

التوصية ITU-R P.452-13

إجراء التنبؤ لتقدير التداخل في الموجات الصغيرة بين المحطات
على سطح الأرض عند ترددات تفوق 0,7 GHz تقريباً

(المسألة ITU-R 208/3)

(1970-1974-1978-1982-1986-1992-1994-1995-1997-1999-2001-2003-2005-2007)

مجال التطبيق

تضم هذه التوصية طريقة تنبؤ لتقييم التداخل بالموجات الصغيرة بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات تفوق 0,7 GHz تقريباً، آخذة في الحسبان آليتي التداخل في الجو الصافي والتداخل بالانتشار في الماء الجوي.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

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

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

ج) أن التنبؤات بانتشار التداخلات ضرورية للاستجابة لأهداف الأداء والتيسر في أثناء "الشهر الأسوأ"؛

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

توصي

1 بأنه ينبغي استعمال إجراء التنبؤ بالتداخل في الموجات الصغيرة المعروف في الملحق 1 من أجل تقدير خسارة الانتشار المتيسرة لحسابات التداخل بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات تفوق 0,7 GHz تقريباً.

* ثمة برنامج حاسوبي (RAINSCAT) يرتبط بإجراءات التنبؤ الموصوفة في هذه التوصية متاح على موقع القطاع ITU-R على شبكة الويب في باب لجنة الدراسات 3 للاتصالات الراديوية.

الملحق 1

1 مقدمة

لقد أصبح تقاسم عدة نطاقات من الترددات ضرورياً بين مختلف الخدمات الراديوية وبين مختلف المشغلين لخدمات راديوية متماثلة وذلك بسبب ازدحام طيف الترددات الراديوية. ولضمان تعايش مرض بين الأنظمة للأرض والأنظمة أرض-فضاء المعنية، لا بد من التمكن من التنبؤ، بدقة معقولة، باحتمالات التداخل فيما بين الأنظمة بواسطة إجراءات تنبؤ ونماذج مقبولة من كل الأطراف المعنية تكون قد ثبت أنها دقيقة يوثق بها.

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

ويكون إجراء التنبؤ مناسباً لمحطات راديوية تشغل في مدى الترددات بين 0,7 GHz تقريباً و 50 GHz. وبالنسبة إلى خسائر الإرسال الأساسية التي لم يتم تجاوزها خلال 1-50% من الوقت تعتبر هذه الطريقة موثوق بها في ترددات تتدنى حتى 50 MHz.

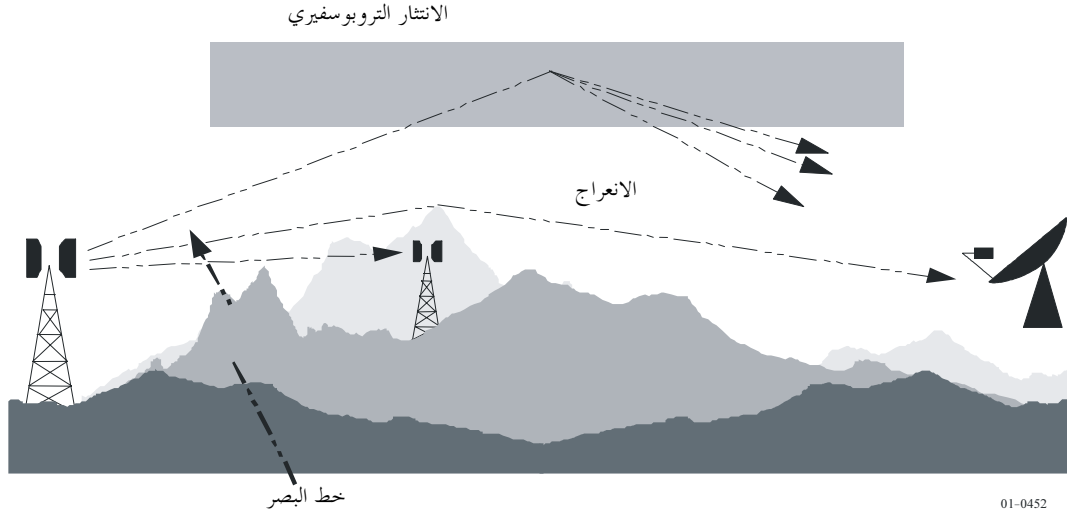
وتشمل الطريقة مجموعة إضافية من نماذج الانتشار التي تضمن تغطية كل آليات انتشار التداخل الهامة التي يمكن أن تظهر. وتقدم طرائق خاصة بتحليل خصائص المسير المتعلقة بالأرصاء الجوية الراديوية وخصائصه الطبوغرافية وهي تمكن من التنبؤ في أية حالة يقع فيها مسير التداخل عملياً في مجال تطبيق الإجراء المعني حتى مسافة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

2 آليات انتشار التداخل

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

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

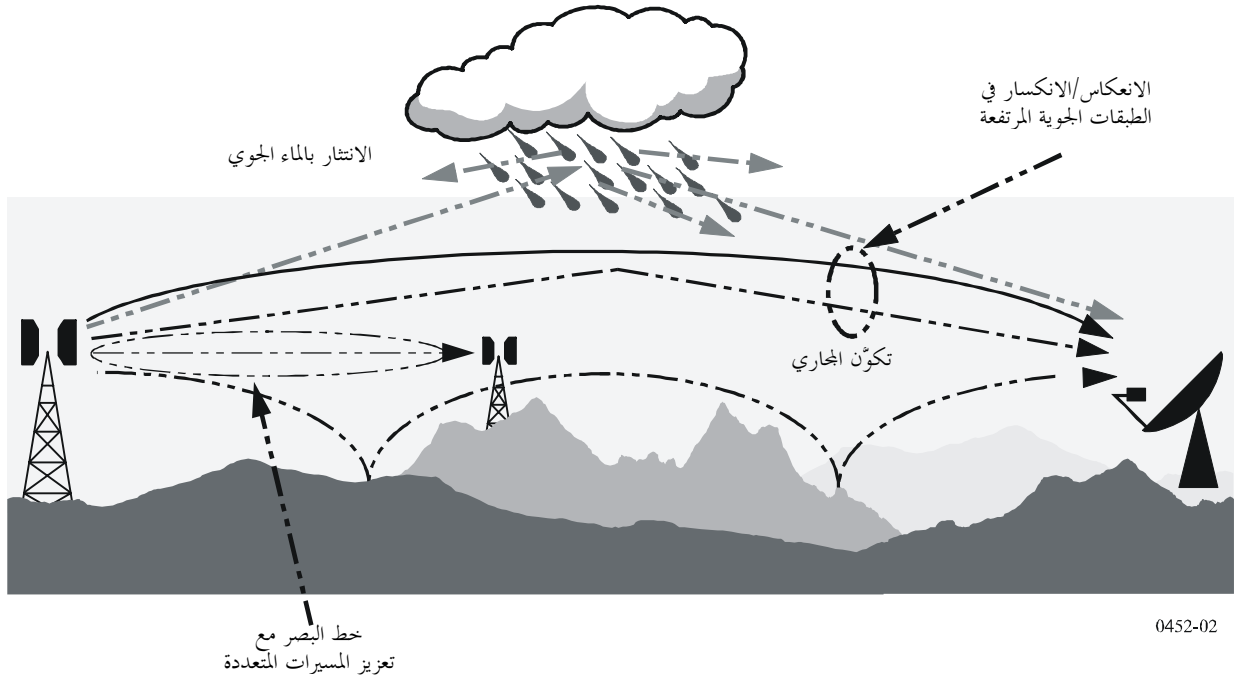
الشكل 1
آليات انتشار التداخلات طويلة الأجل



- تكوّن المجاري على السطح (الشكل 2): وهو أهم آلية للتداخل قصير الأجل فوق الماء وفي المناطق الساحلية المنبسطة ويمكن أن يسبب سويات مرتفعة من الإشارات على امتداد مسافات كبيرة (أكثر من 500 km فوق البحر). ويمكن أن تتجاوز هذه الإشارات، في ظروف معينة، سوية "الفضاء الحر" المكافئة.
 - الانعكاس والانكسار على الطبقات الجوية المرتفعة (الشكل 2): تكتسي معالجة الانعكاس و/أو الانكسار من طبقات عند ارتفاعات تصل إلى بضع مئات من الأمتار أهمية كبيرة لأن هذه الآليات تسمح للإشارات بمواجهة خسارة الانعراج على الأرض مواجهة فعالة جداً في ظروف تكون فيها هندسة المسير مؤاتية. وهنا أيضاً يمكن أن يكون التأثير كبيراً على مسافات طويلة جداً (تصل إلى 250 - 300 km).
 - الانتشار بالماء الجوي (الشكل 2): يمكن أن يشكل الانتشار بالماء الجوي مصدراً كامناً من مصادر التداخل بين مرسلات الوصلات للأرض والمحطات الأرضية لأنه قد يعمل في كل الاتجاهات تقريباً ومن ثم قد يؤثر خارج مسير التداخل في مستوى الدائرة العظمى. غير أن سويات الإشارات مسببة للتداخل منخفضة جداً ولا تمثل عادة مشكلة ذات أهمية.
- ثمة مشكلة أساسية في التنبؤ بالتداخل (وهي بالفعل مشتركة لكل إجراءات التنبؤ بالانتشار التروبوسفيري)، وهي صعوبة توفير مجموعة موحدة متسقة من الطرائق العملية التي تغطي مدى واسعاً من المسافات ومن النسب المئوية الزمنية أي في ظروف الجو الفعلي التي تندمج فيها، تدريجياً، إحصائيات هيمنة إحدى الآليات مع آلية أخرى عندما تتغير شروط الأرصاد الجوية و/أو المسير. ويمكن، خاصة في هذه المناطق الانتقالية، أن تأخذ الإشارة سوية معينة، من أجل نسبة مئوية كلية من الوقت، تمثل مجموع هذه النسب في مختلف الآليات. وكان الاختيار في هذا الإجراء، أن تحدد تماماً فصل طرائق التنبؤ بالتداخل في الجو الصافي وفي الانتشار بالماء الجوي كما يرد وصفها في الفقرتين 4 و5 على التوالي.
- وتتكون طريقة الجو الصافي من نماذج مختلفة للانعراج وانكسار الطبقة/المجاري والانتشار التروبوسفيري. وتطبق النماذج الثلاثة كلها في جميع الحالات بغض النظر عما إذا كان المسير في خط البصر أم عبر الأفق. ثم تضم النتائج إلى تنبؤ إجمالي يستخدم تقنية تجمع ما بين مختلف آليات الانتشار وتضمن وصول تعزيز الإشارة في نموذج خط البصر المكافئ النظري إلى أقصى حد ممكن، مهما كانت مسافة المسير أو النسبة المئوية من الوقت.

الشكل 2

آليات انتشار التداخل (قصير الأجل) الشاذة



3 التنبؤ بالتداخل في الجو الصافي

1.3 اعتبارات عامة

على الرغم من تطبيق طريقة الجو الصافي من خلال ثلاثة نماذج مستقلة، لكن نتائجها تجمع، ويراعي الإجراءات خمسة أنماط انتشار أساسية تتعلق بآليات الانتشار وهي:

- خط البصر (بما في ذلك تعزيزات الإشارات بسبب تأثيرات المسيرات المتعددة والتبعية)؛
- الانعراج (ويشمل الأرض المنتظمة والتضاريس الأرضية غير المنتظمة وحالات وجود مسيرات فرعية)؛
- الانتشار التروبوسفيري؛
- الانتشار الشاذ (تكوّن المجاري والانعكاس/الانكسار في الطبقات)؛
- تغير كسب الارتفاع بسبب مجموعة من العوائق (إن وجدت).

2.3 اشتقاق التنبؤ

1.2.3 عرض عام للإجراء المطبق

الخطوات اللازمة لتحقيق التنبؤ هي:

الخطوة 1: معطيات الدخول

يعرض الجدول 1 معطيات الدخول الأساسية اللازمة للإجراء. وتشتق كل المعلومات الأخرى المطلوبة من هذه المعطيات الأساسية في أثناء تنفيذ الإجراء.

الجدول 1

معطيات الدخل الأساسية

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

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

t: محطة مسببة للتداخل
r: محطة معرضة للتداخل

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

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

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

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

حيث:

ω : الجزء من المسير الواقع فوق الماء (انظر الجدول 3).

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

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

وحديث بالإشارة أن خط العرض ϕ (درجات) يفترض بأنه موجباً في النصف الشمالي من الكرة الأرضية.

وتمثل عندها النتيجة المحسوبة خسارة الإرسال الأساسية أثناء النسبة المئوية من الوقت p_w المطلوبة للشهر الأسوأ.

الخطوة 3: معطيات الأرصاد الجوية الراديوية

يستعمل إجراء التنبؤ ثلاث معلمات من الأرصاد الجوية الراديوية لوصف تغير شروط الانتشار الخلفية والشاذة عند مختلف المواقع في العالم.

- ΔN (وحدة-km/N) هو متوسط معدل التفاوت للدليل الانكسار الراديوي في الكيلومتر الأدنى من الجو الذي يوفر المعطيات التي يمكن من خلالها حساب نصف قطر الأرض الفعال المناسب لتحليل المظهر الجانبي للمسير والانعراج بالعوائق. ويبين الشكلان 11 و12، على التوالي، خريطة عالمية لقيم ΔN السنوية المتوسطة، وخريطة عالمية لأقصى القيم الشهرية المتوسطة في التنبؤات بالشهر الأسوأ. ويشار إلى أن ΔN تمثل في هذا الإجراء كمية موجبة.
- β_0 (%)، النسبة المئوية من الوقت التي يتوقع في أثنائها وفي المائة متر الأولى من الطبقة المنخفضة من الجو، أن تتجاوز معدلات التفاوت للدليل الانكسار 100 وحدة-km/N. وتستعمل للإشارة إلى الورد النسبي للانتشار الشاذ تماماً في منطقة خط العرض المعنية. وقيمة β_0 التي يتعين استخدامها هي التي توافق خط عرض منتصف المسير.
- N_0 (وحدة-N) هي الانكسارية على سطح البحر وتستعمل فقط في نموذج الانتشار التروبوسفيري كمقياس للتغيرات في آليات الانتشار التروبوسفيري وفقاً للموقع. ويعرض الشكل 13 قيم N_0 السنوية. ولما كان حساب مسير الانتشار مبنياً على هندسة للمسير تحددها القيم السنوية ΔN أو قيم الشهر الأسوأ، فلا حاجة أيضاً لقيم N_0 خاصة بالشهر الأسوأ. وتقابل قيم ΔN و N_0 الصحيحة القيم على منتصف المسير المشتقة من الخريطة المناسبة.

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

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

حيث:

ϕ : خط عرض منتصف المسير (درجات).

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

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

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

وتكون:

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

حيث:

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

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

ويعرف الجدول 2 مناطق المناخات الراديوية التي يجب استعمالها لاشتقاق d_{im} و d_{im} .

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

الجدول 2

مناطق المناخات الراديوية

التعريف	الشفرة	نظ المنطقة
الأراضي الساحلية أو المناطق الشاطئية، أي الأراضي المجاورة للبحر حتى ارتفاع 100 m بالنسبة إلى متوسط مستوى البحر أو الماء، لكنها محددة بمسافة 50 km من أقرب منطقة بحرية، ويمكن استعمال قيمة تقريبية أي 300 ft إذا لم تتوفر معطيات دقيقة تتعلق بارتفاع 100 m.	A1	منطقة ساحلية
كل الأراضي غير المناطق الساحلية والشواطئ المعرفة "بالأراضي الساحلية" أعلاه.	A2	منطقة داخلية برية
البحار والمحيطات والمساحات الأخرى الكبيرة من الماء (أي التي تغطي دائرة قطرها 100 km، على الأقل)	B	منطقة بحرية

المساحات الكبيرة من المياه الداخلية

تعرف المساحة "الكبيرة" من المياه الداخلية باعتبارها تقع ضمن المنطقة B بأنها منطقة تكون مساحتها: $7\ 800\ \text{km}^2$ على الأقل، لكنها تستثني منطقة الأنهار. وتدرج الجزر داخل هذه المساحات من المياه على أنها مناطق مياه في حساب مساحة هذه المنطقة إذا كان ارتفاعها أقل من 100 m فوق مستوى المياه المتوسط على أكثر من 90% من مساحتها. ويجب أن تصنف الجزر التي لا تطابق هذه المقاييس كمناطق برية في حساب مساحة المياه.

مناطق البحيرات الداخلية أو المناطق البرية الرطبة الكبيرة

تعتبر الإدارات المناطق الداخلية الأوسع $7\ 800\ \text{km}^2$ والتي تحتوي على عدة بحيرات صغيرة أو على شبكة من الأنهار بأنها تابعة للمنطقة A1 "الساحلية"، إذا احتوت المنطقة على أكثر من 50% من المياه وكانت أكثر من 90% من الأرض إلى أدنى من 100 m فوق المستوى المتوسط للماء.

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

وسعيًا إلى تأمين أقصى اتساق للنتائج فيما بين الإدارات يوصى بشدة أن تستند الحسابات في هذا الإجراء إلى خريطة العالم المرقمنة (IDWM) الصادرة عن الاتحاد والتي يمكن الحصول عليها من مكتب الاتصالات الراديوية في الاتحاد وهي مناسبة لبيئتي الحاسوب الشخصي والحاسوب المركزي.

نصف قطر الأرض الفعال

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

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

وإذا افترضنا أن نصف القطر الحقيقي للأرض يبلغ 6 371 km، عندئذ يمكن أن تحدد القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعال a_e بواسطة الصيغة التالية:

$$(6a) \quad a_e = 6371 \cdot k_{50} \quad \text{km}$$

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

$$(6b) \quad a_\beta = 6371 \cdot k_\beta \quad \text{km}$$

حيث $k_\beta = 3,0$ وهو عامل نصف قطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه خلال $\beta_0\%$ من الوقت.

الخطوة 4: تحليل المظهر الجانبي للمسير

يجب أن تستخلص القيم الخاصة بعدد من المعلومات ذات العلاقة بالمسير والضرورية لإجراء الحسابات كما يشير إليها الجدول 3 بواسطة تحليل أولي للمظهر الجانبي للمسير مبني على قيمة a_e كما تحددها المعادلة (6). ويقدم التذييل 2 للملحق 1 معلومات حول اشتقاق المظهر الجانبي للمسير وبنائه وتحليله.

الجدول 3

قيم المعلومات المشتقة من تحليل المظهر الجانبي للمسير

المعلمة	الوصف
d	مسافة مسير الدائرة العظمى (km)
d_{lr}, d_{lt}	فيما يتعلق بالمسير عبر الأفق، المسافة بين هوائي الإرسال والاستقبال والأفق المقابل لهما (km). أما فيما يتعلق بالمسارات في خط البصر، فيحدد كل منها بالمسافة الواقعة بين المطراف والنقطة المعرفة بأما الحافة الرئيسية في طريقة الانعراج خلال 50% من الوقت.
θ_r, θ_t	فيما يتعلق بالمسير عبر الأفق، زاويتا ارتفاع الأفق عند الإرسال والاستقبال (mrad). أما فيما يتعلق بمسارات خط البصر فيحدد كل منها بزاوية ارتفاع المطراف الآخر.
θ	المسافة الزاوية للمسير (mrad)
h_{rs}, h_{ts}	ارتفاع مركز الهوائي فوق المستوى المتوسط للبحر (m)
h_{re}, h_{te}	الارتفاع الفعال للهوائي فوق الأرض (m) (انظر التعريف في التذييل 2)
${}^{(1)}d_b$	الطول المجمع لأجزاء المسير فوق الماء (km)
ω	جزء المسير الكلي فوق الماء: $\omega = d_b/d$ حيث d هي مسافة الدائرة العظمى (km) المحسوبة في المعادلة (138). من أجل المسيرات البرية بكاملها: $0 = \omega$
$d_{ct, cr}$	المسافة فوق الأرض بين هوائي الإرسال والاستقبال والساحل على طول مسير التداخل في الدائرة العظمى (km). يوضع على صفر في حالة مطراف على متن سفينة أو منصة بحرية

4 نماذج الانتشار في الجو الصافي

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

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

ينبغي تقييم ما يلي في حالي مسارات خط البصر والمسارات عبر الأفق.

وتكون خسارة الإرسال الناتجة عن الانتشار في الفضاء الحر والتوهين الناجم عن الغازات الجوية:

$$(8) \quad L_{bfs} = 92.5 + 20 \log f + 20 \log d + A_g \quad \text{dB}$$

حيث:

A_g : الامتصاص الغازي الكلي (dB):

$$(9) \quad A_g = [\gamma_o + \gamma_w(p)] d \quad \text{dB}$$

حيث:

$\gamma_w(\rho)$ ، γ_0 : التوهين النوعي بسبب الجو الجاف وبخار الماء، على التوالي، يستخلص من معادلات في التوصية ITU-R P.676

ρ : كثافة بخار الماء:

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

ω : الجزء من المسير الكلي فوق الماء.

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

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

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

خسارة الإرسال الأساسية التي لم يتم تجاوزها أثناء النسبة $p\%$ من الوقت والناجمة عن الانتشار في خط البصر:

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

خسارة الإرسال الأساسية التي لم يتم تجاوزها خلال $\beta_0\%$ من الوقت والناجمة عن الانتشار في خط البصر:

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

2.4 الانعراج

يفترض بأن التبغير الزمني للخسارة الفائضة العائدة إلى آلية الانعراج هو نتيجة التغيرات في معدل التفاوت لدليل الانكسار الراديوي الجوي الكلي أي أنه يفترض تزايد عامل نصف قطر الأرض الفعال $k(p)$ كلما تناقصت النسبة المئوية p من الوقت. ويعتبر هذا الإجراء مقبولاً لقيمة $50\% \leq p \leq \beta_0$. أما لنسب الوقت التي تقل عن β_0 فإن سويات الإشارات تكون خاضعة لآليات الانتشار الشاذة أكثر منها لمجموع خصائص الانكسار في الجو. وهكذا يفترض أن تكون خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $p > \beta_0\%$ هي نفسها أثناء $p > \beta_0\%$ من الوقت. ويحسب نموذج الانعراج الكميات التالية المطلوبة في الفقرة 6.4:

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

L_{bd50} : خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة المصاحبة للانعراج

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

وتحسب خسارة الانعراج لجميع المسارات التي تستخدم طرائق هجينة قائمة على هيكلية ديجوت وتصحيح تجريبي. وتسمح هذه الطريقة بتقدير خسارة الانعراج في جميع أنماط المسارات بما فيها المسارات البحرية أو البرية أو الساحلية وبغض النظر عن التضاريس الأرضية.

وينبغي استعمال هذه الطريقة حتى ولو كانت الحواف التي تحددها هيكلية ديجوت نقاط خصائص متقاربة.

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

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

لاحظ أن $J(-0.78) \approx 0$ ، وهذا يعرف الحد الأدنى الذي ينبغي استعمال هذا التقريب عنده. وتعطى $J(v)$ القيمة صفر في $v < -0.78$.

1.2.4 خسارة الانعراج المتوسطة

تُحسب القيمة المتوسطة لخسارة الانعراج L_{d50} (dB) باستعمال القيمة المتوسطة لنصف قطر الأرض الفعال، a_e ، الذي تعطيه المعادلة (6a).

خسارة الانعراج المتوسطة للحافة الرئيسية

حساب تصحيح ζ_m لميل المسير الإجمالي المعطى في العلاقة:

$$(14) \quad \zeta_m = \cos \left(\tan^{-1} \left(10^{-3} \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} \right) \right)$$

يُيجاد الحافة الرئيسية وحساب معلمة الانعراج v_{m50} المعطاة في العلاقة:

$$(15) \quad v_{m50} = \max_{i=1}^{n-1} \left(\zeta_m H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right)$$

حيث زاوية الخلوص الرأسية H_i هي:

$$(15a) \quad H_i = h_i + 10^3 \frac{d_i (d - d_i) h_{ts} (d - d_i) + h_{rs} d_i}{2 a_e d}$$

و

$h_{ts,rs}$: ارتفاع المرسل والمستقبل عن سطح البحر (m) (انظر الجدول 3)

λ : طول الموجة (m) $0,3/f$

f : التردد (GHz)

d : طول المسير (km)

d_i : المسافة الفاصلة بين النقطة i للمظهر الجانبي والمرسل (km) (انظر الفقرة 1.2.3، الخطوة 4)

h_i : ارتفاع النقطة المظهر الجانبي i عن سطح البحر (m) (انظر الفقرة 1.2.3، الخطوة 4).

وتضبط i_{m50} على دليل نقطة المظهر الجانبي مع القيمة القصوى v_{m50} .

حساب متوسط خسارة الانعراج على حد السكين للحافة الرئيسية L_{m50} المعطاة في المعادلة:

$$(16) \quad L_{m50} = \begin{cases} J(v_{m50}) & \text{if } v_{m50} \geq -0.78 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

إذا كانت $L_{m50} = 0$ ، تكون خسارة الانعراج المتوسطة L_{d50} وخسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta\%$ من الوقت $L_{\alpha\beta}$ تساويان صفراً ولا حاجة بعدها لحسابات أخرى للانعراج.

وإلا ينبغي البحث عن خسارات أخرى محتملة ناجمة عن حواف ثانوية من جهة المرسل وجهة المستقبل للحافة الرئيسية، وذلك كالتالي.

خسارة الانعراج المتوسطة للحافة الثانوية جهة المرسل

إذا كانت $i_{m50} = 1$ لا توجد حافة ثانوية جهة المرسل وتضبط قيمة خسارة الانعراج المصاحبة L_{i50} على صفر. وإلا فيتم الحساب على النحو التالي، حساب التصحيح ζ_i لميل المسير من المرسل إلى الحافة الرئيسية:

$$(17) \quad \zeta_t = \cos \left(\tan^{-1} \left(10^{-3} \frac{h_{im50} - h_{ts}}{d_{im50}} \right) \right)$$

إيجاد الحافة الثانوية جهة المرسل وحساب معلمة انعراجها v_{t50} ، والمعطاة في:

$$(18) \quad v_{t50} = \max_{i=1}^{i_{m50}-1} \left(\zeta_t H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d_{im50}}{\lambda d_i (d_{im50} - d_i)}} \right)$$

حيث:

$$(18a) \quad H_i = h_i + 10^3 \frac{d_i (d_{im50} - d_i)}{2a_e} - \frac{h_{ts} (d_{im50} - d_i) + h_{im50} d_i}{d_{im50}}$$

وتحدد i_{t50} دليلاً لنقطة المظهر الجانبي للحافة الثانوية جهة الإرسال (أي دليل أحد ارتفاعات التضاريس المقابل للقيمة v_{t50}).
حساب متوسط خسارة الانعراج على حد السكين للحافة الثانوية جهة المرسل، L_{t50} ، المعطاة في العلاقة:

$$(19) \quad L_{t50} = \begin{cases} J(v_{t50}) & \text{for } v_{t50} \geq -0.78 \text{ and } i_{m50} > 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

متوسط خسارة الانعراج للحافة الثانوية جهة المستقبل

إذا كانت $n-1 = i_{m50}$ ، لا توجد حافة ثانوية جهة المستقبل، وتضبط خسارة الانعراج المصاحبة L_{r50} على الصفر. وإلا فإن الحساب يتم كالتالي. حساب تصحيح r_i لميل المسير من الحافة الرئيسية إلى المستقبل:

$$(20) \quad \zeta_r = \cos \left(\tan^{-1} \left(10^{-3} \frac{h_{rs} - h_{im50}}{d - d_{im50}} \right) \right)$$

إيجاد الحافة الثانوية جهة المستقبل وحساب معلمة انعراجها v_{r50} المعطاة في العلاقة:

$$(21) \quad v_{r50} = \max_{i=i_{m50}+1}^{n-1} \left(\zeta_r H_i \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} (d - d_{im50})}{\lambda (d_i - d_{im50}) (d - d_i)}} \right)$$

حيث:

$$(21a) \quad H_i = h_i + 10^3 \frac{(d_i - d_{im50})(d - d_i)}{2a_e} - \frac{h_{im50} (d - d_i) + h_{rs} (d_i - d_{im50})}{d - d_{im50}}$$

وتحدد i_{r50} دليلاً لنقطة المظهر الجانبي للحافة الثانوية جهة المستقبل (أي دليل أحد ارتفاعات التضاريس المقابل للقيمة v_{r50}).
حساب متوسط خسارة الانعراج على حد السكين للحافة الثانوية جهة المستقبل L_{r50} ، المعطاة في المعادلة:

$$(22) \quad L_{r50} = \begin{cases} J(v_{r50}) & \text{for } v_{r50} \geq -0.78 \text{ and } i_{m50} < n-1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

جميع خسارات الحواف لمتوسط انحناء الأرض

حساب خسارة الانعراج المتوسطة، L_{d50} ، المعطاة في:

$$(23) \quad L_{d50} = \begin{cases} L_{m50} + \left(1 - e^{-\frac{L_{m50}}{6}} \right) (L_{t50} + L_{r50} + 10 + 0.04d) & \text{for } v_{m50} > -0.78 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

تكون L_{t50} في المعادلة (23) صفراً إذا لم توجد حافة ثانوية جهة المرسل وبالمثل تكون L_{r50} صفراً إلا في حالة عدم وجود حافة ثانوية جهة المستقبل.

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

إذا طلب التنبؤ لنسبة $p = 50\%$ فقط فلا حاجة لمزيد من حسابات الانعراج (انظر الفقرة 3.2.4). وإلا توجب حساب خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقت وذلك على النحو التالي.

2.2.4 خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقت

تحسب خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقت باستخدام نصف قطر الأرض الفعال الذي يتم تجاوزه أثناء $\beta_0\%$ من الوقت، a_β ، المعطى في المعادلة (6b). وفيما يخص حساب الانعراج الثاني ينبغي استعمال نفس الحواف التي وجدت في الحالة المتوسطة لهيكلية ديغوت. ويتم حساب خسارة الانعراج هذه كالتالي.

خسارة انعراج الحافة الرئيسية التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقت

يُيجاد معلمة انعراج الحافة الرئيسية، $v_{m\beta}$ ، المعطاة في:

$$(24) \quad v_{m\beta} = \zeta_m H_{im\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d}{\lambda d_{im50} (d - d_{im50})}}$$

حيث:

$$(24a) \quad H_{im\beta} = h_{im50} + 10^3 \frac{d_{im50} (d - d_{im50})}{2a_\beta} - \frac{h_{ts} (d - d_{im50}) + h_{rs} d_{im50}}{d}$$

حساب خسارة انعراج حد السكنين للحافة الرئيسية $L_{m\beta}$ المعطاة في:

$$(25) \quad L_{m\beta} = \begin{cases} J(v_{m\beta}) & \text{for } v_{m\beta} \geq -0.78 \\ = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

خسارة انعراج الحافة الثانوية جهة المرسل التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقت

إذا كانت $L_{t50} = 0$ تكون $L_{t\beta}$ صفراً. وإلا فتحسب معلمة إخراج الحافة الثانوية جهة المرسل، $v_{t\beta}$ ، المعطاة في:

$$(26) \quad v_{t\beta} = \zeta_t H_{it\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d_{it50}}{\lambda d_{it50} (d_{im50} - d_{it50})}}$$

حيث:

$$(26a) \quad H_{it\beta} = h_{it50} + 10^3 \frac{d_{it50} (d_{im50} - d_{it50})}{2a_\beta} - \frac{h_{ts} (d_{im50} - d_{it50}) + h_{im50} d_{it50}}{d_{im50}}$$

حساب خسارة انعراج حافة حد السكنين للحافة الثانوية جهة المرسل، $L_{t\beta}$ ، المعطاة في:

$$(27) \quad L_{t\beta} = \begin{cases} J(v_{t\beta}) & \text{for } v_{t\beta} \geq -0.78 \\ = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

خسارة انعراج الحافة الثانوية جهة المستقبل التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقت

إذا كانت $L_{r50} = 0$ تكون $L_{r\beta}$ صفراً. وإلا فتحسب معلمة انعراج الحافة الثانوية جهة المستقبل، $v_{r\beta}$ ، المعطاة في:

$$(28) \quad v_{r\beta} = \zeta_r H_{ir\beta} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} (d - d_{im50})}{\lambda (d_{ir50} - d_{im50}) (d - d_{ir50})}}$$

حيث:

$$(28a) \quad H_{ir\beta} = h_{ir50} + 10^3 \frac{(d_{ir50} - d_{im50})(d - d_{ir50})}{2a\beta} - \frac{h_{im50}(d - d_{ir50}) + h_{rs}(d - d_{im50})}{d - d_{im50}}$$

حساب خسارة انعراج حافة حد السكين في الحافة الثانوية جهة المستقبل، $L_{r\beta}$ ، المعطاة في:

$$(29) \quad L_{r\beta} = \begin{cases} J(v_{r\beta}) & \text{for } v_{r\beta} \geq -0.78 \\ = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

جمع خسارات الحواف التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقتحساب خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $\beta_0\%$ من الوقت، $L_{d\beta}$ ، المعطاة في:

$$(30) \quad L_{d\beta} = \begin{cases} L_{m\beta} + \left(1 - e^{-\frac{L_{m\beta}}{6}}\right) (L_{r\beta} + L_{r\beta} + 10 + 0.04d) & \text{for } v_{m\beta} > -0.78 \\ = 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

3.2.4 خسارة الانعراج التي لم يتم تجاوزها أثناء $p\%$ من الوقتإن تطبيق القيمتين الممكنتين لعامل نصف قطر الأرض الفعال مرهون بعامل الاستكمال الداخلي، F_i ، القائم على توزيع لوغاريتمي عادي لخسارة الانعراج في المدى $50\% > p > \beta_0\%$ ، ويعطى في العلاقة:

$$(31a) \quad p = 50\% \quad F_i = 0$$

$$(31b) \quad \text{for } 50\% > p > \beta_0\% \quad \frac{I\left(\frac{p}{100}\right)}{I\left(\frac{\beta_0}{100}\right)} =$$

$$(31c) \quad p \geq \text{for } \beta_0\% \quad = 1$$

حيث $I(x)$ هي الدالة العادية التراكمية العكسية. ويعطى الحساب التقريبي للقيمة $I(x)$ التي يمكن استعمالها مع معامل الثقة $x < 0,5$ في التذييل 3 للملحق 1.وتعطى الآن خسارة الانعراج، L_{dp} ، التي لم يتم تجاوزها أثناء $p\%$ من الوقت في العلاقة:

$$(32) \quad L_{dp} = L_{d50} + F_i (L_{d\beta} - L_{d50}) \quad \text{dB}$$

حيث L_{d50} و $L_{d\beta}$ تتحددان في المعادلتين (23) و (30) على التوالي، وتحدد F_i في المعادلات (من 31a إلى 31c) تبعاً لقيم p و β_0 .وتعطى خسارة الإرسال الأساسية المتوسطة المصاحبة للانعراج، L_{bd50} ، في العلاقة:

$$(33) \quad L_{bd50} = L_{bfs\beta} + L_{d50} \quad \text{dB}$$

حيث $L_{bfs\beta}$ تعطى في المعادلة (9).وخسارة الإرسال الأساسية المصاحبة للانعراج والتي لم يتم تجاوزها أثناء $p\%$ من الوقت تعطى في المعادلة:

$$(34) \quad L_{bd} = L_{b0p} + L_{dp} \quad \text{dB}$$

حيث L_{b0p} تعطى في المعادلة (11).

3.4 الانتشار التروبوسفيري (الملاحظتان 1 و 2)

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

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

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

$$(35) \quad L_{bs} = 190 + L_f + 20 \log d + 0.573 \theta - 0.15 N_0 + L_c + A_g - 10.1 [-\log (p/50)]^{0.7} \text{ dB}$$

حيث:

L_f : الخسارة بدلالة التردد:

$$(35a) \quad L_f = 25 \log f - 2.5 [\log (f/2)]^2 \text{ dB}$$

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

$$(35b) \quad L_c = 0.051 \cdot e^{0.055(G_t + G_r)} \text{ dB}$$

N_0 : الانكسارية النوعية للسطح على مستوى البحر عند منتصف المسير، تشتق من الشكل 6.

A_g : الامتصاص الغازي يشتق من المعادلة (8) مع $\rho = 3 \text{ g/m}^3$ على طول المسير بكامله.

4.4 تكوّن المجاري/الانعكاس على الطبقات

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

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

حيث:

A_f : مجموع خسائر الاقتران الثابتة (باستثناء الخسائر بسبب مجموعة من العوائق المحلية) بين الهوائيات وبنية الانتشار الشاذ داخل الجو.

$$(37) \quad A_f = 102,45 + 20 \log f + 20 \log (d_{lt} + d_{lr}) + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \text{ dB}$$

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

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

حيث:

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

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

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

(39)

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

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

(39a)

$$A_{ct,cr} = 0 \quad \text{dB} \quad \text{لجميع الحالات الأخرى}$$

وتجدر الإشارة هنا إلى المجموعة المحدودة من الشروط التي تكون فيها المعادلة (39) ضرورية.

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

(40)

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

حيث:

γ_d : التوهين النوعي:

(41)

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

θ' : المسافة الزاوية (مصححة وفقاً للحاجة) (من خلال المعادلة (41a)) من أجل إتاحة تطبيق نموذج تأثير حجب التضاريس الأرضية في المعادلة (37):

(42)

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

(42a)

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

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

(43)

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

(43a)

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

(44)

$$\beta = \beta_0 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \quad \%$$

μ_2 : التصحيح بالنسبة إلى هندسة المسير:

(45)

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

ويجب ألا تتجاوز قيمة μ_2 مقدار 1:

(45a)

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

حيث:

$$3,5 = \varepsilon$$

τ : معرفة في المعادلة (3a)

ويجب ألا تقل قيمة a عن 3,4
 μ_3 : تصحيح التعرج في التضاريس الأرضية:

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

$$(46a) \quad d_i = \min(d - d_{it} - d_{lr}, 40) \quad \text{km}$$

A_g : الامتصاص الغازي الكلي الذي تحدده المعادلتان (8) و(8a).

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

5.4 الخسائر الإضافية بسبب مجموعات من العوائق

1.5.4 اعتبارات عامة

تبين أن ثمة فائدة كبيرة بالنسبة إلى الحماية من التداخل يمكن أن تستخلص من خسائر الانعراج الإضافية التي تحدث عند الهوائيات المركزة داخل مجموعات من العوائق المحلية على الأرض (مبانٍ، نبات، إلخ.). ويسمح هذا الإجراء بإضافة هذه الخسائر التي تسببها مجموعات العوائق عند كل طرف من طرفي المسير أو عند الطرفين في الحالات التي تكون فيها بنية مجموعة العوائق معروفة. ويتنبأ بخسارة إضافية قدرها 20 dB كحد أقصى في كلا طرفي المسار تستخدم عبر دالة استقطاب على شكل S ترمي إلى تجنب تقدير زائد عن الحد للخسارة الناجمة عن حجب التضاريس. أما في حالات الشك بالنسبة إلى بيئة هذه المجموعة فلا تدرج هذه الخسارة الإضافية.

تسمى الخسارة بسبب مجموعة من العوائق A_{ht} (dB) و A_{hr} (dB) من أجل المحطة المسببة للتداخل والمحطة المعرضة للتداخل، على التوالي. وتتعلق الحماية الإضافية المتيسرة بالارتفاع وتحدد نماذجها بواسطة دالة كسب الارتفاع المقيسة بالنسبة إلى الارتفاع الاسمي لمجموعة العوائق. وتتوفر ارتفاعات اسمية مناسبة من أجل سلسلة من أنماط العوائق.

ويطبق التصحيح على كل التنبؤات في الجو الصافي المذكورة في هذه التوصية أي في كل أساليب الانتشار وكل النسب المثوية من الوقت.

2.5.4 فئات مجموعات العوائق

يشير الجدول 4 إلى فئات مجموعات العوائق (أو التغطية الأرضية) مثلما ورد تعريفها في التوصية ITU-R P.1058 التي يمكن أن يطبق عليها تصحيح كسب الارتفاع. وتعتبر قيم الارتفاع الاسمي لمجموعة العوائق h_a (m) والمسافة بالنسبة إلى الهوائي d_k (km) بأنها القيم "المتوسطة" الأكثر تمثيلاً لنمط مجموعة العوائق. غير أن نموذج التصحيح يتبنى أدنى التقديرات نظراً إلى الارتباطات المتعلقة بالارتفاع الفعلي المناسب لكل حالة. أما إذا كانت معلمات مجموعة العوائق معروفة بدقة أكبر فيمكن استخدامها مباشرة بدلاً من القيم المحددة في الجدول 4.

والارتفاعات والمسافات الاسمية الواردة في الجدول 4 قريبة من الارتفاع النموذجي H_c وعرض الفجوة النموذجي G_c المعرفين في التوصية ITU-R P.1058. ولكن النموذج المستخدم هنا لتقدير الخسائر الإضافية الناجمة عن الحجب بسبب العوائق (التغطية الأرضية) متحفظ عمداً.

3.5.4 نموذج كسب الارتفاع

تعطي العبارة التالية الخسارة الإضافية العائدة إلى الحماية من مجموعة العوائق المحلية:

$$(47) \quad A_h = 10.25 \times e^{-d_k} \left(1 - \tanh \left[6 \left(\frac{h}{h_a} - 0.625 \right) \right] \right) - 0.33 \quad \text{dB}$$

حيث:

- d_k : المسافة (km) بين الموقع الاسمي لمجموعة العوائق والهوائي (انظر الشكل 3)
- h : ارتفاع الهوائي (m) فوق مستوى الأرض المحلية
- h_a : الارتفاع الاسمي لمجموعة العوائق (m) فوق مستوى الأرض المحلية.

الجدول 4

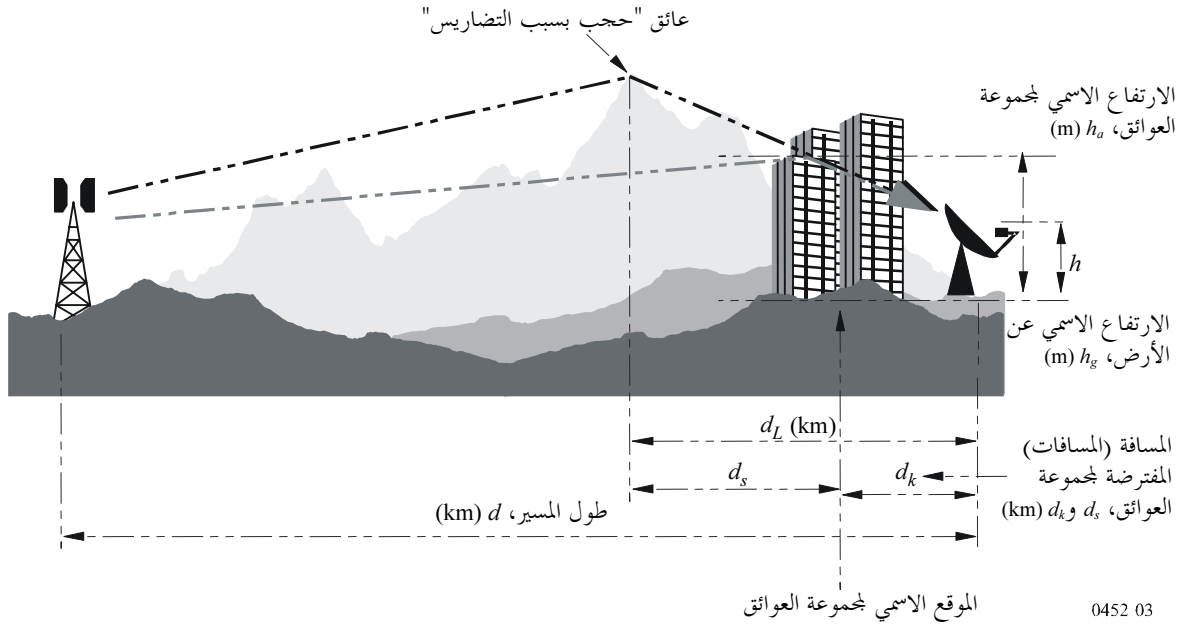
الارتفاعات والمسافات الاسمية لمجموعات العوائق

المسافة الاسمية، d_k (km)	الارتفاع الاسمي، h_a (m)	فئة مجموعات العوائق (أو تغطية الأرض)
0,1	4	حقول زراعية مرتفعة حدائق تغطية ضعيفة الكثافة غير منتظمة بساتين (منتظمة التباعد) مساكن متفرقة
0,07	5	وسط القرية
0,05	15	أشجار طارحة الأوراق (تباعد غير منتظم) أشجار طارحة الأوراق (تباعد منتظم) غابات مكونة من أشجار مختلطة
0,05	20	أشجار صنوبرية (غير منتظمة التباعد) أشجار صنوبرية (منتظمة التباعد)
0,03	20	غابة استوائية
0,025	9	منطقة شبه حضرية
0,02	12	منطقة شبه حضرية كثيفة
0,02	20	منطقة حضرية
0,02	25	منطقة حضرية كثيفة
0,05	20	منطقة صناعية

ينبغي ألا تؤخذ في الاعتبار الخسائر الإضافية الناتجة عن الحجب بواسطة مجموعة من العوائق (أو بواسطة التغطية الأرضية) بالنسبة إلى الفئات التي لا ترد في الجدول 4.

الشكل 3

طريقة تطبيق تصحيح كسب الارتفاع A_{hr} أو A_{ht}



0452 03

4.5.4 طريقة التطبيق

إن طريقة تطبيق تصحيح الكسب في الارتفاع A_{hr} أو A_{ht} (dB) هي طريقة مباشرة كما هي مبينة في الشكل 3. والخطوات التي ينبغي إضافتها إلى إجراء التنبؤ الأساسي هي التالية:

- الخطوة 1: عندما يكون نمط مجموعة العوائق معروفاً أو عندما تكون الفرضية أكيدة في هذا المجال، يستعمل الإجراء الرئيسي في حساب خسارة الإرسال الأساسية حتى الارتفاع الاسمي h_a ومن أجل نمط مجموعة العوائق المناسب الذي يتم اختياره في الجدول 4. ويجب أن يستعمل طول المسير: $d - d_k$ (km). غير أنه من الممكن تجاهل هذا التصحيح الثانوي عندما يكون: $d \gg d_k$.
- الخطوة 2: عندما يوفر عائق "تأثير حجب التضاريس الأرضية" الحماية للمطرف يجب أن يدرج ذلك في الحساب الأساسي، لكنه ينبغي للخسارة بسبب الحجب (A_{sr} أو A_{st}) (dB) أن تحسب حتى الارتفاع h_a عند المسافة d_s بدلاً من الارتفاع h عند المسافة d_L الذي قد يتم في الحالات الأخرى.
- الخطوة 3: يمكن، بعد اكتمال الإجراء الرئيسي، أن يضاف تصحيح الكسب في الارتفاع وفقاً للمعادلة (47) كما تشير إليه المعادلة (54).

الخطوة 4: يتم الحساب الأساسي في حالة غياب المعلومات حول مجموعة العوائق بواسطة المسافتين d_L و d (وفقاً للحاجة) والارتفاع h .

الملاحظة 1 - يجب أن تضاف تصحيحات الكسب في الارتفاع لمجموعة العوائق في طرفي المسير حينما تدعو الحاجة إلى ذلك.

الملاحظة 2 - ويمكن في الحالات التي تتطلب تصحيحاً لكسب الارتفاع على مسير بري وتصحيح الاقتران بالبحري على مسير بحري (A_{cr} أو A_{ct}) (dB) (أي أن الهوائي قريب من البحر لكن ثمة مجموعة من العوائق فيما بينهما) أن يستعمل التصحيحان معاً لأنهما متكاملان ومتلائمان.

الملاحظة 3 - لا يعتبر هذا النموذج مناسباً إذا لم تكن d أكبر من d_k بشكل ملحوظ.

6.4 التنبؤ الإجمالي

ينبغي تطبيق الإجراء التالي على نتائج الحسابات السابقة لجميع المسارات. حساب عامل استكمال داخلي، F_j ، لمعرفة المسافة الزاوية للمسير:

$$(48) \quad F_j = 1.0 - 0.5 \left(1.0 + \tanh \left(3.0 \xi \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right) \right)$$

حيث:

$$\Theta = 0,3$$

$$\xi = 0,8$$

θ : المسافة الزاوية للمسير (mrad) (محددة في الجدول 7).

حساب عامل استكمال داخلي، F_k ، لمعرفة طول مسير الدائرة العظمى:

$$(49) \quad F_k = 1.0 - 0.5 \left(1.0 + \tanh \left(3.0 \kappa \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right) \right)$$

حيث:

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

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

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

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

$$(50) \quad L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{for } p < \beta_0 \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50}) \cdot F_i & \text{for } p \geq \beta_0 \end{cases} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{b0p} : خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن انكسار المجرى/الطبقة والتي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (11)

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

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

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

$$(51) \quad L_{minbap} = \eta \ln \left(\exp \left(\frac{L_{ba}}{\eta} \right) + \exp \left(\frac{L_{b0p}}{\eta} \right) \right) \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{ba} : خسارة الإرسال الأساسية الناجمة عن انكسار المجرى/الطبقة والتي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (36)

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

$$2,5 = \eta$$

حساب خسارة الإرسال الأساسية النظرية، L_{bda} (dB)، المصاحبة للانعراج وتعزيز الإشارة في خط البصر أو في انكسار الجرى/الطبقة:

$$(52) \quad L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{for } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap})F_k & \text{for } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \quad \text{dB}$$

حيث:

L_{bd} : خسارة الإرسال الأساسية في الانعراج التي لم يتم تجاوزها خلال $p\%$ من الوقت، وتعطى في المعادلة (34).

F_k : عامل استكمال داخلي ينتج عن المعادلة (49) تبعاً لقيم p و β_0 .

حساب خسارة الإرسال الأساسية المعدلة، L_{bam} (dB)، التي تراعي الانعراج وتعزيز الإشارة في خط البصر أو في انكسار الجرى/الطبقة.

$$(53) \quad L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda})F_j \quad \text{dB}$$

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

$$(54) \quad L_b = -5 \log \left(10^{-0.2L_s} + 10^{-0.2L_{bam}} \right) + A_{ht} + A_{hr} \quad \text{dB}$$

حيث:

$A_{ht,hr}$: هما المسارتان الإضافيتان الناجمتان عن حجم التضاريس في المرسل والمستقبل. وينبغي إعطاؤهما قيمة الصفر في حال لم يوجد حجب من هذا القبيل.

7.4 حساب خسارة الإرسال

تمكن الطريقة التي يرد وصفها في الفقرات من 1.4 إلى 6.4 من حساب خسارة الإرسال الأساسية بين المحطتين. ولحساب سوية الإشارة عند محطة واحدة من جراء حدوث تداخل تسببه المحطة الأخرى لا بد من معرفة خسارة الإرسال، التي تأخذ في الاعتبار كسب الهوائي في المحطتين في اتجاه المسير الراديوي (أي التداخل) بينهما.

ويقدم الإجراء التالي طريقة لحساب خسارة الإرسال بين محطتين للأرض. ويقدم هذا الإجراء أيضاً، بوصفه مرحلة وسيطة في هذه الطريقة، صيغاً لحساب طول المسير على طول الدائرة العظمى ولحساب المسافة الزاوية للمسير بالاستناد إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطتين بدلاً من اشتقاق هذه الكميات انطلاقاً من المظهر الجانبي للمسير، وفقاً للفرضية التي ترد في الجدول 3.

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

$$(55) \quad \delta = \arccos(\sin(\varphi_t) \sin(\varphi_r) + \cos(\varphi_t) \cos(\varphi_r) \cos(\psi_t - \psi_r)) \quad \text{rad}$$

وتكون مسافة الدائرة العظمى d بين المحطتين:

$$(56) \quad d = 6371 \cdot \delta \quad \text{km}$$

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

$$(57) \quad \alpha_{tr} = \arccos(\{\sin(\varphi_r) - \sin(\varphi_t) \cos(\delta)\} / \sin(\delta) \cos(\varphi_t)) \quad \text{rad}$$

وبعد تطبيق العبارة (38)، إذا كانت $\psi_t - \psi_r > 0$ عندئذ:

$$(58) \quad \alpha_{tr} = 2\pi - \alpha_{tr} \quad \text{rad}$$

وتحسب زاوية السمّت من المحطة r إلى المحطة t بصفة تناظرية انطلاقاً من المعادلتين (57) و(58).

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

$$(59a) \quad \epsilon_{pt} = \frac{h_r - h_t}{d} - \frac{d}{2a_e} \quad \text{rad}$$

و

$$(59b) \quad \epsilon_{pr} = \frac{h_t - h_r}{d} - \frac{d}{2a_e} \quad \text{rad}$$

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

$$(60a) \quad \epsilon_{pt} = \frac{\theta_t}{1000} \quad \text{rad}$$

و

$$(60b) \quad \epsilon_{pr} = \frac{\theta_r}{1000} \quad \text{rad}$$

وتجدر الإشارة إلى أن زاويتي الأفق الراديوي θ_r و θ_t (mrad) تظهران للمرة الأولى في الجدول 3 ويرد تعريفهما على التوالي في الفقرتين 1.1.5 و 3.1.5 من التذييل 1 للملحق 1.

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

$$(61a) \quad \chi_t = \arccos(\cos(\epsilon_r) \cos(\epsilon_{pt}) \cos(\alpha_{tr} - \alpha_t) + \sin(\epsilon_r) \sin(\epsilon_{pt}))$$

و

$$(61b) \quad \chi_r = \arccos(\cos(\epsilon_t) \cos(\epsilon_{pr}) \cos(\alpha_{rt} - \alpha_r) + \sin(\epsilon_t) \sin(\epsilon_{pr}))$$

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

وللحصول على خسارة الإرسال L تستعمل المعادلة:

$$(62) \quad L = L_b(p) - G_t - G_r \quad \text{dB}$$

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

5 التنبؤ بالتداخلات التي يسببها الانتشار بالماء الجوي

خلافاً لما تقدم من طرق التنبؤ بالتداخلات في الجو الصافي، تستعمل طريقة التنبؤ بالتداخلات الناجمة عن الانتشار بالماء الجوي (التي يرد وصفها فيما يلي) عبارات تتعلق بخسارة الإرسال بين محطتين مباشرة نظراً لأنها تفترض معرفة مخطط إشعاع كل من المحطة المسببة للتداخل والمحطة المعرضة للتداخل.

وهذه الطريقة عامة جداً من حيث إمكان استعمالها في أي مخطط إشعاع هوائي يوفر طريقة لتحديد كسب الهوائي عند أية زاوية انحراف عن محور التسديد. ويمكن على سبيل المثال استعمال كافة مخططات الإشعاع كتلك التي ترد في التوصيات ITU-R P.620 و ITU-R F.699 و ITU-R F.1245 و ITU-R S.465 و ITU-R S.580، مثلما هو الحال بالنسبة إلى مخططات أكثر تعقيداً تستند إلى دوال بيسل (Bessel) أو مخططات حقيقية مقيسة، في حال تيسرها. ويمكن استعمال هذه الطريقة أيضاً في هوائيات شاملة الاتجاهات أو هوائيات قطاعية، مثل الهوائيات التي ترد خصائصها في التوصية ITU-R F.1336 والتي يتحدد كسبها عادة انطلاقاً من زاوية الانحراف عن محور التسديد الأفقي (أي الارتفاع بالنسبة إلى زاوية الكسب الأقصى).

وهذه الطريقة عامة أيضاً من حيث إنها لا تقتصر على أي هندسة خاصة شرط تيسر مخططات إشعاع هوائي تساوي تغطيتها $\pm 180^\circ$. وبالتالي فهي تشمل كلاً من تغطية اقتران الحزمة الرئيسية بالحزمة الرئيسية و اقتران الفص الجانبي بالحزمة الرئيسية، وكلاً من هندسة الانتثار على الدائرة العظمى وهندسة الانتثار الجانبي. ويمكن بهذه الطريقة حساب سويات التداخل بالنسبة إلى المسيرات الطويلة ($< 100 \text{ km}$) والمسيرات القصيرة (حتى بضعة كيلومترات) على حد سواء، ويتم اختيار زوايا الارتفاع والسمت المقيسة عند سوية هذه المحطة أو تلك بصفة عشوائية. وبالتالي، فإن هذه الطريقة مناسبة لفئة عريضة من السيناريوهات والخدمات لا سيما فيما يتعلق بتحديد التداخل الناتج عن الانتثار بالمطر بين محطتين للأرض، وبين محطة للأرض ومحطة أرضية وبين محطتين أرضيتين تعملان في نطاقات ترددات موزعة في اتجاهي الإرسال.

ولدى مكتب الاتصالات الراديوية تطبيق لهذا النموذج أعد بلغة فرتان، وهو نموذج يستعمل مخططات إشعاع الهوائيات الواردة في التوصيات ITU-R P.620 و ITU-R F.1245 و ITU-R F.1336.

1.5 المقدمة

تستند الطريقة إلى تطبيق معادلة رادار بمحطتين يُعبر فيهما عن القدرة P_r المقيسة عند محطة الاستقبال والناتجة عن الانتثار بالمطر بدالة القدرة P_t التي تشعها محطة الإرسال:

$$(63) \quad P_r = P_t \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} \iiint_{all \ space} \frac{G_t G_r \eta A}{r_t^2 r_r^2} dV \quad W$$

حيث:

λ : طول الموجة

G_t : كسب (خطي) لهوائي الإرسال

G_r : كسب (خطي) لهوائي الاستقبال

η : الجزء الفعال للانتثار لكل وحدة حجم، δV (m^3/m^3)

A : توهين على طول المسير بين المرسل والمستقبل (خطياً)

r_t : المسافة بين المرسل وعنصر حجم الانتثار

r_r : المسافة بين عنصر حجم الانتثار والمستقبل.

وتصبح معادلة الرادار بمحطتين عندما يُعبر عنها في شكل خسارة إرسال (dB) بالنسبة إلى الانتثار بين محطتين (محطة 1 ومحطة 2) كما يلي:

$$(64) \quad L = 208 - 20 \log f - 10 \log Z_R - 10 \log C + 10 \log S + A_g - M \quad \text{dB}$$

حيث:

f : التردد (GHz)

Z_R : انعكاسية الرادار عند مستوى الأرض، ويمكن التعبير عنها في شكل معدل هطول المطر R (mm/h):

$$(65) \quad Z_R = 400R^{1.4}$$

$10 \log S$: تصحيح (dB) كي يؤخذ في الاعتبار الانحراف بالنسبة إلى انتشار رايلي عند الترددات الواقعة فوق 10 GHz.

$$(66) \quad 10 \log S = \begin{cases} R^{0.4} \cdot 10^{-3} \left[4(f-10)^{1.6} \left(\frac{1 + \cos \phi_S}{2} \right) + 5(f-10)^{1.7} \left(\frac{1 - \cos \phi_S}{2} \right) \right] & \text{for } f > 10 \text{ GHz} \\ 0 & \text{for } f \leq 10 \text{ GHz} \end{cases}$$

حيث:

ϕ_S : زاوية الانتشار

A_g : توهين ناتج عن الغازات الجوية على طول المسير بين المرسل والمستقبل (dB)، ويُحسب من التوصية ITU-R P.676 (الملحق 2).

M : عدم مواءمة الاستقطاب بين المرسل والمستقبل (dB).

ويقتصر الانتشار في هذا النموذج على الانتشار داخل خلية مطر تعرف بأنها ذات جزء فعال دائري يتوقف قطره على معدل هطول المطر:

$$(67) \quad d_c = 3.3R^{-0.08} \quad \text{km}$$

ويفترض أن يكون معدل هطول المطر، ومن ثم انعكاسية الرادار، في خلية المطر، ثابتين إلى حد ارتفاع المطر h_R . ويُفترض، فوق ارتفاع المطر، أن تتضاءل الانعكاسية خطياً تبعاً للارتفاع بمعدل يصل إلى -6,5 dB/km.

وبالتالي، فإن دالة نقل الانتشار C هي مقسوم تكامل الحجم على خلية المطر ويمكن كتابتها في شكل إحداثيات أسطوانية كما يلي:

$$(68) \quad C = \int_0^{h_{max}} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{d_c}{2}} \frac{G_1 G_2}{r_1^2 r_2^2} A \zeta \cdot r \, dr d\phi dh$$

حيث:

G_1, G_2 : الكسب الخطي للمحطة 1 والمحطة 2 على التوالي

r_1, r_2 : المسافتان (km) بين عنصر التكامل δV والمحطة 1 والمحطة 2 على التوالي

A : توهين ناتج عن المطر، داخل خلية المطر وخارجها، ويُعبر عنه خطياً.

ζ : انعكاسية الرادار تبعاً للارتفاع:

$$(69) \quad \zeta = \begin{cases} 1 & \text{for } h \leq h_R \\ 10^{-0.65(h-h_R)} & \text{for } h > h_R \end{cases}$$

h_R : ارتفاع المطر (km)

h, ϕ, r : متغيرات التكامل في خلية المطر.

ويجري حساب التكامل بصورة رقمية في شكل إحداثيات أسطوانية. غير أنه من الملائم في البداية مراعاة هندسة الانتشار انطلاقاً من محطة الإرسال حتى محطة الاستقبال مروراً بخلية مطر، اعتماداً على إحداثيات ديكارتية، باتخاذ المحطة 1 كنقطة أصل نظراً إلى أن الموقع الفعلي لخلية المطر لن يعرف مباشرة، لا سيما في حالة الانتشار الجانبي.

ومن المستحسن، في إطار إحداثيات ديكارتية، وسعياً للتبسيط، تحويل مختلف المعلومات الهندسية من القيم التي تراعي انحناء الأرض إلى قيم تمثيل أرضي مستو.

ويستدل على اقتران الحزمة الرئيسية بالحزمة الرئيسية بين الهوائيين من الهندسة، ومن ثم يُحدد موقع خلية المطر عند نقطة التقاطع بين محوري الحزمتين الرئيسيتين. وإذا لم يكن هنالك من اقتران بين هاتين الحزمتين يُحدد عندئذٍ موقع خلية المطر على طول محور الحزمة الرئيسية للمحطة 1، متمركزاً في نقطة الاقتراب الأعظمي من محور الحزمة الرئيسية للمحطة 2. ويجب في هذه الحالة تحديد خسائر الإرسال بالنسبة إلى حالة ثانية بتبديل معلمات كل محطة، ويفترض في خسائر الحالة الأسوأ أن تكون ممثلة لسويات التداخل المحتملة.

2.5 معلمات الدخل

يحتوي الجدول 5 على قائمة بكل معلمات الدخل اللازمة لتنفيذ الطريقة التي تسمح بحساب التوزيع التراكمي لخسارة الإرسال بين محطتين الناجم عن الانتثار بالمطر.

الجدول 5

قائمة معلمات الدخل

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

المعلمة	الوحدات	الوصف
d	km	المسافة بين المخططين
f	GHz	التردد
h_{2_loc}, h_{1_loc}	km	ارتفاع المحطة 1 وارتفاع المحطة 2 فوق السوية المتوسطة لسطح البحر (قيم محلية)
G_{max-2}, G_{max-1}	dB	أقصى كسب لكل هوائي
$h_R(p_h)$	km	التوزيع التراكمي لارتفاع المطر الذي تم تجاوزه ويُعبر عنه في شكل نسبة مئوية من الوقت p_h . (راجع الملاحظة 1)
M	dB	عدم مواءمة الاستقطاب بين الأنظمة
P	hPa	الضغط عند السطح (القيمة المفترضة 1013,25 hPa)
$R(p_R)$	mm/h	التوزيع التراكمي لنسبة هطول المطر التي تم تجاؤها ويعبر عنها في شكل نسبة مئوية من الوقت p_R .
T	°C	درجة الحرارة عند السطح (القيمة المفترضة 15 °C)
$\alpha_{2_loc}, \alpha_{1_loc}$	rad	التقويم الزاوي المحلي للمحطة 1 بالنسبة إلى المحطة 2 والارتفاع المحلي للمحطة 2 بالنسبة إلى المحطة 1، في اتجاه عقارب الساعة
$\epsilon_{H2_loc}, \epsilon_{H1_loc}$	rad	زاويتنا موقع الأفق المحلي للمحطة 1 والمحطة 2
ρ	g/m ³	كثافة بخار الماء عند السطح (القيمة المفترضة 8 g/m ³)
τ	بالدرجات	زاوية استقطاب الوصلة (0° بالنسبة إلى الاستقطاب الأفقي، 90° بالنسبة إلى الاستقطاب العمودي)

الملاحظة 1 - إذا لم يتوفر التوزيع يستخدم متوسط ارتفاع المطر h_R بالاقتران مع الجدول 6.

3.5 الإجراء خطوة خطوة

الخطوة 1: تحديد معلمات الأرصاد الجوية

يعتمد حساب التوزيع التراكمي لخسارة الإرسال الناتجة عن الانتثار بالمطر في شكل نسبة مئوية من الوقت الذي يتم خلاله تجاوز هذه الخسائر، على التوزيعات الاحتمالية لمعدل هطول المطر وارتفاع المطر. وإذا كانت القيم المحلية لهذه التوزيعات متيسرة، فيجب استعمالها. وإلا فيمكن الرجوع إلى التوصية ITU-R P.837 للحصول على التوزيعات التراكمية لمعدل هطول المطر بالنسبة إلى أي موقع، كما يمكن الرجوع إلى التوصية ITU-R P. 839 للحصول على القيم المتوسطة لارتفاعات المطر.

كما يمكن، من باب التغيب، استعمال توزيع ارتفاع المطر بالنسبة إلى القيمة المتوسطة (الجدول 8) فيما يتعلق بالتوزيع التراكمي لارتفاعات المطر.

الجدول 6

التوزيع التراكمي لارتفاع المطر بالنسبة إلى القيمة المتوسطة

احتمال التجاوز (%)	اختلاف ارتفاع المطر (km)
100,0	1,625-
99,1	1,375-
96,9	1,125-
91,0	0,875-
80,0	0,625-
68,5	0,375-
56,5	0,125-
44,2	0,125
33,5	0,375
24,0	0,625
16,3	0,875
10,2	1,125
6,1	1,375
3,4	1,625
1,8	1,875
0,9	2,125
0,0	2,375

تُحول التوزيعات التراكمية لكل من معدل هطول المطر وارتفاع المطر في شكل دوال كثافة الاحتمال على النحو الآتي. بالنسبة إلى كل فاصل بين قيمتين متجاورتين من قيم معدل هطول المطر أو لارتفاع المطر، تؤخذ القيمة المتوسطة بوصفها ممثلة لهذا الفاصل ويساوي احتمال حدوثه الفرق بين احتمالين من احتمالات التجاوز المقابلة. وتساوي كل قيمة تكون h_R بالنسبة إليها أقل من 0 km (عندما نستعمل الجدول 7) 0 km مع إضافة الاحتمالات الخاصة بها.

ومن المفترض أن يكون معدل هطول المطر وارتفاع المطر، من الناحية الإحصائية، معلمتين مستقلتين الواحدة عن الأخرى، بحيث يكون احتمال الحدوث بالنسبة إلى أية تركيبة تتألف من زوج معدل هطول المطر/ارتفاع المطر، بكل بساطة ناتج مختلف الاحتمالات.

وتحسب خسارة المسير بالنسبة إلى كل زوج يتكون من قيم معدل هطول المطر وارتفاع المطر وفقاً للخطوات التالية.

الخطوة 2: تحويل العلامات الهندسية في تمثيل أرضي مستو

تحدد هندسة الانتثار بالمطر بين محطتين استناداً إلى معالم الدخول الأساسية لمسافة الدائرة العظمى d بين المحطتين، والقيم المحلية لزاوية ارتفاع هوائي كل محطة ϵ_{1-loc} و ϵ_{2-loc} ، وقيم التخالف السمتي بين محور الحزمة الرئيسية لهوائي كل محطة واتجاه

المحطة الأخرى التي تعرف بأنها موجبة في اتجاه عقارب الساعة ϵ_{1-loc} و ϵ_{2-loc} . وتؤخذ المحطة 1 بوصفها الموقع المرجعي، أي الأصل في نظام الإحداثيات الديكارتية، ومن ثم تكون المعلمة المرجعية كما يلي:

$$(70) \quad \epsilon_1 = \epsilon_{1-loc} \text{ و } \alpha_1 = \alpha_{1-loc} \quad \text{و:} \quad \epsilon_{H1} = \epsilon_{H1-loc} \text{ rad}$$

أولاً، نقوم بتحويل كل المعلمة الهندسية إلى نظام إحداثيات ديكارتية مشترك، مع اعتبار المحطة 1 الأصل، والمستوى الأفقي بوصفه المستوى $x-y$ ، ويسدد المحور x في اتجاه المحطة 2 ويسدد المحور z الذي يؤشر عمودياً نحو الأعلى. ويوضح الشكل 4 الهندسة على الأرض المحدبة (بالنسبة إلى حالة مبسطة من الانتثار نحو الأمام، أي على طول الدائرة العظمى) حيث r_{eff} هي نصف قطر الأرض الفعال،

$$(71) \quad r_{eff} = k_{50} R_E \quad \text{km}$$

حيث:

$$k_{50}: \text{ القيمة المتوسطة لعامل نصف قطر الأرض الفعال} = 1,33$$

$$R_E: \text{ نصف قطر الأرض الحقيقي} = 6371 \text{ km}$$

ويُفصل بين المحطتين بواسطة مسافة الدائرة العظمى d (km) التي تقع قبالة الزاوية δ في مركز الأرض.

$$(72) \quad \delta = \frac{d}{r_{eff}} \quad \text{rad}$$

ويكون الخط العمودي المحلي عند مستوى المحطة 2 مائلاً بمقدار الزاوية δ بالنسبة إلى الخط العمودي المحلي عند مستوى المحطة 1، أي محور Z . وبالتالي، تحول زاوية الارتفاع وزاوية السميت للمحطة 2 إلى تمثيل أرضي مستو على نحو ما يلي، ويشير الرمز loc إلى القيم المحلية.

تحسب زاوية الارتفاع للمحطة 2:

$$(73) \quad \epsilon_2 = \arcsin(\cos \epsilon_{2-loc} \cos \alpha_{2-loc} \sin \delta + \sin \epsilon_{2-loc} \cos \delta)$$

وزاوية الأفق عند المحطة 2:

$$(74) \quad \epsilon_{H2} = \arcsin(\cos \epsilon_{H2-loc} \cos \alpha_{2-loc} \sin \delta + \sin \epsilon_{H2-loc} \cos \delta)$$

والتخالف السميت للمحطة 2 نسبة إلى المحطة 1:

$$(75) \quad \alpha_2 = \arctan \left(\frac{\cos \epsilon_{2-loc} \sin \alpha_{2-loc}}{\cos \epsilon_{2-loc} \cos \alpha_{2-loc} \cos \delta - \sin \epsilon_{2-loc} \sin \delta} \right)$$

ويُعطى ارتفاع المحطة 2 فوق المستوى المرجعي كما يلي:

$$(76) \quad h_2 = h_{2-loc} - h_1 - d \frac{\delta}{2} \quad \text{km}$$

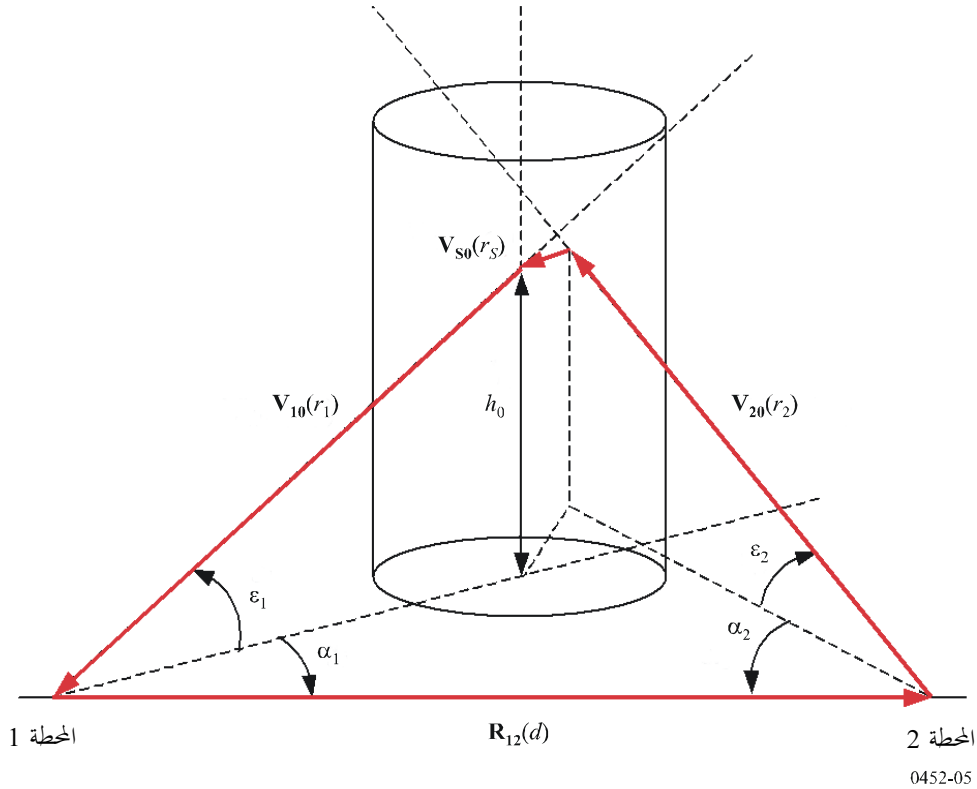
ويكون فرق السميت بين المحطتين عند نقطة التقاطع بين إسقاط المستوى الأرضي لمحور كل حزمة رئيسية:

$$(77) \quad \alpha_S = \pi - (\alpha_1 - \alpha_2) \quad \text{rad}$$

الشكل 5

رسم تخطيطي لهندسة الانتثار بالمطر في الحالة العامة للانتثار الجانبي

(يلاحظ أن حزمتي الهوائيين لا تتطابقان في هذا المثال، وأن "زاوية الحول" لا تساوي صفراً - انظر المعادلتين (79) و(80))



ويقع مركز خلية المطر على طول محور الحزمة الرئيسية لهوائي المحطة 1 عند نقطة التقارب الأعظمي بين حزمتي الهوائيين. وتقوم الهندسة على أساس ترميز المتجه.

ويُعرف المتجه من المحطة 1 إلى المحطة 2 كالتالي:

$$(78) \quad \mathbf{R}_{12} = \begin{bmatrix} d \\ 0 \\ h_2 \end{bmatrix} \quad \text{km}$$

وتُكوّن المتجهات \mathbf{R}_{12} و $r_1 \mathbf{V}_{10}$ و $r_S \mathbf{V}_{S0}$ و $r_2 \mathbf{V}_{20}$ شكلاً متعدد الأضلاع ذا ثلاثة أبعاد، ويكون المتجه \mathbf{V}_{S0} متعامداً مع المتجهين \mathbf{V}_{10} و \mathbf{V}_{20} . والمتجه \mathbf{V}_{S0} في الشكل 5 متعامد مع مستوى الصفحة.

ومراعاة لانحناء الأرض، نقوم بحساب متجه وحدة الطول \mathbf{V}_{10} في اتجاه الحزمة الرئيسية لهوائي المحطة 1.

$$(79) \quad \mathbf{V}_{10} = \begin{bmatrix} \cos \epsilon_1 \cos \alpha_1 \\ -\cos \epsilon_1 \sin \alpha_1 \\ \sin \epsilon_1 \end{bmatrix}$$

ويكون متجه وحدة الطول V_{20} في اتجاه الحزمة الرئيسية لهوائي المحطة 2:

$$(80) \quad \mathbf{V}_{20} = \begin{bmatrix} \sin \varepsilon_{2_loc} \sin \delta - \cos \varepsilon_{2_loc} \cos \alpha_{2_loc} \cos \delta \\ \cos \varepsilon_{2_loc} \sin \alpha_{2_loc} \\ \sin \varepsilon_{2_loc} \cos \delta + \cos \varepsilon_{2_loc} \cos \alpha_{2_loc} \sin \delta \end{bmatrix}$$

وتستعمل الطريقة الآن الناتج المتدرج للمتجهين، وتكتب وتقيم على نحو ما يلي:

$$\mathbf{V}_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad \text{حيث} \quad \mathbf{V}_1 \cdot \mathbf{V}_2 = x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2$$

وتحدد زاوية الانتشار φ_S ، أي الزاوية بين حزمتي الهوائيين، من الناتج المتدرج للمتجهين V_{20} و V_{10} :

$$(81) \quad \varphi_S = \arccos(-\mathbf{V}_{20} \cdot \mathbf{V}_{10})$$

وفي حالة $\varphi_S < 0,001$ راديان، تكون حزمتا الهوائيين متوازيتين تقريباً ويمكن الافتراض بأن أي اقتران يرتبط بالانتشار بالمطر سيكون مهملًا.

وكما هو موضح في الشكل 5، تُكوّن المتجهات الأربعة R_{12} و $r_2 V_{20}$ و $r_S V_{S0}$ و $r_1 V_{10}$ شكلاً مغلقاً متعدد الأضلاع ذا ثلاثة أبعاد، أي:

$$(82) \quad \mathbf{R}_{12} + r_2 \mathbf{V}_{20} + r_S \mathbf{V}_{S0} - r_1 \mathbf{V}_{10} = 0$$

ويمكن حل هذه المعادلة بالنسبة إلى المسافات r_i . وتستعمل الطريقة جداء المتجهين وتكتب وتقيم كما يلي. ويساوي ناتج المتجهين:

$$\mathbf{V}_1 \times \mathbf{V}_2 = \begin{bmatrix} y_1 z_2 - z_1 y_2 \\ z_1 x_2 - x_1 z_2 \\ x_1 y_2 - y_1 x_2 \end{bmatrix}$$

ويحسب متجه وحدة الطول V_{S0} الذي يكون متعامداً مع كلتا حزمتي الهوائيين جداء المتجهين $V_{20} \times V_{10}$:

$$(83) \quad \mathbf{V}_{S0} = \frac{\mathbf{V}_{20} \times \mathbf{V}_{10}}{\sin \varphi_S}$$

ويمكن حل المعادلة (81) باستعمال محدد المتجهات الثلاثة الذي يكتب ويقيم كما يلي:

$$\det[\mathbf{V}_1 \quad \mathbf{V}_2 \quad \mathbf{V}_3] = \det \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} = x_1(y_2z_3 - y_3z_2) + x_2(y_3z_1 - y_1z_3) + x_3(y_1z_2 - y_2z_1)$$

وتُحسب المسافة بين الحزمتين عند نقطة التقارب الأعظمي:

$$(84) \quad r_S = \frac{\det[\mathbf{V}_{10} \quad \mathbf{V}_{20} \quad \mathbf{V}_{12}]}{\det[\mathbf{V}_{10} \quad \mathbf{V}_{20} \quad \mathbf{V}_{S0}]}$$

وتكون مسافة المسير المائل r_1 بين المحطة 1 على طول حزمها الرئيسية ونقطة التقارب الأعظمي من الحزمة الرئيسية للمحطة 2:

$$(85) \quad r_1 = \frac{\det[\mathbf{V}_{12} \quad \mathbf{V}_{20} \quad \mathbf{V}_{S0}]}{\det[\mathbf{V}_{10} \quad \mathbf{V}_{20} \quad \mathbf{V}_{S0}]}$$

في حين أن مسافة المسير المائل المقابلة r_2 بين المحطة 2 على طول حزمها الرئيسية ونقطة التقارب الأعظمي من الحزمة الرئيسية للمحطة 1 هي:

$$(86) \quad r_2 = \frac{-\det[\mathbf{V}_{10} \quad \mathbf{V}_{12} \quad \mathbf{V}_{S0}]}{\det[\mathbf{V}_{10} \quad \mathbf{V}_{20} \quad \mathbf{V}_{S0}]}$$

وتحسب "زاوية الحول" خارج المحور Ψ_1 في المحطة 1 لنقطة التقارب الأعظمي بين محور الحزمة الرئيسية للمحطة 2:

$$(87) \quad \Psi_1 = \arctan\left(\frac{|r_S|}{r_1}\right)$$

وتكون "زاوية الحول" خارج المحور المقابلة في المحطة 2 لنقطة التقارب الأعظمي من محور الحزمة الرئيسية للمحطة 1:

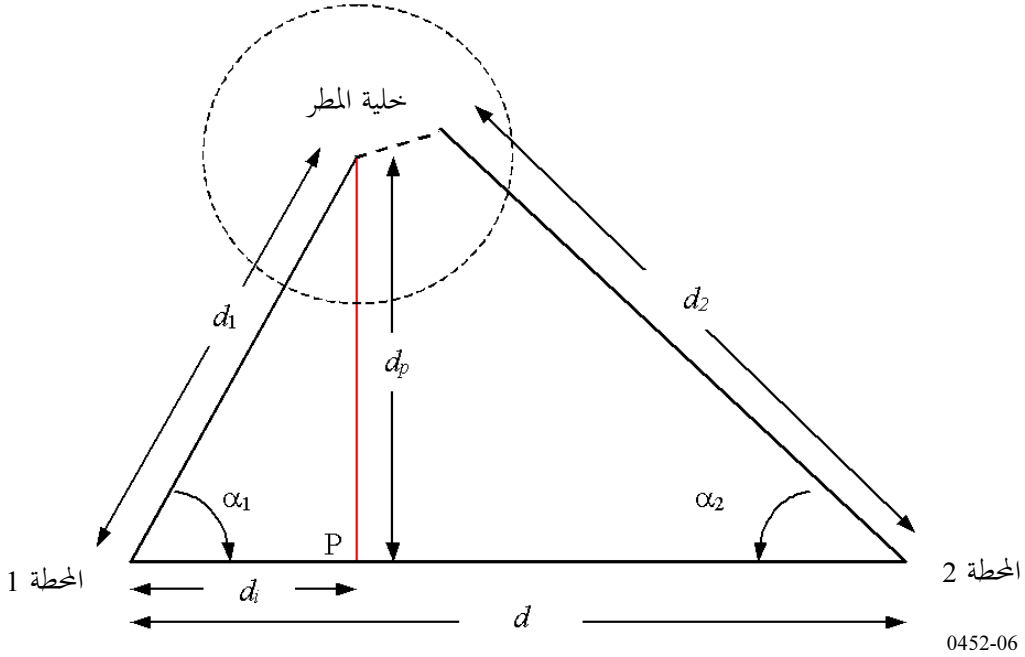
$$(88) \quad \Psi_2 = \arctan\left(\frac{|r_S|}{r_2}\right)$$

وانطلاقاً من هذه المعلمات، نحدد ما إذا كان هناك اقتران للحزمتين الرئيسيتين بين المحطتين أم لا. ولكي يكون هنالك اقتران بين الحزمتين الرئيسيتين. ينبغي لزاوية الحول أن تكون أقل بقيمة 3 dB من عرض حزمة الهوائي المعني. وفيما يتعلق بزوايا حول أكبر فلن يوجد إلا القليل، إن وجد، من اقتران الحزمتين الرئيسيتين. وسيتأثر مسير الإرسال بصفة أساسية باقتران الفص الجانبي بالحزمة الرئيسية. وفي هذه الحالة، ينبغي النظر في إمكانييتين على أن يكون وسط خلية المطر على طول محور الحزمة الرئيسية لكل هوائي بدوره وأن يكون أخفض مقدار من خسارة الإرسال يمثل الحالة الأسوأ. ونظراً إلى أن الموقع المفترض غيباً لخلية المطر يكون عند نقطة التقارب الأعظمي من محور الحزمة الرئيسية للمحطة 1، فمن الممكن أن نستبدل معلمات المحطة 2 بمعلمات المحطة 1 وبالعكس.

وأخيراً من الضروري أيضاً تحديد الإسقاطات الأفقية لمختلف المسافات المحسوبة أعلاه، والتي يمكن بالاستناد إليها تحديد موقع خلية المطر. ويبيّن الشكل 6 مخطط إسقاط الحالة العامة للانتشار الجانبي.

الشكل 6

مخطط إسقاط هندسة الانتشار الجانبي



تُحسب المسافة الأفقية بين المحطة 1 ومركز خلية المطر، أي النقطة على الأرض التي تقع مباشرة تحت نقطة التقارب الأعظمي من محور الحزمة الرئيسية للمحطة 1:

$$(89) \quad d_1 = r_1 \cos \epsilon_1 \quad \text{km}$$

وتكون المسافة الأفقية المقابلة من المحطة 2 إلى الإسقاط على المستوى الأرضي من نقطة التقارب الأعظمي:

$$(90) \quad d_2 = r_2 \cos \epsilon_2 \quad \text{km}$$

ويكون الارتفاع فوق الأرض من نقطة التقارب الأعظمي من محور الحزمة الرئيسية للمحطة 1:

$$(91) \quad h_0 = |r_1| \sin \epsilon_1 \quad \text{km}$$

في حين يكون ارتفاع نقطة التقارب الأعظمي من محور الحزمة الرئيسية للمحطة 2 في حالة عدم وجود اقتران الحزمتين الرئيسيتين:

$$(92) \quad h_{2_0} = |r_2| \sin \epsilon_2 \quad \text{km}$$

وتحتاج معلمات الارتفاع المرتبطة بخلية المطر إلى أن تصحح بالنسبة إلى أي تخالف عن مسير الدائرة العظمي في حالة الانتشار الجانبي بالمطر. وتكون المسافة بين المحطتين على طول الدائرة العظمي:

$$(93) \quad d_p = d_1 \sin \alpha_1$$

ويكون التباعد الزاوي عندئذ:

$$(94) \quad \delta_p = \frac{d_p}{r_{eff}} \quad \text{km}$$

ويحدد الآن التصحيح اللازم في حالة الانتثار الجانبي:

$$(95) \quad h_c = h_1 + d_p \frac{\delta_p}{2} \quad \text{km}$$

وجدير بالذكر أنه يتعين تطبيق هذا التصحيح على المعلومات الأخرى المرتبطة بخلية المطر، أي ارتفاع المطر h_R والحد الأعلى للتكامل h_{top} ، وفي تحديد التوهين بواسطة الغازات (انظر الخطوة 8) الذي يتطلب استعمال معلومات محلية.

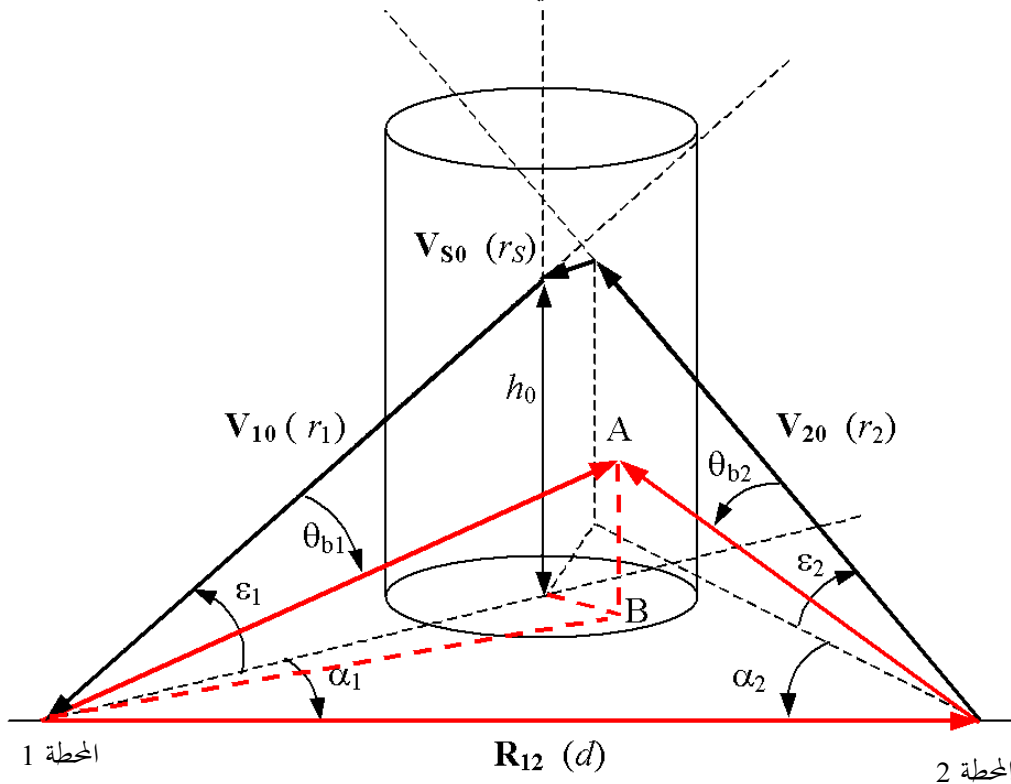
وعلى هذا النحو يتم تحديد المعلومات الأساسية الهندسية الساكنة التي يتعين استعمالها لتحديد موقع خلية المطر بالنسبة إلى المحطات ولتقييم خسارة الإرسال الناجمة عن الانتثار بالمطر. ويجب الآن النظر في الهندسة الخاصة بعنصر التكامل الذي قد يكون في أي مكان من خلية المطر، حتى حد أعلى يتعلق بالتكامل يُعرَّف مسبقاً h_{top} كي يتسنى تحديد كسب هوائي كل نقطة في خلية المطر وكذلك توهين المسير في خلية المطر، في اتجاه كل محطة. ولهذا الغاية يتعين تغيير نظام الإحداثيات للانتقال إلى إحداثيات أسطوانية (h, φ, r) متمركزة حول خلية المطر.

الخطوة 4: تحديد هندسة كسب الهوائي

يعتمد حساب كسب كل هوائي عند عنصر تكامل الإحداثيات (h, φ, r) باستعمال مخطط إشعاع هوائي من هذا النمط، وحساب توهين المسير في خلية المطر من ناحية أخرى، على حساب زاوية الانحراف عن محور التسديد عند موقع عنصر التكامل وأطوال المسير من عنصر التكامل إلى حافة خلية المطر، في اتجاه كل محطة. ويوضح الشكل 7 الهندسة التي تمثل فيها النقطة A عنصر التكامل العشوائي عند الإحداثيات (h, φ, r) في حين أن النقطة B هي مسقط هذه النقطة على الأرض. ويبين الشكل 8 مخطط إسقاط هذه الهندسة.

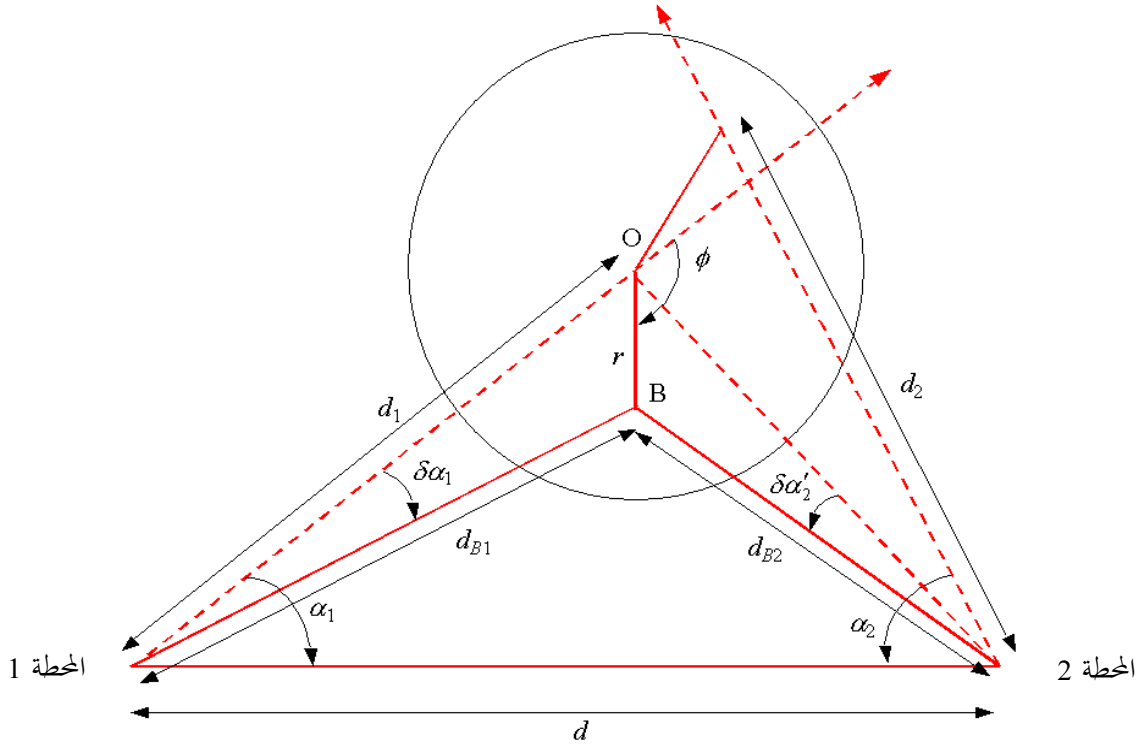
الشكل 7

هندسة تحديد كسب الهوائي وتوهين المسير في خلية المطر



الشكل 8

مخطط إسقاط هندسة تحديد كسب الهوائي



تُحسب المسافة الأفقية من المحطة 1 إلى النقطة B:

$$(96) \quad d_{B1} = \sqrt{r^2 + d_1^2 + 2rd_1 \cos \phi} \quad \text{km}$$

والزاوية بين هذا المسير والإسقاط الأفقي لمحور الحزمة الرئيسية لهوائي المحطة 1:

$$(97) \quad \delta\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{r \sin \phi}{d_{B1}}\right)$$

وتُعطى زاوية ارتفاع النقطة A المرئية من المحطة 1 بواسطة:

$$(98) \quad \varepsilon_{A1} = \arctan\left(\frac{h}{d_{B1}}\right)$$

ويُعرف متجه وحدة الطول من المحطة 1 إلى النقطة A كما يلي:

$$(99) \quad \mathbf{V}_{A1} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_{A1} \cos(\alpha_1 - \delta\alpha_1) \\ -\cos \varepsilon_{A1} \sin(\alpha_1 - \delta\alpha_1) \\ \sin \varepsilon_{A1} \end{bmatrix}$$

ونحدد زاوية الانحراف عن محور تسديد الهوائي فيما يتعلق بنقطة الإحداثيات (r, ϕ, h) بالنسبة إلى هوائي المحطة 1:

$$(100) \quad \theta_{b1} = \arccos(\mathbf{V}_{A1} \cdot \mathbf{V}_{10})$$

وتكون المسافة بين المحطة 1 والنقطة A:

$$(101) \quad r_{A1} = \frac{d_{B1}}{\cos \varepsilon_{A1}} \quad \text{km}$$

ويشار إلى أن المتجهات \mathbf{R}_{A1} و \mathbf{R}_{A2} و \mathbf{R}_{12} تكون مثلثاً مغلقاً، ويمكن الحصول على المتجه من المحطة 2 في اتجاه النقطة A عند (h, φ, r) من:

$$(102) \quad \mathbf{R}_{A2} = \mathbf{R}_{12} - r_{A1} \mathbf{V}_{A1} \quad \text{km}$$

وبالتالي تُحسب المسافة بين المحطة 2 والنقطة A كما يلي:

$$(103) \quad r_{A2} = |\mathbf{R}_{A2}| \quad \text{km}$$

بينما يكون متجه الوحدة من المحطة 1 في اتجاه عنصر التكامل:

$$(104) \quad \mathbf{V}_{A2} = \frac{\mathbf{R}_{A2}}{r_{A2}}$$

وتحدد بعد ذلك زاوية الانحراف عن محور التسديد للمحطة 2 لعنصر التكامل عند النقطة A، ذات الإحداثيات (h, φ, r) :

$$(105) \quad \theta_{b2} = \arccos(-\mathbf{V}_{A2} \cdot \mathbf{V}_{20})$$

ولا تستعمل الطريقة الواردة أعلاه لتحديد كسب الهوائي إلا بالنسبة إلى الهوائيات الدائرية. فإذا كان هوائي المحطة A قطاعياً أو شاملاً الاتجاهات، مثلما هو الحال بالنسبة إلى أنظمة البث الراديوي من نقطة إلى عدة نقاط، نستعمل عندئذ طريقة تختلف قليلاً لتحديد كسب الهوائي الذي لا يتغير إلا في الاتجاه العمودي فقط (داخل المنطقة التي تغطيها خلية المطر). وفي هذه الحالة، تتحدد زاوية الانحراف عن محور التسديد في الاتجاه العمودي بطريقة أبسط كما يلي:

$$(106) \quad \theta_{b1} = |\varepsilon_{A1} - \varepsilon_1|$$

وبالمثل، إذا كان هوائي المحطة 2 قطاعياً أو شاملاً الاتجاهات، فإن زاوية الانحراف عن محور التسديد في الاتجاه العمودي تتحدد كما يلي:

$$(107) \quad \theta_{b2} = |\varepsilon_{A2} - \varepsilon_2|$$

حيث:

$$(108) \quad \varepsilon_{A2} = \arctan\left(\frac{h}{d_{B2}}\right)$$

و:

$$(109) \quad d_{B2} = \sqrt{d^2 + d_{B1}^2 - 2d \cdot d_{B1} \cos(\alpha_1 - \delta\alpha_1)} \quad \text{km}$$

ومن المهم التذكير بأن زوايا الانحراف عن محور التسديد يعبر عنها عادة بالدرجات عندما تُستعمل عموماً في مخططات إشعاع الهوائي في حين يعبر عن دوال علم المثلثات في معظم البرمجيات عموماً بوحدة الراديان. ولذلك ينبغي إجراء تحويل بسيط من الراديان إلى الدرجات قبل استعمال هذه الزوايا في إجراءات التكامل.

ويمكن بالتالي حساب كسب الهوائي من مخطط الإشعاع ومن أقصى كسب له ومن زاوية الانحراف عن محور التسديد وهي دالة بحكم الموقع في خلية المطر. ويمكن خلاف ذلك أن نستعمل المخططات النموذجية للإشعاع التي ترد في أي من التوصية

ITU-R P.620 (وكذلك ITU-R F.699) أو التوصية ITU-R F.1245، علماً بأن سوية الفصوص الجانبية منخفضة في مخطط التوصية الأخيرة. ويشار إلى ضرورة التعبير عن الكسب خطياً بالنسبة إلى التكامل.

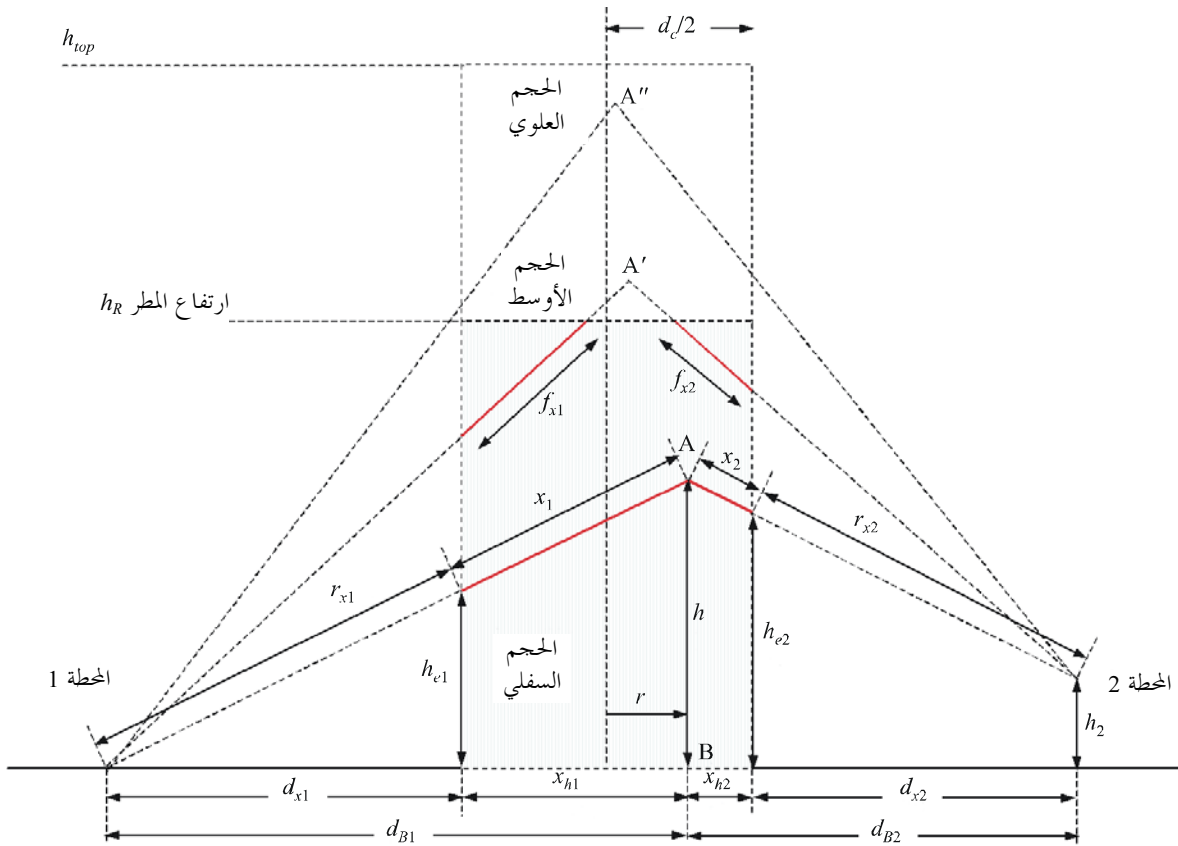
الخطوة 5: تحديد طول المسيرات داخل خلية المطر

تُحدد الآن خسائر المسير من عنصر التكامل في اتجاه كل من المحطتين A_1 و A_2 ، التي تتوقف على طول المسيرات وعلى موقع عنصر التكامل في خلية المطر.

وتنقسم خلية المطر، كما يوضح ذلك الشكل 9، إلى ثلاثة أحجام. ففي الحجم السفلي، يكون المقطع العرضي للانتشار ثابتاً في كل الخلية ويتحدد بحكم انعكاسية الرادار Z_R عند مستوى الأرض وتكون $\zeta(h) = 1$. وتتعرض المسيرات داخل خلية المطر في اتجاه كل من المحطتين x_1 و x_2 إلى التوهين بواسطة المطر. وفي الحجم الأوسط يقع عنصر التكامل فوق ارتفاع المطر ويتناقص المقطع العرضي للانتشار كلما ارتفع فوق ارتفاع المطر. بمعدل يصل إلى $-6,5$ dB/km. ولكن يمكن لجزء f من كل مسير أن يمر بصفة دائمة عبر خلية المطر، دون ارتفاع المطر، تبعاً للهندسة، ومن ثم تتعرض هذه المسيرات إلى توهين إضافي يكون نتيجة المطر على طول أجزاء المسير $f_{x1,2}$ التي تمر عبر الخلية. وفي الحجم العلوي يقع عنصر التكامل فوق خلية المطر ولا يمر أي جزء من المسيرات عبر خلية المطر دون ارتفاع المطر. ولذلك لا تتعرض هذه المسيرات إلى توهين بسبب المطر.

ويجري تقييم طول المسيرات في هذه الأحجام في الخطوات اللاحقة.

الشكل 9
أحجام التكامل في خلية المطر



ونحسب المسافة الأفقية d_{x1} التي تفصل بين المحطة 1 وحافة خلية المطر (النقطة X_1) انطلاقاً من قاعدة جيب التمام (باتخاذ العلامة السالبة لأهما الحافة الأقرب):

$$(111) \quad d_{x1} = d_1 \cos \delta\alpha_1 - \sqrt{d_1^2 \cos^2 \delta\alpha_1 - d_1^2 + \left(\frac{d_c}{2}\right)^2} \quad \text{km}$$

وتكون عندئذ المسافة على المسير المائل إلى حافة خلية المطر:

$$(112) \quad \text{km } r_{x1} = \frac{d_{x1}}{\cos \epsilon_{A1}}$$

وتحدد زاوية التخالف لعنصر التكامل عند النقطة A بالنسبة إلى المحطة 2:

$$(113) \quad \delta\alpha_2 = \arctan\left(\frac{-r \sin(\varphi + \alpha'_S)}{d'_2 + r \cos(\varphi + \alpha'_S)}\right)$$

حيث تعطى α'_S كما يلي:

$$(114) \quad \alpha'_S = \arcsin\left(\frac{d}{d'_2} \sin \alpha_1\right)$$

و

$$(115) \quad d'_2 = \sqrt{d^2 + d_1^2 - 2d \cdot d_1 \cos \alpha_1} \quad \text{km}$$

ثم نحسب المسافة الأفقية d_{x2} من قاعدة جيب التمام:

$$(116) \quad d_{x2} = d'_2 \cos \delta\alpha'_2 - \sqrt{\left(\frac{d_c}{2}\right)^2 - d_2'^2 \sin^2 \delta\alpha'_2} \quad \text{km}$$

وتُحسب مسافة المسير المائل r_{x2} حتى المحطة 2 مروراً بخلية المطر:

$$(117) \quad r_{x2} = \frac{d_{x2}}{\cos \epsilon_{A2}} \quad \text{km}$$

ويتعين الآن النظر في الحالتين التاليتين:

الحالة 1: عندما تكون المحطة 1 خارج خلية المطر، أي عندما تكون $d_1 > d_c/2$. في هذه الحالة، لن يكون في خلية المطر إلا جزء مسير واحد من عنصر التكامل A إلى المحطة 1 ومن ثم يتعرض إلى التوهين؛

الحالة 2: عندما تكون زاوية الارتفاع كبيرة جداً وتقع المحطة 1 في خلية المطر، أي عندما تكون $d_1 \leq d_c/2$. في هذه الحالة، سيكون المسير بأكمله حتى ارتفاع المطر في خلية المطر ويتعرض بالتالي إلى التوهين.

ويُحدد طول المسير x_1 بالنسبة إلى التوهين بالمطر على طول المسير في اتجاه المحطة 1 من:

$$(118) \quad x_1 = \begin{cases} r_{A1} - r_{x1} & \text{if } d_1 > \frac{d_c}{2} \\ r_{A1} & \text{if } d_1 \leq \frac{d_c}{2} \end{cases} \quad \text{km}$$

ويحدد طول المسير x_2 بالنسبة إلى التوهين بالمطر على طول المسير في اتجاه المحطة 2 من:

$$(119) \quad x_2 = \begin{cases} r_{A2} - r_{x2} & \text{if } d_2 > \frac{d_c}{2} \\ r_{A2} & \text{if } d_2 \leq \frac{d_c}{2} \end{cases} \quad \text{km}$$

وهكذا، يمكن أن يحدد التوهين في خلية المطر في الحالة التي يكون فيها عنصر التكامل فوق ارتفاع المطر خطياً من:

$$(120) \quad A_b = \exp[-k(\gamma_{R1}x_1 + \gamma_{R2}x_2)] \quad \text{if } h \leq h_R$$

حيث تمثل $k = 0,23026$ قيمة ثابتة لتحويل التوهين من وحدة dB إلى وحدات نيبير (Nepers)

الحجم الأوسط والحجم العلوي

يكون عنصر التكامل في هذين الحجمين فوق ارتفاع المطر، h_R ، لكن قد تمر بعض أجزاء المسير في اتجاه كل محطة عبر خلية المطر دون الارتفاع h_R . وهذا لا يحدث إلا في الحالة التي تكون فيها زاويتا الارتفاع $\epsilon_{A1,2}$ لعنصر التكامل A أصغر من الزاويتين $\epsilon_{C1,2}$ الواقعتين بين ناظم كل محطة وأقرب حافة عليا من خلية المطر، أي إذا كان:

$$\epsilon_{A2} < \epsilon_{C2} = \arctan\left(\frac{h_R - h_2}{d_{x2}}\right) \quad \text{و} \quad \epsilon_{A1} < \epsilon_{C1} = \arctan\left(\frac{h_R}{d_{x1}}\right)$$

وفي هذه الحالة يجب أن يؤخذ في الاعتبار التوهين الناتج. ويكون هذا الأمر صحيحاً بصفة خاصة بالنسبة إلى الحالة 2 الواردة أعلاه عندما تكون زاوية ارتفاع أحد الهوائيين مرتفعة جداً وعندما تكون المحطة في خلية المطر.

واستناداً إلى الشكل 9 يمكن أن نحدد الارتفاعات التي تمر عندها الأشعة من عنصر التكامل إلى النقطة A عبر حواف خلية المطر، وذلك من نسب المسافات الأفقية بين كل محطة وحافة خلية المطر وبين كل محطة والنقطة B:

$$(121) \quad h_{e1} = h \cdot \frac{d_{x1}}{d_{B1}} \quad \text{km}$$

$$h_{e2} = (h - h_2) \cdot \frac{d_{x2}}{d_{B2}} + h_2$$

ويمكن تحديد أجزاء طول المسيرات $f_{x1,2}$ التي تمر عبر خلية المطر من النسب:

$$(122) \quad f_{x1,2} = \begin{cases} x_{1,2} \left(\frac{h_R - h_{e1,2}}{h - h_{e1,2}} \right) & \text{if } h > h_R > h_{e1,2} \quad \text{and} \quad \epsilon_{A1,2} < \epsilon_{C1,2} \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \quad \text{km}$$

وأخيراً يُحسب التوهين خطياً في الحالات التي يكون فيها عنصر التكامل فوق ارتفاع المطر، h_R :

$$(123) \quad A = \exp[-k\{6.5(h-h_R) + \gamma_{R1}f_{x1} + \gamma_{R2}f_{x2}\}] \quad \text{for } h \geq h_R$$

وتسمح هذه الخطوة بتحديد مكامل لدالة نقل الانتشار.

الخطوة 6: التوهين خارج خلية المطر

يقصر المطر في الصيغة المستعملة هنا على خلية قطرها d_c كما حددتها هندسة الخطوة 2 ويعتبر معدل هطول المطر منتظماً داخل هذه الخلية. وعموماً يتجاوز المطر هذه المنطقة ويتضاءل من حيث الشدة كلما ازدادت المسافة من وسط الخلية ويتعين أن يؤخذ ذلك في الاعتبار. ولكن إذا كانت المحطة داخل خلية المطر، عندئذ لا داعي لأن يؤخذ في الاعتبار أي توهين خارجي بسبب المطر بالنسبة إلى هذه المحطة. وعلاوة على ذلك، إذا كان عنصر التكامل بعيداً بشكل كافٍ فوق ارتفاع المطر بحيث لا يمكن لأي جزء من المسير في اتجاه هذه المحطة أو تلك أن يمر عبر خلية المطر، عندئذ لا يؤخذ في الحسبان أي توهين خارجي على طول هذا المسير.

وعلى سبيل التقريب، نفترض أن المطر في خارج خلية المطر يتضاءل بتزايد المسافة كما يلي:

$$(124) \quad r_m = 600R^{-0.5}10^{-(R+1)^{0.19}} \quad \text{km}$$

ويُحسب التوهين خارج خلية المطر، بالنسبة إلى الانتشار دون ارتفاع المطر، كما يلي:

$$(125) \quad A_{ext1,2} = \begin{cases} \frac{\gamma_{R1,2}r_m}{\cos \epsilon_{A1,2}} \left[1 - \exp\left(-\frac{d_{x1,2}}{r_m}\right) \right] & \text{if } d_{1,2} > \frac{d_c}{2} \text{ and } f_{x1,2} \neq 0 \\ 0 & \text{if } d_{1,2} \leq \frac{d_c}{2} \text{ or } f_{x1,2} = 0 \end{cases} \quad \text{dB}$$

أي أن التوهين على أي من المسيرين يعتبر صفرًا إذا كانت المحطة المعنية في خلية المطر ($d_{1,2} \leq d_c/2$) أو إذا كان عنصر التكامل فوق خلية المطر ولا يمر أي جزء من المسير عبر خلية المطر، وهو ما يتحدد إذا كان جزء المسير $f_{x1,2}$ يساوي صفرًا أم لا.

الخطوة 7: التكامل العددي لدالة نقل الانتشار

ينقسم التكامل إلى قسمين، يتعلق الأول بالانتشار دون ارتفاع المطر ويتعلق الثاني بالانتشار فوق ارتفاع المطر:

$$(126) \quad C_b = \int_{h_{\min}}^{h_R} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{d_c}{2}} \frac{G_1 G_2}{r_{A1}^2 r_{A2}^2} \exp[-k(\gamma_{R1}x_1 + \gamma_{R2}x_2 + A_{ext1} + A_{ext2})] \cdot r dr d\phi dh$$

$$(127) \quad C_a = \int_{h_R}^{h_{\text{top}}} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{d_c}{2}} \frac{G_1 G_2}{r_{A1}^2 r_{A2}^2} \exp[-k(6.5(h-h_R) + \gamma_{R1}f_{x1} + \gamma_{R2}f_{x2} + A_{ext1} + A_{ext2})] \cdot r dr d\phi dh$$

حيث يعبر عن كسب الهوائي خطياً، بحسب زوايا الانحراف عن محور التسديد $\theta_{b1,2}(r, \phi, h)$.

وتجري عملية التكامل، في الإحداثيات الأسطوانية، على مدى القيم التالية: بالنسبة إلى r من 0 إلى نصف قطر خلية المطر $d_c/2$ وبالنسبة إلى ϕ من 0 إلى 2π . ويمكن وضع بعض القيود على المتغير الثالث للتكامل h وهو الارتفاع داخل خلية المطر. ويتحدد الارتفاع الأدنى h_{\min} تبعاً لإمكانية رؤية خلية المطر من كل محطة. وإذا وجد عائق على مقربة من هذه المحطة أو تلك عندئذ ينبغي استبعاد الانتشار من الارتفاعات داخل خلية المطر غير المرئية من هذه المحطة أو تلك من عملية التكامل. ويمكن بالتالي تحديد الارتفاع الأدنى للتكامل من زوايا الأفق لكل محطة، على نحو ما يلي:

$$(128) \quad h_{\min} = \max(d_{x1} \tan \epsilon_{H1}, d_{x2} \tan \epsilon_{H2}) \quad \text{km}$$

ويلاحظ أننا نستعمل هنا قيمةً محليةً نظراً إلى أن أي حجب متأصل بحكم انحناء الأرض عند زاوية ارتفاع قيمتها صفر قد سبق أن أخذت في الاعتبار عند تحديد زوايا الانحراف عن محور التسديد.

ويمكن تحديد الارتفاع الأقصى للتكامل، h_{top} ، للتقليل إلى أقصى حد من قيود الحساب نظراً إلى أنه ليس من الضروري عموماً إدماج الجزء الفعال للانتشار عند الارتفاعات التي تقل فوقها سويات الفصوص الجانبية للهوائي. ونفترض، بالتعيب، أن الارتفاع الذي يمكن فوقه وقف التكامل بدون خسارة من حيث الدقة هو 15 km.

التكامل الرقمي: هنالك العديد من طرق التكامل الرقمي وتحتوي العديد من البرمجيات الرياضية على دوال تكامل متصلة يمكن استعمالها استعمالاً فعالاً. وقد برهنت الطرق التي تستند إلى تقنيات التكرار بواسطة التنصيف المتعاقب لفواصل التكامل عن جدواها عندما يرغب المستعمل في تطوير مجموعة من البرمجيات المتخصصة بواسطة لغات برمجية أخرى. وتنسب هذه الطريقة إلى رومبرغ (Romberg) وهي تمثل متغيراً من رتبة أعلى للطريقة المرجعية لأشباه المنحرف (قاعدة سمسون)، للتكامل بواسطة التنصيف المتعاقب لفواصل التكامل.

وتستعمل طريقة رومبرغ للتكامل توليفة تتألف من طريقتين عدديتين لحساب قيمة تقريبية لتكامل حقيقي، أي:

$$I = \int_a^b y(x) dx$$

وتُستعمل طريقة أشباه المنحرف الموسعة لحساب متتالية من تقريبات التكامل، ويتم في كل مرة تنصيف الفواصل بين القيمتين. ونستعمل بعد ذلك استكمالاً خارجياً حدودياً لحساب المتتالية إلى أن يبلغ طول الفاصل صفراً. ويمكن تلخيص هذه الطريقة باستخدام عروة في شبه شفرة:

Index = 1

WHILE estimated_error > desired_error DO

S(Index) = تقريب بواسطة طريقة شبه المنحرف التي تستعمل فواصل الدليل الثاني

I = استكمال خارجي حدودي لقيمة *S*

Index = *Index* + 1

ENDWHILE

طريقة شبه المنحرف الموسعة

يمكن حساب تقريب التكامل بواسطة استكمال خطي بين $N + 1$ من الإحداثيات السينية متساوية التباعد (x_i, y_i) على النحو التالي:

$$I \approx T^N = h(N) \left(\frac{1}{2} y_0 + y_1 \cdots y_{N-1} + \frac{1}{2} y_N \right)$$

حيث $h(N) = \frac{b-a}{N}$ هي الفاصل بين الإحداثيات السينية.

ويمكن أن يضاعف عدد الفواصل بالتكرار:

$$T^{2N} = \frac{1}{2} T^N + h(2N) (y_1 + y_3 \cdots y_{N-3} + y_{N-1})$$

وتمكّن طريقة رومبرغ من بناء متتالية خلال التكرار $S(i) = T^{2^i}$.

الاستكمال الخارجي الحدودي: يكون الخطأ في التقريب على القيمة I في طريقة شبه المنحرف في الفاصل حدودياً h^2 ، أي:

$$I = T^N + \varepsilon^N$$

حيث:

$$\varepsilon^N \cong P(h^2(N))$$

و P حدودية مجهولة.

وتعتبر كذلك متتالية التقريبات بطريقة شبه المنحرف، $T^N = \varepsilon^N$ حدودية أيضاً عند h^2 وبالتالي يمكن استعمال استكمال حدودي لتقدير الفاصل عندما تكون $h \rightarrow 0$. وإذا توفرت m من التقريبات بطريقة شبه المنحرف، يمكن لنا أن نقوم بتمرير حدودية واحدة لا أكثر من الدرجة $M-1$ بواسطة النقاط $(h^2(n), T^n)$ بالنسبة إلى $n=1, 2, 4, 8, \dots, 2^{M-1}$. ويعبر تقييم هذه الحدودية الفريدة في شكل $h=0$ عن تقريب لحدود طريقة شبه المنحرف.

وتستعمل عادة طريقة نيفيل (Neville) لحساب قيمة الحدودية عند $h=0$. وهذه الطريقة فعالة تمكّن من الحصول على تقدير للخطأ يمكن استعماله لإنهاء تكامل رومبرغ. وهي تقريب بواسطة الاستكمالات الداخلية الخطية المتتابعة لحدودية الاستكمال الداخلي للاغرانج من درجة أعلى. ويمكن أن توصف طريقة لاغرانج كما يلي: بالنسبة إلى $M+1$ من النقاط (x_i, y_i) ، تعرف حدودية من درجة m بوصفها توليفة خطية تتألف من الدوال الأساسية:

$$P(x) \cong \sum_{i=0}^n y_i L_i(x_i) \cong \sum_{i=0}^n y_i \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^n \frac{(x-x_k)}{(x_i-x_k)}$$

أي

$$L_i(x) = \frac{(x-x_0) \dots (x-x_{i-1})(x-x_{i+1}) \dots (x-x_n)}{(x_i-x_0) \dots (x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1}) \dots (x_i-x_n)}$$

وينبغي في طريقة الاستكمال الداخلي هذه معرفة كل المحاور y_i حتى يتسنى إيجاد تقدير لحل $x=0$ ، أما بالنسبة إلى المشكلات المعقدة فإن هذه الطريقة غير فعالة نظراً لأنها لا تستغل الاستكمالات الداخلية السابقة المتعلقة بالتكرار نحو رتب أعلى. وطريقة نيفيل عملية تكرارية تستند إلى العلاقة بين تقريب حدودية ما والتقريبات السابقة لهذه الحدودية. وهكذا، هنالك حدودية فريدة تبلغ درجتها 0 بالنسبة إلى نقطتين (x_k, y_k) أي خط مستقيم يمر بين هاتين النقطتين $P_k = y_k$. ونجري تكراراً ثانياً يتم فيه تمرير الحدودية بواسطة زوجين من النقاط يعطيان بواسطة P_{12}, P_{23}, \dots ، ونكرر هذا الإجراء عدة مرات للحصول على بناء هرمي من التقريبات:

$$\begin{array}{cccc} P_1 & & & \\ & P_{12} & & \\ P_2 & & P_{123} & \\ & P_{23} & & P_{1234} \\ P_3 & & P_{234} & \\ & P_{34} & & \\ P_4 & & & \end{array}$$

ويمكن تمثيل النتيجة النهائية كما يلي:

$$P_{i(i+1) \dots (i+m)} = \frac{(x-x_{i+m})P_{i(i+1) \dots (i+m-1)} + (x_i-x)P_{(i+1)(i+2) \dots (i+m)}}{x_i - x_{i+m}}$$

وهكذا، فإن طريقة نيفل عملية تكرارية تسمح ببناء الهرم، عموداً تلو الآخر، بصورة حسابية فعالة.

وعملياً يصبح الاستكمال الخارجي الحدودي غير مستقر عندما تمر الحدودية بعدد كبير من النقاط ولذلك نستعمل عادة في تكامل رومبرغ استكمالاً خارجياً حدودياً من الدرجة الرابعة يقابل التقريبات الخمسة الأخيرة بطريقة شبه المنحرف.

وفي طرق التكامل العددي مثل تلك التي تستعمل تقنيات تصنيف فاصل التكامل، تستمر عمليات التكرار حتى الحصول على معيار معين من الدقة. وينتهي التكرار عندما يصبح الفرق بين عمليات التكرار المتعاقبة أصغر من جزء معرف مسبقاً من النتيجة السابقة. وعموماً يكون هذا الجزء بين 10^{-3} و 10^{-6} ، وتكون القيمة الأخيرة قريبة من قدرات وحدات المعالجة بمعدل 32 بتة. وينبغي توخي الحذر عند استعمال قيم أكبر من هذا المدى نظراً إلى إمكانية ارتفاع أخطاء القيم المحسوبة لخسارة التوهين. وعموماً تعتبر القيمة 10^{-4} حلاً وسطاً بين الدقة وسرعة الحساب.

ويحتاج الأمر إلى ثلاث عمليات تكامل عددية متداخلة لإجراء تكامل حتمي ثلاثي الأبعاد على خلية المطر، في إحداثيات أسطوانية، ويحدث التكامل الخارجي على معلمة الارتفاع h ، مثلاً. كما يحدث التكامل على معلمة السم ϕ بالنسبة إلى قيمة h ، وعلى معلمة نصف القطر r فيما يتعلق بقيم حدودية (ϕ, h) .

وجدير بالملاحظة أنه يتعين، عموماً إجراء عدة عمليات تكرارية لدالة نقل الانتثار للحصول على الدقة المنشودة، ولا سيما في الحالات التي يكون فيها كسب الهوائي مرتفعاً وعندما يتراوح تغير ناتج كسب الهوائي بين 60 dB أو أكثر على طول قطر خلية المطر. وقد يستغرق الحساب بالتالي عشرات الدقائق، بل بضع ساعات في الحالات القصوى، حتى باستخدام وحدات معالجة سريعة جداً.

ولدى مكتب الاتصالات الراديوية نسخة برمجية من هذه الطريقة مكتوبة بلغة Fortran، وتستند إلى طريقة رومبرغ ونسخة مكتوبة بلغة Mathcad تنطوي على وظائف تكامل متأصلة.

الخطوة 8: تحديد عوامل أخرى للخسارة

يُحسب الانحراف بالنسبة إلى انتشار رايلي (Rayleigh) باستعمال المعادلة (58) على أساس زاوية انتشار ϕ_s تُعطىها المعادلة (73).

يُحسب التوهين على طول المسيرات الناجم عن الامتصاص بواسطة الغازات الجوية (الملحق 2 من التوصية ITU-R P.676) بالنسبة إلى معاملي التوهين γ_0 و γ_w والارتفاعات المكافئة h_0 و h_w ، بالنسبة إلى الهواء الجاف وبخار الماء على التوالي. ويُحدد التوهين بواسطة العبارات التالية فيما يتعلق بتوهين المسير بين ارتفاعين فوق مستوى سطح البحر، وتحدد القيمة الأعلى بارتفاع نقطة شبه التقاطع بين محوري الحزمتين الرئيسيتين للهوائيين. وتعتبر هذه الطريقة عملية تقريبية نظراً إلى أن التوهين الفعلي بواسطة الغازات يتغير بالنسبة إلى كل عنصر انتشار في حجم الانتثار. ولكن نظراً إلى أن التوهين بواسطة الغازات يمثل عادة نصيباً ضئيلاً من خسارة الإرسال الإجمالية وأنه لا يتغير إلا قليلاً بالمقارنة مع الارتفاع الذي يميز بعض المعالم الأخرى مثل معدلات هطول المطر وارتفاعات المطر أو هندسة خلية المطر ذاتها، فإن هذا التبسيط يعتبر مبرراً. وتسمح الطريقة التالية بتقديرات التوهين بالغازات بدقة مقبولة بالنسبة إلى الإجراء الإجمالي.

وتُعطى الارتفاعات الأدنى بالنسبة إلى كل محطة بواسطة القيم المحلية $h_{2_loc} = h_{1_loc}$ ويمثل الارتفاع الأعلى h_p ارتفاع نقطة شبه التقاطع، مع مراعاة انحناء الأرض، أي القيمة المحلية التي يتم الحصول عليها من:

$$h_p = h_0 + \sqrt{d_1^2 + r_{eff}^2} - r_{eff} + h_c \quad \text{km} \quad (129)$$

وبالنسبة إلى زوايا الارتفاع التي تتراوح بين 5° و 90°، يتحدد التوهين بين ارتفاعين على أساس الفرق بين مجموع التوهين على المسير المائل في كل ارتفاع.

$$(130) \quad A_{o_i} = \frac{\gamma_o h_o - \gamma_o h_o \left[\exp\left(-\frac{h_{i_loc}}{h_o}\right) - \exp\left(-\frac{h_p}{h_o}\right) \right]}{\sin \epsilon_{i_loc}} \quad \text{dB}$$

$$(131) \quad A_{w_i} = \frac{\gamma_w h_o - \gamma_w h_o \left[\exp\left(-\frac{h_{i_loc}}{h_w}\right) - \exp\left(-\frac{h_p}{h_w}\right) \right]}{\sin \epsilon_{i_loc}} \quad \text{dB}$$

حيث يشير الدليل i على كل من المحطتين و ϵ_{i_loc} زاوية الارتفاع المحلي لكل هوائي.

وتكون كثافة بخار الماء ρ المستعملة لتحديد معامل التوهين γ_w هي القيمة الافتراضية عند مستوى سطح البحر المحسوبة من القيمة عند مستوى الأرض بالنسبة إلى المحطات (ويمكن أن نفترض أن تكون هذه القيمة هي ذاتها):

$$(132) \quad \rho = \rho_g \exp\left(\frac{h_{i_loc}}{2}\right) \quad \text{g/m}^3$$

وفيما يتعلق بزوايا ارتفاع تتراوح بين 0° و 5°، ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار آثار الانكسار. وتُحدد زوايا الارتفاع بالنسبة إلى المسير الأعلى من:

$$(133) \quad \epsilon'_i = \arccos\left(\frac{h_1 + r_{eff}}{h_p + r_{eff}} \cos \epsilon_{i_loc}\right)$$

وهكذا تقدر خسارة المسير على النحو التالي.

بالنسبة إلى التوهين الناتج عن الهواء الجاف:

$$(134) \quad A_{o_i} = \gamma_o \sqrt{h_o} \left[\frac{\sqrt{h_{i_loc} + r_{eff}} \cdot F\left(\tan \epsilon_i \sqrt{\frac{h_{i_loc} + r_{eff}}{h_o}}\right) \exp\left(-\frac{h_{i_loc}}{h_o}\right)}{\cos \epsilon_{i_loc}} \right. \\ \left. \frac{\sqrt{h_p + r_{eff}} \cdot F\left(\tan \epsilon'_i \sqrt{\frac{h_p + r_{eff}}{h_o}}\right) \exp\left(-\frac{h_p}{h_o}\right)}{\cos \epsilon'_i} \right] \quad \text{dB}$$

وبالنسبة إلى التوهين الناتج عن بخار الماء:

$$(135) \quad A_{w_i} = \gamma_w \sqrt{h_w} \left[\frac{\sqrt{h_{i_loc} + r_{eff}} \cdot F\left(\tan \epsilon_i \sqrt{\frac{h_{i_loc} + r_{eff}}{h_w}}\right) \exp\left(-\frac{h_{i_loc}}{h_w}\right)}{\cos \epsilon_{i_loc}} \right. \\ \left. \frac{\sqrt{h_p + r_{eff}} \cdot F\left(\tan \epsilon'_i \sqrt{\frac{h_p + r_{eff}}{h_w}}\right) \exp\left(-\frac{h_p}{h_w}\right)}{\cos \epsilon'_i} \right] \quad \text{dB}$$

حيث تعرف الدالة F بواسطة:

$$(136) \quad F(x) = \frac{1}{0.661x + 0.339\sqrt{x^2 + 5.51}}$$

ويراعى كذلك أي قدر من عدم مواءمة الاستقطاب M قد يعتبر ملائماً.

الخطوة 9: تحديد التوزيع التراكمي لخسارة الإرسال

تُحسب قيم خسارة الإرسال بالنسبة إلى كل زوج من قيم معدل هطول المطر وارتفاع المطر، وفقاً للخطوات من 5 إلى 8، باستعمال العبارة التالية:

$$(137) \quad L = 208 - 20 \log f - 10 \log Z_R - 10 \log (C_b + C_a) + 10 \log S + A_g - M \quad \text{dB}$$

وبعد تقييم جميع التوليفات الممكنة لمعدل هطول المطر وارتفاع المطر تدور قيم خسارة الإرسال الناتجة (dB) إلى أقرب عدد صحيح كامل (dB) أعلى (باستعمال دالة السقف مثلاً) وتُجمع الاحتمالات كافة التوليفات (في شكل نسبة مئوية) التي تؤدي إلى نفس الخسارة وذلك لحساب الاحتمال الإجمالي لكل سوية من سويات خسائر الإرسال. ثم تُحول دالة كثافة الاحتمال الناتجة إلى توزيع تراكمي لخسارة الإرسال المقابلة من خلال جمع النسب المئوية المتعلقة بقيم توهين متزايدة.

التذييل 1

للملحق 1

معطيات الأرصاد الجوية الراديوية اللازمة لإجراء التنبؤ في الجو الصافي

1 مقدمة

يستند إجراء التنبؤ في الجو الصافي إلى معطيات الأرصاد الجوية الراديوية من أجل تحديد التغير بحكم الموقع. وتقدم هذه المعطيات على شكل خرائط واردة في هذا التذييل.

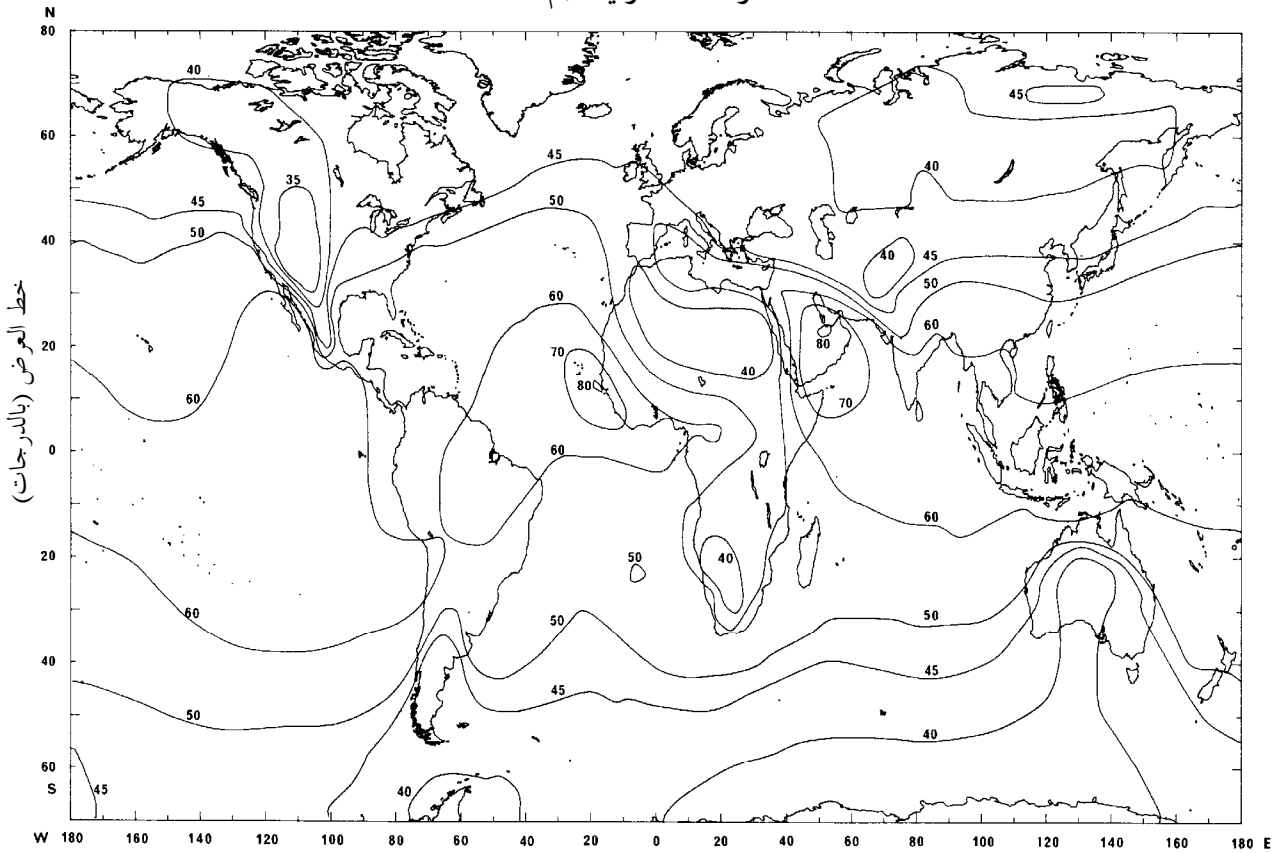
2 خرائط التغير الرأسي لمعطيات الانكسار الراديوي

تكون خصائص معطيات الأرصاد الجوية للمسير في الجو الصافي، في الإجراء العام، وبالنسبة إلى آليات التداخل المستمرة (طويلة الأجل) هي القيمة المتوسطة السنوية ΔN (معدل تفاوت دليل الانكسار على الكيلومتر الأول من الجو) وبالنسبة إلى آليات التداخل الشاذ (قصير الأجل) هي النسبة المئوية من الوقت $\beta_0\%$ التي يكون فيها تدرج دليل الانكسار في الجو المنخفض

أقل من $(-100 \text{ N-units/km})$. وتشكل هاتان المعلمتان قاعدة معقولة لبناء نموذج آليات الانتشار في الجو الصافي الموصوفة في الفقرة 2 من الملحق 1. وتتوفر في هذا التذييل معطيات لبعض هذه الكميات من أجل حساب التنبؤات السنوية وتنبؤات الشهر الأسوأ:

- يبين الشكل 11 معطيات ΔN للمتوسط السنوي؛
- يبين الشكل 12 الألفة المصاحبة "لأقصى متوسط شهري" من ΔN ؛

الشكل 11

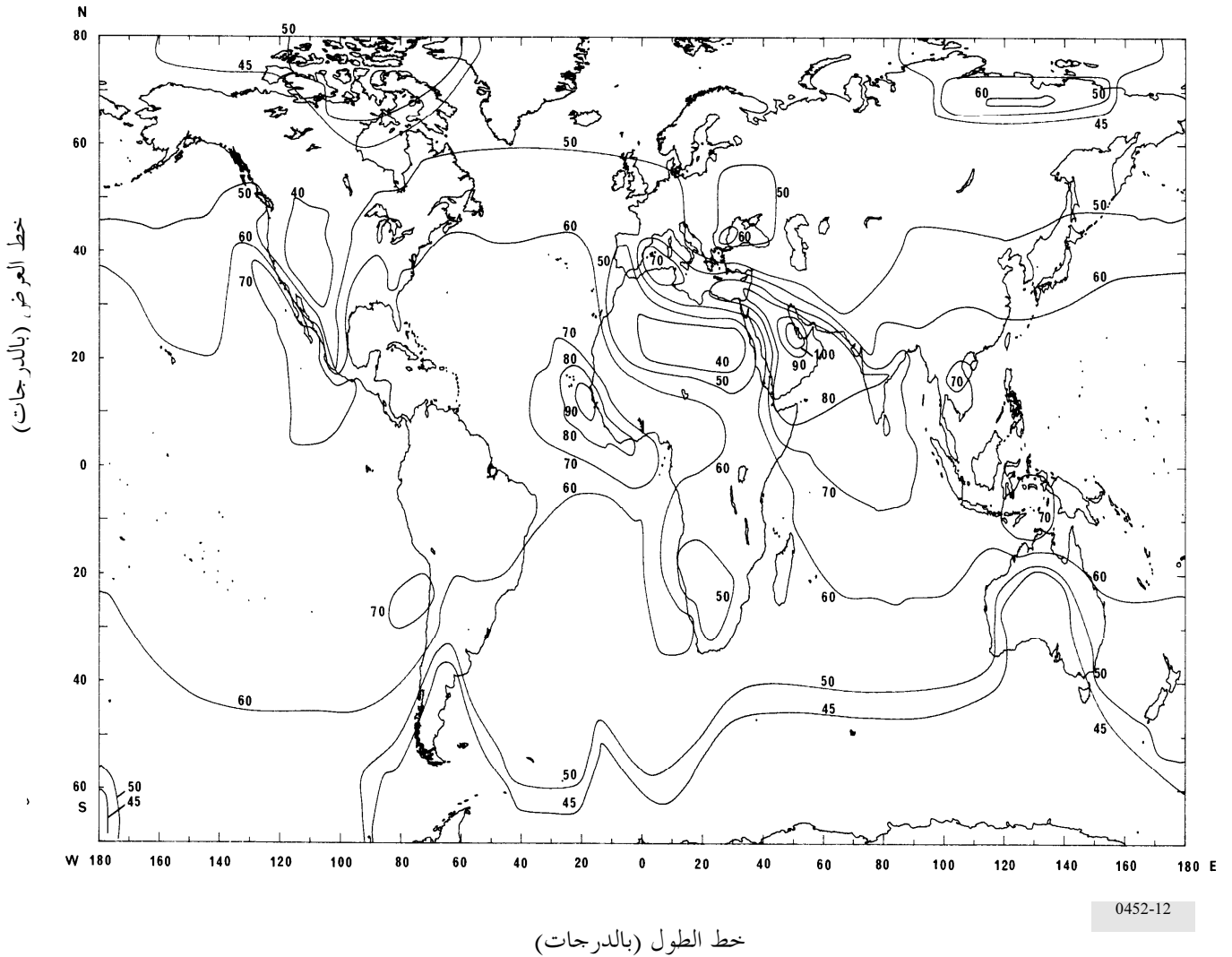
المتوسط السنوي لقيم ΔN 

خط الطول (بالدرجات)

0452-11

الشكل 12

أقصى متوسط شهري لقيم ΔN (من أجل التنبؤ بالشهر الأسوأ)



3 خريطة انكسارية سطح الأرض، N_0

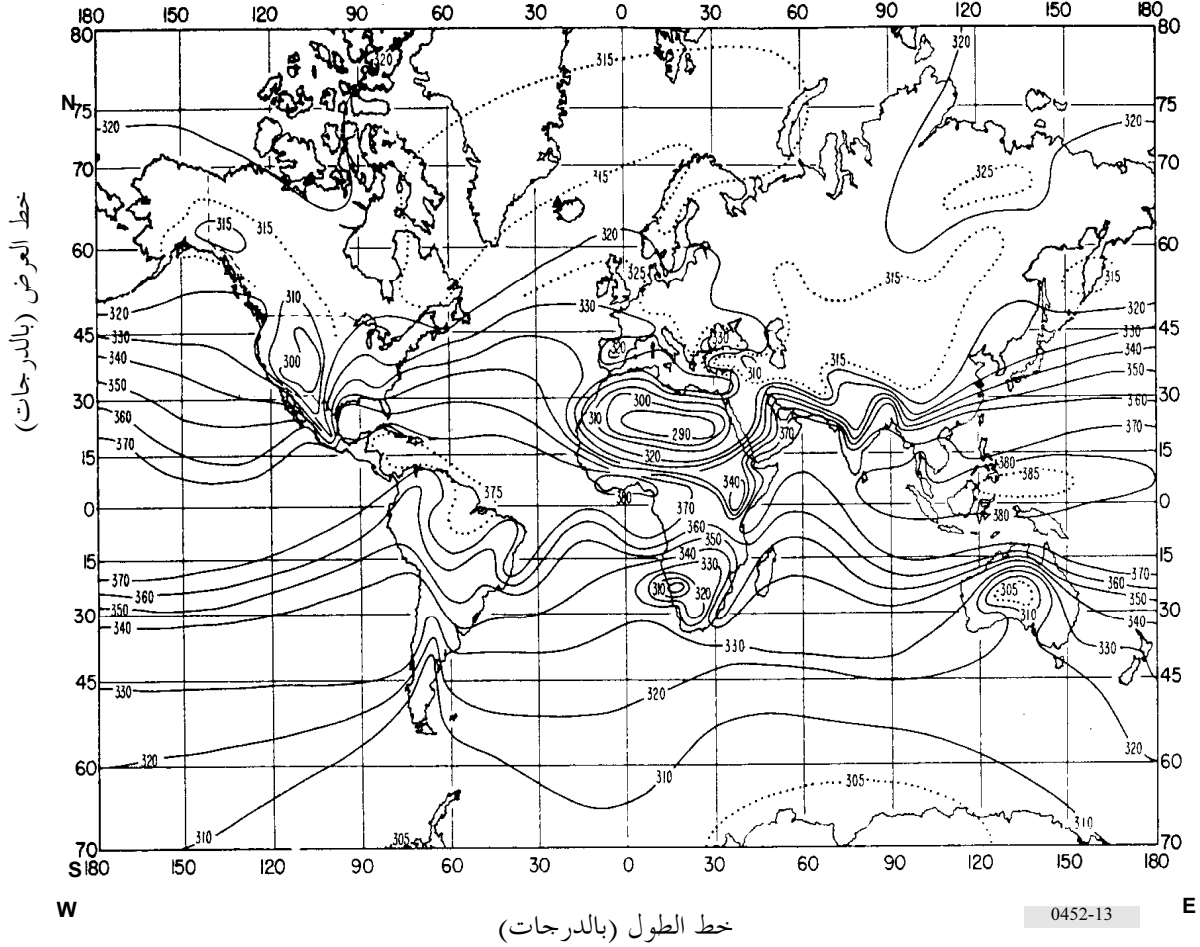
يمثل الشكل 13 خريطة متوسط الانكسارية للسطح عند مستوى البحر، N_0 ، لاستخدامها في نموذج الانتشار التروبوسفيري.

4 تنفيذ الخرائط في شكل قواعد معطيات حاسوبية

يستحسن من أجل تنفيذ الإجراءات على الحاسوب أن تسجل هذه الخرائط في شكل رقمي وأن تحوّل إلى قواعد معطيات بسيطة يمكن النفاذ إليها بواسطة البرمجيات.

ويقترح بالنسبة إلى خرائط دليل الانكسار العالمية أن تحوّل الأكفة إلى صفائف ثنائية الأبعاد من $0,5 \times 0,5^\circ$ في خط العرض وخط الطول. وتجنباً لأي انقطاع في التنبؤ عند تغيرات صغيرة في الموقع أو المسافة يتعين أن تستخلص القيم لكل خلية من الصفيف بواسطة الاستكمال الداخلي بين الأكفة.

الشكل 13

انكسارية لسطح في مستوى البحر، N_0 

التذييل 2

للملحق 1

تحليل المظهر الجانبي للمسير

1 مقدمة

يتطلب تحليل المظهر الجانبي للمسير توفير مظهر جانبي لارتفاعات التضاريس الأرضية على طول المسير فوق مستوى البحر. ويقدم الجدول 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من تحليل المظهر الجانبي للمسير من أجل أهداف نماذج الانتشار.

2 رسم المظهر الجانبي للمسير

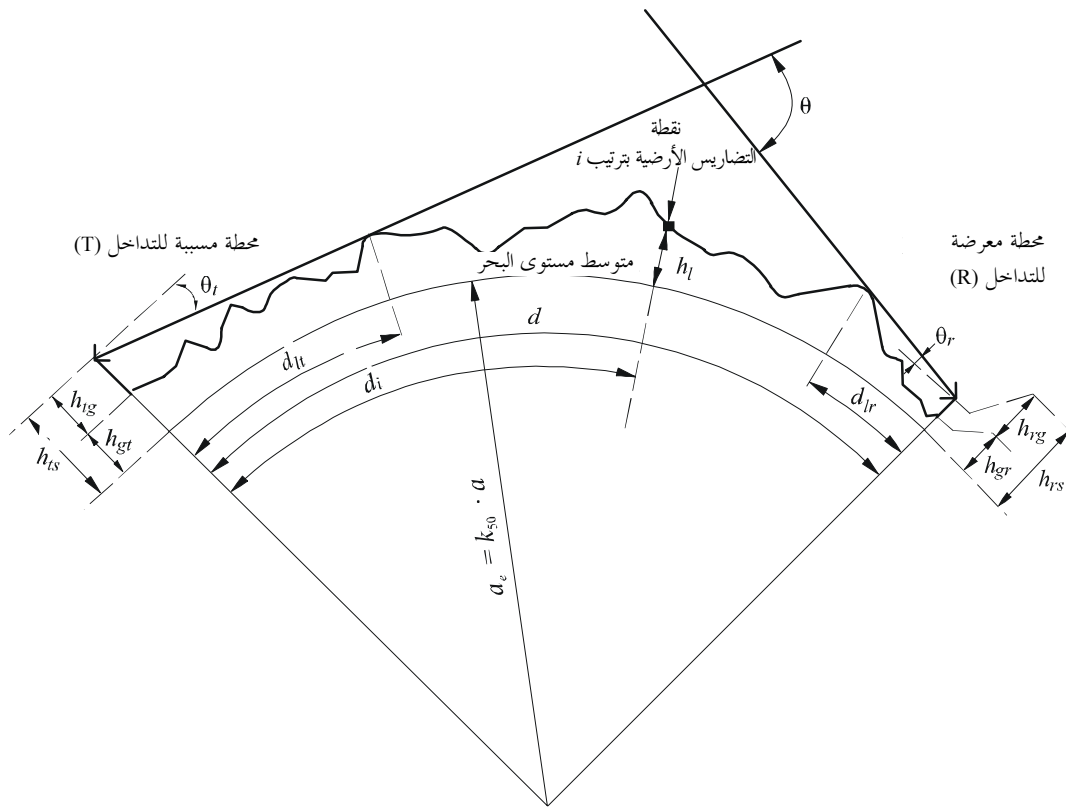
استناداً إلى الإحداثيات الجغرافية للمحطة المسببة للتداخل (ψ_r, ϕ_r) والمحطة المعرضة للتداخل (ψ_e, ϕ_e) ، يجب أن تشتق ارتفاعات التضاريس الأرضية (فوق متوسط مستوى البحر) على طول مسير الدائرة العظمى من قاعدة معطيات طوبوغرافية أو من خرائط مناسبة واسعة النطاق للأكفة. وينبغي أن تلتقط المسافة ما بين نقاط المظهر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

ورغم أنه من المفضل استعمال نقاط مظهر جانبي منتظمة التباعد، فمن الممكن استعمال هذه الطريقة مع نقاط مظهر جانبي غير منتظمة التباعد وقد يكون ذلك مفيداً عندما يستخلص المظهر الجانبي من خريطة رقمية ترتبط أكتفها بارتفاعات التضاريس الأرضية. إلا أنه ينبغي الإشارة إلى أن التوصية قد أعدت استناداً إلى اختبارات تستعمل نقاط مظهر جانبي منتظمة التباعد ولا تتوفر أي معلومات عن تأثير النقاط منتظمة التباعد على الدقة.

وتعتبر، لأغراض هذه التوصية، نقطة المظهر الجانبي للمسير المقابلة للمحطة المسببة للتداخل النقطة صفر، بينما تعتبر النقطة المقابلة للمحطة المعرضة للتداخل النقطة n . وبهذا يتشكل المظهر الجانبي للمسير من $n + 1$ نقطة. ويعطي الشكل 14 مثلاً للمظهر الجانبي للمسير عبر ارتفاعات التضاريس الأرضية فوق متوسط مستوى البحر مبيناً الملامح المختلفة المتعلقة بالتضاريس الأرضية المعنية.

الشكل 14

مثال للمظهر الجانبي لمسير (عبر الأفق)



الملاحظة 1 - تكون قيمة θ_i كما هي مرسومة قيمة سالبة.

0452-14

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

الجدول 7

تعريف معلمات المظهر الجانبي للمسير

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

3 طول المسير

يمكن استخلاص طول المسير باستعمال هندسة الدائرة العظمى من الإحداثيات الجغرافية للمحطة المسببة للتداخل (ψ_r, ϕ_r) والمحطة المعرضة للتداخل (ψ_t, ϕ_t). و كبدليل لذلك يمكن استخلاص طول المسير من المظهر الجانبي للمسير. ويمكن بصفة عامة استخلاص طول المسير d (km) من معطيات المظهر الجانبي للمسير:

$$(138) \quad d = \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1}) \quad \text{km}$$

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

$$(139) \quad d = n \cdot d_{ii} \quad \text{km}$$

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

4 تصنيف المسيرات

يجب ألا يصنف المسير تبعاً لخط البصر أو عبر الأفق إلا لأغراض تحديد المسافتين d_{lr} و d_{lt} وزاويتي الارتفاع θ_r و θ_t ، انظر أعلاه.

يجب أن يستعمل المظهر الجانبي للمسير لتحديد المسير في خط البصر أو عبر الأفق استناداً إلى نصف قطر الأرض الفعال a_e كما في المعادلة (6a).

يكون المسير عبر الأفق إذا كانت زاوية ارتفاع الأفق المادي مرئية من الهوائي المسبب للتداخل (بالنسبة إلى خط الأفق المحلي) أكبر من الزاوية المرئية من الهوائي المعرض للتداخل (أيضاً بالنسبة إلى خط الأفق المحلي لمسبب التداخل).

ويكون الاختبار الخاص بشروط المسير عبر الأفق على النحو التالي:

$$(140) \quad \theta_{max} > \theta_{td} \quad \text{mrad}$$

حيث:

$$(141) \quad \theta_{max} = \max_{i=1}^{n-1} (\theta_i) \quad \text{mrad}$$

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

$$(142) \quad \theta_i = \frac{h_i - h_{ts}}{d_i} - \frac{10^3 d_i}{2 a_e} \quad \text{mrad}$$

حيث:

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

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

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

$$(143) \quad \theta_{td} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} - \frac{10^3 d}{2 a_e} \quad \text{mrad}$$

حيث:

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

d : المسافة الكلية لمسير الدائرة العظمى (km)

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

5 اشتقاق المعلمات من المظهر الجانبي للمسير

1.5 المسيرات عبر الأفق

يعرض الجدول 7 المعلمات الواجب اشتقاقها من المظهر الجانبي للمسير.

1.1.5 زاوية ارتفاع الأفق هوائي المحطة المسببة للتداخل، θ_t

زاوية ارتفاع الأفق هوائي المحطة المسببة للتداخل هي أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي عندما تطبق المعادلة (141) على ارتفاعات المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية $n - 1$.

$$(144) \quad \theta_t = \theta_{max} \quad \text{mrad}$$

وتكون θ_{max} كما هي محددة في المعادلة (141).

2.1.5 مسافة أفق الهوائي المسبب للتداخل، d_{lt}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المرسل حيث تحسب أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي وفقاً للمعادلة (141).

$$(145) \quad d_{lt} = d_i \quad \text{km} \quad \text{for max } (\theta_i)$$

3.1.5 زاوية ارتفاع أفق الهوائي المعرض للتداخل، θ_r

زاوية ارتفاع أفق هوائي الاستقبال هي أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي عندما تطبق المعادلة (141) على ارتفاعات المظهر الجانبي للتضاريس الأرضية $n - 1$.

$$(146) \quad \theta_r = \max_{j=1}^{n-1} (\theta_j) \quad \text{mrad}$$

$$(147) \quad \theta_j = \frac{h_j - h_{rs}}{d - d_j} - \frac{10^3 (d - d_j)}{2 a_e} \quad \text{mrad}$$

4.1.5 مسافة أفق الهوائي المعرض للتداخل، d_{lr}

مسافة الأفق هي أدنى مسافة من المستقبل حيث تحسب أقصى زاوية لارتفاع أفق الهوائي وفقاً للمعادلة (141).

$$(148) \quad d_{lr} = d - d_j \quad \text{km} \quad \text{for max } (\theta_j)$$

5.1.5 المسافة الزاوية θ (mrad)

$$(149) \quad \theta = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta_t + \theta_r \quad \text{mrad}$$

6.1.5 نموذج "الأرض المنتظمة" وارتفاعات الهوائي الفعالة

1.6.1.5 اعتبارات عامة

إذا أردنا تحديد ارتفاعات الهوائي الفعالة والسماح بتقدير مناسب لوعورة المسير، لا بد من أن يستخلص السطح الفعال "للأرض المنتظمة" كمستوى مرجعي يفترض أن تكون فوقه الأرض غير المنتظمة من المسير. ويمكن بعد هذه الخطوة الحصول على قيم معلمة ووعورة التضاريس الأرضية (انظر الفقرة 4.6.1.5) وارتفاع الهوائي الفعال لكل من المحطة المسببة للتداخل والمحطة المعرضة للتداخل.

2.6.1.5 الاستثناءات

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

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

3.6.1.5 اشتقاق سطح الأرض المنتظمة

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

$$(150) \quad h_{si} = h_{st} + m \cdot d_i \quad \text{m}$$

حيث:

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

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

m : ميل السطح (m/km) المضبوط بأقل عدد من المربعات بالنسبة إلى مستوى البحر.

وهناك طرائق بديلة فيما يتعلق بالخطوتين التاليتين من الحساب. ويمكن استعمال المعادلتين (151a) و(152a) إذا كان تباعد نقاط المظهر الجانبي منتظماً. ويتعين استعمال المعادلتين (152b) و(152b)، وهما أكثر تعقيداً، إذا لم تكن نقاط المظهر الجانبي منتظمة التباعد، ويمكن استعمالهما في أي من الحالتين.

بالنسبة إلى نقاط المظهر الجانبي منتظمة التباعد:

$$(151a) \quad m = \frac{\sum_{i=0}^n (h_i - h_a) \left(d_i - \frac{d}{2} \right)}{\sum_{i=0}^n \left(d_i - \frac{d}{2} \right)^2} \quad \text{m / km}$$

وبالنسبة إلى أي مظهر جانبي آخر:

$$(151b) \quad m = \left(\frac{1}{d^3} \right) \sum_{i=1}^n 3 (d_i - d_{i-1}) (d_i + d_{i-1} - d) (h_i + h_{i-1} - 2h_a) + (d_i - d_{i-1})^2 (h_i - h_{i-1}) \quad \text{m/km}$$

حيث:

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

h_a : متوسط ارتفاعات المسيرات الحقيقية فوق متوسط مستوى البحر من h_0 إلى h_n شاملة (m):

بالنسبة إلى نقاط المظهر الجانبي ذات التباعد المنتظم:

$$(152a) \quad h_a = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n h_i \quad \text{m}$$

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

$$(152b) \quad h_a = \left(\frac{1}{2d} \right) \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1}) (h_i + h_{i-1}) \quad \text{m}$$

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

$$(153) \quad h_{st} = h_a - m \frac{d}{2} \quad \text{m}$$

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

$$(154) \quad h_{sr} = h_{st} + m \cdot d \quad \text{m}$$

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

$$(155a) \quad h_{st} = \min (h_{st}, h_0) \quad \text{m}$$

$$(155b) \quad h_{sr} = \min(h_{sr}, h_n) \quad m$$

وإذا تم تصحيح أحد الارتفاعين h_{sr} أو h_{st} أو كليهما بواسطة المعادلتين (159a) أو (159b)، فيجب عندها أن يصحح أيضاً ميل سطح الأرض المنتظمة m :

$$(156) \quad m = \frac{h_{sr} - h_{st}}{d} \quad m/km$$

4.6.1.5 وعورة التضاريس الأرضية، (h_m)

معلمة وعورة التضاريس الأرضية h_m (m) هي أقصى ارتفاع للتضاريس الأرضية فوق سطح الأرض المنتظمة في قسم المسير بين نقطتي الأفق، شاملة كليهما:

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

حيث:

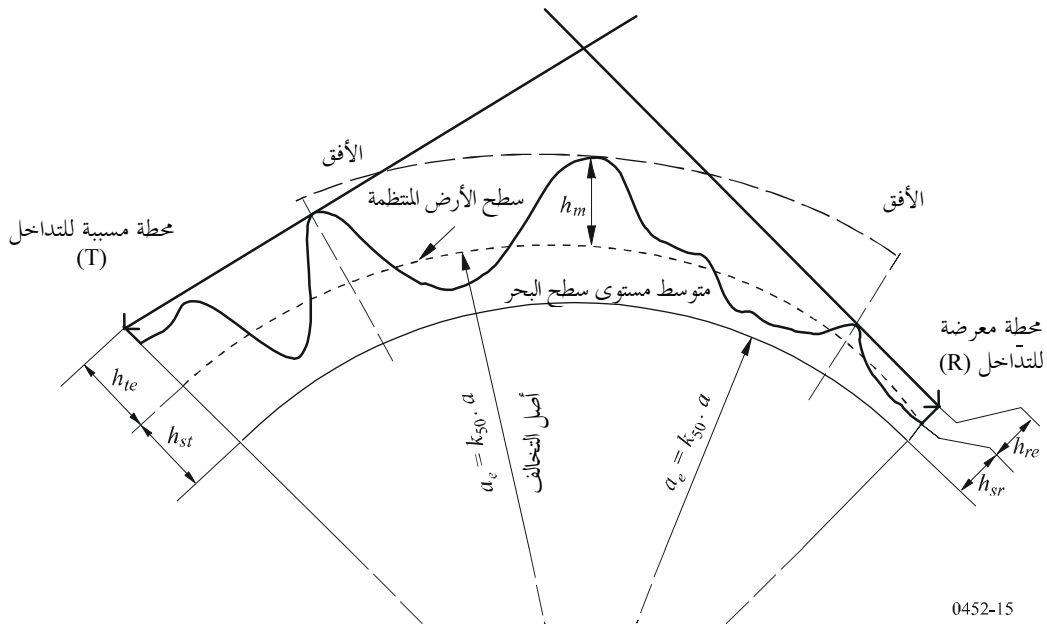
i_t : دليل نقطة المظهر الجانبي عند مسافة d_{it} من المرسل

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

ويمثل الشكل 15 سطح الأرض المنتظمة ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية h_m .

الشكل 15

مثال لسطح الأرض المنتظمة ومعلمة وعورة التضاريس الأرضية



التذييل 3

للملحق 1

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

يكون التقريب التالي لدالة التوزيع العادي التراكمي العكسي صحيحاً للقيمة $0,000001 \leq x \leq 0,5$ ويكون أقصى مقدار للخطأ 0,00054. ويمكن الوثوق في استخدامه لحساب دالة الاستكمال الداخلي كما ورد في المعادلة (30b). وإذا كانت $x < 0,000001$ مما يعني أن $\beta_0 < 0,0001\%$ عندئذ يجب ضبط x لتكون 0,000001. وتستخلص الدالة $I(x)$ كالتالي:

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

حيث:

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

(158b)



$$(158c) \quad C_0 = 2,515516698$$

$$(158d) \quad C_1 = 0,802853$$

$$(158e) \quad C_2 = 0,010328$$

$$(158f) \quad D_1 = 1,432788$$

$$(158g) \quad D_2 = 0,189269$$

$$(158h) \quad D_3 = 0,001308$$
