

ITU-R P.2001-6 التوصية
(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 والسياسية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلال توقيبات قطاع الاتصالات الراديوية

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

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

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

التوصية 6-2001-R.PITU

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

(المسألة 3/205 ITU-R)

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

مجال التطبيق

تضمن هذه التوصية نموذج انتشار أرضي واسع المدى للأغراض العامة يتبناه بخسارة الإرسال الأساسية نتيجة كل من تحسينات الإشارة والخطأ فعلياً فوق المدى بين 0% و100% من السنة المتوسطة، مما يجعل هذا النموذج ملائماً بشكل خاص لطائق مونت كارلو والدراسات التي يجب فيها استعمال نفس نموذج الانتشار، دون انقطاعات في خرجه، للإشارات التي قد تكون مطلوبة أو من المحتمل أن تكون سبباً للتداخل. ويعطي 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، الانزاج، الانتشار الموجه، هطول الأمطار، انعكاس الطبقات، الانتشار التروبوسفيري، الامتصاص الغازي، الانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E

المختصرات/مسند المصطلحات

الدالة العكسية للتوزيع التراكمي (Inverse cumulative distribution function) ICDF

خريطة العالم الرقمية لدى الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU Digitized World Map) IDWM

خط البصر (Line-of-sight) LoS

خارج خط البصر (Non-line-of-sight) NLoS

الموجات الديسيمترية (Ultra-high frequency) UHF

الموجات المترية (Very high frequency) VHF

نموذج الانتشار الواسع المدى (Wide-range propagation model) WRPM

توصيات الاتحاد وتقاريره ذات الصلة

التوصية 452 ITU-R P.452

التوصية 528 ITU-R P.528

التوصية 530 ITU-R P.530

التوصية 617 ITU-R P.617

التوصية 676 ITU-R P.676

التوصية 836 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/طبعه 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 والمتحمل أن تكون سبباً للتداخل؛

(ب) أنه من أجل تحطيط الأنظمة الراديوية عالية الأداء، يجب أن يتضمن التنبؤ بتفاوت سويات الإشارات الذيل الضعيفة الاحتمالية لكلٍ من توزيعات الخبو والتحسينات؛

(ج) أن حماكة طائق مونت كارلو مفيدة لأغراض تحطيط الطيف،

وإذ تلاحظ

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

(ب) أن التوصية ITU-R P.452 تنص على توجيه يتعلق بالتقدير المفصل للتداخل الموجات الصغرية فيما بين المحطات فوق سطح الأرض عند ترددات تزيد على 700 MHz تقريباً؛

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

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

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

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

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

(ح) أن التوصية ITU-R P.844 تلخص أساليب مسارات 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 الديول الضعيفة الاحتمالية لعبو الإشارات وتحسينها، ولطائق محاكاة مونت كارلو.

الملحق

نموذج الانتشار الواسع المدى وصف طريقة الحساب

جدول المحتويات

الصفحة

6	.....	مقدمة.....	1
6	.....	إمكانية التطبيق.....	1.1
6	.....	التبادلية، وتسمية المطارات.....	2.1
6	.....	التكرار.....	3.1
6	.....	تنظيم النوصية.....	4.1
7	.....	أسلوب الوصف.....	5.1
7	.....	المدخلات.....	2
7	.....	المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية.....	1.2
8	.....	مدخلات أخرى.....	2.2
8	.....	الثوابت.....	3.2
9	.....	نواتج رقمية مكملة.....	4.2
10	.....	الحسابات الأولية.....	3
11	.....	النسب المئوية الزمنية المحدودة.....	1.3
12	.....	طول المسير، والنقط الوسيطة، وجزء المسير فوق البحر.....	2.3
12	.....	ارتفاعات الهوائي وميل المسير.....	3.3
12	.....	المعلمات المناخية.....	4.3
14	.....	هندسة نصف قطر الأرض الفعال.....	5.3
14	.....	طول الموجة.....	6.3
14	.....	تصنيف المسير ومعلمات أفق المطراف.....	7.3
16	.....	ارتفاعات الفعالة ومعلمة خشونة المسير.....	8.3
18	.....	قطع مسیر الانتشار التروبوسفيری.....	9.3

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

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

1 مقدمة

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

ويصف المرقق J بنية النموذج، وبالتالي كيفية توليف وضم النتائج التي تمثل آليات الانتشار المختلفة.

1.1 إمكانية التطبيق

يرد مدى إمكانية التطبيق على النحو التالي:

التردد: GHz 30 إلى 50.

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

النسبة المئوية للزمن: يتباين هذا النموذج بالخسارة الأساسية للإرسال غير المتعددة خلال نسبة مئوية معينة من السنة المتوسطة. وكذا في النموذج 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 المطاراتيف

يُستخدم المصطلحان "هوائي الإرسال" و"هوائي الاستقبال"، أو باختصار "المرسيل" و"المستقبل"، للتمييز بين المطاراتيف. ويُعتبر ذلك ملائمًا لأغراض الوصف.

ومع ذلك يُعتبر هذا النموذج متوازنًا. فتسمية أي من المطاراتفين "مرسلاً" لا يؤثر في النتيجة بأي شكل من الأشكال. ومن المتعارف عليه أن "المرسيل" يكون في بداية المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية.

3.1 التكرار

تستدعي بعض أجزاء النموذج إجراء حسابات تكرارية. ويرد وصف لإجراءات التكرار المعينة التي تبين أنها كافية ومستقرة. ييد أن ذلك لا يعني بالضرورة أنها إجراءات مُثلى. فقد تُستخدم نماذج تكرارية أخرى إذا ما تبين أنها تقدم نتائج مماثلة إلى حد بعيد.

4.1 تنظيم النوصية

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 المعلمات المناخية الراديوية. وتُدرج في الجدول 4 المعلمات المناخية والقيم المستخرجة من المدخلات بحسب الترتيب الأبجدي الإنكليزي لرموزها تقريبًا. ويُستخدم الكثير من تلك المعلمات في أكثر من مكان واحد في النموذج بأكمله، وتعتبر كل الرموز الواردة في الجدول 4 مميزة ومترفة داخل هذه النوصية.

ويعرض القسم 4 النماذج الفرعية الرئيسية الأربع التي قُبِّلت الطريقة إليها. وتصف الأجزاء الفرعية التالية العمليات الحسابية للنماذج الفرعية تلك، التي ينطبق معظمها على مجموعة من آليات الانتشار. وتشير تلك الأوصاف بشكل موسع إلى المrfقات 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 الهاوية بضم النتائج المستقاة من النماذج الفرعية الرئيسية الأربع. كما تأخذ طريقة الضم في الحسبان خواص الترابط الإحصائي بين النماذج الفرعية. وقد قدمت طریقتان بدیلنان، إحداها تعتبر ملائمة حين يلزم الحساب المباشر لخسارة الإرسال الأساسية الكلية المتعلقة بقيمة معينة للنسبة المئوية للزمن. وتتضمن هذه الطريقة معالجة تقريبية لإحصاءات غير متربطة. أما الطريقة الثانية فتعد مناسبة عند استخدام نموذج الانتشار الواسع المدى (WRPM) في محاكاة طائق مونت كارلو. وفي هذه الحالة، يمكن نمذجة الإحصاءات غير المتربطة بدقة أكبر عن طريق ضم 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. وتتبع المعادلات أحياناً بكلمة "حيث"، علماً بأن ذلك لا يتعدى بضعة أسطر قليلة. وقد جرى تحنيب القوائم الطويلة التي تتضمن كلمة "حيث".

أما الرموز الواردة في المrfقات 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 بالتبغيب، أي أن $\log(x) = \log_{10}(x)$. ويشار إلى اللوغاريتمات الطبيعية حيثما تستخدم بوصفها $\log_e(x) = \ln(x)$.

2 المدخلات

تتألف مدخلات 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 يتتوفر المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية الذي يعطي ارتفاعات سطح الأرض فوق سطح البحر، سواء كانت أرضية أم مائية، عند نقاط على امتداد مسیر الدائرة العظمى الراديوي. كما تلزم معلومات عن مسافات تمت فوق البحر أو فوق كتلة مائية كبيرة، وفوق الأرضي 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 صفيفات يكون لكل صفييف 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 صفييف إضافي يضم رموز المناطق كجزء من المظهر الجانبي:

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

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

ويجب أن تكون نقاط المظهر الجانبي على مسافات متساوية من بعضها البعض. وبذلك يصبح $d_1 = km$ و $d_n = km$ حيث $d = d_i$. km ($n - 1$) / d ($i - 1$) . km.

وليس من المهم إذا كان الصفييف d_i صفييفاً تكرر 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 تفني n بالشرط $3 \geq n$. 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 بمباعدة 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 البعد 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 صفرى 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. وتنطبق الرموز والوحدات الواردة هنا على النوصية بأكملها.

الجدول 1

المدخلات الأخرى

الوصف	الرمز
التردد	f (GHz)
رمز يشير إما إلى استقطاب خطى أفقى أو رأسى	T_{pol}
خط الطول/خط العرض للمستقبل	$\varphi_{re, rn}$ (degrees)
خط الطول/خط العرض للمرسل	$\varphi_{re, rm}$ (degrees)
ارتفاع المركز الكهربائي هوائي الإرسال/الاستقبال فوق الأرض	$h_{tg, rg}$ (m)
النسبة المئوية من سنة متوضطة التي لا يتم خلالها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية المتباينة بما	T_{pc} (%)
كسب هوائي الإرسال/الاستقبال في الاتجاه السمتى للمسير نحو هوائي الآخر، وعند زاوية الارتفاع فوق الأفق الخلائق للهوائي الآخر في الحالة المتعلقة بمسير خط البصر (LoS)، أو خلاف ذلك للأفق الراديوى 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	$8 \times 10 \times 2,998$	c (m/s)
متوسط نصف قطر الأرض	6 371	R_e (km)
السماحية النسبية للأرض	22,0	ϵ_{rlnd}
السماحية النسبية للبحر	80,0	ϵ_{rsea}
الإيصالية النسبية للأرض	0,003	σ_{land} (S/m)
الإيصالية النسبية للبحر	5,0	σ_{sea} (S/m)

نواتج رقمية مكملة 4.2

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 لملف "surfwv_50.txt" المرتبطة بالتوصية P.836-4 ITU-R. ويقل عدد أعمدة الملف "surfwv_50.txt" بمقدار واحد عن المتوقع طبقاً للملفين "surfwv_lon.txt" و "surfwv_lat.txt" والمقددين بالبيانات. وقد افترض أن العمود المقابل لخط الطول 360° حذف من الملف وقد تم تصحيح ذلك في الملف "surfwv_50_fixed.txt".

وقيمة "العمود الأول" هي خط عرض الصف الأول.

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

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

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

ويحتوي الملف TropoClim.txt على معلومات 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، ينبغيأخذ القيمة عند أقرب نقطة شبكة. ويلاحظ، بالنسبة لهذا الملف أ) أن الشبكة تتزحزن بمقدار نصف يكسل مقارنة بالملفات الأخرى؛ وب) أن القيم في العمود الأخير لا تمايل 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 المعلمات الهامة المستخرجة من المدخلات. وترد هذه المعلمات في الجدول 4.

الجدول 4

المعلمات الأساسية

الوصف	المرجع	الرمز
نصف قطر الأرض المتوسط الفعال	الفقرة 5.3	a_e (km)
تهجين غازي، وتهينات بخار الماء بوجود وعدم وجود المطر، لمسير سطحي	الفقرة 10.3	A_{gsur} $A_{wrsur, wsur}$ (dB/km)
نصف قطر الأرض الفعال المتعدد للنسبة المغوية $p\%$ من الوقت، محدود بحيث لا يصبح لا متهيأ	الفقرة 5.3	a_p (km)
الاختاء الأرض الفعال. يكون في العادة موجباً، ولكن بالنسبة ل نسبة صغيرة p قد يكون صفرأً 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 الكبري	الفقرة 7.3	$d_{lt, lr}$ (km)
المسافات من المطراف إلى الحجم المشترك لانتشار التروبوسفيري	الفقرة 9.3	$d_{icv, rev}$ (km)
ارتفاع الحجم المشترك لانتشار التروبوسفيري	الفقرة 9.3	$(^1)h_{cv}$ (masl)
ارتفاع المواتي الأعلى/الأدنى	الفقرة 3.3	$(^1)h_{hi, lo}$ (masl)
معلمة خشونة المسير	الفقرة 8.3	h_m (m)
الارتفاع الأرضي عند منتصف المسير	الفقرة 2.3	$(^1)h_{mid}$ (masl)
الارتفاع الفعال للمرسل/المستقبل فوق سطح منتظم لنموذج غير المألف (الانتشار الموجه وانعكاس الطبقات)	الفقرة 8.3	$h_{tea, rea}$ (m)
الارتفاع الفعال للمرسل/المستقبل فوق سطح منتظم لنموذج الانزاج	الفقرة 8.3	$h_{tep, rep}$ (m)
ارتفاع المرسل/المستقبل فوق متوسط سطح البحر	الفقرة 3.3	$(^1)h_{ts, rs}$ (masl)
مؤشرات المظهر الجانبي لأفق المرسل/المستقبل	الفقرة 7.3	$i_{lt, lr}$
خسارة الإرسال الأساسية في الفضاء الحر بالنسبة لطول المسير والتعدد	الفقرة 11.3	L_{bfs} (dB)

المجدول 4 (تتمة)

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

(1) masl: أمتار فوق سطح البحر.

1.3 النسب المئوية الزمنية المحدودة

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

النسبة المئوية التي لا يتم فيها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية:

$$(2) \quad p = T_{pc} + 0.00001 \left(\frac{50 - T_{pc}}{50} \right) \quad \% \quad \text{النسبة المئوية التي يتم فيها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية:}$$

$$(3) \quad q = 100 - p \quad \% \quad \text{النسبة المئوية التي يتم فيها تجاوز خسارة الإرسال الأساسية:}$$

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 خطى الطول وخطى العرض عند المرسل والمستقبل، كما هو وارد في الجدول 3، باستخدام طريقة مسیر الدائرة الكبرى الواردة في المرفق H ووضع $d_{pnt} = 0,5$ 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:

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

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

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

3.3 ارتفاعات الهوائي وميل المسير

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

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

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

عيّن 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 $h_{ts} = h_{rs}$.

احسب القيمة الموجبة لميل المسير بواسطة:

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

4.3 المعلمات المناخية

يمكن استخدام القيم المقيدة للمعلمات المناخية التالية التي تنطبق على المنطقة المعنية إذا ما توفرت. وحين لا تتوفّر القياسات المناسبة، يمكن الحصول على المعلمات المتعلقة بخط الطول وخط العرض منتصف المسير من ملفات البيانات على النحو الوارد شرحه في الأقسام الفرعية التالية. وقد نظمت الملفات بشكل صفيفات من القيم عند مسافات تبعد 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 الخطيه باعتماد البيانات الأربعة الأقرب إلى النقطة المطلوبة. وكل ملفات البيانات تلك ملفات تتعلق بخط الطول وخط العرض تقترب بها وتحدد موقع كل نقطة من النقاط.

1.4.3 الانكسارية في المسافة الأدنى البالغ طولها 1 km

تعطي المعلمات 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 بدهاً من السطح وحتى علو قدره 1 km فوق سطح الأرض. ويُستخدم هاتان المعلمات لتفسير انحسار الأشعة في حسابات الانبعاث من خلال مفهوم نصف قطر الأرض الفعال أو انحسارها الفعال. ويمكن اعتبارهما بمثابة تدرج انكساري متوسط مكانيًّا في المسافة الأدنى للغلاف الجوي البالغ طولها 1 km.

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

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

ويتماشى 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 شرحة في الفقرة 2.4.3 أدناه.

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

يتم الحصول على N_{d1km50} على النحو التالي:

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

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

ويتم الحصول على N_{d1kmp} على النحو التالي:

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

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

حيث:

$S_{\Delta Nsup}$: القيمة المقرأة من الملف "DN_SupSlope.txt" لمنتصف المسير؛

$S_{\Delta Nsub}$: 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 تجاوزها خلال نسبة 1% من السنة المتوسطة. وهي مطابقة للمعلمة dN_1 في التوصية ITU-R P.530.

ويمكن الحصول على المعلمة من 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، ولقطيعي المسير من المطراف إلى الحجم المشترك في النموذج الفرعي لانتشار التربوبوسفيري 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 الموقع الجغرافية المطلوبة في الفقرة 1.4 والفرقة 3.4 أدناه. أما الحسابات الواردة في الفقرة 2.C فهي أولية لكل مسیر أو مقطع من مسیر. ويُستخدم 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 الفعال

يبلغ نصف قطر الأرض المتوسط الفعال:

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

ويبلغ اخناء الأرض الفعال:

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

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

يكون نصف قطر الأرض الفعال المتعدي 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 الفعال 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 تصنیف المسیر ومعلومات أفق المطراو

تكون زوايا ارتفاع المطراو ومسافاته 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 ثری من المرسل، بافتراض وجود مسیر 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 $\theta_{tr} < \theta_{tim}$ ، يكون المسير في خط البصر. وتحخذ مسافات المطراف النظرية بالنسبة للنقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمة الانتعاج الأكبر، ٧، وتحخذ كل زاوية من زوايا ارتفاع الأفق بوصفها زاوية للمطراف الآخر.

احسب النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمة الانتعاج 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 .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

وتعطى زاوية ارتفاع الأفق للمرسل بالنسبة لخط الأفق 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 .

وتعطى مسافة الأفق للمستقبل ومؤشر المظهر الجانبي لنقطة الأفق بواسطة:

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

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

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 المحددة بكل منهما 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

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

احسب القيم الأولية المؤقتة لارتفاعات السطح المنتظم عند طرف الإرسال والاستقبال للمسير كالتالي:

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

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

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

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

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

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

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

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

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}

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

والآن يعطى الارتفاع الفعالان لهوائي الإرسال والاستقبال فوق سطح منتظم كما يلي:

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

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

احسب معلمة خشونة المسير بواسطة بالمعادلة:

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

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

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

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

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

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

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

حيث:

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

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

احسب القيم المؤقتة لارتفاعات السطح المنتظم عند طرف الإرسال والاستقبال للمسير:

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

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

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

وإلا فإن:

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

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

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 طرف الإرسال والاستقبال للمسير:

إذا كان h_{st} أكبر من h_1 ، عندئذٍ:

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

وإذا كان h_{sr} أكبر من h_n عندئذٍ:

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

احسب الارتفاعات الفعلية للهواي 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 مسیر الانتشار التربوبوسفيري

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

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

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

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

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

احسب خط الطول وخط العرض للحجم المشترك للانتشار التربوبوسفيري، φ_{cve} و φ_{cvn} ، انطلاقاً من خطوط الطول وخطوط العرض للمرسل والمستقبل على النحو الوارد في الجدول 1، باستخدام طريقة مسیر الدائرة الكبرى للمرفق H ووضع $d_{pnt} = d_{tcv}$ في المعادلة (7.H).

احسب ارتفاع الحجم المشترك للانتشار التربوبوسفيري بواسطة:

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

احسب خطوط الطول وخطوط العرض لنقط المتصفح لقطع المسير من المرسل إلى الحجم المشترك ومن المستقبل إلى الحجم المشترك φ_{tcve} و φ_{rcvn} و φ_{rcve} . ويمكن الحصول على تلك القيم باعتماد طريقة مسیر الدائرة الكبرى في المرفق H بوضع $d_{pnt} = 0,5 d_{tcv}$ ووضع $d_{pnt} = d - 0,5 d_{rcv}$ 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 لحساب التوهينات الغازية في مسیر سطحي بسبب الأكسجين، وتهينات بخار الماء بوجود المطر وعدم وجود المطر. يعطي ذلك قيماً للكميات A_{wsur} و A_{osur} كما تم حسابها بواسطة المعادلات من (2a.F) إلى (2c.F).

تعطى التوهينات الغازية الكلية في حالة عدم وجود المطر بواسطة:

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

وُستخدم القيم A_{wsur} و A_{osur} 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 مسیر الدائرة العظمى (km)

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

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

12.3 خسارة الانتعاج على حد السكين

تعطى خسارة الانتعاج على حد السكين بوحدة dB كدالة في المعلمة الابعدية v بواسطة:

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

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

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

4 الحصول على تنبؤات لنماذج الفرعية الرئيسية

ت تكون هذه الطريقة من أربعة نماذج فرعية رئيسية تأخذ في الاعتبار مجموعات مختلفة من آليات الانتشار. وترد في المرفق J الطريقة التي تجمع بها النماذج الفرعية معاً، وبصيغة بيانية في الشكل J.1.2. ويتم جمع النماذج بطريقةٍ توضح الترابطات الإحصائية القائمة بين مختلف النماذج الفرعية.

وتلقياً للمؤشرات السفلية للرموز البالغة التعقيد، يتم ترقيم النماذج الفرعية على النحو التالي.

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

النموذج الفرعي 2. انتشار غير مأ洛ف نتيجة الغلاف الجوي الطبيعي، 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.

وتحجم 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 الانتعاج غير المتعددة للنسبة $p\%$ من الزمن، L_d ، كما هو وارد في المرقق A، حيث يعطى L_d بواسطة المعادلة (1.1.A).

استخدم الطريقة الواردة في الفقرة 2.B من المرقق B لحساب التجاوز النظري لانعدام الخبو في الهواء الصافي لمنطقة زمنية Q_{0ca} ، المستخدم في إطار الطريقة المتعلقة بالهواء الصافي الواردة في الفقرة 4.B.

وتشير المعلمة A_1 إلى الخبو بالديسيبل (dB) الناجم عن الهواء الصافي وهطول الأمطار/الثلوج الرطبة مجتمعين. وتعامل 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 المرقق I.

وفي المرقق I، تُستخدم الدالة $A_{iter}(q)$ دالة $Q_{iter}(A)$ 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، وتعزف 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 لمنطقة 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 وجود A_{wrsur} و A_{wsur} .

2.4 النموذج الفرعي 2 الانتشار غير المألف

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

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

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

3.4 الموضع الفرعي 3 الانتشار بالانتشار التروبوسفيري

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

احسب التوهين A_2 المتعدد لنسبة زمنية $q\%$ فوق مسیر الانتشار التروبوسفيري.

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

$$(49a) \quad \Phi_e = \Phi_{tce} \quad \text{degrees}$$

$$(49b) \quad \Phi_n = \Phi_{tcn} \quad \text{degrees}$$

$$(49c) \quad h_{rainlo} = h_{ts} \quad \text{masl}$$

$$(49d) \quad h_{rainhi} = h_{cv} \quad \text{masl}$$

$$(49e) \quad d_{rain} = d_{tcv} \quad \text{km}$$

احتفظ بقيمة F_{wvr} المحسوبة في الفقرة C.2 وسمّها: F_{wvrtx}

احسب الخبو الناجم عن الجو الصافي/هطول الأمطار لقطع المسیر 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 C.2 من المرفق C لقطع المسیر من المستقبل إلى الحجم المشترك باعتماد المدخلات التالية:

$$(51a) \quad \Phi_e = \Phi_{reve} \quad \text{degrees}$$

$$(51b) \quad \Phi_n = \Phi_{rcn} \quad \text{degrees}$$

$$(51c) \quad h_{rainlo} = h_{rs} \quad \text{masl}$$

$$(51d) \quad h_{rainhi} = h_{cv} \quad \text{masl}$$

$$(51e) \quad d_{rain} = d_{rcv} \quad \text{km}$$

احتفظ بقيمة F_{wvr} المحسوبة في الفقرة C.2 وسمّها: F_{wvrrx}

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

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

وبالنسبة لمقطعي المسیر، 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 قيمًا تجريبية. أما الدالة $Q_{iter}(A)$ فيتم تحديدها مقاطع مسیر 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 تُعرف الدالة $Q_{rain}(A)$ في الفقرة 3.C. أما Q_{0ra} فهي كما تم حسابها في الحسابات الأولية السابقة في الفقرة C.2.

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 F.3 من المرفق F لحساب التوهينات الغازية بسبب الأكسجين، وتهينات بخار الماء بوجود المطر وبعد وجوده، بالنسبة لمصير الانتشار التروبوسيفيري. يعطي ذلك قيم A_{wrs} و A_{ws} و A_{os} كما تم حسابها بواسطة المعادلات من (5a.F) إلى (5c.F).

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

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

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

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

حيث F_{wvrtx} و F_{wvrrx} هما القيمتان المحفوظتان لقطعى مسیر المرسل والمستقبل كما ورد وصفهما بعد المعادلين (49e) و (51e).

4.4 النموذج الفرعي 4 الانتشار بالتأين المتفرق للطبقة E

قد يكون الانتشار بالتأين المتفرق للطبقة E ملحوظاً للمسيرات الطويلة والتددات المنخفضة.

استخدم الطريقة الواردة في المرفق G لحساب خسارة الإرسال الأساسية غير المتعددة لـ $p\%$ نتائج 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 التددات العالية و/أو بالنسبة للمسيرات القصيرة.

5 جمع نتائج النماذج الفرعية

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

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

أما النماذجان الفرعيان 3 و 4 وجمع النماذجين الفرعيين 1 و 2 فليست متربطة بشكل كبير. ومن أجل الحصول على نتائج صحيحة إحصائياً عند النسبة الزمنية T_{pc} للنماذج الفرعية غير المتراكبة، تدعى 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 المتراكبة بأسلوب بسيط، كما هو وارد في المرفق J.

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

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

ويتم في الأقسام الفرعية التالية إدخال المعلمة L_m لمعالجة مسألة عدديّة محتملة بمحثت في نهاية المرفق J.

1.5 جمع النماذج الفرعية 1 و 2

ترتبط آليات النماذج الفرعية 1 و 2 وتجمع معاً لإعطاء خسارة الإرسال الأساسية L_{bm12} حدد أولاً L_m بالقيمة الأصغر لخساري الإرسال الأساسية 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 النماذج الفرعية 3 و 4 غير متزابطة مع بعضها ومع مجموعة النماذج الفرعية 1 و 2. وتجمع خسارات الإرسال الأساسية الثلاث تلك معاً لتعطي L_b بطريقة تعمل على تقرير 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 المتزابطة بين النماذج الفرعية 3 و 4 ومجموعة النماذج الفرعية 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_{bm4} و L_{bm3} و L_{bm12} و L_m عند قيم مستقلة عن بعضها للنسبة الرمزية T_{pc} . ويعنى آخر فإن القيم $(T_{pc1}, T_{pc2}, T_{pc3})$ يجب أن تُحسب حين تكون T_{pc1} و T_{pc2} و T_{pc3} قيماً مستقلة إحصائياً ومتولدة عشوائياً في المدى 0-100%. ومن ثم 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_{bm4} و L_{bm3} . 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 حدتها الأمثل: إذ لا يتطلب كل نموذج من النماذج الفرعية كل تلك الحسابات ويعتبر الكثير من الحسابات مستقلة عن T_{pc} .

المرفق A

خسارة الانعراج

مقدمة 1.A

تحسب خسارة الانعراج (L_d dB) غير المتعددة 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 بولغتون للمظهر الجانبي للمسير الفعلي، كما تم حسابها في الفقرة 4.A.

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

2.A خسارة الانعراج على أرض كروية

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

احسب المسافة الهاامشية لمسيير 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 $a_{dfi} = a_p$ لإعطاء L_{dfi} ، وحدد L_{dsph} بحيث تساوي L_{dfi} . 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 المهوائيات، 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:

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

إذا 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 قطر الأرض الفعال المعدل، 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} .

إذا 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 قطر الأرض الفعال a_{dft} ويرد تحديد قيمة a_{dft} المعنى استخدامها في الفقرة 2.A.

ضع $\sigma_{land} = \varepsilon_r = \varepsilon_{rland}$ 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 .

ضع $\sigma_{sea} = \varepsilon_r = \varepsilon_{rsea}$ 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 .

والآن يعطى 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، وتنظر في الجدول 4.

بداية العمليات الحسابية التي يجب إجراؤها مرتبة

العامل المقيس للسماسحة السطحية لاستقطاب أفقى ورأسي:

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

و:

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

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

المسافة المقيسة:

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

الارتفاع المقيس للمرسل والمستقبل:

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

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

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

والآن يعطى الحد الأول لخسارة الانتعاج على أرض كروية بما يلى:

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

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 المتند من المرسل إلى النقطة.

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

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

احسب ميل الخط من المرسل إلى المستقبل مفترضاً وجود مسیر 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 لاختناء الأرض الفعال غير المتعدى خلال النسبة الزمنية $%p$
إذا كان $S_{tr} < S_{tim}$ ، يكون المسير في خط البصر.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمـة الانعراج الأعلى v_a :

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

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

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 لاختناء الأرض الفعال غير المتعدى خلال النسبة الزمنية $%p$
إذا كان $S_{tr} \geq S_{tim}$ ، يكون المسير خارج خط البصر.

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

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

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

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 الانتعاج، 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 الانتعاج للمسير 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 انتعاج بولنغتون لمظهر جانبي وطني لمسير منتظم

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

وتحسب خسارة الانتعاج الناتجة، L_{dbs} ، كما يلي.

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

حدد النقطة وسيطة للمظهر الجانبي ذات الميل الأكبر للخط المتند من المرسل إلى النقطة نسبة إلى الخط المستقيم الذي يصل بين مستويات سطح البحر عند المطارات.

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

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

احسب ميل الخط الواصل بين المرسل والمستقبل مفترضاً وجود مسیر 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 الفعال غير المتعدى خلال النسبة الرمزية $%p$
إذا كان $S_{tr} < S_{tim}$ ، يكون المسير في خط البصر.

حدد النقطة الوسيطة للمظهر الجانبي ذات معلمة الانتعاج الأعلى ٧:

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

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

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

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

حيث تُحدَّد الدالة J بواسطة المعادلة المُؤلَفة من قسمين (43).

الحالة 2. المسير خارج خط البصر بالنسبة لقطر الأرض الفعال غير المتعدى خلال النسبة الزمنية %p

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

حدد النقطة الوسيطة للمظاهر الجانبية ذات الميل الأكبر للخط المستند من المستقيما 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 $n - 1$.

احسب المسافة من المربى إلى نقطة يولنغيتون:

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

حسب معلمة الانعراج، v_b ، لنقطة بولنغتون:

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

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

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

حيث تُحدَّد الدالة J بواسطة المعادلة المُلْفَّة من قسمٍ (43).

والآن **تُعطى** خسارة انعاج بولنغتون للمسيء 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

مقدمة 1.B

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 لمسیرات الانتشار التربوبوفيري.

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 معين.

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 لمتصف المسير. وهي ترد في الجدول 4 ويتم الحصول عليها على النحو الوارد في الفقرة 2.4.3.

وتحسب النسبة المئوية الزمنية النظرية للخبو الصفرى لأسوأ الشهور التي تميز الجزء الخاص بالخبو العميق من التوزيع على النحو الآتى. 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 السنوية للخبو الصفرى نظرياً، Q_{0ca} ، مستخدماً الإجراء الوارد في الفقرة 3.B باعتماد المدخلات التالية:

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

$$(2b.B) \quad \epsilon_{ca} = \epsilon_p \quad \text{mrad}$$

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

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 مسیر خارج خط البصر، تُحسب قيمة المدة الزمنية للخبو الصفرى نظرياً من كل هوائي إلى الأفق الراديوي الخاص به، ويتم اختيار النتيجة الأكبر من بين النتيجتين وذلك على النحو الآتى.

احسب النسبة المئوية السنوية للخبو الصفرى 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_{lt} و i_{lt} و h_{ts} في الجدول 4.

احسب النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفرى 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 i_{lr} و h_{rs} في الجدول 4 ويتم حسابها في الفقرتين 3.3 و 7.3.

والآن تُعطى النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفرى نظرياً للمسير بأكمله بالقيمة الأكبر بين النسبتين الزمنيتين المرتبطتين بالمرسل والمستقبل:

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

3.B حساب النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفرى نظرياً

يتم في هذا القسم حساب النسبة المئوية الزمنية السنوية للخبو الصفرى نظرياً، Q_{0ca} . وثمة حاجة إلى إجراء العملية الحسابية في الفقرة 2.B إما مرة واحدة أو مرتين، حسب نوع المسير. ويطلب 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 الصفرى نظرياً لأسوأ الشهور:

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

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 الصفرى 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 مسیر سطحي

يحدد هذا القسم الدالة (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 $50\% < q < 100\%$ وعمليات

تحسين ($A < 0$), حين تكون $q > 50\%$ وتعطى 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 مسیر سطحي.

وتعتبر قيمة Q_{0ca} كما حسبت في الفقرة 2.B أعلاه ضرورية لحساب قيمة الدالة $Q_{caf}(A)$. وفيما يتعلق بمسیر وتردد معينين، يجب حساب الدالة Q_{0ca} مرة واحدة فقط. ومن ثم يمكن استخدام الدالة $Q_{caf}(A)$ العدد اللازم من المرات الوارد في الفقرة 1.4.

وحين يكون $0 \geq A$, تُعطى الدالة $Q_{caf}(A)$ بما يلي:

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

حيث:

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

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

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

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

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

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

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

يحدد هذا القسم الدالة $Q_{caf tropo}(A)$ التي تعطي النسبة المئوية ملدة زمنية بدون مطر يتم خاللها 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 مسیر انتشار تروبوسفيري.

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

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

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

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

المرفق C

الخبو بسبب هطول الأمطار

مقدمة 1.C

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 معلومات 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 $A_{iter}(q)$ التي تتطلبها دالة التكرار A_{iter} الوارد وصفها في المرفق I وفقاً للآليات كما هو محدد في القسم الفرعى المناسب من الفقرة 4.

2.C الحسابات الأولية

تتطلب الحسابات الأولية المدخلات التالية:

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

وتد القيم المستخدمة لمدخلات 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_Mt_v5.txt" و "Esarain_Pr6_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:

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

و يتم الأخذ في الاعتبار التغير في ارتفاع المطر طوال سنة متوسطة من خلال التوزيع المتقطع للاحتمالات ضمن خانات من 100 المورد في الجدول 1.C.

احسب أعلى ارتفاع للمطر بواسطة ما يلي:

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

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 خاصاً لهطول المطر أم مسيراً "بدون مطر". ويُستخدم هذا التصنيف في الفقرة 3.C. وإذا كان $h_{rainlo} \geq h_{Rtop}$ أو $P_{r6} = 0$ ، يُصنف المسير على أنه مسيراً "بدون مطر". وفي هذه الحالة، نضع $F_{wvr} = 0$ و $Q_{0ra} = 0$. ونحذف الحسابات المتبقية في هذا القسم الفرعى. وتد معانى هذه المصطلحات أدناه فيما يتصل بالمعادلتين (4.C) و (13.C).

الجدول 1.C

توزيع الاحتمال لارتفاع المطر

الاحتمال <i>P</i>	الارتفاع النسيجي بالأمتار <i>H</i>	المؤشر <i>n</i>
0,049589	100	26
0,048439	200	27
0,046583	300	28
0,044104	400	29
0,041110	500	30
0,037724	600	31
0,034081	700	32
0,030312	800	33
0,026542	900	34
0,022881	1 000	35
0,019419	1 100	36
0,016225	1 200	37
0,013346	1 300	38
0,010808	1 400	39
0,008617	1 500	40
0,006764	1 600	41
0,005227	1 700	42
0,003976	1 800	43
0,002978	1 900	44
0,002196	2 000	45
0,001594	2 100	46
0,001139	2 200	47
0,000802	2 300	48
0,000555	2 400	49

الاحتمال <i>P</i>	الارتفاع النسيجي بالأمتار <i>H</i>	المؤشر <i>n</i>
0,000555	2 400-	1
0,000802	2 300-	2
0,001139	2 200-	3
0,001594	2 100-	4
0,002196	2 000-	5
0,002978	1 900-	6
0,003976	1 800-	7
0,005227	1 700-	8
0,006764	1 600-	9
0,008617	1 500-	10
0,010808	1 400-	11
0,013346	1 300-	12
0,016225	1 200-	13
0,019419	1 100-	14
0,022881	1 000-	15
0,026542	900-	16
0,030312	800-	17
0,034081	700-	18
0,037724	600-	19
0,041110	500-	20
0,044104	400-	21
0,046583	300-	22
0,048439	200-	23
0,049589	100-	24
0,049978	0	25

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

احسب معلمتين وسيطتين بواسطة:

(3a.C)

$$M_c = \beta_{rain} M_T$$

(3b.C)

$$M_S = (1 - \beta_{rain}) M_T$$

احسب النسبة المئوية لسنة متوسطة يهطل فيها المطر:

(4.C)

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

احسب المعلمات الثلاث التالية لتحديد التوزيع التراكمي لمعدل الأمطار.

(5a.C)

$$a_1 = 1.09$$

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

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

احسب النسبة المئوية الزمنية التقريرية للانتقال بين المقاطع المستقيمة والمنحنية للتوزيع التراكمي لمعدل الأمطار حين يُرسم مقاييس 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 للتعدد والاستقطاب وميل المسير. وتتطلب العملية الحسابية في التوصية ITU-R P.838 القيم التالية:

التعدد 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:

$\tau = 0^\circ$ درجة للاستقطاب الخططي الأفقي

$\tau = 90^\circ$ درجة للاستقطاب الخططي الرأسي.

زاوية ميل المسير التي تحمل الرمز θ في التوصية ITU-R P.838، وتعطى 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_{rain} ، مع الإشارة إلى أنها ترد بوحدة الملي راديان (أجزاء من ألف من الرadian).

تجدر الملاحظة أن الطريقة الواردة في التوصية ITU-R P.838 تصلح فقط للتترددات البالغة 1 GHz فما فوق. أما إذا كان التعدد أقل من 1 GHz، فعندئذ يجب حساب معاملات الارتداد k_{1GHz} و α_{1GHz} لنردد 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:

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

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

و يتم تقييم تأثير التوهين غير المألوف في طبقة الذوبان على الخروج الناجم عن هطول الأمطار عن طريق النظر في كل تباعد قدره 100 m من التوزيع الوارد في الجدول C.1 على حدة. وسيتم أثناء هذه العملية تحديد صفيفين:

$$\begin{aligned} G_m &: \text{معامل ضرب التوهين} \\ P_m &: \text{الاحتمال الخاص بحالة معينة.} \end{aligned}$$

وحين يتم تحديد هذين الصفيفين، فإن كليهما يحتوي على نفس العدد M من القيم، وتعتمد M على هندسة المسير نسبةً إلى طبقة الذوبان ولها قيمة قصوى قدرها 49. و يتم نudge طبقة الذوبان بواسطة معامل التوهين Γ المحدد بالمعادلة (C.15). ومن أجل تقييم تأثير ميل المسير، تُقسم 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 الصفيفين 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، فتنفذ العروة بـ (لكل قيمة من قيم n)

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

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

(أ) احسب ارتفاع المطر بموجب ما يلي:

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

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

(ب) إذا كان $h_T \geq h_{rainlo}$ ، كرر بدءاً من (أ) للقيمة التالية 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 نسبة إلى طبقة الذوبان؛

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

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

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

وإلا فتابع منطلقاً من (د).

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

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

$$M = m$$

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

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

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 C.2 هذا لمسير أو مقطع مسیر معین هي القيم التي يجب استخدامها في الفقرة C.3C للإجراء التکاري المقابل. وينطبق ذلك على التصنيف "مسیر بمطر" أو "بدون مطر"، علمًا بأنه في الحالة المتعلقة بمسیر "بمطر" فإن المعلومات a و b و c و d_r و k_{mod} و P_m ، والصفيفين G_m و Q_{0ra} ، وعدد العناصر في G و P تُعطى بواسطة M .

3.C النسبة المئوية من الوقت التي يتم خلالها تجاوز مستوى خبو معین 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 .

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

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

أما إذا كان $0 \geq A$ ، فإن النسبة المئوية للزمن التي يتم خلالها تجاوز التوهين A للخبو بسبب المطر تعتمد على ما إذا كان المسیر مصنفًا "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 المعلومات a و b و c و d_r و k_{mod} و P_m ، اللذان يحتوي كل منهما على القيمة M ، على النحو الذي تم حسابها به في الفقرة C.2 بالنسبة للمسیر أو مقطع المسیر الذي تُستخدم له الطريقة التکارية المتداولة.

4.C نوذج طبقة الذوبان

يعرف هذا القسم دالةً تضع نوذجاً للتغيرات في توهين محدد عند ارتفاعات مختلفة داخل طبقة الذوبان. وهي تعطي معامل ضرب التوهين، Γ ، لارتفاع معین 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:

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

h_T : هو ارتفاع المطر (masl)

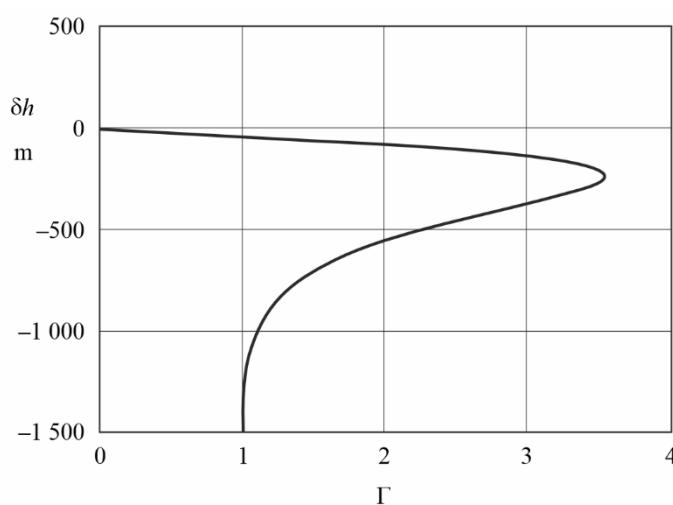
h : هو الارتفاع المعنى (masl).

تعطي الصيغة أعلاه انقطاعاً ضئيلاً في معامل التوهين Γ عند $\delta h = -200$. ويتم تثبيت المعامل Γ عند 1 إذا كان $-1 < \delta h < 200$. تلافياً لإجراء حسابات غير ضرورية علماً بأنه ليس له تأثير يُذكر على النتيجة النهائية.

ويُظهر الشكل 1.1C كيفية تغير المعامل Γ مع ارتفاع المطر. ففي الحالة $-1 < \delta h < 200$ تمثل الهواطل في المطر، وتوضع $\Gamma = 1$ لإعطاء التوهين الخاص بالملط. أما في الحالة $\delta h > 200$ 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 $\delta h < -1$ ، فإن الهواطل تتكون من جسيمات جليدية جافة تسبب قدرًا لا يذكر من التوهين، ويكون المعامل $\Gamma = 0$ وفقاً لذلك.

الشكل 1.1C

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



ويعتبر العامل Γ التوهين الخاص بالطبقة مقسوماً على التوهين المقابل الخاص بالمطر. ويعمل التغير في الارتفاعات على نudge التغييرات في الحجم ودرجة ذوبان الجسيمات الجليدية.

5.C معامل الضرب المتوسط على المسير

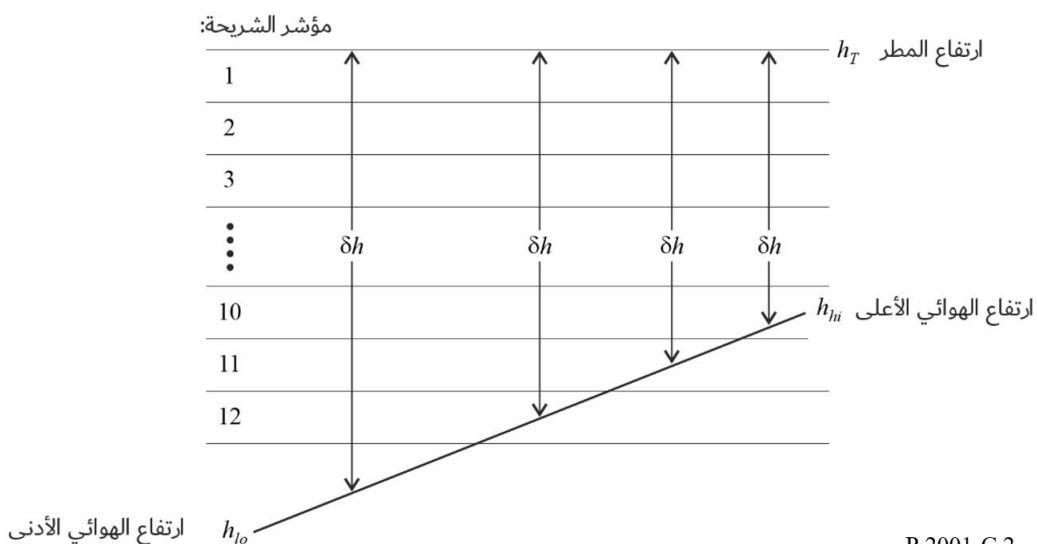
يعرض هذا القسم وصفاً للعملية الحسابية التي قد يلزم إجراؤها عدة مرات لمسير معين.

فلكل ارتفاع من ارتفاعات المطر h_T تعطيه المعادلة (11.C)، يتم حساب العامل المتوسط على المسير G استناداً إلى أجزاء من المسير الراديوي ضمن شرائح من طبقة الذوبان قدر كل منها 100 m. وممثل العامل G المتوسط المرجع لمعامل الضرب Γ الذي يعطى بوصفه دالة في δh بواسطة المعادلة (15.C) لجميع الشرائح التي تحتوي على جزء من المسير، وإذا كان لدينا: $200 - h_{lo} < h_T - h_{hi}$ تكون قيمة معامل الضرب $\Gamma = 1$ للجزء من المسير المعرض للمطر.

ويبين الشكل 2.C مثلاً على هندسة مسیر الوصلة بالنسبة إلى شرائح الارتفاع في طبقة الذوبان. فالارتفاعان h_{lo} و h_{hi} (masl) هما ارتفاعاً الهوائي الأدنى والهوائي الأعلى على التوالي. وبحدر الإشارة إلى أن هذا الرسم هو مجرد مثال ولا يشمل جميع الحالات.

الشكل 2.C

مثال على هندسة المسير نسبة إلى شرائح طبقة الذوبان



P.2001-C.2

تتمثل الخطوة الأولى في حساب الشرائح التي يوجد فيها الهوائيان. دع s_{lo} و s_{hi} يشيران إلى مؤشرات الشرائح التي تحتوي على ارتفاعي الهوائيين h_{lo} و h_{hi} على التوالي. وهم يعطيان بما يلي:

$$(16a.C) \quad s_{lo} = 1 + \text{Floor}\left(\frac{h_T - h_{lo}}{100}\right)$$

$$(16b.C) \quad s_{hi} = 1 + \text{Floor}\left(\frac{h_T - h_{hi}}{100}\right)$$

حيث تعطى الدالة $\text{Floor}(x)$ أكبر عدد صحيح يقل عن x أو يساويه.

ويلاحظ أنه على الرغم من أن s_{lo} و s_{hi} كما تحسبيان 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 لارتفاعات، بما في ذلك ما إذا كانت التعادلية مرعية أم لا، المحددة بالمعادلين أعلاه. ويعتقد أن هذا هو الأسلوب الأبسط للتأكد من أن جميع الحالات مدرجة، غير أن جميع الحالات لا يستثنى بعضها الآخر.

إذا 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.

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

إذا كانت $s_{lo} = s_{hi}$ ، 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، يتبع 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: $s < s_{lo}$ و $s < s_{hi}$

وفي هذه الحالة تكون الشريحة مُعرضة 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

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

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

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 $s_{lo} < 12$

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 المألف للطبقات

تحسب خسارة الإرسال الأساسية المرتبطة بالانتشار غير المألف على النحو الوارد في الأقسام التالية.

1.D تحديد خواص المناطق المناخية الراديوية المهيمنة على المسير

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

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

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

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

الجدول D.1

المناطق المناخية الراديوية

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

الكتل المائية الداخلية الكبيرة

تُعرف الكتلة المائية الداخلية "الكبيرة"، التي تُعتبر واقعة في المنطقة B، على أنها كتلة تبلغ مساحتها 7 km^2 على الأقل مع استثناء مساحات الأنهار. 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 أراض بربة (بابسة) لأغراض الحسابات المتعلقة بالمساحات المائية.

مناطق البحيرات الداخلية أو المناطق الرطبة الكبيرة

يُطلق على المناطق الداخلية الكبيرة التي تزيد مساحتها على 7800 km^2 وتحتوي على الكثير من البحيرات الصغيرة أو على شبكة من الأنهار 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 العائد 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 تחוםها الإقليمية، والتي ترغب في تعريفها بوصفها تنتهي إلى فئة من تلك الفئات، لدى مكتب الاتصالات الراديوية (BR) للاتحاد الدولي للاتصالات. وفي حال عدم وجود معلومات مسجلة تناقض لذلك، تُعتبر جميع مناطق الأرضي بأنها مناطق تنتهي 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 المتجاورة لـ z_i ، فإن التغيير يحصل في منتصف المسافة الممتدة بين نقاط المظهر الجانبي المقابلة.

نقطة الانتشار الموجة 2.D

احسب المعلومة 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، بوجب 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 بوجب $1 \leq \mu_1$.

احسب المعلمة μ_4 التي تعطى بما يلي:

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

تعطى الآن نقطة الانتشار غير المألف (%) 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 المألف

تتمثل التصويبات لزوايا ارتفاع الأفق للمرسل والمستقبل بما يلي:

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

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

تحسب الخسارات بين الهوائيات وآلية الانتشار غير المألف المرتبطة بحجب المواقع على النحو التالي:

زوايا ارتفاع الأفق المعدلة للمرسل والمستقبل:

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

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

خسارات حجب المواقع للمرسل والمستقبل بالنسبة للمجرى:

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

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

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

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

4.D تصحيح الاقتران للمجرى السطحي فوق البحر

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

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

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

وفيما يتعلّق بالمسافتين d_{lm} و d_{tm} الواردتين في الفقرة 1.D، 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 شرّحه في الفقرة 1.2، يجب عندئذ حساب d_{ct} على أساس الافتراض بأنه عند ظهور اختلاف بين القيم المتجاورة لـ z_i ، فإن التغيير يحصل في منتصف المسافة الممتدّة بين نقاط المظهر الجانبي المقابلة.

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

$$(10a.D) \quad A_{ct} = -3 \exp(-0.25d_{ct}^2) [1 + \tanh\{0.07(50 - h_{ts})\}] \quad \text{dB}$$

if ($\omega \geq 0.75$) and ($d_{ct} \leq d_{lt}$) 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 المألف

يمكن الآن حساب خسارة الاقتران الكلية بين الموائيين وآلية الانتشار غير المألف 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 الموجه:

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

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

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 المألف:

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

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

تحسب الخسارة في آلية الانتشار غير المألف التي تعتمد على كلٍ من مسافة الدائرة الكبرى والنسبية المغوية 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:

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

وإذا كان $1 > \mu_2$ ، ضع $\mu_2 = 1$

النسبة المغوية من الزمن المرتبطة بالانتشار غير المألف المعدلة لموقع عام وخواص محددة للمسير:

$$(22.D) \quad \beta_{duct} = \beta_0 \mu_2 \mu_3 \quad \% \quad \text{والأس اللازم لخسارة معتمدة على الوقت:}$$

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

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

تعطى خسارة الإرسال الأساسية المقترنة بالانتشار غير المألف بما يلي:

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

المُرْفَق E

الانتشار التروبوسفيري

1.E مقدمة

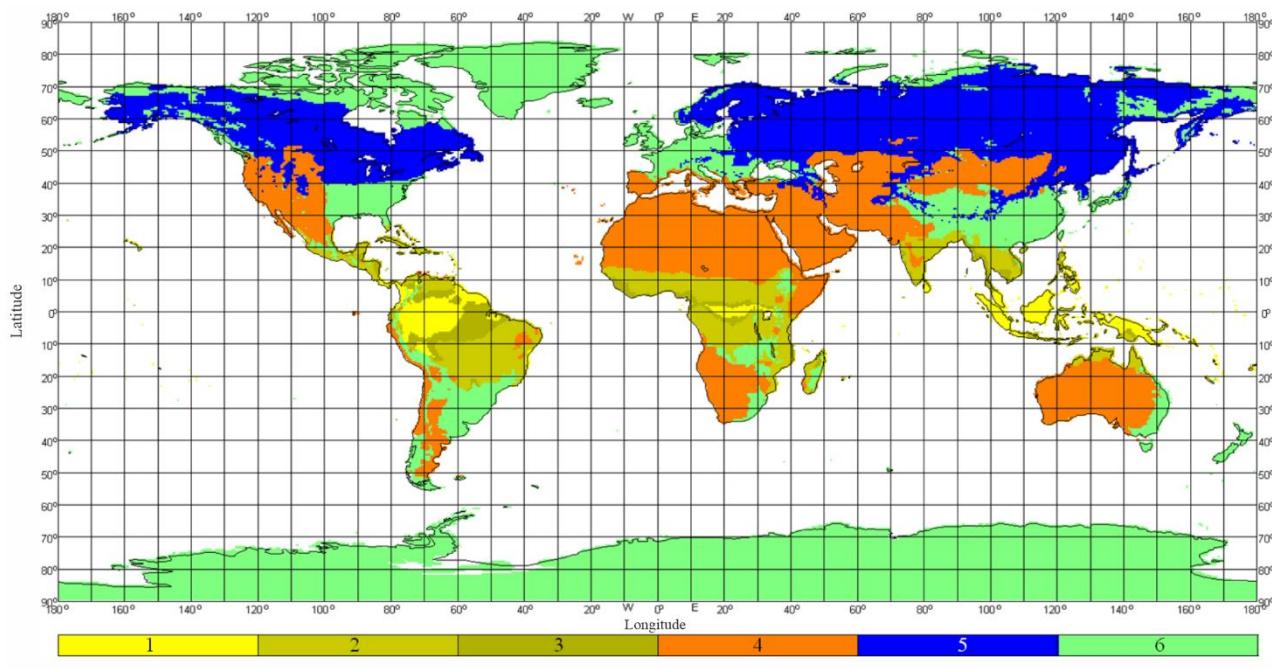
تتناول الأقسام التالية طريقة لحساب خسارة الإرسال الأساسية للانتشار التروبوسفيري L_{bs} التي لا تتجاوز نسبة معينة من السنة المتوسطة. و تستند الطريقة إلى اختيار منطقة مناخية ملائمة.

2.E التصنيف المناخي

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

الشكل E.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 المطاراتين منطقة مناخية مماثلة لنقطة أرضية، فإن المنطقة المناخية للمسير تحدد باعتماد القيمة الأصغر للمناطق المناخية للمُرسِل والمستقبل. وحين يكون لمطراف واحد فقط منطقة مناخية مماثلة لنقطة أرضية، عندئذٍ تحدد المنطقة المناخية تلك المنطقة المناخية الخاصة بالمسير. وفي حال عدم وجود منطقة مناخية تقابلها نقطة أرضية لأي من المطاراتين، تُحدَّد للمسير منطقة مناخية "مسير بحري" الواردة في الجدول E.1.

احصل على المعلمتين M و γ الخصتين بنية 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

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

3.E حساب خسارة الإرسال الأساسية للانتشار التروبوسفيري

حسب 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 a_e في الجدول 4.

احسب المسافة الزاوية لمسير الانتشار بالاستناد إلى نصف قطر الأرض المتوسط الفعال، 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 ترد f في الجدول 4.

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

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

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

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

احسب عامل التحويل بما يلي:

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

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

وتعطى 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 $10^{-\theta}$.

احسب الخسائر المعتمدة على المسافة والتردد باستخدام:

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

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

احسب خسارة الاقتران بين الفتحة والوسط مستخدماً ما يلي:

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

وتعطى 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.

F المرفق

التوهين الناجم عن الامتصاص الغازي

1.F مقدمة

يصف هذا المرفق طرق حساب التوهين الناجم 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 للموقع المعنية. ويمكن الحصول على قيم ρ_{sur} من ملف البيانات "surfww_50_fixed.txt".

وتنتج كل عملية حسابية ثلاثة 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 للمسير السطحي

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

احصل على كثافة بخار الماء السطحية في حالة انعدام المطر ρ_{sur} , g/m³, في منتصف المسير، كما وردت من φ_{me} و φ_{mn} في الجدول 4، وذلك من ملف البيانات "surfww_50_fixed.txt".

ضع $h_{sur} = h_{mid}$. ويعرض في الجدول 4 ارتفاع التضاريس عند منتصف المسير 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/m³.

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

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

احسب الارتفاع لكتافة بخار الماء:

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

وتعطي الآن التوهينات الثلاثة الناجمة عن التوهين الغازي لمسير 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:

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

3.F الامتصاص الغازي لمسير الانتشار التروبوسفيري

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

تحصل على كثافة بخار الماء عند السطح في ظل عدم وجود أمطار، ρ_{sur} g/m³، عند موقع المرسل المحدد بالمتغيرين φ_{tm} و φ_{te} في الجدول 1 من ملف البيانات "surfww_50_fixed.txt".

استخدم الطريقة الواردة في القسم 4.F باعتماد $d_{tcv} = h_{sur}$ و $d_{cv} = \theta_{elev}$ و $d_{tpos} = h_1$ 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، وتردد θ_{tpos} و d_{tcv} و d_{cv} في الجدول 4. احتفظ بالقيم المحسوبة بموجب المعادلات من (8a.F) إلى (8c.F) وفقاً لما يلي:

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

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

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

تحصل 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 "surfww_50_fixed.txt".

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

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

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

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

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

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

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

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

4.F الامتصاص 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 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.

وتتمثل 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 η_{ws} ، بوحدة .dB/km.

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

$$\text{أعد حساب قيمة } \rho_{sur} \text{ وفقاً للصيغة } \cdot \rho_{sur} =$$

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:

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

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

وتعطي التوهينات الغازية بسبب الأكسجين وبخار الماء في كل من الأحوال التي ينعدم فيها المطر والأحوال التي يسودها المطر بالنسبة للمسير الكامل للانتشار الترويسي 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 ، 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.

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

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 للنسبة المئوية 0,1% و 10% و 50% من السنة المتوسطة (الملفات FoEs01.txt و FoEs10.txt و FoEs50.txt على التوالي). وتحدف بصورة أولية إلى التنبؤ بالتدخل على مسيرات طويلة لخطوط العرض المنخفضة والمتوسطة. ويجب أن لا تعتبر الطريقة موثوقة عند خطوط العرض المغناطيسية الأرضية المنخفضة أو المرتفعة، ولا يلزم حسابها لمصير في خط البصر. وتجدر الملاحظة أن الحالات التي تميز بارتفاع شدة الإشارة بسبب هذه الظاهرة تُظهر اعتماداً قوياً جداً على الموسم.

وتتضمن العمليات الحسابية حجب المطراف، وتفاوت وفقاً لزاوية الأولية للهواي. ولذلك يتم إجراء عملية الحساب بالنسبة لجميع أطوال المسيرات لقفزة تردد واحدة وقفزتين على السواء. ونُجمع 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 $foEs1$ و $foEs2$ من خرائط $foEs$ المتعددة للنسبة المئوية p_1 و p_2 من الزمن على التوالي. احسب $foEs$ المتعددة للنسبة المئوية p من الزمن مستخدماً ما يلي:

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

الانتشار لفترة واحدة 2.G

احصل على f_{oEs} بوحدة MHz كما حسبت بواسطة المعادلة (1.G) لمنتصف المسير.
احسب الخسارة الأيونوسفيرية لفترة 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 المطاراتين بالنسبة لفترة 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 للمطاراتين بما يلي:

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

وتعطى معلمات الانعراج المقابلة بواسطة:

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

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

وتعطى عندئذ خسارة الانتعاج 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 لقفرة واحدة بواسطة:

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

3.G الانتشار للفزتين

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 مسیر الدائرة الكبیری الواردة في المرفق H بوضع $d_{pnt} = d_{pnt} = 0,75$ و $d_{pnt} = 0,25$ في المعادلة (7.H) على التوالي.

احسب الخسارة الأيونسفيرية للفزتين:

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

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 للفزتين 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 الانتعاج للمطرافين بما يلي:

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

وُعطى معلمات الانتعاج المقابلة بواسطة:

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

$$(14b.G) \quad L_{p2t} = J(v_{2t}) \quad \text{dB}$$

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

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

والآن تعطى خسارة الإرسال الأساسية للانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E لقفترتين 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 مسیر الدائرة الكبرى

1.H مقدمة

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

ويتمثل التطبيق الأهم في العثور على منتصف طول المسير الراديوسي، 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 الموضع المطравية في معلومات المدخلات الأساسية المدرجة في الجدول 1.2.2 في المتن الرئيسي لهذه التوصية بدلالة خط الطول وخط العرض. ويعزى ذلك إلى توقيع الحصول على معلومات مناخية راديوية من الخرائط العالمية التي تتطلب معرفة تلك الإحداثيات. وفيما يتعلق بالمسيرات القصيرة، والتي التزاماً بالدقة المتواخة يمكن بالمسيرات التي تصل في قصرها إلى 100 km، فمن الأكثر دقة والأكثر سهولة تحويل الموضع المطравية إلى إحداثيات ديكارتية، كما هو الحال في الشبكة الوطنية أو في إحدى شبكات النظام المركاثوري المستعرض الشامل (UTM)، وحساب نقاط المسير الوسيطة باعتماد الهندسة الديكارتية 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 يتاحه المظهر الجانبي. وقد يكون من المفيد حساب طول المسير مباشرةً من الإحداثيات المطравية.

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

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

احسب الكمية r :

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

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_d هي φ_d بوحدة الرadian، 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 :

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

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

احسب الاتجاه الزاوي لمسيير 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 تعطىها 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_1, y_1) 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 تفريذه 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 الرadian:

احسب الکمية s :

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

يعطى الآن خط العرض للنقطة الوسيطة بواسطة:

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

احسب الکمييتن x_2 و y_2 :

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

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

احسب خط الطول للنقطة الوسيطة φ_{pnte} . ولأسباب تتعلق بالأعداد، من الضروري الاحتفاظ بالقيم المطلقة الصغيرة جداً للزوايا التي تعطىها 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°. وبحدر الإشارة إلى أن معظم عمليات تطبيق الدالة arctan2 تُعطي قيمةً تقع في المدى من -180° إلى 180° حسب الاقتضاء.

المُرْفَق I

الإِجْرَاء التَّكَارِي لِعَكْس دَالَّة التَّوزِيع التَّراكمِي

1.I مقدمة

يحدد هذا المُرْفَق إِجْرَاءً تَكَارِيًّا يُمْكِن استخدَامه لحساب مستوى التوهين A لأَلْيَة انتشار من أجل قيمة معينة لنسبة المئوية $%q$ من الزَّمْن يَتَم خَلَالَهَا تجاوزَ المستوى A . وَتَمثُل الدَّالَّة $A(q)$ دَالَّة عَكْسِيَّة للتَّوزِيع التَّراكمِي. وَيُعَتَّب الإِجْرَاء التَّكَارِي ضَرُورِيًّا حِين يُصَاغُ نَمُوذِجُ الانتشار لحساب النسبة المئوية q من الزَّمْن الَّتِي يَتَم فِيهَا تجاوزَ مستوى توهين معين A . وَتَمثُل الدَّالَّة $Q(A)$ دَالَّة التَّوزِيع التَّراكمِي.

وَمَعْوجَب نَمُوذِجُ الانتشار الواسع المدى (WRPM) يَتَم بِصُورَة أَسَاسِيَّة حساب المستوى A بِالنَّسْبَة لِقيمة معينة q أو p . وَمَع ذلك، تَتَم صِياغَة النَّمُوذِجيَّن الفَرعِيَّين لِلخَبُو فِي الْجَوِ الصَّافِي والخَبُو بِسَبِيلِ هَطُولِ الْأَمْطَار مِن أجل حساب q بِالنَّسْبَة لِقيمة معينة للسوية A . وَبَنَاءً عَلَى ذَلِك، يُعَتَّب عَكْس دَالَّة التَّوزِيع التَّراكمِي مُطلوبًا لِهَذِين النَّمُوذِجيَّن الفَرعِيَّين، وَتَحْدِيدًا لِلجمع بَيْن هَذِين النَّمُوذِجيَّن الفَرعِيَّين.

تجدر الملاحظة أَنَّه على الرَّغْم مِنْ أَنَّ الإِجْرَاء المُحدَّد في هذا المُرْفَق تَمَّ صِياغَتِه بِدَلَالَة قِيمِ الخَبُو A ، فَإِنَّه يَطبَق لِعَمَليَّيِّ الخَبُو ($A > 0$) وَالتَّحسِين ($A < 0$) عَلَى السَّوَاء.

2.I طريقة التكرار

يُحدد هذا القسم الدَّالَّة $A_{iter}(q)$ الَّتِي تعطِي التَّوهين النَّاجِم عن آليَّات انتشار مختَارَة متعددة لنسبة المئوية $%q$ من الزَّمْن. وَفِي عَدَد مَوَاقِع، يَسْتَدِعِي الإِجْرَاء وَجُود الدَّالَّة $Q_{iter}(A)$ الَّتِي تمثُل دَالَّة التَّوزِيع التَّراكمِي لِنَمُوذِجُ الانتشار الَّذِي تُطلُب مِنْ أَجْلِه الدَّالَّة $A_{iter}(q)$. وَقَد تَمَّ تَعرِيف الدَّالَّة $Q_{iter}(A)$ فِي المَقْرَن الرَّئِيسي فِي المَكَان الَّتِي يَلْزَم فِيهِ استِخدَام الإِجْرَاء التَّكَارِي الْخَاص بِهَذَا المُرْفَق.

الدَّالَّة $Q_{iter}(A)$ لها مِيل سَالِب؛ وَمِنْ ثُمَّ، تَبَعِي الإِشارة إِلَى أَنَّه في حِين يَكُون A_{high} أَكْبَر مِن A_{low} ، يَكُون q_{high} أَقْلَى مِن q_{low} . وَتَحْرِي عمَليَّة التَّكَارِي عَلَى مَرْحلَتَيْن: الأولى تَمثُل في تحْدِيد مَدِي البحْث عَنْ مَسْتَوَيَّات التَّوهين الَّتِي تَضُمِّن النَّسْبَة المَئُوْيَّة الْلَّازِمة مِنْ وَقْتِ الخَبُو. وَالثَّانِيَّة، اعْتِمَادُ عمَليَّة بَحْث اثْنَيْنِيَّة مِنْ أَجْلِ صَقْلِ عَمَليَّة البحْث بِحِيثَ تَقْعُ النَّسْبَة المَئُوْيَّة النَّاجِمة مِنَ الزَّمْن ضَمِّنَ نَطَاقِ التَّفاوتِ المُعِين المُسْمَوح بِهِ لِلنَّسْبَة المَئُوْيَّة الْمُسْتَهْدِفَة مِنْ وَقْتِ الخَبُو.

المرحلة I: تحديد مدى البحث

يمكن تحديد القيمة الأولى للتَّوهين التجَّريبي، A_{init} ، عَنْ أَيَّة قِيمَة موجَبَة غَيْر صَفِيرَة. وقد تَوَجَّدُ أَسْبَاب تَعْلُقُ بالكَفَاءَة لحساب القيمة A_{init} عَلَى أَسَاسِ مَوْضِوعِيَّ إلى حد ما. بَيْدَ أَنَّه تَبَيَّن أَنَّ مجرَد تحديد A_{init} بِقيمة 10 dB يَسْفِر عَنْ قَدْرٍ مَعْقُولٍ مِنَ الْكَفَاءَة في عمَليَّة التَّكَارِي.

حدد القيم الأولى لـ A_{high} والمنخفض للتَّوهين وخطوة التَّوهين، وهذه القيم تُعطَى كَمَا يَلِي:

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

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

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

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

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

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

المراحلة 1: تكرار مدى البحث الأولى:

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

أعد حساب قيمة $A_{high} = A_{low}$ ؛

أعد حساب قيمة $q_{high} = q_{low}$ ؛

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

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

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

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

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

أعد حساب قيمة $A_{low} = A_{high}$ ؛

أعد حساب قيمة $q_{low} = q_{high}$ ؛

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

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

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

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

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

المراحلة 2: البحث الثاني:

حدد قيمة A_{try} :

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

ابدأ تكرار البحث الثاني:

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

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

إذا كانت $A_{try} < q$ ، 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 الثنائي وكسر منطلاقاً من هناك. إن عدد عمليات تكرار عروة البحث الثنائي 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 التقريرية للتوهين المتعدد للنسبة المغوية $%q$ من الزمن بواسطة:

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

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 الموجّه والانتشار التروبوسفيري والانتشار بواسطة التأين المتفرق للطبقة E والامتصاص الغازي والانتشار متعدد المسيرات/التغيير. وتتوفر الآليات الأربع الأولى مسيرات من طرف آخر بين المرسل والمستقبل. وتتبع الموجات الراديوية لكل آلية من تلك الآليات، من حيث المبدأ، مسيراً 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 الأربع من طرف إلى آخر.

ولا يعتبر الجمع بين النماذج السبعة أمراً بسيطاً نظراً لكونها نماذج تعتمد على الوقت وتحمل الطابع الإحصائي. وتشكل خصائص ترابط النماذج المدور 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 بد من اعتماد التبسيط لوضع نموذج من السهل تفدينه نسبياً - إذ يستدعي الأمر عموماً وجود نماذج عدديّة تمثل الخصائص الإحصائية التامة لآليات الانتشار.

2.J الجمع بين النماذج الفرعية

يظهر 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 العكssية للتوزيع التراكمي (ICDF) للنماذج. ويحدد ذلك توزيع قيم خسارة الإرسال الأساسية L كدالة في النسبة المغوية p من الزمن. أما مضمومات النماذج فيتم تمثيلها بدوائر حيث يشير الحرف الموجود في المضموم إلى خاصية الترابط الخاصة بالمضمام: فالحرف "C" يرمز إلى الترابط التام، فيما يعني الحرف "E" عدم استبعاد إحدى الآليات للأخرى، بينما يشير الحرف "U" إلى انعدام الترابط. أما المضمومات التي تحمل الحرف "S" فهي مضمومات عدديّة حيث تمثل إحدى الكميات التي يتم جمعها في عدد بسيط (عادة ما يكون رقمًا 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 الأربع من خصائص الترابط قد استُخدمت.

تمثل L في المعادلات التالية خسارة الإرسال الأساسية لنمودج واحد من النماذج الأربع للانتشار من طرف آخر. وترمز A إلى التوهين بالنسبة إلى الفضاء الحر الناتج عن أحد النماذج الإضافية. وتدل $(L(p) \text{ أو } A(p))$ على قيمة الدالة العكسية للتوزيع التراكمي الخاصة بنسبة مئوية p من الزمن. أما اللواحق $in1$ و $in2$ و out فُتستخدم بدأهً للدوال العكسية للتوزيع التراكمي، فيما تعمد اللاحقة $scal$ للدخل العددي.

فالجمع بين دالتين تامتي الترابط من الدوال العكسية للتوزيع التراكمي (المضمam "C") هو مجرد جمع للقوى أو الخسارات الخاصة بنسبة مئوية p من الزمن. وثُرّهن طريقة تتنفيذ ذلك بما إذا كانت النماذج المقرر الجمع بينها معبرًا عنها بواسطة خسارات 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 (المضمam "S")، على سبيل المثال قيمة متوسطة وحيدة للتوهين، أمراً بسيطًا. 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 الجموعتين "C" و "S" يمكن تفيذهما 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 (المضمam "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 تكراريًّا يستخدم عمليات التوزيع التامة لكميات المدخلات. وُتُستخدم هذه الطريقة للجمع بين الآلية المتعلقة بالجو الصافي والأخرى المتعلقة بخطول المطر.

ولعله من المستغرب أن عملية الجمع بين دالتين من الدوال العكسية للتوزيع التراكمي غير المترابطتين (المضمam "U") هي العملية الأكثر صعوبة. وبالفعل فإن المطلوب هنا هو اعتماد تقنيات رقمية من قبيل طائق مونت كارلو لتنفيذ ذلك على نحو صائب. فعند استخدام نموذج الانتشار الواسع المدى لمحاكاة طائق 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 المعترض به أن نموذج الانتشار الواسع المدى سيُستخدم في الغالب في الظروف التي لا تبرر التعقيد الحسابي لمحاكاة طائق 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 مسیرتين (أو أكثر) من مسیرات الإشارة عند كل نسبة مئوية p من الزمن. ويمكن في هذا الصدد استخدام دالة "محملة" للتخلص من حالات الانقطاع في الميل التي قد تستتبع مجرد القيام بالاحتفاظ بالقيمة الدنيا. وُتُستخدم الطريقة التالية في الفقرة 2.5:

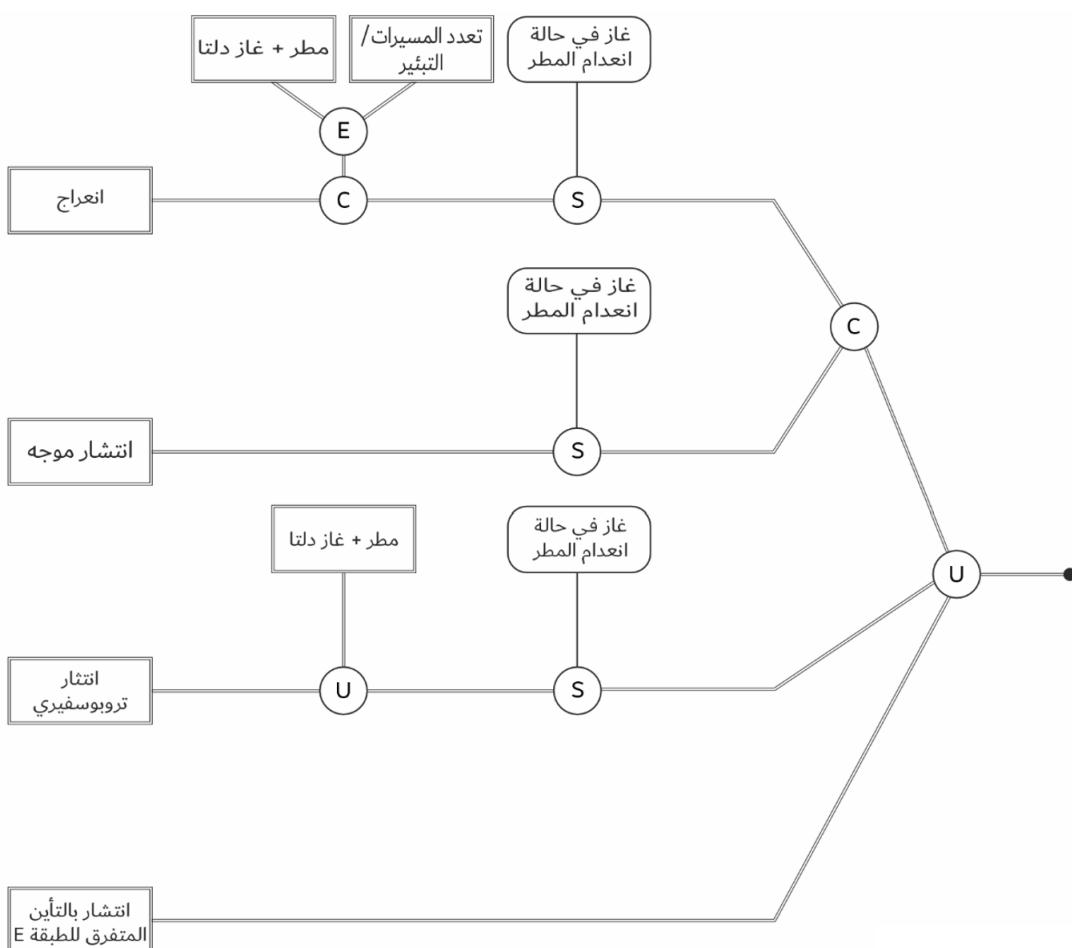
$$(4.J) \quad L_{out}(p) = -5 \log(10^{-0.2L_{in1}(p)} + 10^{-0.2L_{in2}(p)}) \quad \text{dB}$$

ومع أن ذلك يبدو شبيهاً جداً بالطريقة المتبعة في المعادلة (J.1a) ويتسم بجزء تتمثل في إمكانية تنفيذ الجمع على أساس "كل نقطة على حدة"، فإن المضمومين "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 (J.4).

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

الشكل J.1

مخطط جمع النماذج الفرعية



P.2001-J.1