرسل

حيث إن القيم z هي رموز تمثل المناطق في الجدول 1.D.

ويجب أن تكون نقاط المظهر الجانبي على مسافات متساوية من بعضها البعض. وبذلك يصبح $km\ 0 = d_1$ و $km\ d = d_n$ ، حيث d تمثل الطول الكلي للمسير. وبالمثل، فإن $km\ (n - 1) / d\ (i - 1) = d_i$.

وليس من المهم إذا كان الصفيف d_i صفيفاً تكثر فيه المسافات، أو إذا كان حساب المسافة d_i يتم عند الحاجة فقط.

ولا بد من وجود ما لا يقل عن نقطة واحدة وسيطة من نقاط المظهر الجانبي بين المرسل والمستقبل. وبناءً على ذلك يجب أن تفي n بالشرط $n \geq 3$. ويُعتبر مثل هذا العدد القليل من النقاط مناسباً فقط للمسيرات القصيرة التي يقل طولها عن حوالي 1 km.

ولا يمكن تقديم سوى توجيه عام فيما يتعلق بالمباعدة المناسبة في المظهر الجانبي. وتشير الممارسة الشائعة إلى طول مباعدة يتراوح من 50 إلى 250 m، وفقاً للبيانات الأصلية وطبيعة التضاريس الأرضية.

ومع ذلك يتم التشديد على وجوب تضمين المسير بكامله نقاطاً متساوية البُعد عن بعضها البعض، حتى حين يمر فوق الماء. والعبارات الواردة في هذه الطريقة تفترض ذلك. فعلى سبيل المثال، من غير المقبول وجود نقاط ذات ارتفاع صفري فقط في بداية ونهاية مقطع فوق البحر حين يتجاوز طول المقطع مسافة التباعد بين النقاط. ويجب أن لا يتم تحديد موقع نقاط الأفق إلا بعد الأخذ في الحسبان عامل انحناء الأرض، علماً بأن حذف النقاط بهذه الطريقة يمكن أن يسفر عن سوء تفسير للمظهر الجانبي.

2.2 مدخلات أخرى

يُدرج الجدول 1 المدخلات الأخرى التي يجب أن يوفرها المستعمل، إضافة إلى المعلومات الجغرافية، بما في ذلك المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية الوارد شرحه في الفقرة الفرعية 1.2 أعلاه. وتطبق الرموز والوحدات الواردة هنا على التوصية بأكملها.

الجدول 1

المدخلات الأخرى

الوصف	الرمز
التردد	f (GHz)
رمز يشير إما إلى استقطاب خطي أفقي أو رأسي	T_{pol}
خط الطول/خط العرض للمستقبل	$\phi_{re, m}$ (degrees)
خط الطول/خط العرض للمرسل	$\phi_{te, m}$ (degrees)
ارتفاع المركز الكهربائي لهوائي الإرسال/الاستقبال فوق الأرض	$h_{ig, rg}$ (m)
النسبة المئوية من سنة متوسطة التي لا يتم خلالها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية المتنبأ بها	T_{pc} (%)
كسب هوائي الإرسال/الاستقبال في الاتجاه السمتي للمسير نحو الهوائي الآخر، وعند زاوية الارتفاع فوق الأفق المحلي للهوائي الآخر في الحالة المتعلقة بمسير خط البصر (LoS)، أو خلاف ذلك للأفق الراديوي للهوائي بالنسبة لنصف قطر الأرض المتوسط الفعال.	G_t, G_r (dBi)

وتعتبر خطوط الطول والعرض في هذه الطريقة موجبة شرقاً وشمالاً.

3.2 الثوابت

يقدم الجدول 2 قيم الثوابت المستخدمة في الطريقة.

الجدول 2

الثوابت

الوصف	القيمة	الرمز
سرعة الانتشار	$10^8 \times 2,998$	c (m/s)
متوسط نصف قطر الأرض	6 371	R_e (km)
المساحة النسبية للأرض	22,0	ϵ_{rland}
المساحة النسبية للبحر	80,0	ϵ_{rsea}
الإيصالية النسبية للأرض	0,003	σ_{land} (S/m)
الإيصالية النسبية للبحر	5,0	σ_{sea} (S/m)

4.2 نواتج رقمية مكتملة

ينبغي ألا تستخدم إلا صيغ الملفات الواردة في هذه التوصية. وتعد هذه الصيغ جزءاً لا يتجزأ من التوصية. ويقدم الجدول 3 تفاصيل النواتج الرقمية المستخدمة في الطريقة.

الجدول 3

نواتج رقمية

خط الطول (أعمدة)			خط العرض (صفوف)			المصدر	المرجع	اسم الملف
عدد الأعمدة	المباعدة (درجات)	العمود الأول (درجة شرقاً)	عدد الصفوف	المباعدة (درجات)	الصف الأول (درجة شمالاً)			
241	1,5	0	121	1,5	90	P.2001	الفقرة 1.4.3	DN_Median.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.2001	الفقرة 1.4.3	DN_SupSlope.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.2001	الفقرة 1.4.3	DN_SubSlope.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.453-10	الفقرة 2.4.3	dndz_01.txt
321	1,125	0	161	1,125	90	P.837-5	الفقرة 2.C	Esarain_Pr6_v5.txt
321	1,125	0	161	1,125	90	P.837-5	الفقرة 2.C	Esarain_Mt_v5.txt
321	1,125	0	161	1,125	90	P.837-5	الفقرة 2.C	Esarain_Beta_v5.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.839-4	الفقرة 2.C	h0.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.836-4 (مصحح)	المرفق F	Surfwv_50_fixed.txt ⁽¹⁾
241	1,5	0	121	1,5	90	P.2001	المرفق G	FoEs50.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.2001	المرفق G	FoEs10.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.2001	المرفق G	FoEs01.txt
241	1,5	0	121	1,5	90	P.2001	المرفق G	FoEs0.1.txt
720	0,5	179,75-	360	0,5	89,75	P.2001	المرفق E	TropoClim.txt

⁽¹⁾ الملف "surfwv_50_fixed.txt" عبارة عن صيغة مصححة للملف "surfwv_50.txt" المرتبطة بالتوصية ITU-R P.836-4 ويقل عدد أعمدة الملف "surfwv_50.txt" بعمود واحد عن المتوقع طبقاً للملفين "surfwv_lat.txt" و "surfwv_lon.txt" المقدمين بالبيانات. وقد افترض أن العمود المقابل لخط الطول 360° حذف من الملف وقد تم تصحيح ذلك في الملف "surfwv_50_fixed.txt".

وقيمة "الصف الأول" هي خط عرض الصف الأول.

وقيمة "العمود الأول" هي خط طول العمود الأول. والعمود الأخير والعمود الأول متماثلان ($0^\circ = 360^\circ$) وتم إدراجهما لتبسيط عملية الاستكمال الداخلي.

وتعطى "المباعدة" الزيادة في خطي العرض/الطول بين الصفوف/الأعمدة.

وباستثناء الملف "TropoClim.txt"، ينبغي الحصول على قيمة أي معلمة عند خط عرض/خط طول معين بإجراء استكمال داخلي خطي ثنائي باستخدام أقرب أربع نقاط شبكية، كما هو موضح في التوصية ITU-R P.1144.

ويحتوي الملف TropoClim.txt على معرفات هوية منطقة بأرقام صحيحة عوضاً عن متغيرات أرصاد جوية مستمرة. وبالتالي، لا ينبغي إجراء استكمال داخلي للقيم للحصول على قيمة عند خط عرض/طول معين. وعوضاً عن ذلك، ينبغي أخذ القيمة عند أقرب نقطة شبكية. ويلاحظ، بالنسبة لهذا الملف أ) أن الشبكة تتزحزح بمقدار نصف بيكسل مقارنة بالملفات الأخرى؛ وب) أن القيم في العمود الأخير لا تماثل نظيرتها في العمود الأول. وبناءً على ذلك، تتراوح خطوط عرض الصفوف بين $89,75^\circ$ شمالاً و $89,75^\circ$ جنوباً، فيما تتراوح خطوط طول الأعمدة بين $179,75^\circ$ غرباً و $179,75^\circ$ شرقاً.

وترد الملفات في الملف المضغوط [R-REC-P.2001-6-202509-I!!ZIP-E.zip](#).

3 الحسابات الأولية

تصف الأقسام الفرعية التالية حساب المعلومات الهامة المستخرجة من المدخلات. وترد هذه المعلومات في الجدول 4.

الجدول 4

المعلومات الأساسية

الوصف	المرجع	الرمز
نصف قطر الأرض المتوسط الفعال	الفقرة 5.3	a_e (km)
توهين غازي، وتوهينات بخار الماء بوجود وعدم وجود المطر، لمسير سطحي	الفقرة 10.3	A_{gsur} $A_{wrsur,wsur}$ (dB/km)
نصف قطر الأرض الفعال المتعدي للنسبة المثوية $p\%$ من الوقت، محدود بحيث لا يصبح لا منتهاً	الفقرة 5.3	a_p (km)
انحناء الأرض الفعال. يكون في العادة موجياً، ولكن بالنسبة لنسبة صغيرة p قد يكون صفراً أو سالباً	الفقرة 5.3	c_p (km ⁻¹)
طول المسير	الفقرة 2.3	d (km)
المسافات من المطراف إلى الأفق. وبالنسبة لمسيرات في خط البصر فإنها تحدد المسافات إلى النقطة ذات خسارة حد السكين الكبرى	الفقرة 7.3	$d_{lt,lr}$ (km)
المسافات من المطراف إلى الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري	الفقرة 9.3	$d_{tcv,rcv}$ (km)
ارتفاع الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري	الفقرة 9.3	$h_{cv}^{(1)}$ (masl)
ارتفاع الهوائي الأعلى/الأدنى	الفقرة 3.3	$h_{hi,lo}^{(1)}$ (masl)
معلمة خشونة المسير	الفقرة 8.3	h_m (m)
الارتفاع الأرضي عند منتصف المسير	الفقرة 2.3	$h_{mid}^{(1)}$ (masl)
الارتفاع الفعال للمرسل/المستقبل فوق سطح منتظم للنموذج غير المؤلف (الانتشار الموجه وانعكاس الطبقات)	الفقرة 8.3	$h_{tea,rea}$ (m)
الارتفاع الفعال للمرسل/المستقبل فوق سطح منتظم للنموذج الانعراج	الفقرة 8.3	$h_{tep,rep}$ (m)
ارتفاع المرسل/المستقبل فوق متوسط سطح البحر	الفقرة 3.3	$h_{ls,rs}^{(1)}$ (masl)
مؤشرات المظهر الجانبي لأفق المرسل/المستقبل	الفقرة 7.3	$i_{lt,lr}$
خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر بالنسبة لطول المسير والتردد	الفقرة 11.3	L_{bfs} (dB)

الجدول 4 (تمة)

الوصف	الرمز	المراجع
خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالنموذج الفرعي 1، انعراج، خبو في الجو الصافي وبسبب هطول الأمطار	L_{bm1} (dB)	الفقرة 1.4
خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالنموذج الفرعي 2، انتشار غير مألوف	L_{bm2} (dB)	الفقرة 2.4
خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالنموذج الفرعي 3، انتشار بالانتثار التروبوسفيري وخبو بسبب هطول الأمطار	L_{bm3} (dB)	الفقرة 3.4
خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالنموذج الفرعي 4، انتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E	L_{bm4} (dB)	الفقرة 4.4
$p\%$ خسارة الانعراج غير المتعددة للنسبة الزمنية	L_d (dB)	الفقرة 1.4
متوسط تدرج الانكسار في أدنى كيلومتر من الغلاف الجوي، ويساوي عددياً AN كما هو معرف في ITU-R P.452 ولكن بإشارة معاكسة	N_{d1km50} (N-units)	الفقرة 1.4.3
متوسط تدرج الانكسار في أدنى كيلومتر من الغلاف الجوي متعدي لنسبة $p\%$ من السنة المتوسطة. يكون في العادة سالباً كما قد يكون صفراً أو موجباً	N_{d1kmp} (N-units)	الفقرة 1.4.3
تدرج الانكسار في مسافة طولها 65 m تكون المسافة الأدنى للغلاف الجوي، الذي يتم تجاوزه لنسبة 1% من السنة المتوسطة	N_{d65m1} (N-units)	الفقرة 2.4.3
النسبة المئوية من السنة المتوسطة التي لا يتم فيها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية المتنبأ بها، على أن تنحصر في المدى $0,00001\% \leq p \leq 99,99999\%$	p (%)	الفقرة 1.3
النسبة المئوية من السنة المتوسطة التي يتم فيها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية المتنبأ بها، معطاة بالصيغة $100 - p$	q (%)	الفقرة 1.3
القيمة الموجبة لميل المسير	ε_p (mrad)	الفقرة 3.3
طول الموجة	λ (m)	الفقرة 6.3
خط الطول/خط العرض للحجم المشترك للانتثار التروبوسفيري	$\phi_{cve, cvn}$ (degrees)	الفقرة 9.3
خط الطول/خط العرض لمنتصف قطعة المسير من المرسل إلى الحجم المشترك للانتثار التروبوسفيري	$\phi_{tcve, tcvn}$ (degrees)	الفقرة 9.3
خط الطول/خط العرض لمنتصف قطعة المسير من المستقبل إلى الحجم المشترك للانتثار التروبوسفيري	$\phi_{rcve, rcvn}$ (degrees)	الفقرة 9.3
خط الطول/خط العرض لمنتصف المسير	$\phi_{me, mn}$ (degrees)	الفقرة 2.3
الزاوية المقابلة لـ d km عند مركز الأرض الكروية	θ_e (rad)	الفقرة 5.3
زوايا ارتفاع الأفق بالنسبة إلى الخط الأفقي المحلي كما تُرى من المرسل والمستقبل	$\theta_{t, r}$ (mrad)	الفقرة 7.3
زوايا ارتفاع الأفق بالنسبة إلى الخط الأفقي المحلي محصورة بحيث تبقى موجبة (لا تقل عن الصفر)	$\theta_{tpos, rpos}$ (mrad)	الفقرة 7.3
توهين محدد بسطح البحر بسبب الأكسجين	γ_o (dB/km)	الفقرة 10.3
جزء المسير فوق البحر	ω	الفقرة 2.3

(1) masl: أمتار فوق سطح البحر.

1.3 النسب المئوية الزمنية المحدودة

يُسمح للنسبة المئوية من السنة المتوسطة التي لا يتم خلالها تجاوز الخسارة المتنبأ بها، T_{pc} في الجدول 1، بأن تتراوح من 0% إلى 100%. أما قيمة النسبة المئوية فمحدودة بحيث تبقى ضمن المدى المتراوح من 0,00001% إلى 99,99999%.

النسبة المئوية التي لا يتم فيها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية:

$$(2) \quad p = T_{pc} + 0.00001 \left(\frac{50 - T_{pc}}{50} \right) \quad \%$$

النسبة المئوية التي يتم فيها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية:

$$(3) \quad q = 100 - p \quad \%$$

2.3 طول المسير، والنقاط الوسيطة، وجزء المسير فوق البحر

يعطى طول المسير بالكيلومتر بواسطة المسافة الأخيرة في المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية، d_n ، على النحو الوارد وصفه في الفقرة 1.2. ومن السهل إعطاء المسافة برمز لا يحمل مؤشراً سفلياً:

$$(4) \quad d = d_n \quad \text{km}$$

احسب خط الطول وخط العرض عند منتصف المسير، ϕ_{mn} و ϕ_{me} ، وذلك انطلاقاً من خطي الطول وخطي العرض عند المرسل والمستقبل، كما هو وارد في الجدول 3، باستخدام طريقة مسير الدائرة الكبرى الواردة في المرفق H ووضع $d_{0.5} = d_{pnt}$ في المعادلة (7.H). وتلزم عدة معلمات مناخية لهذا الموقع، على النحو المشروح أدناه.

احسب ارتفاع الأرض فوق مستوى سطح البحر عند منتصف المظهر الجانبي طبقاً للطقس، لعدد نقاط المظهر الجانبي، n الفردية أو المزدوجة:

$$(5a) \quad h_{mid} = h_{0.5(n+1)} \quad n \text{ odd} \quad \text{masl}$$

$$(5b) \quad h_{mid} = 0.5(h_{0.5n} + h_{0.5n+1}) \quad n \text{ even} \quad \text{masl}$$

حدد جزء المسير فوق البحر، ω ويمكن الحصول على هذا الجزء من خريطة العالم الرقمية لدى الاتحاد الدولي للاتصالات (IDWM). وإذا كان قد تمّ ترميز الصفييف z ، الوارد وصفه في الفقرة 1.2، وفقاً للمناطق الواردة في الجدول 1.D من المرفق D، حيث يكون لقيم z المتجاورة رموز مختلفة، فيُفترض عندئذ بأن تقع الحدود بين المنطقتين في منتصف الطريق بين نقاط المظهر الجانبي المقابلة.

3.3 ارتفاعات الهوائي وميل المسير

يتم حساب ارتفاعي المرسل والمستقبل فوق مستوى البحر انطلاقاً من الارتفاعين الأول والأخير للتضاريس في المظهر الجانبي ومدخلات الارتفاعات فوق سطح الأرض الواردة في الجدول 4.

$$(6a) \quad h_{ts} = h_1 + h_{tg} \quad \text{masl}$$

$$(6b) \quad h_{rs} = h_n + h_{rg} \quad \text{masl}$$

عين الارتفاعين الأدنى والأعلى للهوائي فوق مستوى البحر:

$$(7a) \quad h_{hi} = \max(h_{ts}, h_{rs}) \quad \text{masl}$$

$$(7b) \quad h_{lo} = \min(h_{ts}, h_{rs}) \quad \text{masl}$$

وقد يكون الارتفاعان الأدنى والأعلى للهوائي متماثلين إذا كان $h_{rs} = h_{ts}$.

احسب القيمة الموجبة لميل المسير بواسطة:

$$(8) \quad \varepsilon_p = \frac{h_{hi} - h_{lo}}{d} \quad \text{mrad}$$

4.3 المعلومات المناخية

يمكن استخدام القيم المقيسة للمعلومات المناخية التالية التي تنطبق على المنطقة المعنية إذا ما توفرت. وحين لا تتوفر القياسات المناسبة، يمكن الحصول على المعلومات المتعلقة بخط الطول وخط العرض لمنتصف المسير من ملفات البيانات على النحو الوارد شرحه في الأقسام الفرعية التالية. وقد نُظِّمت الملفات بشكل صفيفات من القيم عند مسافات تباعد ثابتة فيما يتعلق بخط الطول وخط العرض. فيبدأ الصف الأول عند الزاوية 90° شمالاً ويحتوي على المجموعة الكاملة لقيم خط الطول بدءاً من الزاوية 0° شرقاً وحتى 360° شرقاً، حتى ولو وجدت جميعها في القطب الشمالي. أما الخطوط التي تلي ذلك فتوجد في نقطة تبعد أكثر نحو الجنوب حتى نصل إلى القطب الجنوبي. ولدى الملفات مسافات مباعدة مختلفة بين النقاط، لكن ثمة درجة كافية من الدقة في جميع الحالات لاستخدام الاستكمال الداخلي الثنائي الخطية باعتماد البيانات الأربعة الأقرب إلى النقطة المطلوبة. ولكل ملفات البيانات تلك ملفات تتعلق بخط الطول وخط العرض تقترن بما وتحدد موقع كل نقطة من النقاط.

1.4.3 الانكسارية في المسافة الأدنى البالغ طولها 1 km

تعطي المعلمتان N_{d1km50} و N_{d1kmp} التغير في الانكسارية بالوحدات N ، الذي لا يتم تجاوزه خلال نسبة 50% و $p\%$ من السنة المتوسطة على التوالي، وذلك بدءاً من السطح وحتى علو قدره 1 km فوق سطح الأرض. وتُستخدم هاتان المعلمتان لتفسير انحناء الأشعة في حسابات الانعراج من خلال مفهوم نصف قطر الأرض الفعّال أو انحنائها الفعّال. ويمكن اعتبارهما بمثابة تدرج انكساري متوسط مكانياً في المسافة الأدنى للغلاف الجوي البالغ طولها 1 km.

وتساوي المعلمة N_{d1km50} عددياً القيمة ΔN ، المحددة في التوصيتين ITU-R P.452 و ITU-R P.1812 ولكن بإشارة معاكسة. وتكون ΔN موجبة في شتى المواضع، وبذلك تكون المعلمة N_{d1km50} سالبة في جميع المواضع.

أما المعلمة N_{d1kmp} فقد تكون سالبة أو موجبة، وذلك رهناً بالموقع بقيمة p . وقد تكون أقل من -157 N (بالوحدات N)، وهي القيمة التي تصبح عندها قيمة قطر الأرض الفعّال لا منتهية.

ويتمشى التغير المعتمد في اصطلاح الإشارة مع معلمة مشابهة من حيث المفهوم، N_{d65m1} ، تُستخدم من أجل خبو وتحسين الإشارة للمسيرات المتعددة في جو صافٍ، ويتم الحصول عليها على النحو الوارد شرحه في الفقرة 2.4.3 أدناه.

وتوفر الملفات "DN_Median.txt"، و "DN_SubSlope.txt" و "DN_SupSlope.txt" قيم كل من المعلمتين N_{d1kmp} و N_{d1km50} .

يتم الحصول على N_{d1km50} على النحو التالي:

$$(9) \quad N_{d1km50} = -S_{dN} \quad \text{N-units}$$

حيث S_{dN} هي القيمة المستكملة من الملف "DN_Median.txt" لمنتصف المسير عند ϕ_{me} ، ϕ_{mn} .

ويتم الحصول على N_{d1kmp} على النحو التالي:

$$(10a) \quad N_{d1kmp} = N_{d1km50} + S_{\Delta N \sup} \log(0.02p) \quad \text{N-units} \quad p < 50$$

$$(10b) \quad N_{d1kmp} = N_{d1km50} - S_{\Delta N \sub} \log(0.02q) \quad \text{N-units} \quad p \geq 50$$

حيث:

$S_{\Delta N \sup}$: القيمة المقروءة من الملف "DN_SupSlope.txt" لمنتصف المسير؛

$S_{\Delta N \sub}$: القيمة المأخوذة من الملف "DN_SubSlope.txt" لمنتصف المسير.

2.4.3 الانكسارية في المسافة الأدنى البالغ طولها 65 m

تمثل المعلمة N_{d65m1} تدرج الانكسارية في المسافة الأدنى من الغلاف الجوي البالغ طولها 65 m، التي لا يتم تجاؤها خلال نسبة 1% من السنة المتوسطة. وهي مطابقة للمعلمة dN_1 في التوصية ITU-R P.530.

ويمكن الحصول على المعلمة من N_{d65m1} الملف "dndz_01.txt" لمنتصف المسير. ولدى هذا الملف مباعدة بين النقاط قدرها 1,5 درجة.

3.4.3 معلمات هطول الأمطار

يجب حساب الخبو الناتج عن الأمطار والثلوج الرطبة بالنسبة للمسير الكامل للنموذج الفرعي 1 الوارد في الفقرة 1.4 أدناه، ولقطع المسير من المطراف إلى الحجم المشترك في النموذج الفرعي للانتشار التروبوسفيري في الفقرة 3.4 أدناه. ونتيجة لذلك، تلزم المعلمات المناخية للأمطار لثلاثة مواقع جغرافية مختلفة وذلك من ملفات البيانات على النحو الوارد في الفقرة 2.C من المرفق C.

وترد المواقع الجغرافية المطلوبة في الفقرة 1.4 والفقرة 3.4 أدناه. أما الحسابات الواردة في الفقرة 2.C فهي أولية لكل مسير أو مقطع من مسير. وتُستخدم القيم المحسوبة في كل مرة يستخدم فيها الفقرة 2.C في إجراء تكراري تالٍ للمسير نفسه أو لمقطع المسير نفسه، كما تمت الإشارة إليه في الفقرة 2.C.

5.3 هندسة نصف قطر الأرض الفعّال

يبلغ نصف قطر الأرض المتوسط الفعّال:

$$(11) \quad a_e = \frac{157 R_e}{157 + N_{d1km50}} \quad \text{km}$$

ويبلغ انحناء الأرض الفعّال:

$$(12) \quad c_p = \frac{157 + N_{d1kmp}}{157 R_e} \quad \text{km}^{-1}$$

ومع أن c_p تكون موجبة في الغالب، فقد تكون صفراً أو سالبة كذلك.

يكون نصف قطر الأرض الفعّال المتعدّي لنسبة $p\%$ من الوقت محدوداً بكونه لا منتهياً:

$$(13a) \quad a_p = \frac{1}{c_p} \quad \text{km} \quad \text{if } c_p > 10^{-6}$$

$$(13b) \quad a_p = 10^6 \quad \text{km} \quad \text{otherwise}$$

أما طول المسير المعبر عنه كزاوية مقابلة لـ d km عند مركز نصف قطر الأرض الفعّال فيساوي:

$$(14) \quad \theta_e = \frac{d}{a_e} \quad \text{rad}$$

6.3 طول الموجة

يُحسب طول الموجة على النحو التالي:

$$(15) \quad \lambda = \frac{10^{-9} c}{f} \quad \text{m}$$

7.3 تصنيف المسير ومعلومات أفق المطراف

تكون زوايا ارتفاع المطراف ومسافته لازمة بموجب شروط الانكسارية المتوسطة. وتقرّر الحسابات نفسها ما إذا كان المسير في خط البصر (LoS) أم خارج خط البصر (NLoS).

احسب أعلى زاوية ارتفاع لنقطة وسيطة للمظهر الجانبي، نسبة إلى الخط الأفقي عند المرسل:

$$(16) \quad \theta_{tim} = \max \left(\frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{500 d_i}{a_e} \right) \quad \text{mrad}$$

حيث تعطى h_i و d_i بالمعادلتين (1a) و (1b)، وحيث يتراوح مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $n-1$.

احسب زاوية ارتفاع المستقبل كما تُرى من المرسل، بافتراض وجود مسير في خط البصر:

$$(17) \quad \theta_{tr} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{500 d}{a_e} \quad \text{mrad}$$

ثمة حالتان ينبغي النظر فيهما الآن:

الحالة 1. المسير في خط البصر

إذا كان $\theta_{tim} < \theta_{tr}$ ، يكون المسير في خط البصر. وتؤخذ مسافات المطراف النظرية بالنسبة للنقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمة الانعراج الأكبر، v ، وتؤخذ كل زاوية من زوايا ارتفاع الأفق بوصفها زاوية للمطراف الآخر.

احسب النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمة الانعراج الأكبر:

$$(18) \quad v_{max} = \max \left\{ \left[h_i + \frac{500 d_i (d - d_i)}{a_e} - \frac{h_{ts} (d - d_i) + h_{rs} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002 d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث يتراوح مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $n - 1$.

والآن تعطى مسافات الأفق للمرسل والمستقبل، ومؤشرات المظهر الجانبي لنقاط الأفق المقابلة، بواسطة ما يلي:

$$(19a) \quad d_{lt} = d_{im} \quad \text{km}$$

$$(19b) \quad d_{lr} = d - d_{im} \quad \text{km}$$

$$(19c) \quad i_{lt} = i_m$$

$$(19d) \quad i_{lr} = i_m$$

حيث i_m هو مؤشر المظهر الجانبي الذي يعطي v_{max} في المعادلة (18).

وتعطى زوايا الارتفاع النظرية للمرسل والمستقبل بالنسبة لخطوط الأفق المحلية المقابلة بواسطة ما يلي:

$$(20a) \quad \theta_r = \theta_{tr} \quad \text{mrad}$$

$$(20b) \quad \theta_r = -\theta_{tr} - \frac{1000d}{a_e} \quad \text{mrad}$$

الحالة 2. المسير خارج خط البصر

إذا كان $\theta_{tim} \geq \theta_{tr}$ ، يكون المسير خارج خط البصر. وتُحسب مسافات المطراف الأفقية وزوايا الارتفاع على النحو التالي.

تُعطى مسافات الأفق للمرسل ومؤشرات المظهر الجانبي لنقاط الأفق المقابلة بواسطة ما يلي:

$$(21a) \quad d_{lt} = d_{im} \quad \text{km}$$

$$(21b) \quad i_{lt} = i_m$$

حيث i_m مؤشر المظهر الجانبي الذي يعطي θ_{tim} في المعادلة (16).

وتُعطى زاوية ارتفاع الأفق للمرسل بالنسبة للخط الأفقي المحلي بواسطة:

$$(22) \quad \theta_t = \theta_{tim} \quad \text{mrad}$$

احسب أعلى زاوية ارتفاع لنقطة وسيطة من المظهر الجانبي بالنسبة إلى خط الأفق عند المستقبل:

$$(23) \quad \theta_{rim} = \max \left[\frac{h_i - h_{rs}}{d - d_i} - \frac{500(d - d_i)}{a_e} \right] \quad \text{mrad}$$

حيث تتراوح قيمة مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $n - 1$.

وتُعطى مسافة الأفق للمستقبل ومؤشر المظهر الجانبي لنقطة الأفق بواسطة:

$$(24a) \quad d_{lr} = d - d_{im} \quad \text{km}$$

$$(24b) \quad i_{lr} = i_m$$

حيث i_m هي مؤشر المظهر الجانبي الذي يعطي θ_{rim} في المعادلة (23).
وتعطى زاوية ارتفاع الأفق للمستقبل بالنسبة للخط الأفقي المحلي بواسطة:

$$(25) \quad \theta_r = \theta_{rim} \quad \text{mrad}$$

تابع الإجراء بالنسبة للحالتين

احسب زوايا ارتفاع الأفق المحدودة بكونها موجبة.

$$(26a) \quad \theta_{tpos} = \max(\theta_t, 0) \quad \text{mrad}$$

$$(26b) \quad \theta_{rpos} = \max(\theta_r, 0) \quad \text{mrad}$$

8.3 الارتفاعات الفعالة ومعلمة خشونة المسير

تُحسب الارتفاعات الفعالة للمرسل والمستقبل فوق التضاريس الأرضية بالنسبة لسطح منتظم متناسب مع المظهر الجانبي على النحو الآتي.

احسب القيم الأولية المؤقتة لارتفاعات السطح المنتظم عند طرفي الإرسال والاستقبال للمسار كالتالي:

$$(27) \quad v_1 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})$$

$$(28) \quad v_2 = \sum_{i=2}^n (d_i - d_{i-1})[h_i(2d_i + d_{i-1}) + h_{i-1}(d_i + 2d_{i-1})]$$

$$(29a) \quad h_{stip} = \left(\frac{2v_1 d - v_2}{d^2} \right) \quad \text{masl}$$

$$(29b) \quad h_{srip} = \left(\frac{v_2 - v_1 d}{d^2} \right) \quad \text{masl}$$

تُحسب المعادلات من (30) إلى (33) معلمة الخشونة اللازمة للنموذج غير العادي (الانتشار الموجه وانعكاس الطبقات).

احسب ارتفاع السطح المنتظم بحيث لا يتجاوز مستوى سطح الأرض عند كل من المرسل أو المستقبل.

$$(30a) \quad h_{stipa} = \min(h_{stip}, h_1) \quad \text{masl}$$

$$(30b) \quad h_{sripa} = \min(h_{srip}, h_n) \quad \text{masl}$$

حيث h_1 و h_n ارتفاع الأرض عند المرسل والمستقبل، masl، انظر المعادلة (30b).

ويعطى ميل خط الارتداد بطريقة المربعات الأقل بواسطة m_{ses} :

$$(31) \quad m_{ses} = \frac{h_{sripa} - h_{stipa}}{d} \quad \text{m/km}$$

والآن يُعطى الارتفاعان الفعالان لهوائي الإرسال والاستقبال فوق سطح منتظم كما يلي:

$$(32a) \quad h_{te} = h_{ts} - h_{stip} \quad \text{m}$$

$$(32b) \quad h_{re} = h_{rs} - h_{srip} \quad \text{m}$$

احسب معلمة خشونة المسير بواسطة بالمعادلة:

$$(33) \quad h_m = \max[h_i - (h_{stip} + md_i)] \quad m$$

حيث يأخذ مؤشر المظهر الجانبي i جميع القيم من i_{lt} إلى i_{lr} شاملة لها. معلمة خشونة المسير، h_m والارتفاع الفعلي للهوائي، h_{lea} و h_{rea} المستعملة في المرفق D بالملحق.

والآن يلزم إجراء حسابات أخرى تنطوي على سطح منتظم لنموذج الانعراج. وتحسب المعادلات من (34) إلى (38) الارتفاع الفعلي للهوائي اللازم لنماذج الانعراج الفرعية للأرض الكروية والمظهر الجانبي المنتظم الموصوفة في المرفق A بالملحق.

احسب أعلى ارتفاع للعائق فوق مسير مستقيم من المرسل إلى المستقبل h_{obs} ، وزاويتي ارتفاع الأفق α_{obr} و α_{obt} ، علماً بأنها تستند جميعها إلى هندسة الأرض المسطحة، وفقاً لما يلي:

$$(34a) \quad h_{obs} = \max(H_i) \quad m$$

$$(34b) \quad \alpha_{obt} = \max\left(\frac{H_i}{d_i}\right) \quad mrad$$

$$(34c) \quad \alpha_{obr} = \max\left[\frac{H_i}{(d - d_i)}\right] \quad mrad$$

حيث:

$$(34d) \quad H_i = h_i - \frac{h_{ts}(d - d_i) + h_{rs}d_i}{d} \quad m$$

علماً بأن قيمة مؤشر المظهر الجانبي i تتراوح من 2 إلى $(1 - n)$.

احسب القيم المؤقتة لارتفاعات السطح المنتظم عند طرفي الإرسال والاستقبال للمسير:
إذا كان h_{obs} أقل من الصفر أو يساويه، عندئذ:

$$(35a) \quad h_{st} = h_{stip} \quad masl$$

$$(35b) \quad h_{sr} = h_{srip} \quad masl$$

وإلا فإن:

$$(35c) \quad h_{st} = h_{stip} - h_{obs}g_t \quad masl$$

$$(35d) \quad h_{sr} = h_{srip} - h_{obs}g_r \quad masl$$

حيث:

$$(35e) \quad g_t = \frac{\alpha_{obt}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

$$(35f) \quad g_r = \frac{\alpha_{obr}}{(\alpha_{obt} + \alpha_{obr})}$$

احسب القيم النهائية لارتفاعات السطح المنتظم عند طرفي الإرسال والاستقبال للمسير:
إذا كان h_{st} أكبر من h_1 ، عندئذ:

$$(36a) \quad h_{st} = h_1 \quad masl$$

وإذا كان h_{sr} أكبر من h_n عندئذٍ:

$$(36b) \quad h_{sr} = h_n \quad \text{masl}$$

احسب الارتفاعات الفعلية للهوائي للأرض الكروية والصيغة المنتظمة من نموذج بولينغتون (الموصوف في الفقرتين 2.A و 5.A، على التوالي) كالتالي:

$$(37a) \quad h_{tep} = h_{ts} - h_{st} \quad \text{masl}$$

$$(37b) \quad h_{rep} = h_{rs} - h_{sr} \quad \text{masl}$$

9.3 قطع مسير الانتثار التروبوسفيري

فيما يتعلق بنموذج الانتثار التروبوسفيري الوارد شرحه في المرفق E، احسب أطوال المسير الأفقي من المرسل إلى الحجم المشترك، ومن الحجم المشترك إلى المستقبل:

$$(38a) \quad d_{icv} = \frac{d \tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e) - 0.001(h_{ts} - h_{rs})}{\tan (0.001\theta_{ipos} + 0.5\theta_e) + \tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e)} \quad \text{km}$$

حدّد المسافة d_{icv} بحيث يكون $0 \leq d_{icv} \leq d$

$$(38b) \quad d_{rcv} = d - d_{icv} \quad \text{km}$$

حيث تظهر d و θ_e و θ_{ipos} و θ_{rpos} جميعها في الجدول 4.

احسب خط الطول وخط العرض للحجم المشترك للانتثار التروبوسفيري، φ_{cve} و φ_{cvm} ، انطلاقاً من خطوط الطول وخطوط العرض للمرسل والمستقبل على النحو الوارد في الجدول 1، باستخدام طريقة مسير الدائرة الكبرى للمرفق H ووضع $d_{pnt} = d_{icv}$ في المعادلة (7.H). احسب ارتفاع الحجم المشترك للانتثار التروبوسفيري بواسطة:

$$(39) \quad h_{cv} = h_{ts} + 1000d_{icv} \tan(0.001\theta_{ipos}) + \frac{1000d_{icv}^2}{2a_e} \quad \text{masl}$$

احسب خطوط الطول وخطوط العرض لنقاط المنتصف لقطع المسير من المرسل إلى الحجم المشترك ومن المستقبل إلى الحجم المشترك φ_{icve} ، ويمكن الحصول على تلك القيم باعتماد طريقة مسير الدائرة الكبرى للمرفق H ووضع $d_{pnt} = 0.5 d_{icv}$ في المعادلة (7.H) على التوالي.

10.3 الامتصاص الغازي على المسيرات السطحية

احسب التوهين الخاص بسطح البحر بسبب الأكسجين، γ_o ، بوحدة dB/km، مستخدماً المعادلة (10.F) في الفقرة 6.F من المرفق F. استخدم الطريقة الواردة في الفقرة 2.F من المرفق F لحساب التوهينات الغازية في مسير سطحي بسبب الأكسجين، وتوهينات بخار الماء بوجود المطر وعدم وجود المطر. يعطي ذلك قيماً للكميات A_{osur} و A_{wsur} و A_{wrsur} كما تمّ حسابها بواسطة المعادلات من (2a.F) إلى (2c.F). تعطى التوهينات الغازية الكلية في حالة عدم وجود المطر بواسطة:

$$(40) \quad A_{gsur} = A_{osur} + A_{wsur} \quad \text{dB}$$

وتُستخدم القيم A_{gsur} و A_{wsur} و A_{wrsur} في الفقرة 4.

11.3 الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر

ترد الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر بوحدة dB كدالة في طول المسير D بالكيلومتر على النحو التالي:

$$(41) \quad L_{bfSD}(D) = 92.4 + 20 \log(f) + 20 \log(D) \quad \text{dB}$$

احسب الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر:

$$(42) \quad L_{bfS} = L_{bfSD}(d_{fs}) \quad \text{dB}$$

حيث:

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

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

d : مسافة مسير الدائرة العظمى (km)

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

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

12.3 خسارة الانعراج على حدّ السكين

تعطى خسارة الانعراج على حدّ السكين بوحدة dB كدالة في المعلمة اللابعدية v بواسطة:

$$(43a) \quad J(v) = 6.9 + 20 \log \left[\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right] \quad \text{dB} \quad \text{if } v > -0.78$$

$$(43b) \quad J(v) = 0 \quad \text{dB} \quad \text{otherwise}$$

وتُستخدم الدالة $J(v)$ في المرفقين A و G بهذا الملحق.

4 الحصول على تنبؤات للنماذج الفرعية الرئيسية

تتكون هذه الطريقة من أربعة نماذج فرعية رئيسية تأخذ في الاعتبار مجموعات مختلفة من آليات الانتشار. وترد في المرفق J الطريقة التي تُجمع بها النماذج الفرعية معاً، وبصيغة بيانية في الشكل J.1.2. ويتم جمع النماذج بطريقة تُوضح الترابطات الإحصائية القائمة بين مختلف النماذج الفرعية.

وتلأفياً للمؤشرات السفلية للرموز البالغة التعقيد، يتم ترقية النماذج الفرعية على النحو التالي.

النموذج الفرعي 1. انتشار على مقربة من سطح الأرض، ويتألف من انعراج وتأثيرات الهواء الصافي غير الموجّه وخبو بسبب هطول الأمطار.

النموذج الفرعي 2. انتشار غير مألوف نتيجة الغلاف الجوي الطبقي، ويتألف من الانتشار الموجّه وانعكاس الطبقات.

النموذج الفرعي 3. انتشار عن طريق الاضطراب الجوي، ويتألف من انتشار تروبوسفيري وخبو بسبب هطول الأمطار بالنسبة لمسير الانتشار التروبوسفيري.

النموذج الفرعي 4. انتشار بالتأين المتفرق للطبقة E.

وتُجمع النتائج المتولدة عن هذه النماذج الفرعية على النحو الوارد في الفقرة 5 أدناه.

1.4 النموذج الفرعي 1 الانتشار العادي بالقرب من سطح الأرض

احسب خسارة الانعراج غير المتعددة للنسبة $p\%$ من الزمن، L_d ، كما هو وارد في المرفق A، حيث تُعطى L_d بواسطة المعادلة (1.1.A). استخدم الطريقة الواردة في الفقرة 2.B من المرفق B لحساب التجاوز النظري لانعدام الخبو في الهواء الصافي لنسبة مئوية زمنية Q_{0ca} ، المستخدم في إطار الطريقة المتعلقة بالهواء الصافي الواردة في الفقرة 4.B.

وتشير المعلمة A_1 إلى الخبو بالديسيل (dB) الناجم عن الهواء الصافي وهطول الأمطار/الثلوج الرطبة مجتمعين. وتُعامل التحسينات في الهواء الصافي بوصفها خبواً تكون المعلمة A_1 الخاصة بها سالبة.

قم بإجراء الحسابات الأولية للأمطار/الثلوج الرطبة في الفقرة 2.C باعتماد المدخلات التالية:

$$(44a) \quad \varphi_e = \varphi_{me} \quad \text{degrees}$$

$$(44b) \quad \varphi_n = \varphi_{mn} \quad \text{degrees}$$

$$(44c) \quad h_{rainlo} = h_{lo} \quad \text{masl}$$

$$(44d) \quad h_{rainhi} = h_{hi} \quad \text{masl}$$

$$(44e) \quad d_{rain} = d \quad \text{km}$$

احسب المعلمة A_1 بواسطة:

$$(45) \quad A_1 = A_{iter}(q) \quad \text{dB}$$

حيث تمثل $A_{iter}(q)$ الدالة التكرارية الوارد وصفها في المرفق I.

وفي المرفق I، تُستخدم الدالة $A_{iter}(q)$ دالة $Q_{iter}(A)$ تتخذ فيها A قيمةً تجريبية. وتُعرف الدالة $Q_{iter}(A)$ بالنسبة للخبو في الهواء الصافي/هطول الأمطار مجتمعين بواسطة:

$$(46) \quad Q_{iter}(A) = Q_{rain}(A) \left(\frac{Q_{0ra}}{100} \right) + Q_{caf}(A) \left(1 - \frac{Q_{0ra}}{100} \right)$$

حيث يرد تعريف $Q_{caf}(A)$ في الفقرة 4.B، وتُعرف الدالة $Q_{rain}(A)$ في الفقرة 3.C. أما Q_{0ra} فهي كما تم حسابها في الحسابات الأولية السابقة في الفقرة 2.C.

احسب الخسارة الأساسية للإرسال للنموذج الفرعي 1 غير المتعددة لنسبة زمنية $p\%$:

$$(47) \quad L_{bm1} = L_{bfs} + L_d + A_1 + F_{wvr}(A_{wrsur} - A_{wsur}) + A_{gsur} \quad \text{dB}$$

حيث تظهر في الجدول 4 الخسارة الأساسية للإرسال في الفضاء الحر، L_{bfs} ، والجزء الإضافي اللازم لتوهين بخار الماء، F_{wvr} ، والتوهين الغازي الكلي في حالة عدم وجود المطر A_{gsur} ، والتوهينات الغازية الناجمة عن بخار الماء في حالة وجود المطر وعدم وجوده A_{wsur} و A_{wrsur} .

2.4 النموذج الفرعي 2 الانتشار غير المألوف

استخدم الطريقة المقدمة في المرفق D لحساب الخسارة الأساسية للإرسال غير المتعددة لنسبة زمنية $p\%$ نتيجة الانتشار غير المألوف، L_{bm2} :

$$(48) \quad L_{bm2} = L_{ba} + A_{gsur} \quad \text{dB}$$

حيث تُعطى L_{ba} بالمعادلة (25.D)، علماً بأن التوهينات الغازية الكلية لمسير سطحي، A_{gsur} ، ترد في الجدول 4.

3.4 النموذج الفرعي 3 الانتشار بالانتشار التروبوسفيري

استخدم الطريقة الواردة في المرفق E لحساب خسارة الإرسال الأساسية للانتشار التروبوسفيري L_{bs} كما تعطى المعادلتان (16.E) و (17.E).

احسب التوهين A_2 المتعدى لنسبة زمنية $q\%$ فوق مسار الانتشار التروبوسفيري.

قم بإجراء الحسابات الأولية للأمطار/الثلوج الرطبة في الفقرة 2.C من المرفق C لمقطع المسير من المرسل إلى الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري باعتماد المدخلات التالية:

(49a)	$\varphi_e = \varphi_{tcve}$	degrees
(49b)	$\varphi_n = \varphi_{tcvn}$	degrees
(49c)	$h_{rainlo} = h_{ts}$	masl
(49d)	$h_{rainhi} = h_{cv}$	masl
(49e)	$d_{rain} = d_{tcv}$	km

احتفظ بقيمة F_{wvr} المحسوبة في الفقرة 2.C وسمها F_{wvrx} :

احسب الخبو الناجم عن الجو الصافي/هطول الأمطار لمقطع المسير من المرسل إلى الحجم المشترك مستخدماً:

$$(50) \quad A_{2t} = A_{iter}(q) \quad \text{dB}$$

قم بإجراء الحسابات الأولية للأمطار/الثلوج الرطبة في الفقرة 2.C من المرفق C لمقطع المسير من المستقبل إلى الحجم المشترك باعتماد المدخلات التالية:

(51a)	$\varphi_e = \varphi_{rcve}$	degrees
(51b)	$\varphi_n = \varphi_{rcvn}$	degrees
(51c)	$h_{rainlo} = h_{rs}$	masl
(51d)	$h_{rainhi} = h_{cv}$	masl
(51e)	$d_{rain} = d_{rcv}$	km

احتفظ بقيمة F_{wvr} المحسوبة في الفقرة 2.C وسمها F_{wvrx} :

احسب الخبو الناجم عن الجو الصافي/هطول الأمطار لمقطع المسير من المستقبل إلى الحجم المشترك مستخدماً:

$$(52) \quad A_{2r} = A_{iter}(q) \quad \text{dB}$$

وبالنسبة لمقطعي المسير، تُعتبر الدالة $A_{iter}(q)$ الدالة التكرارية الواردة في المرفق I.

وفي المرفق I، تُستخدم الدالة $A_{iter}(q)$ الدالة $Q_{iter}(A)$ حيث تتخذ A قيمةً تجريبية. أما الدالة $Q_{iter}(A)$ فيتم تحديدها لمقاطع مسير الانتشار التروبوسفيري بما يلي:

$$(53) \quad Q_{iter}(A) = Q_{rain}(A) \left(\frac{Q_{0ra}}{100} \right) + Q_{caftropo}(A) \left(1 - \frac{Q_{0ra}}{100} \right)$$

حيث يرد تعريف $Q_{caftropo}(A)$ في الفقرة 5.B من المرفق B، بينما تُعرّف الدالة $Q_{rain}(A)$ في الفقرة 3.C. أما Q_{0ra} فهي كما تم حسابها في الحسابات الأولية السابقة في الفقرة 2.C.

والآن تعطى A_2 بواسطة:

$$(54) \quad A_2 = \frac{A_{2t}(1 + 0.018d_{tcv}) + A_{2r}(1 + 0.018d_{rcv})}{1 + 0.018d} \quad \text{dB}$$

استخدم الطريقة المقدمة في الفقرة 3.F من المرفق F لحساب التوهينات الغازية بسبب الأكسجين، وتوهينات بخار الماء بوجود المطر وبعدهم وجوده، بالنسبة لمسیر الانتثار التروبوسفيري. يعطي ذلك قيم A_{ws} و A_{os} و A_{ws} كما تم حسابها بواسطة المعادلات من (5a.F) إلى (5c.F).

أما التوهينات الغازية الكلية في حالة عدم وجود المطر فتدّر بواسطة:

$$(55) \quad A_{gs} = A_{os} + A_{ws} \quad \text{dB}$$

احسب خسارة الإرسال الأساسية للنموذج الفرعي 3 غير المتعددة لنسبة $p\%$ من الزمن:

$$(56) \quad L_{bm3} = L_{bs} + A_2 + 0.5(F_{wvrrx} + F_{wvrrx})(A_{ws} - A_{ws}) + A_{gs} \quad \text{dB}$$

حيث F_{wvrrx} و F_{wvrrx} هما القيمتان المحفوظتان لمقطعي مسير المرسل والمستقبل كما ورد وصفهما بعد المعادلتين (49e) و (51e).

4.4 النموذج الفرعي 4 الانتشار بالتأين المتفرق للطبقة E

قد يكون الانتشار بالتأين المتفرق للطبقة E ملحوظاً للمسیرات الطويلة والترددات المنخفضة.

استخدم الطريقة الواردة في المرفق G لحساب خسارة الإرسال الأساسية غير المتعددة لنسبة زمنية $p\%$ نتيجة الانتشار بالتأين المتفرق للطبقة E، L_{bm4} :

$$(57) \quad L_{bm4} = L_{be} \quad \text{dB}$$

حيث تعطى L_{be} بالمعادلة (17.G). لاحظ أن L_{be} قد تكون كبيرة جداً عند الترددات العالية و/أو بالنسبة للمسیرات القصيرة.

5 جمع نتائج النماذج الفرعية

تضمّ النماذج الفرعية معاً كما ورد شرحه في المرفق J من أجل توضيح الترابطات الإحصائية القائمة بينها.

فالنموذجان الفرعيان 1 و 2 مترابطان إلى حد كبير، ويتم الجمع بينهما من ناحية القوة عند النسبة الزمنية T_{pc} كما يرد شرحه في الفقرة 1.5.

أما النموذجان الفرعيان 3 و 4 وجمع النموذجين الفرعيين 1 و 2 فليست مترابطة بشكل كبير. ومن أجل الحصول على نتيجة صحيحة إحصائياً عند النسبة الزمنية T_{pc} للنماذج الفرعية غير المترابطة، تدعو الحاجة عموماً إلى حساب التوزيعات الكلية للنماذج الفرعية من 0% إلى 100% وجمعها معاً باعتماد طريقة مونت كارلو على سبيل المثال.

ويرد في هذا القسم وصف طريقتين لجمع النماذج الفرعية. فعندما تكون خسارة الإرسال الأساسية مطلوبة بالنسبة لقيمة واحدة أو لعدد قليل من قيم T_{pc} ويتعذر تبرير الكلفة الحسابية للقيام أولاً بحساب التوزيعات الكاملة، يتعين عندئذ استخدام الطريقة الواردة في الفقرة 2.5، مما يعطي قيمة تقريبية للإحصاءات غير المترابطة بأسلوب بسيط، كما هو وارد في المرفق J.

ويوجز القسم الفرعي 3.5 الإجراء اللازم لنمذجة الإحصاءات غير المترابطة بشكل صائب حين يُستخدم نموذج الانتشار الواسع المدى (WRPM) ضمن نظام للمحاكاة باعتماد طرائق مونت كارلو.

وتُعطى خسارة الإرسال الأساسية غير المتعددة للفترة الزمنية T_{pc} بواسطة L_b .

ويتم في الأقسام الفرعية التالية إدخال المعلمة L_m لمعالجة مسألة عددية محتملة بحثت في نهاية المرفق J.

1.5 جمع النموذجين الفرعيين 1 و 2

تتربط آليات النموذجين الفرعيين 1 و 2 وتجمع معاً لإعطاء خسارة الإرسال الأساسية L_{bm12} حدد أولاً L_m بالقيمة الأصغر لخسارتي الإرسال الأساسيتين L_{bm1} و L_{bm2} ، المحسوبتين في الفقرتين 1.4 و 2.4 أعلاه. وعندئذٍ تعطى L_{bm12} بالصيغة:

$$(58) \quad L_{bm12} = L_m - 10 \log \left[10^{-0.1(L_{bm1}-L_m)} + 10^{-0.1(L_{bm2}-L_m)} \right] \quad \text{dB}$$

2.5 جمع النماذج الفرعية 1 + 2 و 3 و 4

إن آليات النموذجين الفرعيين 3 و 4 غير مترابطة مع بعضها ومع مجموعة النموذجين الفرعيين 1 و 2. وتجمع خسارات الإرسال الأساسية الثلاث تلك معاً لتعطي L_b بطريقة تعمل على تقريب الإحصاءات المجمعة. حدد أولاً L_m بالقيمة الأصغر لخسارات الإرسال الأساسية الثلاث L_{bm12} و L_{bm3} و L_{bm4} ، المحسوبة في الفقرات 1.5 و 3.4 و 4.4 أعلاه. وعندئذٍ تعطى L_b بالصيغة التالية:

$$(59) \quad L_b = L_m - 5 \log \left[10^{-0.2(L_{bm12}-L_m)} + 10^{-0.2(L_{bm3}-L_m)} + 10^{-0.2(L_{bm4}-L_m)} \right] \quad \text{dB}$$

3.5 جمع النماذج الفرعية ضمن نظام للمحاكاة باعتماد طريقة مونت كارلو

يمكن بشكل سليم نمذجة الإحصاءات غير المترابطة بين النموذجين الفرعيين 3 و 4 ومجموعة النموذجين الفرعيين 1 و 2 ضمن إطار طريقة مونت كارلو. وترد الطريقة هنا بشكل موجز فقط نظراً لأن التفاصيل تعتمد على كيفية تنفيذ طريقة مونت كارلو.

ومن الضروري، عند كل عملية تكرار لطريقة مونت كارلو، الحصول على قيم خسارات الإرسال الأساسية L_{bm12} و L_{bm3} و L_{bm4} عند قيم مستقلة عن بعضها للنسبة الزمنية T_{pc} . ومعنى آخر فإن القيم $L_{bm12}(T_{pc1})$ و $L_{bm3}(T_{pc2})$ و $L_{bm4}(T_{pc3})$ يجب أن تُحسب حين تكون T_{pc1} و T_{pc2} و T_{pc3} قيماً مستقلة إحصائياً ومتولدة عشوائياً في المدى 0-100%. ومن ثمَّ تُجمع الخسارات بجمع القوى للحصول على خسارة الإرسال الأساسية الكلية، L_b . حدد أولاً L_m بالقيمة الأصغر لخسارات الإرسال الأساسية الثلاث، L_{bm12} و L_{bm3} و L_{bm4} . وعندئذٍ تعطى L_b بالصيغة التالية:

$$(60) \quad L_b = L_m - 10 \log \left[10^{-0.1(L_{bm12}-L_m)} + 10^{-0.1(L_{bm3}-L_m)} + 10^{-0.1(L_{bm4}-L_m)} \right] \quad \text{dB}$$

وتتمثل الطريقة المباشرة الأبسط للحصول على نتائج النماذج الفرعية في تنفيذ النموذج الكامل للانتشار الواسع المدى (WRPM) ثلاث مرات لكل عملية تكرار في طريقة مونت كارلو، مما يسمح بالاحتفاظ بنتيجة مختلفة للنموذج الفرعي في كل مرة من المرات. ويمكن تحسين الكفاءة الحسابية عن طريق ملاحظة أن حسابات النماذج الفرعية في الفقرة 4 مستقلة عن بعضها البعض بحيث يمكن حساب النموذج الفرعي المطلوب فقط. ويمكن إضافة إلى ذلك تحسين الحسابات الأولية الواردة في الفقرة 3 إلى حدها الأمثل: إذ لا يتطلب كل نموذج من النماذج الفرعية كل تلك الحسابات ويُعتبر الكثير من الحسابات مستقلاً عن T_{pc} .

المرفق A

خسارة الانعراج

1.A مقدمة

تُحسب خسارة الانعراج L_d (dB) غير المتعدّاة لنسبة زمنية $p\%$ كما يلي:

$$(1.A) \quad L_d = L_{dba} + \max\{L_{dsph} - L_{dbs}, 0\} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{dsph} : خسارة الانعراج على أرض كروية، كما تم حسابها في الفقرة 2.A، الذي يستخدم بدوره الفقرة 3.A

L_{dba} : خسارة انعراج بولنغتون للمظهر الجانبي للمسير الفعلي، كما تم حسابها في الفقرة 4.A

L_{dbs} : خسارة انعراج بولنغتون للمظهر الجانبي لمسير منتظم، كما تم حسابها في الفقرة 5.A.

2.A خسارة الانعراج على أرض كروية

تُحسب خسارة الانعراج على أرض كروية، L_{dsph} ، غير المتعدّاة لنسبة زمنية $p\%$ ، على النحو التالي:

احسب المسافة الهامشية لمسير منتظم في خط البصر:

$$(2.A) \quad d_{los} = \sqrt{2a_p} \left(\sqrt{0.001h_{tep}} + \sqrt{0.001h_{rep}} \right) \quad \text{km}$$

إذا كانت $d \geq d_{los}$ ، احسب خسارة الانعراج مستخدماً الطريقة الواردة في الفقرة 3.A أدناه مع $a_{dft} = a_p$ لإعطاء L_{dft} ، وحدد L_{dsph} بحيث تساوي L_{dft} . ولا لزوم لإجراء حسابات إضافية للانعراج على أرض كروية.

وفي الحالات الأخرى تابع على النحو التالي:

احسب أصغر ارتفاع للخلوص بين مسير الأرض المنحنية والشعاع بين الهوائيات، h_{sph} ، ويعطى بواسطة:

$$(3.A) \quad h_{sph} = \frac{\left(h_{tep} - 500 \frac{d_1^2}{a_p} \right) d_2 + \left(h_{rep} - 500 \frac{d_2^2}{a_p} \right) d_1}{d} \quad \text{m}$$

حيث:

$$(3a.A) \quad d_1 = \frac{d}{2} (1 + b_{sph}) \quad \text{km}$$

$$(3b.A) \quad d_2 = d - d_1 \quad \text{km}$$

$$(3c.A) \quad b_{sph} = 2 \sqrt{\frac{m_{sph} + 1}{3m_{sph}}} \cos \left[\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c_{sph}}{2} \sqrt{\frac{3m_{sph}}{(m_{sph} + 1)^3}} \right) \right]$$

حيث تُعطى زاوية الدالة \arccos بالراديان.

$$(3d.A) \quad c_{sph} = \frac{h_{tep} - h_{rep}}{h_{tep} + h_{rep}}$$

$$(3e.A) \quad m_{sph} = \frac{250d^2}{a_p(h_{tep} + h_{rep})}$$

احسب الخلوص المطلوب لخسارة انعراج قدرها صفر، h_{req} ، ويعطى بواسطة:

$$(4.A) \quad h_{req} = 17.456 \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}} \text{ m}$$

فيذا كان $h_{sph} > h_{req}$ ، تكون خسارة الانعراج على أرض كروية، L_{dsph} ، مساوية للصفر. ولا لزوم لإجراء حسابات إضافية للانعراج على أرض كروية.

وفي الحالات الأخرى تابع على النحو التالي:

احسب نصف قُطر الأرض الفعّال المعدّل، a_{em} ، الذي يعطي خط بصر هامشي عند المسافة d المعطاة بالصيغة:

$$(5.A) \quad a_{em} = 500 \left(\frac{d}{\sqrt{h_{tep}} + \sqrt{h_{rep}}} \right)^2 \text{ km}$$

استخدم الطريقة الواردة في الفقرة 3.A مع $a_{dft} = a_{em}$ لإعطاء L_{dft} .

فيذا كانت L_{dft} سالبة، تكون خسارة الانعراج على أرض كروية، L_{dsph} ، مساوية للصفر، ولا لزوم لإجراء حسابات إضافية للانعراج على أرض كروية.

وفي الحالات الأخرى تابع على النحو التالي:

احسب خسارة الانعراج على أرض كروية بطريقة الاستكمال الداخلي:

$$(6.A) \quad L_{dsph} = \left(1 - \frac{h_{sph}}{h_{req}} \right) L_{dft}$$

3.A الحد الأول لخسارة الانعراج على أرض كروية

يقدم هذا القسم الفرعي طريقة لحساب الانعراج على أرض كروية باستخدام الحد الأول فقط في سلسلة المتبقيات. وهي تشكل جزءاً من طريقة الانعراج الكلي الوارد شرحها في الفقرة 2.A أعلاه والتي تعطي الحد الأول لخسارة الانعراج L_{dft} من أجل قيمة معينة من نصف قُطر الأرض الفعّال a_{dft} ويرد تحديد قيمة a_{dft} المتعين استخدامها في الفقرة 2.A.

ضع $\sigma = \sigma_{land}$ و $\epsilon_r = \epsilon_{rland}$ حيث يظهر كل من σ_{land} و ϵ_{rland} في الجدول 2. احسب L_{dft} مستخدماً المعادلات من (8.A) إلى (14.A) واعط النتيجة الاسم $L_{dftland}$.

ضع $\sigma = \sigma_{sea}$ و $\epsilon_r = \epsilon_{rsea}$ حيث يظهر كل من σ_{sea} و ϵ_{rsea} في الجدول 2.

احسب L_{dft} مستخدماً المعادلات من (8.A) إلى (14.A) واعط النتيجة الاسم L_{dftsea} .

والآن يُعطى الحد الأول لخسارة الانعراج على أرض كروية بما يلي:

$$(7.A) \quad L_{dft} = \omega L_{dftsea} + (1 - \omega) L_{dftland}$$

حيث ω هي النسبة من المسير فوق البحر، وتظهر في الجدول 4.

بداية العمليات الحسابية التي يجب إجراؤها مرتين

العامل المقيس للسماحية السطحية لاستقطاب أفقي ورأسي:

$$(8a.A) \quad K_H = 0.036 (a_{dft} f)^{-1/3} \left[(\epsilon_r - 1)^2 + (18 \sigma / f)^2 \right]^{-1/4} \quad (\text{horizontal})$$

و:

$$(8b.A) \quad K_V = K_H \left[\epsilon_r^2 + (18 \sigma / f)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{vertical})$$

احسب معلمة الاستقطاب الأرضي:

$$(9.A) \quad \beta = \frac{1 + 1.6K^2 + 0.67K^4}{1 + 4.5K^2 + 1.53K^4}$$

حيث K تساوي K_H أو K_V وفقاً لنمط الاستقطاب، انظر T_{pol} في الجدول 1.

المسافة المقيسة:

$$(10.A) \quad X = 21.88 \beta \left(\frac{f}{a_{dft}^2} \right)^{1/3} d$$

الارتفاع المقيس للمرسل والمستقبل:

$$(11a.A) \quad Y_t = 0.9575 \beta \left(\frac{f^2}{a_{dft}} \right)^{1/3} h_{te}$$

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

احسب حد المسافة بواسطة:

$$(12.A) \quad F_X = \begin{cases} 11 + 10 \log(X) - 17.6X & \text{for } X \geq 1.6 \\ -20 \log(X) - 5.6488X^{1.425} & \text{for } X < 1.6 \end{cases}$$

حدد دالة الارتفاع المقيس المعطاة بواسطة:

$$(13.A) \quad G(Y) = \begin{cases} 17.6(B - 1.1)^{0.5} - 5 \log(B - 1.1) - 8 & \text{for } B > 2 \\ 20 \log(B + 0.1B^3) & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث:

$$(13a.A) \quad B = \beta Y$$

حدد $G(Y) \geq 2 + 20 \log K$ بحيث تكون

والآن يعطى الحد الأول لخسارة الانعراج على أرض كروية بما يلي:

$$(14.A) \quad L_{dft} = -F_X - G(Y_t) - G(Y_r) \quad \text{dB}$$

4.A خسارة انعراج بولنغتون للمظهر الجانبي للمسير الفعلي

يتم حساب خسارة انعراج بولنغتون للمظهر الجانبي للمسير الفعلي، L_{dba} ، على النحو التالي:
في المعادلات التالية، تُحسب قيم الميل بالأمتار/الكيلومترات نسبةً إلى خط الأساس الذي يربط مستوى سطح البحر عند المرسل بمستوى سطح البحر عند المستقبل.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات الميل الأكبر في الخط الممتد من المرسل إلى النقطة.

$$(15.A) \quad S_{tim} = \max \left[\frac{h_i + 500 c_p d_i (d - d_i) - h_{ts}}{d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

حيث تتراوح قيمة مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $1 - n$.

احسب ميل الخط من المرسل إلى المستقبل مفترضاً وجود مسار في خط البصر:

$$(16.A) \quad S_{tr} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} \quad \text{m/km}$$

والآن يجب النظر في حالتين.

الحالة 1. المسير في خط البصر لانحناء الأرض الفعّال غير المتعدى خلال النسبة الزمنية $p\%$

إذا كان $S_{tim} < S_{tr}$ ، يكون المسير في خط البصر.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمة الانعراج الأعلى v :

$$(17.A) \quad v_a = \max \left\{ \left[h_i + 500 c_p d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts} (d - d_i) + h_{rs} d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

حيث تتراوح قيمة مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $1 - n$.

وفي هذه الحالة، تُعطى خسارة حد السكين لنقطة بولنغتون بما يلي:

$$(18.A) \quad L_{dbka} = J(v_{a \max}) \quad \text{dB}$$

حيث تُحدد الدالة J بواسطة المعادلة المؤلفة من قسمين (43).

الحالة 2. المسير خارج خط البصر لانحناء الأرض الفعّال غير المتعدى خلال النسبة الزمنية $p\%$

إذا كان $S_{tim} \geq S_{tr}$ ، يكون المسير خارج خط البصر.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات الميل الأكبر في الخط الممتد من المستقبل إلى النقطة.

$$(19.A) \quad S_{rim} = \max \left[\frac{h_i + 500 c_p d_i (d - d_i) - h_{rs}}{d - d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

حيث تتراوح قيمة مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $1 - n$.

احسب المسافة من المرسل إلى نقطة بولنغتون:

$$(20.A) \quad d_b = \frac{h_{rs} - h_{ts} + S_{rim}d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad \text{km}$$

احسب معلمة الانعراج، v_b ، لنقطة بولنغتون:

$$(21.A) \quad v_b = \left[h_{ts} + S_{tim}d_b - \frac{h_{ts}(d - d_b) + h_{rs}d_b}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_b(d - d_b)}}$$

في هذه الحالة، تكون خسارة حد السكين لنقطة بولنغتون كما يلي:

$$(22.A) \quad L_{dbka} = J(v_b) \quad \text{dB}$$

حيث تُحدد الدالة J بواسطة المعادلة المؤلفة من قسمين (43).

أما بالنسبة للكمية L_{dbka} التي تم احتسابها باستخدام إحدى المعادلتين (18.A) أو (22.A)، فإن خسارة الانعراج للمسیر تُعطى الآن بما يلي:

$$(23.A) \quad L_{dba} = L_{dbka} + \left[1 - \exp\left(-\frac{L_{dbka}}{6}\right) \right] (10 + 0.02d) \quad \text{dB}$$

5.A خسارة انعراج بولنغتون لمظهر جانبي وطني لمسیر منتظم

يرد في هذا القسم حساب خسارة انعراج بولنغتون للمظهر الجانبي لمسیر ذي نقاط وسيطة تقع على نفس المسافات التي تكون عليها في المظهر الجانبي للمسیر الفعلي، على أن يتم ضبط جميع الارتفاعات عند الصفر. ويتمثل ارتفاع المرسل والمستقبل فوق هذا المظهر الجانبي بالرمزين h_{rep} و h_{tep} على التوالي.

وتُحسب خسارة الانعراج الناتجة، L_{dbs} ، كما يلي.

في المعادلات التالية تُحسب قيم الميل بالأمتار/الكيلومترات نسبةً إلى خط الأساس الذي يربط مستوى سطح البحر عند المرسل بمستوى سطح البحر عند المستقبل.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات الميل الأكبر للخط الممتد من المرسل إلى النقطة نسبةً إلى الخط المستقيم الذي يصل بين مستويين سطح البحر عند المطارييف.

$$(24.A) \quad S_{tim} = \max \left[\frac{500(d - d_i)}{a_p} - \frac{h_{tep}}{d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

حيث تتراوح قيمة مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $n - 1$.

احسب ميل الخط الواصل بين المرسل والمستقبل مفترضاً وجود مسير في خط البصر:

$$(25.A) \quad S_{tr} = \frac{h_{rep} - h_{tep}}{d} \quad \text{m/km}$$

والآن يجب النظر في حالتين.

الحالة 1. المسير في خط البصر لنصف قطر الأرض الفعّال غير المتعدى خلال النسبة الزمنية $\%p$

إذا كان $S_{tim} < S_{tr}$ ، يكون المسير في خط البصر.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمة الانعراج الأعلى v :

$$(26.A) \quad v_s = \max \left\{ \left[\frac{500d_i(d-d_i)}{a_p} - \frac{h_{rep}(d-d_i) + h_{rep}d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i(d-d_i)}} \right\}$$

يحيث تتراوح قيمة مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $1-n$.

تعطى خسارة انعراج بولنغتون للمظهر الجانبي الوطني للتضاريس الأرضية بما يلي:

$$(27.A) \quad L_{dbks} = J(v_{s \max}) \quad \text{dB}$$

حيث تُحدد الدالة $J(v)$ بواسطة المعادلة المؤلفة من قسمين (43).

الحالة 2. المسير خارج خط البصر بالنسبة لقطر الأرض الفعّال غير المتعدى خلال النسبة الزمنية $\%p$ إذا كان $S_{tim} \geq S_{ir}$ ، يكون المسير خارج خط البصر.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات الميل الأكبر للخط الممتد من المستقبل إلى النقطة.

$$(28.A) \quad S_{rim} = \max \left[\frac{500d_i}{a_p} - \frac{h_{rep}}{d-d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

حيث تتراوح قيمة مؤشر المظهر الجانبي i من 2 إلى $1-n$.

احسب المسافة من المرسل إلى نقطة بولنغتون:

$$(29.A) \quad d_b = \frac{h_{rep} - h_{rep} + S_{rim}d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad \text{km}$$

احسب معلمة الانعراج v_b ، لنقطة بولنغتون:

$$(30.A) \quad v_b = \left[h_{rep} + S_{tim}d_b - \frac{h_{rep}(d-d_b) + h_{rep}d_b}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_b(d-d_b)}}$$

في هذه الحالة، ترد خسارة حد السكين لنقطة بولنغتون لمسير ذي مظهر جانبي منتظم كما يلي:

$$(31.A) \quad L_{dbks} = J(v_b) \quad \text{dB}$$

حيث تُحدد الدالة $J(v)$ بواسطة المعادلة المؤلفة من قسمين (43).

والآن تُعطى خسارة انعراج بولنغتون للمسير المنتظم بما يلي:

$$(32.A) \quad L_{dbs} = L_{dbks} + \left[1 - \exp\left(\frac{-L_{dbks}}{6}\right) \right] (10 + 0.02d) \quad \text{dB}$$

المرفق B

عمليات التحسين والخبو في الجو الصافي

1.B مقدمة

يقدم هذا المرفق طريقة حساب عمليات التحسين والخبو في الجو الصافي. ويقدم القسم 2.B عملية حسابية للكمية Q_{0ca} ذات الصلة بالمناخ، والمتوقفة على المسير، واللازمة للدالة $Q_{caf}(A)$ الوارد تعريفها في القسم 4.B. وقد تُطلب الدالة $Q_{caf}(A)$ عدة مرات للمسير ذاته. وتعطي الدالة $Q_{caf}(A)$ النسبة المئوية للوقت الذي يخلو من الأمطار والذي يتجاوز فيه مستوى الخبو A سوية الإشارة المتوسطة أثناء الأحوال التي تخلو من الأمطار. وتُستخدم الدالة $Q_{caf}(A)$ للمسيرات السطحية. ويحدد القسم 5.B الدالة $Q_{caftropo}(A)$ التي تُستخدم لمسيرات الانتشار التروبوسفيري.

2.B تحديد خصائص النشاط المتعدد المسيرات

يحدد القسم الأول من عملية حساب الخبو المتعدد المسيرات خصائص مستوى النشاط المتعدد المسيرات لمسير معين. وهي عملية حسابية أولية يتعين إتمامها مرة واحدة لمسير وتردد معينين.

والعامل الذي يمثل إحصائيات معدل تناقص الانكسارية الراديوية هو:

$$(1.B) \quad K = 10^{-(4.6 + 0.0027 N_{d65m1})}$$

حيث تمثل N_{d65m1} معلمة تميز مستوى النشاط المتعدد المسيرات لمتنصف المسير. وهي ترد في الجدول 4 ويتم الحصول عليها على النحو الوارد في الفقرة 2.4.3.

وتُحسب النسبة المئوية الزمنية النظرية للخبو الصفري لأسوأ الشهور التي تميز الجزء الخاص بالخبو العميق من التوزيع على النحو الآتي. وتتوقف الطريقة على ما إذا كان المسير في خط البصر أم خارج خط البصر للوقت المتوسط، كما تم تحديد ذلك في الفقرة 7.3.

بالنسبة لمسير في خط البصر:

احسب النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفري نظرياً، Q_{0ca} ، مستخدماً الإجراء الوارد في الفقرة 3.B باعتماد المدخلات التالية:

$$(2a.B) \quad d_{ca} = d \quad \text{km}$$

$$(2b.B) \quad \varepsilon_{ca} = \varepsilon_p \quad \text{mrad}$$

$$(2c.B) \quad h_{ca} = h_{lo} \quad \text{m}$$

حيث تظهر d و ε_p و h_{lo} في الجدول 4 ويرد حسابها في الفقرتين 2.3 و 3.3.

بالنسبة لمسير خارج خط البصر:

في حالة مسير خارج خط البصر، تُحسب قيمة المدة الزمنية للخبو الصفري نظرياً من كل هوائي إلى الأفق الراديوي الخاص به، ويتم اختيار النتيجة الأكبر من بين النتيجتين وذلك على النحو الآتي.

احسب النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفري نظرياً عند طرف المرسل، Q_{0ca} ، مستخدماً الإجراء الوارد في الفقرة 3.B باعتماد المدخلات التالية:

$$(3a.B) \quad d_{ca} = d_{lt} \quad \text{km}$$

$$(3b.B) \quad \varepsilon_{ca} = |\theta_t| \quad \text{mrad}$$

$$(3c.B) \quad h_{ca} = \min(h_{ts}, h_i) \quad \text{with } i = i_{lt} \quad \text{m}$$

حيث تظهر d_{lt} و θ_t و h_{ts} و i_{lt} في الجدول 4.

احسب النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفري نظرياً عند طرف المستقبل، Q_{0car} ، مستخدماً الإجراء الوارد في الفقرة 3.B باعتماد المدخلات التالية:

$$(4a.B) \quad d_{ca} = d_{lr} \quad \text{km}$$

$$(4b.B) \quad \varepsilon_{ca} = |\theta_r| \quad \text{mrad}$$

$$(4c.B) \quad h_{ca} = \min(h_{rs}, h_i) \quad \text{with } i = i_{lr} \quad \text{m}$$

حيث ترد d_{lr} و θ_r و h_{rs} و i_{lr} في الجدول 4 ويتم حسابها في الفقرتين 3.3 و 7.3.

والآن تُعطى النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفري نظرياً للمسار بأكمله بالقيمة الأكبر بين النسبتين الزميتين المرتبطتين بالمرسل والمستقبل:

$$(5.B) \quad Q_{0ca} = \max(Q_{0cat}, Q_{0car}) \quad \%$$

3.B حساب النسبة الزمنية المئوية السنوية للخبو الصفري نظرياً

يتم في هذا القسم حساب النسبة الزمنية السنوية للخبو الصفري نظرياً، Q_{0ca} . وثمة حاجة إلى إجراء العملية الحسابية في الفقرة 2.B إما مرة واحدة أو مرتين، حسب نوع المسير. ويتطلب ذلك قيماً للمدخلات الثلاثة d_{ca} و ε_{ca} و h_{ca} التي يتم تحديدها في كل مرة يتم فيها الرجوع إلى هذا القسم.

احسب النسبة المئوية الزمنية للخبو الصفري نظرياً لأسوأ الشهور:

$$(6.B) \quad q_w = K d_{ca}^{3.1} (1 + \varepsilon_{ca})^{-1.29} f^{0.8} 10^{-0.00089 h_{ca}} \quad \%$$

حيث يتم حساب K في الفقرة 2.B فيما ترد f في الجدول 4.

احسب عامل التحويل المناخي اللوغاريتمي:

$$(7a.B) \quad C_g = 10.5 - 5.6 \log \left[1.1 + |\cos(2\varphi_{mn})|^{0.7} \right] - 2.7 \log(d_{ca}) + 1.7 \log(1 + \varepsilon_{ca}) \quad |\varphi_{mn}| \leq 45^\circ$$

$$(7b.B) \quad C_g = 10.5 - 5.6 \log \left[1.1 - |\cos(2\varphi_{mn})|^{0.7} \right] - 2.7 \log(d_{ca}) + 1.7 \log(1 + \varepsilon_{ca}) \quad \text{otherwise}$$

حيث تمثل φ_{mn} خط العرض لمنتصف المسير وترد في الجدول 4.

وإذا كان $C_g > 10.8$ ، ضع $C_g = 10.8$.

احسب النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفري نظرياً:

$$(8.B) \quad Q_{0ca} = 10^{-0.1C_g} q_w \quad \%$$

4.B النسبة الزمنية التي يتم فيها تجاوز مستوى خبو معين في الهواء الصافي على مسير سطحي

يحدد هذا القسم الدالة $Q_{ca}(A)$ التي تعطي النسبة المئوية لمدة زمنية بدون مطر يتم خلالها تجاوز مستوى خبو معين (بالوحدة dB) يكون أدنى من سوية الإشارة المتوسطة. وتنطبق هذه الطريقة على كل من عمليات الخبو ($A > 0$ ، حين تكون $q < 50\%$) وعمليات

التحسين ($A < 0$)، حين تكون $q > 50\%$ وتُعطى نسبة 50% بالنسبة لسوية إشارة متوسطة ($A = 0$). وربما يلزم إجراء العمليات الحسابية عدة مرات أثناء تنفيذ الطريقة الواردة في الفقرة 1.4 للخبو في الجو الصافي والخبو بسبب هطول الأمطار مجتمعين على مسير سطحي.

وتعتبر قيمة Q_{0ca} كما حُسبت في الفقرة 2.B أعلاه ضرورية لحساب قيمة الدالة $Q_{caf}(A)$. وفيما يتعلق بمسير وتردد معينين، يجب حساب الدالة Q_{0ca} مرة واحدة فقط. ومن ثمّ يمكن استخدام الدالة $Q_{caf}(A)$ العدد اللازم من المرات الوارد في الفقرة 1.4. وحين يكون $A \geq 0$ ، تُعطى الدالة $Q_{caf}(A)$ بما يلي:

$$(9.B) \quad Q_{caf}(A) = 100 \left\{ 1 - \exp \left[-10^{-0.05 q_a A} \ln(2) \right] \right\} \quad \%$$

حيث:

$$(9a.B) \quad q_a = 2 + \left(1 + 0.3 \cdot 10^{-0.05 A} \right) \left(10^{-0.016 A} \right) \left[q_t + 4.3 \left(10^{-0.05 A} + \frac{A}{800} \right) \right]$$

$$(9b.B) \quad q_t = 3.576 - 1.955 \cdot \log(Q_{0ca})$$

وحين يكون $A < 0$ ، تُعطى الدالة $Q_{caf}(A)$ بما يلي:

$$(10.B) \quad Q_{caf}(A) = 100 \exp \left[-10^{0.05 q_e A} \ln(2) \right] \quad \%$$

$$(10a.B) \quad q_e = 8 + \left(1 + 0.3 \cdot 10^{0.05 A} \right) \left(10^{0.035 A} \right) \left[q_s + 12 \left(10^{0.05 A} - \frac{A}{800} \right) \right]$$

$$(10b.B) \quad q_s = -4.05 - 2.35 \log(Q_{0ca})$$

5.B النسبة الزمنية التي يتم خلالها تجاوز مستوى خبو معين في الجو الصافي على مسير انتشار تروبوسفيري

يحدد هذا القسم الدالة $Q_{caftropo}(A)$ التي تعطي النسبة المئوية لمدة زمنية بدون مطر يتم خلالها تجاوز مستوى خبو معين (بالوحدة dB) يكون أدنى من سوية الإشارة المتوسطة. وربما يلزم إجراء العمليات الحسابية عدة مرات أثناء تنفيذ الطريقة الواردة في الفقرة 3.4 للخبو في الجو الصافي والخبو بسبب هطول الأمطار مجتمعين على مسير انتشار تروبوسفيري.

ففي نموذج الانتشار الواسع المدى (WRPM) يُفترض أن تكون عمليات التحسين والخبو في الجو الصافي معدومة على المسيرات المائلة بين المطاريّف والحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري. وبذلك يكون توزيع مستوى الخبو بمثابة دالة درجية:

$$(11a.B) \quad Q_{caftropo}(A) = 100 \quad \% \quad A < 0$$

$$(11b.B) \quad Q_{caftropo}(A) = 0 \quad \% \quad \text{otherwise}$$

ولا حاجة إلى حساب الدالة Q_{0ca} لمسيرات الانتشار التروبوسفيري.

المرفق C

الخبو بسبب هطول الأمطار

1.C مقدمة

يُستخدم إجراء تكراري للجمع بين الخبو بسبب هطول الأمطار والخبو المتعدد المسيرات لمسير سطحي كما ورد في الفقرة 1.4، وللخبو بسبب الأمطار على مقطعي المسير من المطراف إلى الحجم المشترك كما ورد في الفقرة 3.4. وبناءً على ذلك، تُستخدم العمليات الحسابية الواردة في هذا المرفق لثلاثة مسيرات مختلفة، لكل منها معلمات مناخية يتم الحصول عليها بالنسبة لمركز كل مسير.

وتكون الخطوات الأولية الواردة في الفقرة 2.C لازمة قبل استخدام الإجراء التكراري لكل مسير من المسيرات الثلاثة. ويحدد القسم 3.C الدالة $Q_{rain}(A)$ التي تتطلبها دالة التكرار $A_{iter}(q)$ الوارد وصفها في المرفق I وفقاً للآليات كما هو محدد في القسم الفرعي المناسب من الفقرة 4.

2.C الحسابات الأولية

تتطلب الحسابات الأولية المدخلات التالية:

- يُشار هنا إلى خط الطول وخط العرض للحصول على معلمات المناخ المطري بالرمزين φ_n و φ_e .
- يُشار هنا إلى ارتفاعات نهايات المسير من أجل حساب هطول الأمطار بالرمزين h_{rainlo} و h_{rainhi} ، بوحدة masl.
- يُشار إلى طول المسير من أجل العمليات الحسابية الخاصة بالأمطار بالرمز d_{rain} ، بالكيلومتر.

وترد القيم المستخدمة لمعاملات المدخلات الخمسة حيثما يتم الاستشهاد بهذا القسم في الفقرة 1.4 والفقرة 3.4.

احصل على P_{r6} و M_T و β_{rain} من أجل حساب φ_n و φ_e من ملفات البيانات "Esarain_Pr6_v5.txt" و "Esarain_Mt_v5.txt" و "Esarain_Beta_v5.txt"، على التوالي.

احصل على الارتفاع الوسطي للمطر عند خط تساوي درجة الحرارة عند 0° ، h_0 بالكيلومترات فوق مستوى سطح البحر من أجل كل من φ_n و φ_e ، وذلك استناداً إلى ملف البيانات "h0.txt".

احسب الارتفاع الوسطي للمطر، h_R ، بالأمتار فوق مستوى سطح البحر:

$$h_R = 360 + 1000h_0 \quad \text{masl} \quad (1.C)$$

ويتم الأخذ في الاعتبار التغير في ارتفاع المطر طوال سنة متوسطة من خلال التوزيع المتقطع للاحتمالات ضمن خانات من 100 m الوارد في الجدول 1.C.

احسب أعلى ارتفاع للمطر بواسطة ما يلي:

$$h_{Rtop} = h_R + 2400 \quad (2.C)$$

حيث يمثل الثابت 2400 الاختلاف في الارتفاع المقابل لأعلى خانة في توزيع ارتفاعات المطر الوارد في الجدول 1.C، أي من أجل $n = 49$.

ويجب تصنيف المسير بوصفه إما مسيراً خاضعاً لهطول المطر أم مسيراً "بدون مطر". ويُستخدم هذا التصنيف في الفقرة 3.C.

وإذا كان $0 = P_{r6}$ أو $h_{rainlo} \geq h_{Rtop}$ ، يُصنّف المسير على أنه مسير "بدون مطر". وفي هذه الحالة، نضع $0 = F_{wvr}$ و $0 = Q_{0ra}$ ونحذف الحسابات المتبقية في هذا القسم الفرعي. وترد معاني هذه المصطلحات أدناه فيما يتصل بالمعادلتين (4.C) و (13.C).

الجدول 1.C

توزيع الاحتمال لارتفاع المطر

المؤشر n	الارتفاع النسبي بالأمتار H	الاحتمال H	المؤشر n	الارتفاع النسبي بالأمتار H	الاحتمال H
1	2 400–	0,000555	26	100	0,049589
2	2 300–	0,000802	27	200	0,048439
3	2 200–	0,001139	28	300	0,046583
4	2 100–	0,001594	29	400	0,044104
5	2 000–	0,002196	30	500	0,041110
6	1 900–	0,002978	31	600	0,037724
7	1 800–	0,003976	32	700	0,034081
8	1 700–	0,005227	33	800	0,030312
9	1 600–	0,006764	34	900	0,026542
10	1 500–	0,008617	35	1 000	0,022881
11	1 400–	0,010808	36	1 100	0,019419
12	1 300–	0,013346	37	1 200	0,016225
13	1 200–	0,016225	38	1 300	0,013346
14	1 100–	0,019419	39	1 400	0,010808
15	1 000–	0,022881	40	1 500	0,008617
16	900–	0,026542	41	1 600	0,006764
17	800–	0,030312	42	1 700	0,005227
18	700–	0,034081	43	1 800	0,003976
19	600–	0,037724	44	1 900	0,002978
20	500–	0,041110	45	2 000	0,002196
21	400–	0,044104	46	2 100	0,001594
22	300–	0,046583	47	2 200	0,001139
23	200–	0,048439	48	2 300	0,000802
24	100–	0,049589	49	2 400	0,000555
25	0	0,049978			

وإلا يتم تصنيف المسير كمسير "بمطر"، وتكون الحسابات الأولية كما يلي:

احسب معلمتين وسيطتين بواسطة:

$$(3a.C) \quad M_c = \beta_{rain} M_T$$

$$(3b.C) \quad M_s = (1 - \beta_{rain}) M_T$$

احسب النسبة المئوية لسنة متوسطة يهطل فيها المطر:

$$(4.C) \quad Q_{0ra} = P_{r6} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{0.0079 M_s}{P_{r6}} \right) \right\}$$

احسب المعلمات الثلاث التالية لتحديد التوزيع التراكمي لمعدل الأمطار.

$$(5a.C) \quad a_1 = 1.09$$

$$(5b.C) \quad b_1 = \frac{M_c + M_s}{21797 Q_{0ra}}$$

$$(5c.C) \quad c_1 = 26.02 b_1$$

احسب النسبة المئوية الزمنية التقريبية للانتقال بين المقاطع المستقيمة والمنحنية للتوزيع التراكمي لمعدل الأمطار حين يُرسم مقياس لوغاريتمي للنسبة المئوية الزمنية:

$$(6.C) \quad Q_{tran} = Q_{0ra} \exp \left[\frac{a_1 (2b_1 - c_1)}{c_1^2} \right]$$

استخدم الطريقة الواردة في التوصية ITU-R P.838 لحساب معاملات ارتداد المطر k و α بالنسبة للتردد والاستقطاب وميل المسير. وتتطلب العملية الحسابية في التوصية ITU-R P.838 القيم التالية:

f : التردد بالوحدة GHz، الذي يحمل نفس الرمز الوارد في التوصية ITU-R P.838.

زاوية ميل الاستقطاب، التي تحمل الرمز τ في التوصية ITU-R P.838، وتعطى بما يلي:

$$\tau = \text{صفر درجة للاستقطاب الخطي الأفقي}$$

$$\tau = 90 \text{ درجة للاستقطاب الخطي الرأسي.}$$

زاوية ميل المسير التي تحمل الرمز θ في التوصية ITU-R P.838، وتُعطى بموجب ما يلي:

$$(7.C) \quad \varepsilon_{rain} = \frac{0.001 (h_{rainhi} - h_{rainlo})}{d_{rain}} \quad \text{radians}$$

تكون الدوال المثلثية للكميتين τ و θ لازمة للتوصية ITU-R P.838، وبالتالي يجب أن تتوافق وحدات تلك الزوايا مع الدالة المثلثية المتداولة. أما إشارة θ في التوصية ITU-R P.838 فلا أهمية لها، وعليه فمن الآمن استخراج قيمتها من ε_p ، مع الإشارة إلى أنها ترد بوحدة المللي راديان (أجزاء من الألف من الراديان).

تجدر الملاحظة أن الطريقة الواردة في التوصية ITU-R P.838 تصلح فقط للترددات البالغة 1 GHz فما فوق. أما إذا كان التردد أقل من 1 GHz، فعندئذ يجب حساب معاملات الارتداد k_{1GHz} و α_{1GHz} لتردد قدره 1 GHz والحصول على قيم k و α على النحو التالي:

$$(8a.C) \quad k = f k_{1GHz}$$

$$(8b.C) \quad \alpha = \alpha_{1GHz}$$

حدّد طول المسير لحسابات هطول الأمطار وفقاً لما يلي:

$$(9a.C) \quad d_r = \min(d_{rain}, 300)$$

$$(9b.C) \quad d_{rmin} = \max(d_r, 1)$$

احسب معاملات الارتداد المعدلة بواسطة:

$$(10a.C) \quad k_{mod} = 1.763^\alpha k \left[0.6546 \exp(-0.009516 d_{rmin}) + 0.3499 \exp(-0.001182 d_{rmin}) \right]$$

$$(10b.C) \quad \alpha_{mod} = \left(0.753 + \frac{0.197}{d_{rmin}} \right) \alpha + 0.1572 \exp(-0.02268 d_{rmin}) - 0.1594 \exp(-0.0003617 d_{rmin})$$

ويتم تقييم تأثير التوهين غير المألوف في طبقة الذوبان على الخبو الناجم عن هطول الأمطار عن طريق النظر في كل تباعد قدره 100 m من التوزيع الوارد في الجدول 1.C على حدة. وسيتم أثناء هذه العملية تعيين صفيين:

G_m : معامل ضرب التوهين

P_m : الاحتمال الخاص بحالة معينة.

وحيث يتم تعيين هذين الصفيين، فإن كليهما يحتوي على نفس العدد M من القيم. وتعتمد M على هندسة المسير نسبةً إلى طبقة الذوبان ولها قيمة قصوى قدرها 49. ويتم نمذجة طبقة الذوبان بواسطة معامل التوهين Γ المحدد بالمعادلة (15.C). ومن أجل تقييم تأثير ميل المسير، تُقسّم طبقة الذوبان إلى 12 مسافة فاصلة يبلغ المدى العمودي لكل منها 100 m، ويُحسب معامل الضرب المتوسط على المسير، G ، باعتماد الطريقة الواردة في الفقرة 5.C.

ويجري تقييم الصفيين G_m و P_m على النحو الآتي.

تُستهل جميع قيم الاحتمالات P_m بالصفر.

تستهل G_1 بوضع $G_1 = 1$. وليس هذا ضرورياً في العادة، لكنه من المستحسن الاحتراز من حدوث وضع يُصنف فيه المسير باعتباره "مسير مطر"، أما فيما يلي، فتتخذ العروة ب) لكل قيمة من قيم n .

تستهل قيمة المؤشر m للعناصر الأولى للصفيين G و P بما يلي: $m = 1$.

وبالنسبة لكل سطر في الجدول 1.C، ومن أجل n من 1 إلى 49، قم بما يلي:

أ) احسب ارتفاع المطر بموجب ما يلي:

$$h_T = h_R + H_n \quad \text{masl} \quad (11.C)$$

حيث H_n هي مدخل الارتفاع النسبي المقابل في الجدول 1.C.

ب) إذا كان $h_{rainlo} \geq h_T$ ، كرّر بدءاً من أ) للقيمة التالية لـ n .

وإلا فتابع منطلقاً من ج).

ج) إذا كان $h_{rainhi} > h_T - 1200$ ، قم بما يلي:

1' استخدم الطريقة الواردة في الفقرة 5.C لتحديد G_m بمعامل الضرب المتوسط على المسير بالنسبة لهندسة المسير هذا نسبةً إلى طبقة الذوبان؛

2' ضع $P_m = \Pi_n$ مستنداً إلى الجدول 1.C؛

3' إذا كانت $n < 49$ أضف 1 إلى مؤشر الصفي m ؛

4' كرر بدءاً من أ) للقيمة التالية لـ n .

وإلا فتابع منطلقاً من د).

د) قم بتجميع Π_n من الجدول 1.C في P_m ، وضع $G_m = 1$ ، وكرر من أ) للقيمة التالية لـ n .

وفي نهاية العملية أعلاه، حدد عدد القيم في الصفيين G_m و P_m وفقاً لما يلي:

$$M = m \quad (12.C)$$

احسب عاملاً يُستخدم لتقدير تأثير بخار الماء الإضافي في ظل أحوال هطول المطر بموجب ما يلي:

$$F_{wvr} = 0.5 \left[1 + \tanh(R_{wvr}) \right] \sum_{m=1}^M (G_m P_m) \quad (13.C)$$

حيث:

$$(13a.C) \quad R_{wvr} = 6 \left[\frac{\log \left(\frac{Q_{0ra}}{q} \right)}{\log \left(\frac{Q_{0ra}}{Q_{tran}} \right)} \right] - 3$$

إن القيم المحسوبة باستخدام الفقرة 2.C هذا لمسير أو مقطع مسير معين هي القيم التي يجب استخدامها في الفقرة 3.C للإجراء التكراري المقابل. وينطبق ذلك على التصنيف "مسير بمطر" أو "بدون مطر"، علماً بأنه في الحالة المتعلقة بمسیر "بمطر" فإن المسمات a و b و c و d_r و Q_{0ra} و k_{mod} و α_{mod} ، والصيفين G_m و P_m ، وعدد العناصر في G و P تُعطى بواسطة M .

3.C النسبة المئوية من الوقت التي يتم خلالها تجاوز مستوى خبو معين بسبب الأمطار

يحدد هذا القسم الدالة $Q_{rain}(A)$ التي تعطي النسبة المئوية من الوقت التي تهطل فيها الأمطار ويتم خلالها تجاوز التوهين A . ومن أجل تغطية التوزيع الكامل، يتم تضمين القيم السالبة لـ A .

وحيث يكون $A < 0$ تُعطى الدالة $Q_{rain}(A)$ بما يلي:

$$(14a.C) \quad Q_{rain}(A) = 100 \% \quad A < 0$$

أما إذا كان $A \geq 0$ ، فإن النسبة المئوية للزمن التي يتم خلالها تجاوز التوهين A للخبو بسبب المطر تعتمد على ما إذا كان المسير مصنفاً "بدون مطر" أم "بمطر":

$$(14b.C) \quad Q_{rain}(A) = 0 \% \quad \text{non-rain}$$

$$(14c.C) \quad Q_{rain}(A) = 100 \sum_{m=1}^M P_m \exp \left[- \frac{a R_m (b R_m + 1)}{(c R_m + 1)} \right] \% \text{ rain}$$

حيث:

$$(14d.C) \quad R_m = \left(\frac{A}{G_m d_{rlim} k_{mod}} \right)^{\frac{1}{\alpha_{mod}}} \%$$

$$(14e.C) \quad d_{rlim} = \max(d_r, 0.001) \text{ km}$$

حيث تكون المسمات a و b و c و d_r و Q_{0ra} و k_{mod} و α_{mod} ، والصيفان G_m و P_m ، اللذان يحتوي كل منهما على القيم M ، على النحو الذي تمّ حسابها به في الفقرة 2.C بالنسبة للمسیر أو لمقطع المسیر الذي تُستخدم له الطريقة التكرارية المتداولة.

4.C نموذج طبقة الذوبان

يعرّف هذا القسم دالةً تضع نموذجاً للتغيرات في توهين محدد عند ارتفاعات مختلفة داخل طبقة الذوبان. وهي تعطي معامل ضرب التوهين، Γ ، لارتفاع معين نسبةً إلى ارتفاع المطر δh بالأمتار، بموجب ما يلي:

$$(15.C) \quad \Gamma(\delta h) = \begin{cases} 0 & 0 < \delta h \\ \frac{4 \left(1 - e^{\frac{\delta h}{70}} \right)^2}{\left\{ 1 + \left(1 - e^{-\left(\frac{\delta h}{600} \right)^2} \right)^2 \left[4 \left(1 - e^{\frac{\delta h}{70}} \right)^2 - 1 \right] \right\}} & -1200 \leq \delta h \leq 0 \\ 1 & \delta h < -1200 \end{cases}$$

حيث:

$$(15a.C) \quad \delta h = h - h_T \quad (m)$$

h_T : هو ارتفاع المطر (masl)

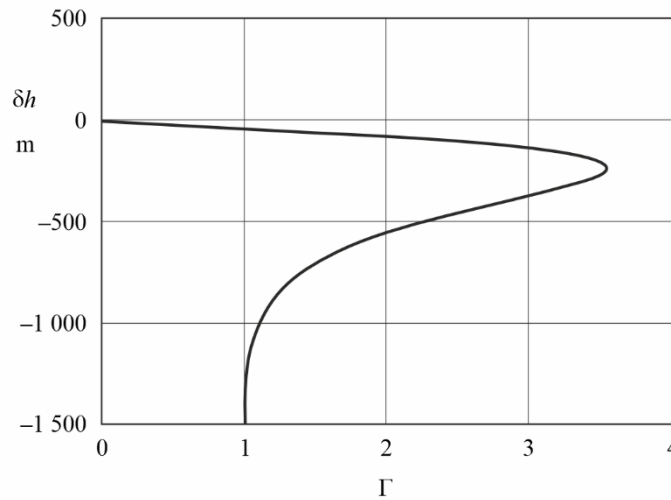
h : هو الارتفاع المعني (masl).

تعطي الصيغة أعلاه انقطاعاً ضئيلاً في معامل التوهين Γ عند $\delta h = -1200$. ويتم تثبيت المعامل Γ عند 1 إذا كان $\delta h < -1200$ تلافياً لإجراء حسابات غير ضرورية علماً بأنه ليس له تأثير يُذكر على النتيجة النهائية.

ويُظهر الشكل 1.C كيفية تغير المعامل Γ مع ارتفاع المطر. ففي الحالة $\delta h \leq -1200$ تتمثل الهواطل في المطر، وتوضع $\Gamma = 1$ لإعطاء التوهين الخاص بالمطر. أما في الحالة $-1200 < \delta h \leq 0$ فإن الهواطل تتكون من جسيمات جليدية بمراحل متدرجة من الذوبان، ويتغير المعامل Γ وفقاً لذلك، ويبلغ ذروته عند المستوى الذي تميل فيه الجسيمات إلى أن تكون أكبر من قطرات المطر لكن بسطوح خارجية تامة الذوبان. وأما في الحالة $0 < \delta h$ ، فإن الهواطل تتكون من جسيمات جليدية جافة تسبب قدراً لا يذكر من التوهين، ويكون المعامل $\Gamma = 0$ وفقاً لذلك.

الشكل 1.C

العامل Γ (الإحداثي السيني) مرسوماً مقابل الارتفاع النسبي δh (الإحداثي الصادي)



5.C معامل الضرب المتوسط على المسير

الشكل 2.C

P.2001-C.2

ويلاحظ أنه على الرغم من أن s_{hi} و s_{lo} كما تحسبان بواسطة المعادلتين (16a.C) و (16b.C) توصفان كمؤشرات شرائح، فإنه قد تكون لهما قيم تقل عن 1 أو تزيد عن 12.

وفي الشرح التالي بنظام خطوة-خطوة، تحدد جميع الاختبارات المشروطة بدلالة مؤشرات الشرائح. ومن شأن ذلك أن يضمن المقارنات اللازمة للقيم الكسرية للارتفاعات، بما في ذلك ما إذا كانت التعادلية مرعية أم لا، المحددة بالمعادلتين أعلاه. ويعتقد أن هذا هو الأسلوب الأبسط للتأكد من أن جميع الحالات مدرجة، غير أن جميع الحالات لا يستثنى بعضها الآخر.

فإذا كانت $s_{lo} > 1$ ، فإن المسير بأكمله يكون فوق طبقة الذوبان. وفي هذه الحالة ضع $G = 0$ ولن تكون هناك حاجة إلى أي حسابات أخرى.

وإذا كانت $s_{hi} < 12$ ، فإن المسير بأكمله يكون عند أو تحت الحافة السفلى لطبقة الذوبان. وفي هذه الحالة ضع $G = 1$ ولن تكون هناك حاجة إلى أي حسابات أخرى.

وإذا كانت $s_{hi} = s_{lo}$ ، فإن الهوائيين يكونان في نفس الشريحة من طبقة الذوبان. وفي هذه الحالة تحسب G باستعمال المعادلة:

$$(17.C) \quad G = \Gamma(0.5[h_{lo} + h_{hi}] - h_T)$$

ولا توجد حاجة إلى مزيد من الحسابات.

وخلاف ذلك، يتعين فحص كل شريحة تضم أي جزء من المسير.

استهل G للاستعمال كمراكم:

$$(18.C) \quad G = 0$$

احسب المدى المطلوب من مؤشرات الشرائح كالتالي:

$$(19a.C) \quad s_{first} = \max(s_{hi}, 1)$$

$$(19b.C) \quad s_{last} = \min(s_{lo}, 12)$$

ولجميع قيم مؤشر الشرائح s من s_{first} إلى s_{last} ، يتم القيام بما يلي:

ابدأ الحساب لكل مؤشر شرائح:

لكل قيمة للمؤشر s ، يجب أن يكون واحد من الشروط التالية سارياً بدقة. وبالنسبة للشرط الساري، استعمل المعادلات ذات الصلة (20a.C) أو (20b.C) أو (21a.C) أو (21b.C) أو (22a.C) أو (22b.C) لحساب اختلاف الارتفاع، δh ، والجزء المقابل من المسير في الشريحة Q .

الشرط 1: $s_{lo} < s$ و $s_{hi} < s$

وفي هذه الحالة تكون الشريحة مُعتزضة كلياً بقسم من المسير:

$$(20a.C) \quad \delta h = 100(0.5 - s)$$

$$(20b.C) \quad Q = \frac{100}{h_{hi} - h_{lo}}$$

الشرط 2: $s_{lo} = s$

في هذه الحالة تحتوي الشريحة على الهوائي الأدنى، عند ارتفاع h_{lo} masl:

$$(21a.C) \quad \delta h = 0.5[(h_{lo} - h_T - 100(s - 1))]$$

$$(21b.C) \quad Q = \frac{h_T - 100(s - 1) - h_{lo}}{h_{hi} - h_{lo}}$$

الشرط 3: $s_{hi} = s$

في هذه الحالة تحتوي الشريحة على الهوائي الأعلى، عند ارتفاع h_{hi} masl:

$$(22a.C) \quad \delta h = 0.5(h_{hi} - h_T - 100s)$$

$$(22b.C) \quad Q = \frac{h_{hi} - (h_T - 100 s)}{h_{hi} - h_{lo}}$$

لاحظ أن جميع قيم δh المأخوذة من المعادلات (20a.C) إلى (22a.C) يجب أن تكون سالبة. وبالنسبة إلى δh المحسوبة في ظل أي من الشروط الثلاثة السابقة، يحسب المضاعف المقابل.

$$(23.C) \quad \Gamma_{slice} = \Gamma(\delta h)$$

حيث يعرف Γ بدلالة δh بالمعادلة (15.C).

راكم المضاعف لهذه الشريحة:

$$(24.C) \quad G = G + Q \cdot \Gamma_{slice}$$

نهاية الحساب لكل مؤشر شرائح:

بعد الانتهاء من الحسابات أعلاه لكل مؤشر شرائح، إذا كان الهوائي الأدنى تحت طبقة الذوبان، يجب إضافة هامش آخر إلى G_{sum} . ويحسب هذا الهامش كالتالي:

إذا كان $12 < s_{lo}$

يتحصل على جزء المسير الواقع تحت الطبقة كالتالي:

$$(25.C) \quad Q = \frac{h_T - 1200 - h_{lo}}{h_{hi} - h_{lo}}$$

وحيث إن المضاعف Γ تحت الطبقة بمقدار 1,0، فإنه ينبغي زيادة G طبقاً للعلاقة التالية:

$$(26.C) \quad G = G + Q$$

والآن أصبحت قيمة G مساوية للقيمة المطلوبة لمعامل المسير المتوسط.

المرفق D

نموذج الانعكاس غير المألوف للطبقات

تُحسب خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالانتشار غير المألوف على النحو الوارد في الأقسام التالية.

1.D تحديد خواص المناطق المناخية الراديوية المهيمنة على المسير

احسب مسافتين تعطيان أطول قسمين متواصلين للمسير يمران عبر المناطق المناخية الراديوية التالية:

d_{lm} : القسم المتواصل الأرضي (الداخلي أو الساحلي) الأطول من المسير (km)؛

d_{lm} : القسم الداخلي الأطول من المسير (km).

ويصف الجدول 1.D المناطق المناخية الراديوية اللازمة للتصنيف أعلاه.

الجدول 1.D

المناطق المناخية الراديوية

نوع المنطقة	الرمز	التعريف
أراض ساحلية	A1	الأراضي الساحلية والشواطئ، أي الأراضي المجاورة للبحر حتى ارتفاع 100 m نسبة إلى متوسط مستوى سطح البحر أو الماء، على أن يكون محصوراً في مسافة قدرها 50 km من أقرب منطقة بحرية. وعند عدم توفر بيانات دقيقة تتعلق بالمسافة 100 m، تُعتمد قيمة تقريبية، أي يجوز استخدام مسافة قدرها 300 قدم
داخلية	A2	جميع الأراضي، خلاف تلك الساحلية أو الشواطئ المعرفة بوصفها "أراض ساحلية" أعلاه
بحرية	B	البحار والمحيطات والكتل المائية الكبيرة الأخرى (أي تلك التي تغطي دائرة لا يقل قطرها عن 100 km)

الكتل المائية الداخلية الكبيرة

تُعرّف الكتلة المائية الداخلية "الكبيرة"، التي تُعتبر واقعة في المنطقة B، على أنها كتلة تبلغ مساحتها 7 800 km² على الأقل مع استثناء مساحات الأنهر. ويجب تضمين الجزر الموجودة داخل الكتل المائية هذه بوصفها مياه داخل العمليات الحسابية لهذه المنطقة إذا كان أكثر من 90% من مساحة أراضيها لا يعلو أكثر من 100 m فوق متوسط مستوى سطح الماء. أما الجزر التي لا تفي بهذه المعايير فيجب تصنيفها بوصفها أراضي برية (يابسة) لأغراض الحسابات المتعلقة بالمساحات المائية.

مناطق البحيرات الداخلية أو المناطق الرطبة الكبيرة

يُطلق على المناطق الداخلية الكبيرة التي تزيد مساحتها على 7 800 km² وتحتوي على الكثير من البحيرات الصغيرة أو على شبكة من الأنهر اسم المناطق "الساحلية" التابعة للمنطقة A1 من قبل الإدارات المعنية إذا كانت نسبة 50% من مساحتها مائية وكان أكثر من 90% من أراضيها لا يعلو أكثر من 100 m فوق متوسط مستوى سطح الماء.

ومن الصعب تحديد المناطق المناخية العائدة للمنطقة A1 والكتل المائية الداخلية الكبيرة ومناطق البحيرات الداخلية والمناطق الرطبة بطريقة لا لبس فيها. وبناءً على ذلك يُطلب إلى الإدارات المعنية القيام بتسجيل تلك المناطق الواقعة ضمن تخومها الإقليمية، والتي ترغب في تعريفها بوصفها تنتمي إلى فئة من تلك الفئات، لدى مكتب الاتصالات الراديوية (BR) للاتحاد الدولي للاتصالات. وفي حال عدم وجود معلومات مسجلة تناقض لذلك، تُعتبر جميع مناطق الأراضي بأنها مناطق تنتمي للمنطقة A2.

وتحقيقاً للحد الأقصى من اتساق النتائج فيما بين الإدارات، يُوصى بأن يتم استناد الحسابات التي يشملها هذا الإجراء إلى خريطة العالم الرقمية (IDWM) المتاحة لدى مكتب الاتصالات الراديوية للاتحاد وذلك لخدمات الحواسيب الكبرى أو الشخصية.

فإذا تم إدخال رموز المناطق المناخية في z_i كما ورد شرحه في الفقرة 1.2، يجب عندئذ حساب d_{lm} و d_{im} على أساس الافتراض بأنه عند ظهور اختلاف بين القيم المتجاوزة لـ z_i ، فإن التغيير يحصل في منتصف المسافة الممتدة بين نقاط المظهر الجانبي المقابلة.

2.D نقطة الانتشار الموجّه

احسب المعلمة بالاستناد إلى القسم الداخلي الأطول من المسير:

$$(1.D) \quad \tau = 1 - \exp(-0.000412d_{lm}^{2.41})$$

احسب المعلمة μ_1 التي تميز الدرجة التي يكون المسير عندها فوق الأرض، بموجب ما يلي:

$$(2.D) \quad \mu_1 = \left[10^{\frac{-d_{tm}}{16 - 6.6\tau}} + 10^{-(2.48 + 1.77\tau)} \right]^{0.2}$$

حيث تكون قيمة المعلمة μ_1 محددة بموجب $\mu_1 \leq 1$.

احسب المعلمة μ_4 التي تعطى بما يلي:

$$(3.D) \quad \mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0.935 + 0.0176|\varphi_{mn}|) \log \mu_1} & \text{for } |\varphi_{mn}| \leq 70^\circ \\ 10^{0.3 \log \mu_1} & \text{for } |\varphi_{mn}| > 70^\circ \end{cases}$$

تُعطى الآن نقطة الانتشار غير المألوف β_0 (%) لموقع مركز المسير بواسطة:

$$(4.D) \quad \beta_0 = \begin{cases} 10^{-0.015|\varphi_{mn}| + 1.67} \mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{for } |\varphi_{mn}| \leq 70^\circ \\ 4.17 \mu_1 \mu_4 & \% \quad \text{for } |\varphi_{mn}| > 70^\circ \end{cases}$$

3.D خسارات حجب المواقع بالنسبة لآلية الانتشار غير المألوف

تتمثل التصويبات لزوايا ارتفاع الأفق للمرسل والمستقبل بما يلي:

$$(5a.D) \quad g_{ir} = 0.1d_{ir}$$

$$(5b.D) \quad g_{rr} = 0.1d_{rr}$$

تُحسب الخسارات بين الهوائيات وآلية الانتشار غير المألوف المرتبطة بحجب المواقع على النحو التالي:

زوايا ارتفاع الأفق المعدلة للمرسل والمستقبل:

$$(6a.D) \quad \theta_{st} = \theta_t - g_{ir} \quad \text{mrad}$$

$$(6b.D) \quad \theta_{sr} = \theta_r - g_{rr} \quad \text{mrad}$$

خسارات حجب المواقع للمرسل والمستقبل بالنسبة للمجرى:

$$(7a.D) \quad A_{st} = 20 \log \left[1 + 0.361 \theta_{st} (f d_{it})^{1/2} \right] + 0.264 \theta_{st} f^{1/3} \quad \text{dB} \quad \theta_{st} > 0$$

$$(7b.D) \quad A_{st} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{otherwise}$$

$$(8a.D) \quad A_{sr} = 20 \log \left[1 + 0.361 \theta_{sr} (f d_{ir})^{1/2} \right] + 0.264 \theta_{sr} f^{1/3} \quad \text{dB} \quad \theta_{sr} > 0$$

$$(8b.D) \quad A_{sr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{otherwise}$$

4.D تصحيح الاقتران للمجرى السطحي فوق البحر

احصل على المسافة الممتدة من كل مطراف إلى البحر باتجاه المطراف الآخر:

$$(9a.D) \quad d_{ct} = \text{مسافة الساحل من المرسل} \quad \text{km}$$

$$(9b.D) \quad d_{cr} = \text{مساحة الساحل من المستقبل} \quad \text{km}$$

وفيما يتعلق بالمسافتين d_{lm} و d_{im} الواردتين في الفقرة 1.D أعلاه، من المفضل الحصول على المسافات فوق الأرض وحتى الساحل الأول من خريطة العالم الرقمية (IDWM). فإذا تم إدخال رموز المنطقة المناخية في z_i كما ورد شرحه في الفقرة 1.2، يجب عندئذ حساب d_{ct} و d_{cr} على أساس الافتراض بأنه عند ظهور اختلاف بين القيم المتجاورة لـ z_i ، فإن التغيير يحصل في منتصف المسافة الممتدة بين نقاط المظهر الجانبي المقابلة.

أما تصويبات الاقتران للمجرى السطحي فوق البحر بالنسبة للمرسل والمستقبل، A_{cr} و A_{ct} على التوالي، فيبلغ كلاهما صفراً باستثناء المجموعات التالية من الشروط:

$$A_{ct} = -3 \exp(-0.25d_{ct}^2) [1 + \tanh\{0.07(50 - h_{ts})\}] \quad \text{dB}$$

$$(10a.D) \quad \text{if } (\omega \geq 0.75) \text{ and } (d_{ct} \leq d_{li}) \text{ and } (d_{ct} \leq 5 \text{ km})$$

$$(10b.D) \quad A_{ct} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{otherwise}$$

$$A_{cr} = -3 \exp(-0.25d_{cr}^2) [1 + \tanh\{0.07(50 - h_{rs})\}] \quad \text{dB}$$

$$(11a.D) \quad \text{if } (\omega \geq 0.75) \text{ and } (d_{cr} \leq d_{lr}) \text{ and } (d_{cr} \leq 5 \text{ km})$$

$$(11b.D) \quad A_{cr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{otherwise}$$

حيث تمثل ω جزءاً من المسير فوق البحر كما ورد في الجدول 4.

5.D خسارة الاقتران الكلية لآلية الانتشار غير المألوف

يمكن الآن حساب خسارة الاقتران الكلية بين الهوائيين وآلية الانتشار غير المألوف على النحو الآتي:

$$(12.D) \quad A_{ac} = 102.45 + 20 \log[f(d_{lt} + d_{lr})] + A_{lf} + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB}$$

ويعتبر A_{lf} تصحيحاً تجريبياً يعلل تزايد التوهين مع طول الموجة في الانتشار الموجّه:

$$(13a.D) \quad A_{lf} = (45.375 - 137.0f + 92.5f^2) \omega \quad \text{dB} \quad \text{if } f < 0.5 \text{ GHz}$$

$$(13b.D) \quad A_{lf} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{otherwise}$$

حيث تمثل ω جزءاً من المسير فوق البحر كما ورد في الجدول 4.

6.D الخسارة المعتمدة على المسافة الزاوية

التوهين الزاوي المحدد ضمن آلية الانتشار غير المألوف:

$$(14.D) \quad \gamma_d = 5 \cdot 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad}$$

زوايا ارتفاع الأفق المعدلة للمرسل والمستقبل:

$$(15a.D) \quad \theta_{at} = \min(\theta_t, g_{tr}) \quad \text{mrad}$$

$$(15b.D) \quad \theta_{ar} = \min(\theta_r, g_{rr}) \quad \text{mrad}$$

المسافة الزاوية الكلية المعدلة للمسير:

$$(16.D) \quad \theta_a = \frac{1000d}{a_e} + \theta_{at} + \theta_{ar} \quad \text{mrad}$$

الخسارة المعتمدة على المسافة الزاوية:

$$(17a.D) \quad A_{ad} = \gamma_d \theta_a \quad \text{dB} \quad \theta_a > 0$$

$$(17b.D) \quad A_{ad} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{otherwise}$$

7.D الخسارة المعتمدة على المسافة والوقت

تُحسب الخسارة في آلية الانتشار غير المألوف التي تعتمد على كلٍ من مسافة الدائرة الكبرى والنسبة المئوية من الوقت بالقيام أولاً بحساب قيمة ما يلي.

المسافة المعدلة لعامل خشونة التضاريس الأرضية:

$$(18.D) \quad d_{ar} = \min(d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad \text{km}$$

عامل خشونة التضاريس الأرضية:

$$(19a.D) \quad \mu_3 = \exp \left[-4.6 \times 10^{-5} (h_m - 10)(43 + 6d_{ar}) \right] \quad h_m > 10 \text{ m}$$

$$(19b.D) \quad \mu_3 = 1 \quad \text{otherwise}$$

أما الحد اللازم لتصحيح هندسة المسير فهو:

$$(20.D) \quad \alpha = -0.6 - 3.5 \cdot 10^{-9} d^{3.1} \tau$$

وإذا كان $\alpha < -3.4$ ، ضع $\alpha = -3.4$

عامل هندسة المسير:

$$(D.21) \quad \mu_2 = \left[\frac{500d^2}{a_e(\sqrt{h_{tea}} + \sqrt{h_{rea}})^2} \right]^\alpha$$

وإذا كان $\mu_2 > 1$ ، ضع $\mu_2 = 1$

النسبة المئوية من الزمن المرتبطة بالانتشار غير المألوف المعدلة لموقع عام وخواص محددة للمسير:

$$(22.D) \quad \beta_{duct} = \beta_0 \mu_2 \mu_3 \quad \%$$

والأس اللازم لخسارة معتمدة على الوقت:

$$(23.D) \quad \Gamma = \frac{1.076 \exp \left\{ -10^{-6} d^{1.13} \left[9.51 - 4.8 \log \beta_{duct} + 0.198 (\log \beta_{duct})^2 \right] \right\}}{(2.0058 - \log \beta_{duct})^{1.012}}$$

الخسارة المعتمدة على الوقت:

$$(24.D) \quad A_{at} = -12 + (1.2 + 0.0037d) \log \left(\frac{p}{\beta_{duct}} \right) + 12 \left(\frac{p}{\beta_{duct}} \right)^\Gamma + \frac{50}{q} \quad \text{dB}$$

8.D خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالانتشار الموجّه

تُعطى خسارة الإرسال الأساسية المقترنة بالانتشار غير المألوف بما يلي:

$$(25.D) \quad L_{ba} = A_{ac} + A_{ad} + A_{at} \quad \text{dB}$$

المرفق E

الانتشار التروبوسفيري

1.E مقدمة

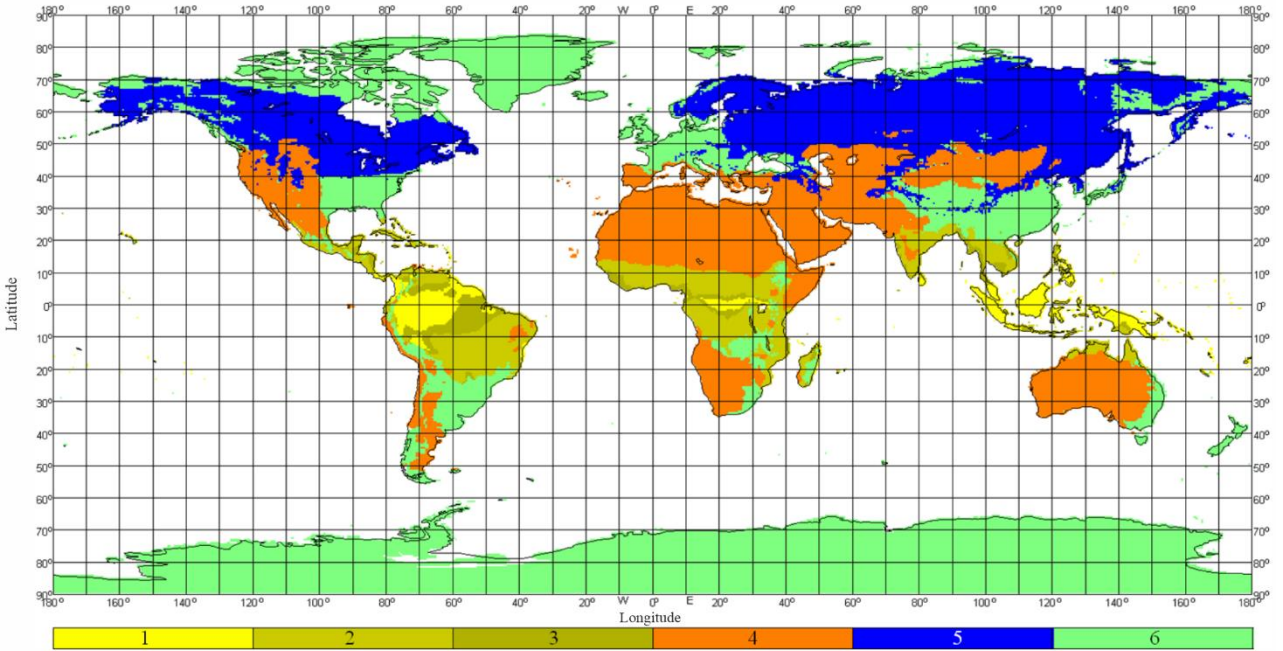
تتناول الأقسام التالية طريقة لحساب خسارة الإرسال الأساسية للانتشار التروبوسفيري L_{bs} التي لا تتجاوز نسبة مئوية معينة من السنة المتوسطة. وتستند الطريقة إلى اختيار منطقة مناخية ملائمة.

2.E التصنيف المناخي

يستند هذا النموذج الفرعي إلى استخدام المناطق المناخية كما هو مبين في الشكل 1.E. وينبغي قراءة المنطقة المقابلة لخط الطول وخط العرض للحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري، ϕ_{cve} و ϕ_{cvi} ، من الملف "TropoClim.txt". ويحتوي هذا الملف على أعداد صحيحة تتراوح بين 0 و 6 الأعداد الصحيحة من 1 إلى 6 تقابل المناطق المناخية المبينة في الشكل 1.E. أما العدد الصحيح 0 فيمثل موقعاً بحرياً يستدعي وجود إجراء خاص به.

الشكل 1.E

المناطق المناخية



P.2001-E.1

في الحالة التي يقع فيها الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري فوق البحر، يجب تحديد المناخ في كل من موقع الإرسال والاستقبال. وإذا كان لدى المطرافين منطقة مناخية مقابلة لنقطة أرضية، فإن المنطقة المناخية للمسیر تحدد باعتماد القيمة الأصغر للمناطق المناخية للمرسل والمستقبل. وحين يكون لمطراف واحد فقط منطقة مناخية مقابلة لمنطقة أرضية، عندئذٍ تحدد المنطقة المناخية تلك المنطقة المناخية الخاصة بالمسیر. وفي حال عدم وجود منطقة مناخية تقابلها نقطة أرضية لأي من المطرافين، تُحدد للمسیر منطقة مناخية "مسیر بحري" الواردة في الجدول 1.E.

احصل على المعلمتين M و γ الخاصتين ببنية الأرصاد الجوية والبنية الجوية على التوالي، استناداً إلى الجدول 1.E للمنطقة المناخية قيد البحث.

الصف الأخير من الجدول 1.E رقم المعادلة المستخدمة في حساب Y_{90} في الفقرة 3.E أدناه.

الجدول 1.E

معلومات بنية الأرصاد الجوية والبنية الجوية

المنطقة المناخية	1	2	3	4	5	6	المسار البحري
M (dB)	129,60	119,73	109,30	128,50	119,73	123,20	116,00
γ (km ⁻¹)	30,33	20,27	10,32	30,27	20,27	30,27	20,27
معادلة Y_{90}	(8.E)	(6.E)	(9.E)	(10.E)	(6.E)	(6.E)	(7.E)

3.E حساب خسارة الإرسال الأساسية للانتشار التروبوسفيري

تُحسب زاوية الانتشار بموجب ما يلي:

$$(1.E) \quad \theta = 1000 \theta_e + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

حيث إن قيم " θ " (thetas) الثلاثة الواردة في الجانب الأيمن من المعادلة تظهر في الجدول 4.

ويُعطى الحد الخاص بالخسارة المعتمدة على ارتفاع الحجم المشترك بما يلي:

$$(2.E) \quad L_N = 20 \log_{10}(5 + \gamma H) + 4.34 \gamma h_{trop} \quad \text{dB}$$

حيث:

$$(3.E) \quad H = 0.25 \cdot 10^{-3} \theta d \quad \text{km}$$

$$(4.E) \quad h_{trop} = 0.125 \cdot 10^{-6} \theta^2 a_e \quad \text{km}$$

وترد d و a_e في الجدول 4.

احسب المسافة الزاوية لمسار الانتشار بالاستناد إلى نصف قطر الأرض المتوسط الفعّال، المستخدمة في المعادلات التالية:

$$(5.E) \quad d_s = 0.001 \theta a_e \quad \text{km}$$

احسب Y_{90} (dB) باستخدام واحدة من المعادلات من (6.E) إلى (10.E) كما تم اختيارها من الجدول 1.E:

$$(6.E) \quad Y_{90} = -2,2 - [8,1 - 0,23 \min(f, 4)] \exp(-0,137 h_{trop})$$

حيث تردد f في الجدول 4.

$$(7.E) \quad Y_{90} = -9,5 - 3 \exp(-0,137 h_{trop})$$

$$(8.E) \quad Y_{90} = \begin{cases} -8,2 & d_s < 100 \\ 1,006 \cdot 10^{-8} d_s^3 - 2,569 \cdot 10^{-5} d_s^2 + 0,02242 d_s - 10,2 & 100 \leq d_s < 1000 \\ -3,4 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$(9.E) \quad Y_{90} = \begin{cases} -10,845 & d_s < 100 \\ -4,5 \cdot 10^{-7} d_s^3 + 4,45 \cdot 10^{-4} d_s^2 - 0,122 d_s - 2,645 & 100 \leq d_s < 465 \\ -8,4 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$(10.E) \quad Y_{90} = \begin{cases} -11,5 & d_s < 100 \\ -8,519 \cdot 10^{-8} d_s^3 + 7,444 \cdot 10^{-5} d_s^2 - 4,18 \cdot 10^{-4} d_s - 12,1 & 100 \leq d_s \leq 550 \\ -4,0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

احسب عامل التحويل بما يلي:

$$(11a.E) \quad C = 1,26 \left\{ -\log \left[\frac{100-p}{50} \right] \right\}^{0,63} \quad p \geq 50$$

$$(11b.E) \quad C = -1,26 \left\{ -\log \left[\frac{p}{50} \right] \right\}^{0,63} \quad \text{وفي الحالات الأخرى}$$

وُعطى الآن المعلمة Y_p غير المتعددة للنسبة المئوية $p\%$ من الزمن بما يلي:

$$(12.E) \quad Y_p = CY_{90} \quad \text{dB}$$

حدد قيمة θ بحيث يكون $\theta \geq 10^{-6}$.

احسب الخسائر المعتمدة على المسافة والتردد باستخدام:

$$(13.E) \quad L_{dist} = \max \left[10 \log(d) + 30 \log(\theta) + L_N, 20 \log(d) + 0,573\theta + 20 \right] \quad \text{dB}$$

$$(14.E) \quad L_{freq} = 25 \log(f) - 2,5 \left[\log(0,5f) \right]^2 \quad \text{dB}$$

احسب خسارة الاقتران بين الفتحة والوسط مستخدماً ما يلي:

$$(15.E) \quad L_{coup} = 0,07 \exp \left[0,055 (G_t + G_r) \right] \quad \text{dB}$$

وُعطى الآن خسارة الإرسال الأساسية للانتشار التروبوسفيري غير المتعددة للنسبة المئوية $p\%$ من الزمن بواسطة:

$$(16.E) \quad L_{bs} = M + L_{freq} + L_{dist} + L_{coup} - Y_p \quad \text{Db}$$

وتلافياً للتقدير الناقص لخسارة الانتشار التروبوسفيري للمسيرات القصيرة، حدد L_{bs} بحيث تكون:

$$(17.E) \quad L_{bs} \geq L_{bfs} \quad \text{dB}$$

حيث ترد خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر L_{bfs} في الجدول 4.

المرفق F

التوهين الناتج عن الامتصاص الغازي

1.F مقدمة

يصف هذا المرفق طرق حساب التوهين الناتج عن الامتصاص الغازي لأنواع مختلفة من المسيرات الراديوية. وقد وردت الإشارات المرجعية لأقسام هذا المرفق في أماكن أخرى حسب الاقتضاء.

وتتطلب العمليات الحسابية هنا معرفة كثافة بخار الماء السطحية ρ_{sur} g/m³ للمواقع المعنية. ويمكن الحصول على قيم ρ_{sur} من ملف البيانات "surfwv_50_fixed.txt".

وتُنتج كل عملية حسابية ثلاث قيم للتوهين، وهي الناجمة عن الامتصاص بسبب: الأكسجين، وبخار الماء في الأحوال التي ينعدم فيها المطر وبخار الماء في الأحوال التي يسودها المطر.

2.F الامتصاص الغازي للمسیر السطحي

يقدم هذا القسم طريقة حساب الامتصاص الغازي لمسیر "سطحي".

احصل على كثافة بخار الماء السطحية في حالة انعدام المطر ρ_{sur} g/m³، في منتصف المسیر، كما وردت من φ_{mn} و φ_{me} في الجدول 4، وذلك من ملف البيانات "surfwv_50_fixed.txt".

ضع $h_{sur} = h_{mid}$. ويعرض في الجدول 4 ارتفاع التضاريس عند منتصف المسیر h_{mid} .

استخدم المعادلة (11.F) لحساب التوهين المحدد بمستوى سطح البحر الناجم عن بخار الماء في الأحوال التي ينعدم فيها المطر γ_w ، dB/km.

استخدم المعادلة (9.F) لحساب كثافة بخار الماء السطحي في الأحوال التي يسودها المطر، ρ_{surr} ، g/m⁻³.

أعد حساب قيمة ρ_{sur} وفقاً للصيغة $\rho_{surr} = \rho_{sur}$.

استخدم المعادلة (11.F) لحساب التوهين المحدد بمستوى سطح البحر الناجم عن بخار الماء في الأحوال التي يسودها المطر، γ_w ، dB/km.

احسب الارتفاع لكثافة بخار الماء:

$$(1.F) \quad h_{rho} = 0.5 (h_{ts} + h_{rs}) \quad \text{masl}$$

وتُعطى الآن التوهينات الثلاثة الناجمة عن التوهين الغازي للمسیر السطحي بواسطة:
التوهين بسبب الأكسجين:

$$(2a.F) \quad A_{osur} = \gamma_o d \exp\left(-\frac{h_{rho}}{5000}\right) \quad \text{dB}$$

حيث ترد γ_o ، أي التوهين المحدد بمستوى سطح البحر الناجم عن الأكسجين، في الجدول 4.
التوهين بسبب بخار الماء في الأحوال التي ينعدم فيها المطر:

$$(2b.F) \quad A_{wsur} = \gamma_w d \exp\left(-\frac{h_{rho}}{2000}\right) \quad \text{dB}$$

التوهين بسبب بخار الماء في الأحوال التي يسودها المطر:

$$(2c.F) \quad A_{wsur} = \gamma_w d \exp\left(-\frac{h_{rho}}{2000}\right) \quad \text{dB}$$

3.F الامتصاص الغازي لمسیر الانتثار التروبوسفيري

يقدم هذا القسم طريقة لحساب الامتصاص الغازي لمسیر كامل للانتثار التروبوسفيري، وذلك من المرسل إلى المستقبل من خلال الحجم المشترك للانتثار.

تُحصل على كثافة بخار الماء عند السطح في ظل عدم وجود أمطار، ρ_{sur} g/m³، عند موقع المرسل المحدد بالمتغيرين φ_{m} و φ_{te} في الجدول 1 من ملف البيانات "surfwv_50_fixed.txt".

استخدم الطريقة الواردة في القسم 4.F باعتماد $h_1 = h_{sur}$ و $\theta_{lpos} = \theta_{elev}$ و $d_{lcv} = d_{cv}$ ، لإعطاء التوهينات الغازية بسبب الأكسجين وبسبب بخار الماء في الأحوال التي ينعدم فيها المطر والأحوال التي يسودها المطر بالنسبة للمسير من المرسل إلى الحجم المشترك بالانتشار التروبوسفيري حيث h_1 هو ارتفاع أول نقطة في المظهر الجانبي فوق مستوى سطح البحر بالأمتار، وترد θ_{lpos} و d_{lcv} في الجدول 4. احتفظ بالقيم المحسوبة بموجب المعادلات من (8a.F) إلى (8c.F) وفقاً لما يلي:

$$(3a.F) \quad A_{otcv} = A_o \quad \text{dB}$$

$$(3b.F) \quad A_{wtcv} = A_w \quad \text{dB}$$

$$(3c.F) \quad A_{wrtcv} = A_{wr} \quad \text{dB}$$

تُحصل على كثافة بخار الماء عند السطح في ظل عدم وجود أمطار، ρ_{sur} g/m³، عند موقع المستقبل المحدد بالمتغيرين φ_{rn} و φ_{re} في الجدول 1 من ملف البيانات "surfwv_50_fixed.txt".

استخدم الطريقة الواردة في 4.F باعتماد $h_1 = h_{sur}$ و $\theta_{rpos} = \theta_{elev}$ و $d_{rcv} = d_{cv}$ ، لإعطاء التوهينات الغازية بسبب الأكسجين وبسبب بخار الماء في الأحوال التي ينعدم فيها المطر والتي يسودها المطر بالنسبة للمسير من المستقبل إلى الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري حيث h_n هو ارتفاع آخر نقطة في المظهر الجانبي فوق مستوى سطح البحر بالأمتار وترد θ_{rpos} و d_{rcv} في الجدول 4. احتفظ بالقيم المحسوبة بموجب المعادلات من (8a.F) إلى (8c.F) وفقاً لما يلي:

$$(4a.F) \quad A_{orcv} = A_o \quad \text{dB}$$

$$(4b.F) \quad A_{wrcv} = A_w \quad \text{dB}$$

$$(4c.F) \quad A_{wrrcv} = A_{wr} \quad \text{dB}$$

و تُعطى التوهينات الغازية بسبب الأكسجين وبسبب بخار الماء في الأحوال التي ينعدم فيها المطر والأحوال التي يسودها المطر بالنسبة للمسير الكامل للانتشار التروبوسفيري بواسطة:

$$(5a.F) \quad A_{os} = A_{otcv} + A_{orcv} \quad \text{dB}$$

$$(5b.F) \quad A_{ws} = A_{wtcv} + A_{wrcv} \quad \text{dB}$$

$$(5c.F) \quad A_{ws} = A_{wrtcv} + A_{wrrcv} \quad \text{dB}$$

4.F الامتنصاص الغازي للمسير من المطراف إلى الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري

يقدم هذا القسم طريقة لحساب التوهين في الأحوال التي ينعدم فيها المطر بالنسبة لمسير من المطراف إلى الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري. وتمثل المدخلات كثافة بخار الماء عند السطح في ظل عدم وجود أمطار ρ_{sur} g/m³ وارتفاع التضاريس h_{sur} masl وزاوية ارتفاع المسير θ_{elev} mrad، والمسافة الأفقية من الحجم المشترك d_{cv} km، على النحو الموصف لكل من المناسبتين عند استخدام هذا القسم على النحو المبين في 3.F أعلاه.

وتمثل المخرجات في التوهينات الناجمة عن الأكسجين وبخار الماء في كل من الأحوال التي ينعدم فيها المطر والتي يسودها المطر بالنسبة للمسير من المطراف إلى الحجم المشترك للانتشار التروبوسفيري، أي A_o و A_w و A_{wr} بالوحدة dB.

استخدم المعادلة (11.F) لحساب التوهين المحدد بمستوى سطح البحر بسبب بخار الماء في الأحوال التي ينعدم فيها المطر γ_w ، بوحدة dB/km.

استخدم المعادلة (9.F) لحساب كثافة بخار الماء للسطح في الحالات التي يسودها المطر، ρ_{surr} ، بوحدة g/m^3 .

أعد حساب قيمة ρ_{sur} وفقاً للصيغة $\rho_{surr} = \rho_{sur}$.

استخدم المعادلة (11.F) لحساب التوهين المحدد بمستوى سطح البحر بسبب بخار الماء في الأحوال التي يسودها المطر γ_{wr} ، بوحدة dB/km .

احسب الكميات d_o و d_w بالنسبة للأكسجين وبخار الماء:

$$(6a.F) \quad d_o = \frac{5}{0.65 \sin(0.001\theta_{elev}) + 0.35 \sqrt{\sin^2(0.001\theta_{elev}) + 0.00304}}$$

$$(6b.F) \quad d_w = \frac{2}{0.65 \sin(0.001\theta_{elev}) + 0.35 \sqrt{\sin^2(0.001\theta_{elev}) + 0.00122}}$$

احسب المسافات الفعالة d_{eo} و d_{ew} بالنسبة للأكسجين وبخار الماء:

$$(7a.F) \quad d_{eo} = d_o \left(1 - e^{-\frac{d_{cv}}{d_o}} \right) \exp\left(-\frac{h_{sur}}{5000}\right) \quad \text{km}$$

$$(7b.F) \quad d_{ew} = d_w \left(1 - e^{-\frac{d_{cv}}{d_w}} \right) \exp\left(-\frac{h_{sur}}{2000}\right) \quad \text{km}$$

وتُعطى التوهينات الغازية بسبب الأكسجين وبسبب بخار الماء في كل من الأحوال التي ينعدم فيها المطر والأحوال التي يسودها المطر بالنسبة للمسار الكامل للانتشار التروبوسفيري بواسطة:

$$(8a.F) \quad A_o = \gamma_o d_{eo} \quad \text{km}$$

$$(8b.F) \quad A_w = \gamma_w d_{ew} \quad \text{km}$$

$$(8c.F) \quad A_{wr} = \gamma_{wr} d_{ew} \quad \text{km}$$

حيث ترد γ_o ، أي التوهين المحدد بمستوى سطح البحر بسبب الأكسجين، في الجدول 4.

5.F كثافة بخار الماء في حالة المطر

يقدم هذا القسم طريقة لحساب كثافة بخار الماء الجوية في حالة المطر. وقد استُخدمت المعادلة المكونة من قسمين (9.F) في الأقسام السابقة.

$$(9.F) \quad \rho_{surr} = \begin{cases} \rho_{sur} + 0.4 + 0.0003h_{sur} & h_{sur} \leq 2600 \text{ m} \\ \rho_{sur} + 5 \exp\left(-\frac{h_{sur}}{1800}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

6.F التوهينات المحددة بمستوى سطح البحر

يقدم هذا القسم معادلات استُخدمت في الأقسام السابقة. لاحظ أن هذه المعادلات ليست صالحة للترددات التي تزيد على 54 GHz. ويتوفر عدد أكبر من العبارات العامة في التوصية ITU-R P.676.

التوهين المحدد بمستوى سطح البحر بسبب الأكسجين:

$$(10.F) \quad \gamma_o = \left[\frac{7.2}{f^2 + 0.34} + \frac{0.62}{(54 - f)^{1.16} + 0.83} \right] f^2 \cdot 10^{-3} \quad \text{dB/km}$$

التوهين المحدد بمستوى سطح البحر بسبب بخار الماء محسوباً بالوحدة dB/km:

$$(11.F) \quad \gamma_w = \left\{ 0.046 + 0.0019 \rho_{sea} + \frac{3.98 \eta}{(f - 22.235)^2 + 9.42 \eta^2} \left[1 + \left(\frac{f - 22}{f + 22} \right)^2 \right] \right\} f^2 \rho_{sea} \cdot 10^{-4}$$

حيث:

$$(12a.F) \quad \eta = 0.955 + 0.006 \rho_{sea}$$

$$(12b.F) \quad \rho_{sea} = \rho_{sur} \exp\left(\frac{h_{sur}}{2000}\right) \quad \text{g/m}^3$$

المرفق G

الانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E

يصف هذا المرفق طريقة لإعطاء خسارة الإرسال الأساسية للانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E غير المتعددة للنسبة المئوية $p\%$ من الزمن استناداً إلى خرائط ترددات الطبقة E (foEs) المتعددة للنسب المئوية 0,1% و 1% و 10% و 50% من السنة المتوسطة (الملفات FoEs0.1.txt و FoEs0.1.txt و FoEs10.txt و FoEs50.txt على التوالي). وتهدف بصورة أولية إلى التنبؤ بالتداخل على مسيرات طويلة لخطوط العرض المنخفضة والمتوسطة. ويجب أن لا تُعتبر الطريقة موثوقة عند خطوط العرض المغنطيسية الأرضية المنخفضة أو المرتفعة، ولا يلزم حسابها لمسير في خط البصر. وتجدر الملاحظة أن الحالات التي تتميز بارتفاع شدة الإشارة بسبب هذه الظاهرة تُظهر اعتماداً قوياً جداً على الموسم.

وتتضمن العمليات الحسابية حجب المطراف، وتفاوت وفقاً للزاوية الأولية للهوائي. ولذلك يتم إجراء عملية الحساب بالنسبة لجميع أطوال المسيرات لقفزة تردد واحدة وقفزتين على السواء. وتُجمع هذه النتائج في نهاية الإجراء.

1.G استخراج ترددات الطبقة E (foE)

إذا كانت النسبة المئوية $p\%$ من الزمن معروفة، حدد قيم النسب المئوية الزمنية المستخدمة للاستكمال الداخلي أو الاستكمال الخارجي، p_1 و p_2 ، وفقاً للجدول 1.G.

الجدول 1.G

الشروط لتحديد p_1 و p_2

p_2	p_1	النسبة المئوية $p\%$ من الزمن
1%	0,1%	$p < 1\%$
10%	1%	$1\% \leq p \leq 10\%$
50%	10%	$10\% < p$

وفيما يتعلق بموقع معين، احصل على f_{oEs1} و f_{oEs2} من خرائط f_{oEs} المتعددة للنسبة المئوية p_1 و $p_2\%$ من الزمن على التوالي. احسب f_{oEs} المتعددة للنسبة المئوية $p\%$ من الزمن مستخدماً ما يلي:

$$(1.G) \quad f_{oEs} = f_{oEs1} + (f_{oEs2} - f_{oEs1}) \frac{\left[\log\left(\frac{p}{p_1}\right) \right]}{\left[\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \right]} \quad \text{MHz}$$

2.G الانتشار لقفزة واحدة

احصل على f_{oEs} بوحدة MHz كما حُسبت بواسطة المعادلة (1.G) لمنتصف المسير.
احسب الخسارة الأيونوسفيرية لقفزة واحدة:

$$(2.G) \quad \Gamma_1 = \left[\frac{40}{1 + \left(\frac{d}{130}\right) + \left(\frac{d}{250}\right)^2} + 0,2 \left(\frac{d}{2600}\right)^2 \right] \left(\frac{1000f}{f_{oEs}} \right)^2 + \exp\left(\frac{d-1660}{280}\right)$$

احسب طول المسير المائل:

$$(3.G) \quad l_1 = 2 \left[a_e^2 + (a_e + h_{es})^2 - 2a_e(a_e + h_{es}) \cos\left(\frac{d}{2a_e}\right) \right]^{0.5} \quad \text{km}$$

حيث h_{es} هي ارتفاع طبقة التأين المتفرق E بالكيلومترات، محددة عند 120 km.
يمكن الآن حساب الخسارة في الفضاء الحر بالنسبة للمسافة المائلة:

$$(4.G) \quad L_{bfs1} = L_{bfsD}(l_1)$$

حيث تم تعريف الدالة L_{bfsD} بالمعادلة (41).

أما الزاوية الأولية للشعاع فوق الخط الأفقي المحلي عند المطرافين بالنسبة لقفزة واحدة فتعطى بواسطة:

$$(5.G) \quad \varepsilon_{r1} = 0.5\pi - \arctan \left\{ \frac{a_e \sin(\alpha_1)}{h_{es} + a_e [1 - \cos(\alpha_1)]} \right\} - \alpha_1 \quad \text{rad}$$

حيث:

$$(5a.G) \quad \alpha_1 = \frac{d}{2a_e} \quad \text{rad}$$

وتعطى زوايا الانعراج للمطرفين بما يلي:

$$(6.G) \quad \delta_{1t,1r} = 0.001\theta_{t,r} - \varepsilon_{r1} \quad \text{rad}$$

وتُعطى معلمات الانعراج المقابلة بواسطة:

$$(6a.G) \quad v_{1t,1r} = 3.651 \sqrt{1000f d_{lt,lr} \left[\frac{1 - \cos(\delta_{1t,1r})}{\cos(0.001\theta_{t,r})} \right]} \quad \text{if } \delta_{1t,1r} \geq 0$$

$$(6b.G) \quad = -3.651 \sqrt{1000f d_{lt,lr} \left[\frac{1 - \cos(\delta_{1t,1r})}{\cos(0.001\theta_{t,r})} \right]} \quad \text{otherwise}$$

وتعطى عندئذ خسارة الانعراج عند المطرافين بواسطة:

$$(7a.G) \quad L_{p1t} = J(v_{1t}) \quad \text{dB}$$

$$(7b.G) \quad L_{p1r} = J(v_{1r}) \quad \text{dB}$$

حيث تعرف الدالة J بالمعادلة المؤلفة من قسمين (43).

والآن تعطى خسارة الإرسال الأساسية للانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E لقفزة واحدة بواسطة:

$$(8.G) \quad L_{bEs1} = L_{bfs1} + \Gamma_1 + L_{p1t} + L_{p1r} \quad \text{dB}$$

3.G الانتشار لقفزتين

احصل على f_{oEs2h} بوصفها القيمة الأدنى بين القيمتين المحسوبتين بواسطة المعادلة (1.G) عند ربع طول المسير وثلاثة أرباعه. ويمكن الحصول على خط الطول وخط العرض عند ربع المسير وثلاثة أرباعه باستخدام طريقة مسير الدائرة الكبرى الواردة في المرفق H بوضع $d_{pnt} = 0,25$ و $d_{pnt} = 0,75$ في المعادلة (7.H) على التوالي.

احسب الخسارة الأيونوسفيرية لقفزتين:

$$(9.G) \quad \Gamma_2 = \left[\frac{40}{1 + \left(\frac{d}{260} \right) + \left(\frac{d}{500} \right)^2} + 0.2 \left(\frac{d}{5200} \right)^2 \right] \left[\left(\frac{1000f}{f_{oEs2h}} \right)^2 + \exp \left(\frac{d - 3220}{560} \right) \right]$$

احسب طول المسير المائل:

$$(10.G) \quad l_2 = 4 \left[a_e^2 + (a_e + h_{es})^2 - 2a_e(a_e + h_{es}) \cos \left(\frac{d}{4a_e} \right) \right]^{0.5} \quad \text{km}$$

والآن يمكن حساب الخسارة في الفضاء الحر للمسافة المائلة:

$$(11.G) \quad L_{bfs2} = L_{bfsD}(l_2)$$

حيث تم تحديد الدالة L_{bfsD} بالمعادلة (41).

أما الزاوية الأولية للشعاع فوق الخط الأفقي المحلي عند المطرافين بالنسبة لقفزتين فتعطى بواسطة:

$$(12.G) \quad \varepsilon_{r2} = 0.5\pi - \arctan \left\{ \frac{a_e \sin(\alpha_2)}{h_{es} + a_e [1 - \cos(\alpha_2)]} \right\} - \alpha_2 \quad \text{rad}$$

حيث:

$$(12a.G) \quad \alpha_2 = \frac{d}{4a_e} \quad \text{rad}$$

وتعطى زوايا الانعراج للمطرافين بما يلي:

$$(13.G) \quad \delta_{2t,2r} = 0.001\theta_{t,r} - \varepsilon_{r2} \quad \text{rad}$$

و تُعطى معلمات الانعراج المقابلة بواسطة:

$$(14a.G) \quad v_{2t,2r} = \begin{cases} 3.651 \sqrt{\frac{1000 f d_{lt,lr} [1 - \cos(\delta_{2t,2r})]}{\cos(0.001\theta_{t,r})}} & \text{if } \delta_{2t,2r} \geq 0 \\ -3.651 \sqrt{\frac{1000 f d_{lt,lr} [1 - \cos(\delta_{2t,2r})]}{\cos(0.001\theta_{t,r})}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

(14b.G)

و تُعطى خسارات الانعراج عند المطرافين بواسطة:

$$(15a.G) \quad L_{p2t} = J(v_{2t}) \quad \text{dB}$$

$$(15b.G) \quad L_{p2r} = J(v_{2r}) \quad \text{dB}$$

حيث تعرّف الدالة J بالمعادلة المولفة من قسمين (43).

والآن تعطى خسارة الإرسال الأساسية للانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E لقفزتين بما يلي:

$$(16.G) \quad L_{bEs2} = L_{bfs2} + \Gamma_2 + L_{p2t} + L_{p2r} \quad \text{dB}$$

4.G خسارة الإرسال الأساسية

تُعطى الآن خسارة الإرسال الأساسية للانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E، L_{be} (dB) بما يلي:

(17a.G)

$$(17b.G) \quad L_{be} = \begin{cases} L_{bEs1} & L_{bEs1} < L_{bEs2} - 20 \\ L_{bEs2} & L_{bEs2} < L_{bEs1} - 20 \\ -10 \log(10^{-0.1L_{bEs1}} + 10^{-0.1L_{bEs2}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

(17c.G)

المرفق H

حسابات مسار الدائرة الكبرى

1.H مقدمة

يعرض هذا المرفق توجيهات بشأن حساب النقاط الوسيطة على المسير الراديوي حين يستدعي الأمر استخدام إحداثيات خط الطول وخط العرض.

ويتمثل التطبيق الأهم في العثور على منتصف طول المسير الراديوي، الذي يشكل الموقع الذي يجب من أجله الحصول على أهم المعلومات المناخية الراديوية. كما أن نموذج الانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E الوارد في المرفق G يتطلب معرفة النقطتين اللتين تقعان عند ثلث وثلاثة أرباع طول المسير.

وقد تم تعريف المواقع المطرفية في معلمات المدخلات الأساسية المدرجة في الجدول 1.2.2 في المتن الرئيسي لهذه التوصية بدلالة خط الطول وخط العرض. ويُعزى ذلك إلى توقع الحصول على معلمات مناخية راديوية من الخرائط العالمية التي تتطلب معرفة تلك الإحداثيات. وفيما يتعلق بالمسيرات القصيرة، والتي التزاماً بالدقة المتوخاة يمكن بالمسيرات التي تصل في قصرها إلى 100 km، فمن الأكثر دقة والأكثر سهولة تحويل المواقع المطرفية إلى إحداثيات ديكرتية، كما هو الحال في الشبكة الوطنية أو في إحدى شبكات النظام المركاتوري المستعرض الشامل (UTM)، وحساب نقاط المسير الوسيطة باعتماد الهندسة الديكرتية وتحويلها ثانيةً إلى خط طول وخط عرض للحصول على المعلومات المناخية الراديوية.

وفي الأقسام التالية، لم يرد ذكر الوحدات الخاصة ببعض الزوايا، حيث إنها تعتمد على الوحدات التي يتطلبها تنفيذ الدوال المثلثية، على أن يجري التحويل حسب الاقتضاء.

2.H طول المسير واتجاهه الزاوي

تتطلب هذه الطريقة معرفة طول المسير d بالكيلومترات، وهو ما يتيح المظهر الجانبي. وقد يكون من المفيد حساب طول المسير مباشرةً من الإحداثيات المطرفية.

احسب الفرق في خط الطول بين المطرفين، ويعطى بما يلي:

$$(1.H) \quad \Delta_{lon} = \varphi_{re} - \varphi_{te} \quad \text{degrees}$$

احسب الكمية r :

$$(2.H) \quad r = \sin(\varphi_{in})\sin(\varphi_{rn}) + \cos(\varphi_{in})\cos(\varphi_{rn})\cos(\Delta_{lon})$$

احسب طول المسير بوصفه الزاوية المقابلة في مركز الأرض ذات نصف القطر المتوسط:

$$(3.H) \quad \varphi_d = \arccos(r)$$

احسب طول المسير على الدائرة الكبرى:

$$(4.H) \quad d_{gc} = \varphi_{drad} R_e \quad \text{km}$$

حيث φ_{drad} هي φ_d بوحدة الراديان، و R_e معطى في الجدول 2.

وكما جاء في الفقرة 1.H أعلاه، وكاختبار للاتساق، يمكن مقارنة قيمة d_{gc} بقيمة d ، كما وردت في الجدول 1 وتم الحصول عليها في الفقرة 2.3.

احسب الكميتين x_1 و y_1 :

$$(5a.H) \quad x_1 = \sin(\varphi_{rm}) - r \sin(\varphi_{tm})$$

$$(5b.H) \quad y_1 = \cos(\varphi_{tm}) \cos(\varphi_{rm}) \sin(\Delta_{lon})$$

احسب الاتجاه الزاوي لمسير الدائرة الكبرى انطلاقاً من المرسل باتجاه المستقبل، B_{t2r} ، بوصفه الزاوية شرقاً (باتجاه عقارب الساعة) بين اتجاه الشمال عند المرسل واتجاه المسير. ولأسباب رقمية، من الضروري الاحتفاظ بالقيم المطلقة الصغيرة جداً للزوايا التي تعطيها الدالة المثلثية العكسية:

$$(6.H) \quad B_{t2r} = \begin{cases} \varphi_{re} & \text{if } |x_1| < 10^{-9} \text{ and } |y_1| < 10^{-9} \\ \arctan 2(y_1, x_1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث تسمح الدالة "arctan2" بحساب الزاوية بين الخط الذي يربط نقطة المنشأ الديكارتية بنقطة عند (x, y) وبين المحور X، ما يعطي قيمة B_{t2r} في الربع المناسب، ويسمح بأن تكون قيمة أي من x أو y ، وليس كليهما، مساوية للصفر. وإذا لم تكن الدالة "arctan2" متوفرة في أرشيف أو مكتبة، فمن الممكن تطبيقها بالتدقيق في قيم x و y واستخدام دالة الظل العكسية الاعتيادية لزاوية لا تتجاوز 45 درجة، الأمر الذي يمكن تنفيذه على الدوام.

3.H حساب النقطة الوسيطة للمسير

تعطي العملية الحسابية التالية خط العرض وخط الطول عند أي نقطة على طول المسير من المرسل إلى المستقبل. أما المسافة الممتدة من المرسل إلى النقطة الوسيطة، d_{pnt} (بالكيلومترات)، فيمكن تحديدها في الوثيقة حيثما يتم استخدام هذا القسم. احسب المسافة إلى النقطة بوصفها الزاوية المقابلة عند مركز الأرض ذات نصف القطر المتوسط:

$$(7.H) \quad \varphi_{pnt} = d_{pnt}/R_e \quad \text{rad}$$

لاحظ أن المعادلة (7.H) تعطي φ_{pnt} بوحدة الراديان:

احسب الكمية s :

$$(8.H) \quad s = \sin(\varphi_{tm}) \cos(\varphi_{pnt}) + \cos(\varphi_{tm}) \sin(\varphi_{pnt}) \cos(B_{t2r})$$

يُعطى الآن خط العرض للنقطة الوسيطة بواسطة:

$$(9.H) \quad \varphi_{pntn} = \arcsin(s)$$

احسب الكميتين x_2 و y_2 :

$$(10a.H) \quad x_2 = \cos(\varphi_{pnt}) - s \sin(\varphi_{tm})$$

$$(10b.H) \quad y_2 = \cos(\varphi_{tm}) \sin(\varphi_{pnt}) \sin(B_{t2r})$$

احسب خط الطول للنقطة الوسيطة φ_{pnte} . ولأسباب تتعلق بالأعداد، من الضروري الاحتفاظ بالقيم المطلقة الصغيرة جداً للزوايا التي تعطيها الدالة المثلثية العكسية:

$$(11.H) \quad \varphi_{pnte} = \begin{cases} B_{t2r} & \text{if } |x_2| < 10^{-9} \text{ and } |y_2| < 10^{-9} \\ \varphi_{te} + \arctan 2(y_2, x_2) & \text{otherwise} \end{cases}$$

وعند الضرورة، قم بتعديل φ_{pnte} لتقع في المدى الصحيح البالغ 360°. وتجدر الإشارة إلى أن معظم عمليات تطبيق الدالة arctan2 تُعطي قيمة تقع في المدى من -180° إلى 180° حسب الاقتضاء.

المرفق I

الإجراء التكراري لعكس دالة التوزيع التراكمي

1.I مقدمة

يحدد هذا المرفق إجراءً تكرارياً يمكن استخدامه لحساب مستوى التوهين A لآلية انتشار من أجل قيمة معينة لنسبة مئوية $q\%$ من الزمن يتم خلالها تجاوز المستوى A . وتمثل الدالة $A(q)$ دالة عكسية للتوزيع التراكمي. ويُعتبر الإجراء التكراري ضرورياً حين يُصاغ نموذج الانتشار لحساب النسبة المئوية q من الزمن التي يتم فيها تجاوز مستوى توهين معين A . وتمثل الدالة $Q(A)$ دالة التوزيع التراكمي. وبموجب نموذج الانتشار الواسع المدى (WRPM) يتم بصورة أساسية حساب المستوى A بالنسبة لقيمة معينة q أو p . ومع ذلك، تتم صياغة النموذجين الفرعيين للخبو في الجو الصافي والخبو بسبب هطول الأمطار من أجل حساب q بالنسبة لقيمة معينة للسوية A . وبناءً على ذلك، يُعتبر عكس دالة التوزيع التراكمي مطلوباً للذين النموذجين الفرعيين، وتحديدًا للجمع بين هذين النموذجين الفرعيين.

تجدر الملاحظة أنه على الرغم من أن الإجراء المحدد في هذا المرفق تمت صياغته بدلالة قيم الخبو A ، فإنه يطبق لعمليتي الخبو ($A > 0$) والتحسين ($A < 0$) على السواء.

2.I طريقة التكرار

يحدد هذا القسم الدالة $A_{iter}(q)$ التي تعطي التوهين الناجم عن آليات انتشار مختارة متعددة للنسبة المئوية $q\%$ من الزمن. وفي عدة مواقع، يستدعي الإجراء وجود الدالة $Q_{iter}(A)$ التي تمثل دالة التوزيع التراكمي لنموذج الانتشار الذي تُطلب من أجله الدالة $A_{iter}(q)$. وقد تم تعريف الدالة $Q_{iter}(A)$ في المتن الرئيسي في المكان التي يلزم فيه استخدام الإجراء التكراري الخاص بهذا المرفق.

الدالة $Q_{iter}(A)$ لها ميل سالب؛ ومن ثم، تنبغي الإشارة إلى أنه في حين يكون A_{high} أكبر من A_{low} ، يكون q_{high} أقل من q_{low} .

وتجري عملية التكرار على مرحلتين: الأولى تتمثل في تحديد مدى للبحث عن مستويات التوهين التي تتضمن النسبة المئوية اللازمة من وقت الخبو. والثانية، اعتماد عملية بحث اثنائية من أجل صقل عملية البحث بحيث تقع النسبة المئوية الناتجة من الزمن ضمن نطاق التفاوت المعين المسموح به للنسبة المئوية المستهدفة من وقت الخبو.

المرحلة 1: تحديد مدى البحث

يمكن تحديد القيمة الأولية للتوهين التجريبي، A_{init} ، عند أية قيمة موجبة غير صفرية. وقد توجد أسباب تتعلق بالكفاءة لحساب القيمة A_{init} على أساس موضوعي إلى حد ما. بيد أنه تبين أن مجرد تحديد A_{init} بقيمة 10 dB يسفر عن قدر معقول من الكفاءة في عملية التكرار.

حدد القيم الأولية لحدّي البحث العالي والمنخفض للتوهين ولخطوة التوهين، وهذه القيم تُعطى كما يلي:

$$(1.I) \quad A_{high} = \frac{A_{init}}{2} \quad \text{dB}$$

$$(2.I) \quad A_{low} = \frac{-A_{init}}{2} \quad \text{dB}$$

$$(3.I) \quad A_{step} = A_{init} \quad \text{dB}$$

استهل التوهينات A_{low} و A_{high} المتعددة لنسبة مئوية من الزمن بالقيمة:

$$(4a.I) \quad q_{high} = Q_{iter}(A_{high}) \quad \text{dB}$$

$$(4b.I) \quad q_{low} = Q_{iter}(A_{low}) \quad \text{dB}$$

المرحلة 1: تكرار مدى البحث الأولي:

إذا كانت $q < q_{high}$ ، تابع على النحو الآتي:

أعد حساب قيمة $A_{high} = A_{low}$ ؛

أعد حساب قيمة $q_{high} = q_{low}$ ؛

أعد حساب قيمة $A_{step} = 2 \times A_{step}$ ؛

أعد حساب قيمة $A_{high} = A_{high} + A_{step}$ ؛

أعد حساب قيمة q_{high} مستخدماً المعادلة (4a.I)؛

عُد ثانيةً إلى بداية تكرار مدى البحث وكرر منطلقاً من هناك.

إذا كانت $q > q_{low}$ ، تابع على النحو الآتي:

أعد حساب قيمة $A_{low} = A_{high}$ ؛

أعد حساب قيمة $q_{low} = q_{high}$ ؛

أعد حساب قيمة $A_{step} = 2 \times A_{step}$ ؛

أعد حساب قيمة $A_{low} = A_{low} - A_{step}$ ؛

أعد حساب قيمة q_{low} مستخدماً المعادلة (b4.I)؛

عُد ثانيةً إلى بداية تكرار مدى البحث وكرر منطلقاً من هناك.

وفي الحالات الأخرى، أي إذا كانت $q \geq q_{high}$ و $q \leq q_{low}$ ، فتابع من المرحلة 2. وتتطلب عروة مدى البحث الأولي في العادة عدداً قليلاً من عمليات التكرار. ومن أجل ضمان الاستقرار العددي، يجب إنهاء العروة بعد 10 عمليات تكرار بغض النظر عن قيم q_{low} و q_{high} ، ومتابعة العملية الحسابية انطلاقاً من المرحلة 2.

المرحلة 2: البحث الاثنيني

حدد قيمة A_{try} :

$$(5.I) \quad A_{try} = 0.5(A_{low} + A_{high}) \quad \text{dB}$$

ابدأ تكرار البحث الاثنيني:

احسب التوهين A_{try} المتعدي لنسبة مئوية من الزمن:

$$(6.I) \quad q_{try} = Q_{iter}(A_{try}) \quad \%$$

إذا كانت $q_{try} < q$ ، أعد حساب قيمة $A_{try} = A_{high}$.

وإلا، أعد حساب قيمة $A_{try} = A_{low}$.

أعد حساب قيمة A_{try} مستخدماً المعادلة (5.I).

عُد ثانية إلى بداية تكرار البحث الاثنيي وكرر منطلقاً من هناك. إن عدد عمليات تكرار عروة البحث الاثنيي n_{iter} يحدد الدقة المطلقة للدالة المحسوبة $A_{iter}(q)$. وتحقيقاً لقدر من الدقة يزيد على A_{acc} ، حدد n_{iter} عند قيمة أصغر عدد صحيح أكبر من أو يعادل $3.32 \log A_{step}/A_{acc}$. ويجب أن يكون $A_{acc} = 0.01$ dB كافياً. وفور إكمال عمليات التكرار n_{iter} ، تابع ما يرد أدناه.

احسب القيمة التقريبية للتوهين المتعدي للنسبة المئوية $q\%$ من الزمن بواسطة:

$$q_{try} = Q_{iter}(A_{try}) \quad \% \quad (7.I)$$

المرفق J

بنية نموذج الانتشار الواسع المدى

1.J مقدمة

يعرض هذا المرفق بنية نموذج الانتشار الواسع المدى الكلي ويشرح كيف أن الطرق المستخدمة في جمع النماذج الفرعية معاً تعكس خصائص الارتباطات القائمة للنماذج الفرعية.

ويستند النموذج إلى فكرة جمع النماذج الفرعية السبعة التي تمثل سبع آليات انتشار منفصلة. وهذه الآليات هي الانعراج والانتشار الموجه والانتشار التروبوسفيري والانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E والامتصاص الغازي والانتشار متعدد المسيرات/التبشير. وتوفر الآليات الأربع الأولى مسيرات من طرف إلى طرف آخر بين المرسل والمستقبل. وتتبع الموجات الراديوية لكل آلية من تلك الآليات، من حيث المبدأ، مساراً مختلفاً عبر الغلاف الجوي، وتعمل الآليات الأربع بصورة "متوازية". أما الآليات الثلاث الأخيرة فلا تقوم بحد ذاتها بتوفير مسيرات الإشارة بين المرسل والمستقبل، بل تشكل آليات توهين إضافية تنتج خسارة إضافية على المسيرات الأربعة من طرف إلى آخر.

ولا يُعتبر الجمع بين النماذج السبعة أمراً بسيطاً نظراً لكونها نماذج تعتمد على الوقت وتحمل الطابع الإحصائي. وتشكل خصائص ترابط النماذج المحور المركزي لهذه الطريقة. وتعكس ترابطات النماذج الترابطات بين آليات الأرصاد الجوية القائمة التي تسبب التغير في الوقت. وقد استُخدمت إعادة فحص حديثة لبيانات الأرصاد الجوية العالمية طويلة الأجل لتحديد الترابطات القائمة بين مختلف النماذج الفرعية. وكان لا بدّ من اعتماد التبسيط لوضع نموذج من السهل تنفيذه نسبياً - إذ يستدعي الأمر عموماً وجود نماذج عديدة تمثل الخصائص الإحصائية التامة لآليات الانتشار.

2.J الجمع بين النماذج الفرعية

يُظهر الشكل 1.2.J بنية النموذج الكلي. ويمثل الخط المزدوج للأطر والخطوط المزدوجة العرض في الرسم حقيقة أن ما ينساب في الشكل ليس إشارات أو طاقة بل هو توزيع إحصائي كامل للطاقة/الخسارة. وهو بالتحديد الدالة العكسية للتوزيع التراكمي (ICDF) للنماذج. ويحدد ذلك توزيع قيم خسارة الإرسال الأساسية L كدالة في النسبة المئوية p من الزمن. أما مضاميم النماذج فيتم تمثيلها بدوائر حيث يشير الحرف الموجود في المضمم إلى خاصية الترابط الخاصة بالمضمم: فالحرف "C" يرمز إلى الترابط التام، فيما يعني الحرف "E" عدم استبعاد إحدى الآليات للأخرى، بينما يشير الحرف "U" إلى انعدام الترابط. أما المضاميم التي تحمل الحرف "S" فهي مضاميم عديدة حيث تتمثل إحدى الكميات التي يتم جمعها في عدد بسيط (عادة ما يكون رقماً وسطياً) بدلاً من كونه توزيعاً تاماً.

وترد بشكل واضح في الفقرتين 4 و 5 تفاصيل الطريقة التي يتم بموجبها الجمع بين النماذج الفرعية. أما فيما يتعلق بالمعلومات، فيتم هنا عرض الصيغ المستخدمة للجمع بين عمليتي توزيع على أساس أن الأنواع الأربعة من خصائص الترابط قد استُخدمت.

تمثل L في المعادلات التالية خسارة الإرسال الأساسية لنموذج واحد من النماذج الأربعة للانتشار من طرف لآخر. وترمز A إلى التوهين بالنسبة إلى الفضاء الحر الناتج عن أحد النماذج الإضافية. وتدل $L(p)$ أو $A(p)$ على قيمة الدالة العكسية للتوزيع التراكمي الخاصة بنسبة مئوية p من الزمن. أما اللواحق $in1$ و $in2$ و out فتُستخدم بداهةً للدوال العكسية للتوزيع التراكمي، فيما تُعتمد اللاحقة $scal$ للدخل العددي.

فالجمع بين دالتين تامتي الترابط من الدوال العكسية للتوزيع التراكمي (المضمم "C") هو مجرد جمع للقوى أو الخسائر الخاصة بنسبة مئوية p من الزمن. وتُرتقن طريقة تنفيذ ذلك بما إذا كانت النماذج المقرّر الجمع بينها معبراً عنها بواسطة خسائر الإرسال الأساسية، أو خسارة الإرسال الأساسية والتوهين بالنسبة إلى الفضاء الحر:

$$(1a.J) \quad L_{out}(p) = -10 \log(10^{-0.1L_{in1}(p)} + 10^{-0.1L_{in2}(p)}) \quad \text{dB}$$

$$(1b.J) \quad L_{out}(p) = L_{in1}(p) + A_{in2}(p) \quad \text{dB}$$

كما يُعتبر الجمع بين دالة عكسية للتوزيع التراكمي وبين قيمة ثابتة (المضمم "S")، على سبيل المثال قيمة متوسطة وحيدة للتوهين، أمراً بسيطاً. فالخرج المتمثل بالدالة العكسية للتوزيع التراكمي هو مجرد دخل متمثل بدالة عكسية للتوزيع التراكمي تمت "زحزحته" على امتداد محور القوة/الخسارة بمقدار قيمة الكمية العددية للدخل:

$$(2.J) \quad L_{out}(p) = L_{in1}(p) + A_{in2} \quad \text{dB}$$

لاحظ أن المجموعتين "C" و "S"، يمكن تنفيذهما على أساس "كل نقطة على حدة"، أي أن قيمة الخرج عند النسبة المئوية $p\%$ من الزمن تتوقف فقط على قيم النسب المئوية $p\%$ لنماذج الدخل، ولا تتطلب عمليات التوزيع الكاملة.

أما الجمع بين الآليات التي لا تستبعد إحداها الأخرى (المضمم "E") فيتسم بقدر أكبر من الصعوبة في التنفيذ من الناحية الحسابية علماً بأنه بسيط من حيث المفهوم. فالنسب المئوية من الزمن لدالتين عكسيتين للتوزيع التراكمي للمدخلات تُجمع عند كل قيمة من قيم الخسارة:

$$(3.J) \quad p_{out}(A) = p_{in1}(A) + p_{in2}(A) \quad \text{dB}$$

ويتطلب ذلك إجراءً تكرارياً يستخدم عمليات التوزيع التامة لكميات المدخلات. وتُستخدم هذه الطريقة للجمع بين الآلية المتعلقة بالجو الصافي والأخرى المتعلقة بهطول المطر.

ولعله من المستغرب أن عملية الجمع بين دالتين من الدوال العكسية للتوزيع التراكمي غير المترابطتين (المضمم "U") هي العملية الأكثر صعوبة. وبالفعل فإن المطلوب هنا هو اعتماد تقنيات رقمية من قبيل طرائق مونت كارلو لتنفيذ ذلك على نحو صائب. فعند استخدام نموذج الانتشار الواسع المدى لمحاكاة طرائق مونت كارلو، فإن بنية نموذج الانتشار الواسع المدى تسمح بنمذجة القيم الإحصائية بشكل صحيح بأسلوب مباشر إلى حد معقول. ويرد شرح ذلك في الفقرة 3.5.

ومع ذلك فمن المعترف به أن نموذج الانتشار الواسع المدى سيُستخدم في الغالب في الظروف التي لا تبرّر التعقيد الحسابي لمحاكاة طرائق مونت كارلو. وفي هذه الحالة يتم تطبيق "فرضية" بسيطة لإتاحة المجال لحساب خسارة الإرسال الأساسية للنموذج التام عند قيمة واحدة للنسبة المئوية من الزمن. فالمبدأ يقضي بانتقاء الإشارة الأقوى، أو بشكل مكافئ القيمة الأدنى لخسارة الإرسال الأساسية، من مسيرين (أو أكثر) من مسيرات الإشارة عند كل نسبة مئوية p من الزمن. ويمكن في هذا الصدد استخدام دالة "مختلطة" للتخلص من حالات الانقطاع في الميل التي قد تستتبع مجرد القيام بالاحتفاظ بالقيمة الدنيا. وتُستخدم الطريقة التالية في الفقرة 2.5:

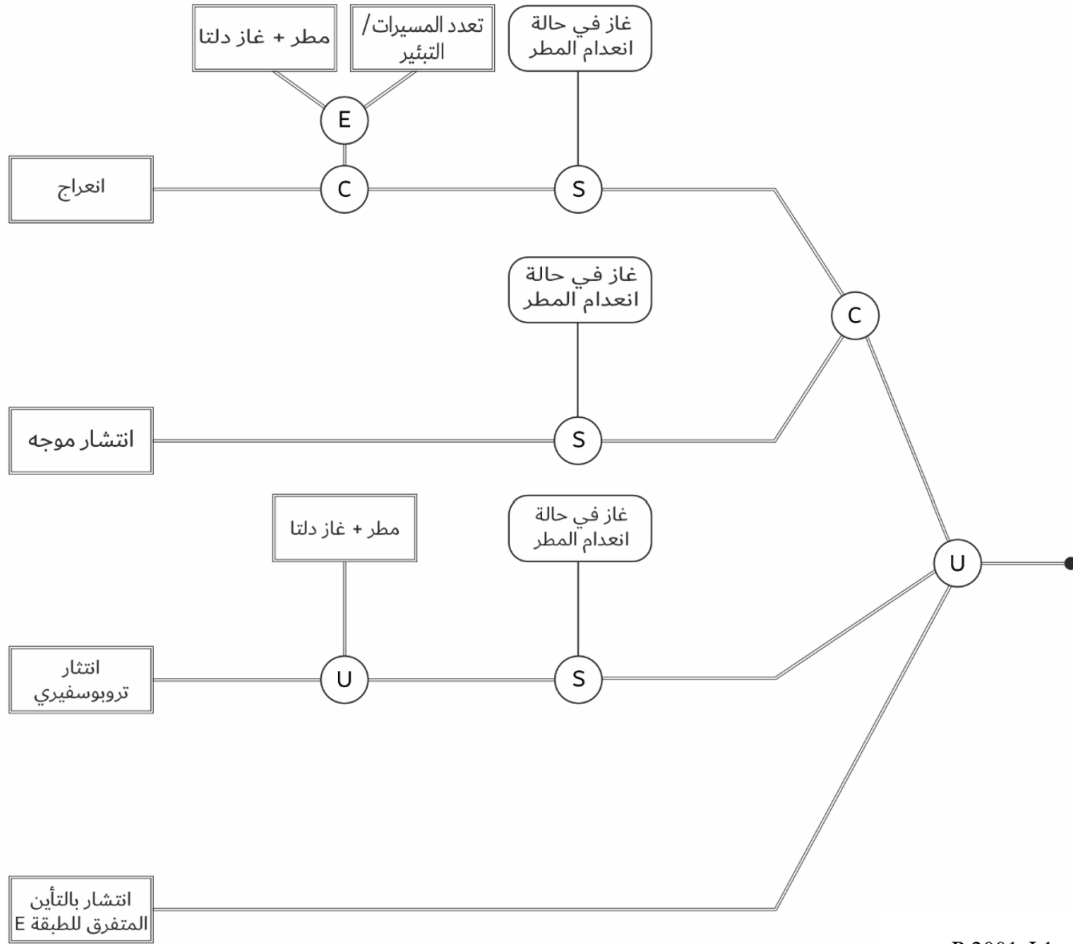
$$(4.J) \quad L_{out}(p) = -5 \log(10^{-0.2L_{in1}(p)} + 10^{-0.2L_{in2}(p)}) \quad \text{dB}$$

ومع أن ذلك يبدو شبيهاً جداً بالطريقة المتبعة في المعادلة (1a.2.J) ويتسم بميزة تتمثل في إمكانية تنفيذ الجمع على أساس "كل نقطة على حدة"، فإن المضمامين "U" و"C" يختلفان إلى حد بعيد من الناحية الإحصائية. فالإبقاء على الفصل المنطقي هنا يجعل من الأسهل بالنسبة لمنفذ النموذج أن يطبق الطرائق العددية للحصول على نتيجة أكثر دقة إحصائياً من اتباع النهج التحليلي البسيط للمعادلة (4.J).

وتجدر الإشارة إلى أن المعادلتين (1a.J) و(4.J) يمكن أن تواجههما مشكلة تتعلق بالعدد إذا كانت خسارات الإرسال الأساسية كبيرة جداً. فقد تتسبب التقييدات العددية في جعل متغير الدالة اللوغاريتمية مساوياً للصفر. ويتم تجنب ذلك باستخدام الصيغة المكافئة حسابياً لتلك المعادلات الواردة في الفقرة 5. ويؤدي ذلك إلى فصل خسارة الإرسال الأساسية للنموذج الفرعي المهيمن وإضافة تصويب إليها يأخذ في الاعتبار النماذج الفرعية الأخرى.

الشكل 1.J

مخطط جمع النماذج الفرعية



P.2001-J.1