**السلسلة P**

**انتشار الموجات الراديوية**

**التوصيـة ITU-R  P.2146-0  
(2022/08)**

**التوصيـة ITU-R  P.2146-0  
(2022/08)**

**الانتثار بمحطتين عند سطح البحر**

**تمهيـد**

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](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** | **العنـوان** |
| **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، 2023

© ITU 2023

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

التوصيـة ITU-R P.2146-0

الانتثار بمحطتين عند سطح البحر

(المسألة ITU-R [208-6/3](https://www.itu.int/pub/R-QUE-SG03.208))

 (2022)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية طريقة للتنبؤ بمعامل الانتثار بمحطتين ومعامل الانعكاس المتماسك عند سطح البحر. ويمكن تطبيق هذا النموذج عند أي زاوية ارتفاع، باستثناء الورود التماسي، وينطبق على ترددات تصل إلى GHz 100 وعلى سرعات رياح تتراوح بين m/s 0,5 وm/s 25.

مصطلحات أساسية

معامل الانتثار بمحطتين، الانتثار المتماسك، الانتثار المشتت، سرعة الرياح، قيم المتوسط التربيعي للميل عكس اتجاه الريح وفي الاتجاه المتعامد مع اتجاه الريح، موجة ثقالية، موجة شعرية، اضطراب كبير، اضطراب صغير

المختصرات/الأسماء المختصرة

ECMWF المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*)

ERA5 الجيل الخامس من عمليات إعادة التحليل الجوية التي أجراها المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى   
(*ECMWF Reanalysis version 5*)

توصيات وكتيبات قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة

التوصية ITU-R [P.372](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/en)

التوصية ITU-R [P.452](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.452/en)

التوصية ITU-R [P.527](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.527/en)

التوصية ITU-R [P.528](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.528/en)

التوصية ITU-R [P.676](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.676/en)

التوصية ITU-R [P.680](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.680/en)

التوصية ITU-R [P.1144](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1144/en)

التوصية ITU-R [P.2148](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.2148/en)

**ملاحظة** – في كل حالة، ينبغي استخدام أحدث مراجَعة/طبعة من التوصية سارية النفاذ.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

*أ )* أن التخطيط الصحيح لأنظمة رصد سطح الأرض والأنظمة الفضائية الموجهة إلى الأسفل يتطلب نماذج مناسبة للتنبؤ بمعامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر؛

*ب)* أن معامل الانتثار بمحطتين قد يتضمن أحد المكونين التاليين أو كليهما: مكون معامل الانتثار المتماسك بمحطتين ومكون معامل الانتثار المشتت (غير المتماسك) بمحطتين؛

*ج)* أن الانتثار المشتت بمحطتين قد ينتج عن اضطراب كبير تحركه موجة ثقالية طويلة وعن اضطراب صغير تحركه موجة شعرية قصيرة؛

*د )* أن الرياح تحرك كل من الموجة الثقالية الطويلة والموجة الشعرية القصيرة على السواء؛

*هـ )* أنه قد تم تطوير نموذج يسمح بالتنبؤ بمعامِلات الانتثار بمحطتين عند سطح البحر اللازمة لتقييم العديد من معلمات الانتشار من قبيل عمق الخبو، والضوضاء الجوية الناجمة عن الانبعاثات من سطح البحر، وقدرة التداخل الناجمة عن الانتثار عند سطح البحر،

توصي

باستخدام الطريقة المبينة في الملحق للتنبؤ بمعامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر.

الملحق

**جدول المحتويات**

*الصفحة*

[سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR) ii](#_Toc127190320)

[الملحق 2](#_Toc127190321)

[1 مقدمة 4](#_Toc127190322)

[2 الخطوة 0: معلمات الدخل 7](#_Toc127190323)

[1.2 معلمات الدخل المتعلقة بالانتشار 7](#_Toc127190324)

[2.2 معلمات الدخل المتعلقة بسطح البحر 7](#_Toc127190325)

[3 الخطوة 1: تحديد السماحية النسبية المركبة لمياه البحر 9](#_Toc127190326)

[4 الخطوة 2: تحديد المعلمات المتعلقة باضطراب سطح البحر 9](#_Toc127190327)

[1.4 الكثافة الطيفية للارتفاع الصغير لسطح البحر (الموجة الشعرية) وتغاير ارتفاع البحر 9](#_Toc127190328)

[2.4 كثافة الاحتمال الخاصة بكثافة الاحتمال لقيم ميل السطح الكبيرة (الموجة الثقالية) 9](#_Toc127190329)

[5 الخطوة 3: تحديد معامل الانتثار بمحطتين المتماسك 11](#_Toc127190330)

[6 الخطوة 4: تحديد الانتثار بمحطتين المشتت الناتج عن اضطراب كبير 11](#_Toc127190331)

[7 الخطوة 5: تحديد الانتثار بمحطتين المشتت الناتج عن اضطراب صغير 12](#_Toc127190332)

[8 جمع مكونات معامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر 16](#_Toc127190333)

[1.8 معاملات الانتثار الخلفي (backscattering) عند سطح البحر 16](#_Toc127190334)

[2.8 معاملات الانتثار بمحطتين عند سطح البحر في الاتجاه الأمامي 18](#_Toc127190335)

[المرفق A بالملحق - حساب معاملات الانتثار بين موجة مستقطَبة دائرياً وموجة مستقطَبة خطياً 22](#_Toc127190336)

[1.A قدرة موجة واردة مستقطَبة دائرياً إلى قدرة موجة منتثرة مستقطبة خطياً 22](#_Toc127190337)

[2.A قدرة موجة واردة مستقطبة خطياً إلى قدرة موجة منتثرة مستقطبة دائرياً 23](#_Toc127190338)

[المرفق B بالملحق - حساب معاملات الانتثار بين موجتين مستقطبتين دائرياً 23](#_Toc127190339)

[المرفق C بالملحق - تقريبات بسيطة 24](#_Toc127190340)

[المرفق D بالملحق - نموذج أطياف ارتفاع سطح البحر 25](#_Toc127190341)

[المرفق E بالملحق - قدرة تداخل إشارة منعكسة من سطح البحر نحو مستقبِل 27](#_Toc127190342)

[1.E مقدمة 27](#_Toc127190343)

[2.E القدرة المستقبَلة المتماسكة 27](#_Toc127190344)

[3.E القدرة المستقبَلة المشتتة 28](#_Toc127190345)

# 1 مقدمة

تقدم هذه التوصية طريقة للتنبؤ بمعامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر بدلالة الملوحة ودرجة الحرارة وسرعة الرياح والاتجاه النسبي للرياح ومقلوب عمر الموجة عند سطح البحر. وإذا لم تتوفر البيانات المحلية بشأن هذه المعلمات، ينبغي عندئذٍ استخدام القيم الافتراضية لهذه المعلمات على النحو المبين في الجدول 1. وتنطبق طريقة التنبؤ هذه على أي زاوية ارتفاع، باستثناء الورود التماسي، وعلى أي ترددات حتى GHz 100، وعلى سرعات رياح تتراوح بين m/s 0,5 وm/s 25.

ويتضمن معامل الانتثار بمحطتين مكونين، هما: (1 مكون متشتت (غير متماسك)، وهو جزء القدرة الواردة من اتجاه وارد منتثر مع اتجاه استقبال عشوائي، (2 مكون متماسك، وهو جزء القدرة الواردة المنتثرة خلفياً إلى الاتجاه الوارد (أي المرآوي).

وتفترض طريقة التنبؤ المبينة في الفقرات من 1 إلى 8 أن استقطابي المصدر والمستقبل خطيان. وإذا كان استقطاب المصدر و/أو المستقبِل دائرياً، فيمكن حساب معاملات الانتثار بمحطتين المناسبة من خلال معاملات الانتثار بمحطتين الخطية باستخدام الطرائق الواردة في المرفقات A أو B أو C بهذا الملحق.

ويمكن استخدام طرائق التنبؤ هذه للتنبؤ بقدرة التداخل المنعكسة من سطح البحر بين مصدر (مثلاً، مرسِل وصلة هابطة) ومستقبِل يستقبل التداخل الضار (مثلاً، مستقبِل ساتلي لرصد الأرض) باستخدام الطريقة الواردة في المرفق E.

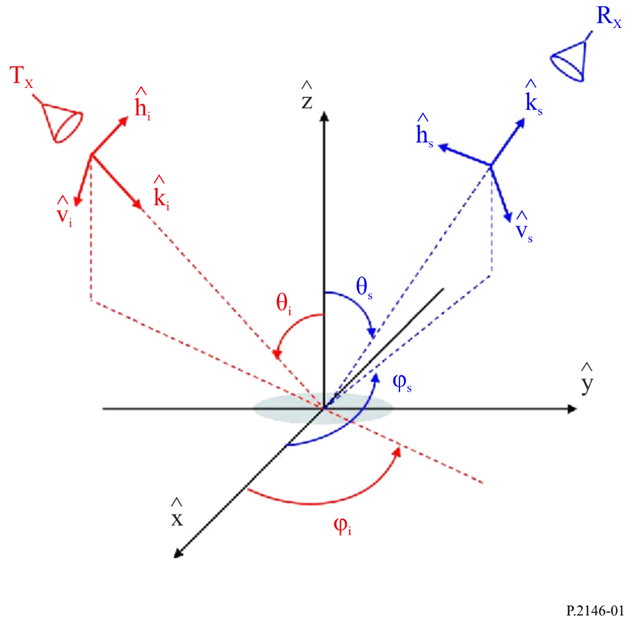
وعلى العموم، سطح البحر هو سطح مضطرب عشوائياً، وهذا الاضطراب ناجم عن الرياح. ومعامل الانتثار بمحطتين، ، هو جزء القدرة المنتثرة على طول الاتجاه مع الاستقطاب الناتج عن الموجة الواردة المضيئة للسطح على طول الاتجاه مع الاستقطاب (انظر الشكل 1). ويُحسب جزء القدرة لكل وحدة من وحدات الزوايا المجسمة ولكل وحدة من وحدات المساحة. ونظراً للطبيعة المعقدة لاضطراب السطح، يُفترض أن معامل الانتثار بمحطتين يتضمن مكونين: مكون متماسك ، ومكون مشتت (غير متماسك) . ويُجمع هذان المكونان معاً للحصول على المعادلة التالية:

(1)

المكون المتماسك موجود فقط على طول الاتجاه المرآوي للسطح (، ).

الشكل 1

التشكيل الهندسي للانتثار بمحطتين على سطح البحر



يوضح الشكل 1 الهندسة المأخوذة في الاعتبار في نموذج الانتثار. المستوي xy هو سطح البحر الأفقي، واتجاه السمت هو المحور الموجب z. والمحور الموجب x هو الاتجاه عكس اتجاه الريح[[1]](#footnote-1)، والمحور الموجب y هو الاتجاه المتعامد مع اتجاه الريح، حيث تقاس زاوية سمت الورود، ، وزاوية سمت الانتثار، ، انطلاقاً من المحور الموجب z. وتقاس زاوية ميقاتية الورود، ، وزاوية مقاتية الانتثار، ، في المستوي xy في الاتجاه المعاكس لاتجاه عقارب الساعة بالنسبة إلى الاتجاه عكس اتجاه الريح.

ويتم التعامل مع سطح البحر على أنه سطح بمقياسين من الاضطراب، اضطراب كبير واضطراب صغير، فوق الاضطراب الطويل. ويرتبط الاضطراب الطويل بالموجة الثقالية الطويلة، في حين يرتبط الاضطراب الصغير بالموجة الشعرية القصيرة. وبناء على ذلك، فإن المكون المشتت (غير المتماسك) لمعامل الانتثار بمحطتين، ، هو مجموع مكونين على النحو المبين في المعادلة (2):

(2)

يُنسب الحد الأول في المعادلة (2) إلى الاضطراب الطويل لسطح البحر، ويُنسب الحد الثاني إلى الاضطراب الصغير.

ويمكن بناء نموذج التنبؤ بالمكونين المتماسك والمشتت (غير المتماسك) لمعامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر استناداً إلى المخطط الانسيابي المبين في الشكل 2.

الشكل 2

مخطط انسيابي لنموذج التنبؤ بالانتثار بمحطتين عند سطح البحر

A picture containing table

Description automatically generated

يتعلق معامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر المنمذج هنا بالموجات الواردة المستقطبلة خطياً والموجات المنتثرة المستقطبة خطياً. وترد التحولات من أساس الاستقطاب الخطي إلى توليفات أخرى للاستقطاب الوارد والاستقطاب المنتثر في المرفق A والمرفق B:

- يتعلق المرفق A بالموجات الواردة المستقطبة دائرياً والموجات المنتثرة المستقطبة خطياً.

- يتعلق المرفق B بالموجات الواردة المستقطبة دائرياً والموجات المنتثرة المستقطبة دائرياً.

- يقدم المرفق C تقريبات بسيطة لمعاملات الانتثار بمحطتين الواردة في المرفق A والمرفق B.

وعلاوة على ذلك،

- يقدم المرفق D نموذجاً لأطياف ارتفاع سطح البحر.

- يقدم المرفق E منهجية لتحديد قدرة التداخل من إشارة منعكسة/منتثرة من سطح البحر نحو مستقبِل.

# 2 الخطوة 0: معلمات الدخل

للتنبؤ بقيم المكونين المتماسك والمشتت (غير المتماسك) لمعامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر، يلزم نوعان من معلمات الدخل، هما:

- معلمات الدخل المتعلقة بالانتشار،

- معلمات الدخل المتعلقة بسطح البحر.

## 1.2 معلمات الدخل المتعلقة بالانتشار

معلمات الدخل المتعلقة بالانتشار هي كالتالي:

- زاوية الارتفاع وزاوية السمت للموجة الواردة المضيئة لسطح البحر. وتحدد هاتان الزاويتان اتجاه الانتشار الوارد .

- متجه الاستقطاب للموجة المضيئة لسطح البحر.

- زاوية الارتفاع وزاوية السمت لاتجاه الانتثار الذي يُحسب على طوله معامل الانتثار بمحطتين.

- متجهات الاستقطاب للمجال المنتثر.

- التردد الذي يُحسب عنده معامل الانتثار بمحطتين. ويُعطى التردد بوحدات GHz. ويحدد التردد العدد الموجي RF، .

ونظراً إلى أن الاستقطابات الخطية فقط هي التي أُخذت في الاعتبار في هذا الملحق، فإن = أو و = أو ، حيث  تعني الاستقطاب الرأسي (الموازي)، و *تعني الاستقطاب الأفقي (المتعامد). وفي كامل هذه التوصية، استُعيض عن زوايا الارتفاع بزوايا السمت المقابلة .*

(3)

## 2.2 معلمات الدخل المتعلقة بسطح البحر

ترد معلمات الدخل المتعلقة بسطح البحر اللازمة للتنبؤ بالانتثار بمحطتين عند سطح البحر في الجدول 1 حيث يمكن استخدام القيم الافتراضية إذا كانت المعلمات المحلية غير معروفة.

الجدول 1

معلمات الدخل المتعلقة بسطح البحر

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| المعلمة | الوصف | القيمة الافتراضية |
| ملوحة سطح البحر | تلزم لحساب السماحية النسبية المركبة لسطح البحر | ppt 35 [[2]](#footnote-2) |
| درجة حرارة سطح البحر | تلزم لحساب السماحية النسبية المركبة لسطح البحر | 0، 15، °30 |
| سرعة الرياح (m/s) | سرعة الرياح عند ارتفاع 10 أمتار فوق سطح البحر | انظر النص أدناه |
| مقلوب عمر الموجة Ω | يكون البحر كامل النمو عندما تكون قيمة Ω قريبة من 0,85، وناضجاً عندما تكون قيمة Ω قريبة من 1، وناشئاً عندما تكون قيمة Ω أكبر من 2 | 0,85 |
| العدد الموجي عند الارتفاع القاطع للاضطراب | العدد الموجي للارتفاع الذي يقسم طيف ارتفاع سطح البحر إلى طيف الموجات الثقالية الطويلة وطيف الموجات الشعرية القصيرة | *k*0,5 حيث يشير *k* إلى العدد الموجي (1/m) |

سرعة الرياح ونظام الإحداثيات

ينبغي استخدام القيم المحلية للمعلمات الواردة في الجدول 1 إذا كانت متوفرة. وتعتمد سرعة الرياح عند ارتفاع 10 أمتار فوق سطح البحر على الموقع الجغرافي والموسم وتتغير بمرور الوقت. وإذا كانت البيانات المحلية المتعلقة بسرعة الرياح عند سطح البحر (الشدة والاتجاه والترابط المكاني والزماني) والمنطبقة على الموقع الجغرافي المحدد المعني متوفرة، فينبغي عندئذٍ استخدامها. وإذا لم يكن الترابط المكاني أو الزماني مطلوباً، يمكن استخدام الخرائط العالمية الواردة في التوصية ITU-R P.2148.

وإذا لم تتوفر بيانات محلية بشأن سرعة الرياح عند سطح البحر، يمكن عندئذ اشتقاق متجه الرياح الزماني المحلي من مصادر متعددة للبيانات العالمية؛ فعلى سبيل المثال، المكونان في اتجاهي الشرق والشمال لسرعة الرياح في الساعة عند ارتفاع 10 أمتار فوق سطح الأرض لعام 1979 متوفران في مخزن البيانات المناخية Copernicus التابع للمركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى (ECMWF).

وتوفر بعض مجموعات البيانات (مثل بيانات ERA5 للمركز الأوروبي ECMWF) المكون الشمالي (اتجاه الرياح نحو الشمال) لسرعة الرياح، *v*، والمكون الشرقي (اتجاه الرياح بحو الشرق) لسرعة الرياح، *u*. وبالنسبة لقيمة معينة للمكونين u وv، فإن مقدار سرعة الرياح عند ارتفاع 10 أمتار فوق سطح الأرض، ، يساوي . وكما هو مبين في الشكل 3، فإن الاتجاه عكس اتجاه الريح هو الاتجاه المضاد لاتجاه الريح؛ والزاوية في اتجاه عقارب الساعة من الشمال إلى الاتجاه عكس اتجاه الريح، ، هي . ومن ثم، المحور x الموجب الذي يقابل الاتجاه عكس اتجاه الريح، في الشكل 3، هو زاوية في اتجاه عقارب الساعة، ، بالنسبة إلى الشمال؛ أو، في المقابل، الشمال هو زاوية في الاتجاه المعاكس لاتجاه عقارب الساعة، ، بالنسبة إلى الاتجاه عكس اتجاه الريح.

وإذا كانت و الزاويتين الواردة والمنتثرة في اتجاه عقارب الساعة بالنسبة إلى الشمال، فإن و، الزاويتين الواردة والمنتثرة لاتجاه عقارب الساعة المقابلتين لهما والمبينتين في الشكل 3 تساويان: و.

الشكل 3

سرعة الرياح وأنظمة الإحداثيات

Chart, scatter chart

Description automatically generated

تُحسب المعلمات الوسيطة التالية من خلال معلمات الدخل أعلاه كجزء من الطريقة:

- السماحية النسبية المركبة لسطح البحر ،

- دالة الكثافة الطيفية لارتفاع سطح البحر ،

- تغاير ارتفاع سطح البحر ،

- متوسط تربيع قيم ميل سطح البحر في الاتجاه عكس اتجاه الريح والاتجاه المتعامد مع اتجاه الريح، و.

# 3 الخطوة 1: تحديد السماحية النسبية المركبة لمياه البحر

يُستخدم نموذج السماحية النسبية المركبة الوارد وصفه في المعادلات من (14) إلى (27) من التوصية ITU-R P.527-6 في هذه التوصية للحصول على السماحية النسبية المركبة لمياه البحر. ويصوغ هذا النموذج السماحية النسبية لمياه البحر، ، بدلالة ملوحة سطح البحر ودرجة حرارة سطح البحر والتردد RF. والقيم الافتراضية لملوحة سطح البحر ودرجة حرارته مبينة في الجدول 1.

# 4 الخطوة 2: تحديد المعلمات المتعلقة باضطراب سطح البحر

يوصف اضطراب سطح البحر من خلال المعلمات التالية:

- الكثافة الطيفية للارتفاع الصغير لسطح البحر، وهي مطلوبة لحساب المكون المشتت لمعامل الانتثار بمحطتين الناجم عن الاضطراب الصغير (الفقرة 6).

- قيمة جذر متوسط التربيع للارتفاع الإجمالي لسطح البحر، وهي مطلوبة لحساب انعكاسية المكون المتماسك (الفقرة 5).

- كثافة الاحتمال لقيم ميل السطح الكبيرة، وهي مطلوبة لحساب المكون المشتت لمعامل الانتثار بمحطتين الناجم عن الاضطراب الكبير (الفقرة 7).

## 1.4 الكثافة الطيفية للارتفاع الصغير لسطح البحر (الموجة الشعرية) وتغاير ارتفاع البحر

يرتبط الطيف الصغير بالطيف الاتجاهي لسطح البحر، ، على النحو التالي:

(4)

حيث تشير إلى العدد الموجي للارتفاع القاطع بمقياسين، وتشير إلى الإحداثيات القطبية للأعداد الموجية المكانية في الاتجاهين عكس اتجاه الريح والمتعامد مع اتجاه الريح المرتبطين بالإحداثيات الديكارتية لقيم ميل السطح. وترد الصيغة الصريحة للطيف في المرفق D.

وترتبط قيمة جذر متوسط التربيع للارتفاع الإجمالي لسطح البحر، ، المطلوبة لحساب انعكاسية المكون المتماسك، بسرعة الرياح، ، على النحو التالي:

(5)

حيث (تغاير ارتفاع السطح) بالأمتار المربعة، و (سرعة الرياح على ارتفاع 10 أمتار فوق سطح البحر) بوحدات m/s، و:

## 2.4 كثافة الاحتمال الخاصة بكثافة الاحتمال لقيم ميل السطح الكبيرة (الموجة الثقالية)

تمثَّل كثافة الاحتمال لقيم ميل السطح الكبيرة بتوزيع غوسي بمتغيرين ومتوسط صفري:

(6)

حيث و هما قيمتا الميل على طول الاتجاهين عكس اتجاه الريح والمتعامد مع اتجاه الريح في أجزاء السطح حيث تُحسب معاملات الانتثار المحلي بمحطتين. وعلاوةً على ذلك، تشير و إلى المتوسطين التربيعيين للميل في الاتجاهين عكس اتجاه الريح والمتعامد مع اتجاه الريح.

(7)

(8)

حيث معاملا الانحدار () و() في المعادلتين (7) و(8) يعتمدان على التردد بوحدات GHz على النحو التالي:

(9)

(10)

والمعاملان و مبينان في الجدولين 2 و3 على التوالي. والمعادلتان (7) و(8) صالحتان لقيم بين 0,5 m/s و25 m/s والترددات بين 1 و100 GHz.

الجدول 2

قيم معاملات الانحدار في المعادلة (9)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 0,001 316 803 829− | 0,000 766 377 24− | 0,000 178 465 995 | 0,000 163 583 254 | 2,722 372 719 5e-05− |
|  | 0,003 381 740 504 | 0,003 262 226 696 | 0,001 055 843 558 | 0,000 556 018 050− | 5,638 297 081 0e-05 |
|  | 8,387 091 908e-06− | 0,000 788 099 04− | 0,000 849 564 4− | 0,000 321 034 03 | 2,969 409 304 3e-05− |
|  | 7,172 344 345 1e-05− | 9,130 847 487e-05 | 0,000 180 310 43 | 6,039 065 778e-05− | 5,252 298 53e-06 |
|  | 9,781 960 983 7e-06 | 5,515 385 070e-06− | 1,831 052 853e-05− | 5,756 933 90e-06 | 4,820 426 74e-07− |
|  | 5,824 151 735 3e-07− | 1,831 590 630e-07 | 9,693 536 66e-07 | 2,928 018 73e-07− | 2,384 386 09e-08 |
|  | 1,662 701 734 3e-08 | 3,121 665 19e-09− | 2,590 444 81e-08− | 7,608 802 794e-09 | 6,063 116 61e-10− |
|  | 1,853 308 18e-10− | 2,084 451 182e-11 | 2,762 769 59e-10 | 7,94818760e-11− | 6,223 677 47e-12 |

الجدول 3

قيم معاملات الانحدار في المعادلة (10)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 0,000 388 356 64− | 0,000 566 882 739− | 0,000 187 663 9− | 0,000 195 168 030 1 | 2,564 879 98e-05− |
|  | 0,000 711 554 432 3 | 0,001 274 333 859 | 0,001 582 455 599 | 0,000 564 251 194− | 5,158 545 58e-05 |
|  | 0,000 467 115 768 | 7,665 602 489e-05 | 0,000 999 944 82− | 0,000 304 430 724 | 2,608 628 437e-05− |
|  | 0,000 113 274 18− | 7,062 890 94e-05− | 0,000 204 604 176 | 5,704 760 441e-05− | 4,619 116 82e-06 |
|  | 1,144 869 515e-05 | 9,917 914 997 6e-06 | 2,031 787 86e-05− | 5,376 554 489e-06 | 4,184 881 982e-07− |
|  | 5,954 866 288 2e-07− | 6,127 030 44e-07− | 1,063 995 76e-06 | 2,717 537 12e-07− | 2,052 809 6e-08 |
|  | 1,566 749 978 4e-08 | 1,794 015 885e-08 | 2,826 461 77e-08− | 7,033 322 599e-09 | 5,186 932 2e-10− |
|  | 1,651 144 028 4e-10− | 2,032 492 61e-10− | 3,003 151 95e-10 | 7,323 652 942e-11− | 5,294 665 17e-12 |

# 5 الخطوة 3: تحديد معامل الانتثار بمحطتين المتماسك

المكون المتماسك لمعامل الانتثار بمحطتين يشبه المكون المستقطب (vv أو hh) ويوجد فقط على طول اتجاه الانعكاس المرآوي:

(11)

في المعادلة أعلاه، يشير إلى معامل انعكاس فرينيل (Fresnel) للاستقطاب :

(12)

(13)

# 6 الخطوة 4: تحديد الانتثار بمحطتين المشتت الناتج عن اضطراب كبير

للحصول على معامل الانتثار بمحطتين الناتج عن اضطراب كبير (الموجة الثقالية)، استخدم زاويتي الورود (، ) وزاويتي الانتثار (، ) المتاحة في الفقرة 1.2 لحساب الكميات التالية.

(14)

(15)

(16)

(17)

(18)

(19)

(20)

(21)

(22)

أدخل المعادلتين (16) و(17) في المعادلة (23) للحصول على زاوية الورود المحلية عند نقطة السطح التي تساهم في معامل الانتثار بمحطتين:

(23)

أدخل المعادلة (23) في المعادلتين (12) و(13) باستخدام القيمة المناسبة للسماحية النسبية المركبة للحصول على انعكاس فرينيل المحلي و. وأدخل بعد ذلك معاملي فرينيل المحليين و إلى جانب النواتج المتدرجة للمتجهات في المعادلات من (18) إلى (21) في المعادلات من (24) إلى (27) للحصول على عوامل الاستقطاب:

في حالة :

(24)

(25)

(26)

(27)

في حالة :

(28)

(29)

(30)

(31)

أدخل المعادلات من (14) إلى (17) ومن (24) إلى (27) في المعادلة (32) للحصول على المكون المشتت لمعامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر الناتج عن الموجة الثقالية الطويلة:

(32)

حيث يشير و إلى المتوسطين التربيعيين لقيمتي ميل السطح في الاتجاه عكس اتجاه الريح والاتجاه المتعامد مع اتجاه الريح، المبينتين في المعادلتين (7) و(8) كدالة لسرعة الرياح والتردد .

# 7 الخطوة 5: تحديد الانتثار بمحطتين المشتت الناتج عن اضطراب صغير

يُستهل النهج المتبع للحصول على الانتثار بمحطتين المشتت الناتج عن اضطراب صغير بتحديد القيم القصوى والقيم الدنيا لقيمتي الميل و.

وتقسَّم منطقة الميل المقابلة للقيم القصوى والقيم الدنيا إلى نقاط مساحتها 64 × 64 باستخدام عُقد التربيع الغوسي. وفي عقدة عشوائية ، يمكن صياغة قيم الميل على النحو التالي:

(33)

(34)

وفي المعادلتين (33) و(34)، تشير و إلى عُقد التربيع الغوسي ( المقابلة للعُقد المشار إليها في القسم 3 من ملحق التوصية ITU-R P.1144-11، أي . وكذلك و.

الشكل 4

زاويتا الانتثار المحليتان (، ) وزاويتا ميل السطح العمودي (زاوية السمت وزاوية الاتجاه )

Diagram

Description automatically generated

في العقدة الغوسية أعلاه، تُجرى الخطوات التالية:

- حساب زاوية السمت وزاوية الاتجاه اللتين تحددان ميل عمودي السطح الكبير على سطح البحر (انظر الشكل 4) من خلال إدخال المعادلتين (32) و(33) في المعادلات من (35) إلى (37):

(35)

(36)

(37)

- حساب زاويتي الانتثار المحليتين وزاويتي الورود المحليتين و، و و في نقطة العقدة هذه:

(38)

(39)

(40)

و

(41)

(42)

(43)

- يمكن حساب زاويتي الورود ووزاويتي الانتثار المحلية من الحصول على مكونات الاستقطاب الأفقي الوارد والاستقطاب الأفقي المنتثر:

(44)

(45)

(46)

(47)

و

(48)

(49)

(50)

(51)

- حساب النواتج المتدرجة التالية للمتجهات في اتجاه الورود:

(52)

(53)

(54)

(55)

والنواتج المتدرجة التالية للمتجهات في اتجاه الانتثار:

(56)

(57)

(58)

(59)

- حساب عوامل الاستقطاب في الإطار المحلي من خلال إدخال المعادلتين (38) و(41) إلى جانب القيمة المناسبة للسماحية النسبية المركبة في المعادلات من (60) إلى (63):

(60)

(61)

(62)

(63)

- حساب عوامل الاستقطاب من خلال إدخال المعادلات من (60) إلى (63) والمعادلات من (52) إلى (59) في المعادلات من (64) إلى (67):

(64)

(65)

(66)

(67)

تضمن الدالة أن العقدة الغوسية ترى الاتجاه الوارد والاتجاه المنتثر في آن واحد:

(68)

ومن الضروري تكرار الإجراءات أعلاه لتغطية جميع عُقد الميل.

ولحساب معامل الانتثار المشتت بمحطتين عند سطح البحر الناتج عن الموجات القصيرة، تُستعمل الصيغ أعلاه لحساب المعادلتين (69) و(70) في جميع العقد:

(69)

(70)

يتم الحصول على المعادلة (69) من المعادلة (6). إضافة إلى ذلك، تشير الدالة في المعادلة (70) إلى دالة الكثافة الطيفية للموجة القصيرة، المبينة في المرفق D والمحسوبة عند ، ويُحسب العدد الموجي للارتفاع، ، من خلال المعادلة التالية:

(71)

ثم تدخَل المعادلات من (68) إلى (71) في المعادلة (72) لحساب معامل الانتثار المشتت بمحطتين عند سطح البحر الناتج عن الاضطراب الصغير (موجة شعرية قصيرة):

(72)

في المعادلة (72)، يشير و إلى وزني التربيع الغوسي المبينين في القسم 3 من ملحق التوصية ITU-R P.1144-11. والعامل  هو مقدار ثابت يتم حسابه من خلال المعادلة التالية:

(73)

# 8 جمع مكونات معامل الانتثار بمحطتين عند سطح البحر

يتم جمع المكون المتماسك (11) والمكونين المشتتين (32) و(72) لمعاملات الانتثار بمحطتين عند سطح البحر واستعمال هذه المكونات لاستكشاف خصائص هذه المعاملات في اتجاه الانتثار الخلفي والاتجاه الأمامي (المرآوي).

(74)

## 1.8 معاملات الانتثار الخلفي (backscattering) عند سطح البحر

معاملات الانتثار الخلفي عند سطح البحر مهمة، خاصة لمجتمعات الاستشعار النشيط عن بُعد. ولا تحتوي هذه المعاملات على أي مكون متماسك، ويمكن حسابها بجمع المعادلتين (32) و(72) من خلال وضع (أي و). وتوضح الأشكال من 5 إلى 8 اعتماد معاملات الانتثار الخلفي عند سطح البحر على زارية الورود والاستقطاب وسرعة الرياح واتجاهها.

الشكل 5

معاملات الانتثار الخلفي على طول الاتجاه عكس اتجاه الريح كدالة في زاوية الورود عند قيم مختلفة لسرعة الرياح   
(التردد = 13,6 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart

Description automatically generated

الشكل 6

معاملات الانتثار الخلفي كدالة في سرعة الرياح عند قيم مختلفة لزاوية الورود  
(التردد = 13,6 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart

Description automatically generated

الشكل 7

معاملات الانتثار الخلفي في الاتجاه عكس اتجاه الريح كدالة في زاوية الورود  
(التردد = 18,6 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، = 18 m/s، الملوحة = 35 ppt)

Chart, line chart

Description automatically generated

الشكل 8

معاملات الانتثار الخلفي في الاتجاه المتعامد مع اتجاه الريح كدالة في زاوية الورود  
(التردد = 18,6 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، = 18 m/s، الملوحة = 35 ppt)

Chart, line chart

Description automatically generated

## 2.8 معاملات الانتثار بمحطتين عند سطح البحر في الاتجاه الأمامي

يمكن استخدام معاملات الانتثار بمحطتين عند سطح البحر في الاتجاه الأمامي من أجل تقييم قدرة التداخل التي يستقبلها أي هوائي استقبال. ويمكن أيضاً استخدام معاملات الانتثار بمحطتين عند سطح البحر هذه لحساب عمق الخبو الناجم عن انعكاسات سطح البحر في التوصية ITU‑R P.680-3. ويمكن حسابها من خلال جمع المكون المتماسك (11) والمكونين المشتتين. والمكون المتماسك موجود فقط على طول اتجاه الانعكاس المرآوي (، ). ويحدَّد المكون المشتت في المعادلتين (32) و(72) بوضع .

وتتضمن الأشكال من 9 إلى 14 أمثلة لمعاملات الانتثار بمحطتين في الاتجاه الأمامي. ويحتوي الشكلان 9 و10 على قيمة ثابتة لزاوية الانتثار (زاوية رصد الاستقبال) وقيماً متغيرة لزاوية الورود (اتجاه الإشارات المسببة للتداخل). وأجريت حسابات الشكل 9 عند التردد 1,2276 GHz (التردد L2 للنظام العالمي لتحديد الموقع (GPS))، وحسابات الشكل 10 عند التردد 18,6 GHz. وفي كل شكل، تُحسب معاملات الانتثار بمحطتين عند سرعتين مختلفتين للرياح: = 2 m/s و = 25 m/s.

وتحتوي الأشكال من 11 إلى 14 على قيمة ثابتة لزاوية الورود (زاوية مصدر التداخل) وقيماً متغيرة لزاوية الانتثار. وأجريت حسابات الشكلين 11 و13 عند التردد 1,2276 GHz، وحسابات الشكلين 12 و14 عند التردد 18,6 GHz. وأجريت حسابات الشكلين 11 و12 عند درجة حرارة لسطح البحر تساوي 30 درجة مئوية. وأجريت حسابات الشكلين 13 و14 عند درجة حرارة لسطح البحر تساوي 5 درجات مئوية. وعلاوة على ذلك، تُحسب معاملات الانتثار بمحطتين، في كل شكل من الأشكال من 11 إلى 14، عند سرعتين مختلفتين للرياح: = 2 m/s و = 25 m/s.

ونظراً للتبادلية، يؤدي تثبيت زاوية الورود أو زاوية الانتثار إلى نتائج مماثلة. وبناء على ذلك، تختلف القيمة الثابتة لزاوية الانتثار في الشكلين 8 و9 عن القيمة الثابتة لزاوية الورود في الأشكال من 11 إلى 14.

ويتبين من مقارنة الشكل 11 مع الشكل 13 ومقارنة الشكل 12 مع الشكل 14 أن درجة الحرارة لا تؤثر بشكل ملحوظ على معامل الانتثار بمحطتين، فيما يتعلق بدرجات الحرارة أعلى من درجة التجمد.

الشكل 9

معاملات الانتثار الأمامي بمحطتين كدالة في زاوية الورود عند قيم مختلفة لسرعة الرياح  
( = 30 درجة، التردد = 1,2276 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart, line chart

Description automatically generated

الشكل 10

معاملات الانتثار الأمامي بمحطتين كدالة في زاوية الورود عند قيم مختلفة لسرعة الرياح  
( = 30 درجة، التردد = 18,6 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart, scatter chart

Description automatically generated

الشكل 11

معاملات الانتثار الأمامي بمحطتين كدالة في زاوية الانتثار عند قيم مختلفة لسرعة الرياح  
( = 50 درجة، التردد = 1,2276 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart

Description automatically generated

الشكل 12

معاملات الانتثار الأمامي بمحطتين كدالة في زاوية الانتثار عند قيم مختلفة لسرعة الرياح  
( = 50 درجة، التردد = 18,6 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 30 درجة مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart, line chart

Description automatically generated

الشكل 13

معاملات الانتثار الأمامي بمحطتين كدالة في زاوية الانتثار عند قيم مختلفة لسرعة الرياح  
( = 50 درجة، التردد = 1,2276 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 5 درجات مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart, line chart

Description automatically generated

الشكل 14

معاملات الانتثار الأمامي بمحطتين كدالة في زاوية الانتثار عند قيم مختلفة لسرعة الرياح  
( = 50 درجة، التردد = 18,6 GHz، Ω = 0,84، درجة الحرارة = 5 درجات مئوية، الملوحة = 35 ppt)

Chart, line chart

Description automatically generated

المرفق A  
بالملحق  
  
حساب معاملات الانتثار بين موجة مستقطَبة دائرياً وموجة مستقطَبة خطياً

يوفر هذا المرفق حسابات معاملات الانتثار بمحطتين بين أ) موجة واردة مستقطَبة دائرياً وموجة منتثرة مستقطَبة خطياً (أي ، حيث تشير إما إلى الاستقطاب الدائري الميامن، ، أو الاستقطاب الدائري المياسر، ، وتشير إما إلى الاستقطاب الرأسي، ، أو الاستقطاب الأفقي، )، ب) موجة واردة مستقطَبة خطياً وموجة منتثرة مستقطَبة دائرياً (أي ، حيث تشير إما إلى الاستقطاب الرأسي، ، أو الاستقطاب الأفقي، ، وتشير إما إلى الاستقطاب الدائري الميامن، ، أو الاستقطاب الدائري المياسر، ).

## 1.A قدرة موجة واردة مستقطَبة دائرياً إلى قدرة موجة منتثرة مستقطبة خطياً

في هذه الحالة، يمكن الحصول على المكونات المتماسكة لمعامل الانتثار بمحطتين الناتجة عن سطح البحر من المعادلة (11) من خلال إحلال محل ، مع

(a.1)

(a.2)

(a.3)

(a.4)

و.

ويمكن الحصول على معامل الانتثار بمحطتين الناتج عن الموجة الثقالية الطويلة من المعادلة (32) من خلال إحلال عوامل الاستقطاب محل عوامل الاستقطاب ، مع:

(a.5)

(a.6)

(a.7)

(a.8)

ويمكن الحصول على معامل الانتثار بمحطتين الناتج عن الموجة الشعرية القصيرة من المعادلة (72) من خلال إحلال عوامل الاستقطاب محل عوامل الاستقطاب في المعادلة (70)، مع:

(a.9)

(a.10)

(a.11)

(a.12)

## 2.A قدرة موجة واردة مستقطبة خطياً إلى قدرة موجة منتثرة مستقطبة دائرياً

في هذه الحالة، يمكن الحصول على المكونات المتماسكة لمعامل الانتثار بمحطتين الناتجة عن سطح البحر من المعادلة (11) من خلال إحلال محل ، مع:

(a.13)

(a.14)

(a.15)

(a.16)

ويمكن الحصول على معامل الانتثار بمحطتين الناتج عن الموجة الثقالية الطويلة من المعادلة (32) من خلال إحلال محل ، مع:

(a.17)

(a.18)

(a.19)

(a.20)

ويمكن الحصول على معامل الانتثار بمحطتين الناتج عن الموجة الشعرية القصيرة من المعادلة (72) من خلال إحلال محل في المعادلة (70)، مع:

(a.21)

(a.22)

(a.23)

(a.24)

المرفق B  
بالملحق  
  
حساب معاملات الانتثار بين موجتين مستقطبتين دائرياً

يوفر هذا المرفق حسابات معاملات الانتثار بمحطتين بين موجة واردة مستقطَبة دائرياً وموجة منتثرة مستقطَبة دائرياً (أي ، حيث تشير إما إلى الاستقطاب الدائري الميامن، ، أو الاستقطاب الدائري المياسر، ، وتشير إما إلى الاستقطاب الدائري الميامن، ، أو الاستقطاب الدائري المياسر، ).

ويمكن الحصول على المكونات المتماسكة لمعامل الانتثار بمحطتين الناتجة عن سطح البحر من المعادلة (11) من خلال إحلال محل ، مع:

(b.1)

(b.2)

(b.3)

(b.4)

ويمكن الحصول على معامل الانتثار بمحطتين الناتج عن الموجة الثقاليةالطويلة من المعادلة (32) من خلال إحلال محل ، مع:

(b.5)

(b.6)

(b.7)

(b.8)

ويمكن الحصول على معامل الانتثار بمحطتين الناتج عن الموجة الشعرية القصيرة من المعادلة (72) من خلال إحلال محل في المعادلة (70)، مع:

(b.9)

(b.10)

(b.11)

(b.12)

المرفق C  
بالملحق  
  
تقريبات بسيطة

بالنسبة لزوايا الورود وزوايا الانتثار أقل من 60 درجة، وبالنسبة لزوايا السمت للانتثار ضمن مدى ±5 درجات من مستوي الانتثار الأمامي ()، يمكن إهمال الحدود ذات الاستقطاب المتقاطع في المعادلات من (a.5) إلى (a.24) ما يؤدي إلى التبسيطات المذكورة أدناه. وينتج عن القيام بذلك خطأ أقل من %5. ويكون الخطأ مهملاً داخل مستوي الانتثار الأمامي ()، بالنسبة لزوايا الورود وزوايا الانتثار المشار إليها أعلاه.

|  |  |
| --- | --- |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الدائري الميامن وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الرأسي |  |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الدائري الميامن وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الأفقي |  |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الدائري المياسر وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الرأسي |  |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الدائري المياسر وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الأفقي |  |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الرأسي وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الدائري الميامن |  |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الأفقي وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الدائري الميامن |  |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الرأسي وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الدائري المياسر |  |
| قدرة الموجة الواردة ذات الاستقطاب الأفقي وقدرة الموجة المنتثرة ذات الاستقطاب الدائري المياسر |  |

المرفق D  
بالملحق  
  
نموذج أطياف ارتفاع سطح البحر

ينقسم طيف ارتفاع سطح البحر إلى طيفين: طيف واسع (ثقالي) وطيف صغير (شعري)، ويشار إليهما بالرمزين و، على التوالي. ويشار إلى الطيف الواسع لأغراض مرجعية، ولكن ليست هناك حاجة مباشرة إليه. ويرتبط الطيف الصغير بالطيف الاتجاهي لسطح البحر، ، على النحو التالي:

(d.1)

حيث يشير إلى العدد الموجي للارتفاع القاطع بمقياسين، وتشير إلى الإحداثيات القطبية للأعداد الموجية للارتفاع في الاتجاهين عكس اتجاه الريح والمتعامد مع اتجاه الريح المرتبطين بالإحداثيات الديكارتية لقيمتي ميل السطح . ويصاغ الطيف الاتجاهي على النحو التالي:

(d.2)

حيث تشير إلى دالة الطيف المتناحي (شامل الاتجاهات)، وتشير إلى دالة الانشار الزاوي. ويُحسب الطيف المتناحي، ، من خلال المعادلة التالية:

(d.3)

ويشير إلى طيف الموجة بالنسبة للموجات الثقالية الطويلة:

(d.4)

(d.5)

(d.6)

(d.7)

(d.8)

(d.9)

ويشير إلى طيف الموجة بالنسبة للموجات الشعرية القصيرة:

(d.10)

(d.11)

(d.12)

ويشير Ω إلى مقلوب عمر الموجة. ويعتبر البحر:

- كامل النمو إذا كانت قيم Ω قريبة من 0,84

- ناضجاً إذا كانت قيم Ω قريبة من 1

- ناشئاً إذا كانت قيم Ω أكبر من 2.

وتشير إلى سرعة الرياح (عادة بين 3 m/s و33 m/s) على ارتفاع 10 أمتار فوق سطح البحر، وتشير إلى سرعة الاحتكاك (أي سرعة الرياح عند سطح البحر). وتشير في المعادلة (d.3) إلى توتر سطح الماء، وتشير في المعادلة (d.5) إلى تسارع الماء نتيجة الجاذبية بوحدات m/s2.

وتبين دالة الانتشار الزاوي في المعادلة (d.2) اعتماد الطيف الاتجاهي على السمت على النحو التالي:

(d.13)

حيث تقابل 𝜓 الاتجاه عكس اتجاه الريح، وتشير إلى تغير الاتساع بتغير الزاوية:

(d.14)

ويلاحَظ أن في المعادلة (d.4) تؤول إلى ما لا نهاية ( عندما تؤول إلى الصفر. ومع ذلك، عندما تؤول إلى الصفر، تؤول أيضاً إلى الصفر. ونتيجة لذلك، في حالة ، تُضبط دون إجراء مزيد من الحسابات.

المرفق E  
بالملحق  
  
قدرة تداخل إشارة منعكسة من سطح البحر نحو مستقبِل

## 1.E مقدمة

القدرة المنتثرة بمحطتين من سطح البحر التي يستقبلها هوائي استقبال باستقطاب خطي هي مجموع مكونين: مكون متماسك ، ومكون مشتت (غير متماسك) .

(e.1)

وتوفر الأقسام التالية حسابات القدرة المستقبَلة فيما يتعلق بما يلي: أ) الحالة العامة، ب) التقريبات في الحالة المحددة المتمثلة في مرسِل في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض (GEO) ومستقبِل في مدار أرضي منخفض (LEO).

## 2.E القدرة المستقبَلة المتماسكة

بالنسبة للاستقطابات الخطية للمرسِل (الواردة) والمستقبِل (المنتثرة) المتماثلة، ، فإن القدرة المتماسكة المستقبَلة، (W)، هي:

(e.2)

حيث:

: القدرة المرسَلة بالاستقطاب (W)

: كسب هوائي الإرسال في اتجاه نقطة الانعكاس على سطح الأرض (خطي)

: المدى بين المرسِل ونقطة الانعكاس المرآوي على سطح الأرض (m)

: المدى بين نقطة الانعكاس المرآوي على سطح الأرض وهوائي الاستقبال (m)

: كسب هوائي الاستقبال في اتجاه نقطة الانعكاس المرآوي على سطح الأرض (خطي)

: الخسارة الجوية (مثل التوهين الغازي) على طول المسير من مصدر التداخل إلى نقطة الانعكاس المرآوي. ويمكن حساب التوهين الغازي، (dB)، باستخدام الملحق 1 أو الملحق 2 للتوصية ITU‑R P.676‑12، حيث

: الخسارة الجوية (مثل التوهين الغازي) على طول المسير من نقطة الانعكاس المرآوي إلى هوائي الاستقبال. ويمكن حساب التوهين الغازي، (dB)، باستخدام الملحق 1 أو الملحق 2 للتوصية ITU‑R P.676‑12، حيث

: طول الموجة (m)

: خسارة التباعد الناجمة عن انحناء الأرض، وتُحسب من خلال المعادلة التالية:

(e.3)

حيث:

: نصف القطر المتوسط للأرض (6 371 000 m)

: المدى الفعلي (m)

: زاوية السمت الواردة.

### 1.2.E مرسِل في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض (GEO) ومستقبِل في مدار أرضي منخفض (LEO): المكون المتماسك

بالنسبة للمكون المنعكس المرآوي، هو المدى الإجمالي، و هي خسارة الانتشار. و هي القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.). وبالنسبة لمرسِل في مدار GEO ومستقبِل في مدار LEO، يُدخل التقريب خطأ بنسبة ضئيلة في الحد المتماسك. وفي هذه الحالة، تصبح المعادلة (e.2) كالتالي:

(e.4)

هو معامل الانتثار بمحطتين المتماسك المحسوب من خلال المعادلة (11) فيما يتعلق بالموجات الواردة المستقطَبة خطياً والموجات المنتثرة المستقطَبة خطياً. ويمكن استخدام تحويلات الاستقطاب المقابلة الواردة في المرفقات A وB وC في أزواج الاستقطاب الواردة والمنتثرة الأخرى.

## 3.E القدرة المستقبَلة المشتتة

يمكن حساب القدرة المستقبَلة المشتتة، (W)، باستخدام المعادلة التقليدية لرادار بمحطتين (مثل المعادلة (73) في التوصية [ITU‑R P.452-16](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.452/en)). والقدرة المنتثرة المشتتة التي يستقبلها هوائي باستقطاب واستقطاب المرسِل هي:

(e.5)

حيث:

: قدرة الإرسال بالاستقطاب (W)

: الاتجاه الوارد في منطقة الانتثار التفاضلية

: الاتجاه المنتثر في منطقة الانتثار التفاضلية

: كسب هوائي الإرسال في الاتجاه الوارد (خطي)

: كسب هوائي الاستقبال في اتجاه الاستقبال (خطي)

: منطقة الانتثار التفاضلية داخل السطح (m2)

: المدى بين المرسِل ومنطقة الانتثار التفاضلية على سطح الأرض (m)

: المدى بين منطقة الانتثار التفاضلية على سطح الأرض والمستقبِل (m)

### 1.3.E مرسِل في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض (GEO) ومستقبِل في مدار أرضي منخفض (LEO): المكون المشتت

يُفترض في التقريب التالي أن كسب هوائي الإرسال ثابت فوق المنطقة التي يغطيها هوائي الاستقبال (افتراض معقول بالنسبة لمرسِل في مدار GEO ذي هوائي متوسط الكسب، ومستقبِل في مدار LEO ذي هوائي عالي الكسب)، وأن المسافات من هوائي الإرسال إلى سطح الأرض ومن سطح الأرض إلى هوائي الاستقبال لا تتغير بشكل كبير فوق المنطقة التي يغطيها هوائي الاستقبال. وبالتالي، يمكن تقريب المعادلة (e.5) من خلال المعادلة التالية:

(e.6)

حيث:

: الاتجاه الوارد عند منطقة الانتثار التفاضلية على طول الحزمة الرئيسية لهوائي الإرسال

: الاتجاه المنتثر عند منطقة الانتثار التفاضلية على طول الحزمة الرئيسية لهوائي الاستقبال

: المدى بين المرسِل ومركز المنطقة المغطاة، على سطح الأرض، المضاءة بهوائي الإرسال (m).

ويمكن استخدام تحويلات الاستقطاب الواردة في المرفقات A وB وC لحساب بالنسبة للاستقطابات الواردة والاستقطابات المنتثرة الأخرى غير الاستقطابات الخطية-الخطية أو الدائرية-الدائرية.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. الاتجاه عكس اتجاه هو الاتجاه المضاد لاتجاه الريح. [↑](#footnote-ref-1)
2. الوحدة ppt هي أجزاء من الألف. [↑](#footnote-ref-2)