الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

**التوصية ITU-R P.840-8**
**(2019/08)**

# التوهين الناجم عن السحب والضباب

**السلسلة P**
**انتشار الموجات الراديوية**

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

## 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 http://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 الاستدلال الراديوي 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، 2020

© ITU 2020
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R P.840-8

# التوهين الناجم عن السحب والضباب

(المسألة ITU-R 201/3)

(2019-2017-2013-2012-2009-1999-1997-1994-1992)

## مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية وسائل التنبؤ بالتوهين الناجم عن السحب والضباب على مسيرات أرض–فضاء.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

*إذ تضع في اعتبارها*

*أ)* أن الحاجة تدعو لإرشاد المهندسين في تصميم أنظمة اتصالات أرض–فضاء في الترددات التي تزيد عن 10 GHz؛

*ب)* أن التوهين الناجم عن السحب قد يكون عاملاً ذا أهمية لا سيما في أنظمة الموجات الصغرية التي تعلو كثيراً عن 10 GHz أو الأنظمة قليلة التيسر؛

*ج)* أن الحاجة تدعو لصيغة تحليلية لإحصاءات المحتوى العمودي للماء السائل الذي تنطوي عليه السحب كي تُحسب السلاسل الزمنية للتوهين الإجمالي وأساليب التنبؤ المكانية الزمانية؛

*د)* أن البيانات المحلية المقيسة للمحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل في السحب قد لا تكون متاحة،

*توصي*

**1** تُستعمل الطريقة الواردة في الفقرة 1.3 من الملحق 1 للتنبؤ بالتوهين الناجم عن السحب والضباب في حال عدم توفر البيانات المحلية المقيسة للمحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل في السحب؛

**2** تُستعمل الطريقة الواردة في الفقرة 2.3 من الملحق 1 لحساب التوهين الناجم عن السحب في حال توفرت البيانات المحلية المقيسة للمحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل في السحب؛

**3** تُستعمل المعلومات الواردة في الفقرة 4 من الملحق 1 للحسابات العالمية لآثار الانتشار التي تتطلبها، *من جملة أمور*، نماذج القناة المكانية الزمانية التي تستلزم صيغة تحليلية لإحصاءات المحتوى العمودي للماء السائل الذي تنطوي عليه السحب.

# الملحق 1

## 1 مقدمة

في السحب أو الضباب المكون كلياً من قطيرات صغيرة، تقل عموماً عن 0,01 cm، يصح تقريب رايلي (Rayleigh) للترددات حتى 200 GHz. ويمكن كتابة التوهين النوعي ضمن سحابة أو ضباب كما يلي:

$$\gamma_c(f,T) = K_l(f,T)M \qquad \text{(dB/km)} \tag{1}$$

حيث:

$\gamma_c$: التوهين النوعي (dB/km) ضمن سحابة

$K_l$: معامل التوهين النوعي للماء السائل في السحب ((dB/km)/(g/m$^3$))

$M$: كثافة الماء السائل في السحب أو الضباب (g/m$^3$)

$f$: التردد (GHz)

$T$: درجة حرارة الماء السائل في السحب (K).

وعند ترددات من مرتبة 100 GHz فما فوق، يمكن للتوهين الناجم عن الضباب أن يكون ذا شأن. إذ تبلغ كثافة الماء السائل في الضباب نحو 0,05 g/m$^3$ نمطياً للضباب المتوسط (إمكانية الرؤية بمرتبة 300 m) و0,5 g/m$^3$ للضباب الكثيف (إمكانية الرؤية بمرتبة 50 m).

## 2 معامل التوهين النوعي للماء السائل في السحب

يمكن استعمال نموذج رياضي قائم على انتثار رايلي لحساب قيمة $K_l$ في ترددات تصل حتى 200 GHz، ويستعمل هذا النموذج نموذج ديباي (Debye) المزدوج لسماحية عازل الماء $\varepsilon(f)$:

$$K_l(f,T) = \frac{0.819 f}{\varepsilon''(1+\eta^2)} \qquad \text{(dB/km)/(g/m}^3\text{)} \tag{2}$$

حيث $f$ هو التردد (GHz)، و:

$$\eta = \frac{2+\varepsilon'}{\varepsilon''} \tag{3}$$

وتعطى سماحية عازل الماء المعقدة كما يلي:

$$\varepsilon''(f) = \frac{f(\varepsilon_0-\varepsilon_1)}{f_p\left[1+(f/f_p)^2\right]} + \frac{f(\varepsilon_1-\varepsilon_2)}{f_s\left[1+(f/f_s)^2\right]} \tag{4}$$

$$\varepsilon'(f) = \frac{\varepsilon_0-\varepsilon_1}{\left[1+(f/f_p)^2\right]} + \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{\left[1+(f/f_s)^2\right]} + \varepsilon_2 \tag{5}$$

حيث:

$$\varepsilon_0 = 77{,}66 + 103{,}3(\theta - 1) \tag{6}$$

$$\varepsilon_1 = 0{,}0671\varepsilon_0 \tag{7}$$

(8) $$\varepsilon_2 = 3{,}52$$

(9) $$\theta = 300 / T$$

و$T$ هي درجة حرارة الماء السائل (K).

أما ترددات الانفراج الرئيسية ($f_p$) وترددات الانفراج الثانوية ($f_s$) فهي:

(10) $$f_p = 20{,}20 - 146\ (\theta - 1) + 316\ (\theta - 1)^2 \quad \text{(GHz)}$$

(11) $$f_s = 39{,}8 f_p \quad \text{(GHz)}$$

## 3 توهين السحب على طول مسيرات مائلة

ينبغي استعمال الطريقة الواردة في الفقرة 1.3 للتنبؤ بتوهين السحب على طول مسيرات مائلة في حال عدم توفر البيانات المحلية المقيسة للمحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل في السحاب $L$ (kg/m$^2$ أو على نحو مكافئ mm). وتستند طريقة التنبؤ هذه إلى البيانات ERA-40 حيث يُخفّض المحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل في السحابة إلى درجة حرارة ثابتة قدرها 273,15 K، ويستعمل $L_{red}$ (kg/m$^2$ أو على نحو مكافئ mm).

وإذا كانت البيانات المحلية المقيسة للمحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل في السحب، $L$، متاحة من مصادر أخرى، كالقياسات الراديوية الأرضية أو منتجات عملية رصد الأرض أو المنتجات الرقمية للأرصاد الجوية فينبغي استعمال الطريقة الواردة في الفقرة 2.3 لحساب توهين السحب على طول مسيرات مائلة.

### 1.3 توزيع توهين السحب على طول مسيرات مائلة استناداً إلى خرائط عالمية رقمية

توهين السحب على طول مسير مائل، $A$، لاحتمال معين، $p$، هو:

(12) $$A = \frac{L_{red}\ K_l\left(f, 273.15\right)}{\sin j} \quad \text{(dB)} \quad \text{for} \quad 90° \geq \varphi \geq 5°$$

حيث $L_{red}$ هو المحتوى الإجمالي العمودي للماء السائل الذي خُفضت درجة حرارته إلى 273,15 K، $L_{red}$ (kg/m$^2$ أو على نحو مكافئ ملليمترات (mm)) عند احتمالية $p$، فإن $\varphi$ هي زاوية الارتفاع وتحسب قيمة $K_l$ باستعمال المعادلات (2) إلى (11) لدرجة حرارة الماء 273,15 K.

وتشكل القيم السنوية للمحتوى العمودي الكلي للماء السائل في السحاب بعد تخفيض درجة حرارته، $L_{red}$ (kg/m$^2$)، المتجاوَزة مستويات الاحتمال 0,1 و0,2 و0,3 و0,5 و1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و50 و60 و70 و80 و90 و95 و99% من سنة متوسطة جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وتتاح في شكل خرائط رقمية.

وتشكل القيم السنوية للمحتوى العمودي الكلي للماء السائل في السحاب بعد تخفيض درجة حرارته، $L_{red}$ (kg/m$^2$)، المتجاوَزة مستويات الاحتمال 1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و50 و60 و70 و80 و90 و95 و99% من كل شهر متوسط جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وتتاح في شكل خرائط رقمية.

وتتوفر هذه الخرائط الرقمية في الملف الإضافي R-REC-P.840-8-201908-I!!ZIP-E.zip.

وترد البيانات من 0° إلى 360° في خطوط الطول ومن +90° إلى −90° في خطوط العرض، باستبانة 1,125° في خطوط العرض والطول على السواء.

ويمكن اشتقاق المحتوى العمودي الكلي للماء السائل في السحاب بعد تخفيض درجة حرارته في أي موقع نريد على سطح الأرض بطريقة الاستكمال الداخلي التالية:

أ ) حدد الاحتمالين، $p_{above}$ و$p_{below}$، فوق وتحت الاحتمال المرغوب، $p$، من المجموعة: 0,1 و0,2 و0,3 و0,5 و1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و50 و60 و70 و80 و90 و95 و99% للإحصاءات السنوية، ومن المجموعة: 1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و50 و60 و70 و80 و90 و95 و99% للإحصاءات الشهرية؛

ب) ومن الاحتمالين، $p_{above}$ و$p_{below}$، حدد المحتوى العمودي الكلي للماء السائل في السحاب بعد تخفيض درجة حرارته $L_{red1}$ و$L_{red2}$ و$L_{red3}$ و$L_{red4}$، في أقرب أربع نقاط في الشبكة؛

ج) حدد المحتوى العمودي الكلي للماء السائل بعد تخفيض درجة حرارته، $L_{redabove}$ و$L_{redbelow}$، في الاحتمالين $p_{above}$ و$p_{below}$، بإجراء الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية للقيم الأربع للمحتوى العمودي الكلي للماء السائل في السحاب بعد تخفيض درجة حرارته $L_{red1}$ و$L_{red2}$ و$L_{red3}$ و$L_{red4}$ في نقاط الشبكة الأربع، حسب الوصف الوارد في التوصية ITU-R P.1144؛

د ) حدد المحتوى العمودي الكلي للماء السائل في السحاب بعد تخفيض درجة حرارته، $L_{red}$، في الاحتمال المرغوب، $p$، بإجراء استكمال داخلي لـ $L_{redabove}$ و$L_{redbelow}$ مقابل الاحتمالين $p_{above}$ و$p_{below}$ إلى $p$ على مقياس المحتوى $L_{red}$ الخطي مقابل لوغاريتم $p$.

### 2.3 توهين السحب على طول مسيرات مائلة استناداً إلى بيانات محلية

توهين السحاب على مسير مائل، $A$، هو:

$$A = \frac{LK_l^*(f, 273.15)}{\sin\varphi} \quad \text{(dB)} \quad \text{for} \quad 90° \geq \varphi \geq 5° \tag{13}$$

حيث يكون، $L$، مجموع المحتوى العمودي الكلي للماء السائل (kg/m$^2$ أو على نحو مكافئ mm) فإن $\varphi$ هي زاوية الارتفاع، ويحسب $K_l$ كالآتي:

$$K_l^*(f,T) = \frac{0.819(1.9479\times10^{-4} f^{2.308} + 2.9424 f^{0.7436} - 4.9451)}{\varepsilon''(1+\eta^2)} \quad \text{(dB/km)/(g/m}^3\text{)} \tag{14}$$

حيث تعطى القيمة $\eta$ في المعادلة (3) والقيمة "$\varepsilon$ في المعادلة (4) ودرجة حرارة الماء السائل، $T$، هي 273,15 K.

## 4 تقريب $L_{red}$ بتوزيع لوغاريتمي طبيعي

يمكن تقريب الإحصاءات السنوية للمحتوى العمودي الكلي للماء السائل المخُفض إلى درجة حرارة تبلغ 273,15 K بتوزيع ديراك لوغاريتمي طبيعي. وتشكل معلمات الخرائط الرقمية للوسط $m$، ومعلمات الانحراف المعياري $\sigma$، ومعلمات احتمال المحتوى العمودي الكلي غير الصفرية للماء السائل المخُفض إلى درجة حرارة تبلغ 273,15 K $P_{CLW}$ جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية، وتتاح في ملف إضافي R-REC-P.840-8-201908-I!!ZIP-E.zip. وتتراوح البيانات من 0° إلى 360° في خطوط الطول ومن +90° إلى −90° في خطوط العرض، باستبانة 1,125° في خطوط العرض والطول على السواء.

ويورد هذا القسم القيم $m$ و$\sigma$ و$P_{CLW}$(%) في موقع مرغوب يتطلبه مولد السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في التوصية ITU-R P.1853؛ وترد القيمة $L_{red}$ ذات الصلة كمرجع فقط. وينبغي استعمال القسم 3 لحساب $L_{red}$ في جميع الحالات الأخرى بدلاً من الحساب التقريبي الوارد في هذا القسم.

ويمكن اشتقاق المحتوى العمودي الكلي للماء السائل المخُفض إلى درجة حرارة تبلغ K 273,15، و$L_{red}$، في أي موقع نريد على سطح الأرض لأي احتمال تجاوز $P$(%)، بين 0,1% و 99% من سنة متوسطة، على النحو التالي:

أ ) تُحدد المعلمات $m_1$ و$m_2$ و$m_3$ و$m_4$ و$\sigma_1$ و$\sigma_2$ و$\sigma_3$ و$\sigma_4$ و$P_{CLW1}$ و$P_{CLW2}$ و$P_{CLW3}$ و$P_{CLW4}$ في النقاط الأربع المحيطة في الشبكة؛

ب) تُحدد القيم $m$ و$\sigma$ و$P_{CLW}$ في الموقع المرغوب بإجراء الاستكمال الداخلي المكاني ثنائي الخطية لكلٍّ من المعلمات $m$ و$\sigma$ و$P_{CLW}$، باستخدام الأسلوب الموصوف في الملحق 1 للتوصية ITU-R P.1144؛

ج) لأغراض مرجعية، $L_{red}$، المحتوى العمودي الكلي للماء السائل المخُفض إلى درجة حرارة تبلغ K 273,15 في الموقع المرغوب على سطح الأرض، واحتمال التجاوز $P$، من الاستكمال الداخلي ثنائي الخطية مكانياً لقيم $m$ و$\sigma$ و$P_{CLW}$، على النحو الآتي:

'1' في حال $P \leq P_{CLW}$،

$$L_{red} = 0 \tag{15a}$$

'2' أو،

$$L_{red} = e^{m+\sigma Q^{-1}\left(\frac{P}{P_{CLW}}\right)} \ (\text{kg/m}^2) \tag{15b}$$

حيث إن $Q^{-1}(x)$ هي دالة مقلوب التوزيع الطبيعي التراكمي التكميلي العادي المعياري المحددة في التوصية ITU-R P.1057.