التوصية ITU-R S.2157-0

(2023/09)

السلسلة S: الخدمة الثابتة الساتلية

إجراءات تقييم التداخل من أي نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض في مجموعة عالمية من الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض في نطاقات التردد GHz 39,5-37,5 (فضاء-أرض) وGHz 42,5-39,5 (فضاء-أرض) وGHz 50,2-47,2 (أرض-فضاء) وGHz 51,4-50,4 (أرض-فضاء)

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني https://www.itu.int/publ/R-REC/en)

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

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

النشر الإلكتروني
جنيف، 2024

© ITU 2024
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R S.2157-0

إجراءات تقييم التداخل من أي نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض في مجموعة عالمية من الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض في نطاقات التردد GHz 39,5-37,5 (فضاء–أرض) وGHz 42,5-39,5 (فضاء–أرض) وGHz 50,2-47,2 (أرض–فضاء) وGHz 51,4-50,4 (أرض–فضاء)

(2023)

ملاحظة – ينبغي عدم تفسير الموافقة على هذه التوصية بأن قطاع الاتصالات الراديوية أعرب عن أي آراء، بشكل مباشر أو غير مباشر، لصالح أي من الأساليب الواردة في تقرير الاجتماع التحضيري للمؤتمر بشأن البند 7 من جدول أعمال المؤتمر WRC-23، الموضوع G[1].

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية إجراءات لتقييم امتثال أي *نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض (non-GSO)* للرقم **5L.22** من لوائح الراديو *(RR)* من أجل ضمان حماية الشبكات *الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض* (GSO) في نطاقات التردد GHz 39,5-37,5 (فضاء–أرض) وGHz 42,5-39,5 (فضاء–أرض) وGHz 50,2-47,2 (أرض فضاء) وGHz 51,4-50,4 (أرض–فضاء).

كلمات أساسية

التداخل الأحادي المصدر المسموح به، انحطاط أداء الوصلة، التشفير والتشكيل التكيفيان، الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض، التيسر والكفاءة الطيفية، الخبو الناجم عن هطول الأمطار

المختصرات/مسرد المصطلحات

ACM تشفير وتشكيل التكيفيان (*Adaptive coding and modulation*)

CDF دالة التوزيع التراكمي (*Cumulative distribution function*)

EPFD كثافة تدفق القدرة المكافئة (*Equivalent power flux-density*)

PDF دالة كثافة الاحتمال (*Probability density function*)

توصيات وتقارير الاتحاد ذات الصلة

التوصية ITU-R P.618 – بيانات الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة لتصميم أنظمة الاتصالات أرض–فضاء

التوصية ITU-R S.1503 – وصف وظيفي لاستعماله في تطوير أدوات برمجية من أجل تحديد مدى توافق أنظمة أو شبكات الخدمة الثابتة العاملة في مدارات غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض مع الحدود المنصوص عليها في المادة 22 من لوائح الراديو

التوصية ITU-R S.2131 – طريقة تحديد أهداف أداء المسارات الرقمية المرجعية الافتراضية الساتلية التي تستعمل التشفير والتشكيل التكيفيين

1 *ملاحظة من الأمانة:* ستُحذف هذه الملاحظة بعد المؤتمر WRC-23.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GSO) وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض (non-GSO) في الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) يمكن أن تعمل في نطاقات التردد GHz 39,5-37,5 (فضاء–أرض) وGHz 42,5-39,5 (فضاء–أرض) وGHz 50,2-47,2 (أرض–فضاء) وGHz 51,4-50,4 (أرض–فضاء)؛

ب) أن المؤتمر WRC-19 اعتمد الرقمين **5L.22** و**5M.22** اللذين يتضمنان حدود التداخل أحادي المصدر والتداخل الكلي للأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية في نطاقات التردد GHz 39,5-37,5 (فضاء–أرض) وGHz 42,5-39,5 (فضاء–أرض) وGHz 50,2-47,2 (أرض–فضاء) وGHz 51,4-50,4 (أرض–فضاء) لحماية الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض العاملة في نطاقات التردد نفسها،

وإذ تدرك

أ) أن قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد (ITU-R) قد أعدّ منهجية ترد في التوصية ITU-R S.1503 تسمح بحساب كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) المتولدة عن أي نظام غير مستقر بالنسبة إلى الأرض قيد النظر في الخدمة الثابتة الساتلية؛

ب) أنه، وفقاً للحسابات التي تجري باستعمال التوصية ITU-R S.1503، يمكن التحقق من التداخل الذي تسببه كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) لأي نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض في شتى أنحاء العالم وذلك من خلال مجموعة من ميزانيات الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض ذات الخصائص التي تشمل عمليات نشر للشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض على الصعيد العالمي والمستقلة عن أي موقع جغرافي محدد؛

ج) أن القرار **769 (WRC-19)** يتناول حماية الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض من الإرسالات الكلية الصادرة من الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض،

توصي

بالنظر في الإجراءات المنصوص عليها في الملحقين 1 و2 لتقييم مدى امتثال أي نظام غير مستقر بالنسبة إلى الأرض للرقم **5L.22** من لوائح الراديو من أجل ضمان حماية الشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض في نطاقات التردد GHz 39,5-37,5 (فضاء–أرض) وGHz 42,5-39,5 (فضاء–أرض) وGHz 50,2-47,2 (أرض فضاء) وGHz 51,4-50,4 (أرض–فضاء).

الملحق 1

الإجراء الذي يستعمله المكتب في التحقق من امتثال الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية للرقم 5L.22 من لوائح الراديو في نطاقات التردد GHz 39,5-37,5 (فضاء–أرض) وGHz 42,5-39,5 (فضاء–أرض) وGHz 50,2-47,2 (أرض–فضاء) وGHz 51,4-50,4 (أرض–فضاء)

يقدم هذا الملحق نظرة عامة عن عملية التحقق من الامتثال لحدود التداخل الأحادي المصدر المسموح به لنظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض على شبكات ساتلية مستقرة بالنسبة إلى الأرض باستخدام معلمات الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة

إلى الأرض الواردة في الملحق 1 بالقرار **(WRC-19) 770** وتأثير التداخل باستخدام أحدث نسخة من التوصية ITU-R S.1503. ويعتمد الإجراء المتبع لتحديد الامتثال للتداخل الأحادي المصدر المسموح به على المبادئ التالية.

المبدأ 1: يُمثل مصدرا انحطاط أداء الوصلات المتغيّران بمرور مع الزمن والمأخوذان في الاعتبار في عملية التحقق خبو الوصلة (الناجم عن هطول الأمطار) باستعمال خصائص الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض الوارد وصفها في القرار **(WRC-19) 770** والتداخل الناجم عن الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض. ويُحسب إجمالي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء، C/N، في عرض النطاق المرجعي لموجة حاملة معينة من خلال المعادلة التالية:

$$C/N = C/(N_T + I) \quad (1)$$

حيث:

C: قدرة الإشارة المطلوبة (W) في عرض النطاق المرجعي، التي تتغير بدلالة الخبو وبدلالة تشكيل الإرسال

N: قدرة الضوضاء (W) في عرض النطاق المرجعي

N_T: إجمالي قدرة ضوضاء النظام (W) في عرض النطاق المرجعي

I: قدرة التداخل المتغيرة مع الزمن (W) في عرض النطاق المرجعي الناتجة عن شبكات أخرى.

المبدأ 2: يركز حساب الكفاءة الطيفية على الأنظمة الساتلية التي تستعمل التشفير والتشكيل التكيفيين (ACM) بإجراء حساب لتدهور الصبيب كدالة في النسبة C/N التي تتغير تبعاً لتأثيرات الانتشار والتداخل على الوصلة الساتلية على المدى الطويل.

المبدأ 3: أثناء حدوث حالة خبو في اتجاه الوصلة الهابطة، توهَّن الموجة الحاملة المسببة للتداخل بنفس مقدار توهين الموجة الحاملة المطلوبة. ويُسفر تطبيق هذا المبدأ عن قصور طفيف في تقدير تأثير التداخل على الوصلة الهابطة.

تنفيذ خوارزمية التحقق

ينبغي استخدام معلمات الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض المبينة في الملحق 1 بالقرار **(WRC-19) 770** على النحو المبين في الخوارزمية التالية لتحديد امتثال أي شبكة غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية لأحكام الرقم **5L.22** من لوائح الراديو.

وتوجد في إطار تحليل المعلمات مجموعة من القيم لكل من المعلمات التالية الواردة في القسم 2 من الجدولين 1 و2 في الملحق 1 بالقرار **(WRC-19) 770**:

- تغاير كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.)
- زاوية الارتفاع (بالدرجات)
- ارتفاع الأمطار (m)
- خط العرض (درجات)
- معدل هطول الأمطار خلال 0,01% من الوقت (mm/hr)
- ارتفاع المحطة الأرضية (m)
- درجة حرارة الضوضاء في المحطة الأرضية (K) أو درجة حرارة الضوضاء في الساتل (K)، حسب الاقتضاء.

وينبغي إنشاء مجموعة من الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض باستخدام حالة واحدة لكل خدمة من الحالات المحددة في القسم 1 من الجدولين 1 و2 في الملحق 1 بالقرار **(WRC-19) 770**، وقيمة واحدة من كل من المعلمات الواردة في تحليل المعلمات في القسم 2 من الجدولين 1 و2. ثم ينبغي إجراء العملية التالية باستخدام هذه المجموعة من الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض:

*التردد الذي ينبغي استعماله في الخطوات التالية باستثناء الخطوة 2 هو 37,5 GHz للاتجاه فضاء–أرض و47,2 GHz في الاتجاه أرض–فضاء. ويحدَّد التردد الذي ينبغي استخدامه في الخطوة 2، f_{GHz}، بتطبيق المنهجية الواردة في التوصية ITU-R S.1503 على الترددات المبلغ عنها للنظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض ونطاقات التردد التي تنطبق عليها أحكام الرقم **5L.22** من لوائح الراديو.*

وتُتَّبع الخطوات التالية لكل من الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض

{

الخطوة 0: تحديد ما إذا كانت هذه الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض صالحة واختيار العتبة الملائمة.

فإذا كانت الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض صالحة، تُتَّبع عندئذ الخطوات التالية:

{

الخطوة 1: اشتقاق دالة كثافة الاحتمال (PDF) للخبو الناجم عن هطول الأمطار، التي ينبغي استخدامها في عملية التحوير

الخطوة 2: استخدام التوصية ITU-R S.1503 لاشتقاق دالة PDF لكثافة تدفق القدرة المكافئة (EPFD) الناتجة عن النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية

الخطوة 3: إجراء عملية تحوير معدَّلة (فضاء–أرض) أو عملية تحوير (أرض–فضاء) باستخدام دالة PDF للخبو الناجم عن هطول الأمطار ودالة PDF للكثافة EPFD. وينتج عن هذا التحوير دالة PDF للنسبة C/N و $C/(N_T+I)$

*الخطوة 4: استخدام دالتي PDF للنسبتين C/N و $C/(N_T+I)$ لتحديد مدى الامتثال لأحكام الرقم **5L.22** من لوائح الراديو*

{

{

*وإذا خُلص إلى أن النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض قيد التفحص يمتثل لأحكام الرقم **5L.22** من لوائح الراديو فيما يتعلق بجميع الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض، تكون نتيجة التقييم مؤاتية. وخلافاً لذلك، تكون النتيجة غير مؤاتية.*

ويبين المرفقان 1 و2 بهذا الملحق كلّاً من هذه الخطوات بمزيد من التفصيل فيما يخص الإجراءات المتعلقة بالاتجاهين فضاء–أرض وأرض–فضاء، على التوالي.

المرفق 1
بالملحق 1

الخطوات الواجب تطبيقها في الاتجاه فضاء–أرض في نطاقي التردد GHz 39,5-37,5 وGHz 42,5-39,5 لتحديد الامتثال للرقم 5L.22 من لوائح الراديو

يتحدد تأثير التداخل الأحادي المصدر من نظام غير مستقر بالنسبة إلى الأرض على تيسر الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض وكفاءتها الطيفية من خلال تطبيق الخطوات التالية. وتُستخدم معلمات الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض الواردة في الملحق 1 بالقرار **(WRC-19) 770**، مع مراعاة جميع التباديل المعلمية المحتملة، بالاقتران مع ناتج كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) في أسوأ تشكيلة هندسية، في النسخة الأحدث للتوصية ITU-R S.1503. أما نواتج هذه التوصية، فهي مجموعة من إحصاءات التداخلات التي ينشئها النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض. ثم تُستخدم إحصاءات التداخلات هذه لتحديد أثر التداخل في كل من الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

الخطوة 0: التحقق من الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض واختيار قيمة العتبة للنسبة *C/N*

ينبغي اتباع الخطوات التالية لتحديد ما إذا كانت الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض صالحة، وإذا كانت صالحة تحدَّد قيمة العتبة التي ينبغي استعمالها من قيم العتبة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}$ ويُفترض أن R_s = 6 378,137 Km وR_{geo} = 42 164 Km وk_{dB} = –228,6 dB(J/K) وc = 2,99792458 x 10^5 km/s

ويلاحظ أن مصطلح "دالة التوزيع التراكمي" يُراد به أن يشمل مفهوم دالة التوزيع التراكمي التكميلي تبعاً للسياق.

1) حساب الكسب الأقصى لهوائي المحطة الأرضية بوحدة dBi باستخدام المعادلة التالية:

في حالة $100 \geq D/\lambda \geq 20$

$$G_{max} = 20 \log\left(\frac{D}{\lambda}\right) + 7.7 \qquad \text{dBi}$$

في حالة $100 < D/\lambda$

$$G_{max} = 20 \log\left(\frac{D}{\lambda}\right) + 8.4 \qquad \text{dBi}$$

2) حساب المسافة المائلة بالكيلومتر باستخدام المعادلة التالية:

$$d_{km} = R_s\left(\sqrt{\frac{R_{geo}^2}{R_s^2} - \cos^2(\varepsilon)} - \sin(\varepsilon)\right)$$

3) حساب خسارة المسير في الفضاء الحر بوحدة dB باستخدام المعادلة التالية:

$$L_{fs} = 92.45 + 20\log(f_{GHz}) + 20\log(d_{km})$$

4) حساب قدرة الإشارة المطلوبة في عرض النطاق المرجعي بوحدة dBW مع أخذ الخسائر الإضافية للوصلة في الحسبان على النحو التالي:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o$$

5) حساب قدرة الضوضاء الإجمالية في عرض النطاق المرجعي بوحدة dBW/MHz باستخدام المعادلة التالية:

$$N_T = 10\log(T \cdot B_{MHz} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra} + M_{ointer}$$

6) لكل عتبة من عتبات $(C/N)_{Thr,i}$، اشتقاق هامش هطول الأمطار المتاح في تلك الحالة بوحدة dB على النحو التالي:

$$A_{rain,i} = C - N_T - \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}$$

7) إذا كان الهامش $A_{rain,i} \leq A_{min}$ في كل عتبة من عتبات $(C/N)_{Thr,i}$، فإن هذه الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض تعتبر غير صالحة.

8) إجراء الخطوة 9 لكل عتبة من عتبات $(C/N)_{Thr,i}$ يكون فيها الهامش $A_{rain,i} > A_{min}$.

9) حساب النسبة المئوية من الوقت ذات الصلة، $p_{rain,i}$، باستعمال نموذج هطول الأمطار الوارد في الملحق 2 بهذه التوصية إلى جانب القيم المختارة لمعدل هطول الأمطار، وارتفاع المحطة الأرضية، وارتفاع الأمطار، وخط عرض المحطة الأرضية، وزاوية الارتفاع، والتردد، والهامش المحسوب للخبو الناجم عن هطول الأمطار، وقيمة مفترضة للاستقطاب الرأسي.

10) إن لم تكن النسبة المئوية من الوقت المقترنة بكل قيمة من قيم العتبة $(C/N)_{Thr,i}$ ضمن المدى التالي:

$$0.01\% \leq P_{rain,i} \leq 10\%$$

فإن هذه الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض غير صالحة.

11) إذا كانت عتبة واحدة على الأقل تفي بالمعايير المحددة في الخطوتين 7 و10، تُستخدم في التحليل أدنى عتبة، $(C/N)_{Thr}$، تفي بهذه المعايير.

ملاحظة – قيمة A_{min} هي 3 dB.

الخطوة 1: استخراج دالة كثافة الاحتمال (PDF) للخبو الناجم عن هطول الأمطار

ينبغي استخراج الدالة PDF للخبو الناجم عن هطول الأمطار باستعمال الملحق 2 بهذه التوصية استناداً إلى القيم المختارة لمعدل هطول الأمطار وارتفاع المحطة الأرضية وخط عرض المحطة الأرضية وارتفاع الأمطار وزاوية الارتفاع والتردد (ملخصة في الجدول 2 من الملحق 2) وقيمة مفترضة للاستقطاب الرأسي على النحو التالي:

1) حساب أقصى عمق للخبو $A_{rain}(p)$ باستعمال $p = p_{min}$ مع ملاحظة أن قيمة p_{min} مقدمة في الملحق 2.

2) إنشاء مجموعة من الأجزاء N بعرض 0,1 dB للخبو الناجم عن هطول الأمطار A_{rain} تتراوح قيمتها بين 0 dB والقيمة المقربة إلى رقم واحد بعد العلامة العشرية $(A_{rain}(p_{min}))$ + 0.1 dB.

3) لكل من هذه الأجزاء، تحديد الاحتمال p المقترن بها لإيجاد دالة توزيع تراكمي (CDF) للخبو A_{rain}

$$CDF_n = Probability\ that\ A_{rain} \geq \big((n-1) * 0.1\big)dB \qquad for\ n < N$$

$$CDF_n = 0\% \qquad for\ n = N$$

حيث $n = 1, 2, 3, \ldots N$.

4) في كل من هذه الأجزاء، تحويل دالة التوزيع التراكمي هذه إلى دالة كثافة احتمال للخبو A_{rain}

$$PDF_n = \frac{CDF_n - CDF_{n+1}}{100} \qquad for\ n < N$$

$$PDF_n = 0\% \quad for\ n = N$$

حيث: $\sum_{n=1}^{N} PDF_n = 1$

وينبغي استعمال جزء بحجم dB 0,1 لضمان الاتساق مع نواتج التوصية ITU-R S.1503. ويشمل كل جزء من أجزاء الدالة CDF احتمال ألا تقل قيمة الخبو الناجم عن هطول الأمطار عن dB A_{rain}. بينما يشمل كل جزء من أجزاء الدالة PDF احتمال أن تتراوح قيمة الخبو الناجم عن هطول الأمطار بين A_{rain} وdB 0.1 + A_{rain}.

الخطوة 2: استخراج دالة كثافة الاحتمال (PDF) لكثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd)

ينبغي استخدام التوصية ITU-R S.1503 لتحديد دالة التوزيع التراكمي (CDF) للكثافة epfd من معلمات الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية والتردد وحجم الهوائي الطبقي ومخطط كسب هوائي المحطة الأرضية. وتُحسب دالة CDF للكثافة epfd في أسوأ تشكيلة هندسية استناداً إلى التوصية ITU-R S.1503. وتتكون دالة CDF للكثافة epfd من أجزاء N متباعدة بمقدار dB 0,1.

ثم تُحول دالة CDF للكثافة epfd إلى دالة PDF على النحو التالي:

1) التأكد من أن النسبة المئوية من الوقت هي 100% للأجزاء الأولى من دالة CDF للكثافة epfd و0% للأجزاء الأخيرة منها.

2) في كل من هذه الأجزاء، تُحول دالة CDF هذه إلى دالة PDF للكثافة epfd

$$PDF_n = \frac{CDF_n - CDF_{n+1}}{100} \qquad for\ n < N$$

$$PDF_n = 0 \quad for\ n = N$$

حيث: $\sum_{n=1}^{N} PDF_n = 1$

ويحتوي كل جزء من دالة CDF للكثافة epfd على احتمال أن تكون قيمة الكثافة epfd على الأقل dB W/m^2 X في عرض النطاق المرجعي. بينما يشمل كل جزء من أجزاء الدالة PDF احتمال أن تتراوح قيمة الكثافة epfd بين X و0,1 + X dB.

الخطوة 3: تحديد دالتي CDF للنسبتين *C/N* و*C/(N+I)* بإجراء تحوير معدَّل لدالة PDF للخبو الناجم عن هطول الأمطار ودالة PDF للكثافة epfd

فيما يتعلق بالوصلة المرجعية العامة المختارة المستقرة بالنسبة إلى الأرض، ينبغي استخراج دالتي PDF للنسبتين *C/N* و*C/(N+I)* باتّباع الخطوات التالية لإجراء التحوير المعدَّل المنفصل:

بدء إجراء توزيعات النسبتين C/N و C/(N+I) بأجزاء يبلغ حجم كل منها dB 0,1

حساب المساحة الفعالة لهوائي مُتناحٍ عند طول موجة λ باستخدام المعادلة التالية:

$$A_{ISO} = 10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)$$

حساب قدرة الإشارة المطلوبة مع أخذ الخسائر الإضافية للوصلة وكسب الهوائي عند حافة التغطية في الحسبان:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o$$

حساب قدرة ضوضاء النظام باستخدام المعادلة التالية:

$$N_T = 10\log(T \cdot B_{MHz} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra}$$

لكل قيمة A_{rain} في دالة PFD للخبو الناجم عن هطول الأمطار

}

حساب قدرة الإشارة المطلوبة الخابية باستخدام المعادلة التالية:

$$C_f = C - A_{rain}$$

حساب النسبة C/N باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{C}{N} = C_f - N_T$$

تحديث توزيع النسبة C/N بقيمة C/N هذه والاحتمال المقترن بقيمة A_{rain} هذه

ولكل قيمة للكثافة EPFD في دالة PDF للكثافةEPFD

}

حساب التداخل الناجم عن الكثافة EPFD مع مراعاة الخبو الناجم عن هطول الأمطار باستخدام المعادلة التالية:

$$I = EPFD + G_{peak} + A_{iso} - A_{rain}$$

حساب الضوضاء + التداخل باستخدام المعادلة التالية:

$$(N_T + I) = 10\log\left(10^{N_T/10} + 10^{I/10}\right)$$

حساب النسبة C/(N+I) باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{C}{N+I} = C_f - (N_T + I)$$

تحديد الجزء C/(N+I) ذي الصلة بقيمة C/(N+I) هذه

زيادة الاحتمال المقترن بهذا الجزء بإضافة ناتج احتمالات قيمتي الخبو الناجم عن هطول الأمطار والكثافة EPFD هاتين

{

{

الخطوة 4: استعمال توزيعات النسبتين *C/N* و*C/(N+I)* استناداً إلى المعايير المحددة في الرقم 5L.22 من لوائح الراديو

ينبغي بعد ذلك استخدام توزيعات النسبتين C/N وC/(N+I) للتحقق من الوفاء بمعياري التيسر والكفاءة الطيفية المحددين في الرقم **5L.22** من لوائح الراديو على النحو التالي:

الخطوة 4A: التحقق من زيادة عدم التيسر

باستخدام العتبة المختارة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$ للوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض، تحديد ما يلي:

U_R = مجموع الاحتمالات لكل الأجزاء التي تكون فيها $C/N < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

U_{RI} = مجموع الاحتمالات لكل الأجزاء التي تكون فيها $C/(N+I) < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

والشرط الذي ينبغي التحقق من استيفائه بعد ذلك هو:

$$U_{RI} \leq 1.03 \times U_R$$

الخطوة 4B: التحقق من انخفاض متوسط الكفاءة الطيفية المرجّح زمنياً

تحديد متوسط الكفاءة الطيفية المرجّح زمنياً في الأجل الطويل، SER، بافتراض هطول الأمطار فقط، من خلال:

وضع $SE_{RI} = 0$

لجميع الأجزاء في الدالة PDF للنسبة C/(N+I) الأعلى من قيمة العتبة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

}

ينبغي استعمال المعادلة (3) الواردة في ملحق التوصية ITU-R S.2131-1 لتحويل النسبة C/N إلى كفاءة طيفية زيادة قيمة SE_R بإضافة ناتج ضرب الكفاءة الطيفية في الاحتمال المقترن بالنسبة C/N هذه

{

تحديد متوسط الكفاءة الطيفية المرجّح زمنياً في الأجل الطويل، SE_{RI}، بافتراض هطول الأمطار فقط، من خلال:

وضع $SE_{RI} = 0$

لجميع الأجزاء في الدالة PDF للنسبة C/(N+I) الأعلى من قيمة العتبة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

}

ينبغي استعمال المعادلة (3) الواردة في ملحق التوصية ITU-R S.2131-1 لتحويل النسبة C/(N+I) إلى كفاءة طيفية زيادة قيمة SE_{RI} بإضافة ناتج ضرب الكفاءة الطيفية في الاحتمال المقترن بالنسبة C/(N+I) هذه

{

والشرط الذي ينبغي التحقق من استيفائه بعد ذلك هو:

$$SE_{RI} \geq SE_R * (1 - 0.03)$$

المرفق 2
بالملحق 1

خطوات الخوارزمية الواجب تطبيقها في الاتجاه أرض–فضاء في نطاقي التردد GHz 50,2-47,2 و GHz 51,4-50,4 لتحديد الامتثال للرقم 5L.22 من لوائح الراديو

يتحدد تأثير التداخل الأحادي المصدر من نظام غير مستقر بالنسبة إلى الأرض على تيسر الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض وكفاءتها الطيفية من خلال تطبيق الخطوات التالية. وتُستخدم معلمات الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض الواردة في الملحق 1 بالقرار **(WRC-19) 770**، مع مراعاة جميع التباديل المعلمية المحتملة، بالاقتران مع ناتج كثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd) في أسوأ تشكيلة هندسية ("WCG")، في النسخة الأحدث للتوصية ITU-R S.1503. أما نواتج هذه التوصية، فهي مجموعة من إحصاءات التداخلات التي ينشئها النظام غير المستقر بالنسبة إلى الأرض. ثم تُستخدم إحصاءات التداخلات هذه لتحديد أثر التداخل في كل من الوصلات المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

الخطوة 0: التحقق من الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض واختيار قيمة العتبة للنسبة *C/N*

ينبغي اتباع الخطوات التالية لتحديد ما إذا كانت الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض صالحة، وإذا كانت صالحة تحدَّد قيمة العتبة التي ينبغي استعمالها من قيم العتبة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}$. ويُفترض أن R_s = 6 378,137 Km وR_{geo} = 42 164 Km وk_{dB} = –228,6 dB(J/K) وc = 2,99792458 x 10^5 km/s.

ويلاحظ أن مصطلح "دالة التوزيع التراكمي" يُراد به أن يشمل مفهوم دالة التوزيع التراكمي التكميلي تبعاً للسياق.

1) حساب المسافة المائلة بالكيلومتر باستخدام المعادلة التالية:

$$d_{km} = R_s\left(\sqrt{\frac{R_{geo}^2}{R_s^2} - \cos^2(\varepsilon)} - \sin(\varepsilon)\right)$$

2) حساب خسارة المسير في الفضاء الحر بوحدة dB باستخدام المعادلة التالية:

$$L_{fs} = 92.45 + 20\log(f_{GHz}) + 20\log(d_{km})$$

3) حساب قدرة الإشارة المطلوبة في عرض النطاق المرجعي بوحدة dBW مع أخذ الخسائر الإضافية للوصلة وكسب الهوائي عند حافة التغطية في الحسبان:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o + G_{rel}$$

4) حساب قدرة الضوضاء الإجمالية في عرض النطاق المرجعي بوحدة dBW/MHz باستخدام المعادلة التالية:

$$N_T = 10\log(T \cdot B_{MHz} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra} + M_{ointer}$$

5) لكل عتبة من عتبات $(C/N)_{Thr,i}$، اشتقاق هامش هطول الأمطار في تلك الحالة بوحدة dB على النحو التالي:

$$A_{rain,i} = C - N_T - \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}$$

6) إذا كان الهامش $A_{rain,i} \le A_{min}$ في كل عتبة من عتبات $(C/N)_{Thr,i}$، فإن هذه الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض تعتبر غير صالحة.

7) إجراء الخطوة 8 لكل عتبة من عتبات $(C/N)_{Thr,i}$ يكون فيها الهامش $A_{rain,i} > A_{min}$.

8) حساب النسبة المئوية من الوقت ذات الصلة، $p_{rain,i}$، باستعمال نموذج هطول الأمطار الوارد في الملحق 2 إلى جانب القيم المختارة لمعدل هطول الأمطار، وارتفاع المحطة الأرضية، وارتفاع الأمطار، وخط عرض المحطة الأرضية، وزاوية الارتفاع، والتردد، والهامش المحسوب للخبو الناجم عن هطول الأمطار، وقيمة مفترضة للاستقطاب الرأسي.

9) إن لم تكن النسبة المئوية من الوقت المقترنة بكل قيمة من قيم العتبة $(C/N)_{Thr,i}$ ضمن المدى التالي:

$$0.01\% \le p_{rain,i} \le 10\%$$

فإن هذه الوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض غير صالحة.

10) إذا كانت عتبة واحدة على الأقل تفي بالمعايير المحددة في الخطوتين 6 و9، ينبغي أن تُستخدم في التحليل أدنى عتبة، $(C/N)_{Thr}$، تفي بهذه المعايير.

ملاحظة – قيمة A_{min} هي 3 dB وقيمة كسب الهوائي نسبةً إلى القيمة القصوى نحو المحطة الأرضية هي G_{rel} = –3 dB.

الخطوة 1: استخراج دالة كثافة الاحتمال (PDF) للخبو الناجم عن هطول الأمطار

ينبغي استخراج الدالة PDF للخبو الناجم عن هطول الأمطار باستعمال الملحق 2 بهذه التوصية استناداً إلى القيم المختارة لمعدل هطول الأمطار وارتفاع المحطة الأرضية وخط عرض المحطة الأرضية وارتفاع الأمطار وزاوية الارتفاع والتردد وقيمة مفترضة للاستقطاب الرأسي على النحو التالي:

1) حساب أقصى عمق للخبو $A_{rain}(p)$ باستعمال $p = p_{min}$ مع ملاحظة أن قيمة p_{min} محددة في الملحق 2.

2) إنشاء مجموعة من الأجزاء N بعرض dB 0,1 تتراوح قيمتها بين dB 0 والقيمة المقربة إلى رقم واحد بعد العلامة العشرية $(A_{rain}(p_{min})) + 0.1$ dB.

3) لكل من هذه الأجزاء، تحديد الاحتمال p المقترن بها لإيجاد دالة توزيع تراكمي (CDF) للخبو A_{rain}

$$CDF_n = Probability\ that\ A_{rain} \geq \big((n-1) * 0.1\big)dB \qquad for\ n < N$$

$$CDF_n = 0\% \qquad for\ n = N$$

حيث n = 1, 2, 3, …N.

4) في كل من هذه الأجزاء، تحويل دالة التوزيع التراكمي هذه إلى دالة كثافة احتمال للخبو A_{rain}

$$PDF_n = CDF_n - CDF_{n+1} \qquad for\ n < N$$

$$PDF_n = 0\% \quad for\ n = N$$

حيث: $\sum_{n=1}^{N} PDF_n = 100\%$

وينبغي استعمال جزء بحجم dB 0,1 لضمان الاتساق مع نواتج التوصية ITU-R S.1503. ويشمل كل جزء من أجزاء الدالة CDF احتمال ألا تقل قيمة الخبو الناجم عن هطول الأمطار عن dB A_{rain}. بينما يشمل كل جزء من أجزاء الدالة PDF احتمال أن تتراوح قيمة الخبو الناجم عن هطول الأمطار بين A_{rain} و dB 0.1 + A_{rain}.

الخطوة 2: استخراج دالة كثافة الاحتمال (PDF) لكثافة تدفق القدرة المكافئة (epfd)

ينبغي استخدام التوصية ITU-R S.1503 لتحديد دالة التوزيع التراكمي (CDF) للكثافة epfd بناءً على معلمات الأنظمة غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية والتردد وحجم الهوائي الطبقي ومخطط كسب هوائي المحطة الأرضية. وتُحسب دالة CDF للكثافة epfd في أسوأ تشكيلة هندسية استناداً إلى التوصية ITU-R S.1503.

ثم تُحول دالة CDF للكثافة epfd إلى دالة PDF.

الخطوة 3: تحديد دالتي CDF للنسبتين *C/N* و*C/(N+I)* بإجراء تحوير لدالة PDF للخبو الناجم عن هطول الأمطار ودالة PDF للكثافة epfd

فيما يتعلق بالوصلة المرجعية العامة المختارة المستقرة بالنسبة إلى الأرض، ينبغي استخراج دالتي PDF للنسبتين *C/N* و*C/(N+I)* باتّباع الخطوات التالية لإجراء التحوير المنفصل:

بدء إجراء توزيعات النسبتين C/N و C/(N+I) بأجزاء يبلغ حجم كل منها dB 0,1

حساب المساحة الفعالة لهوائي مُتناحٍ عند طول موجة λ باستخدام المعادلة التالية:

$$A_{ISO} = 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right)$$

حساب قدرة الإشارة المطلوبة مع أخذ الخسائر الإضافية للوصلة وكسب الهوائي عند حافة التغطية في الحسبان:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o + G_{rel}$$

حساب قدرة ضوضاء النظام باستخدام المعادلة التالية:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{MHz} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra}$$

لكل قيمة Arain في دالة PFD للخبو الناجم عن هطول الأمطار

}

حساب قدرة الإشارة المطلوبة الخابية باستخدام المعادلة التالية:

$$C_f = C - A_{rain}$$

حساب النسبة C/N باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{C}{N} = C_f - N_T$$

تحديث توزيع النسبة C/N بقيمة C/N هذه والاحتمال المقترن بقيمة A_{rain} هذه

ولكل قيمة للكثافة EPFD في دالة PDF للكثافة EPFD

}

حساب التداخل الناجم عن الكثافة EPFD:

$$I = EPFD + G_{peak} + A_{iso}$$

حساب الضوضاء + التداخل باستخدام المعادلة التالية:

$$(N_T + I) = 10\log\left(10^{N_T/10} + 10^{I/10}\right)$$

حساب النسبة C/(N+I) باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{C}{N+I} = C_f - (N_T + I)$$

تحديد الجزء C/(N+I) ذي الصلة بقيمة C/(N+I) هذه

زيادة الاحتمال المقترن بهذا الجزء بإضافة ناتج احتمالات قيمتي الخبو الناجم عن هطول الأمطار والكثافة EPFD هاتين

}

}

الخطوة 4: استعمال توزيعات النسبتين *C/N* و*C*/(*N*+*I*) استناداً إلى المعايير المحددة في الرقم 5L.22 من لوائح الراديو

ينبغي بعد ذلك استخدام توزيعات النسبتين *C/N* و*C*/(*N*+*I*) للتحقق من الوفاء بمعياري التيسر والكفاءة الطيفية المحددين في الرقم **5L.22** من لوائح الراديو على النحو التالي:

الخطوة 4A: التحقق من زيادة عدم التيسر

باستخدام العتبة المختارة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$ للوصلة المرجعية العامة المستقرة بالنسبة إلى الأرض، تحديد ما يلي:

U_R = مجموع الاحتمالات لكل الأجزاء التي تكون فيها $C/N < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

U_{RI} = مجموع الاحتمالات لكل الأجزاء التي تكون فيها $C/(N+I) < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

والشرط الذي ينبغي التحقق من استيفائه بعد ذلك هو:

$$U_{RI} \leq 1.03 \times U_R$$

الخطوة 4B: التحقق من انخفاض متوسط الكفاءة الطيفية المرجّح زمنياً

تحديد متوسط الكفاءة الطيفية المرجّح زمنياً في الأجل الطويل، SER، بافتراض هطول الأمطار فقط، من خلال:

Set SER = 0

لجميع الأجزاء في الدالة PDF للنسبة C/N الأعلى من قيمة العتبة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

}

ينبغي استعمال المعادلة (3) الواردة في ملحق التوصية ITU-R S.2131-1 لتحويل النسبة C/N إلى كفاءة طيفية زيادة قيمة SE_R بإضافة ناتج ضرب الكفاءة الطيفية في الاحتمال المقترن بالنسبة C/N هذه

{

تحديد متوسط الكفاءة الطيفية المرجّح زمنياً في الأجل الطويل، SE_{RI}، بافتراض هطول الأمطار فقط، من خلال:

وضع $SE_{RI} = 0$

لجميع الأجزاء في الدالة PDF للنسبة C/(N+I) الأعلى من قيمة العتبة $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

}

ينبغي استعمال المعادلة (3) الواردة في ملحق التوصية ITU-R S.2131-1 لتحويل النسبة C/(N+I) إلى كفاءة طيفية زيادة قيمة SE_{RI} بإضافة ناتج ضرب الكفاءة الطيفية في الاحتمال المقترن بالنسبة C/(N+I) هذه

{

والشرط الذي ينبغي التحقق من استيفائه بعد ذلك هو:

$$SE_{RI} \geq SE_R * (1 - 0.03)$$

الملحق 2

حساب إحصاءات حالات الخبو الناجم عن هطول الأمطار

تُقدم الإحصاءات طويلة الأمد لحالات الخبو الناجم عن هطول الأمطار من خلال المعادلة التالية:

$$\begin{cases} A_{rain}(p_{min}) & \text{for } 0\% \leq p \leq p_{min} \\ A_{rain}(p) & \text{for } p_{min} < p \leq p_1 \\ A_{rain}(p_1)(\log_{10}(p) - 1)/(\log_{10}(p_1) - 1) & p_1 < p \leq p_{max} \\ 0 \text{ dB} & p_{max} < p \leq 100\% \end{cases}$$

حيث p_{max} هو احتمال أن يكون الخبو الناجم عن هطول الأمطار أكبر من 0 dB (انظر معلمة الفقرة 9.2 في الجدولين 1 و2 في الملحق 1 بالقرار **(WRC-19) 770**)؛ و$A_{rain}(p)$ يُحسب باستخدام الفقرة 1.1.2.2 من التوصية ITU-R P.618-13؛ وp_1 وp_{min} يردان في الجدول 1، في حالة الاتجاه فضاء–أرض للنظام المستقر بالنسبة إلى الأرض (GHz 37,5=F)، وفي الجدول 2 في حالة الاتجاه أرض–فضاء للنظام المستقر بالنسبة إلى الأرض (GHz 47,2=F)، ويرد مؤشر هطول الأمطار وظروف هطول الأمطار ذات الصلة لكلا الاتجاهين في الجدول 3.

الجدول 1

قيم p_1 وp_{min} التي يتعين استخدامها في الاتجاه فضاء–أرض (الوصلة الهابطة)

p_{min} (%)	P_1 (%)	المؤشر	p_{min} (%)	P_1 (%)	المؤشر	p_{min} (%)		P_1 (%)	المؤشر	p_{min} (%)	P_1 (%)	المؤشر
0,001004	2,1999	43	0,001016	2,5255	29	0,001509		2,27683	15	0,002233	2,4116	1
0,001006	2,22281	44	0,001021	2,5531	30	0,002155		2,132474	16	0,002184	2,43056	2
0,001	2,24985	45	0,002127	2,24996	31	0,002046		2,15401	17	0,002007	2,45185	3
0,001595	2,53394	46	0,002023	2,26854	32	0,001918		2,17912	18	0,004299	2,17104	4
0,001529	2,5582	47	0,001914	2,28952	33	0,001001		2,62353	19	0,004098	2,1888	5
0,001417	2,58521	48	0,002772	2,14671	34	0,001006		2,692	20	0,003859	2,20875	6
0,003914	2,20414	49	0,002648	2,16454	35	0,001015		2,8211	21	0,005539	2,072122	7
0,003662	2,22922	50	0,002505	2,184672	36	0,001007		2,37672	22	0,005269	2,08942	8
0,003423	2,25721	51	0,001013	2,56214	37	0,001006		2,43951	23	0,005003	2,10884	9
0,005707	2,05972	52	0,001005	2,59324	38	0,001004		2,5431	24	0,001003	2,46476	10
0,005346	2,08493	53	0,001013	2,62902	39	0,001		2,276	25	0,001012	2,48883	11
0,004968	2,113093	54	0,001005	2,30243	40	0,001003		2,33666	26	0,001008	2,5169	12
			0,001	2,3264	41	0,001007		2,43675	27	0,001696	2,22858	13
			0,001008	2,35466	42	0,001055		2,50513	28	0,001597	2,25085	14

الجدول 2

قيم p_1 وp_{min} التي يتعين استخدامها في الاتجاه أرض–فضاء (الوصلة الصاعدة)

p_{min} (%)	P_1 (%)	المؤشر	p_{min} (%)	P_1 (%)	المؤشر	p_{min} (%)	P_1 (%)	المؤشر	p_{min} (%)	P_1 (%)	المؤشر
0,001002	2,131202	43	0,001235	2,44635	29	0,001796	2,20921	15	0,002786	2,33455	1
0,001001	2,155341	44	0,001185	2,4716	30	0,002558	2,066286	16	0,002625	2,35384	2
0,001003	2,183783	45	0,002555	2,1799	31	0,002422	2,08869	17	0,002469	2,37551	3
0,002042	2,4509	46	0,002421	2,199252	32	0,002274	2,1148	18	0,005082	2,1054	4
0,001865	2,47605	47	0,002291	2,22109	33	0,00101	2,54793	19	0,004846	2,123611	5
0,001724	2,50405	48	0,003305	2,07934	34	0,001009	2,6164	20	0,004584	2,144072	6
0,004723	2,13059	49	0,003155	2,098044	35	0,001009	2,7466	21	0,006442	2,010594	7
0,004433	2,15691	50	0,002987	2,119153	36	0,001003	2,3119	22	0,006179	2,0284	8
0,004149	2,18624	51	0,001004	2,47937	37	0,001002	2,3766	23	0,005855	2,048392	9
0,00683	1,988883	52	0,00101	2,5116	38	0,001007	2,48305	24	0,001116	2,38588	10
0,006349	2,01554	53	0,001013	2,5486	39	0,001002	2,21479	25	0,001048	2,4105	11
0,005903	2,045274	54	0,001003	2,23144	40	0,001005	2,27762	26	0,001007	2,4392	12
			0,001006	2,25648	41	0,001003	2,38105	27	0,002035	2,159292	13
			0,001003	2,28598	42	0,001315	2,42572	28	0,001915	2,18234	14

الجدول 3

مؤشر هطول الأمطار وظروف هطول الأمطار ذات الصلة

h_{ES}	$R_{0.01}$	Lat	h_{rain}	ε	Rain index	h_{ES}	$R_{0.01}$	Lat	h_{rain}	ε	مؤشر هطول الأمطار
0	10	0	5 000	55	28	0	10	0	5 000	20	1
500	10	0	5 000	55	29	500	10	0	5 000	20	2
1 000	10	0	5 000	55	30	1 000	10	0	5 000	20	3
0	50	0	5 000	55	31	0	50	0	5 000	20	4
500	50	0	5 000	55	32	500	50	0	5 000	20	5
1 000	50	0	5 000	55	33	1 000	50	0	5 000	20	6
0	100	0	5 000	55	34	0	100	0	5 000	20	7
500	100	0	5 000	55	35	500	100	0	5 000	20	8
1 000	100	0	5 000	55	36	1 000	100	0	5 000	20	9
0	10	30	3 950	55	37	0	10	30	3 950	20	10
500	10	30	3 950	55	38	500	10	30	3 950	20	11
1 000	10	30	3 950	55	39	1 000	10	30	3 950	20	12
0	50	30	3 950	55	40	0	50	30	3 950	20	13
500	50	30	3 950	55	41	500	50	30	3 950	20	14
1 000	50	30	3 950	55	42	1 000	50	30	3 950	20	15
0	100	30	3 950	55	43	0	100	30	3 950	20	16
500	100	30	3 950	55	44	500	100	30	3 950	20	17
1 000	100	30	3 950	55	45	1 000	100	30	3 950	20	18
0	10	0	5 000	90	46	0	10	61,8	1 650	20	19
500	10	0	5 000	90	47	500	10	61,8	1 650	20	20
1 000	10	0	5 000	90	48	1 000	10	61,8	1 650	20	21
0	50	0	5 000	90	49	0	50	61,8	1 650	20	22
500	50	0	5 000	90	50	500	50	61,8	1 650	20	23
1 000	50	0	5 000	90	51	1 000	50	61,8	1 650	20	24
0	100	0	5 000	90	52	0	100	61,8	1 650	20	25
500	100	0	5 000	90	53	500	100	61,8	1 650	20	26
1 000	100	0	5 000	90	54	1 000	100	61,8	1 650	20	27