الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R P.1410-5

(2012/02)

# معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة لتصميم أنظمة النفاذ الراديوية عريضة النطاق للأرض العاملة في نطاق التردد من 3 إلى 60 GHz

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

## تمهيـــد

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 الملحق 1 بالقرار 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 | العنـــوان |
|---|---|
| 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 بعد |
| 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، 2013

© ITU 2013
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).

التوصيـــة ITU-R P.1410-5

# معطيات الانتشار وطرائق التنبؤ المطلوبة لتصميم أنظمة النفاذ الراديوية عريضة النطاق للأرض العاملة في نطاق التردد من 3 إلى 60 GHz

(المسألة ITU-R 203/3)

(2012-2007-2005-2003-2001-1999)

## مجال التطبيق

يعتبر النفاذ اللاسلكي عريض النطاق طريقة هامة لتوفير النطاق العريض للمنازل الفردية وكذلك للمشروعات التجارية الصغيرة. وتتناول هذه التوصية الأنظمة العاملة في نطاق تردد من 3 إلى 60 GHz وتقدم توجيهاً لآليات الانتشار الهامة ذات التغطية في خط البصر (LoS) وفي غير خط البصر (non-LoS). وتُقدم بالنسبة للأنظمة المتأثرة بالمطر طرائق لتقدير التحسينات المتنوعة نتيجة انتقاء أفضل محطة قاعدة من اثنتين وانخفاض التغطية نتيجة لهطول المطر. كما يُقدم توجيه بشأن التشوه واسع النطاق.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

*إذ تضع في اعتبارها*

أ ) أن التخطيط الملائم لأنظمة النفاذ الراديوي للأرض عريضة النطاق يتطلب توفر طرائق التنبؤ والمعطيات المناسبة في مجال الانتشار؛

ب) أن التوصيات المعدة لتصميم الوصلات الفردية لا تشمل الجوانب المتعلقة بالمنطقة،

*توصـــي*

**1** بضرورة تطبيق المعطيات المتعلقة بالانتشار وطرائق التنبؤ الواردة في الملحق 1 عند تصميم أنظمة النفاذ الراديوي للأرض العاملة في نطاق التردد من 3 إلى 60 GHz.

# الملحق 1

## 1 مقدمة

هناك اهتمام متزايد بتوفير الخدمات عريضة النطاق بواسطة شبكات النفاذ المحلية إلى المنازل الفردية والشركات التجارية الصغيرة كذلك. وقد أصبحت الحلول الراديوية بشكل متزايد أنظمة لتقديم الخدمات وهي متيسرة اليوم في السوق. ويجري حالياً دراسة عدة أنظمة وتشغيلها، لا سيما نظام التوزيع المحلي متعدد النقاط (LMDS) ونظام الاتصالات المحلية متعددة النقاط (LMCS) والنظام من نقطة إلى عدة نقاط (P-MP). ويمكن تسمية هذه الأنظمة بصورة إجمالية بأنظمة النفاذ اللاسلكي عريضة النطاق (BWA). ويجري حالياً وضع معايير دولية مثل WMAX المستند إلى المعيار IEEE 802.16 وHiperMAN.

يجب الحصول على إرشادات جيدة في مجال التصميم فيما يتعلق بمسائل انتشار الموجات الراديوية. داخل قطاع تخطيط الشبكات والمشغلين والجهات المصنعة ومن جانب الهيئات المنظمة.

## 2 تغطية المنطقة

يتعين على المشغل عند تخطيط نظام خلوي أن يختار بعناية موقع وارتفاع المحطة القاعدة فوق سطح الأرض لكي يتسنى له توفير الخدمة للعدد المرغوب من المستعملين داخل منطقة معينة. ويمكن أن يتغير حجم الخلايا حسب الطبوغرافيا وعدد المستعملين المستفيدين من الخدمة الراديوية. ويقدم هذا الفرع نموذجاً إحصائياً للحجب بالمباني يقوم على تحديد بسيط لخصائص المباني في منطقة معينة وتوفير إرشادات تقوم على حسابات مفصلة. ويقدم أيضاً نموذجاً للتوهين الناتج عن الغطاء النباتي وبعض قواعد التصميم البسيطة.

### 1.2 الحجب بالمباني

تتمثل أفضل طريقة لتقييم احتمال الحجب بالمباني في تقنيات تتبُّع أثر الأشعة التي تستعمل معطيات حقيقية صادرة من قواعد معطيات مفصلة عن المباني والتضاريس الأرضية. وتصف الفقرة 1.1.2 باختصار متطلبات تقنيات تتبع أثر الأشعة. ومع ذلك، لا تتوفر قواعد معطيات ملائمة في العديد من المناطق ومن ثم يوصى باستعمال النموذج الإحصائي الموصوف في الفقرة 2.1.2.

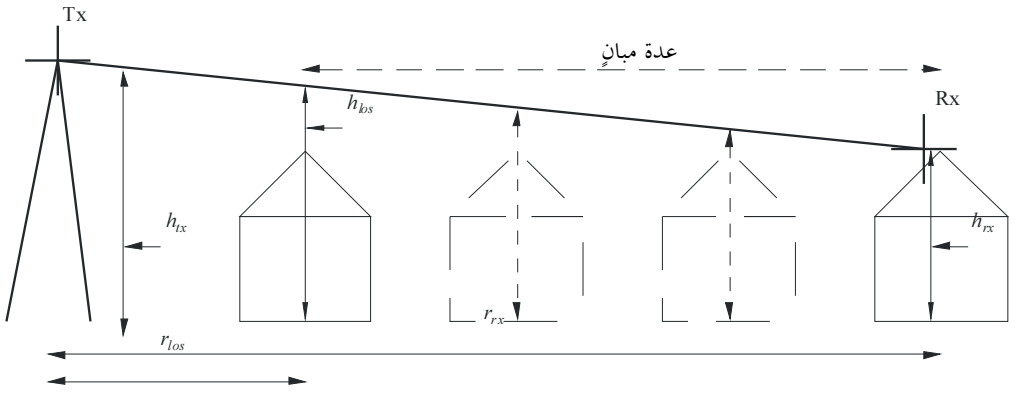
#### 1.1.2 متطلبات تتبع أثر الأشعة

يمكن الحصول على تنبؤ دقيق بالتغطية باستعمال تقنيات تتبع أثر الأشعة في المناطق التي تتوفر بشأنها قواعد معطيات عن التغطية بالتضاريس الأرضية. ونظراً إلى ارتفاع الترددات وقصر أطوال المسير المعنية، يمكن استعمال تقريب بصري هندسي للانتشار عبر خط مستقيم.

ولتقريب من المرتبة الأولى لتقييم التغطية، يكون تحديد الرؤية عبر خط البصر (LoS) بمقدار 60% من تحرير منطقة فرينل الأولى كافياً لضمان خسارة إضافية لا تذكر (انظر الشكل 1). وتكون الخسارة بسبب الانعراج شديدة في حالات خارج خط البصر. وسوف تحد دقة قاعدة المعطيات الخاصة بالمباني من دقة التنبؤ بالأشعة ويجب أن تتضمن قاعدة المعطيات تمثيلاً دقيقاً للتضاريس الأرضية والمباني الواقعة على طول المسير. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار أيضاً انحناء الأرض فيما يتعلق بالمسيرات التي تزيد عن 2 km. وينبغي لأغراض هذا الإجراء اعتبار المباني والغطاء النباتي كعناصر غير منفذة للأشعة.

الشـــكل 1

**يجب أن يقع كل مبنى تحت شعاع خط البصر الواصل بين المرسل والمستقبل**




P.1410-01

بينت قياسات خصائص الإشارة المقارنة بنماذج تتبع أثر الأشعة توافقاً إحصائياً مرضياً ولكنها بينت أيضاً تغيرات كبيرة في الإشارة حسب الموقع والساعة فيما يتعلق بمسيرات خارج خط البصر. وبالتالي، ونظراً إلى الدقة المحدودة لقواعد المعطيات بشأن المباني الحقيقية، لا يمكن التنبؤ بنوعية الخدمة فيما يتعلق بمسيرات معينة، تتبع شبه خط البصر.

يمكن أن يسبب الغطاء النباتي ولا سيما الأشجار والشجيرات العالية، انحطاطاً هاماً في الخدمة، ويتعين في الحالات المثلى تضمين المعطيات المتصلة بالغطاء النباتي في قاعدة المعطيات.

وقد بينت القياسات، فيما يتعلق بتوفير الخدمة في منطقة حضرية/شبه حضرية نموذجية، أن عدد المستعملين المتضررين بتأثيرات الانعكاس الناتجة عن مسيرات متعددة أقل بكثير من عدد المستعملين المتضررين بتأثيرات المباني والغطاء النباتي، وذلك بسبب ضيق فتحة حزمة الهوائي، وبالتالي لا ضرورة لحساب الانعكاسات (انظر الفقرة 1.2.4).

ويمكن أن تكون قاعدة المعطيات المستعملة للتقييم بواسطة تقنية تتبع أثر الأشعة قاعدة معطيات مفصلة موجهة نحو الأشياء تشمل ارتفاع التضاريس الأرضية والخطوط الكفافية للمباني المختلفة ومعلومات متصلة بارتفاع السقوف وشكلها وعلى أساس تمثيل الغطاء النباتي في شكل أشجار إفرادية أو مجموعات أشجار. وكحل بديل، يمكن في تحديد مسير خط البصر استعمال قاعدة معطيات بخطوط مسح الارتفاعات النقطية مثل تلك الناتجة عن نظام القياس باستعمال رادار ذي فتحة تركيبية (SAR) محمول جواً (انظر الجدول 1).

الجـــدول 1

**المتطلبات الدنيا لقاعدة المعطيات**

| الشيء | النسق | استبانة أفقية (m) | استبانة عمودية (m) |
|---|---|---|---|
| التضاريس الأرضية | شبكة ارتفاعات نقطية | 50 | 1 |
| المباني | معالج صورة الشبكة الضوئية الموجهة نحو الشيء أو الاستبانة العالية | 1 | 1 |
| الغطاء النباتي | | | |

### 2.1.2 التعامل مع الانعكاسات والانتشار

يمكن أن تكون الانعكاسات من المباني القريبة في البيئة الحضرية هي آلية الانتشار السائدة في ظروف غير خط البصر. وقد كانت الطرق الفعّالة لحساب الانعكاسات في قواعد البيانات الضخمة مجالاً لكثير من الأبحاث والمطبوعات. وعند دراسة الانعكاسات والانعراجات المتعددة فإن المشكلة تصبح مثار تفاعل بالنسبة للجميع وإن كانت أقل السيناريوهات شأناً. ولهذا السبب يوصى بنموذج انعكاس ذي وثبة وحيدة مع كل مسير من وإلى العاكس على أن يخضع لخسارة الانعراجات الرأسية والأفقية الخاصة به.

### نموذج انتشار سطح خشن

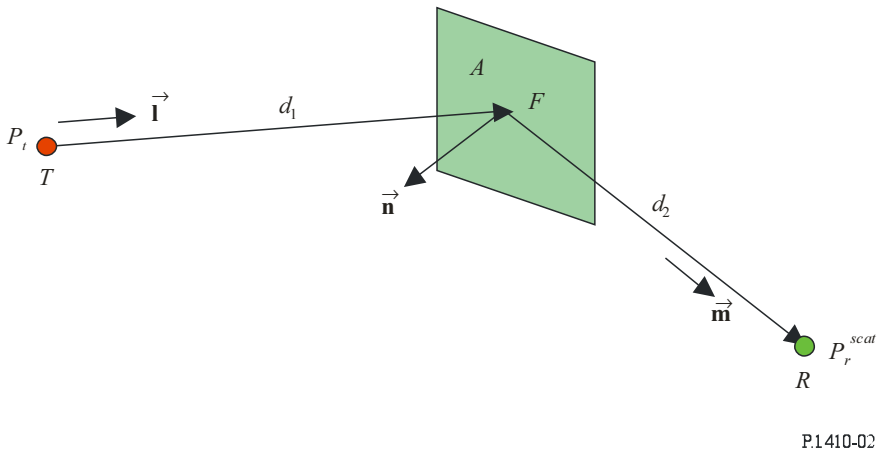
يقترح لتقليل السقف الحسابي لأدنى حد استخدام النموذج البسيط الوارد هنا. ويعتبر هذا النموذج نموذجاً عددياً للانتشار المتنافر من سطح خشن. بمعنى أنه ينظر فقط في القدرة المتناثرة ولا يتعرض لتأثيرات الطور والاستقطاب.

#### الهندسة

نفترض واجهة سطح خشن $F$ بمساحة $A$. وعلى أن يرمز للمرسل والمستقبل بالحرفين $T$ و$R$. و $\vec{\mathbf{i}}$ و $\vec{\mathbf{m}}$ هما متجها الوحدة في الاتجاهين $TF$ و$FR$ و$n$ هو العمودي على الواجهة، الشكل 2.

الشـــكل 2

**هندسة الانعكاس**




$P_t$ و$P_r^{scat}$ هما القدرة المرسلة والقدرة المستقبلة المتناثرة عند المرسل $T$ والمستقبل $R$ على التوالي ويفترض استخدام هوائيات شاملة الاتجاه عند المرسل والمستقبل.

### الانتشار من المرسل $T$ إلى السطح $F$

على فرض أن الانتشار في ظروف الفضاء الحر، تكون كثافة تدفق القدرة $S$ (pfd) (W/m$^2$) عند مسافة $d_1$ من المرسل $T$:

$$S = \frac{4\pi}{\lambda^2}\left(\frac{\lambda}{4\pi d_1}\right)^2 P_t \tag{1}$$

حيث λ هو طول الموجة. ومن ثم تكون القدرة $P_{fr}$ الواقعة على السطح $F$:

$$P_{fr} = SA\left|\vec{\mathbf{l}}\cdot\vec{\mathbf{n}}\right| \tag{2}$$

وتفترض هذه النتائج أن أي أبعاد للمساحة $A$ أقل من $d$ بحيث تكون كثافة تدفق القدرة ثابتة عبر الواجهة كلها. ولا يمثل هذا الأمر قيداً كبيراً: حيث إنه في الأساس يمكن اختيار الواجهة $A$ صغيرة كلما أمكن لتحقيق ذلك. بيد أنه يفترض في هذا النموذج أن $F$ هي في الحقيقة الواجهة الكاملة للمبنى (أو على الأقل الجزء اللامع من واجهة المبنى) ويفترض كذلك أنه قد تم استيفاء هذا القيد. والنقطة المرجعية للانتشار هي مركز الواجهة.

### نموذج انتشار سطح خشن

هذا هو النموذج المستخدم من أجل نشر الانتشار في شكل رسوم بيانية حاسوبية حيث يفترض أن القدرة المتنافرة المتناثرة بواسطة السطح الخشن $F$ تخضع لقانون لامبرت. بمعنى أن القدرة تشع ثانية في جميع الاتجاهات (في نصف المستوي) بشدة تختلف حسب الصيغة $\cos\theta$ حيث $\theta$ هي زاوية الإشعاع مقاسة من الاتجاه العمودي. ويلغي هذا التغيير تماماً القيمة $1/\cos\theta$ التي تعتمد على كثافة تدفق القدرة المرسلة (نتيجة لحد الإسقاط $\left|\vec{\mathbf{m}}\cdot\vec{\mathbf{n}}\right|$) بحيث يتم بث إشعاعات شاملة الاتجاه بكسب متساوٍ في جميع الاتجاهات. ويقابل هذا ما يلاحظ عملياً بالنسبة للانتشار الضوئي. ويمكن الحصول على القدرة المتنافرة المرسلة من السطح $F$ من العلاقة:

$$P_{ft} = 2\rho_{nonspec}P_{fr} \tag{3}$$

ويمثل المعامل 2 حقيقة أن جميع القدرات تبث نحو نصف كرة. وتمثل $\rho_{nonspec}$ جزء القدرة المتنافرة التي تقع على السطح $F$ ثم تشع ثانية في شكل انتشار غير مرآوي.

**الانتشار من السطح إلى المستقبل**

بفرض الانتشار في ظروف الفضاء الحر واستخدام هوائي شامل الاتجاه، فإن القدرة المتناثرة المستقبلة عند $R$:

$$P_r^{scat} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d_2} \right)^2 P_{ft} \tag{4}$$

**ميزانية الوصلة الكاملة**

بجمع المعادلتين (1) و(2) نحصل على:

$$P_r^{scat} = 2\rho_{nonspec} \frac{4\pi A |l.n|}{\lambda^2} \left( \frac{\lambda}{4\pi d_1} \right)^2 \left( \frac{\lambda}{4\pi d_2} \right)^2 P_t \tag{5}$$

يمثل الحد $(\lambda/4\pi d)^2$ المعطيات الخاصة بانتشار الفضاء الحر ويمكن بوجه عام إحلال معطيات الانتشار الفعلي بدلاً من هذه المعطيات. كما يمكن إدراج نماذج كسب الهوائي عند المرسل والمستقبل. والافتراض الوحيد المطلوب هو أن ينطبق مستوى الإشعاع على السطح $F$.

**خسارة الانتشار**

قد يكون من المفيد حساب "خسارة" الانتشار المتنافر لسطح خشن. ويعتبر هذا مسير الخسارة الإضافي الناجم عن الانتشار فوق مسير الخسارة في حال إذا ما كانت الواجهة مرآة نموذجية حيث يحدث عندها الانعكاس المرآوي بمعامل انعكاس قدره 1. ولعمل ذلك يجب افتراض انتشار الفضاء الحر على المسيرين $TF$ و$FR$. وتكون القدرة المستقبلة عند $R$ من مرسل عند $T$ مع افتراض انعكاس نموذجي، $P_r^{LOS}$ كالتالي:

$$P_r^{LoS} = \left( \frac{\lambda}{4\pi (d_1 + d_2)} \right)^2 P_t \tag{6}$$

ويمكن بعد ذلك الحصول على خسارة الانتشار $L_{scat}$ (تعرف بحيث تكون $L_{scat} > 1$ بالنسبة للخسارة):

$$\frac{1}{L_{scat}} = \frac{P_r^{scat}}{P_r^{LoS}} = \frac{\left| \vec{\mathbf{i}} \cdot \vec{\mathbf{n}} \right|}{2\pi} \rho_{nonspec} \frac{(d_1 + d_2)^2 A}{d_1^2 d_2^2} \tag{7}$$

ويجب وبشكل حاسم أن تكون جميع الحدود في هذه المعادلة أقل من 1 فيما عدا الحد الأخير والذي يمكن أن يزيد عن 1 إذا كانت $A$ كبيرة جداً مقارنة بالبعدين $d_1$ و$d_2$. ومع ذلك وكما أشير إليه آنفاً، فإن النموذج يعتبر سارياً فقط إذا كان أي من أبعاد $A$ أقل بكثير من $d_1$ حيث إن تنفيذ المعادلة (7) يجب أن يحقق الشرط:

$$\frac{(d_1 + d_2)^2 A}{d_1^2 d_2^2} \leq 1 \tag{8}$$

وتنتهك هذه القاعدة عندما يكون موقعا المرسل والمستقبل قريبين جداً من السطح $F$.

وتبين المعادلة (7) أن خسارة الانتشار غير المرآوي تزيد بسرعة بمجرد ابتعاد نقطة الاستقبال عن سطح الانتشار. وحيث إن $d_1 \to \infty$، لذا فإن الخسارة (dB) تؤول إلى $10 \log(d_2^2 / A)$. لذلك فإنه بالنسبة لواجهة مبنى بمساحة 100 $m^2$ تكون الخسارة نتيجة لهذا الحد فقط 20 dB على مسافة 100 m و40 dB على مسافة كيلومتر واحد من المبنى.

**تعريف $\rho_{nonspec}$**

بتعريف $\rho_{spec}$ و$\rho_{trans}$ على أنهما الجزء المتماسك من القدرة الواقع على السطح $F$ وينعكس كانعكاس مرآوي (متماسك) ثم يرسل خلال الواجهة، على التوالي، فإنه يمكن الحصول على نموذج متوافق لعملية الانتشار الكاملة ويتوقع أن يحفظ الطاقة مع تحقيق العلاقة:

$$\rho_{spec} + \rho_{trans} + \rho_{nonspec} = 1 \tag{9}$$

ومما يؤسف له هو أن النموذج شبه التجريبي الذي لدينا غير متوافق ويتم وضع افتراضات مختلفة لكل آلية:

- $\rho_{spec}$: وأكثر النماذج اعتماداً على المفهوم النظري هو ذلك الخاص بالانتشار المرآوي. فبالنسبة لواجهة ملساء، يتم تحديد القدرة المنعكسة بواسطة معاملات انعكاس فرينل (والتي تعتمد على زاوية الانعكاس المرآوي والخواص الكهربائية للواجهات). بيد أنه لا يوجد امتداد مبسط لانتشار السطح *الخشن* ويستخدم النموذج حداً شبه تجريبي يعدل (يخفض) من معامل انعكاس فرينل للأسطح الملساء. ويقترح تعريف $\rho_{spec}$ على أنها معامل انخفاض القدرة نتيجة لتأثير السطح الخشن فحسب؛ بمعنى عدم أخذ التغير في القدرة المنعكسة نتيجة لتغير معامل فرينل في الاعتبار. ويعتمد الأخير على زاوية الانعكاس والاستقطاب ومن ثم فإن الأمر نفسه ينطبق على القدرة المتناثرة غير المرآوية؛ ولا يتوافق ذلك مع فرضية لامبرت.
- $\rho_{trans}$: يمكن مبدئياً حساب الجزء المرسل من القدرة باستخدام نظرية فرينل لسطح أملس مع سطح بيني وحيد. غير أن الوضع في الواقع العملي معقد جداً بالنسبة للنمذجة (سطح خشن، أسطح بينية متعددة وانعكاسات) وبالتالي يجب استخدام قيمة محددة معملياً، قيمة تجريبية للقدرة $\rho_{trans}$.

ومن حيث المبدأ، يجب أن تحقق كل قيمة للقدرة $\rho$ الشرط $0 \le \rho \le 1$. ولا يوجد ما يدعو إلى الاعتقاد بأن المعادلة (9) ستتحقق وإذا استخدمت لحساب $\rho_{nonspec}$ من $\rho_{spec}$ و$\rho_{trans}$ فمن الممكن أن تصبح القدرة $\rho_{nonspec}$ سالبة وهذا غير صحيح فيزيائياً. ومن ثم يقترح استخلاص الجزء غير المرآوي مباشرة من الجزء المرآوي مع إهمال الجزء المرسل:

$$\rho_{nonspec} = 1 - \rho_{spec} \tag{10}$$

وعملياً تكون القيمة $\rho_{trans}$ غالباً صغيرة جداً (فمثلاً بالنسبة لخسارة اختراق مبنى قيمتها 10 dB تكون $\rho_{trans} = 0{,}1$).

**حساب $\rho_{spec}$**

$\rho_{spec}$ هو معامل انخفاض القدرة المطبق على معامل الانعكاس المرآوي لكي يراعي تأثير خشونة السطح على الانعكاس المرآوي. وهو يساوي:

$$\rho_{spec} = \rho_s^2 \tag{11}$$

عند حساب معامل الانعكاس المرآوي، فإننا نحصل على معامل الانعكاس الفعّال $R$ بضرب معامل فرينل $R_F$ في $\rho_s$.

$$R = \rho_s R_F \tag{12}$$

ويمكن حساب $\rho_s$ من العلاقة:

$$\rho_s = \max\left[\exp\left(-\tfrac{1}{2} g^2\right), 0.15\right] \tag{13}$$

حيث:

$$g = \frac{4\pi\sigma}{\lambda}\cos\varphi \quad (14)$$

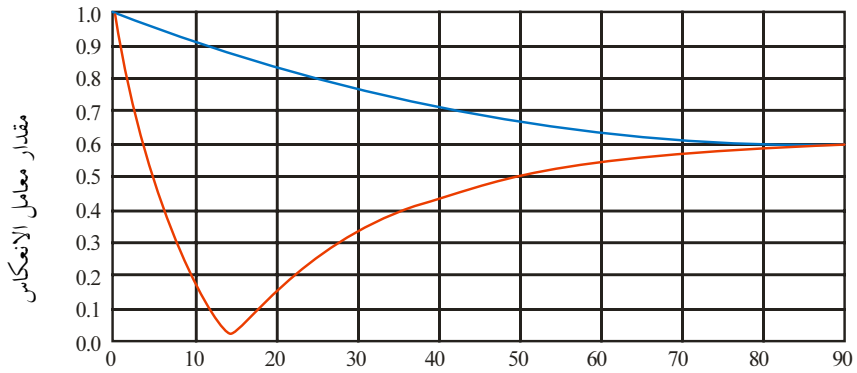
$\sigma$ هي الانحراف المعياري لارتفاع خشونة السطح عن المتوسط الموضعي داخل النطاق الأول لفرينل و$\varphi$ هي زاوية السقوط مقاسة من العمودي على السطح. وقيمة القطع 0,15 في المعادلة (13) لكي تحول دون الحصول على قيم صغيرة جداً للقدرة $\rho_s$. (ويشير الحد الأسّي إلى التقدير الأقل للانتشار بالنسبة للأسطح شديدة الخشونة).

ويعتبر حساب معامل الانعكاس المرآوي في المعادلة (13) شديد التعقيد. ويعتمد معامل فرينل على الزاوية والمقادير الكهربائية الثابتة والاستقطاب. ويعني الاعتماد على *الاستقطاب* أنه يجب حساب معاملي انعكاس فرينل في الاتجاهين المتوازي والعمودي بوجه عام ويجب أن يراعى في هندسة مسير الشعاع دوران الاستقطاب عند حساب قيمة الإشارة عند المستقبل.

ونظراً للطبيعة التجريبية للنموذج، فإنه إذا كانت النمذجة تُعنى فقط بقدرات الإشارة (ويمكن إهمال الطور) فإنه يمكن عمل تبسيط من خلال حساب جميع الانعكاسات المرآوية استناداً إلى معامل فرينل في الاتجاه الموازي فقط. وعادة يكون مقدار المعامل عندما يكون المتجه الكهربائي في مستوي السقوط والأشعة المنعكسة (المنحني الأزرق أو العلوي، في شكل 3) أكبر عددياً من المعامل نفسه عندما يكون المتجه الكهربائي عمودياً على المستوي (المنحني الأحمر أو السفلي). وفي قاعدة بيانات ثلاثية الأبعاد، يكون هناك عادة مزج لجزأي الاستقطاب، ويتجه الجزء الموازي إلى حجب "الصفر" في الجزء العمودي.

الشـــكل 3

**مقدار معامل انعكاس فرينل $R_F$ في الاتجاهين الموازي (الأزرق) والعمودي (الأحمر) كدالة في الزاوية (GHz 3,5، سطح متوسط جاف)**




## حساب $\rho_{trans}$

$\rho_{trans}$ هو جزء القدرة الساقطة المرسل عبر الحائط. ويفترض في هذا التطبيق أن قيمة $\rho_{trans}$ مقدار ثابت لا يعتمد على زاوية الإرسال بالنسبة إلى الواجهة وأن الواجهة لا تغير زاوية الشعاع عند مروره خلالها.

## نقاط للملاحظة

1 خسارة انتشار السطح الخشن تستخلص من المعادلة (10) على أن يحدد جزء القدرة غير المرآوي عن طريق المعادلات (11) و(13) و(14).

2 $L_{scat}$ لا تعتمد صراحة على طول الموجة λ، غير أن الاعتماد الوحيد على التردد يكون عبر $\rho_{nonpec}$. وهذا هو المتوقع – حيث إن هذا النموذج هو نموذج عددي للقدرة، ونموذج مصدر لامبرت لا يعتمد على التردد.

3 أن النموذج الذي يمثل وبشكل صحيح الطور والاستقطاب سيكون معقداً جداً وبشكل كبير وغير متوافق مع نموذج الانتشار المتنافر. والأكثر أهمية أنه يحتاج إلى معرفة مفصلة بشكل خشونة السطح وهي غالباً غير متاحة بالمرة. (وقد يكون ذلك ممكناً بالنسبة لسطح "قليل" الخشونة، مع استخدام نهج اضطرابي، ولكن نموذج انتشار متماسك كهذا سيكون من الأفضل تناوله في إطار نموذج انعكاس مرآوي معدل).

4 ومن نتائج النقطة 3 أن نموذج الانتشار هذا مفيد في الحقيقة فقط بالنسبة لنمذجة *التداخل* نظراً لأن قيم قدرة التداخل يفترض أنها تضاف بشكل متنافر. ويمكن استخدام هذه النتيجة بالنسبة للإشارة المطلوبة لتقدير انتشار التأخير. وللجمع المطلوب للحصول على القدرة الإجمالية للإشارة، من الضروري دراسة الطور بشكل أكثر تفصيلاً (أو بشكل مكافئ، أطوال المسير التفاضلية).

5 لا يحقق نموذج الانتشار غير المرآوي خاصية التبادلية. في الحقيقة هو يحقق هذه الخاصية *بشكل تقريبي*، ولكن إدراج الحد $|\vec{\mathbf{l}}\cdot\vec{\mathbf{n}}|$ دون الحد المقابل $|\vec{\mathbf{m}}\cdot\vec{\mathbf{n}}|$ يشوه التماثل. وباختيار نموذج مصدر انتشار آخر غير نموذج لامبرت فإنه يمكن إصلاح ذلك. بيد أن النموذج يعتبر نموذجاً شبه تجريبي على أية حال ولا يُتوقع تحقيق التبادلية مع الافتراضات البسيطة الموضوعة.

### 3.1.2 الإرسال خلال المباني

تبين القياسات المدرجة في التوصية ITU-R P.1411 و(مراجع القياسات المبلغة) أن اختراق الإشارة خلال المباني عبر الحد الأدنى لنطاق التردد يمكن أن يصبح آلية انتشار متميزة (خسارة إضافية بنحو 20-40 dB) عندما تكون خسارة الانعراجات حول أو فوق المبنى كبيرة. وكما هو الحال مع معاملات توهين الانعكاس، فإن هذه الخسارة ستتوقف على مواد البناء الداخلة في المبنى والتردد الراديوي علاوة على الهيكل الداخلي للمبنى (الحوائط الداخلية). ويمكن نمذجة الخسارة كسلسلة من خسارة الحوائط (عندما تتوافر بيانات كافية) أو كخسارة لكل متر خلال المبنى. وعندما يكون هناك أكثر من مبنى يعوق المسير المباشر فقد يكون من الأفضل إهمال هذه الآلية ما دام سيتم مراعاة تجميعات من المسيرات المنعكسة والمنعرجة والمارة خلال المبنى.

### 4.1.2 النموذج الإحصائي

بالنسبة إلى موقع معين للمرسل (Tx) وللمستقبل (Rx)، يكون احتمال وجود مسير خط البصر بين هذين الموقعين حاصل جمع الاحتمالات المتمثلة في أن كل مبنى يقع في مسير الانتشار يكون دون ارتفاع الشعاع الذي يوصل المرسل والمستقبل عند النقطة التي يعبر فيها الشعاع المبنى. ويبين الشكل 1 الشكل الهندسي لهذه الحالة ويعرف البنود المستعملة في المعادلة (15). وفي هذا النموذج يفترض أن التضاريس الأرضية مسطحة أو تتميز بميل ثابت في المنطقة المعنية.

ويُعطى ارتفاع الشعاع عند نقطة العائق $h_{LoS}$ بالصيغة التالية:

$$h_{LoS} = h_{tx} - \frac{r_{LoS}(h_{tx} - h_{rx})}{r_{rx}} \tag{15}$$

حيث:

$h_{tx}$: ارتفاع المرسل فوق سطح الأرض

$h_{rx}$: ارتفاع المستقبل عند المسافة $r_{rx}$

$r_{LoS}$: المسافة بين المرسل والعائق.

وإذا افترض أن المباني متباعدة بشكل منتظم في المتوسط، يمكن تقدير عدد المباني الموجودة بين نقطتين. ويكون احتمال وجود شعاع في مسير خط البصر كالتالي:

$$P(LoS) = \prod_{b=1}^{b_r} P(\text{building_height} < h_{LoS}) \tag{16}$$

حيث $b_r$ يدل على عدد المباني المعبورة.

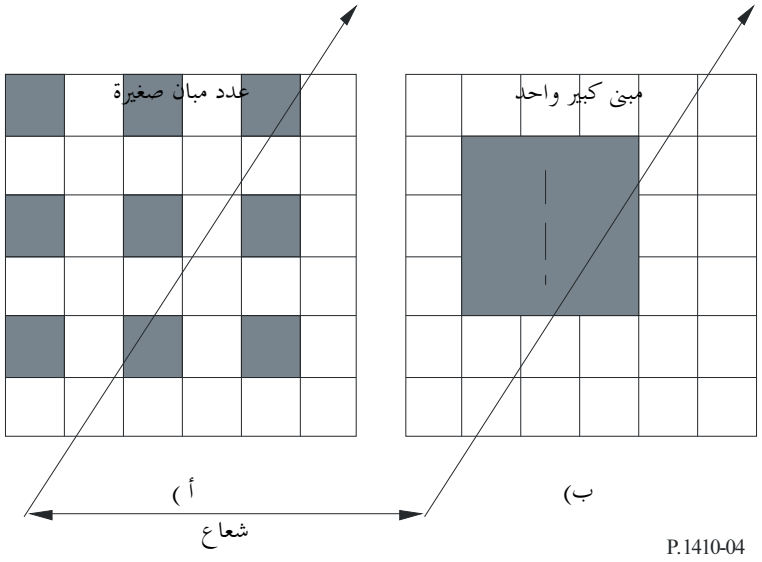
ويتطلب هذا النموذج البسيط ثلاث معلمات:

- $\alpha$: نسبة المساحة التي تغطيها المباني إلى المساحة الكلية (بصرف النظر عن الارتفاع)؛
- $\beta$: متوسط عدد المباني في كل وحدة مساحية (المباني/$km^2$)؛
- $\gamma$: قيمة متغيرة تحدد توزيع ارتفاعات المباني.

بالنسبة إلى توزيع رايلي المقترح، تعادل القيمة المتغيرة $\gamma$ ارتفاع المبنى الأكثر احتمالاً (أسلوب). ويبين الشكل 4 سبب التمييز بين $\alpha$ و$\beta$. وللشكلين 4 أ) و4 ب) نفس منطقة التغطية عند سطح الأرض وبالتالي نفس قيمة $\alpha$، ولكن من المتوقع وجود تفاعلات أكثر عند سوية المسير في الشكل 4 أ) منه في الشكل 4 ب). ولا يمكن للمعلمة $\alpha$ وحدها التمييز بين المخططين الموضحين في الشكل 4. وإذا كان ارتفاع المباني هو نفسه في الشكلين 4 أ) و4 ب) يكون احتمال الحجب بعدة مبان صغيرة أقل منه بمبنى واحد كبير.

الشـــكل 4

**سيناريوهان لنفس منطقة التغطية ولكن مع عدد مختلف من أشعة التفاعلات**




بالنسبة إلى الانتقال من مواقع المناطق شبه الحضرية إلى مواقع المباني عالية الارتفاع، تتراوح المعلمة $\alpha$ بين 0,1 و0,8 وتتراوح المعلمة $\beta$ بين 750 و100 على التوالي.

ويُعرّف توزيع احتمال رايلي $P(h)$ للارتفاع $h$ المعلمة $\gamma$ كالتالي:

$$P(h) = \frac{h}{\gamma^2} e^{-\frac{h^2}{2\gamma^2}} \tag{17}$$

### 5.1.2 الخوارزمية والحساب

إذا كانت $\alpha$ و$\beta$ و$\gamma$ معلومة عندئذ تحسب التغطية في خط البصر كالتالي:

يفترض مرور شعاع طوله 1 km فوق مبان عددها $\sqrt{\beta}$ إذا كانت هذه المباني منتظمة في شبكة تربيعية. وبما أن جزءاً فقط قدره $\alpha$ مغطى من الأرض، يكون العدد المتوقع للمباني المعبورة في كيلومتر واحد كما يلي:

$$b_1 = \sqrt{\alpha\,\beta} \tag{18}$$

وبالتالي يكون عدد المباني فيما يتعلق بمسير طوله $r_{rx}$ (km) كالتالي:

$$b_r = \text{floor}\,(r_{rx}\, b_1) \tag{19}$$

حيث أدخلت دالة floor لضمان إدراج عدد صحيح من الحدود في المعادلة (16).

*من أجل حساب احتمال وجود شعاع خط البصر (LoS) عند كل مسافة $r_{rx}$:*

*الخطوة 1*: حساب عدد المباني $b_r$ الموجودة بين النقطتين Tx وRx باستعمال المعادلة (19).

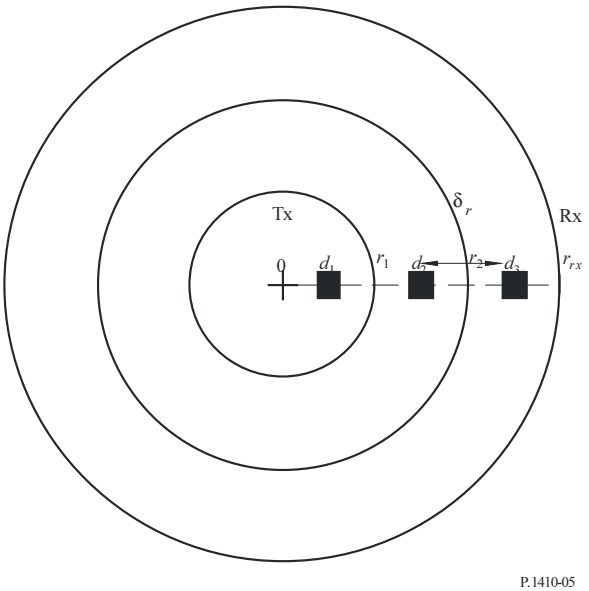
*الخطوة 2*: يفترض أن المباني متباعدة بشكل منتظم بين النقطتين Tx وRx، وتعطى المسافات التي تقع عندها المباني بالمعادلة التالية:

$$d_i = (i + 1/2)\,\delta_r \qquad i \in \{0,1, \ldots, (b_r - 1)\} \tag{20}$$

حيث $\delta_r = r_{rx}/b_r$ هي المسافة الفاصلة بين المباني.

الشـــكل 5

**موقع المباني بالنسبة إلى المستقبل Rx عند مسافة $r_{rx}$ من المرسل Tx**




*الخطوة 3*: عند كل مسافة $d_i$، يحدد ارتفاع $h_i$ لمبنى معين يمكن أن يحجب شعاع خط البصر (LoS) باستعمال $d_i$ كبديل في المعادلة (15).

$$h_i = h_{tx} - \frac{d_i(h_{tx} - h_{rx})}{r_{rx}} \tag{21}$$

*الخطوة 4*: يعطى احتمال $P_i$ المتمثل في أن يكون مبنى معيناً أقل من الارتفاع $h_i$ بالمعادلة التالية:

$$\begin{aligned} P_i &= \int_0^{h_i} P(h)\,\mathrm{d}h \\ &= 1 - \mathrm{e}^{-h_i^2 / 2\gamma^2} \end{aligned} \tag{22}$$

*الخطوة 5*: يعطى احتمال وجود شعاع خط البصر $P_{los,i}$ عند الموقع $d_i$ بالمعادلة التالية:

$$P_{LoS,i} = \prod_{j=0}^{i} P_j \qquad j \in \{0, ...., i\} \tag{23}$$

*الخطوة 6*: يتم الحصول على التغطية التراكمية بترجيح كل من قيمة $P_{los,i}$ بواسطة معامل الترجيح $W_i$ الذي يعتمد على المسافة بالنسبة إلى المرسل. ويراعي هذا المعامل عدد المباني الموجودة في حلقة يتزايد محيطها بتزايد المسافة.

$$W_i = 2i + 1 \tag{24}$$

*الخطوة 7*: تحسب التغطية المطلوبة لخلية نصف قطرها $r_{rx}$، بجمع الاحتمالات المرجحة بحكم المباني وبتقييس النتيجة على أساس حاصل المساحة التراكمية للحلقات مضروباً في كثافة المباني:

$$CP_{r_{rx}} = \frac{\sum_{i=0}^{b_r - 1} P_{los,i}\, W_i}{b_r^2} \tag{25}$$

وتنطوي هذه النمذجة على بعض القيود وهناك عدة طرق لتوسيع هذا النموذج:

- لم يؤخذ بعين الاعتبار أي تغاير في التضاريس الأرضية في هذا النموذج. ومن الواضح أن مع بعض التغيرات وإن كانت بمقدار بضعة أمتار يمكن أن يكون لها تأثير ملحوظ. ويمكن تمديد قدرات التنبؤ الخاصة بالنموذج بتوليف الخصائص الإحصائية للنموذج ومع قاعدة معطيات أرض غير منتظمة التضاريس، عن طريق إضافة تخالف متوسط لارتفاع الحجب فيما يخص كل نقطة خضعت للاختبار في هذا النموذج.
- تتغير كثافة المباني وارتفاعها إلى حد كبير من منطقة إلى أخرى وبالتالي، تكون التنبؤات بأحد الاتجاهات مختلفة عن التنبؤات بالاتجاه الآخر. ويتجلى من توزيع ارتفاعات المباني المقيسة أن المباني لا تتلاءم تماماً مع النموذج الإحصائي البسيط. ويمكن حل قسط كبير من هذه المشكلة بتجزئة قاعدة المعطيات إلى مناطق أصغر وبتخصيص مجموعة معلمات محددة لكل منطقة.
- وفي الواقع تركب المستقبلات فوق سطوح المباني بحيث يتّبع توزيع ارتفاع المستقبلات نفس التوزيع الذي يتّبعه ارتفاع المباني. وفي النموذج يفترض أن المستقبلات توجد عند ارتفاع ثابت بالنسبة إلى الأرض. ويتمثل حل آخر في توليد ارتفاعات المستقبلات من توزيع المباني، وسيتوقف ذلك أيضاً على اختلاف المناطق.
- تعطي الطريقة المستخلصة بالخوارزمية تقديراً صحيحاً للتغطية بالمقارنة مع نتائج تقنية تتبع أثر الأشعة المطبقة على قاعدة المعطيات الحقيقية (انظر الفقرة 6.1.2. وتبين أن توزيع رايلي لارتفاع المباني دقيق فيما يتعلق ببعض عينات المعطيات حيث تناولت الدراسة منطقة محدودة، كمدينة صغيرة مثلاً. وعلاوة على ذلك، وللحصول على نتائج التغطية المبينة في الفقرة 6.1.2، يجب تطبيق الطريقة مع مراعاة موقع المباني ونموذج تحرير المسير كما جاء في إجراء الخطوات المتوالية.

### 6.1.2 أمثلة عن التنبؤات بالتغطية

طُبقت صيغة رايلي على التوزيع التراكمي لارتفاعات سطوح المباني في منطقة شبه حضرية في المملكة المتحدة (مالفرن). وبالنسبة لمجموعة المعطيات هذه كانت القيم المتوسطة لمعلمات النموذج في المنطقة الحضرية الرئيسية كالتالي:

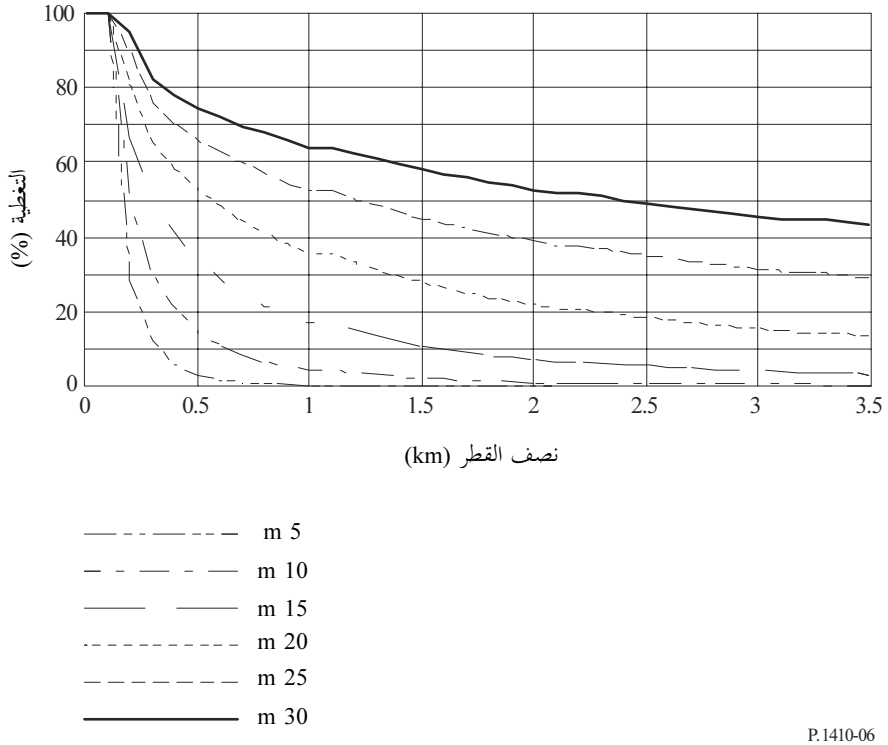
$$\alpha = 0{,}11 \quad ؛\beta = 750 \quad ؛\gamma = 7{,}63$$

يبين الشكلان 6 و7 النتائج المستخلصة من النموذج. ويبين الشكل 6 التغطية بدالة ارتفاع المرسل ويبين الشكل 7 التغطية بدالة ارتفاع المستقبل.

يعطي هذا النموذج تنبؤات لها نفس الشكل الأساسي ونفس سوية التغطية الكلية التي تعطيها النتائج المستخلصة باستعمال المحاكاة التفصيلية لتقنية تتبع أثر الشعاع. وفائدة هذا النموذج أنه يولد التنبؤات بالتغطية اعتماداً على ثلاث معلمات فقط يمكن تقديرها فيما يتعلق بأي موقع حضري شريطة توفر أبسط المعلومات بشأن المنطقة. ونظراً إلى أن المعطيات ثلاثية الأبعاد أصبحت متيسرة بشكل متزايد سوف يكون من الممكن إعداد جداول المعلمات الخاصة بالبلدان/المدن المختلفة التي يمكن استعمالها كمرجع عند تقييم التغطية في بعض المواقع غير المعروفة. ولا يقتصر استعمال هذا النموذج على تقييم التغطية في خلية واحدة، وإنما يمكن جمع النتائج المتأتية من عدة خلايا لتغطية شبكات كبيرة، بما في ذلك تأثيرات التنوع.

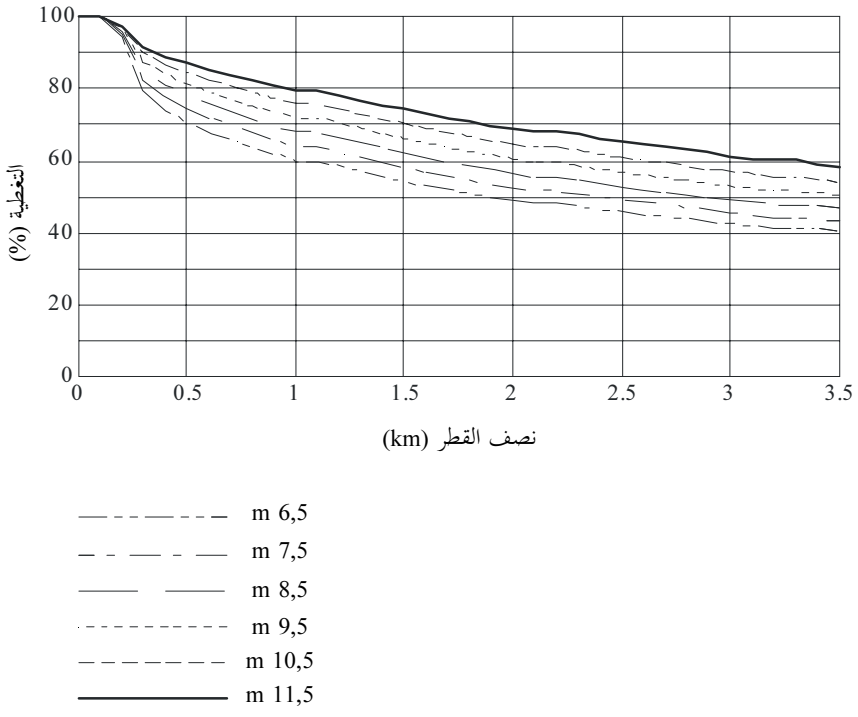
الشـــكل 6

**نمذجة التغطية التراكمية لمستقبل يقع عند ارتفاع 7,5 m**
**ومرسل يقع عند ارتفاعات 5 و10 و15 و20 و25 و30 m**



الشـــكل 7

**نمذجة التغطية التراكمية لمرسل يقع عند ارتفاع 30 m**
**ومستقبل يقع عند ارتفاعات 6,5 و7,5 و8,5 و9,5 و10,5 و11,5 m**




### 7.1.2 زيادة التغطية باستخدام محطتين قاعدتين أو أكثر

من شأن معمارية خلوية تتيح للمستقبلات الاختيار بين عدة محطات قاعدة أن تزيد التغطية بشكل كبير. ومن خلال حسابات تقنية تتبع أثر الشعاع مثلاً، وفيما يتعلق بارتفاع لهوائي المرسل قدره 30 m، تتزايد التغطية في خلية نصف قطرها 2 km بنسبة 44% فيما يتعلق بمحطة قاعدة واحدة وبنسبة 80% فيما يتعلق بمحطتين وبنسبة 90% فيما يتعلق بأربع محطات حتى وإن لم يتم انتقاء المحطات القاعدة خصيصاً لضمان رؤية إفرادية جيدة.

وبافتراض أن احتمالات وجود مسيرات خط البصر باتجاه مختلف المحطات القاعدة المعنية مستقلة من الناحية الإحصائية يمكن حساب احتمال وجود مسير واحد على الأقل. ويتعين أولاً حساب كل $P_{LoS,i}$ من المعادلة (23). عندئذ يصبح احتمال وجود مسير واحد مرئي على الأقل لعدد $m$ من المحطات القاعدة المحتملة كالآتي:

$$P_{LoS,i} = 1 - \prod_{k=1}^{m} \left(1 - P_{LoS,i,k}\right) \tag{26}$$

ويمكن تقييم التغطية بواسطة محطتين قاعدتين أو أكثر بالاستعاضة عن $P_{LoS,i}$ في المعادلة (23) بقيمتها المعطاة في المعادلة (26) في الإجراء الوارد في الفقرة 5.1.2. وجدير بالإشارة، فيما يتعلق بكل قيمة من قيم $k$، ضرورة اتباع الخطوات من 1 إلى 5 حيث $r_{rx}$ هي المسافة إلى كل محطة قاعدة.

## 2.2 التوهين الناتج عن الغطاء النباتي

إن الحجب الناجم عن الأشجار قد يحد كثيراً من عدد المنازل التي يمكن تزويدها بالخدمة. وبالتالي من الضروري جداً توفر نموذج موثوق به يتعلق بتأثير ومدى التوهين الناتج عن الغطاء النباتي، نظراً إلى أن هامش النظام، في حالة المستقبلات القريبة من المرسل، قد يبلغ حداً تصبح عنده قدرة الإشارة بعد الانتشار عبر شجرة واحدة غير كافية لتوفير خدمة معينة.

وقد بينت دراسة استقصائية تعتمد تقنية تتبع أثر الشعاع في ست بلدان في المملكة المتحدة وتستخدم قواعد معطيات تشمل جميع المباني والأشجار أن ما يبلغ حتى 5% من المباني الواقعة ضمن مدى 1 000 m من محطة قاعدة مركزية يتأثر بالحجب بسبب الغطاء النباتي. وقد وضعت المحطة القاعدة على سطح أعلى مبنى في المنطقة، عند 30-40 m فوق سطح الأرض عموماً، واعتبر المبنى غير متأثر بالحجب إذا أمكن وصول مسير خط البصر إلى أي نقطة اختبار في ذلك المبنى. وكانت نقاط الاختبار الخاصة بالمبنى تقع في شبكة تربيعية منتظمة بعرض 1 m لأعلى نقطة من مسقط كل مبنى. ولم تتغير النسبة المئوية للحجب بالغطاء النباتي في مدى يفوق 1 200 m تقريباً شريطة إبقاء ارتفاع المحطة القاعدة على ما هو عليه. وفي المديات الطويلة تصبح المباني الأخرى والتضاريس الأرضية السبب المهيمن للحجب بسبب انحناء الأرض. وقد بلغ الحجب بالغطاء النباتي في منطقة شبه حضرية حوالي 25%.

أجريت القياسات عند 42 GHz لتحديد دلالة التوهين الناتج عن "الأشجار المحلية". وقد اتضح أن التوهين المتوسط كان كما هو متوقعاً في التوصية ITU-R P.833 لكن مع وجود تأثيرات كبيرة متعددة المسيرات مما يؤدي إلى حالات من انعدام الإشارة التام تتغير مع الزمن بسبب الريح التي تحرك الأوراق. واتضح أنه يمكن فك ترابط حالات الانعدام هذه بنجاح باستعمال هوائيين تفصل بينهما مسافة ≈60 cm أو أكثر. وقد بين التقارب ترابطاً أكبر والتباعد تحسناً بسيطاً في فك ترابط التوهين. ويعني ذلك أن تشكيلة ثنائية الهوائي باختلاف مكاني قد تسمح بتشغيل الخدمات في هذه الظروف. وقد بينت تجربة عند 42 GHz باستعمال هوائيين تفصل بينهما مسافة 62 cm تغيراً ملحوظاً في كل من الهوائيين واحتمال تحسن في التنوع. وبينت القياسات طويلة الأجل للانتشار عبر الأشجار المورقة أنه يمكن الحصول عموماً على كسب في التنوع قدره 10 dB.

ويكون التوهين بسبب الأشجار شديداً عند أطوال الموجات المليمترية. ويعتمد معدل التوهين على نوع الأشجار ومحتوى الرطوبة وهندسة المسير، ولكن يمكن استعمال المعدل 4-5 dB/m كدليل (على الرغم من أن التوهين يصل إلى حالة تشبع عند قيمة معينة تبلغ 20-40 dB عموماً). ويوصى باستعمال النموذج الوارد في التوصية ITU-R P.833 لتحديد دلالة التوهين الناتج عن الغطاء النباتي.

## 3.2 دراسة حالة لآليات الانتشار

يقدم في هذا القسم نتائج مقلدة من دراسة حالة تستخدم قاعدة بيانات لمنطقة حضرية حقيقية. وترد أدناه النتائج التي تبين آليات الانتشار السائدة للتغطية وكذلك توزيع إحصائي لنسبة قدرة الموجات الحاملة إلى قدرة التداخل (CIR) بالنسبة لأحد سيناريوهات التداخل.

### 1.3.2 وصف المنطقة

المنطقة المختارة عبارة عن منطقة مساحتها 2 km في 1 km من حاضرة مانشستر، المملكة المتحدة. تتألف المنطقة من ثلاثة مبانٍ أعلى بشكل واضح من المباني المحيطة. وقد تم تقييم إحصائيات التغطية باستخدام مرسل وضع على ارتفاع قدره 15 m من أعلى مبنى. وقد تم تقييم إحصائيات التداخل باستخدام مرسل للتداخل وضع أعلى أحد المبنيين الآخرين العاليين. وقد تم تقدير خسارة المسير في شبكة منتظمة فوق المنطقة بارتفاع قدره 2 m. وقد تم تقسيم النقاط إلى مجموعتين فرعيتين: نقاط أعلى السطح ونقاط في مستوى الشارع.

### 2.3.2 آليات الانتشار المنمذجة

يستخدم في حساب الانتشار:

- التوصية ITU-R P.526 مع انعراج ذي نقطة واحدة عبر مقياس صغير
- الانعراج حول المنطقة
- إرسال المبنى
  - نفاذية السطح = 5
  - الخسائر داخل المبنى = 2,1 dBm

- الانعكاسات والانتثار
- وثبة مفردة ومزدوجة. مسيرات غير خط البصر مع إدراج الانعراج/الإرسال
- نفاذية السطح = 5
- الانحراف المعياري للأسطح الخشنة = 0,001 m.

### 3.3.2 التغطية بآليات انتشار متغايرة

يرد في الجدول 2 المدى الذي أثر فيه زيادة عدد آليات الانتشار المنمذجة على تنبؤات التغطية عند تردد 2,4 GHz. وتعرض الاختلافات في خسارة المسير طبقاً لتنبؤات التوصية ITU-R P.256 لنقطة واحدة.

الجـــدول 2

**ملخص للاختلافات في خسائر المسير بين التوصية ITU-R 452 لنقطة واحدة مع آليات انتشار مختلفة**

| | 1-point/Rec. ITU-R P.452 | | | 3-point/Rec. ITU-R P.452 | | | اختراق المبنى + انعراج أفقي | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جميع النقاط | Clear% LOS | % 1st Fresnel | % Over | Clear% LOS | % 1st Fresnel | % Over | Clear% LOS | % 1st Fresnel | % Over | % Through | % Around |
| | 45.57 | 9.03 | 45.40 | 45.57 | 9.03 | 45.40 | 45.57 | 9.03 | 24.85 | 6.86 | 13.70 |
| | | | | mean diff | −3.56 dB | | mean diff | 2.18 dB | | | |
| | | | | std dev | 8.42 dB | | std dev | 5.47 dB | | | |
| | | | | | 4753 points | | | 4753 points | | | |
| النقاط ذات الاختلاف فقط | | | | mean diff | −11.62 dB | | mean diff | 10.60 dB | | | |
| | | | | std dev | 11.74 dB | | std dev | 7.51 dB | | | |
| | | | | | 1455 points | | | 976 points | | | |

| | انعكاسات مرآوية + انتثار + اختراق المبنى + انعراج أفقي | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جميع النقاط | Clear% LOS | % 1st Fresnel | % Over | % Through | % Around | % Specular Reflections | % Scattering |
| | 45.57 | 8.21 | 17.99 | 3.85 | 8.46 | 15.93 | 0.00 |
| | mean diff | 5.05 dB | | | | | |
| | std dev | 10.45 dB | | | | | |
| | | 4753 points | | | | | |
| النقاط ذات الاختلاف فقط | mean diff | 17.93 dB | | | | | |
| | std dev | 12.54 dB | | | | | |
| | | 1338 points | | | | | |

يمكن أن يكون لإدراج آليات الانتشار الإضافية تأثيراً مثيراً على تنبؤات خسارة المسير، حيث يبلغ هذا التأثير غالباً 18 dB في المتوسط. وفي حين أنه قد لا يكون لهذا الأمر تأثير حاسم بالنسبة لتنبؤات التغطية، فإن له أثر كبير على أداء الأنظمة المتأثرة بالتداخل وبالتالي فإنه من المهم النمذجة بشكل صحيح.

### 4.3.2 التغطية بترددات متغايرة

تم حساب التغطية عند ترددات 2,4 و5,8 و28 GHz مع كل آليات الانتشار المنمذجة. ويبين الشكل 3 التغطية المحسوبة عند الترددات الثلاثة. وتكمن نقطة الاهتمام الرئيسية في ملاحظة أن الخسارة بالنسبة للمسيرات المنعرجة تكون أكبر بكثير عند التردد 28 GHz. بيد أن التردد 28 GHz يعاني من خسارة مسير أقل كثيراً بالنسبة لكثير من المواضع ويرجع ذلك إلى آلية الانتشار، حيث إن الخشونة السطحية للمباني تسبب انتثاراً أكبر كثيراً عند الترددات الأعلى.

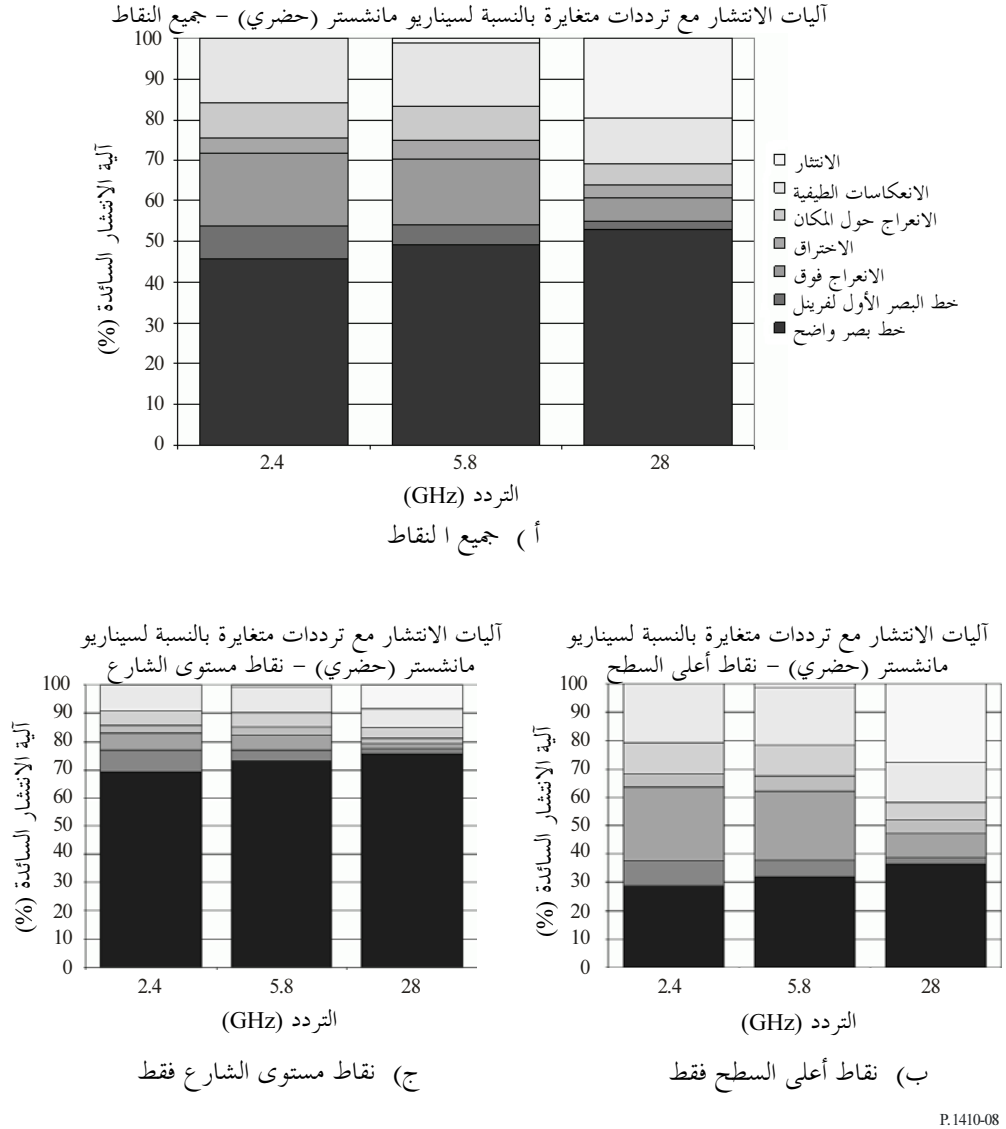
ويرد في الشكل 8 أ) النسبة المئوية لتحليل آليات الانتشار السائدة عند كل تردد. وتعتبر الانعكاسات الطيفية كبيرة بشكل خاص عند الترددات الأقل. ويصبح الانتثار كبيراً فقط عند التردد 28 GHz. ويقسم الشكلان 8 ب) و8 ج) النتائج المبينة في الشكل 8 أ) إلى مواضع أعلى السطح ومواضع مستوى الشارع، على التوالي.

ومن المفيد مواصلة دراسة أهمية آليات الانتشار كدالة في خسارة المسير الزائدة حيث إنه، على الرغم من أنه قد تسود آلية معينة، لأغراض التغطية على الأقل، فإنها قد لا تكون ذات شأن إذا كانت خسارة المسير الزائدة كبيرة. ويبين الشكل 9 آلية الانتشار السائدة لكل نقطة أعلى السطح عند كل تردد. ويوضح ذلك تأثير الانتشار عند الترددات العالية بشكل أكثر وضوحاً.

والنقاط الرئيسية الجديرة بالملاحظة من الرسوم البيانية هي أن الانعكاسات الطيفية والانعراج حول المكان يمكن أن تقدم تغطية إضافية واضحة (أقل من 10 dB، خسارة مسير زائدة) عند جميع الترددات. وتعتبر الآليات الأخرى (إرسال المبنى، الانعراج فوق، الانتشار) أقل شأناً بكثير بالنسبة لحساب التغطية. ومع ذلك فعند دراسة التداخل فإنه حتى المسيرات ذات التوهين الكبير يمكن أن تصبح ذات شأن خاصة عندما تستخدم نماذج تشكيل ذات رتب أعلى.

الشـــكل 8

**آلية انتشار سائدة إزاء التغطية**



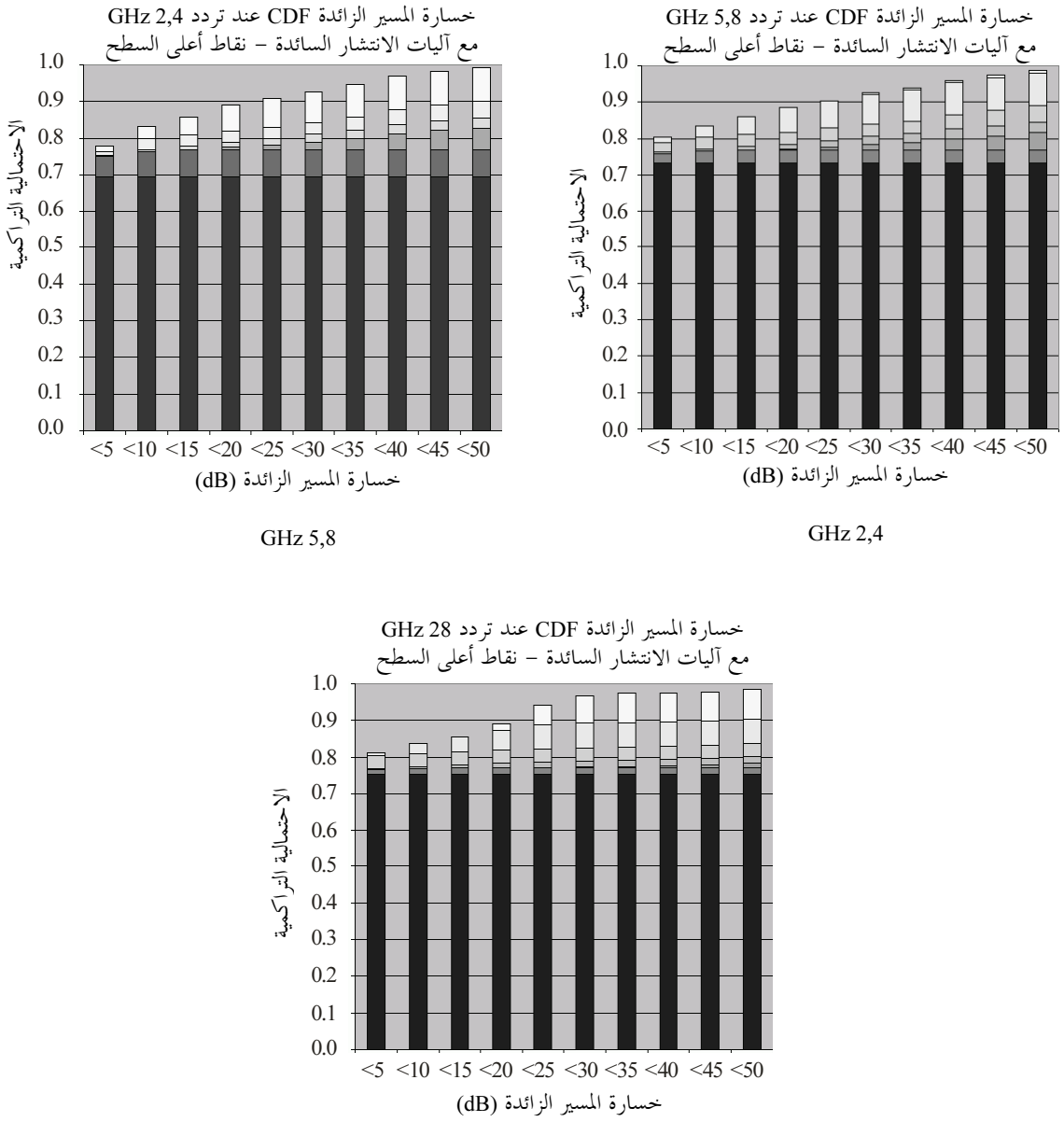

أ ) جميع ا لنقاط

ب) نقاط أعلى السطح فقط

ج) نقاط مستوى الشارع فقط

الشـــكل 9

**خسارة المسير الزائدة مقابل آليات الانتشار السائدة عند نقاط أعلى السطح**




### 5.3.2 ملخص نتائج دراسة الحالة

كشفت دراسة الحالة عن عدد من النتائج المثيرة فيما يتعلق بتأثير آليات الانتشار المختلفة عند إجراء الحسابات الخاصة بكل من التغطية والتداخل.

- يمكن أن يكون للانعكاس المرآوي والانعراج حول الأشياء تأثير كبير على التغطية عند الترددات المنخفضة.
- تبين أن الانتثار يكون كبيراً عند تردد GHz 28 فقط. وخسارة المسير الزائدة (عادة أكبر من dB 25) المنسوبة لهذه الآلية تجعلها أقل شأناً عند توفير التغطية، ولو أنه يجب دراسة هذه الآلية عند تقييم التداخل.
- لإدراج الانعكاسات المرآوية في نمذجة التداخل أثر كبير على سويات التداخل المتوقعة خاصة عندما يستخدم هوائي اتجاهي. فبالنسبة لشبكة ثابتة مع استخدام هوائيات اتجاهية في سيناريو حضري يجب نمذجة الانعكاسات من أجل التنبؤ الدقيق بالتداخلات.

ومن المهم فهم القيود الخاصة بهذا السيناريو. أولاً، النتائج قابلة للتطبيق على منطقة حضرية ذات مواقع مرتفعة للمرسلات بزوايا ارتفاع كبيرة عبر نطاقات قصيرة تم اختبارها. ويمكن للمواقع المرتفعة للمرسلات أن تغير الاستنتاجات المستخلصة ويتوقع أن تقدم السيناريوهات الخاصة بالمناطق الريفية وشبه الحضرية نتائج مختلفة إلى حد كبير فيما يتعلق بتحليل آليات الانتشار السائدة. ويقلل غياب الأجسام العاكسة الضخمة من أثر الانعكاس المرآوي ولو أن الانتشار يظل أمراً هاماً. وبالنسبة لسيناريوهات المناطق الريفية وشبه الحضرية، فإنه من المهم جداً أيضاً إدراج البيانات النباتية ونمذجتها بشكل سليم.

### 4.2 اعتماد خسارة المسير على ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS)

يبين الشكل 10 آلية الانتشار فوق أسطح المباني على أساس نموذج انتشار هندسي. ويمكننا تقسيم اختلاف ارتفاع خسارة المسير عبر المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) إلى ثلاث مناطق تبعاً للموجة الواردة المهيمنة عبر السوية بأكملها. ويبين الشكل 11 هندسة حساب تغير ارتفاع خسارة المسير في المناطق الثلاث التالية.

أ ) منطقة الموجة المباشرة المهيمنة حيث المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) قصيرة جداً (الشكل 11 (أ))

وفي هذه المنطقة، يمكن للموجة المباشرة أن تصل على أي ارتفاع لهوائي محطة المشترك (SS). وتغلب على خسارة المسير وتغير ارتفاع خسارة المسير عند محطة المشترك (SS) خسارةُ مسير الموجة المباشرة (منطقة خط البصر في أي ارتفاع لهوائي محطة المشترك).

ب) منطقة الموجة المنعكسة المهيمنة حيث المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) قصيرة نسبياً (الشكل 11 (ب))

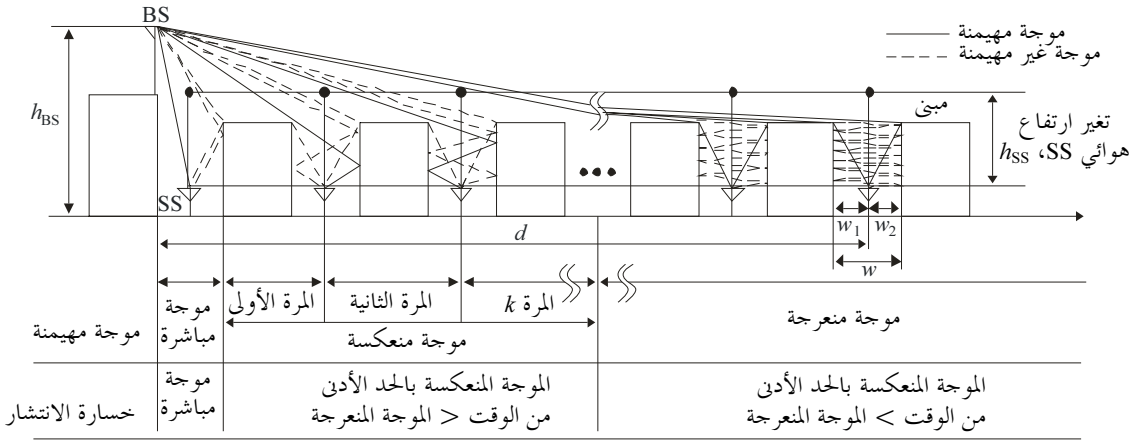
وفي هذه المنطقة، يمكن لموجة قوية منعكسة أو منعرجة مرة واحدة أو مرتين أن تصل على أي ارتفاع لهوائي محطة المشترك (SS) في منطقة مغايرة لخط البصر (NLoS). وخسارة انتشار الموجة المنعكسة بالحد الأدنى من الوقت والواردة على أي ارتفاع لهوائي محطة المشترك تقل عن خسارة انتشار الموجات المنعرجة في منطقة مغايرة لخط البصر. وتغلب الموجات المنعكسة على خسارة المسير وتغير ارتفاعها عند محطة المشترك (SS) في هذه المنطقة. وفي المنطقة القريبة نسبياً، تقابل خسارة المسير مكونات موجة مباشرة منعكسة مرة واحدة أو مرتين عند الارتفاع الأدنى الذي تصل فيه الموجات المباشرة المنعكسة مرة واحدة أو مرتين عند محطة المشترك.

ج) منطقة الموجة المنعرجة المهيمنة حيث المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) طويلة نسبياً (الشكل 11 (ج))

وفي هذه المنطقة، يمكن لموجة قوية منعكسة مرة واحدة أو مرتين أن تصل بالكاد إلى هوائي محطة المشترك (SS) في منطقة مغايرة لخط البصر، حيث يقل ارتفاع هذا الهوائي عن ارتفاع المباني المحيطة به فلا تصل إليه إلا الموجات الضعيفة المنعكسة والمنعرجة مرات عديدة. وتصبح خسارة انتشار الموجة المنعكسة بالحد الأدنى من الوقت والواردة إلى هوائي محطة المشترك أعلى من خسارة انتشار الموجة المنعرجة. وتغلب الموجات المنعرجة عن حافة سقف البناء على خسارة المسير وتغير ارتفاعها عند محطة المشترك (SS) في هذه المنطقة. وتكاد خسارة المسير وتغير ارتفاعها عند محطة المشترك تتطابق مع تلك التي تميز انتشار الموجة المنعرجة.

الشـــكل 10

**آلية الانتشار عبر أسطح المباني على أساس نموذج انتشار هندسي**

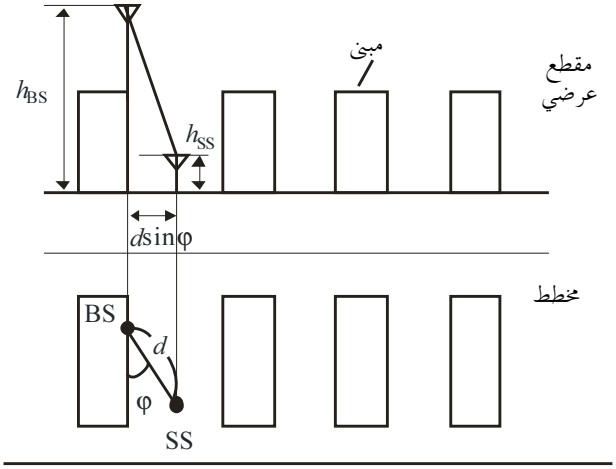



P.1410-10

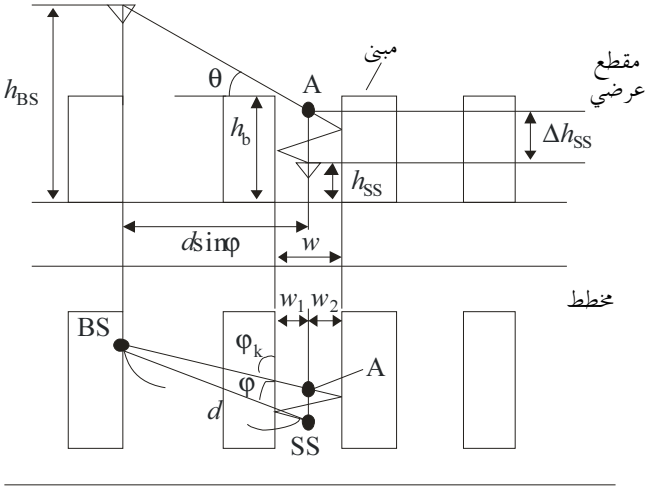
الشـــكل 11

**نموذج الانتشار القائم على الموجات المهيمنة التي تؤثر في تغير خسارة المسير حسب الارتفاع**

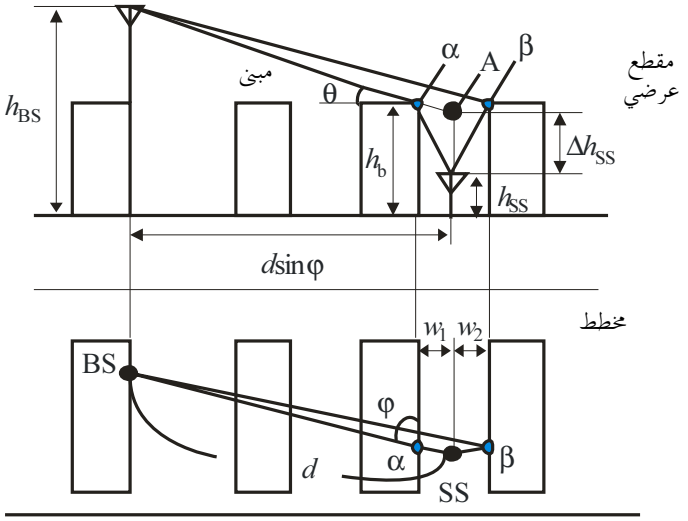
أ ) منطقة الموجة المباشرة المهيمنة حيث المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) قصيرة جداً




ب) منطقة الموجة المنعكسة المهيمنة حيث المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) قصيرة نسبياً




ج) منطقة الموجة المنعرجة المهيمنة حيث المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) طويلة نسبياً



تعطى المعلمات ذات الصلة لكل حالة فيما يلي:

$f$: التردد (GHz)

$\varphi$: الزاوية بين صف مباني وخط الرؤية/خط البصر (بالدرجات)

$h_{BS}$: ارتفاع هوائي محطة القاعدة (m)

$h_{SS}$: ارتفاع هوائي محطة المشترك (m)

$\Delta h_{SS}$: العمق إلى منطقة الظل (m)

$h_b$: متوسط ارتفاع المبنى (m)

$w$: المسافة بين المباني (m)

$d$: المسافة الأفقية بين الهوائيين (m).

وهنا، يصح هذا النموذج بالنسبة لما يلي:

$f$: 2 إلى 30 GHz

$\varphi$: 10 درجات إلى 90 درجة

$h_{BS}$: حتى 70 m (أعلى من $h_b$)

$h_{SS}$: 2 إلى (3+ $h_b$) m

$w$: 10 إلى 25 m

$d$: 10 إلى 5 000 m

(**ملاحظة** – يغطي مدى ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS) بشكل مستمر من منطقة خط البصر إلى المنطقة المغايرة لخط البصر).

وبناءً على آليات الانتشار هذه، يمكن تقسيم الخسارة الناجمة عن ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS) على هوائيات متناحية يمكن تصنيفها ضمن ثلاث مناطق من حيث موجات الورود المهيمنة عند محطة المشترك. وهي منطقة الموجة المباشرة المهيمنة (منطقة خط البصر) ومنطقة الموجة المنعكسة المهيمنة (منطقة مغايرة لخط البصر) ومنطقة الموجة المنعرجة المهيمنة (منطقة مغايرة لخط البصر). ويكاد تغير الارتفاع يساوي صفراً في منطقة خط البصر. ومن ناحية أخرى، فإن تغير ارتفاع خسارة المسير في منطقة مغايرة لخط البصر يعتمد على الموجة المهيمنة الواردة. ولذلك، فإن الخسارة الزائدة في منطقة مغايرة لخط البصر عنها في منطقة خط البصر، $L(\Delta h_{SS})$، يمكن تحديدها بما يلي:

$$L(\Delta h_{SS}) \cong \min\{L_R(\Delta h_{SS}), L_D(\Delta h_{SS})\} \text{ (dB)} \tag{27}$$

والصيغتان $L_R(\Delta h_{SS})$ و$L_D(\Delta h_{SS})$ هنا تمثلان الخسارة الزائدة الناجمة عن الموجات المنعكسة الواردة والموجات المنعرجة الواردة، على التوالي، في منطقة مغايرة لخط البصر. ويعبَّر عنهما على النحو التالي.

عندما:

$$\Delta h_{SS,k} \le \Delta h_{SS} < \Delta h_{SS,k+1}$$

$$L_R(\Delta h_{SS}) = L_R(\Delta h_{SS,k}) + \frac{L_R(\Delta h_{SS,k+1}) - L_R(\Delta h_{SS,k})}{\Delta h_{SS,k+1} - \Delta h_{SS,k}} \cdot (\Delta h_{SS} - \Delta h_{SS,k}) \quad (k = 0,1,2,3,\cdots) \text{(dB)} \tag{28}$$

$$\Delta h_{SS,k} = \frac{2kw \cdot (h_{BS} - h_b)}{2d \cdot \sin\varphi - w} \quad \text{(m)} \tag{29}$$

$$L_R\left(\Delta h_{SS,k}\right) \approx 20\log\left(\frac{d_{kp}}{d_{0p}\cdot R^k}\right) \quad \text{(dB)} \tag{30}$$

$$d_{kp} = \frac{1}{\sin\varphi_k}\cdot\sqrt{\left(d\cdot\sin\varphi + kw\right)^2 + \left\{h_{BS} + \Delta h_{SS,k} - h_b + \frac{w\cdot\left(h_{BS}-h_b\right)}{2d\cdot\sin\varphi - w}\right\}^2} \quad \text{(m)} \tag{31}$$

$$\varphi_k = \tan^{-1}\left(\frac{d\sin\varphi}{d\sin\varphi + kw}\cdot\tan\varphi\right) \quad \text{(degrees)} \tag{32}$$

$$L_D\left(\Delta h_{SS}\right) \approx \begin{cases} \left\{5.8947\cdot\log(f) + 0.31519\right\}\times\Delta h_{SS}^{\left(-0.003559\cdot f + 0.65122\right)} & \left(0\,\text{m} \le \Delta h_{SS} < 1\,\text{m}\right) \\ \left\{3.7432\cdot\log(f) + 19.245\right\}\cdot\log\left(\Delta h_{SS}\right) + 5.8947\cdot\log(f) + 0.31519 & \left(1\,\text{m} \le \Delta h_{SS} < 10\,\text{m}\right) \\ 24.5\cdot\log\left(\Delta h_{SS}\right) + 9.6379\cdot\log(f) - 4.93981 & \left(10\,\text{m} \le \Delta h_{SS}\right) \end{cases} \text{(dB)} \tag{33}$$

$$\text{(m)}\ \Delta h_{SS} = h_b - h_{SS} - \frac{w\left(h_{BS}-h_b\right)}{2d - w} \tag{34}$$

* إذا ما أصبح الفارق $\Delta h_{SS}$ سالباً، أي إذا صار هوائيا محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) على خط البصر، تُسند قيمة –6 dB للصيغة $L(\Delta h_{SS})$ بصرف النظر عن ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS) لأن هذه الصيغة مقيَّسة بخسارة الميسر عند الحد الفاصل بين منطقتي خط البصر وغير خط البصر. و$R$ هو معامل الانعكاس لسطح جدار مبنى في نطاق الموجات الصغرية وهو محدد بقيمة –8 dB مهما كانت زاوية الورود، وهذه القيمة هي القيمة المتوسطة المحصَّلة من نتائج القياسات.

## 5.2 أسلوب التنبؤ بخسارة المسير مع احتساب كسب الارتفاع عند محطة المشترك (SS)

يتنبأ الأسلوب الذي يرد وصفه في الفقرة 4.2 بالتغير النسبي في الارتفاع في خسارة المسير نسبةً إلى ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS). ويمكننا أيضاً التنبؤ بخسارة المسير نفسها باحتساب كسب الارتفاع عند محطة المشترك في ارتفاع لا على التعيين لهوائيها باستخدام أسلوب الحساب الذي يرد وصفه في الفقرة 4.2، إلى جانب أسلوب التنبؤ التقليدي بخسارة المسير في بيئة عابرة لأسطح المباني مغايرة لخط البصر كما في التوصية ITU-R P.1411.

ويمكن حساب خسارة المسير، $L(h_{ss})$، عند الارتفاع المستهدف لهوائي محطة المشترك (SS)، $h_{ss}$ (عندما يفوق هذا الارتفاع المدى الأعلى المحدد لأسلوب التنبؤ بخسارة المسير في بيئة عابرة لأسطح المباني مغايرة لخط البصر كما في التوصية ITU-R P.1411) على النحو المبين أدناه:

1) حساب خسارة المسير عند ارتفاع منخفض لهوائي محطة المشترك (SS)، $h_0$.

تُحسب خسارة المسير، $L(h_0, d)$، لارتفاع معين لهوائي محطة المشترك (SS)، $h_0$، ولمسافة فاصلة مستهدفة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS) قدرها $d$ باستخدام أسلوب التنبؤ التقليدي بخسارة المسير في بيئة عابرة لأسطح المباني مغايرة لخط البصر كما في التوصية ITU-R P.1411.

2) حساب كسب الارتفاع عندما يبلغ ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS) $h_{ss}$ استناداً إلى $h_0$.

يمكن حساب الخسارة الزائدة في منطقة مغايرة لخط البصر عنها في منطقة خط البصر عندما يبلغ ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS) $h_0$ و$h_{ss}$ باستخدام أسلوب التنبؤ بكسب الارتفاع الذي يرد وصفه في الفقرة 4.2 كصيغتي $L(\Delta h_0, d_h)$ و$L(\Delta h_{SS}, d_h)$ على التوالي.

حيث تُشتق $d_h$ وهي المسافة الأفقية الفاصلة بين محطة القاعدة (BS) ومحطة المشترك (SS)، و$\Delta h_0$ و$\Delta h_{SS}$ وهما العمقان إلى منطقة الظل من منطقة خط البصر عندما يبلغ ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS) $h_0$ و$h_{ss}$ على النحو التالي:

$$d_h = \sqrt{d^2 - (h_{BS} - h_0)^2} \tag{35}$$

$$\Delta h_0 = h_b - h_0 - \frac{w(h_{BS} - h_b)}{2d - w} \tag{36}$$

$$\Delta h_{SS} = h_b - h_{SS} - \frac{w(h_{BS} - h_b)}{2d - w} \tag{37}$$

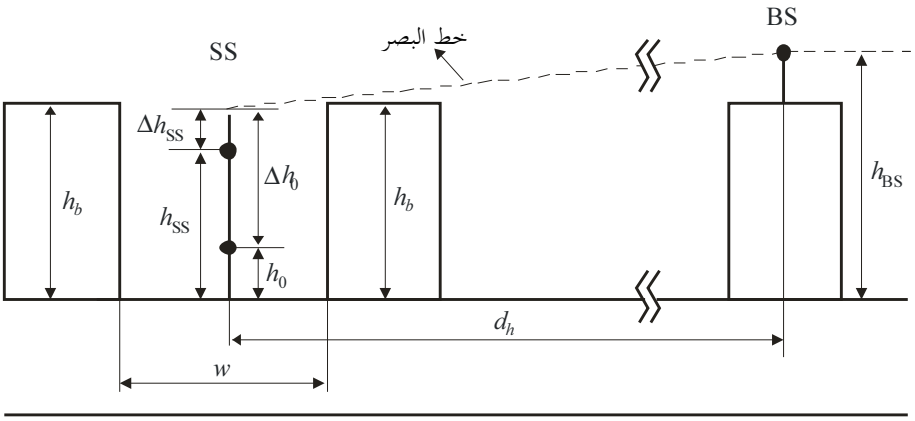
وقد جاء تعريف المعلمات $h_{BS}$ و$h_b$ و$w$ في الفقرة 4.2 وهي تظهر في الشكل 12.

3 حساب كسب الارتفاع عندما يبلغ ارتفاع هوائي محطة المشترك (SS) $h$ ...$L(h_{ss})$،

$$L(h_{SS}) = L(h_0, d) - L(\Delta h_0, d_h) + L(\Delta h_{SS}, d_h) \tag{38}$$

الشـــكل 12

**نموذج الانتشار المعتبر والمتغيرات**




P.1410-12

## 6.2 التوجهات العامة

لوحظت بعض الاتجاهات العامة استناداً إلى عدة قواعد معطيات صادرة في أوروبا الشمالية. وقد استعملت تقنية تتبع أثر الشعاع لحساب التغطية (اعتماداً على مستوى المبنى والحجب الناتج عن الغطاء النباتي بين المحطة القاعدة وموقع المستعمل) بدالة ارتفاعات هوائي المرسل وهوائي المستقبل، ومزايا تنوع وتعدد حواسيب الخدمة وأهمية الحجب الناتج عن الغطاء النباتي. والجوانب العامة هي كالآتي:

- قد تعتمد التغطية على الموقع بشكل كبير، خاصة في حالة وجود خصائص طوبوغرافية أو حدوث حجب استثنائي بسبب المباني على مقربة من المرسل. ومع ذلك سمحت عدة دراسات استقصائية أجريت على مواقع حضرية/شبه حضرية مختلفة بالحصول على نسب بالتغطية تتراوح بين 40% و60% فيما يتعلق بخلية نصف قطرها 2 km اعتباراً من سارية مرسل ارتفاعها 3 m.
- تتزايد التغطية بمقدار 1% إلى 2% فيما يتعلق بكل متر من زيادة ارتفاع سارية المحطة القاعدة.
- تتزايد التغطية بمقدار 3% إلى 4% فيما يتعلق بكل متر من زيادة ارتفاع سارية موقع المستعمل.

– من شأن معمارية خلوية تتيح للمستقبلات الاختيار بين عدة محطات قاعدة أن تزيد التغطية بشكل كبير. فبالنسبة إلى ارتفاعات هوائي المرسل التي تبلغ 30 m مثلاً تتزايد التغطية في خلية نصف قطرها 2 km بنسبة 44% فيما يتعلق بمحطة قاعدة واحدة وبنسبة 80% فيما يتعلق بمحطتين وبنسبة 90% فيما يتعلق بأربع محطات حتى وإن لم يتم انتقاء المحطات القاعدة خصيصاً لضمان رؤية إفرادية جيدة.

## 3 تأثير الهواطل على التيسرية

حالما يتقرر أن المستعمل لديه خط بصر غير محجوب باتجاه المحطة القاعدة مع هامش ملائم للنظام في الفضاء الحر يصبح من اللازم حساب النسبة المئوية للوقت الذي تكون فيه الخدمة متيسرة على أن يؤخذ في الاعتبار تأثير الهواطل.

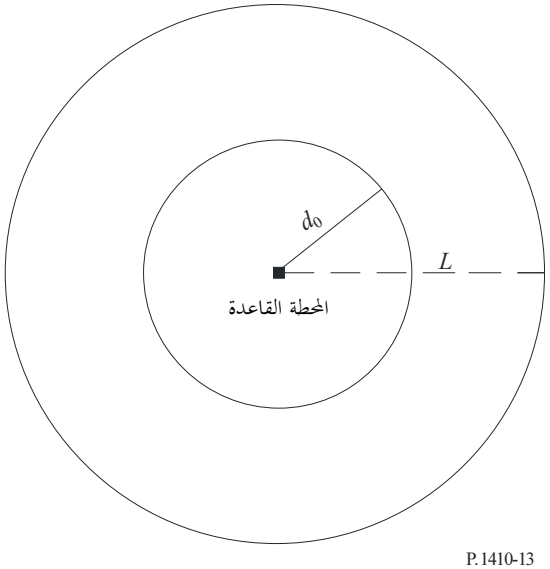
وفيما يتعلق بأي وصلة في منطقة الخدمة للمحطات القاعدة، يمكن تقدير التيسر أثناء الهواطل بواسطة الطرائق الموصوفة في التوصية ITU-R P.530.

### 1.3 تغطية المنطقة المتآونة

بما أن الأمطار غير منتظمة أفقياً (في بعدين) فإن النموذج أحادي الأبعاد الموصوف في التوصية ITU-R P.530 فيما يتعلق بالأمطار غير المنتظمة التي تؤثر في الوصلات من نقطة إلى نقطة لا يمكن تطبيقه على الوصلات الموجودة بين نقطة ثابتة ومنطقة معينة. ويمكن مراعاة عدم الانتظام ثنائي الأبعاد هذا بتطبيق توزيع متوسط معدل سقوط الأمطار على خلية المطر التي تجري دراستها. وبالنسبة إلى خلية بتغذية مركزية نصف قطرها $L$، يمثل الرسم البياني الوارد في الشكل 13 المنطقة المكافئة التي يحددها نصف القطر $d_0$ الذي يتعرض للتغطية أثناء النسبة المئوية المختارة من الوقت.

الشـــكل 13

**مخطط الخلية بتغذية مركزية يمثل نصف قطر منطقة التغطية المكافئة في ظروف المطر**




P.1410-13

وضع إجراء للتنبؤ بمنطقة التغطية بالاستناد إلى القياسات الرادارية لسقوط الأمطار التي أجريت في المملكة المتحدة على مدى سنتين.

بالنسبة إلى خلية *بتغذية مركزية* نصف قطرها $L$ (km) وهامش خبو النظام $F$ (dB) عند الحافة:

*الخطوة 1*: الحصول على المعدل المتوسط لهطول المطر في منطقة ما $R_a(p)$ الذي يتم تجاوزه خلال $p$% من الوقت، حيث $R$ هو معدل هطول المطر في نقطة معينة بالنسبة للمنطقة.

$$R_a = \left(0.317 L^{0.06} + 1\right) R^{1-0.15L^{0.2}} \tag{39}$$

ويرد في الجدول 3 مثال لهذه المعلمة فيما يتعلق بمعطيات قائمة على الرادار تم الحصول عليها في المملكة المتحدة. وفيما يتعلق بمعدل هطول المطر في نقطة معينة، يلاحظ أن المعدل المتوسط لهطول المطر في منطقة معينة ينخفض بشكل ضئيل عند سوية تجاوز بمقدار 0,1% وحوالي الثلث عند سوية تجاوز بمقدار 0,01% وحوالي النصف عند سوية تجاوز بمقدار 0,001% بالنسبة إلى منطقة دائرية نصف قطرها 2,5 km.

*الخطوة 2*: تحديد مسافة القطع $d_0$ أثناء نسبة مئوية $p$% في سنة متوسطة عن طريق حل المعادلة (39) للحصول على $d$ عددياً.

$$k\, R_a^{\alpha}(p)\, d \left(1.5 + \left(1.1\,(2d^{-0.04} - 2.25)\right)\, \log(R_a(p))\right) + 20 \log(d/L) = F \tag{40}$$

حيث تعد $k$ و$\alpha$ معلمتين تحددان التوهين النوعي الناتج عن المطر الوارد في التوصية ITU-R P.838. ويمثل التعبير $(1{,}5 + 1{,}1\,(2d^{-0{,}04} - 2{,}25))\,\log(R_a(p))$ عامل تخفيض المسير المنطبق على الحسابات الخاصة بالمنطقة.

*الخطوة 3*: بالنسبة إلى مسافة القطع $d_0 \propto (L, p, F)$، تكون تغطية المنطقة لهذه الخلية كالتالي:

$$C(L, p, F) = 100 \left(\frac{d_0}{L}\right)^2 \quad \% \tag{41}$$

ويبين الشكل 14 نتائج الإجراء الناتجة من المعادلات (39) و(40) و(41) لخليتين بتغذية مركزية بنصف قطر 2,5 و5 km وبنظامين مع استعمال استقطاب عمودي عند التردد 42 GHz على أساس هامش توهين بسبب المطر قدره 10 و15 dB عند حافة الخلية. ويفترض في هذا الصدد أيضاً أن كسب هوائي المرسل متساوٍ بالنسبة إلى جميع المستعملين. وتراعى في الحسابات الخسارة في الفضاء الحر (المعادلة (40)).

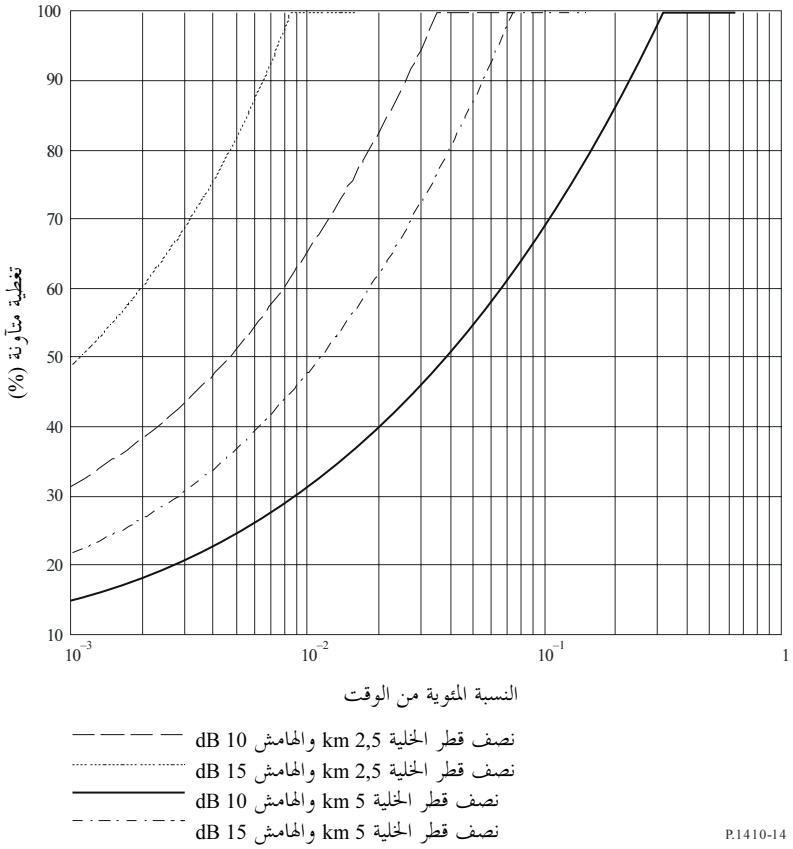
الجـــدول 3

**متوسط معدل هطول المطر في نقطة معينة وفي منطقة معينة من خلال مجموعة معطيات رادارية مقيسة على مدى سنتين في المملكة المتحدة**

| النسبة المئوية من الوقت | معدل هطول المطر في نقطة معينة، $R$ (mm/h) | متوسط معدل هطول المطر في منطقة معينة $R$ (mm/h) | |
|---|---|---|---|
| | | نصف القطر = 2,5 km | نصف القطر = 5 km |
| 0,001 | 65,6 | 36,0 | 33,0 |
| 0,003 | 46,2 | 29,0 | 23,4 |
| 0,01 | 29,9 | 19,4 | 17,1 |
| 0,03 | 18,1 | 16,3 | 12,6 |
| 0,1 | 9,8 | 9,5 | 8,5 |
| 0,3 | 5,0 | 4,9 | 4,8 |
| 1 | 2,0 | 2,1 | 2,1 |

الشـــكل 14

**تطبيق الإجراء عند الموقع 1,5° غرب، 51° شمال**




## 2.3 تحسين تنوع الطرق

تتغير الهواطل عمودياً وأفقياً حسب الوقت والمكان تغيراً كبيراً. ويراعى هذا التغير في النمذجة الحالية فيما يتعلق بوصلة واحدة بين مطرافين، وذلك مثلاً باستعمال طول المسير الفعال، بافتراض أن مستعملاً يمكنه أن يُوصل بمحطتين قاعدتين أو أكثر في أي وقت. ويشرح هذا الفرع إلى أي مدى يمكن تحسين التيسر في حالة تركيب مثل هذا النظام.

وتفترض شبكة من نمط نجمي بعقدة مركزية تشمل مرسلين ومستقبلاً واحداً، ويفترض أن طولي المسير واحد حيث يتراوح الفصل الزاوي φ بين 0° و360°.

نظراً إلى أن هطول المطر غير منتظم أفقياً فإن الإحصاءات المتعلقة بالتوهين بالنسبة إلى المسير الوحيد وإلى مسيري التنوع تكون مختلفة. ويبين الشكل 15 الإحصاءات النموذجية للتوهين عبر مسير غير محمي وعبر مسيري التنوع المندمجين. وتعرف المعادلتان التاليتان التحسين العائد إلى الفصل الزاوي الذي يمكن التعبير عنه بتحسين التنوع $I(A_i)$ أو كسب التنوع $G(A_i)$، بالإشارة إلى أحد مسيرين بديلين $i = 1,2$ (تشكيلة التنوع غير المتوازن):

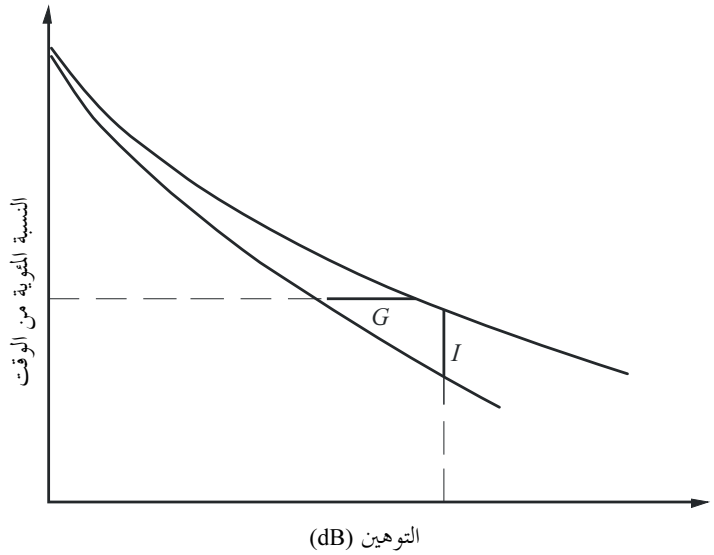
$$I(A_i) = \frac{P(A_i)}{P_d(A_i)} \quad ، i=1,2 \tag{42}$$

$$G(A_i) = A(t) - A_d(t) \quad ، i=1,2 \tag{43}$$

حيث $P_d(A_i)$ هي النسبة المئوية من الوقت في مسير التنوع المندمج حيث يكون عمق الخبو أعلى من $A_i$ وتشير $P(A_i)$ إلى النسبة المئوية من الوقت للمسير غير المحمي. وعلى غرار ذلك، تشير $A_d(t)$ إلى عمق الخبو في مسير التنوع المندمج الذي يمثل النسبة المئوية من الوقت $t$ ويقابل $A(t)$ المسير غير المحمي.

الشـــكل 15

**مثال عن إحصاءات التوهين بدالة التنوع الزاوي للمسير**




فيما يلي الخطوات اللازمة لاشتقاق تحسين التنوع $I$ وكسب التنوع $G$:

*الخطوة 1*: تقريب التوزيع السنوي لتوهين المطر $A_i$ (dB) عبر كل مسير $i$ = 1,2 باستخدام توزيع لوغاريتمي طبيعي:

$$P(A_i) = \frac{1}{2}\operatorname{erfc}\left(\frac{\ln A_i - \ln A_{mi}}{\sqrt{2}S_{ai}}\right) \tag{44}$$

حيث $\operatorname{erfc}(x)=2/\sqrt{\pi}\int_x^\infty e^{-z^2}\,dz$ هي دالة الخطأ المتممة. ولحساب $A_{mi}$ و$S_{ai}$، يوصى بإجراء ملاءمة إما على القياسات المحلية المتوفرة أو على توزيع توهين المطر في الفقرة 1.4.2 من التوصية ITU-R P.530. وترد تفاصيل هذا الإجراء في الملحق 2 بالتوصية ITU-R P.1057.

*الخطوة 2*: تحديد ثابت عدم تجانس المطر $D_r$، أي المسافة بالكيلومترات التي يساوي عندها معامل الترابط $\sqrt{2}/2$. وثمة قاعدة بسيطة لحساب $D_r$ تعتمد على الارتفاع المطلق $|lat|$ للموقع:

$$D_r = 0.644\ln\left(|lat|\right) - 1.02, \quad 5^o \le |lat| \le 90^o \tag{45}$$

*الخطوة 3*: تحديد المسافة المميزة لمنطقة هطول المطر على أنها $D_c = 20\text{x}\, D_r$.

*الخطوة 4*: تقييم المعلمة المكانية $H_i$، $i$ = 1,2 عبر كل مسير بديل بطول $L_i$:

$$H_i = 2L_iD_r\sinh^{-1}\left(L_i/D_r\right) + 2D_r^2\left(1-\sqrt{\left(L_i/D_r\right)^2+1}\right), \quad i=1,2 \tag{46}$$

*الخطوة 5*: استخدام أسلوب التكامل العددي لتقييم المعلمة المكانية $H_{12}$ بين المسيرين:

$$H_{12} = \int_0^{L_1}\int_0^{L_2}\rho_0(d)\,d\ell_1\,d\ell_2 \tag{47}$$

حيث:

$$\rho_0(d) = \begin{cases} \dfrac{D_r}{\sqrt{D_r^2 + d^2}} & d \le D_c \\ \dfrac{D_c}{\sqrt{D_r^2 + D_c^2}} & d > D_c \end{cases} \quad (48)$$

وتعطى مسافة نقطتي المسيرين البديلين اللذين يشكلان الزاوية φ بالصيغة التالية:

$$d^2 = \ell_1^2 + \ell_2^2 - 2\ell_1\ell_2 \cos\phi \text{ ، } 0 < \ell_1 \le L_1 \text{ ، } 0 < \ell_2 \le L_2 \quad (49)$$

*الخطوة 6*: حساب معامل الترابط لتوهين المطر:

$$\rho_a = \frac{1}{S_{a1}S_{a2}} \ln\left[\frac{H_{12}}{\sqrt{H_1 H_2}}\left(e^{S_{a1}^2} - 1\right)^{1/2}\left(e^{S_{a2}^2} - 1\right)^{1/2} + 1\right] \quad (50)$$

*الخطوة 7*: يعطى الاحتمال المشترك لتجاوز مجموع تشكيلة التنوع (غير المتوازنة) عمق الخبو $A_i$ بالصيغة التالية:

$$P_d(A_i) = \frac{1}{2}\int_{u_2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{u_1 - \rho_a u}{\sqrt{2}\sqrt{1-\rho_a^2}}\right) du \quad (51)$$

حيث:

$$u_i = \frac{\ln A_i - \ln A_{mi}}{S_{ai}}, \; i = 1, 2 \quad (52)$$

*الخطوة 8*: يتم الحصول على تحسين التنوع $I$ عند مستوى التوهين المرجعي $A_i$ على أساس التعريف المعطى في المعادلة (42).

*الخطوة 9*: يتم الحصول على كسب التنوع $G$ عند النسبة المئوية المرجعية $t$ على أساس التعريف المعطى في المعادلة (43)، بعد عكس المعادلتين (44) و(51) (انظر الملاحظة 1).

**الملاحظة 1** – يجب تطبيق تحليل عددي لعكس المعادلة (51).

## 4 تشوه قناة الانتشار

يتناول هذا الفرع التأثيرات المتآونة لديناميات الغطاء النباتي والانتشار عبر عدة مسيرات (المباني والتضاريس الأرضية) على قناة المسير. ونظراً لندرة المعطيات المتاحة حالياً، تعطى نتائج القياس المتيسرة على سبيل الإرشاد فقط. ويمكن الحصول على المعلومات المتعلقة بتغير الإشارة والانحراف المعياري فيما يتعلق بالانتشار من خلال تحرك الغطاء النباتي في التوصية ITU-R P.833.

### 1.4 توهين انتقائي للتردد العائد إلى الغطاء النباتي

أجريت قياسات بواسطة مجموعة مراشيح للإرسال في عرض نطاق 34 MHz بهدف دراسة احتمال حدوث توهين انتقائي للتردد عبر القناة. وتضمنت مجموعة المراشيح ثماني قنوات يبلغ عرض نطاقها 1,6 MHz (–3 dB) ويفصل بينها 3 MHz وضعت في وسط القناة.

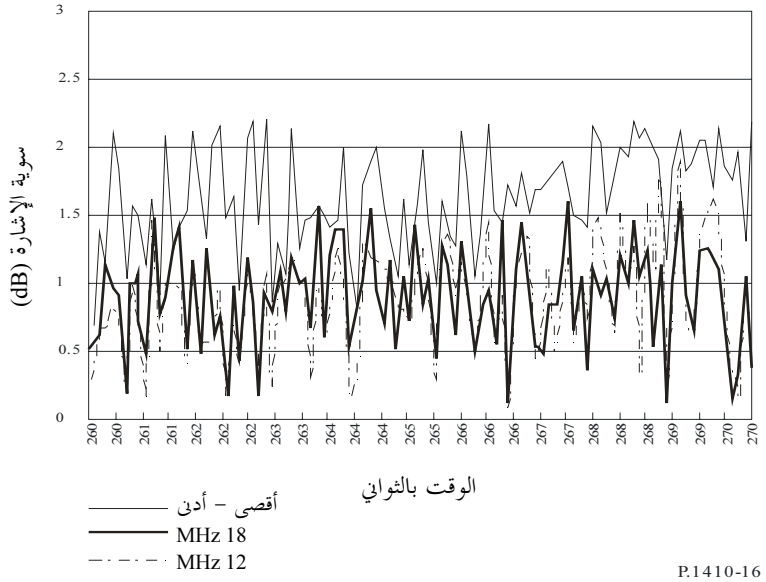
وقد أجريت القياسات وراء شجرة من نوع البتولة عند مسافة 15 m مع فاصل اعتيان قدره 100 ms. ونظراً لعدم وجود رياح خلال فترة القياس، جرت محاكاة تأثير الريح بواسطة حبال تهتز بها الشجرة. ويرد في الشكل 16 مقارنة بين سويات

إشارة القنوات في ظروف رياح قوية. وتوحي السوية المنخفضة للتغير الملحوظ عبر القناة بعدم وجود توهين انتقائي كبير للتردد. وبالتالي فإن التغير الزمني لسوية الإشارة قد يكون ناتجاً عن تغير الحجب أو عن كثافة الأغصان والأوراق الواقعة بين المستقبل والمرسل، أو بسبب الانتشار عبر عدة مسيرات حيث يكون الاختلاف في وقت الانتشار ضئيلاً جداً.

وزيادة في اختبار النتائج الملحوظة أجريت تجربة باستعمال مضمام القدرة القصوى (MPC) وهوائيين فرديين يفصل بينهما 72 cm. وأجري إرسال اختباري MPEG-2 TV عند 42 GHz باستعمال النسق DVB-S (التصحيح الأمامي للخطأ لنصف معدل التشكيل التربيعي بزحزحة الطور). ووضعت الإشارات الصادرة من كل هوائي وكذلك الإشارات المختلطة من خلال مضمام القدرة القصوى في ثلاثة صناديق لفك الشفرة ومراقيب فيديوية في الخدمة الإذاعية الفيديوية الرقمية (DVB-S). وقد نصبت الأجهزة لكي يستقبل كلا الهوائيين الإشارات من خلال أغصان الأشجار المتحركة. وقد عانى كلاً من نظامي DVB-S وحيدي الهوائي من خسارة منتظمة في الرزمة. وكان معدل خسارة الرزمة شديداً بحيث يصعب تصحيحه بمفكك التشفير مما سبب خسارة فيديوية متكررة. وعلى عكس ذلك، عانت الإشارة المختلطة بواسطة مضمام القدرة القصوى من خسارة رزمة منخفضة وبالتالي استطاع مفكك التشفير MPEG-2 من التعويض عن ذلك وظل الإرسال الفيديوي مستقراً.

الشـــكل 16

**مقارنة بين سويات إشارة القنوات في ظروف رياح قوية**




## 2.4 الانتشار عبر عدة مسيرات الناتج عن الانعكاسات

### 1.2.4 نتائج تقنية تتبع أثر الشعاع

بينت عمليات محاكاة تتبع أثر الشعاع أن مشكلة الانتشار عبر عدة مسيرات تبدو قليلة الشأن في الظروف التي سيشغل النظام في ظلها، وأن حزمة هوائي المستقبل الضيقة جداً تسبب توهيناً كبيراً جداً للإشارات المنتشرة عبر عدة مسيرات. والأشعة التماسية الضحلة جداً المنبعثة من السطوح المجاورة ومن الأرض هي وحدها التي تتسرب إلى المستقبل بدرجة لا بأس بها من الاتساع. ونتيجة لذلك، فإن قيم تمديد وقت الانتشار الملحوظة بواسطة المحاكاة ضعيفة جداً.

لم تدرس الأشعة المنعرجة أثناء محاكاة تتبع أثر الشعاع ولكن بينت بعض الأعمال السابقة أن هناك مواقع قليلة جداً يمكنها استعمال الأشعة المنعرجة، وبالتالي من المرجح أن تكون هناك مواقع قليلة حيث تشكل الأشعة المنعرجة مصدراً للتداخل.

وعلى سبيل المثال، أجريت حسابات بتتبع أثر شعاع تمديد وقت الانتشار لمواقع المستقبلات باستعمال قاعدة معطيات كبيرة (أوكسفورد، المملكة المتحدة). وقد أعطت هذه الحسابات قيما منخفضة للغاية بسبب السويات المنخفضة جداً للانتشار عبر

عدة مسيرات. وقد لوحظ أن القيمة المتوسطة الفعالة لتمديد وقت الانتشار بلغت حوالي 0,01 ns، وهو ما يعادل تقريباً عرض نطاق للتماسك قدره 15 GHz. ولن يشكل ذلك مشكلة بالنسبة إلى نظام نفاذ راديوي عريض النطاق. ومن المستبعد أن تكون القيمة الحقيقية الفعالة لتمديد وقت الانتشار منخفضة إلى هذا الحد في الواقع وذلك بسبب الأشعة المنعرجة المذكورة أعلاه، ولكن يمكن واقعياً اعتبار عرض نطاق للتماسك يصل إلى 5 GHz. ويبلغ الانحراف المعياري للقيمة الفعالة لتمديد وقت الانتشار حوالي 0,01 ns.

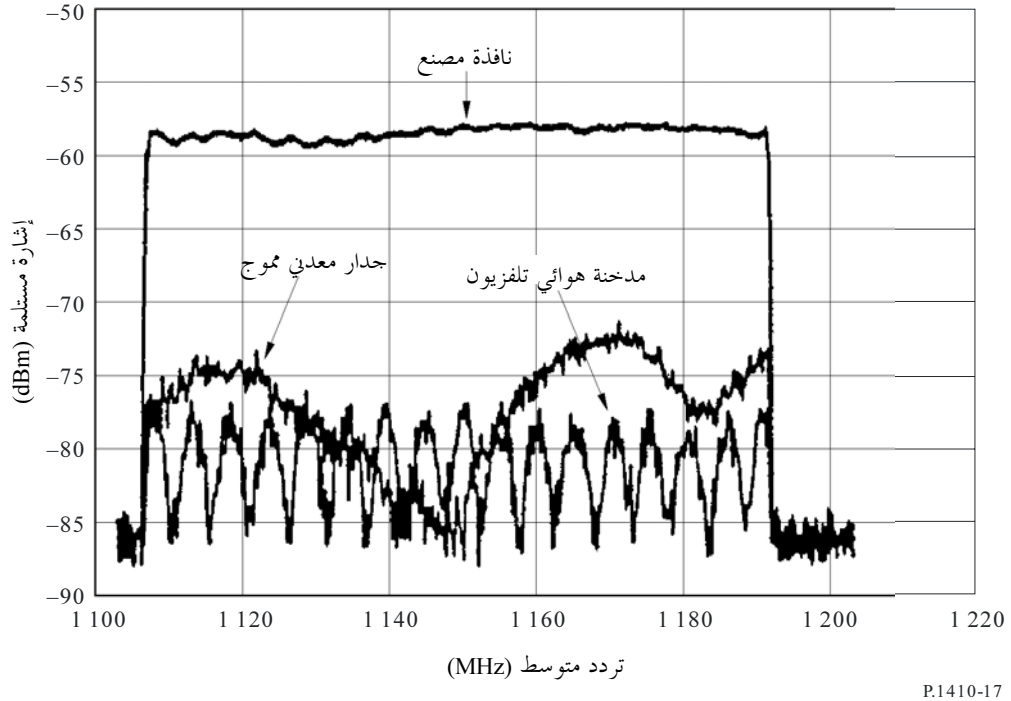
### 2.2.4 نتائج من القياسات

يمكن اعتبار الانعكاسات الناتجة عن المباني بمثابة إمكانية لملء منطقة الحجب وبمثابة انتشار ضار عبر عدة مسيرات على حد سواء. وقد بينت بعض عمليات الرصد باستعمال كنس تردد قدره 80 MHz أنه يمكن زيادة عدد المواقع المستقبلة لإشارة ملائمة للتغطية بنسبة 9% وذلك بإضافة الإشارات المنعكسة. ومع ذلك ينبغي ملاحظة أن استعمال إشارات منعكسة لتوفير خدمة معينة يثير عدة مشاكل. أولاً يجب أن تكون الإشارة مستقرة أي أن يكون لإشارة الورود إلى الشيء العاكس مسير عبر خط البصر. وإذا عبر أي جزء من المسير الغطاء النباتي أو مسيراً يحتمل أن يتعرض إلى الحجب بسبب الحركة ستظهر الإشارة الناتجة تغيراً زمنياً. وثانياً يجب أن يكون الشيء العاكس ذاته دائماً ومستقراً.

يكون لمساحة وخشونة سطح المبنى العاكس تأثير كبير للغاية على استجابة تردد القناة. ويبين الشكل 17 استجابة القناة المقيسة فيما يتعلق بثلاث إشارات منعكسة مختلفة: تأتي الإشارة الأولى من نافذة مصنع والإشارة الثانية من مدخنة منزل ذي شرفة (المنزل مجهز أيضاً بهوائي لتلفزيون ياغي) والإشارة الثالثة يعكسها جدار معدني مموج لمبنى كبير للبيع بالتجزئة. وجدير بالملاحظة فيما يتعلق بهذا المبنى أن الجدار المعدني المموج يعطي انعكاساً زاوياً ممدداً وليس انعكاساً زاوياً مرآوياً. وبلغت المسافة بين المواقع والمرسل 1,34 km و1,57 km و616 m على التوالي.

الشـــكل 17

**استجابة التردد للانعكاسات المقيسة في ثلاثة مواقع مختلفة**



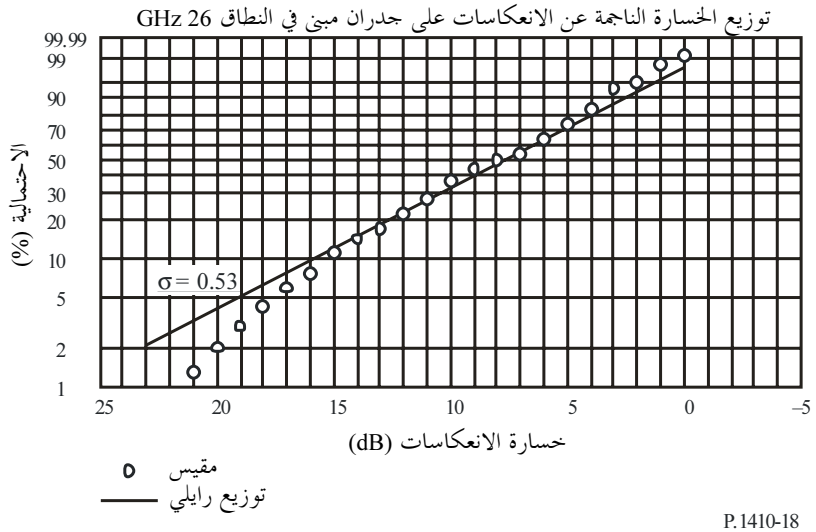
من الملاحظ أن نافذة المصنع توفر استجابة تردد منتظمة بصورة عامة لأنها تتصرف كمرآة مسطحة وتتضمن عنصراً مرآوياً واحداً. في حين يظهر الجدار المعدني المموج والمدخنة تموجاً مميزاً يقابل الاختلاف في طولي المسير (على افتراض نموذج بمسيرين) بمقدار 6 m و60 m على التوالي. وفيما يتعلق بانعكاس المدخنة، قد يعزى طول مسافة المسير إلى اجتماع الانعكاس المتأتي من شيء آخر يقع عند 30 m تقريباً وراء المدخنة. وفي حالة الجدار المعدني المموج يمكن الحصول على اختلاف طول المسير بمقدار 6 m من مختلف أجزاء الجدار ذاته، نظراً إلى أن المبنى بكامله يمكن أن يساهم في انعكاس الإشارات وليس فقط المنطقة المرآوية الصغيرة.

وقد تم تنفيذ قياسات الطيف الترددي واسع النطاق في منطقة شبه حضرية في كل من نطاقي التردد 5 GHz و25 GHz. وكان النطاق المشغول لطيف الإرسال 26 MHz وكان هناك جزء يبلغ مداه 10 MHz من الجزء المركزي للنطاق مسطح إلى حد كبير. وفي كل طيف ترددي، يمكن حساب الحد الأقصى لتشتت الاتساع داخل النطاق من السوية القصوى والسوية الدنيا في المدى البالغ 10 MHz من الجزء المركزي للطيف. وبفرض نموذج تداخل بموجتين، فإن النسبة *(D/U)* للموجة D كموجة مباشرة والموجة U كموجة منعكسة تعتبر عاملاً مهماً في تقدير تشتت الاتساع داخل النطاق. ويتأثر تشتت الاتساع داخل النطاق عند محطة طرفية بالحجب الناتج عن عوائق مثل المنازل والأشجار المحيطة. وبفرض أن سوية الموجة U ثابتة، فإنه يمكن القول إن القيمة *D/U* لمسير الانتشار تساوي من 20 إلى 30 dB. ويشير هذا إلى أنه في حالة استخدام هوائي لمحطة طرفية له كسب هوائي قدره 15 dBi تقريباً مع حدوث حجب أكبر من 20 dB، فإن للاختلاف في الاتساع داخل النطاق تشتت ضار. ويؤثر كسب الهوائي الاتجاهي على سوية كبت موجات التداخل. ويمكن افتراض قيمة قدرها 50 dB للنسبة *D/U* بالنسبة لهوائي له كسب قدره 32 dBi و30 dB لهوائي كسبه 12 dBi. ويقابل الفرق بين كسبي الهوائيين الفرق بين قيمتي *D/U* السابقتين.

إن قياسات كنس التردد باستعمال إشارة مستقطبة عمودياً عند 26 GHz التي أجريت بزوايا انعكاس تتراوح بين 87,5° و89° (أي بشكل متعامد تقريباً مع سطح الجدار)، بينت توهيناً متوسطاً قدره 7,5 dB. وكان المرسل والمستقبل يقعان في نفس المكان. وتراوحت المسافات حتى الجدران من 37 m إلى 402 m. وقد استعملت أربعة مبان تتكون مساحة الجدران فيها من الزجاج والقرميد والمعدن وبالتالي يتراوح عدم انتظام السطح بين 3 cm و75 cm. وجدير بالملاحظة أن متجه المجال الكهربائي كان متوازياً مع الجدران. ويبين الشكل 18 توزيعاً تراكمياً للخسارة بسبب الانعكاسات. وقد وجد أن الانحراف المعياري للتناقض في القياسات نسبة إلى توزيع رايلي $\sigma$ = 0,53 dB.

الشـــكل 18

**التوزيع التراكمي للخسارة الناجمة عن الانعكاسات على جدران مبنى والمقيس عند تردد 26 GHz**



## 5 التداخل

تصمم الأنظمة الراديوية الخلوية على أساس التوفيق بين نمط إعادة استعمال التردد ونسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/I*). وقد يحتاج الأمر إلى حد أدنى من نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء كي يتسنى لنظام معين أن يعمل بشكل مرضٍ، أي حسب نوعية الأداء المحددة.

وفي ضوء الحد الأدنى المطلوب من نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/I*) يصبح من السهل وضع نموذج منتظم لإعادة استعمال التردد يفي بالغرض. ومع ذلك ينبغي أن تؤخذ خصائص التضاريس الأرضية في الاعتبار كما ينبغي اختيار موقع المحطة القاعدة بعناية للحصول على نوعية الأداء المطلوبة لنظام النفاذ الراديوي.

وفي معظم الحالات لن يتأثر بذلك سوى قلة من المستعملين بسبب ضيق حزمة هوائي المطراف. ويتراوح عرض الحزم بين 2° و3°. وبالنسبة للمستعملين الذين قد يتعرضون للتأثير يمكن استعمال النماذج الموصوفة في التوصية ITU-R P.452 والتوصية ITU-R P.530 لتقدير النسبة المئوية من الوقت الذي تنبعث فيه الإشارة الضارة خارج خط البصر والإشارة المعززة على خط البصر، على التوالي، من المحطة القاعدة المسببة للتداخل. ولكن لا تتوفر فوق 37 GHz، أي معطيات لتأكيد صحة القيم المتنبأ بها.

جرى تقييم مشكلة التداخل باستعمال المعطيات الناتجة عن دراسة 111 موقعاً خلال حملة قامت بها المملكة المتحدة لقياس تغطية منقطة معينة. وجرت دراسة مرسل آخر كمصدر محتمل للتداخل. ومن مجموع المعطيات بيّن موقع واحد فقط انبعاث إشارة من المرسل غير المطلوب تفوق سويتها عتبة الضوضاء في فتحة حزمة الهوائي المسدد نحو المرسل المطلوب، وحتى في هذه الحالة لوحظ أن نسبة الإشارة المطلوبة إلى الإشارة غير المطلوبة بلغت 15 dB. ويبدو أن ذلك يؤكد أن التداخل فيما بين الخلايا سيكون طفيفاً على الأرجح بسبب ضيق فتحات هوائيات المستقبل.

_____