

كتيب عن انتشار الموجات الأرضية



طبعة 2014

مكتب الاتصالات الراديوية

كٲب عن

انتشار الموجات الأرضية



طبعة 2014

مكتب الاتصالات الراديوية

تمهيد

يتسم انتشار الموجات الأرضية في الاتصالات، لا سيما البث الإذاعي، بأهمية خاصة عند الترددات المنخفضة حيث اعتمد هذا الأسلوب لأكثر من 90 عاماً.

يقسم الكتيب إلى أربعة أقسام رئيسية تتناول ما يلي:

- الأساسيات والنظرية؛
- الاعتبارات الرئيسية الواسعة النطاق وطرائق التنبؤ المستخدمة في عمليات تقييم التوافق وإجراءات التخطيط، المستخدمة في إدارة الطيف وأغراض التغطية؛
- التغيير على نطاق أصغر الذي قد يكون ذا أهمية رئيسية في تقييم جودة الخدمات؛
- القياسات والطور.

ومن بين المساهمين في هذا الكتيب الأشخاص التالية أسماؤهم بحسب الترتيب الأبجدي:

Itziar ANGULO	إتزيار أنغولو
Les BARCLAY	ليس باركلي
Yuri CHERNOV	يوري تشيرنوف
Nick DEMINCO	نيك دمينكو
Igor FERNÁNDEZ	إغور فرنانديز
Unai GIL	يوناي جيل
David GUERRA	ديفيد غويرا
John MILSOM	جون ميلسوم
Iván PEÑA	إيفان بينيا
David DE LA VEGA.	ديفيد دي لا فيغا

جدول المحتويات

الصفحة

1	.....	القسم 1 - اعتبارات نظرية.....	
1	.....	مقدمة	1
1	.....	تطور نظرية الموجة السطحية	2
3	.....	نظرية الموجات السطحية	3
3	.....	1.3 مقدمة إلى النظرية	
4	.....	2.3 نظرية الأرض المنتظمة المتجانسة	
7	.....	3.3 تأثيرات الغلاف الجوي	
9	.....	القسم 2 - طريقة التنبؤ التي يوصى بها قطاع الاتصالات الراديوية.....	
9	.....	التوصية ITU-R P.368	4
11	.....	المعاوقة السطحية	5
11	.....	توصيلية الأرض	6
11	.....	1.6 توصيلية البر	
13	.....	2.6 توصيلية البحر	
15	.....	القسم 3 - إجراءات تختلف عن إجراء التنبؤ الرئيسي	
15	.....	7 الأرض المنتظمة ذات التوصيلية المختلطة.....	
15	.....	1.7 تأثير الاستعادة فوق البحر	
17	.....	2.7 طريقة ملنغتون للمسيرات المختلطة	
18	.....	3.7 تقدير قيمة تمثيلية للتوصيلية من أجل مسيرات مختلطة في النطاق MF	
18	.....	حالة البحر	8
19	.....	البيئات الريفية	9
19	.....	البيئات الحضرية	10
19	.....	1.10 تأثير المناطق الحضرية المكتظة بالعمران، 0,1 إلى 20 km	
26	.....	2.10 المسافات التي تتجاوز 25 km	
29	.....	التغيرات الموسمية في انتشار الموجة الأرضية	11
29	.....	1.11 نبذة تاريخية	
31	.....	2.11 التغيرات اليومية في انتشار الموجة السطحية	

الصفحة

33	.....	القسم 4	33
33	.....	هوائيات الاستقبال	12
34	.....	توصيف التغير المكاني لشدة المجال	13
35	.....	التضاريس غير المنتظمة	14
37	.....	التأثيرات المحلية في المناطق المبنية	15
37	.....	1.15 القياسات في المناطق المكتظة بالمباني	
41	.....	2.15 تأثير تردد الإرسال في البيئات الحضرية	
41	.....	3.15 التغير الواسع النطاق في شدة المجال	
42	.....	التغير المكاني الصغير النطاق لشدة المجال	16
43	.....	الانتشار داخل المباني	17
47	.....	القسم 5	47
49	.....	طرائق القياس	18
47	.....	1.18 مقياس شدة المجال	
47	.....	2.18 قياس القدرة المشعة	
48	.....	3.18 قياس التوصيلية الفعالة للأرض	
49	.....	19 طور الموجة السطحية [71]	
49	.....	1.19 مقدمة	
49	.....	2.19 الأرض المتجانسة المنتظمة	
49	.....	3.19 اضطرابات الطور الثانوي	
50	.....	4.19 المسيرات غير المتجانسة	
50	.....	5.19 عدم انتظام التضاريس الأرضية	
50	.....	6.19 تأثيرات الأرصاد الجوية	
53	.....	الملحق 1 - طريقة لي (Lee) المعممة	
55	.....	المراجع	20

القسم 1

اعتبارات نظرية

1 مقدمة

تتعرض إشارات الموجات السماوية التي تنتشر عبر الأيونوسفير عند الترددات المتوسطة وأثناء ساعات النهار إلى توهين كبير؛ والموجة الأرضية، أو بشكل أدق الموجة السطحية، هي أسلوب الانتشار الذي ينقل جميع الإشارات التي تشغل نطاق الإذاعة بالموجات الهكثومترية (MF). كما تدعم الموجات السطحية عمليات الإذاعة بالموجات الكيلومترية (LF)، وأنظمة الاتصالات والملاحة بالموجات الميريامترية/الكيلومترية (LF/VLF)، والاتصالات بالموجات الديكامترية (HF) قصيرة المدى، وبعض فئات الرادارات التي تعمل بالموجات الديكامترية - وفي هذه الحالات قد تكون أساليب انتشار الموجات السماوية موجودة أيضاً.

ويعتمد انتشار الموجات السطحية على التيارات التي تجري في الأرض. ومع أن وجود الغلاف الجوي يعمل على تغيير خصائص الانتشار لكنه ليس أساسياً لتحديد الأسلوب المعتمد. وتتعرض الموجات المستقطبة أفقياً لتوهين كبير جداً وتكون فائدتها العملية قليلة أو معدومة. وتستخدم جميع التطبيقات الواردة أعلاه الموجات السطحية المستقطبة عمودياً.

وخلافاً للإشارات المنتشرة في الأيونوسفير، تتعرض الموجات السطحية لقدر ضئيل لا يُذكر من التشتت بحيث يمكن، من حيث المبدأ، إرسال إشارات النطاق العريض حين تكون الموجة السطحية وحدها نشطة.

ولا يحدث الخبؤ إلا حين يطرأ بعض التغيرات الزمنية في مسير الانتشار. وتعتبر الموجات الأرضية فوق البر إشارات مستقرة، مع حدوث بعض التغيرات الموسمية في بعض الحالات، وقد تحدث تباينات فوق مسافات قصيرة حيث توجد هياكل أو معالم طبوغرافية بارزة. ويمكن أن يتعرض انتشار الموجات السطحية فوق البحر لخبؤ بطيء من جراء تغير تأثيرات المد والجزر والتوهين الناجم عن حالة البحر.

وقد أثبتت الطرائق القائمة على الاعتبارات النظرية، التي تشكل الأساس للتوصية ITU-R P.368، عبر السنوات الطويلة أنها توفر طريقة قوية وبسيطة إلى حد ما للتنبؤ بالتغطية على سبيل المثال لأنظمة الإذاعة بالموجات الهكثومترية (MF) والموجات الكيلومترية (LF). وما زالت طرائق التنبؤ في المناطق الحضرية ذات المباني الشاهقة غير مكتملة. وتعتبر الخسارة الإضافية الناجمة عن العوائق المحلية والطوبوغرافيا الحادة وما إلى ذلك خسارة مهمة، ولا سيما عند تقييم الجودة الإجمالية للخدمة المستقبلية. وباستخدام طرائق التشكيل القوية، وتمديد وقت وتردد الموجة السطحية، وأساليب موحدة للموجات السطحية والأيونوسفيرية، فإنه من غير المحتمل التسبب بالخبوط ملحوظ.

يقدم القسم الأول من هذا الكتيب نظرية الموجات الأرضية ومن ثم يمضي ليصف تقنيات وإجراءات التنبؤ المناسبة لعمليات التنبؤ بالتغطية الإجمالية الواسعة النطاق لأغراض إدارة الطيف والتخطيط والتصميم. ومع ذلك، ولا سيما فيما يتعلق بالأنظمة ذات التشكيل الرقمي، قد تعمل التأثيرات الصغيرة النطاق الناجمة عن المباني والطوبوغرافيا ونحو ذلك على التأثير في الأداء وجودة الخدمة. وأخيراً، تُقدم بعض المعلومات المتعلقة بالقياسات والطور النسبي للموجة الأرضية.

2 تطور نظرية الموجة السطحية

في عام 1909 وجد سومرفلد (Sommerfeld) [1] حلاً لثنائي قطب كهربائي عمودي على سطح بيني قائم بين عازل وموصل. ولم يحمل عمل سومرفلد شكلاً تطبيقياً يمكن للمهندسين استخدامه، كما كان هنالك خطأ أدى إلى بعض الالتباس. وفي عام 1936 تمكّن نورتون (Norton) [2] من التغلب على حد كبير على هذه المشكلات، وقدم ورقة أخرى في عام 1937 [3] تضمنت طريقة لإجراء عمليات حسابية فوق أرض منبسطة. وقد أتاحت مجموعة الأوراق التي قدمها فان در بول (Van der Pol) وبريمر (Bremmer) [4] في الفترة من 1937 إلى 1939 حساب شدة المجال في نقاط بعيدة على السطح الكروي للأرض باستخدام سلسلة البقايا. وأسهمت ورقة أخرى وضعها نورتون [5] في عام 1941 بتحويل ذلك إلى اقتراح عملي أكثر بالنسبة للمهندسين.

ولم تأخذ هذه الطرائق في الاعتبار التغير في ثابتتي الأرض (السماحية والتوصيلية) على طول المسير. ولذلك أهمية خاصة حين يكون المسير مزيجاً من البر والبحر، حيث تختلف التوصيلتان بعامل يناهز الألف. وفي عام 1949، قدّم ملنغتون (Millington) [6] طريقة شبه تجريبية للخروج بنتائج دقيقة إلى حد ما تتعلق بمسير يتضمن تغيرات في ثابتتي الأرض. وفي عام 1952، نشر هافورد (Hufford) [7] ورقة أجازت بعض التغيرات الاعتبائية في كل من ثابتتي الأرض وشكلها على طول المسير. ويحمل ذلك شكل معادلة تكاملية يتعذر حلها يدوياً في جميع الحالات. وفي عام 1970، نشر أوت (Ott) وبري (Berry) [8] طريقة حاسوبية لحل هذه المعادلة.

وفي عام 1982، قدم هيل (Hill) [9] شرحاً لطريقة تحليلية ترمي إلى توسيع نطاق طريقة أوت وبري [8] للتنبؤ بالانتشار فوق التضاريس المكسوة بالغابات والمناطق المكتظة بالمباني تتمثل فيها هذه التضاريس بطبقات من اللوحات العازلة للكهرباء فوق تضاريس غير منتظمة. وترد شفرة المصدر في التذييل لتقرير هيل. ووفرت الأعمال الإضافية التي نشرها ديمنكو (DeMinco) [10]، [11] في عام 1986 عمليات تنفيذ سهلة الاستعمال للنموذج الحاسوبي الذي وضعه أوت وبري [8] وهيل [9]. كما تضمنت نماذج ديمنكو هذه نموذجاً للموجة الأرضية ذات المسير المختلط فوق أرض كروية منتظمة تستخدم فيه طريقة ملنغتون [6]، [19]، [20] لحساب المسير المختلط الوارد وصفه لاحقاً، وكذلك نماذج لهوائيات مختلفة تعمل بالموجات الكيلومترية (LF) والموجات الهيكومتومترية (MF) والموجات الديكامترية (HF) لأغراض العمليات الحاسوبية للنظام. وتم التحقق من النماذج الحاسوبية باستعمال بيانات مقيسة مقدمة من كيسك وزملائه (Kissick et al.) [12]، [13]، وأوت وفوغلر (Vogler) وهافورد [14] وآدامز وزملائه (Adams et al.) [12]. وقد جمع العمل الذي قام به ديمنكو لاحقاً [16]، [17] في عامي 1999 و2000 نموذج المسير المختلط فوق أرض كروية منتظمة ونموذج المسير المختلط فوق أرض غير منتظمة مع نماذج الهوائيات وحسابات الأنظمة ووضعها في نموذج قائم على برنامج ويندوز يعمل بالموجات الكيلومترية (LF)/الموجات الهيكومتومترية (MF) [15]، [17] لاستخدامه عملياً كأداة تحليل للتنبؤات من نقطة إلى نقطة ومنطقة بواسطة الهوائيات القائمة على الأرض والهوائيات المرفوعة. كما تضمن العديد من نماذج الموجات السماوية.

واستكشف روثرام (Rotheram) [18]، [19]، [20] تأثير الغلاف الجوي للأرض على انتشار الموجات السطحية، ومضى في عمله لوضع طريقة تنبؤ بالموجة الأرضية للأغراض العامة وبرنامج حاسوبي مرتبط بها. وتتضمن الطريقة مظهراً جانبياً أسياً للانكسارية الجوية ويشكل الأساس لمنحنيات الانتشار للهوائيات القائمة على الأرض الواردة في التوصية ITU-R P.368.

ويُنصح البرنامج المرتبط، الخاص بالتنبؤ بشدة مجال الموجة الأرضية لكل من الهوائيات القائمة على الأرض والهوائيات المرفوعة فوق أرض كروية منتظمة، ويعرف باسم GRWAVE، في الصفحة الإلكترونية للجنة الدراسات 3 التابعة لقطاع الاتصالات الراديوية للاتحاد.

ولقد أظهرت حملات القياس المبكرة لعمليات الإرسال الإذاعي وجود شذوذات في الانتشار عبر مناطق المدن، كما بين كوزبروك (Causebrook) [21]، [22] أن المناطق الحضرية والتضاريس غير المنتظمة لا يمكن وصفها ببساطة، لأن التيار الذي يجري في موصلات عمودية، وحتى في الأشجار، ينتج على نحو فعال سطحاً أرضياً تحريضياً. وينتج عن ذلك توهين يختلف اختلافاً كبيراً باختلاف المسافة، مقارنة بالأرض المنتظمة البسيطة، بحيث لا تعود النسبة بين شدة المجال الكهربائي وشدة المجال المغنطيسي مساوية للمعاوقة المتأصلة للفضاء الحر في هذه البيئة التي تكثر فيها العوائق.

وقد واكب هذا الاهتمام الأخير في تقنيات التشكيل الرقمي تجدد الاهتمام في التغيرات المحلية الصغيرة النطاق في الإشارة، والتي تناظر الحبوّ الزمني بالنسبة للاستقبال المتنقل، وذلك لأن تلك التغيرات قد تؤثر في جودة الإشارة المستقبلية.

3 نظرية الموجات السطحية

1.3 مقدمة إلى النظرية

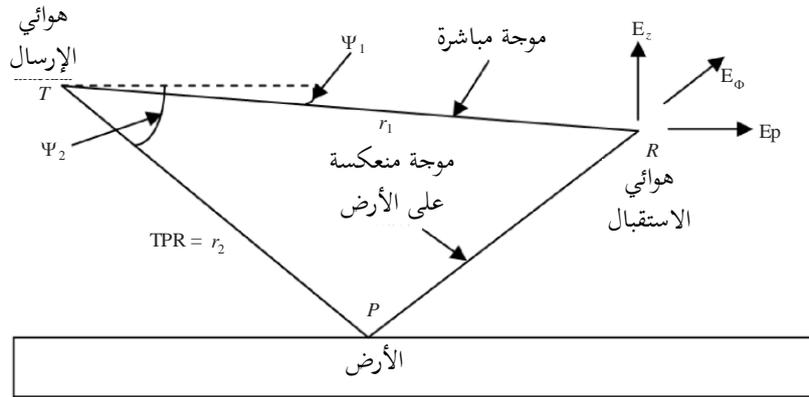
لننظر إلى سهولة عمل هوائي الإرسال، T ، فوق أرض منبسطة موصلة بشكل تام كما هو مبين في الشكل 1. فالفلطية، V ، المستحثة في هوائي الاستقبال، في موقع استقبال اعتباطي، R ، يمكن التعبير عنها كمجموع متجهي للمكونتين المباشرة والمنعكسة على الأرض:

$$(1) \quad V = QI \left\{ Q_1 \frac{\exp(-jk r_1)}{r_1} + Q_2 R \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} \right\}$$

حيث I هو التيار في هوائي الإرسال، و Q ثابتة، و Q_1 و Q_2 تأخذان بالحسبان المخططين القطبيين لهوائي الإرسال والاستقبال، و R معامل الانعكاس المناسب، و k عدد الموجات الراديوية $= 2\pi/\lambda$. ويتم تعريف الحدود الأخرى في الشكل 1.

الشكل 1

هندسة الموجتين المباشرة والمنعكسة على الأرض



Ground Wave Prop. 01

وفي عدد كبير من الحالات، ولا سيما حين يكون التردد المشع في نطاق الترددات العالية جداً (VHF) أو الترددات الأعلى، تعطي العملية الحسابية أعلاه نتيجة مقبولة جداً للتطبيقات العملية. ومع ذلك فإن الوصف الكامل للمجال عند R يتطلب مساهمة إضافية في النتيجة المحققة:

$$(2) \quad V = QI \left\{ Q_1 \frac{\exp(-jk r_1)}{r_1} + Q_2 R \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} + S \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} \right\}$$

حيث S ترمز إلى عامل معقد يعتمد على الخواص الكهربائية للأرض، واستقطاب الموجة المرسل، والتردد، ومواقع المطاريف.

وعند تقديمها بهذه الطريقة قد يكون من المغري اعتبار ذلك كمساهمة ضئيلة تم أساساً عالم الفيزياء الرياضية. ومع ذلك، يمثل هذا الحد الثالث الموجة السطحية وهو أسلوب انتشار يتسم بقيمة عملية كبرى بالنسبة للأنظمة الراديوية التي تعمل في نطاق الترددات المنخفضة (HF) والترددات الأدنى.

وأحياناً يطلق على مجموعة الموجات المبينة في المعادلة (2) اسم الموجة الأرضية، وهي تشمل موجة فضائية وموجة سطحية:

$$\text{ground wave} = \underbrace{\text{direct wave} + \text{reflected wave}}_{\text{space wave}} + \text{surface wave}$$

إلا أن هناك استخدامات مختلفة للمصطلحات، إذ غالباً ما يطلق على الموجة الفضائية اسم الموجة الأرضية، أو أحياناً موجة نورتون الأرضية أو موجة نورتون السطحية، نسبة إلى نورتون الذي وضع طرائق مرنة لحسابها.

وحيث تكون النقطتان T و R قريبتين من الأرض، تصبح قيمة معامل الانعكاس على الأرض -1 بحيث تلغي الموجتان المباشرة والمنعكسة على الأرض إحداهما الأخرى، مما يجعل الموجة السطحية المكونة الوحيدة ذات الأهمية.

2.3 نظرية الأرض المنتظمة المتجانسة

1.2.3 الأرض المسطحة المحدودة التوصيلية

نظرية سومرفلد-نورتون للأرض المستوية:

اشتق سومرفلد [1] ونورتون [2]، [3] العبارات المتعلقة بمكونتي شدة مجال الموجة الأرضية فوق أرض مسطحة محدودة التوصيلية الناجمة عن عنصر تيار عمودي قصير. فالمعادلة (2) تصبح في شكلها التام كما يلي:

$$E_z = j30kIdl \left[\left\{ \cos^2 \psi_1 \frac{\exp(-jk r_1)}{r_1} + \cos^2 \psi_2 R_v \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} \right\} + \left\{ (1 - R_v)(1 - u^2 + u^4 \cos^2 \psi_2) F \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} \right\} \right] \quad (3)$$

$$E_p = -j30kIdl \left[\sin \psi_1 \cos \psi_1 \frac{\exp(-jk r_1)}{r_1} + \sin \psi_2 \cos \psi_2 R_r \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} - \cos \psi_2 (1 - R_v) u \sqrt{1 - u^2 \cos^2 \psi_2} \left\{ 1 - \frac{u^2}{2} (1 - u^2 \cos^2 \psi_2) + \frac{\sin^2 \psi_2}{2} \right\} F \frac{\exp(-jk r_2)}{r_2} \right] \quad (4)$$

حيث ψ_1 و ψ_2 معرفتان في الشكل 1، و Idl هي حاصل ضرب تيار المصدر بالطول (عزم ثنائي القطب)، و R_v معامل انعكاس فرينيل (Fresnel) للموجة المسطحة في حالة الاستقطاب العمودي، و F دالة توهين تعتمد على نمط الأرض وطول المسير. وتعطى F بالعبارة التالية:

$$F = \left[1 - j \sqrt{(\pi w) \exp(-w)} \{ \text{erfc}(j\sqrt{w}) \} \right] \quad (5)$$

حيث تشير erfc إلى دالة الخطأ التكميلية و

$$w = \frac{-j2kr_2 u_2 (1 - u^2 \cos^2 \psi_2)}{(1 - R_v)} \quad (6)$$

$$u^2 = \frac{2}{(\epsilon_r - jx)} \quad (7)$$

$$(8) \quad x = \frac{\sigma}{(w\epsilon_0)} = 1.8 \times 10^4 \frac{\sigma}{f_{MHz}}$$

حيث ترمز σ إلى توصيلية الأرض بوحدة S/m، و $\epsilon/\epsilon_0 = \epsilon_r$ إلى السماحية النسبية للأرض، و f_{MHz} إلى التردد بوحدة MHz. تجدر الملاحظة أن المعادلتين (3) و(4) تمثلان مكوني المجال في الاتجاهين العمودي والشعاعي لنظام إحداثيات إسطوانية.

1.1.2.3 الحالة الخاصة بالمطاريق القائمة على الأرض

حين تكون نقطتا الإرسال والاستقبال T و R على الأرض بحيث يكون لدينا $R_1 = 1 - \psi_1 = \psi_2 = 0$ ، تعمل كل من الموجة المباشرة والموجة المنعكسة على الأرض بعكس الأخرى ويكون مجموعهما صفراً. وتسود هذه الظروف في الكثير من التطبيقات العملية عند ترددات منخفضة. وحين يحدث ذلك، تسود الموجة السطحية ويمكن وصفها بأشكال مبسطة إلى حد ما للمعادلتين (3) و(4)، وبالتالي يصبح لدينا:

$$(9) \quad E_z = j60kIdl(1-u^2+u^4)F \frac{\exp(-jkr)}{r}$$

$$(10) \quad E_\rho = j30kIdl \left\{ u \sqrt{(1-u^2)(2-u^2+u^4)} \right\} F \frac{\exp(-jkr)}{r}$$

وعليه، ففي حالة الموجة السطحية والهوائيات القائمة على الأرض، فإن المكونتين العمودية والشعاعية للمجال الكهربائي تظلان موجودتين. ويعني ذلك بعبارات فيزيائية أن صدر الموجة المنتشرة يكون مائلاً. والمكونة الشعاعية التي تعطيها المعادلة (10) صغيرة نسبةً للمكونة العمودية الواردة في المعادلة (9). وتمثل علاقة الطور في أن الميل الضئيل لصدر الموجة يكون إلى الأمام في اتجاه الانتشار. وتعتمد درجة الميل على توصيلية الأرض والتردد. ويمكن استخدام قياسات ميل الموجة لاستنتاج الخواص الكهربائية للأرض المحلية (انظر الفقرة 3.3.18). وبما أن E_ρ محدود وأن مكونة المجال المغنطيسي أفقية، يكون لمتجه بوينتنغ مكونة باتجاه الأسفل وتُفقد الطاقة من الموجة المنتشرة أفقياً. وبهذه الطريقة يحدث توهين يضاف إلى ذلك الناجم عن التمديد العادي الذي يخضع لقانون التربيع العكسي. وفي إطار نظرية سومرفلد-نورتون، يعطى هذا التوهين الإضافي بالرمز F ، انظر المعادلة (5)، حيث تُبسَط w في حالة المطاريق القائمة على الأرض لتصبح:

$$(11) \quad w = \frac{-jkru^2}{2}(1-u^2)$$

2.1.2.3 التفسير

تتم تنبؤات التغطية الراديوية بشكل دائم تقريباً بدلالة شدة المجال الكهربائي. وينطبق ذلك أيضاً على الإذاعة بالموجات الكيلومترية (LF) والموجات الهكتومترية (MF) رغم أن معظم المستقبلات المحلية تتضمن هوائيات للمجال المغنطيسي في شكل قضبان فريتية. وباستثناء الحالات التي تحتوي فيها البيئة التي تكثر فيها العوائق على موصلات عمودية (انظر القسمين 11 و12)، فإن الموجة السطحية المنتشرة تتضمن مكونة مغنطيسية أفقية، H_ϕ ، ترتبط تقريباً بالمكونة الكهربائية الرئيسية عن طريق العبارة التالية:

$$(12) \quad H_\phi = -\frac{E}{Z_0}$$

حيث تمثل Z_0 المعاوقة الأصيلة للفضاء الحر ($\Omega 120\pi$). وبناء على ذلك يكون تخطيط عمليات التغطية الراديوية بدلالة شدة المجال الكهربائي كافياً.

وينشأ توهين الموجة السطحية من خلال الميل الأمامي لمجالها الكهربائي. ويصبح معدل التوهين ملحوظاً بصورة أكبر مع تزايد زاوية الميل. وبضم المعادلتين (9) و(10) معاً، يمكن تبين أن النسبة بين مكوني المجال الكهربائي يعبر عنها ببساطة بالعلاقة:

$$(13) \quad \frac{E_p}{E_z} \approx u = \frac{1}{\sqrt{K_r}}$$

حيث ترمز K_r إلى سماحية العزل الكهربائي المركبة للأرض. وهي تتغير مع التردد والخواص الكهربائية للأرض. وترد بعض القيم التمثيلية في الجدول 1.

الجدول 1

القيم النمطية لسماحية العزل الكهربائي المركبة، K_r ، لأنواع مختلفة من الأرض والترددات

التردد (kHz)		نوع الأرض
1 000 (تردد متوسط)	200 (تردد منخفض)	
70-j90000	70-j450000	بحر ($\epsilon_r = 70$, $\sigma = 5 \text{ S/m}$)
10-j180	10-j900	أرض جيدة ($\epsilon_r = 10$, $\sigma = 10^{-2} \text{ S/m}$)
4-j18	4-j90	أرض رديئة ($\epsilon_r = 4$, $\sigma = 10^{-3} \text{ S/m}$)

يقابل القيم الكبيرة للسماحية K_r ميل صغير نحو الأمام وبالتالي قدر منخفض من التوهين. ولمياه البحر توصيلية عالية بشكل بارز، ولذلك فإن الموجة السطحية، ذات المجال الكهربائي العمودي تقريباً، تنتشر فوقها بتوهين منخفض نسبياً. من ناحية أخرى، يبلغ توهين الموجة السطحية أقصى قيمة له فوق أرض منخفضة التوصيلية وعند ترددات راديوية عالية.

ويكون العامل $(1 - u^2 + u^4)$ الوارد في المعادلة (9) قريباً من الوحدة بالنسبة لجميع الأوضاع العملية. ومن ثم يمكن أن يعبر عن اتساع المكونة العمودية للمجال الكهربائي بالعلاقة:

$$(14) \quad |E_z| = \frac{300}{r} \sqrt{P} |F|$$

حيث ترمز P إلى القدرة المشعة الإجمالية الصادرة عن عنصر تيار هرتزي ثنائي القطب، أو عن مشع عمودي قصير، معبراً عنها بوحدات kW، و r هو طول المسير (km) و E شدة المجال الكهربائي بوحدات mV/m.

وتنطبق هذه المعادلة على هوائي عمودي قصير يقع على أرض مسطحة موصلة تماماً ويعمل كهوائي مرجعي.

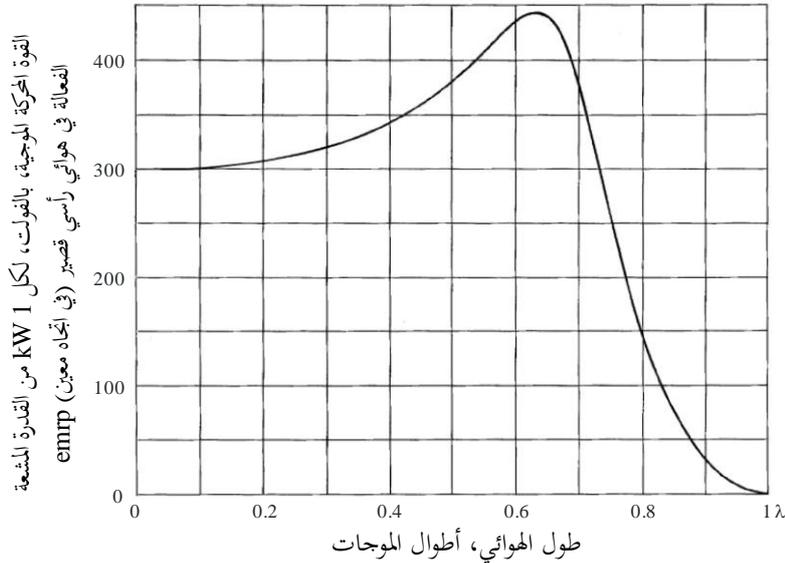
وعلى مسافة بضعة أطوال موجية من الهوائي، تكون $|F|$ مساوية للوحدة تقريباً وتتغير شدة المجال مثل $1/r$ ، أي بعلاقة معكوس المسافة. وعلى مسافات كبيرة منه بما فيه الكفاية، وطالما كان افتراض سومرفلد بشأن الأرض المسطحة صالحاً، يحدث تحول للكمية $|F|$ وتصبح متناسبة عكسياً مع المسافة، أي أن شدة المجال تتغير مثل $1/r^2$.

وفيما يتعلق بهوائي عمودي ربع موجي ($\lambda/4$)، فإن قيمة الثابتة في الجهة اليمنى من المعادلة (14) تصبح 314 (انظر التوصية ITU-R P.341، الملحق 1، الجدول 1، حيث أدرجت هذه الثابتة بوصفها القوة المحركة الموجية).

ويقدم الشكل 2 قيم الثابتة المناظرة للهوائيات الأرضية العمودية ذات الارتفاعات المختلفة.

الشكل 2

القوة المحركة الموجية للهوائيات العمودية فوق أرض مستوية موصلة تماماً



Ground Wave Prop. 02

2.2.3 الأرض الكروية المحدودة التوصيل

تتسم الحسابات الرياضية المتعلقة بانتشار الموجات الأرضية حول أرضٍ منحنية بالتعقيد ويصعب فهمها. وقد سبق لبريمر [23] أن قدم وصفاً لها. ففي المدى القصير ينطبق نموذج سومرفلد للموجة الأرضية من دون أي تعديل. أما في المدى الأطول فمن الضروري حساب المجالات مع إبقاء الاعتبار المناسب للانحناء حول الأرض المنحنية. وثمة نظام ثالث للمدى، وهو يتجاوز في العادة المدى الذي يكون فيه تغير للمجال خاضعاً لقانون التربيع العكسي، حيث يصبح التناقص في شدة المجال أسياً حول الأرض المنحنية. ويمكن تقدير المسافة الأولية لهذا السلوك الأسّي بواسطة العبارة الواردة أدناه. ويمكن اعتبار الأرض منبسطة بعد المسافة d بالكيلومترات التي تعطيها المعادلة [24]:

$$(15) \quad d = \frac{80}{\sqrt[3]{f(\text{MHz})}}$$

وباستثناء هذا السلوك الإضافي في المدى البعيد، تكون معظم الخصائص الأخرى للموجة السطحية فوق أرض كروية مطابقة لتلك المستخلصة من نموذج سومرفلد للموجة الأرضية.

3.3 تأثيرات الغلاف الجوي

لقد تجاهلت الأعمال النظرية التي أجراها سومرفلد وفان در بول (Van der Pol) ويريمر التأثيرات الجوية بافتراضها أن الموجة المنتشرة في الفضاء فوق الأرض تنتقل في خط مستقيم. ومن الناحية العملية، يكون الغلاف الجوي للأرض مؤلفاً من طبقات وله دليل انكسار يتناقص في العادة مع الارتفاع. ويكون تغير دليل الانكسار في المتوسط أسياً. (انظر التوصية ITU-R P.453).

وفي أي غلاف جوي يتناقص فيه دليل الانكسار مع الارتفاع، فإن أي موجة راديوية سوف تنكسر نحو الأسفل باتجاه الأرض. في الكيلومتر الأول فوق الأرض، يمكن اعتبار التغير الأسّي تناقصاً خطياً على وجه التقريب، وفي هذه الحالة يمكن التعامل مع المسيرات الراديوية كأنها تنتقل في خطوط مستقيمة من خلال زيادة نصف القطر الفعال للأرض بشكل مصطنع. وتطبق هذه المعاملة في الغالب في نطاق الترددات العالية جداً (VHF) والترددات الأعلى [25]، حيث تكون القيمة النموذجية لعامل نصف القطر الفعال للأرض $4/3$.

وبالنسبة للموجات السطحية عند ترددات تقل عن 10 kHz، يكون للغلاف الجوي تأثير ضئيل ويميل العامل لساوي الوحدة [26]. أما في محيط نطاق الإذاعة بالموجات الهكثومترية (MF) فإن هذا العامل يقع في المدى 1,20-1,25 بالنسبة لمعظم فئات الأرض، انظر رودرام [18].

تقتصر هذه النتائج على الأحوال الجوية النمطية (حين تكون الانكسارية عند مستوى البحر $N_0 = 315$ وارتفاع السلم المرجعي 7,35 km) وتستخدم في العروض البيانية الواردة في التوصية ITU-R P.368. أما في الأوقات التي تسودها أحوال جوية غير المعتادة، فقد تلزم عوامل أخرى لنصف القطر الفعال للأرض لمحاكاة تأثيرات الانتشار السائدة. ويمكن إتاحة المعلومات عن الأحوال الجوية من عمليات الرصد المناخي المحلية أو من التوصية ITU-R P.453، وقد تستخدم هذه المعلومات كمدخلات في البرنامج الحاسوبي .GRWAVE.

القسم 2

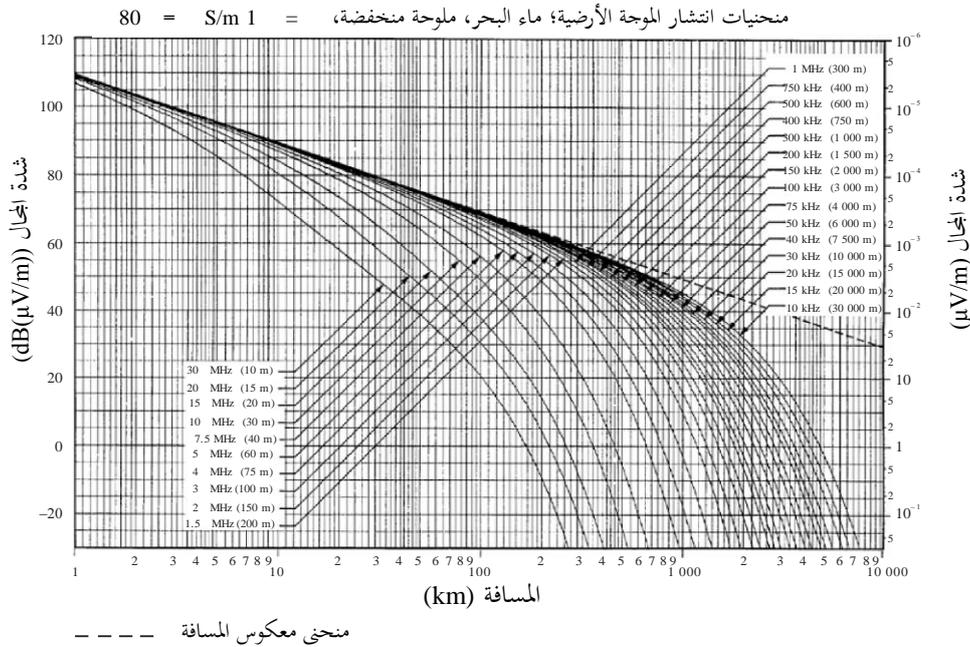
طريقة التنبؤ التي يوصى بها قطاع الاتصالات الراديوية

4 التوصية ITU-R P.368

ترد في التوصية ITU-R P.368 منحنيات الانتشار التي يوصى بها قطاع الاتصالات الراديوية من أجل شدة مجال الموجة الأرضية، وهي تستند إلى المبادئ الواردة في القسم 3 أعلاه، وتحسب باعتماد البرنامج الحاسوبي GRWAVE. ومع أن الطريقة تنطبق بشكل صارم على الأرض المنتظمة، فإنه من الممكن الحصول على تنبؤات مُرضية للأرض ذات الارتفاعات غير المنتظمة والصغيرة قياساً بطول الموجة، وحين تكون التغيرات في الارتفاعات غير فجائية. أما التغيرات الناتجة عن المعالم السطحية الضيقة النطاق، التي قد تؤثر في نوعية الخدمة، فسيجري بحثها لاحقاً في هذا الكتيب. ويوضح المرجعان [10] و[11] مقارنات بين التنبؤات القائمة على بيانات مقيسة تظهر أن الحسابات المتعلقة بالأرض الكروية المنتظمة تضاهي الحسابات المتعلقة بالأرض غير المنتظمة. ويمكن استخدام هذه المعلومات لتحديد الوقت الذي يكون فيه من الضروري استخدام نموذج الأرض غير المنتظمة بدلاً من نموذج الأرض المنتظمة. ومن المستحسن، حيثما أمكن، استخدام نموذج الأرض المنتظمة نظراً للوقت الزائد الذي تستغرقه الحسابات عند تشغيل نموذج المسير المختلط للأرض غير المنتظمة، حتى لدى استخدام الحواسيب عالية السرعة المتاحة اليوم. كما تناول هذان المرجعان قضية استبانة التضاريس توجيهاً للدقة في الحسابات فوق تضاريس غير منتظمة عند الترددات المنخفضة (LF) والترددات المتوسطة (MF).

الشكل 3

مثال على المنحنيات الواردة في التوصية ITU-R P.368



وترد منحنيات الانتشار عند الترددات الأعلى في الكتيب الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية بعنوان "منحنيات انتشار الموجات الراديوية فوق سطح الأرض"، وهناك توصيات متنوعة تتناول جوانب محددة للانتشار عند هذه الترددات العالية (انظر التوصية ITU-R P.1144).

ومع أن منحنيات الموجات الأرضية معدة للهوائيات القائمة على الأرض، إلا أنه يمكن استخدامها للهوائيات المرفوعة عندما يكون لدينا $\epsilon_r \ll 60\sigma\lambda$ ولا ارتفاعات تصل إلى $h=1,2\sigma^{1/2}\lambda^{3/2}$.

ويوجد في التوصية مجموعتان من المنحنيات. المجموعة الأولى تضم منحنيات تتعلق بالترددات الواقعة بين 10 kHz و 30 MHz، حيث يقابل كل رقم قيمة مختلفة للثابتين الأرضيتين (ترد الثابتان الأرضيتان المستخدمان في الجدول 2). ويرد في الشكل 3 مثال على أحد من هذه المنحنيات. وتوخياً للسهولة، يرد أيضاً ترتيب بديل في مجموعة ثانية من المنحنيات، حيث يقابل كل رقم تردداً واحداً (من 30 kHz إلى 3 000 kHz) ولمدى معين من ثابتي الأرضية.

الجدول 2

رسم بياني لانتشار الموجات الأرضية لمختلف قيم ثابتي الأرض، الواردة في التوصية ITU-R P.368

الرقم	الوصف	التوصيلية (S/m)	السماحية النسبية
1	مياه البحر، ملوحة منخفضة	1	80
2	مياه البحر، ملوحة متوسطة	5	80
3	مياه عذبة	3×10^{-3}	80
4	البر	3×10^{-2}	40
5	أرض رطبة	1×10^{-2}	30
6	البر	3×10^{-3}	22
7	أرض متوسطة الجفاف	1×10^{-3}	15
8	أرض جافة	3×10^{-4}	7
9	أرض جافة جداً	1×10^{-4}	3
10	جليد مياه عذبة، -1°C	3×10^{-5}	3
11	جليد مياه عذبة، -10°C	1×10^{-5}	3

كما تضم كل مجموعة من المنحنيات منحنى معكوس المسافة كخط مستقيم متقطع.

وتوخياً للسهولة العملية، أعطيت المنحنيات للحالة التي تساوي فيها القدرة emrp القيمة 1 kW؛ أي لكل 1 kW من القدرة المشعة في جميع الاتجاهات والواردة من مشع عمودي قصير يقع فوق أرض كروية منتظمة. ولا بد من مراعاة القدرة الفعلية أو المقترحة للمرسل، والخسارة في شبكة الاقتران التي تغذي الهوائي، والمخطط الإشعاعي السمتي في حال استخدام أنظمة الهوائيات الاتجاهية، وطول العناصر المكونة للهوائي (يقدم الشكل 2 تغير الكسب مع ارتفاع الهوائي بدلالة القوة المحركة الموجية؛ كما تقدم التوصية ITU-R P.341 الكسب لبعض الهوائيات المرجعية). كما ينبغي مراعاة أوجه القصور في النظام الشعاعي الأرضي للهوائي. ويرد في الفقرة 2.18 طريقة لقياس القدرة emrp الفعلية لنظام قائم.

كما وضع البرنامج الحاسوبي GRWAVE للحالة نفسها المتمثلة بالقدرة 1 kW المشعة في جميع الاتجاهات والواردة من مشع عمودي قصير يقع فوق أرض كروية منتظمة. وتحقيقاً لذلك، يكون عزم ثنائي القطب المستخدم في الحسابات هو $5\lambda/2\pi$.

تجدر الإشارة إلى أن استخدام مفهوم خسارة الإرسال قد يحدث ارتباكاً حيثما يؤدي وجود الأرض إلى حصر الإشعاع في نصف الحيز الفضائي فوق الأرض (انظر التوصية ITU-R P.341، الملحق 2).

وتعطي المنحنيات المجال الإجمالي على المسافة r ، بخطأ أقل من 1 dB عندما يكون kr أكبر من 10 تقريباً، حيث $k = 2\pi/\lambda$. ويمكن إدراج آثار المجال القريب عن طريق زيادة شدة المجال بالديسيبل بقيمة:

$$(16) \quad 10 \log \left\{ 1 - \frac{1}{(kr)^2} + \frac{1}{(kr)^4} \right\}$$

مما يعطي المجال الإجمالي في حدود $0,1 \pm \text{dB}$ للبحر والأرض الرطبة، وفي حدود $1 \pm \text{dB}$ لأي توصيلية أرضية أكبر من 10^{-3} S/m .

ويرد في المرجع [27] بحث مثير للاهتمام يتناول الدقة في تعيين حدود الانتقال من المجال القريب إلى المجال البعيد بدلالة التقليل إلى الحد الأدنى من اختلاف الطور للمجال الكهربائي عبر فتحة أي من الهوائيين، وخطاً اتساع التنبؤ بشدة المجال، والمسافة اللازمة لجعل الحدين $1/r^2$ و $1/r^3$ للمجال الكهربائي إما ملحوظين (مجال قريب) أو ضئيلين (مجال بعيد) مقارنة بالحد $1/r$ للمجال.

5 المعاوقة السطحية

ثمة طريقة بديلة للنظر في الخسارة الناجمة عن انتشار الموجة الأرضية تتمثل في البدء باعتماد علاقة معكوس مربع المسافة لقدرة الإشارة، (علاقة معكوس المسافة لشدة المجال كما هو مبين في التوصية ITU-R P.368)، ومن ثم التعبير بشكل منفصل عن التوهين الناجم عن الخسارة المتعلقة بانتشار الموجة السطحية.

ويمكن إظهار عامل التوهين [28] على أنه يساوي:

$$(17) \quad A = 1 - i\sqrt{\pi\rho} \exp(-\rho) \operatorname{erfc}(i\sqrt{\rho})$$

ويمكن التعبير عن ρ كما يلي:

$$(18) \quad \rho = -\frac{i\pi\eta^2 r}{\lambda}$$

حيث ترمز η إلى المعاوقة السطحية وتعطى بالعلاقة:

$$(19) \quad \eta = \frac{(\varepsilon - i60\sigma\lambda - 1)^{1/2}}{\varepsilon - i60\sigma\lambda}$$

والمعاوقة السطحية هي طريقة مفيدة لوصف المعالم السطحية المعقدة من قبيل عدم انتظام التضاريس، والأشجار، والهياكل التي يصنعها الإنسان، والمباني، وأمواج البحر.

6 توصيلية الأرض

1.6 توصيلية البر

لأغراض التخطيط الأولي وتقييم التوافق أو إعادة استعمال التردد، تعتبر المعلومات الواردة في التوصية ITU-R P.368 والإجراء المناظر لها في البرنامج GRWAVE مقنعة جيداً ومستخدمة بشكل كبير. ومع ذلك فمن المرجح أن يكمن الجزء الأكبر من الغموض في تقدير ثابتتي الأرضية، وبوجه خاص توصيلية الأرض. وقد نوقشت الخصائص الكهربائية لسطح الأرض في التوصية ITU-R P.527. وتجدر الإشارة إلى أنه من المتوقع أن تكون هذه الخصائص مستقلة عن التردد في نطاق الموجات الديكامترية (HF) والترددات الأدنى من ذلك (باستثناء حالة جليد المياه العذبة عند الموجات الديكامترية (HF) والموجات الميريامترية (VLF)).

غير أنه من المهم الإشارة إلى العمق المتوقع لاختراق الموجات الراديوية للأرض¹، أو عمق القشرة. فبالنسبة لمياه البحر، لا يتعدى عمق الاختراق (العمق الذي تضعف عنده الإشارات لتصبح قيمتها 1/e من القيمة السطحية) 25 سنتيمتراً فقط عند التردد 1 MHz. أما بالنسبة للأرض المتوسطة الجفاف فيبلغ حوالى 25 متراً. وهكذا فلدى تحديد أو تقدير التوصيلية الفعالة لاستخدامها في التنبؤ بالتغطية عند الترددات المتوسطة (MF)، وحتى بصورة أكبر عند الترددات المنخفضة (LF)، من المهم أن تؤخذ الطبيعة الجيولوجية لباطن الأرض في الاعتبار بالشكل المناسب. ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات حول عمق اختراق المجال الكهربائي (عمق القشرة) في التربة وقياسات خصائص العزل الكهربائي للتربة في المرجع [68].

ومن غير المحتمل أن تسفر طرائق تحديد التوصيلية بواسطة مسابير الأرض أو الطرائق الأخرى لقياس عينات التربة عن نتائج مفيدة، وذلك لأنها لا تقيس في العادة إلا خصائص التربة السطحية. وتُجرى أكثر القياسات صلاحية باستخدام مراسلات اختبار أو مراسلات تشغيلية وإجراء سلسلة من القياسات على مسافات مختلفة، انظر الفقرة 3.18.

وتقدم التوصية ITU-R P.832 خرائط التوصيلية لكل من الموجات الميريامترية (VLF) والموجات الهكثومترية (MF). وتخصص خرائط الموجات الميريامترية (VLF) للمناطق القارية وتمتد فوق جميع مناطق العالم البرية تقريباً. أما خرائط الموجات الهكثومترية (MF) فتوضع للكثير من فرادى البلدان أو لمجموعات من البلدان، كما تنص على ذلك الإدارات. ويعبر الرأي ITU-R 91-1 عن أنه ينبغي للإدارات أن تدقق في المعلومات الواردة في الأطلس العالمي وأن تراجع هذه المعلومات، وعند الضرورة الإشارة إلى أنه قد يلزم في بعض الحالات إدراج التغييرات الموسمية؛ وأنه ينبغي للإدارات الجديدة أن تتحقق من أن احتياجاتها مشمولة بالصيغة الحالية للأطلس العالمي للتوصيليات الأرضية وأن تسهم في مراجعة البيانات؛ وأنه بالنسبة لتلك البلدان التي لا ترد بشأنها بيانات في الأطلس العالمي تتعلق بالتوصيلية، ينبغي للإدارات المعنية أن تجمع وتوفر البيانات وفقاً للمعلومات الواردة في التوصية ITU-R P.832.

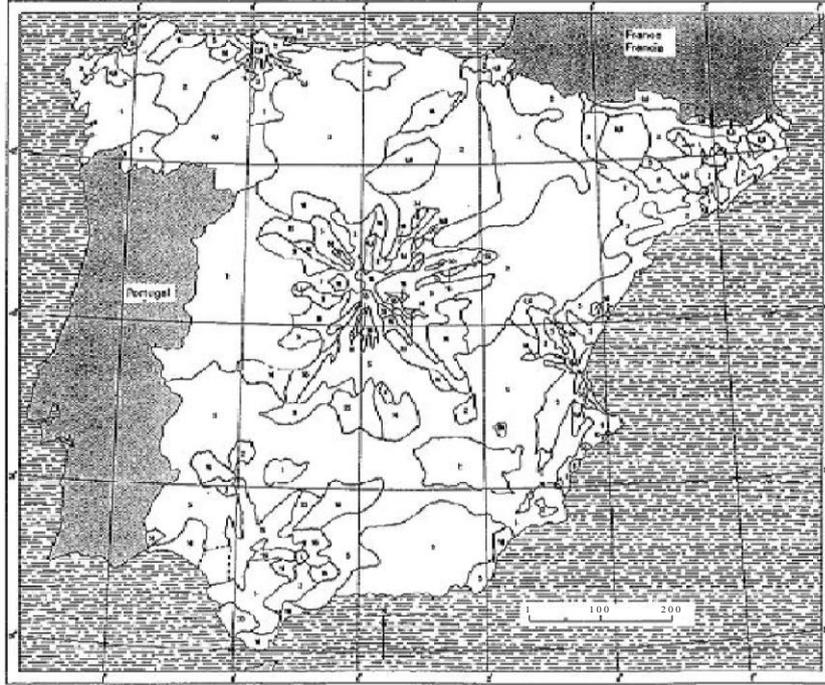
¹ يعبر عن عمق القشرة في مادة اعتباطية بما يلي:

$$(20) \quad \delta = \left(\frac{\sqrt{2}}{\omega \sqrt{\mu_r \mu_0 \epsilon_r \epsilon_0}} \right) \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon_r \epsilon_0} \right)^2} - 1 \right]^{-1/2}$$

حيث δ هي عمق القشرة، و $\omega = 2\pi f$ هي التوصيلية، و μ_0 هي نفاذية الفضاء الحر، و μ_r هي النفاذية النسبية، و ϵ_0 هي سماحية الفضاء الحر، و ϵ_r هي السماحية النسبية.

الشكل 4

مثال على خريطة التوصيلية الأرضية المشمولة في التوصية ITU-R P.832



Ground Wave Prop. 04

وفي حال عدم توافر معلومات تفصيلية، تُدرج في التوصية أيضاً خريطة عالمية للتوصيلية عند الموجات الهكثومترية (MF). غير أن هذه الخريطة لا تقدم سوى إشارة عامة للتوصيلية قد تكون كافية لعمليات التقييم العالمية أو الإقليمية لمتطلبات الطيف ولكنها على الأرجح غير مناسبة لتقدير التغطية الفردية. وفي حال عدم توافر أية معلومات أخرى، فإن أفضل طريقة لتقدير التوصيلية تتمثل في دراسة الخرائط الجيولوجية ومقارنة الظروف مع منطقة أخرى من العالم ذات طبيعة جيولوجية ومناخ مشابهيين.

2.6 توصيلية البحر

وفيما يتعلق بمياه البحر، تقدم التوصية ITU-R P.368 تنبؤات بشأن التوصيليتين النمطية والمنخفضة اللتين تبلغان 5 و 1 S/m، على التوالي. غير أن التوصيلية تختلف باختلاف ملوحة مياه البحر ودرجة حرارتها، وللحصول على تنبؤات أكثر دقة، يمكن استخدام التوصيلية المتوقعة في البرنامج GRWAVE.

تعطى توصيلية مياه البحر بالعلاقة التالية:

$$(21) \quad \sigma = 0.18C^{0.93} (1 + 0.02(T - 20)) \quad \text{S/m}$$

حيث:

C : الملوحة (غرامات الملح باللتر)

T : درجة الحرارة (°C)

تكون التوصيلية σ في البحار الباردة بمحدود 3,5 S/m، وفي البحار الدافئة حوالي 5 S/m.

القسم 3

إجراءات تختلف عن إجراء التنبؤ الرئيسي

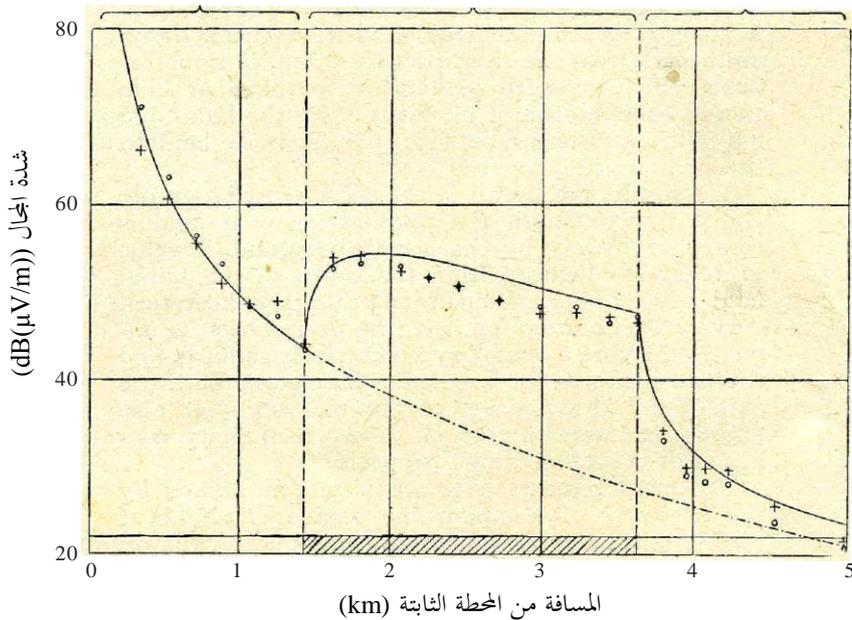
7 الأرض المنتظمة ذات التوصيلية المختلطة

1.7 تأثير الاستعادة فوق البحر

حين تتغير خصائص الأرض على امتداد مسير الانتشار، تخضع شدة المجال الناتجة إلى تغير مفاجئ مع المسافة. فشدة المجال المتعلقة بمسير يمتد عبر البر وفوق البحر ثم مجدداً فوق البر، تتناقص على امتداد المنطقة البرية الأولية، لكنها تستعيد قيمتها لدى بلوغها الساحل بتزايد سريع يليه تناقص تدريجي بصورة أكبر، ومن ثم تناقص سريع عند عبور الساحل مجدداً. وقد أعطت الطرائق المبكرة التي تناولت هذه المشكلة نتائج غير صحيحة لم تف بمتطلبات التبادلية. وقد أرسى ملنغتون [6] إجراءً أدى إلى فرض التبادلية وأثبت عن كونه مرضياً جداً للأرض المنتظمة إلى حد معقول، وأعطى نتائج مشابهة جداً للطريقة المعقدة التي وضعها هافورد [7]. وتُظهر دراسة نظرية للانتشار فوق سطح معقد انسجاماً جيداً مع النتائج التجريبية [29].

الشكل 5

الإثبات الأولي لتأثير استعادة الموجة الأرضية فوق البحر عند التردد 77 MHz

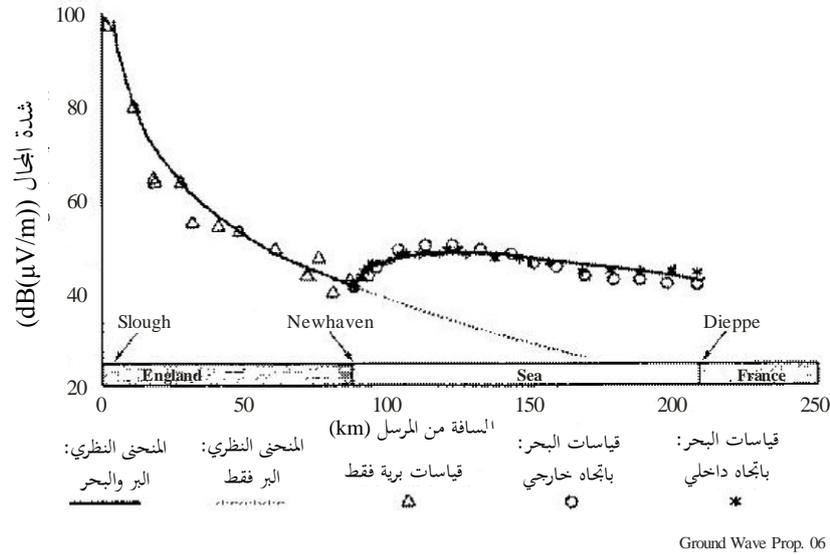


Ground Wave Prop. 05

وأجريت اختبارات ملنغتون الأولى عند التردد 77 MHz وعلى مسافات قصيرة وأظهرت تأثير الاستعادة هذا [30]، انظر الشكل 5. وتأكيذاً لهذا التأثير، أُتبع هذا الاختبار الأولي باختبار طويل المدى عبر القناة الإنكليزية عند التردد 3 MHz [31]، انظر الشكل 6.

الشكل 6

اختبارات تأثير استعادة الموجة الأرضية عند التردد 3 MHz



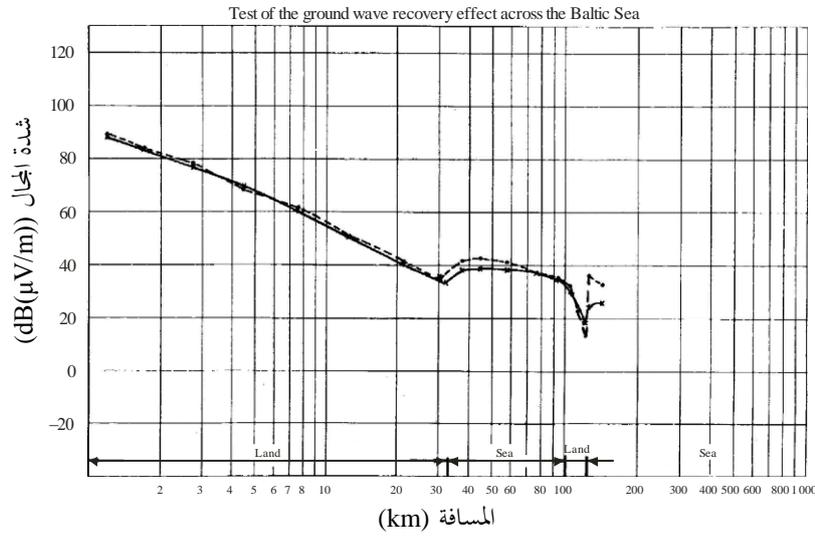
وهذا التأثير غير متوقع لدرجة أنه قد يلزم إثبات التأثير مجدداً للأجيال الجديدة من المهندسين.

وترد تأكيدات أخرى لتأثير الاستعادة في المرجعين [12] و[14] اللذين يظهران تأثير الاستعادة فوق مسير من البر إلى البحر مع توافق حسن في المقارنة بين تنبؤات الانتشار والقياسات عند الترددات الواقعة في النطاق من 100 إلى 2000 kHz. ويظهر المرجع [9] تأثير استعادة مماثلاً حين يحدث انتقال في مسير الانتشار من غابة إلى حقل مفتوح عند التردد 10 MHz. ويظهر المرجع [32] تأثيرات الاستعادة فوق مسيرات من الأرض إلى الماء على القياسات التي تجرى في نطاق التردد من 285 إلى 325 kHz.

ويظهر الشكل 7 نتائج اختبار أكثر تعقيداً عند التردد 3,9 MHz على مسير بري-بحري-بري-بحري في بحر البلطيق [33].

الشكل 7

اختبارات تأثير استعادة الموجة الأرضية عبر بحر البلطيق



2.7 طريقة ملنغتون للمسيرات المختلفة

يتمثل إجراء ملنغتون، لمسير بري-بحري-بري على سبيل المثال، في اتباع منحنى شدة مجال الموجة الأرضية في الجزء البري الأولي. وعند الحدود الساحلية يكون المنحنى فوق البحر متلائماً مع القيمة فوق البر في ذلك الموقع. ومن ثم يُتابع منحنى البحر إلى الساحل التالي وتتم ملائمة المنحنى المناسب فوق البر عند تلك المسافة. ويتابع منحنى البر إلى المسافة المطلوبة. يعطي ذلك القيمة المتوسطة الأولى. بعد ذلك يجري تبادل موقعي المرسل والمستقبل ويُكرر الإجراء للمسير العكسي لإعطاء قيمة متوسطة ثانية. وعندئذ يتم الحصول على التنبؤ المطلوب بواسطة استخراج المتوسط الهندسي للقيمتين المتوسطتين لشدة المجال (أو المتوسط الحسابي حين يعبر عن شدة المجال بالديسيبل).

يمكن إجراء هذه العملية باستخدام إجراء بياني بسيط إذا كانت المنحنيات مرسومة بمقياس خطي للمسافات أو بواسطة برنامج حاسوبي بسيط.

ويرد أيضاً وصف للإجراء في الملحق 2 من التوصية ITU-R P.368:

الخطوة 1- بالنسبة لتردد معين، يتم اختيار المنحنى المناسب للجزء S_1 وتسجل قيمة المجال $E_1(d_1)$ بوحدات dB(μV/m) عند المسافة L_1 . بعد ذلك يستخدم المنحنى المتعلق بالجزء S_2 لإيجاد المجالين $E_2(L_1)$ و $E_2(L_1 + L_2)$ ، وعلى نحو مماثل يستخدم المنحنى المتعلق بالجزء S_3 لإيجاد المجالين $E_3(L_1 + L_2)$ و $E_3(L_1 + L_2 + L_3)$ ، وهكذا دواليك.

الخطوة 2- تعرّف شدة المجال المستقبل عندئذ كما يلي:

$$(22) \quad E_R = E_1(L_1) - E_2(L_1) + E_2(L_1 + L_2) - E_3(L_1 + L_2) + E_3(L_1 + L_2 + L_3)$$

الخطوة 3- بعد ذلك يعكس الإجراء، وتسمية R المرسل و T المستقبل نحصل على المجال E_T كما يلي:

$$(23) \quad E_T = E_3(L_3) - E_2(L_3) + E_2(L_3 + L_2) - E_1(L_3 + L_2) + E_1(L_3 + L_2 + L_1)$$

الخطوة 4- يعبر عن المجال المطلوب بالمعادلة أدناه:

$$(24) \quad E_M(R) = \frac{(E_R + E_T)}{2} (dB\mu V / m)$$

3.7 تقدير قيمة تمثيلية للتوصيلية من أجل مسيرات مختلطة في النطاق MF

كما أُشير إليه أعلاه، من الراجح أن يشكل تقدير توصيلية الأرض الجزء الأكثر غموضاً من عملية التنبؤ، وحيثما ينطبق ذلك قد لا يوجد ما يرر تنفيذ إجراء التنبؤ بشأن المسير المختلط الوارد أعلاه للمسيرات فوق البر حين لا تبدي التوصيلية تغيراً بالغاً. وفي حالات كهذه، يمكن استخدام طريقة تنبؤ تستند إلى قيمة تمثيلية لتوصيلية الجزء البري الكامل من المسير. ويؤكد المرجعان [32] و[13] هذا الافتراض بالنسبة لنطاق الترددات المنخفضة (LF) والمتوسطة (MF). ويؤيد المرجع [1] هذا الافتراض بالنسبة لنطاق الترددات العالية (HF). وتعرّف التوصيلية المثقّلة بأنها متوسط قيم التوصيلية على امتداد المسير، بعد تثقيلها بطول كل جزء من أجزاء التوصيلية:

$$(25) \quad \sigma_{weighted} (mS / m) = \frac{\sum \sigma_i \cdot d_i}{\sum d_i}$$

حيث تمثل σ_i مختلف قيم التوصيلية على امتداد المسير، و d_i أطوال أجزاء المسير التي تكون قيمة التوصيلية فوقها ثابتة.

والتوصيلية المثقّلة هي قيمة تمثيلية لتوصيلية المسير يمكن استخدامها في إجراء التنبؤ. وهي توفر نتائج جيدة لتقدير سويات شدة المجال على مسيرات مختلطة برية بالكامل. وفي حالة المسيرات المختلطة البرية-البحرية-البرية، ينبغي استخدام التوصيلية المثقّلة للأجزاء البرية فقط، ومن ثم تطبيق طريقة مليونغتون.

8 حالة البحر

تم بحث التوصيلية الفعالة لمياه البحر في القسم 6 بالنسبة للبحار الهادئة. غير أن أمواج البحر التي تسبب اضطراباً في السطح تؤدي إلى خسائر إضافية، بسبب تشتت الطاقة وابتعادها عن نمط الموجة السطحية.

وتعتبر النظرية التي وضعها باريك (D.E. Barrick) [34]، [35] إحدى النظريات الواسعة الاستخدام لانتشار الموجات الأرضية الديكامترية (HF) فوق بحر هائج. وهذه الطريقة سهلة الاندماج مع الطريقة المتعلقة بشدة مجال الموجة الأرضية للأرض المنتظمة. وقد بين باريك إمكانية وضع نموذج للتأثيرات الناجمة عن سطح هائج قليلاً من خلال الاستعاضة عن معاوقة السطح المنتظم بمعاوقة السطح الفعالة التي تعتمد على خشونة السطح. وتقوم نظرية باريك على ثلاثة افتراضات:

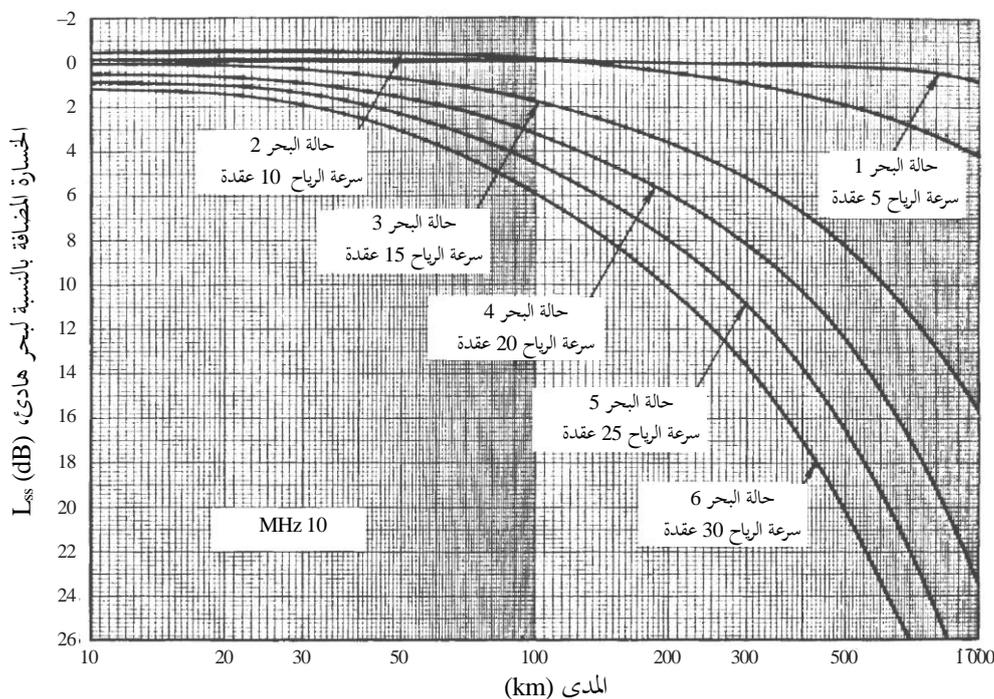
- (i) أن يكون ارتفاع السطح فوق مستوى متوسط صغيراً مقارنة بطول الموجة الراديوية؛
- (ii) أن تكون انحدارات السطح صغيرة؛
- (iii) أن يكون الوسط الموجود تحت السطح موصلاً للغاية.

وتستوفي هذه الشروط في حالة انتشار الموجات الديكامترية (HF) فوق البحر. ويتم الإخلال بها في حالة الموجات الراديوية الميريامترية (VHF) فوق بحار مضطربة باعتدال، وفي كلا النطاقين فيما يتعلق بالانتشار فوق البر.

وترد في الشكل 8 أمثلة على الخسائر الناجمة عن حالة البحر عند التردد 10 MHz بالنسبة لنموذج فيليب (Phillip) [16] المتعلق بطيف الموجات البحرية. وعموماً تزداد الخسارة مع طول المسير وحالة البحر والتردد الراديوي. ويظهر هذا الشكل ظاهرة تتعلق بالخصائص: فعند مسافات تصل إلى 100 km من الساحل، ولكنها تتجاوز المدى الذي يحدث فيه تأثير الاستعادة، تكون شدة المجال فوق بحر مائج بشكل طفيف أكبر منها فوق بحر هادئ. ويتضح ذلك في الشكل 8 بالنسبة لحالة البحر 2. وقد لوحظت زيادة بمقدار 1,5 مرة إلى مرتين بالنسبة لطول موجة قدره 295 m [28].

الشكل 8

الخسارة بحسب حالة البحر عند التردد 10 MHz



9 البيئات الريفية

يعتمد متوسط سوية شدة المجال في البيئة الريفية على الخواص الكهربائية للأرض، والتردد، والمسافة إلى المرسل، والتغيرات الواسعة النطاق الناجمة عن التضاريس غير المنتظمة القريبة من موقع المستقبل. وقد ورد شرح كل هذه الجوانب في الفصول السابقة.

وفي الأوضاع العملية السائدة في البيئات الفعلية، وحتى في الحالات التي تكون فيها المسافات بين المواقع أصغر بكثير من المسافة إلى المرسل، فإن ظروف الاستقبال لا تكون واحدة بسبب وجود تغيرات محلية في التضاريس، والأشجار والغطاء النباتي، والمباني والهياكل التي يصنعها الإنسان، والأسلاك الهوائية ونحو ذلك. ففي الكثير من البيئات المفتوحة ظاهرياً، يتبع الاختلاف في سويات الإشارة في مواقع مجاورة توزيعاً لوغاريتمياً عادياً يبلغ متوسط انحرافه المعياري قرابة 2-4 dB.

وقد درس فوروتسو (Furutsu) [37] الحالة الخاصة للانتشار عبر حواف الجرف. وعرض بييلو (Pielou) [38] مثلاً على هذا التأثير.

10 البيئات الحضرية

1.10 تأثير المناطق الحضرية المكتظة بالعمران، 0,1 إلى 20 km

1.1.10 مقدمة

ثمة العديد من التطبيقات التي يمكن فيها استخدام الترددات الراديوية في النطاق MF على مسافات قصيرة (مثل تنظيم الشبكات الإذاعية الحضرية والمناطقية، وتطوير خدمات المرافق ونحو ذلك). وبالتالي لا بد من معرفة خصائص المجال في النطاق MF عند مسافات تتراوح من بضع عشرات من الأمتار وحتى عشرات الكيلومترات. ومع ذلك، فإن توزيع وتوهين الترددات المتوسطة في مناطق المدن، عند مسافات أصغر من طول الموجة لم يخضعوا للدراسة الكافية.

وقد أجريت دراسات لسلوك شدة المجال الكهرومغناطيسي البعيد في منطقة في المدينة، على سبيل المثال من قبل كوزبروك [22] (Causebrook) (انظر الفقرة 2.10) وتشيرنوف (Chernov) [39].

ففي حالة المجال القريب تزداد شدة المجال بشكل حاد في المدى القصير، ويكون معدل التغيير بالنسبة للمكونة الكهربائية مختلفاً عن ذلك الذي للمكونة المغناطيسية. وتعتمد المكونة التي تشهد أكبر قدر من التزايد على نوع هوائي الإرسال. وبوجه خاص، على مقربة من هوائي مجال كهربائي (مثلاً أحادي قطب عمودي)، لا يوجد في النهاية سوى المكونة الكهربائية الناجمة عن التيار الذي يمر في الهوائي.

وعند المسافات القصيرة، تتناقص شدة المجال أولاً مثل R^{-3} ، ثم مثل R^{-2} ، ومثل R^{-1} عند مسافة بعيدة. وتتخلل هذه القواعد بعض الخصوصيات في حالة المباني الحضرية.

ويتمثل الافتراض الأولي، كما أكدته الدراسات التمهيدية، في أن التوهين الذي تتعرض له الموجات في مناطق المباني الحضرية يكون أعلى من التوهين في الأرض المنتظمة. وإذا كانت هذه الزيادة ملحوظة، يمكن أن يعبر عن التوهين بصيغة بسيطة.

2.1.10 موجز النظرية (انظر على سبيل المثال [28] و[60])

تكتب المكونة الكهربائية، E_{el} ، والمكونة المغناطيسية، H_{el} ، لشدة المجال الناجم عن مشعاع كهربائي أولي في اتجاه متعامد مع محور المشعاع على النحو التالي:

$$(26) \quad E_{el} = \left(\frac{ijklZ_0}{4\pi} \right) \left(\frac{\exp(ikR)}{R} \right) \left(1 + \frac{1}{ikR} - \frac{1}{k^2R^2} \right)$$

$$(27) \quad H_{el} = \left(\frac{ijkl}{4\pi} \right) \left(\frac{\exp(ikR)}{R} \right) \left(1 + \frac{1}{ikR} \right)$$

وعلى نحو مماثل، يمكن كتابة المكونة المغناطيسية، H_m ، والمكونة الكهربائية، E_m ، لمشعاع مغناطيسي على النحو التالي:

$$(28) \quad E_m = \left(\frac{ikJl}{4\pi} \right) \left(\frac{\exp(-ikR)}{R} \right) \left(1 + \frac{1}{ikR} \right)$$

$$(29) \quad H_m = \left(\frac{1kJl}{4\pi Z_0} \right) \left(\frac{\exp(-ikR)}{R} \right) \left(1 + \frac{1}{ikR} - \left(\frac{1}{k^2R^2} \right) \right)$$

حيث تمثل J التيار في المشعاع، و l طول المشعاع، و Z_0 المقاومة الموجية للفضاء الحر ($\Omega \pi 120$) و $k = 2\pi/\lambda$. ويشير الدليلان السفليان

" el " و " m " إلى المشعاع الكهربائي والمشعاع المغناطيسي على التوالي.

في حالة المجال القريب، حيث $R \approx 1/k$ ، يمكن تقريب الكمية $\exp(-ikR)$ إلى الوحدة بحيث يصبح لدينا:

$$(30) \quad E_{el} = JIZ_0 / (i4\pi R^3)$$

$$(31) \quad H_{el} = Jl / (4\pi R^2)$$

$$(32) \quad E_m = Jl / (4\pi R^2)$$

ويلاحظ من هذه العبارات أن شدة المجال بالقرب من المشعاع تزداد بشكل حاد، وأن معدل الزيادة للمكونة الكهربائية مختلف عن ذلك الخاص بالمكونة المغناطيسية. ويكون تزايد النسبة E_{el}/H_{el} في المجال القريب متناسباً عكسياً مع المسافة:

$$(33) \quad E_{el}/H_{el} = W / (iR)$$

ويلاحظ من المعادلات (26) إلى (29) أن شدة المجال في منطقة المجال القريب تتناقص مثل R^{-3} ، ثم مثل R^{-2} ، ثم مثل R^{-1} في المنطقة البعيدة. كما أن المكونتين المغناطيسية والكهربائية في المجال القريب تكونان منفصلتين من حيث الطور بقيمة 90 درجة تقريباً، بحيث يكون المجال مفاعلياً وغير مشع، وذلك لأن متجه بوينتنگ (Poynting) يكون مساوياً للصفر تقريباً.

وفي الكثير من النصوص الأساسية المتعلقة بالديناميات الكهربائية والهوائيات (انظر على سبيل المثال [40])، لا يجري تحليل كامل لمنطقة المجال القريب، كما لا يرد شرح لطريقة نشوء المجال البعيد. ومع ذلك، وللغرض الحالي، يعتبر تحليل المجال القريب أساسياً. ومن أجل هذا الغرض، يمكن تقريب الحد $\exp(-ikR)$ عند المسافات القصيرة لتصبح قيمته $(1-ikR)$ ، وبالتالي تصبح المعادلتان (26) و(27) كما يلي:

$$(34) \quad E_{el} = \left(\frac{ijklZ_0}{4\pi R} \right) \left(-\frac{1}{k^2 R^2} - ikR \right)$$

$$(35) \quad H_{el} = \left(\frac{ijkl}{4\pi R} \right) \left(\frac{1}{ikR} - ikR \right)$$

يتبين من هاتين العبارتين أن معامل متجه بوينتغ $[H_{el} * E_{el}] = \Pi$ يتألف من قسمين. الأول، وهو الجزء التخيلي $\Pi_{im} \approx (kJ/4\pi)^2 Z_0 / (k^3 R^5)$ ، والثاني، وهو الجزء الحقيقي الذي يساوي حاصل ضرب الجزء الحقيقي للمكونة المغنطيسية (حيث يكون من الواضح أن الحد الأول بين القوسين الثانيين أكثر أهمية من الحد الثاني) بالجزء الحقيقي للمكونة الكهربائية. وتتناقص المكونة المغنطيسية للمتجه مثل $1/R^2$ ، فيما تظل المكونة الكهربائية ثابتة. ويكون حاصل الضرب:

$$(36) \quad \Pi_{Re} \approx (kJ/4\pi)^2 Z_0 / R^2$$

وهكذا فإن معدل تناقص كثافة القدرة بالقرب من هوائي الإرسال يكون ماثلاً لذلك الذي للمنطقة البعيدة، والذي يتم الحصول على المعادلة (36) على أساس المعادلتين (26) و(27) عندما تكون قيمة R كبيرة [36]. بكلمات أخرى، إن الجزء الحقيقي لكثافة القدرة، التي يشعها هوائي المجال الكهربائي، يتغير مع المسافة في المناطق القريبة والمتوسطة والبعيدة مثل $1/R^2$ - ما يقابل القانون العادي للتمدد الكروي. والأمر المميز أن النسبة بين المكونة التخيلية والمكونة الحقيقية تزداد بالقرب من المشع:

$$(37) \quad \Pi_{im} / \Pi_{Re} = 1 / k^3 R^3$$

وعند الموجات الهكثومترية (MF) تكون المنطقة القريبة محدودة بمسافات أصغر من $1/k$. وبالتالي فبالنسبة لأطوال الموجات من 200 إلى 300 m، حيث تتراوح $1/k$ من 31 إلى 48 m، تكون المنطقة القريبة بحدود 10 أمتار.

أما في المنطقة البعيدة، وعند الموجات الهكثومترية (MF) التي تتجاوز 300-500 m، فإن كثافة المجال تعطى بالمعادلة:

$$(38) \quad E = (300 P^{1/2} / R) \cdot V \quad \text{mV/m}$$

حيث:

P : القدرة المشعة بوحدة kW

R : المسافة km.

ويتوقف معامل التوهين، V ، على معلم واحد هو ρ :

$$(39) \quad \rho = -i(\pi R / \lambda) \cdot [(\epsilon' - 1) / (\epsilon')^2], \quad \epsilon' = \epsilon - i \cdot 60 \lambda \sigma$$

حيث:

λ : طول الموجة m

ϵ' : نفاذية العازل المعقدة

ϵ : الجزء الحقيقي للنفاذية

σ : توصيلية الأرض بوحدة S/m.

وبالنسبة لأطوال الموجات في المدى 200-300 m (1,0-1,5 MHz) وللتوصيليات في المدى σ من 10^{-3} وحتى 10^{-2} S/m يكون لدينا:

$$\epsilon' = \epsilon - i \cdot 60 \cdot (200 \cdot 10^{-3} \dots 300 \cdot 10^{-2}) = \epsilon - i \cdot (12 \dots 180).$$

وفيما يتعلق بالأرض المنخفضة التوصيلية ϵ' ، يمكن تجاهل الحد الأول في المعادلة (39)، بحيث يكون:

$$\rho \approx 10^5 \cdot \pi R / (6 \lambda^2 \cdot \sigma),$$

حيث R بالكيلومترات، و λ بالأمتار، و σ بوحدات mS/m.

وبناء على ذلك، إذا كان لدينا $\sigma = 1$ mS/m، و $\lambda = 200$ m، و $R = 1$ و 10 km، و $\rho = 1,31$ و $13,1$ ،

يكون معامل التوهين تقريباً

$$(40) \quad V = (2 + 0,3\rho) / (2 + \rho + 0,6\rho^2)$$

وبالنسبة للقيم الكبيرة للمعامل ρ ، يكون للمعادلة (40) تبعية تقارب $1/\rho$ ، ويكون عامل التوهين متناسباً مع R^{-1} .

وبالتالي، ففي الحالة التي تكون فيها توصيلية الأرض منخفضة وترددات التشغيل مرتفعة، تتغير تبعية شدة المجال للمسافة بشكل طفيف من $1/R$ (26) إلى $1/R^2$ عند مسافات تزيد على 1 km تقريباً. عند هذه المسافات، ومع أخذ المعادلتين (38) و (40) في الاعتبار، يصبح لدينا:

$$(41) \quad E = 300 P^{1/2} \cdot 6\lambda^2 \sigma / (10^5 \pi R^2) = 5730 \cdot P^{1/2} \lambda^2 \sigma / R^2 \quad \mu V/m$$

حيث P بوحدات kW، و R بالكيلومترات، و λ بالأمتار، و σ بوحدات mS/m.

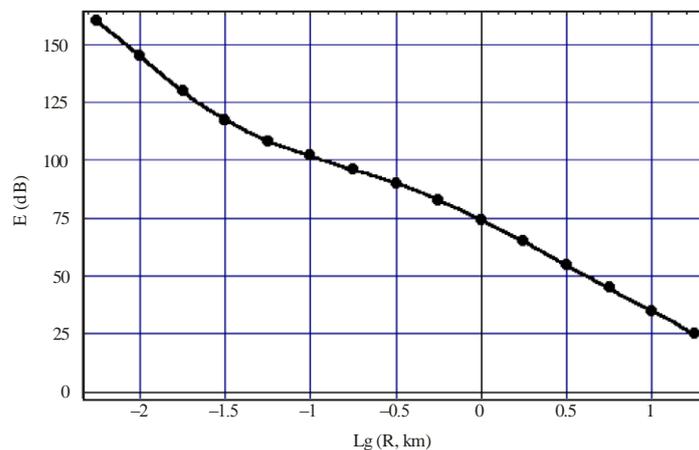
ومن المهم ملاحظة أن $1/R^2$ ، كما أشير إليه في [41]، هي من الناحية النظرية المعدل الأسرع لانخفاض شدة المجال مع المسافة من المرسل في الأوضاع الحضورية المتجانسة، وعلى مسافات يمكن ضمنها اعتبار سطح الأرض منبسطةً. وتعرف العبارة التبعية المحددة، بحيث أنه، ضمن إطار الافتراضات أعلاه، يتوقع استحالة حدوث انخفاض أكثر حدة مع المسافة في أي حال من الأحوال. وباستخدام هذا النهج، استخلص تشيرنوف [41] حلاً مشتركاً يناسب جميع المسافات، اعتباراً من عشرات الأمتار:

$$(42) \quad E(R) = 74,72 - 33,36R - 10,47R^2 - 1,25R^3 + 367R^4 + 077R^5, \text{ dB } (\mu V/m),$$

حيث $R = \lg(R, \text{ km})$

وتظهر هذه التبعية في الشكل 9.

الشكل 9



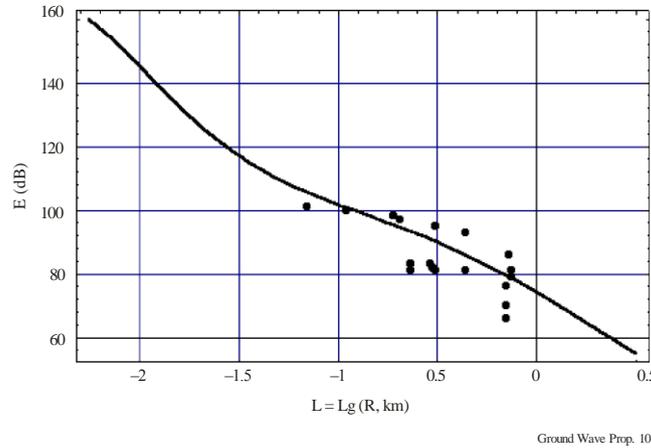
Ground Wave Prop. 09

3.1.10 نتائج القياسات

من أجل تقدير الخطأ في هذا المنحنى (الشكل 9) وتقدير توهين الإشارات في النطاق MF عند مسافات قريبة من المرسل، باستخدام مقياس شدة المجال مع هوائي حلقي مصفّح، أجريت قياسات على مسافات من المرسل تصل إلى 1 000 m في مختلف الأوضاع الحضورية [41]، [61]، [63].

وترد في الشكل 10 البيانات المقيسة لشدة المجال والتبعية النظرية [41].

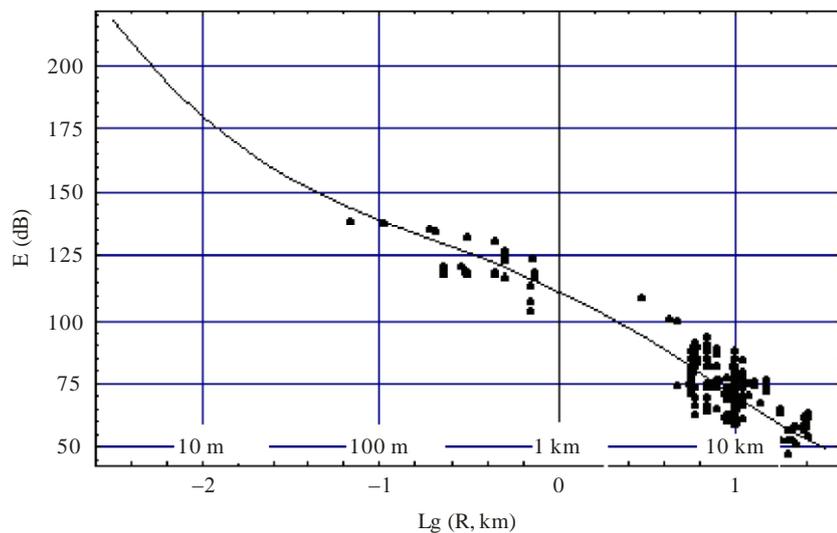
الشكل 10



يلاحظ من الشكل أن البيانات المقيسة تنسجم بشكل مرضٍ مع المنحنى المحسوب. ومن المهم الإشارة إلى أن البيانات التجريبية مجمعة معاً، دون حذف أي منها حتى وإن جرت القياسات داخل المباني. وهناك بعض الاستثناءات التي تحصل للقياسات التي تُجرى في المصاعد، حيث يصل التوهين الإضافي الناجم عن الجدران المعدنية إلى 40 dB.

وتظهر هذه النتائج في الشكل 11 مرفقة بتلك التي تم الحصول عليها قبل ذلك في مدينة ما على مسافات تتراوح من 0,5 إلى 30 km بقدرة مشعة قدرها 5 kW [41].

الشكل 11



وأظهرت هذه البحوث أنه عند مسافات تزيد على 500 m، تبدأ تأثيرات الخسارة الخاصة بالمناطق الحضرية بالظهور، ويكون انتشار الموجات الهكثومترية (MF) في المناطق الحضرية المبنية مماثلاً لذلك الخاص بالأرض ذات التوصيلية الضعيفة، $\sigma = 1 \text{ mS/m}$.

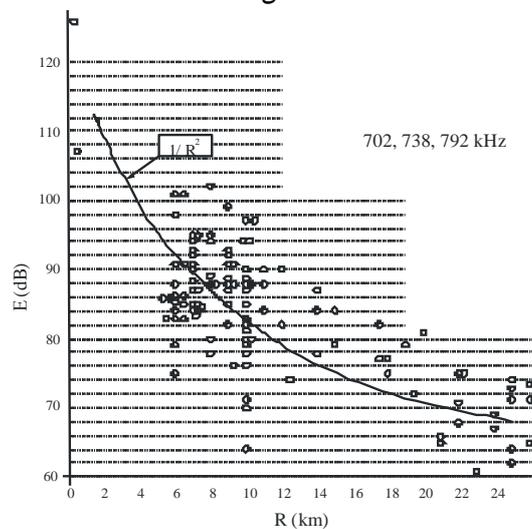
وأجريت سلسلة أخرى من القياسات للمرسلات الموجودة في مدينة ما، بأطوال مسيرات تتراوح من 0,5 إلى 26 km وعلى ترددات تتراوح بين 702 kHz و 1 539 kHz. ويرد أدناه مثالان على توزيع سويات شدة المجال على امتداد الخطوط.

وتوخياً لزيادة كمية البيانات، يرد في الشكل 12 تجميع لنتائج قياسات شدة المجال الخاصة بثلاثة مُرسلات، بترددات قريبة من الطرف السفلي لنطاق الإذاعة بالموجات الهكثومترية (MF)، ويرد في الشكل 13 تجميع لنتائج القياسات الخاصة بأربعة مُرسلات تقع على مقربة من الطرف العلوي للنطاق. وتبلغ قدرة كل مرسل من المرسلات 5 kW.

ويظهر في هذين الشكلين أن منحنى قانون التربيع العكسي يتناسب مع القياسات بشكل جيد.

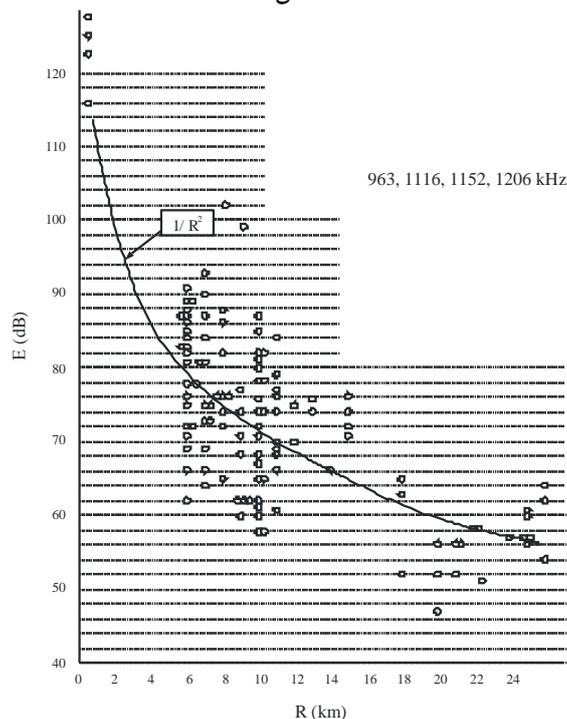
وبالإضافة إلى النتائج الواردة أعلاه المتعلقة بالمرسلات الموجودة داخل المدينة، أُجريت كذلك بحوث على مُرسلات قائمة في الضواحي وتبعد عن المرسل من 10-12 km وحتى حوالي عشرات الكيلومترات، وذلك على امتداد فترة أربعة أيام. وأُجريت قياسات شدة المجال بواسطة مركبة متنقلة للقياس في مدينة موسكو والمنطقة المحيطة بها. ومع ذلك، فإن المواقع التي وقع الاختيار عليها لأغراض التحليل كانت محصورة في مسيرات تمر عبر وسط المدينة (انظر الشكل 14).

الشكل 12



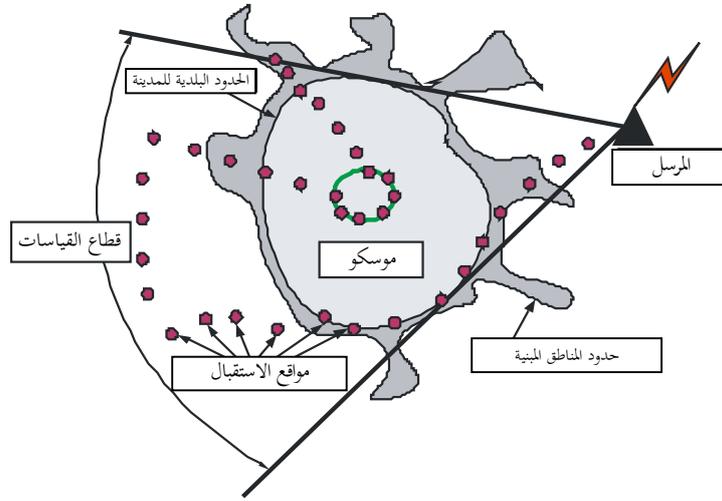
Ground Wave Prop. 12

الشكل 13



Ground Wave Prop. 13

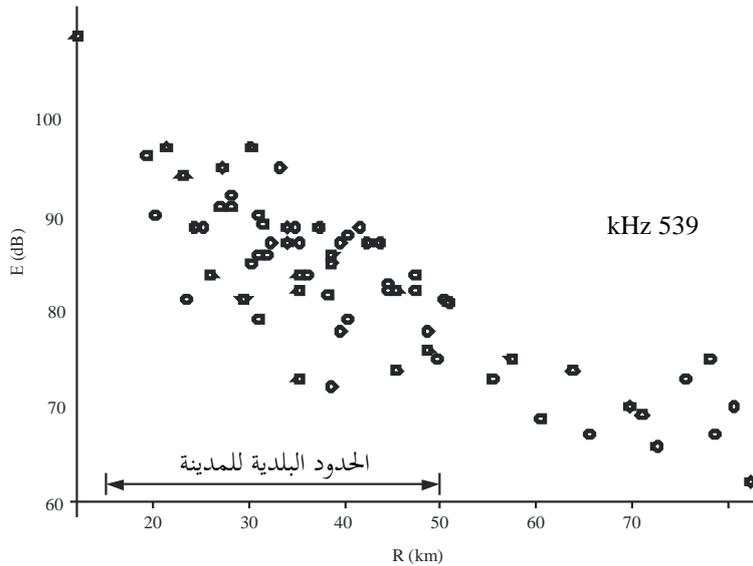
الشكل 14



Ground Wave Prop. 14

يقدم الشكلان 15 و16 أمثلة على النتائج الخاصة بأحد المرسلات الموجودة في الضواحي عند ترددين مختلفين.

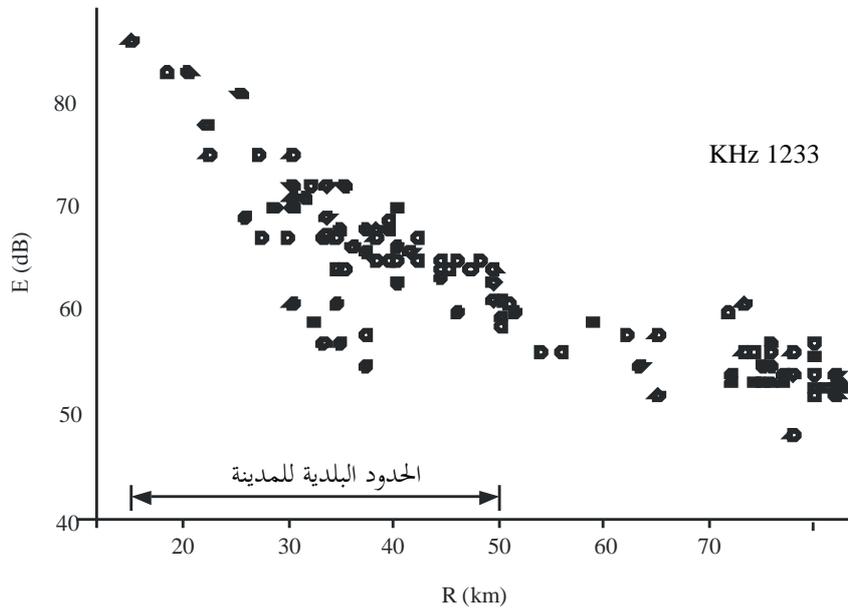
الشكل 15



Ground Wave Prop. 15

وبالإضافة إلى النتائج التي تم الحصول عليها عند الترددات المتوسطة، لا بد من الإشارة إلى العمل المماثل [42] الذي خصص لبحوث مماثلة في نطاق الترددات العالية (HF). وقد أظهر ذلك أنه على مسافات من المرسل تصل إلى 100-700 m تكون شدة المجال عملياً متناسبة مع $1/R$ ، في حين أنه عند مسافات 0,7-10 km تصبح القاعدة أقرب إلى $1/R^2$. وترد في [39] تفاصيل إضافية للقياسات في منطقة موسكو.

الشكل 16



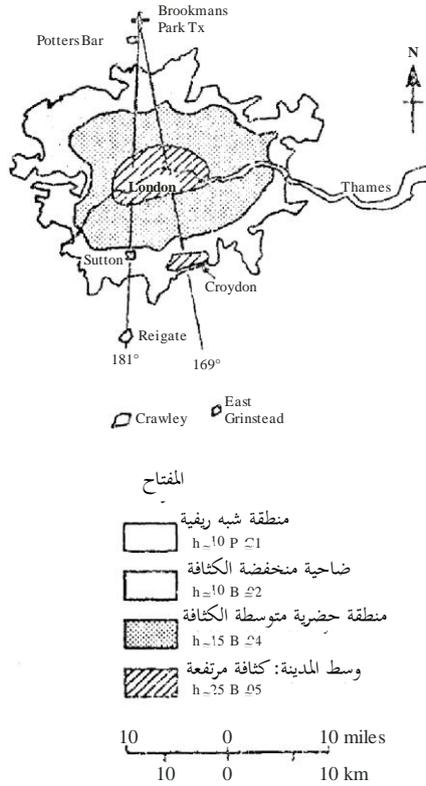
Ground Wave Prop. 16

2.10 المسافات التي تتجاوز 25 km

في أعقاب إدخال الإذاعة بالموجات الهكثومترية (MF) في العشرينيات من القرن الماضي، أجريت استقصاءات في التغيرات الحاصلة في الإشارة المستقبلية. ولوحظت تأثيرات توصيلية الأرض، وارتفاع التضاريس وعدم انتظامها، والحجب الناجم عن المباني ونحو ذلك، والتأثيرات الليلية للموجات السماوية الأيونوسفيرية، التي كانت غير معروفة آنذاك، ولا سيما تزايد معدل التوهين مع المسافة في مناطق المدن [43]، [44]، [45]، [46]. وبمجرد فهم المبادئ العامة لانتشار الموجات الأرضية في نطاق الترددات المتوسطة (MF)، ثبت أن التنبؤات بالتغطية الإجمالية المستندة إلى الانتشار فوق أرض منتظمة ذات توصيلية مناسبة كافية جداً في معظم الحالات بالنسبة لعمليات الإرسال عالية القدرة التي تغطي مزيجاً من البيئات الريفية والحضرية. ومع ذلك، فإن تجدد الاهتمام في زيادة البث الإذاعي المحلي الموجه بشكل رئيسي للبلدات والمدن وضواحيها أظهر عدم ملائمة هذه الطرائق في مناطق المدن. وسوف تزداد أهمية ذلك بالنسبة للإذاعة الرقمية، حيث توجد حدود أكثر حساسية بين الاستقبال المرضي والقصور عندما تكون نسب الإشارة إلى الضوضاء منخفضة.

وقد قام باون وزملاؤه (Bown *et al*) [44] بتحديد تأثير المباني والهياكل الأخرى التي تحتوي على عناصر عمودية، والأشجار، فعمل التأثير من الناحية المتعلقة بالدارات الطنانة في الهياكل العمودية. وفي وقت لاحق أجرى كوزبروك [47] دراسات على امتداد مدينة لندن وأعد شرحاً للتأثيرات الملاحظة في المناطق المكتظة بالمباني. وأجريت القياسات على ثلاثة ترددات، وبزاويتين للسمت عبر لندن؛ انظر الشكل 17.

الشكل 17 مسيرات القياس عبر لندن

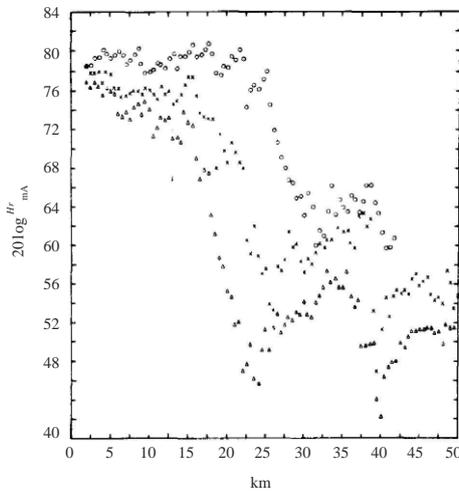


Ground Wave Prop. 17

ويظهر الشكل 18 القياسات التي أجراها كوزبروك في لندن بزواوية سمت قدرها 169 درجة. وتبين أن شدة المجال بالقرب من المرسل لا تتناقص على النحو المتوقع على جميع الترددات الثلاثة، ولكن يحدث عندئذ تناقص سريع إلى الحد الأدنى يليه استعادة. وقد نظر في تعديل المعاوقة السطحية الناجمة عن هيكل شبيه بحقل من "المسامير الموصلة". وقام بدراسة السطح المعقد للدالة ρ (انظر المعادلة (18)) ووضع رسماً بيانياً للتوهين من النمط A (انظر المعادلة (17)) والطور، كما هو مبين في الشكل 19.

الشكل 18

قياسات على ثلاثة ترددات عبر لندن



Ground Wave Prop. 18

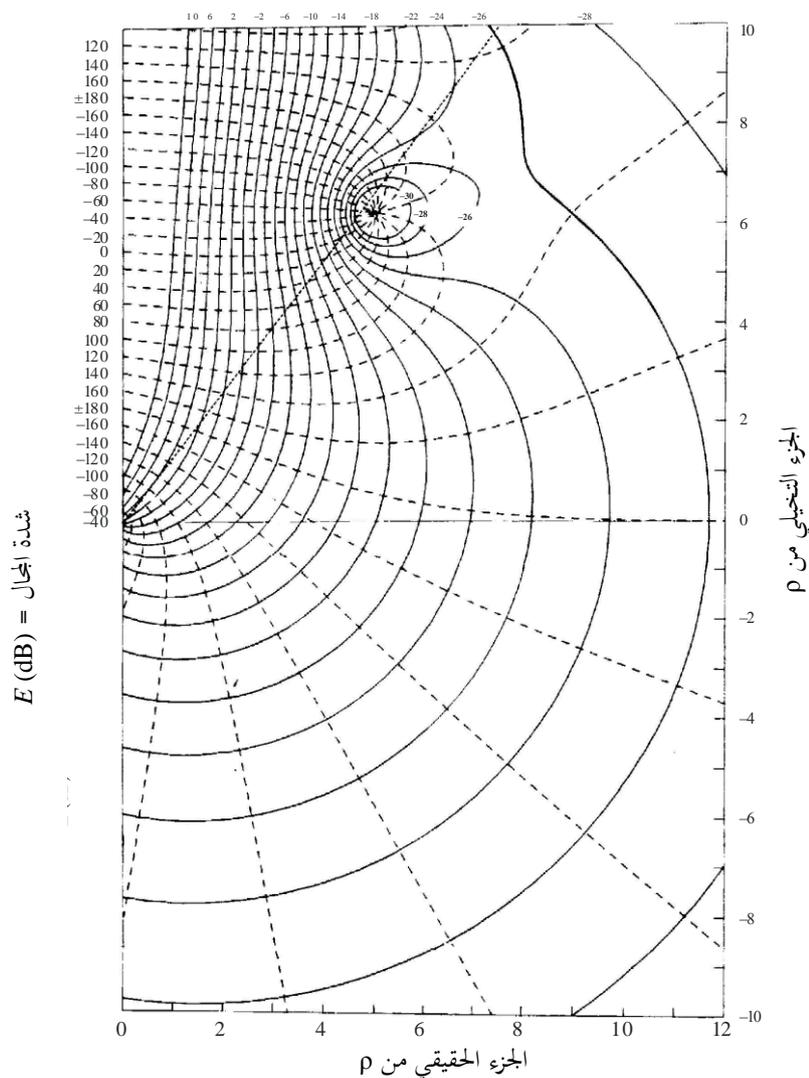
وأظهر أن الانتشار في الأرض المنتظمة ومعظم البيئات الريفية يكمن في النصف الأسفل من الشكل 11، حيث يكون للكفاف شكل منتظم. ومع ذلك، فإن النتائج الخاصة بالبيئة الحضرية المكتنزة تقع في النصف الأعلى من الشكل حيث يحدث تغير غير عادي للتوهين، بما في ذلك نقطة صفرية.

واقترحت طريقة للحساب تم فيها تقطيع المسير إلى أجزاء ذات توصيليات ومعالم سطحية مختلفة، وتضمنت معلمات لارتفاع الهياكل التي يصنعها الإنسان وللجزء من المساحة التي تغطيها المباني. ولم يتم تطوير هذه الطريقة بعد أو اختبارها على نطاق واسع كأداة للتنبؤ.

وثمة نهج آخر لمعالجة هذه المسألة طرحه ليو (Luo) [48]. وتحدد هذه الطريقة مجموعة من مكونات الخسارة بالنسبة لطول المسير، والانعكاس، والانعراج، والانكسار حول المباني وما إلى ذلك.

الشكل 19

السطح المعقد للدالة ρ



11 التغيرات الموسمية في انتشار الموجة الأرضية

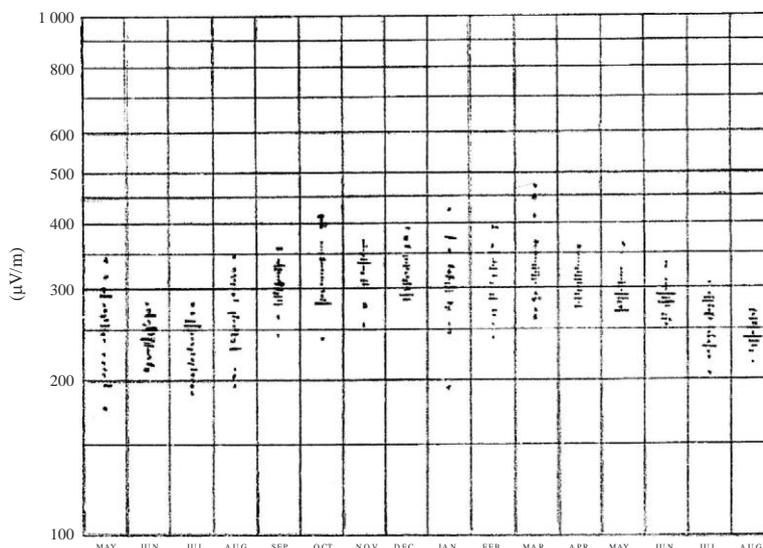
تحدث في بعض الحالات تغيرات موسمية في انتشار الموجة السطحية. وقد تعزى تلك إلى تغيرات في انكسارية التروبوسفير (انظر الفقرة 3.3)، أو إلى حالة الغطاء النباتي، أو إلى تغيرات في مستوى منسوب الماء داخل الأرض، أو إلى الظروف الشديدة البرودة التي تتحول فيها المياه إلى جليد، أو إلى الغطاء الثلجي السميك، وما إلى ذلك، حيث يمكن لهذه أن تسبب تغيرات في التوصيلية الفعالة للأرض. وقد تؤثر جميع هذه التغيرات في شدة مجال الموجة السطحية. وقد تسفر هذه التغيرات الموسمية بوجه خاص عن انخفاض في شدة المجال في الصيف.

1.11 نبذة تاريخية

في العشرينيات من القرن الماضي، أجريت للمرة الأولى قياسات في النهار لسوية الإشارة المنبعثة من محطة موجات هكتومترية (MF) على مقربة من مدينة فيلادلفيا، في الولايات المتحدة، [49]، وعلى مدى يصل إلى عدة مئات من الكيلومترات. وأظهرت القياسات أن القيم المتوسطة التي أخذت كل نصف ساعة يوماً بعد يوم لا تظل ثابتة، ولكنها تتغير بمقدار يصل إلى عدة ديسيبل. بالإضافة إلى ذلك، فقد يتغير أيضاً متوسط سوية الإشارة من شهر إلى آخر، مع التغيرات الموسمية، حيث يصل إلى أكبر قيمة له في أشهر الشتاء. وقد وصلت القيم الشهرية المتوسطة للتغيرات الموسمية لسوية الإشارة إلى 4-5 dB. وجرت محاولات لتحديد سبب هذه التغيرات في الإشارة. فتم تحديد الترابط بين التغيرات في سوية الإشارة ودرجة الحرارة المحيطة، والرطوبة، والضغط، والمعلمات الجوية الأخرى. وتبين أن القيمة العظمى للترابط السالب تكمن في درجة الحرارة. ولم تكن الأسباب المادية لهذه الظاهرة واضحة. ويرد في الشكل 20 مثال على التغيرات في سوية الإشارة خلال فترة فاصلة مدتها سنة.

الشكل 20

مثال على التغيرات الموسمية المسجلة في الولايات المتحدة الأمريكية



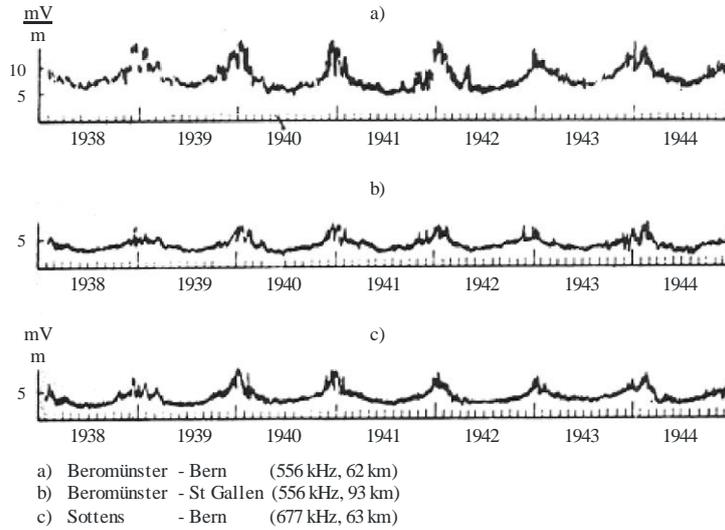
Daily 1:30 P.M., EST, field intensities, Philadelphia, Pa., (WCAU) to Baltimore, Md. 1 170 km, 76 miles. May, 1939-August, 1940.

Ground Wave Prop. 20

وخلال الفترة 1938-1944، جرت قياسات مماثلة في سويسرا عند الترددات المتوسطة (MF)، وعلى مدى يصل إلى 100 km. ونشرت النتائج في عام 1945 [50]. ويتميز مناخ وسط أوروبا بمدى أكبر لدرجات الحرارة، كما أنه لدى التغيرات الموسمية قيمة أكبر تصل إلى 8 dB. وترد في الشكل 21 النتائج التي تم الحصول عليها في سويسرا أثناء النهار.

الشكل 21

مثال على التغيرات الموسمية المسجلة في سويسرا



Ground Wave Prop. 21

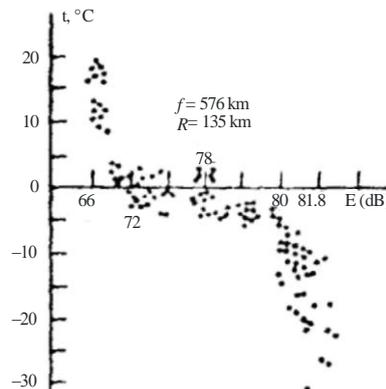
وفي أواخر القرن العشرين، أجريت قياسات على عدد كبير من الترددات في نطاق الترددات المنخفضة (LF) والترددات المتوسطة (MF) في أوقات مختلفة من النهار وعلى مسيرات ذات أطوال مختلفة تتراوح من 11 km وحتى 2 500 km بالقرب من موسكو وفي منطقة سيبيريا.

وترد نتائج القياسات الأولى التي تمت في منطقة موسكو في [51]. وقد تبين في إطار برامج قياس أكثر اكتمالاً وطولاً أن قيم التغيرات الموسمية عند الترددات المتوسطة (MF) على مختلف المسيرات قرب موسكو قد بلغت في المتوسط 10-15 dB.

وفي إقليم سيبيريا، حيث تظهر أكبر فروقات في درجات الحرارة بين الشتاء والصيف، لوحظت تغيرات تقارب قيمتها 15 dB وأكثر من ذلك [52]. ويرد في الشكل 22 مثال على التغيرات في شدة المجال على مقربة من مدينة تومسك. وتتسم المسيرات الواقعة على خطوط العرض الوسطى والمكسوة بقسم كبير من الغطاء النباتي بتغيرات موسمية عظمى في مستوى الإشارة، تبلغ 5-15 dB أو أكثر [53]، [54]. ويظهر الجدول 3 القيم المتوسطة للتغير H(dB) بين أشهر الشتاء والصيف [61].

الشكل 22

التغيرات الموسمية في شدة المجال عند 576 kHz مع درجة الحرارة لمسير طوله 155 km قرب تومسك



Ground Wave Prop. 22

الجدول 3
التغيرات الموسمية في سوية الإشارة

16-	10-	0	4	متوسط درجة الحرارة في يناير (°C)
15	13	8	4	التغيرات النمطية (dB) H

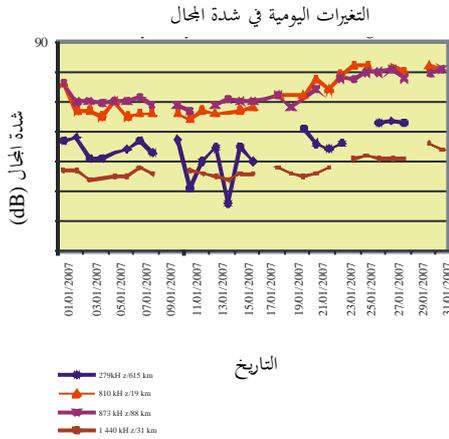
وتتضح النتائج أعلاه في التوصيتين ITU-R P.1321-3 و ITU-R P.368-9.

2.11 التغيرات اليومية في انتشار الموجة السطحية

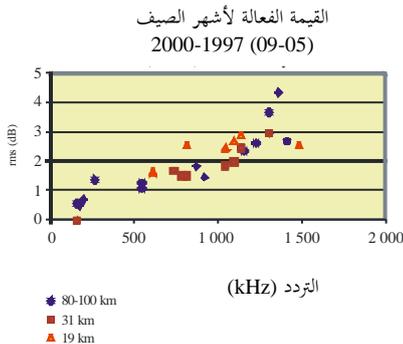
تلاحظ أيضاً تغيرات يومية في جميع مسيرات الترددات المتوسطة (MF) في منطقة موسكو، وفي غالبية مسيرات الترددات المنخفضة (LF). وترد أمثلة على ذلك في الشكل 23. ويتم تحديد الترددات العاملة وأطوال المسيرات في تعليقات الشكل. فعند الترددات المنخفضة (LF)، تتراوح القيمة الفعالة لانحراف سوية الإشارة من أجزاء من الديسيبل للمسيرات القصيرة عند حافة الترددات المنخفضة للنطاق، بمتوسط قدره 0,8 dB، إلى 10 dB تقريباً في جزء التردد الأعلى من النطاق للمسيرات التي يصل طولها إلى 1000 km وأكثر. وعند الترددات المتوسطة (MF) تكون التغيرات في سوية الإشارة للمسيرات التي يبلغ طولها عشرات الكيلومترات أكبر بكثير منها عند الترددات المنخفضة (LF)، وتبلغ في العادة 2-4 dB، وتصل أحياناً إلى 5-6 dB، انظر الشكل 24.

ويعتمد الحبو على مسيرات الموجة الأرضية بشكل كبير على التردد وطول المسير. ففي نطاق الترددات المتوسطة (MF) يكون حتى للمسيرات التي يبلغ طولها 20-100 km تغيرات في القيمة الفعالة مع تبعية كبيرة للموسم والتردد، كما هو مبين في الشكلين 25 و 26.

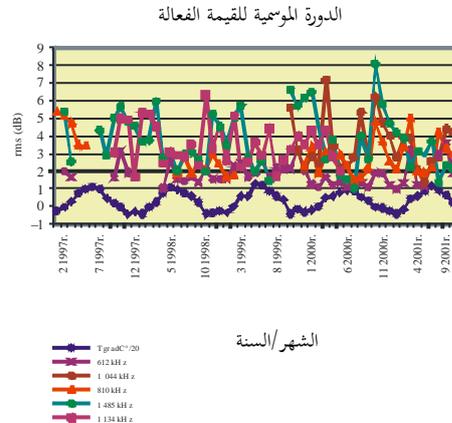
الشكل 23



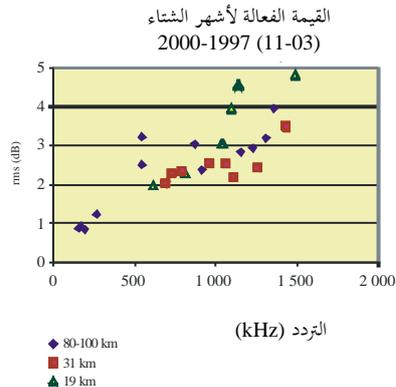
الشكل 25



الشكل 24



الشكل 26



القسم 4

12 هوائيات الاستقبال

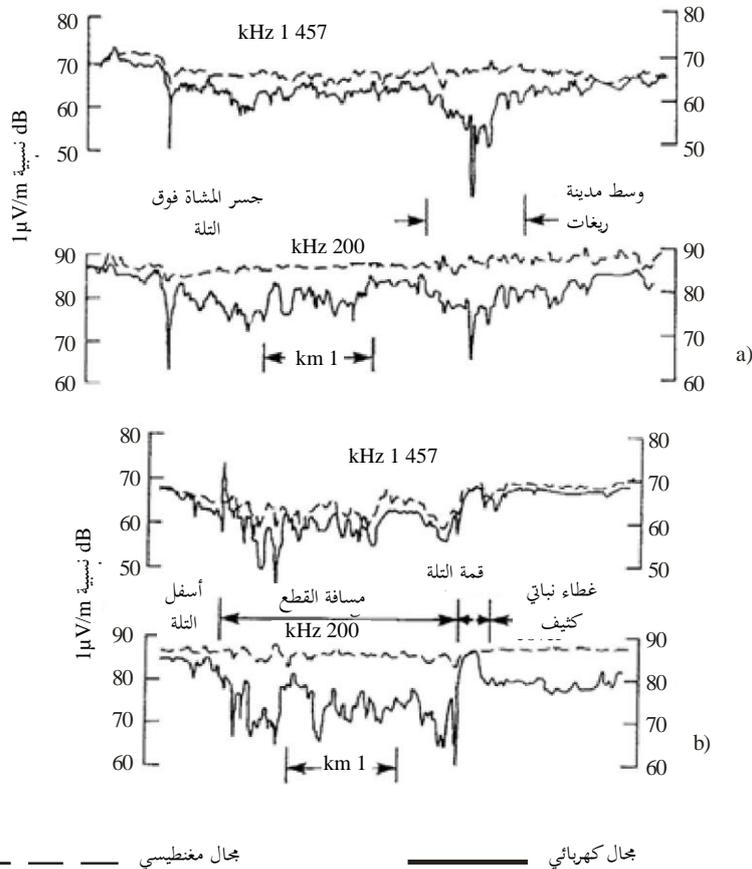
كما ورد البحث في الفقرة 2.1.2.3، يوجد في البيئات المفتوحة علاقة بين شدة المجال الكهربائي العمودي وشدة المجال المغنطيسي الأفقي، وفقاً للمعادلة (12). وقد تكون الهوائيات المستخدمة للقياس واستقبال الخدمات هوائيات قضيبية أو سلكية تستجيب للمجال الكهربائي (مثل بعض هوائيات راديو السيارات)، أو هوائيات حلقيّة أو هوائيات فريتيّة تستجيب للمجال المغنطيسي (مثل تلك الموجودة في مستقبلات الإذاعة المحلية).

أما في البيئات التي تتخللها العوائق فغالباً ما تكون التغيرات المكانية للمجال الكهربائي أكبر بكثير من تلك التي للمجال المغنطيسي. وتستخدم معظم المستقبلات المحمولة التي تقيس شدة المجال هوائيات حلقيّة تتم معايرتها على المجال الكهربائي باستخدام المعادلة (12).

ويُظهر الشكل 27 التغيرات لكل من هوائيات المجال الكهربائي وهوائيات المجال المغنطيسي على مسارين متخذين كمثل [55].

الشكل 27

قياسات على مسارين باعتماد هوائي مغنطيسي وهوائي كهربائي



13 توصيف التغير المكاني لشدة المجال

يحدد النص أعلاه خصائص السلوك العام للموجة السطحية المنتشرة عبر مناطق ذات قيم توصيلية مختلفة وعبر البحر ومناطق المدن. وتتغير شدة مجال المستقبل على مسافات قدرها بضعة أمتار بسبب التأثيرات المحلية أو التغيرات في الطبوغرافيا أو نتيجة وجود هياكل فردية أو مجموعات من الهياكل ونحو ذلك.

ويمكن التعبير عن تغير شدة المجال كمجموعة مؤلفة من حدين يمثل كل منهما مكونة ذات طبيعة مختلفة للإشارة وتعزى التغيرات فيها إلى أسباب متميزة [56]:

- التغير المكاني الواسع النطاق $m(x)$: وتسببه التغيرات الواسعة النطاق على امتداد المسير بين المرسل والمستقبل. ويكون في حالة انتشار الموجة الأرضية ناجماً عن تغيير معالم المسير بين المرسل والمستقبل أو معالم بيئة الاستقبال في المناطق الحضرية وتأثير كل من الخصائص الكهربائية للتضاريس ووعورة التضاريس.
- التغير المكاني الضيق النطاق $r_0(x)$: ويمثل التغيرات المحلية للإشارة، التي تتراكم فوق السوية المتوسطة الواسعة النطاق، وتعزى بشكل رئيسي إلى تأثير بيئة الاستقبال المحلية من قبيل التغيرات التي تسببها عناصر مختلفة كالجسور وخطوط الطاقة وما إلى ذلك.

وتتمثل العلاقة بينهما على مقياس خطي بما يلي:

$$(43) \quad r(x) = m(x) \cdot r_0(x)$$

ويتم الحصول على المكونة الطويلة الأجل $m(x)$ ، أو التغير الواسع النطاق في الإشارة، عن طريق حساب متوسط الإشارة $r(x)$ من أجل إزالة تأثير البيئة المحلية التي يقع فيها المستقبل. وتقابل الإشارة $m(x)$ سلسلة من القيم المتوسطة المحلية للإشارة $r(x)$ في حالة الاستقبال المتنقل.

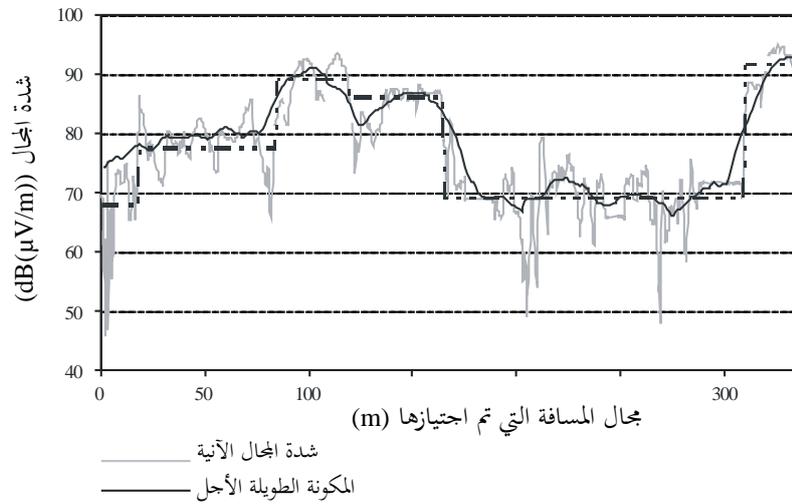
أما المكونة القصيرة الأجل $r_0(x)$ ، أو التغير السريع للإشارة حول القيمة المتوسطة $m(x)$ ، فيمثل التغيرات المحلية للإشارة $r(x)$. وهكذا، فمن أجل تقدير المكونة قصيرة الأجل، يجب أن يكون قد تم مسبقاً حساب المكونة طويلة الأجل عن طريق حساب متوسط عينات الإشارة الموجودة ضمن مسافة فاصلة حول كل موقع، ومن ثم إزالة هذه المكونة من غلاف الإشارة.

ويسمح التمايز المناسب بين مكونتي الإشارة $m(x)$ و $r_0(x)$ بإجراء تحليل أدق للتغير المكاني للإشارة وتحديد صحيح للمصادر التي تسبب التوهين الوسطي لشدة المجال في منطقة ممتدة، وللتغيرات المحلية لشدة المجال الناجمة عن ظروف الاستقبال المحلية.

وتعتبر طريقة لي (Lee) المعممة (انظر الملحق 1) الطريقة المرجعية لتقدير القيم المتوسطة المحلية للإشارة الطويلة الأجل على امتداد المسار. ويُظهر الشكل 28 مثلاً على التغير المكاني الآني والتغير المكاني الطويل الأجل للإشارة مسجلة أثناء حركتها في بيئة حضرية. ويتمثل التغير القصير الأجل بالتغير السريع حول القيم المتوسطة المحلية.

الشكل 28

التغير المكاني طويل الأجل لشدة مجال في الاستقبال الحضري



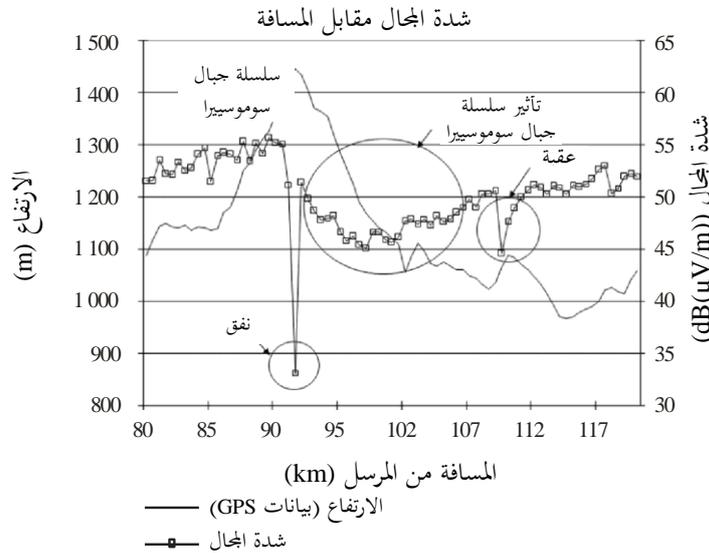
Ground Wave Prop. 28

14 التضاريس غير المنتظمة

مع أن الخواص الكهربائية للأرض هي العامل الرئيسي الذي يحدد توهين الموجة السطحية، فإن وعورة التضاريس تولد خسارة إضافية للمسير في نطاق الترددات المتوسطة (MF) [8]، [57]، [58]. ولا تكون خسارات شدة المجال هذه كبيرة إلا حين يتعرض المسير من المرسل إلى المستقبل لعوائق ناتجة عن تضاريس مرتفعة غير منتظمة (مقارنة بطول الموجة) موجودة قرب موقع المستقبل. ويكون لجميع حالات عدم الانتظام البارزة على امتداد المسير بأكمله تأثير كبير على الخسارة الإجمالية على امتداد المسير رغم أن لأوجه عدم الانتظام الواقعة قرب المستقبل تأثيراً طاعياً، لا سيما حين يكون الانحدار في الجانب البعيد من موقع عدم الانتظام شديد الميل [11]. وتتضاءل سوية شدة المجال في مواقع الاستقبال الموجودة خلف هذه العوائق. ويتوقف هذا التغير في الإشارة على امتداد العائق الناتج عن عدم انتظام التضاريس على طول المظهر الجانبي للمسير، ويمكن تقديره كعامل توهين إضافي ينبغي إضافته إلى القيمة المتوسطة لخسارة الإرسال على المسير.

الشكل 29

التغير في شدة المجال كدالة في المسافة إلى المرسل المسجلة في حملة القياس
تظهر قيم ارتفاع التضاريس المسجلة على مستقبل نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)



Ground Wave Prop. 29

ويبين الشكل 29 مثلاً على تغير شدة المجال حين ينتقل المستقبل على امتداد مسار، وحين تسبب التضاريس غير المنتظمة إعاقة للمسير من المرسل إلى المستقبل. يمتد المسار عملياً بشكل شعاعي من المرسل ويعبر سلسلة جبال سوموسيرا (إسبانيا). وقد ظهرت في الشكل قيم القياس المأخوذة على المسار على امتداد 12 km قبل قمة جبال سوموسيرا و28 km بعدها مع ما يقابلها من مظاهر جانبية لارتفاعات السلسلة. ويمر نفق عبر سلسلة الجبال على مقربة من القمة، مسبباً خبواً عميقاً في إشارة شدة المجال. ويمكن ملاحظة حدوث توهين كبير في شدة المجال عند الجانب "المظلل" من الجبل (أكثر من 10 dB) إذا ما أخذنا القيم المتوسطة في الاعتبار).

وفي الجانب المظلل من العائق، حين يتحرك المستقبل بعيداً عن المرسل، تأخذ قيم شدة المجال منحى تصاعدياً. وهذا السلوك الذي تأخذه شدة المجال على مقربة من التضاريس غير المنتظمة، بوصفه دالة في المسافة إلى المرسل، شرحه أوت (Ott) [44] وتباً به قبل ذلك ويت (Wait) [59] بوصفه تداخلاً بناءً بين الأشعة المنعرجة المباشرة والأشعة المنعرجة التي تنتقل على السطح.

وبعد القيام بتحليل المثال، تم قياس الهبوط التالي في شدة المجال عند مسافة 109,5 km، وهو ناجم عن عائق ثانٍ أكثر انخفاضاً وليس عالياً جداً (الارتفاع $\lambda/4$)، حيث λ تساوي 221 m) ولكنه قريب جداً من موقع المستقبل. ويبدو أن المسافة القصيرة من العائق إلى موقع المستقبل تشكل معلماً غاية في التأثير. ويعتبر انحدار الجانب البعيد للمنطقة غير المنتظمة (باتجاه المستقبل) عاملاً محدداً لخسارة المسير، التي من المرجح جداً أن تحدث على مسافة قصيرة من المنطقة غير المنتظمة إلى المستقبل.

ويعتمد توهين شدة المجال الناجم عن العائق عقبة بارزة تعتمد بشكل رئيسي على معلمتين [67]:

- المسافة d بين العائق وموقع المستقبل؛

- ارتفاع العائق h فوق خط البصر بين المرسل والمستقبل.

وعند موقع محدد للمستقبل تكثر فيه العوائق، تتناقص شدة المجال بالنسبة إلى عوائق التضاريس المرتفعة والمسافات القصيرة بين العائق وموقع المستقبل. وفي هذا الصدد، لوحظت قيم توهين بارزة لعوائق يفوق ارتفاعها $\lambda/2$. وحين يوجد العائق على مقربة من المستقبل، فإن العوائق التي تقل عن $\lambda/2$ قد تسبب أيضاً انخفاضاً لا يستهان به في شدة المجال.

وتأخذ الخسارة الإضافية في شدة المجال الناجمة عن التضاريس الأرضية غير المنتظمة في نطاق الترددات المتوسطة (MF) منحى لوغاريتمياً موجباً مقابل ارتفاع العائق h ، ومنحى لوغاريتمياً سالباً مقابل المسافة d ، كما يظهر في المعادلة أدناه.

$$(44) \quad L_{Irr}(dB) = (-17.2 \cdot \log_{10}(d) + 25.1) \cdot (\log_{10}(2.84 \cdot h))$$

حيث:

 L_{Irr} : الخسارة الناجمة عن التضاريس الأرضية (dB) d : المسافة بين العائق والمستقبل (km) h : ارتفاع العائق فوق خط البصر بين المرسل والمستقبل (بعدد أطوال الموجات).

وينبغي طرح الخسارة الناجمة عن عدم انتظام التضاريس الأرضية من قيمة شدة المجال التي تم الحصول عليها بواسطة الطرائق الوارد شرحها في الأقسام السابقة. أما القيم التي تقل عن 1 في مضمون اللوغاريتم فينبغي أن لا تؤخذ في الاعتبار. وبالنسبة لقيم d التي تزيد على 25 km وارتفاعات العائق h التي تقل عن 2λ ، فيمكن تجاهل L_{Irr} .

وإذا احتوى المظهر الجانبي للمسير على العديد من حالات عدم الانتظام النموذجية (مقارنة بطول الموجة)، فينبغي أن لا تؤخذ في الاعتبار إلا أكبر قيمة للتوهين الناجم عن العائق الأكثر بروزاً. وهذا شبيه بالنهج الذي يتبعه عدد كبير من الطرائق البسيطة لحساب خسارة الانعراج الناجم عن تعدد الحواف، من قبيل: أبشتاين-بيترسون (Epstein-Peterson) وديغوت (Deygout) وبولنغتون (Bullington) وجيوفانيلي (Giovaneli).

15 التأثيرات المحلية في المناطق المبنية

حين تعترض الموجة السطحية منطقة مبنية، يطرأ تعديل على خصائص انتشارها من جراء وجود هياكل كبيرة تكون موصلة كهربائياً بشكل جزئي أو تعرقل الانتشار العادي. وهذه الهياكل، الكبيرة الحجم ولكن الصغيرة من الناحية الكهربائية قياساً بطول الموجة، تسبب انخفاضاً كبيراً في شدة المجال في الأماكن المحلية المحيطة. ولأغراض التخطيط، فإن حدوث تغيرات محلية يؤثر في نوعية الخدمة وبالتالي قد يحول دون تحقيق تغطية مرضية تتسم باستقبال جيد، ولا سيما بالنسبة لخدمات الإذاعة الرقمية حيث يحدث انتقال حاد من الخدمة الجيدة إلى غياب الإشارة. وبناء على ذلك، يعتبر توصيف هذه التغيرات المحلية أساسياً لمخططي الأنظمة من أجل الأخذ في الاعتبار الزيادة اللازمة في قدرة الإرسال للتغلب على مختلف حالات الضعف في الاستقبال.

وقد بينت القياسات التي جرت في الأماكن المفتوحة والساحات والشوارع العريضة داخل المدن أن الانحراف المعياري للمجال يتزايد بالتزامن مع انخفاض كبير قدره 5 dB تقريباً في متوسط سوية الإشارة (مقارنة مع المقاطعات الريفية على مسافة مماثلة من المرسل). ويكون الانحراف المعياري في مناطق مختلفة من المدينة غير متطابق - إذ يتراوح من 1,7 وحتى 5 dB، بمتوسط قدره $\sigma = 3,5$ dB.

1.15 القياسات في المناطق المكتظة بالمباني

لقد بينت قياسات الإشارات الواردة من مرسلات المناطق الريفية بجاهات المناطق الحضرية المكتظة بالمباني في ساحات المباني العالية حدوث انخفاض حاد في مستوى الإشارة عند 15-20 dB؛ ومع ذلك فهناك حالات غير كافية من هذا القبيل ولا يمكن الخروج باستنتاجات هامة. ومن الممكن فقط اعتبار أن الانحراف المعياري يصل إلى 6-8 dB على الأقل.

وتوضح الأشكال 30 إلى 33 التغير في شدة المجال في المناطق المبنية بالنسبة لأربعة ترددات، مقيساً على مسار عبر يمر في مدينة موسكو وضواحيها. في جميع هذه الحالات تتغير سوية الإشارة في المناطق الحضرية بطريقة فوضوية. فعند الترددات المنخفضة، يكون الانحراف المعياري للانتشار في سوية الإشارة بمقدار 3-4 dB. وعند الترددات المتوسطة الأعلى (MF)، في الشكلين 32 و33 حيث يتسم انتشار القياسات في المنطقة المبنية بخطوط متقطعة، يبلغ الانحراف المعياري 7-10 dB.

ويظهر الشكل 34 نتائج مماثلة تم الحصول عليها في مدينة ساو باولو [60].

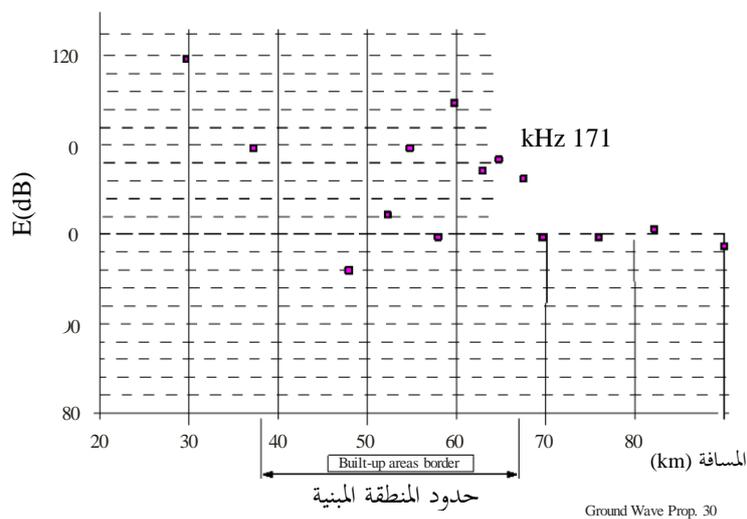
وتعتمد النسبة المئوية من المسافة المتأثرة بهذه الانخفاضات المحلية في الاستقبال المتنقل على بيئة الاستقبال إلى حد كبير، وبشكل رئيسي في المناطق الحضرية. وقد لوحظت نسب مئوية تتراوح من 10% (مدريد، إسبانيا) إلى 18% (دهلي، الهند) في الاستقبال في المناطق الحضرية. وقد تصل النسب المئوية للاستقبال المتنقل في المناطق الريفية إلى 3% أو أقل.

ويتطلب تحديد خصائص الانتشار في المناطق الحضرية تعيين الأسباب التي ينجم عنها تغيرات مكانية طويلة الأجل وقصيرة الأجل في شدة المجال وإجراء تقدير كمي لها. ولهذا الغرض، يجب أن يُحذف من التحليل تأثير المسافة إلى المرسل ومعالم المظهر الجانبي للارتفاع.

وقد جرى تحليل موسّع يستند إلى البيانات التي جمعت أثناء أربع حملات قياس مختلفة لتقييم النظام العالمي للراديو الرقمي (DRM) في حالة الاستقبال المتنقل [61]. وغطت حملات القياس هذه المدى الكامل لنطاق الترددات المتوسطة (MF) (666 و 810 و 1 060 و 1 260 kHz)، وأجريت في بيئات استقبال مختلفة: مكسيكو (المكسيك)، ونيو دلهي (الهند) ومدريد (إسبانيا). ولهذه المدن معالم حضرية مختلفة تماماً وتمثل أنواعاً مختلفة جديدة بالملاحظة من البيئات الحضرية. ومن أجل إجراء تحليل شامل تمثيلي للتأثيرات الحضرية، تم قياس وتحليل ما مجموعه 96 مساراً عشوائياً تغطي مجموعها أكثر من 500 km.

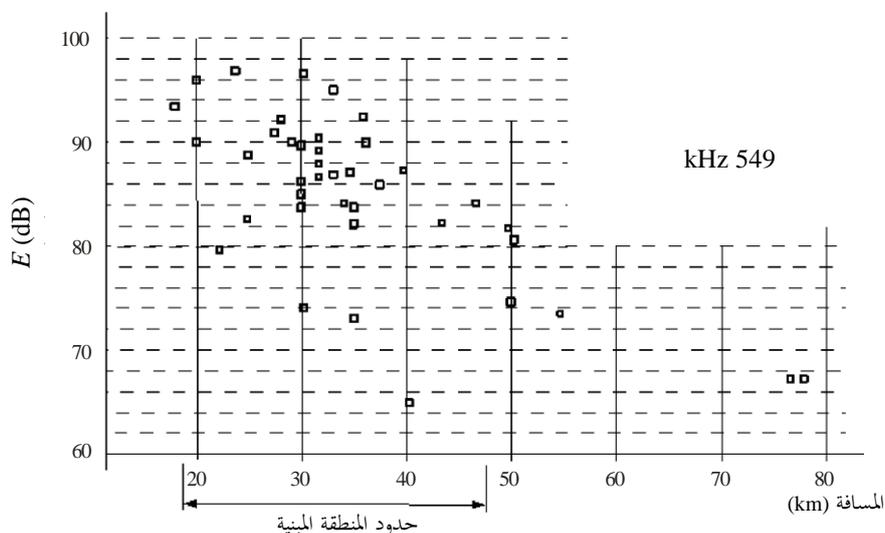
الشكل 30

التغير في شدة المجال في المناطق المبنية عند 171 kHz



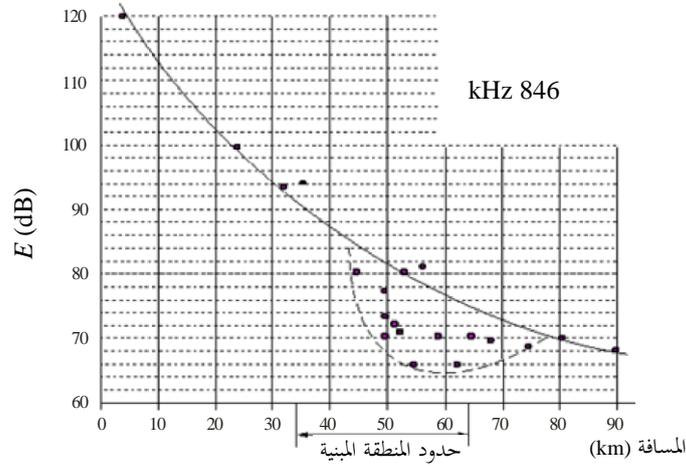
الشكل 31

التغير في شدة المجال في المناطق المبنية عند 549 kHz



الشكل 32

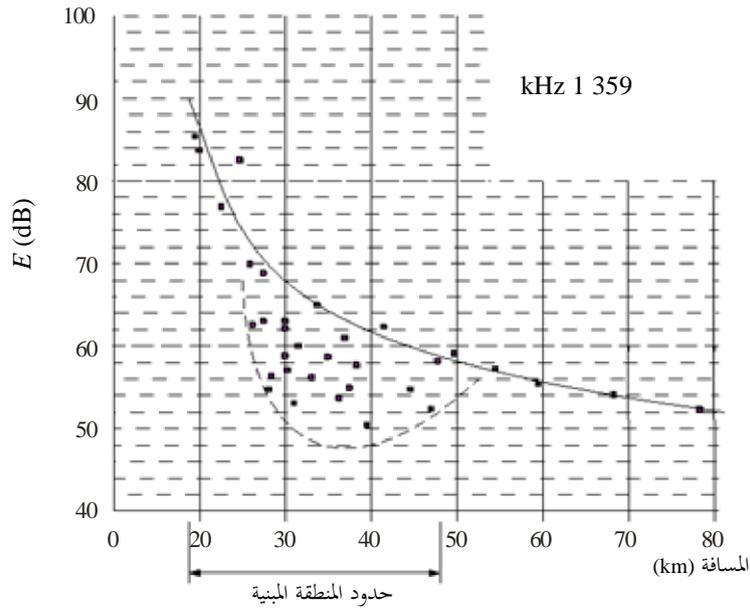
التغير في شدة المجال في المناطق المبنية عند 846 kHz



Ground Wave Prop. 32

الشكل 33

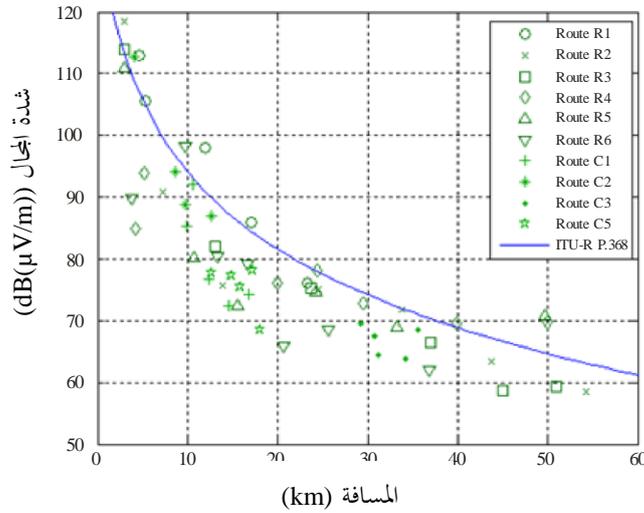
التغير في شدة المجال في المناطق المبنية عند 1359 kHz



Ground Wave Prop. 33

الشكل 34

القياسات عند 1210 kHz لمساراً في ساو باولو، مقارنة بالتنبؤ الوارد في التوصية ITU-R P.368

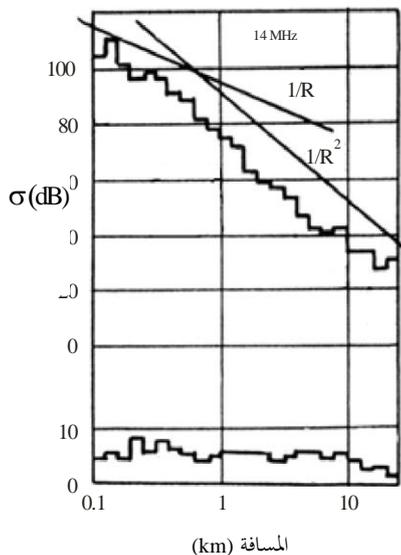


كما أجريت قياسات عند الترددات المرتفعة (HF) [42]، الأشكال من 35 إلى 38. وفي كل حالة من الحالات يُظهر الجزء العلوي تغييراً في شدة المجال مرتبطاً بالمسافة، بينما يظهر في أسفل كل شكل الانحراف المعياري للقياسات. ولسوء الحظ، لم تكن الخواص الاتجاهية للهوائي في معظم الحالات معروفة بدقة، وأجريت تصويبات الكسب على أساس القطع.

وعلى مسافات قصيرة تتراوح من 100 إلى 700 m، تكون التبعية للمسافة قريبة من معكوس المسافة الخطية، أما بالنسبة للمسافات التي تتراوح من 700 m إلى 10 km فإن التبعية تكون قريبة جداً من قانون التربيع العكسي؛ ولدى الاقتراب من حدود المدينة (10-24 km من المرسل) تصبح التبعية مجدداً أكثر تسطحاً.

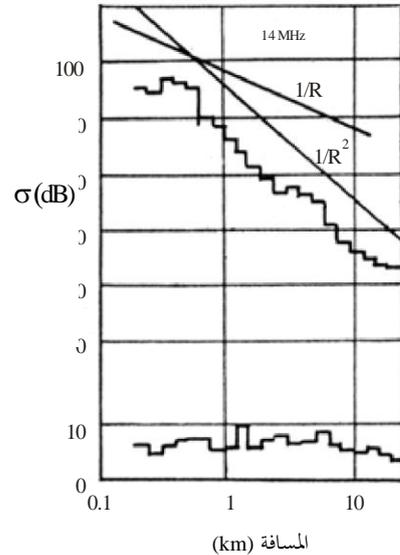
الشكل 35

التغير في شدة المجال مع المسافة لدى الاقتراب من المدينة، 14 MHz



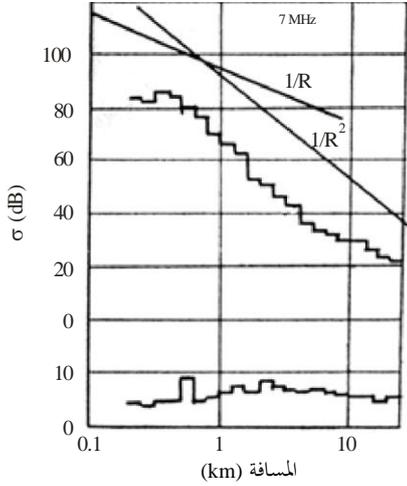
الشكل 36

التغير في شدة المجال مع المسافة لدى الاقتراب من المدينة، 14 MHz



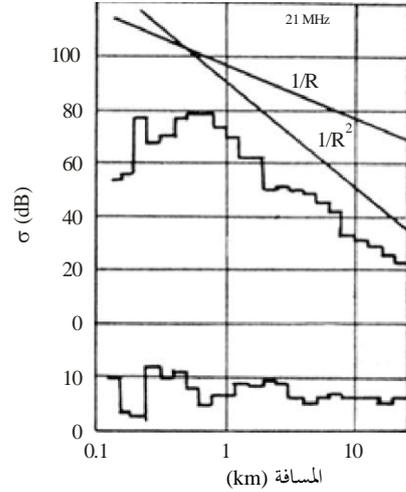
الشكل 37

التغير في شدة المجال مع المسافة
لدى الاقتراب من المدينة، 7 MHz



الشكل 38

التغير في شدة المجال مع المسافة
لدى الاقتراب من المدينة، 21 MHz



Ground Wave Prop. 37

2.15 تأثير تردد الإرسال في البيئات الحضرية

بالرغم من التأكيد على أهمية تردد الإرسال في تغير شدة المجال في استقبال الخدمات الإذاعية في المناطق الحضرية، لم يكن هناك توصيف تجريبي لهذه القضية [62]. وتُظهر الأشكال 28 و 30 إلى 33 الفرق بالديسيبل بين القيم المتوسطة لشدة المجال المسجلة في ظرف الإرسال والاستقبال نفسها. فمثلاً، بالنسبة لترددين مختلفين للإرسال (810 kHz و 1260 kHz) في جميع الحالات، كانت قيم شدة المجال عند 810 kHz أعلى من تلك المسجلة عند 1260 kHz في كل موقع من مواقع الاستقبال.

وأظهرت الحسابات أن الاختلافات تتراوح بين 6 و 28 dB، ومعظمها بين 6 و 16 dB، رهناً بالمعالم الحضرية المحددة للمناطق المقيسة. أما الحالات التي كانت فيها الاختلافات أكبر من 20 dB فتقابل المواقع ذات المباني الشاهقة.

3.15 التغير الواسع النطاق في شدة المجال

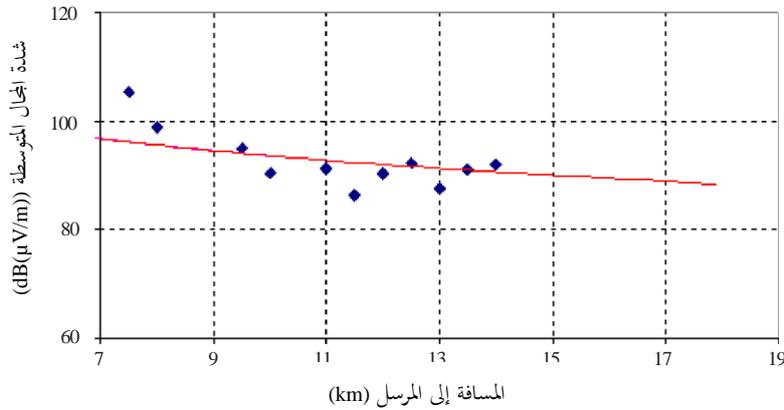
تعزى التغيرات في المكونة المكانية الطويلة الأجل إلى عوامل حضرية تتسم بأبعاد بنفس رتبة القيمة المثلى لنافذة حساب المتوسطة $2L$ ، التي تعطيها طريقة لي المعممة. ووفقاً للنتائج الواردة في القسم السابق، فإن طول نافذة حساب المتوسط في الاستقبال الحضري يقابل طول الموجة في نطاق الإذاعة بالموجات الهكثومترية (MF) الذي يتراوح من 221 m (1359 kHz) إلى 370 m (810 kHz).

وقد تبين أن السبب الرئيسي للتغير الواسع النطاق هو تغير عرض الشوارع أثناء استقبال الإشارة [63]، [64]. وبهدف التحديد الكمي لخسارة شدة المجال الناجمة عن الاستقبال الحضري، أعدت عملية مؤلفة من ثلاث خطوات. فتم أولاً تصنيف نتائج التجارب الميدانية وفقاً لعرض الشوارع، وتقدير القيم المتوسطة المحلية. وثانياً، قورنت القيم المتوسطة المحلية بمنحنيات الانتشار الواردة في التوصية ITU-R P.368. وأخيراً، جرى تقدير الخسارة الإضافية الناتجة عن الاستقبال في الشوارع الضيقة.

وتم اختبار الشوارع الواسعة التي تضم أكثر من ثمانية مسارب كمرجع من أجل التحديد الكمي لحالات التغير الطويل الأجل. ويُظهر الشكل 39 القيم المتوسطة المحلية المقدرة استناداً إلى نتائج القياس في تجارب مدينة مدريد الميدانية عند 1260 kHz. وكما يمكن أن يلاحظ، فإن قيم شدة المجال في هذا السيناريو قريبة من تلك المقدرة وفقاً لمنحنيات انتشار الموجة الأرضية الواردة في التوصية ITU-R P.368.

الشكل 39

القيم المتوسطة المحلية لشدة المجال مقارنة بالمنحنيات الواردة في التوصية ITU-R P.368.



Ground Wave Prop. 39

وجرى تقدير الخسارة الإضافية في المكونة الطويلة الأجل الناجمة عن الاستقبال في الشوارع الضيقة. ويُظهر الجدول 4 الاختلافات المتوسطة بين سيناريو الاستقبال المرجعي (الشوارع الواسعة التي تضم أكثر من ثمانية مسارب) والشوارع الضيقة. وارتبطت قيم الخسارة الإضافية بدرجة عدم التجانس السائدة في البيئة الحضرية، من ناحية، وإلى تردد الإرسال من ناحية أخرى. وكما قد يلاحظ، فإن مدينة مدريد التي تتسم بالبيئة ذات القدر الأكبر من عدم التجانس أظهرت أعلى قيم للخسارة، حيث بلغ التأثير عند التردد 1 260 kHz ضعف ما هو عليه تقريباً عند التردد 810 kHz.

الجدول 4

التغير المكاني في سيناريوهات استقبال مختلفة بالنسبة لمنحنيات انتشار الموجة الأرضية الواردة في التوصية ITU-R P.368

الشوارع الضيقة MED ± STD DEV (dB)	الشوارع متوسطة الحجم MED ± STD DEV (dB)	المدينة - التردد (kHz)
غير محدد	1 ± 4	دلهي - 666
6 ± 12	4 ± 6	مدريد - 810
5 ± 9	3 ± 3	مكسيكو، المكسيك - 1060
8 ± 19	6 ± 11	مدريد - 1260
لا ينطبق	لا ينطبق	مدريد - 1359

16 التغير المكاني الصغير النطاق لشدة المجال

قد يؤدي وجود خطوط الطاقة أو المباني الكبيرة أو الإنشاءات المعدنية إلى زيادة شدة المجال مقارنة بتلك الموجودة في المنطقة المفتوحة وذلك بمقدار يصل إلى 10 dB، أو د يؤدي في حالات نادرة إلى خفضها بمقدار 15 إلى 20 dB؛ ومن الممكن شرح هذا الغموض باعتماد متغيرات مختلفة للترتيب المتبادل للمرسل والإنشاءات المعدنية وموقع قياس المجال.

ويُظهر الجدول 5 القيم المتوسطة التجريبية لعمق الخبو الذي يحدث من حين إلى آخر بسبب وجود هياكل كبيرة على مقربة من المستقبل. وقد أجريت القياسات باستعمال هوائي ذي مجال كهربائي عمودي. وتبين أن المسافة التي تحدث فيها تغيرات في شدة المجال تمثل خبواً مكانياً، أي أن المسافة فوق استقبال متنقل قد تأثرت إذا ما شوهدت من مركبة متنقلة وبدت كخبو زمني.

الجدول 5

عمق الخبو وطول الخبو للتغيرات في شدة المجال

الهيكل	العرض (m)	عمق الخبو (dB)
طريق سريعة أو محول علوي	24-18	23,1
	16-14	12,6
	12-10	9,8
	9-6	8,3
	جميعها	9,1 (قيمة متوسطة)
جسر المشاة	3-2	6,5
جسر اللافتات	-	5,1

17 الانتشار داخل المباني

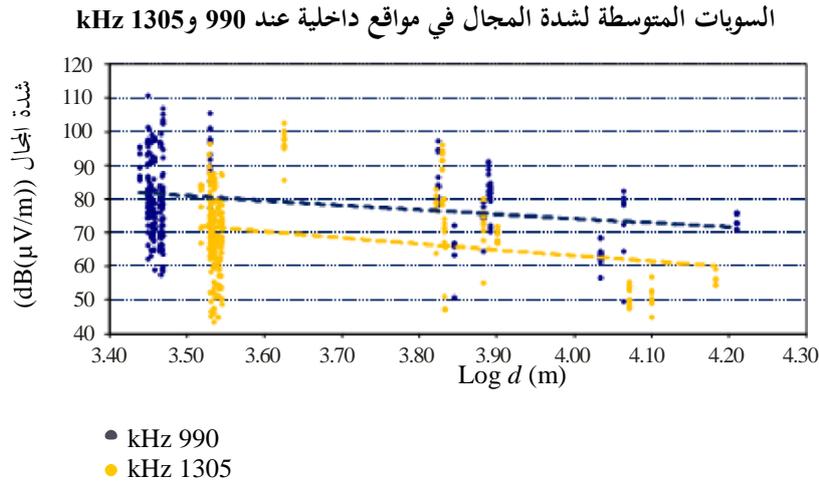
لتوهين الإشارات الراديوية المنتشرة عبر المباني وفي داخلها تأثير هام على أداء الأنظمة الراديوية. وتتم في الغالب نمذجة الخسارة الناجمة عن اختراق المباني من أجل حساب التوهين الإضافي لسويات الإشارة الخارجية. كما أنه من الضروري تحديد خصائص التغير المكاني للإشارات الداخلية بغية التحديد الكمي لتغيرات الإشارة حول قيمتها المتوسطة.

وقد تم تحديد خصائص استقبال الإشارة الراديوية داخل المباني أثناء النهار عند الترددات المتوسطة (MF) بالاستناد إلى قاعدة بيانات كبيرة للمواقع الداخلية في مدن تقع في شمالي إسبانيا عند ستة ترددات مختلفة (612 و 639 و 990 و 1 197 و 1 305 و 1 602 kHz) [65]. وقد أجريت قياسات داخلية في 21 مبنى وبلغ العدد الإجمالي للمواقع 360. ومن أجل التحديد الكمي للخسارة الناجمة عن اختراق المباني، أجريت في كل طابق 110 عملية قياس خارجية حول اثنين من المباني.

واستندت الاختبارات الميدانية إلى القياسات التي تناولت عمليات الإرسال التجارية ذات التشكيل الاتساعي (AM). ومع ذلك، ينبغي أن تكون النتائج قابلة للتطبيق مباشرة على الأنظمة الرقمية لأن قنوات الضوضاء الغوسية البيضاء المضافة (AWGN) قد أخذت في الاعتبار في حالة انتشار الموجات الأرضية عند الترددات المتوسطة (MF) أثناء النهار دون تشتت زمني أو تشتت ترددي، ولذلك يتوقع أن تكون القناة مسطحة.

وكما هو الحال في الكثير من برامج القياس الأخرى التي تنفذ في بيئات داخلية عند نطاق ترددات أعلى، لوحظ حدوث تغير مكاني كبير في مواقع داخلية تبعد عن بعضها بضعة أمتار. ويُظهر الشكل 40، كمثال توضيحي، السويات المتوسطة لشدة المجال التي تم الحصول عليها في العديد من المواقع الداخلية في مبان مختلفة كدالة في المسافة عند الترددين 990 kHz و 1 305 kHz.

الشكل 40



Ground Wave Prop. 40

ولوحظ أن الاختلافات في التغير المكاني كبيرة حيث تصل الفروقات بين الموقع ذي القيمة الأدنى لشدة المجال والموقع ذي القيمة الأعلى داخل المبنى نفسه إلى 50 dB. وفي الحقيقة، لوحظ أن السوية المتوسطة لشدة المجال في الداخل عند الترددات المتوسطة (MF) تتبع نظام التوزيع اللوغاريتمي العادي مع انحراف معياري مرتفع قدره $\sigma = 11,8$ dB.

كما لوحظ أن سوية شدة المجال في الداخل تتناقص مع المسافة إلى المرسل ومع تردد الإرسال. ومع ذلك، يمكن تجاهل التغير الزمني لأن الانحرافات المعيارية الزمنية تكون أصغر من 1 dB.

ومن أجل التحديد الكمي للخسارة الناجمة عن اختراق المباني عند الترددات المتوسطة (MF)، تم حساب الفرق بين القيمة المتوسطة لشدة المجال في مواقع خارج محيط مبنى ما والقيمة المتوسطة لشدة المجال في جميع المواقع داخل المبنى عند نفس الارتفاع، وذلك لكل طابق من طوابق مبنين في شمال إسبانيا.

كما أجريت قياسات في مدينة موسكو، داخل المباني في المدخل وفي المصعد. وقد أظهرت هذه انخفاضاً إضافياً في الإشارة تراوح من 8 إلى 20 dB، ووصل في المقصورات المعدنية للمصاعد إلى 40 dB [67].

وبما أن التغيرات المكانية الخارجية والداخلية كبيرة جداً، فقد وجدت فروقات كبيرة في الخسائر الناجمة عن اختراق المباني في طوابق مختلفة وعند ترددات مختلفة، دون أن يكون لهذه الفروقات منحنى واضح. ولدى حساب متوسط الخسارة الناجمة عن اختراق المباني (في كل طابق وعند كل تردد) التي خضعت للتحليل في مدينة مدريد، تم الحصول على القيمتين 5,9 dB و 7,5 dB على التوالي، وعليه اقترحت القيمة المتوسطة البالغة 6,7 dB لتحديد الخسارة الناتجة عن اختراق المباني عند الترددات المتوسطة (MF).

ويمكن التنبؤ بسويات الإشارة داخل المباني عن طريق طرح الخسارة الناتجة عن اختراق المباني من القيم المتنبأ بها لشدة المجال في الخارج. ومع ذلك، يجري حالياً اقتراح نموذج تنبؤ بديل بهدف اعتماده كمرجع لسويات شدة المجال المقترحة في التوصية ITU-R P.368 بشأن انتشار الموجة الأرضية في الأماكن الخالية من العوائق.

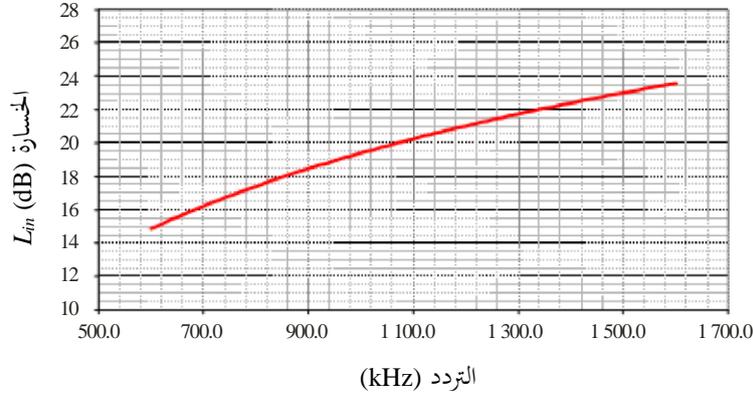
وتم في كل موقع حساب الخسائر الداخلية التي تضاف إلى تلك التي ترد في منحنيات انتشار الموجة الأرضية في التوصية ITU-R P.368، وطبقت الارتدادات الخطية للتنبؤ بالخسارة في الداخل كدالة في التردد عند الترددات المتوسطة (MW) [66]:

$$(45) \quad L_{indoor}(dB) = -42.1 + 20.5 \cdot \log(f(kHz))$$

أما الخسائر L_{indoor} المتعلقة بمنحنيات انتشار الموجة الأرضية الواردة في التوصية ITU-R P.368 فتتفاوت من حوالي 15 dB عند 600 kHz إلى 24 dB عند 1 600 kHz، كما تم حسابها من صيغة التنبؤ أعلاه وإظهارها بيانياً في الشكل 41.

الشكل 41

الخسارة في الداخل المتعلقة بمنحنيات الموجة الأرضية
الواردة في التوصية ITU-R P.368



Ground Wave Prop. 41

وللتحقق من صحة معادلة التنبؤ بالخسارة L_{in} ، طبقت على بعض قياسات الإشارة في النظام العالمي للراديو الرقمي (DRM) التي أخذت في سبعة مبانٍ في مدينة مدريد، وتم الحصول على متوسط خطأ ضئيل في التنبؤ قدره 1,2 dB.

وتبعاً لذلك، يوصى بالتنبؤ بالقيمة المتوسطة لشدة المجال في الداخل التي يتم تجاوزها في نسبة 50 في المائة من المواقع وتطرح منها قيمة الخسارة L_{in} المقابلة لشدة المجال المبلغ عنها في التوصية ITU-R P.368 على النحو الآتي:

$$(46) \quad E_{indoor} (dB\mu V / m) = E_{ITU-R P.368} (dB\mu V / m) + 42.1 - 20.5 \cdot \log(f (kHz))$$

بعد ذلك، ينبغي تطبيق التوزيع اللوغاريتمي العادي بانحراف معياري قدره $\sigma = 11,8$ dB، من أجل حساب القيمة المتوسطة لسويات شدة المجال في الداخل التي يتم تجاوزها في نسب مئوية أخرى من المواقع.

القسم 5

18 طرائق القياس

1.18 مقياس شدة المجال

تم النظر في تقنيات قياس شدة المجال في التوصية ITU-R SM.378. وبحث بتفصيل أكبر في كتيب الاتحاد الدولي للاتصالات بشأن مراقبة الطيف. وتشير التوصية إلى أن أي قياس فردي يكون عرضة لنوع من الغموض، مع خطأ في دقة القياس قدره ± 2 dB.

وبما أن قياسات شدة المجال المغنطيسي تكون أكثر دقة في البيئات المضطربة، فمن الأفضل إجراء القياسات باستعمال هوائي حلقي (انظر الفقرة 12). وعادة تكون الأجهزة التجارية المستخدمة لهذا الغرض معايرة لتحويل شدة المجال المغنطيسي إلى شدة مجال كهربائي.

وتستثنى من ذلك الحالة التي تجرى القياسات فيها لتقييم الأداء في بيئات أنظمة الاستقبال التي تكثر فيها العوائق وتستخدم هوائيات المجال الكهربائي، مثل أجهزة راديو السيارات.

ولتمثيل تلك البيئة، لا بد من توخي الحذر في اختيار أفضل موقع للقياس يكون قدر المستطاع خالياً من الأشجار والنباتات والهياكل العمودية الموصلة للكهرباء والمباني والأسلاك الهوائية. ويمكن مجابهة التغيرات الصغيرة النطاق لشدة المجال من خلال إجراء العديد من القياسات في الجوار واختيار القيمة المتوسطة لها.

وعند استخدام جهاز قياس محمول ذي هوائي حلقي، قد تتمثل الطريقة الأكثر فعالية في إدارة الحلقة حتى إيجاد نقطة صفرية ومن ثم إدارة الهوائي 90 درجة للحصول على القراءة القصوى. وينبغي السعي للحصول على الحد الأقصى للنسبة الدنيا البالغة 20 dB على الأقل، علماً بأن وجود نقطة صفرية أكثر ضعفاً يحوّل إلى وجود مشكلة معينة في ذلك الموقع. ويمكن في المواقع المؤاتية جداً تحقيق نسبة قدرها 40 dB في بعض الأحيان.

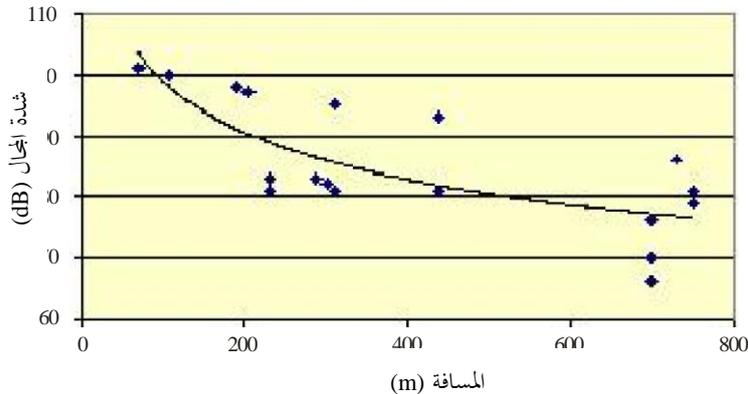
2.18 قياس القدرة المشعة

يمكن قياس شدة المجال عند مسافات تتجاوز المدى التي تكون فيه تأثيرات المجال ذات أهمية، على بعد 1 km تقريباً من هوائي الإرسال. ونظراً لصعوبة العثور على مواقع جيدة للقياس في المناطق المبنية، ينبغي إجراء عدد من القياسات وإيجاد القيمة المتوسطة لها. وإذا كانت هذه المواقع على مسافات مختلفة من المرسل، فينبغي تصحيح القياس وفقاً لعلاقة شدة المجال بدلالة معكوس المسافة. ومن ثم ينبغي مقارنة القياس المتوسط مع القيمة البالغة 109,5 dB ($1 \mu\text{V/m}$) على مسافة 1 km (أي 300 mV/m عند 1 km) وهي القيمة المقابلة لقدرة مشعة فعالة في هوائي رأسي قصير (في اتجاه معين) قدرها 1 kW.

وفي المناطق المكتظة بالمباني، يكون تأثير الحجب الناجم عن المباني المجاورة كبيراً إلى حد ما. ويعتبر الشكل 42 مثلاً على هذه القياسات عند 200 kHz، حيث يكون موقع هوائي الإرسال بين مبنين عاليين. ولهذا القياسات انحراف معياري قدره 6,6 dB [67].

الشكل 42

مثال على القياسات على مقربة من مرسل في منطقة مكتظة بالمباني



Ground Wave Prop. 42

3.18 قياس التوصيلية الفعالة للأرض

1.3.18 طريقة التوهين

بعد تحديد القدرة المشعة، يمكن إجراء القياسات على مسافات متزايدة من المرسل. وبعد ذلك ينبغي معايرة هذه القياسات مع قيمة $emrp$ البالغة 1 kW، ومقارنة المنحنى الذي تأخذه النتائج بالمنحنيات الواردة في التوصية ITU-R P.368 (أو بالبرنامج GRWAVE) لإيجاد التوصيلية الفعالة. وفي حال وجود انقطاع واضح في المنحنى، يمكن تطبيق طريقة ملنغتون.

وبما أن القياسات تخضع لتغيرات محلية، وأن الانتشار يعتمد على جيولوجية باطن الأرض، فإنه من الصعب تطبيق هذه التقنية لتحديد التغيرات الصغيرة النطاق في التوصيلية الفعالة.

ويصف ديمنكو وزملاؤه [68] طريقة بشأن كيفية استخدام القياسات المتعلقة بانتشار موجة نورتون السطحية بين هوائيين أحادي القطب لتحديد ثابتي تربة الأرض عند موقع القياس. يتضمن التقرير معادلات مبسطة لموجة نورتون السطحية. أما الهوائيات فهي أحاديات قطب تُركب على سطح على الأرض تقع عليه مباشرة جميع تجمعات الهوائيات بحيث لا تطلق سوى الموجة السطحية. ولتحديد سماحية العازل والتوصيلية أجريت القياسات في أحد مواقع الاختبار فوق نطاق من الترددات يتراوح من 30 إلى 915 MHz.

2.3.18 طريقة معامل الانعكاس

في تقرير آخر يصف ديمنكو [69] طريقة تتعلق بكيفية استخدام معامل الانعكاس المقيس والتحليل المتعدد الطبقات لتحديد ثابتي الأرض في تربة متعددة الطبقات. وقد أدرجت البيانات المقيسة في كلا التقريرين. ويظهر التقريران معادلات ورسوم بيانية تتعلق بعمق اختراق المجال الكهربائي للتربة وتأثيراته على انتشار الموجة الأرضية.

كما يرد في هذا التقرير مناقشة لحساسية خسارة الانتشار تجاه توصيلية الأرض وثابت العزل الكهربائي. وفي إطار التحليل، أجريت دراسة باستخدام نموذج المجال غير المضطرب لنظام النقل الذكي (ITS) [27] من أجل تحديد حساسية خسارة الانتشار تجاه التغير في التوصيلية والسماحية النسبية. وتم ضبط علو هوائي المرسل والمستقبل على الصفر. وتراوحت المسافات المستعملة في التحليل والقياس من مترين إلى 250 m وغطت نطاق تردد من 30 إلى 915 MHz. وعند هذه المسافات القصيرة ومدى التردد هذا يظل هناك موجة سطحية بارزة حتى عند التردد 915 MHz. وتقرر أنه بالنسبة للتوصيلية المنخفضة فإن قيمة الخسارة تعتمد بشكل كبير على قيمة السماحية النسبية، في حين أن الخسارة بالنسبة للتوصيلية العالية تعتمد على السماحية النسبية بشكل أقل ولا سيما للترددات التي تقل عن 150 MHz. ويبدو أن الخسارة تعتمد أيضاً على التوصيلية عند ترددات تقل عن 150 MHz تقريباً. أما عند الترددات التي تزيد على 150 MHz، فإن اعتماد خسارة الانتشار على التوصيلية يصبح ذا قيمة لا تذكر، بينما يكون الاعتماد على السماحية النسبية كبيراً.

3.3.18 طريقة قياس ميل الموجة

تعتمد طريقة قياس ميل الموجة، الصعبة التطبيق عملياً، على قياس زاوية الميل الأمامية، α ، للمحور الرئيسي لمتجه المجال الكهربائي، والنسبة، a ، بين المحور الكبير للإهليلج ومحوره الصغير، وذلك باعتماد هوائي قضيب مركب بشكل مناسب. وقد وصف هذه الطريقة إيتون (Eaton) [70]، وأشار إلى أنها تحتاج إلى قياسات دقيقة وتضاريس منتظمة ومسطحة للغاية.

19 طور الموجة السطحية [71]

1.19 مقدمة

يعتبر ثبات طور الموجة السطحية مهماً بالنسبة لبعض أنظمة الملاحة الراديوية.

ومن السهل تعريف طور الموجة الأرضية، Φ ، بوصفه مجموع الطور الأولي والطور الثانوي، Φ_s . وعند المسافة، d ، من المرسل، يمكن التعبير عن طور الموجة الأرضية بما يلي:

$$\Phi = nkd + \Phi_s$$

حيث n ترمز إلى القيمة السطحية لمؤشر انكسار الغلاف الجوي و $k = 2\pi/\lambda$ ، حيث λ تمثل طول الموجة في الفضاء الحر. وفي هذه المعادلة يعبر عن الطور الثانوي Φ_s بوحدات الراديان.

ولكن في معظم التطبيقات يعبر عن الطور الثانوي بوصفه مهلة تأخر الطور بالميكروثانية وفقاً للعلاقة:

$$t_s = \frac{\Phi_s \lambda}{2\pi \cdot 300} = \frac{\Phi_s \cdot 10^6}{2\pi f_{\text{Hz}}}$$

حيث:

t_s : مهلة تأخر الطور الثانوي (μs)

Φ_s : الطور الثانوي (rad)

λ : طول الموجة (m)

f_{Hz} : التردد (Hz).

2.19 الأرض المتجانسة المنتظمة

تمثل نظرية انتشار الموجة الأرضية فوق أرض متجانسة منتظمة [72] نقطة الانطلاق الأساسية لحساب الطور الثانوي باستخدام طرائق مطابقة لتلك المستخدمة في حساب اتساع الموجة الأرضية. ومن أجل توسيع نطاق هذه الطريقة الأساسية لتشمل حالات أكثر عمومية، من المفيد أن تصاغ العمليات الحسابية بدلالة المعاوقة السطحية العامة [73].

3.19 اضطرابات الطور الثانوي

عند ترددات تقل عن حوالي 3 MHz، يمكن استخدام نظرية الأرض المتجانسة المنتظمة من أجل حساب طور الموجة الأرضية فوق مسيرات بحرية بما في ذلك المسيرات ذات الموجات الكبيرة، وذلك بدرجة الدقة التي تتطلبها أنظمة الملاحة. أما على المسيرات البرية فيطراً تعديل على الطور الثانوي من جراء التغيرات في الخصائص الكهربائية على امتداد المسير، وعدم انتظام التضاريس والطبقات تحت السطحية [74]. وقد وضعت طرائق مختلفة للتنبؤ بالاضطرابات التي يتعرض لها الطور الثانوي نتيجة لهذه العوامل [75].

4.19 المسيرات غير المتجانسة

حين تتغير الخصائص الكهربائية أو المعاوقة السطحية على امتداد المسير (مثلاً، عند الحدود بين البر والبحر)، يتوافق ذلك تغير مفاجئ في من اتساع الموجة الأرضية وطورها. في هذه الحالة يمكن حساب الطور باعتماد طريقة ملنغتون-بريسي (Millington-Pressey) [76]. تشبه هذه الطريقة تماماً طريقة ملنغتون المعنية بحساب اتساع الموجة الأرضية فوق مسيرات غير متجانسة. ويمكن حساب طور إشارة الموجة الأرضية فوق مسير مؤلف من قسمين باعتماد طريقة ملنغتون إذا استعويض عن الاتساعات في الصيغ بالأطوار المقابلة للأرض المتجانسة.

وحيث تكون الخصائص الكهربائية للأرض مختلفة بحسب الاتجاهات، ينحني صدر الموجة إلى الأمام باتجاه المنطقة ذات التوصيلية الأقل. وقد يلحق ذلك ضرراً بأنظمة تحديد الاتجاه.

5.19 عدم انتظام التضاريس الأرضية

في حال وجود عدم انتظام حاد في التضاريس الأرضية، فإن الكفاءة تقتضي استخدام طريقة المعادلة التكاملية من أجل حساب طور الموجة الأرضية وتوفير الدقة المرجوة للتطبيقات الملاحية.

ويُظهر الشكل 43 مقارنة بين الطرائق الحسائية والقياسات التجريبية [59]. يعبر المسير الظاهر كلاً من وادي الموت (Death Valley) في كاليفورنيا الذي ينخفض $m 100$ عن مستوى سطح البحر وسلسلة جبال سييرا نيفادا. وتظهر النقاط المقيسة بواسطة الرمز (I). وقد تم حساب الخط المتصل باعتماد طريقة المعادلة التكاملية، في حين تم حساب الخط المنقط باستخدام طريقة ملنغتون-بريسي ونموذج المعاوقة الفعالة للأرض المنتظمة ذات الطبقتين.

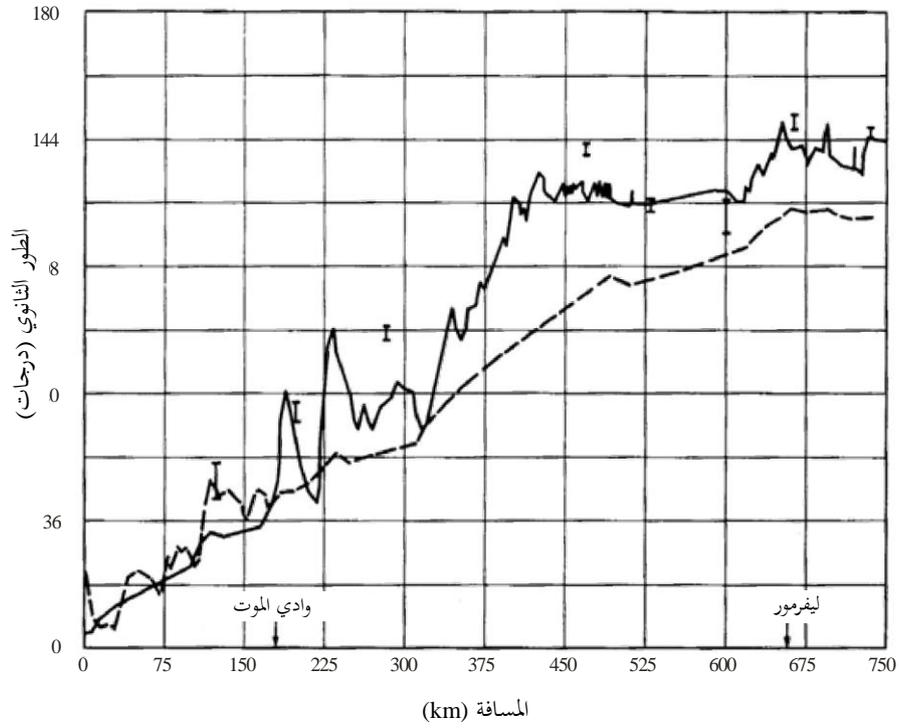
وعند التردد 100 kHz ، يكون الطور الثانوي البالغ 36 درجة مقابلاً لتأخير قدره $1 \mu\text{s}$ (انظر الفقرة 1.19 أعلاه).

6.19 تأثيرات الأرصاد الجوية

أظهرت الاستقصاءات العديدة التي أجريت بشأن استقرار إشارات النظام Loran-C تغيرات في الطور تقابل تغيرات في وقت الوصول تصل إلى $\pm 0,5 \mu\text{s}$ [77]، [78]. وتتسم هذه التغيرات بخصائص نهارية طويلة الأجل وتترابط مع التغيرات في تدرج الحد المتعلق بالجفاف في دليل انكسار الغلاف الجوي. أما التغيرات الطويلة الأجل فتربط بمرور كتلة هوائية باردة في مسير القياس.

الشكل 43

مقارنة الطور المقيس والطور المحسوب لنظام Loran-C
في الساحل الغربي للولايات المتحدة الأمريكية



الملحق 1

طريقة لي (Lee) المعممة

طريقة لي (Lee) [79]، [80] هي تقنية مرجعية لتحديد القيم المتوسطة المحلية للمكونة الطويلة الأجل في تغير الإشارة. ويرد وصف لهذه التقنية في التوصية ITU-R SM.1708 وكذلك في تقرير المؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات (CEPT) [81].

ويجري تقدير القيم المتوسطة المحلية بتطبيق متوسط متعاقب على مجموعة من القياسات الآنية لشدة المجال، $r(x)$. وتحقيقاً لذلك، يتوجب تحديد القيم المناسبة لثلاث معلمات مختلفة:

- نافذة حساب المتوسط $2L$ أو المسافة التي ينبغي أخذها في الاعتبار حول النقطة x (النقطة التي يجري فيها حساب القيمة المتوسطة لشدة المجال)؛
 - العدد الأدنى من العينات المستقلة N ضمن كل مسافة فاصلة $2L$ واللازمة لحساب المتوسط المحلي بمستوى معين من اليقين؛
 - المسافة الدنيا d بين العينات المتتالية، التي تضمن أن العينات ليست مترابطة.
- ويجري تقييم القيم المتوسطة المحلية عن طريق إيجاد المتوسط لأقل عدد N من العينات غير المترابطة ضمن نافذة حساب المتوسط $2L$ ، حيث ترمز d إلى المسافة بين العينات المتتالية.
- وقد قام لي [79]، [80]، [82]، ولاحقاً بارسنز (Parsons) [83]، بحساب القيم المناسبة لهذه المعلمات على أساس نظري في الحالة المحددة لقناة رايلي للانتشار على نطاق الترددات الفائقة العلو (UHF) (مع التطرق بالتحديد أحياناً لنطاق الترددات العالية جدا [80] (VHF)). ومع ذلك، لا يمكن تعميم القيم التي تم الحصول عليها ولا طريقة حسابها على ظروف استقبال أخرى.
- وقد جرى تعريف طريقة لي المعممة [84] من أجل تحديد قيم هذه المعلمات في أي ظرف من ظروف الاستقبال (نطاق التردد، وبيئة الاستقبال، وعوامل الانتشار). ويرد تلخيص لهذه الطريقة في الشكل ألف 1.

الشكل ألف 1

ملخص لطريقة لي المعممة

$r(x) = m(x) \cdot r_0(x)$

(القيم المتوسطة المحلية المقدرة لقيم شدة المجال الآنية r_i)

متوسط متعاقب

$$2L_1 \Rightarrow \bar{r}_1 = \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{N_1} \Rightarrow \bar{r}_{1\ norm} = \frac{\bar{r}_1}{\sum_{i=1}^N \frac{r_i}{N_1}} \Rightarrow 1\sigma_{\bar{r}_1} Spread = 20 \log \frac{(1 + \sigma_{\bar{r}_1\ norm})}{(1 - \sigma_{\bar{r}_1\ norm})}$$

$(\sigma_{\bar{r}_1\ norm})$
حسبت باستخدام جميع مسارات قاعدة البيانات

$$2L_n \Rightarrow \bar{r}_n = \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{N_n} \Rightarrow \bar{r}_{n\ norm} = \frac{\bar{r}_n}{\sum_{i=1}^N \frac{r_i}{N_n}} \Rightarrow 1\sigma_{\bar{r}_n} Spread = 20 \log \frac{(1 + \sigma_{\bar{r}_n\ norm})}{(1 - \sigma_{\bar{r}_n\ norm})}$$

انتشار $1\sigma_{\bar{r}_i}$

القيمة المثلى $2L_{opt}$

$P(m - 1.65 \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} \leq \bar{r} \leq m + 1.65 \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}}) = 90\%$

$20 \log \left(m + 1.65 \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} \right) - 20 \log \left(m - 1.65 \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} \right) \leq 2\ dB \Rightarrow$

تقدير القيم التحريية ل m و σ_r وتقدير N لكل مسار \Rightarrow تختار قيمة N الأكثر تكراراً

d معيار عينات شدة المجال \Rightarrow تقدير النقطة الصفرية الأولى لمعامل الترابط الذاتي

التحقق من تقارب قيم d (المعيار الصائبة في) \Rightarrow القيمة الصحيحة ل d (الخطوة 1)

Ground Wave Prop. A1

قيم معاملات الطريقة لنطاق الترددات المتوسطة

يتطلب تطبيق طريقة لي المعممة اختيار قيم المعلمات الوارد ذكرها أعلاه ($2L$ و N و d) والملائمة لنطاق التردد وبيئة الاستقبال قيد الدراسة. ومن خلال مجموعة من حملات القياس [85]، [86]، تم الحصول على قيم تلك المعلمات في حالة الإشارات المستقبلية في نطاق الترددات المتوسطة (MF) [72]، [87]، [88]، [89]. ويتضمن الجدول ألف 1 موجزاً للنتائج التي تم الحصول عليها في ثلاثة أنواع مختلفة من البيئة: الريفية والحضرية وشبه الحضرية.

الجدول ألف 1

القيم المرجعية لمعاملات طريقة لي (Lee) المعممة
لنطاق التردد المتوسط وبيئات استقبال مختلفة

المعلمة	بيئة الاستقبال		
	حضرية	شبه حضرية	ريفية
$2L$	λ	$2,1\lambda - 0,9\lambda$	$2,1\lambda - 0,9\lambda$
d	$0,05\lambda$	$0,16\lambda - 0,14\lambda$	$0,17\lambda$
$N^{(1)}$	20	11	8

الملاحظة 1 - تم الحصول على قيم N بأكثر خطأ من المتوسط الفعلي 1 dB ومستوى ثقة نسبته 90%.

ومن الممكن في جميع الحالات أخذ أقل عدد من العينات N ضمن نافذة حساب المتوسط $2L$ التي تلي الشرط ($N \cdot d \leq 2L$) للمسافة d بين العينات غير المترابطة. ويكفل استخدام هذه القيم إيجاد المتوسط الصحيح للتغيرات المحلية لشدة المجال.

- [1] Sommerfeld, A.: 'The propagation of waves in wireless telegraphy', *Ann. Phys.*, 1909, 28, p.665.
- [2] Norton, K.A.: 'The propagation of radio waves over the surface of the Earth and in the upper atmosphere. Part 1', *Proc. Inst. Radio. Eng.*, 1936, 24, pp. 1367-1387.
- [3] Norton, K.A.: 'The propagation of radio waves over the surface of the Earth and in the upper atmosphere. Part 2', *Proc. Inst. Radio. Eng.*, 1937, 25, pp. 1203-1236.
- [4] Van Der Pol, B., and Bremmer, H.: 'The diffraction of electromagnetic waves from an electrical point source round a finitely conducting sphere', *Philos. Mag. Ser. 7*, 1937, 24, pp. 141-176 and pp. 825-864; 1938, 25, pp. 817-834; and 1939, 26, pp. 261-275.
- [5] Norton, K. A.: 'The calculation of ground-wave field intensity over a finitely conducting spherical Earth', *Proc. Inst. Radio Eng.*, 1941, 29, pp. 623-639.
- [6] Millington, G., 1949, 'Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth', *Proc. IEE*, 96, 53.
- [7] Hufford, G.A. 1952, "An integral equation approach to the problem of wave propagation over an irregular surface", *Quart. Appl. Math*, 9, 391.
- [8] Ott, R.H., and L.A. Berry, 1970, 'An alternative integral equation for propagation over irregular terrain', *Radio Sci.*, Part 1, 5(5), pp. 767-771.
- [9] Hill D.A. "Ground-wave propagation over Forested and Built-up Terrain" NTIA Report 82-114, Dec 1982.
- [10] DeMinco, N. "Automated Performance Analysis for Ground-Wave Communication Systems," NTIA-Report 86-209, Dec. 1986.
- [11] DeMinco, N "Ground-Wave Analysis Model for MF Broadcast Systems," NTIA-Report 86-203, Sept. 1986.
- [12] Kissick, W.A., *et al.*, "Measurements of LF and MF Radio Propagation over Irregular, Inhomogeneous Terrain," NTIA-Report 78-12, Nov. 1978.
- [13] Hoffman J. R., *et al.*, "DGPS Field Strength Measurements at a GWEN Site," NTIA-Report 98-346, April 1998.
- [14] Ott, R. H. *et al.*, "Ground Wave Propagation Over Irregular, Inhomogeneous Terrain: Comparisons of Calculations and Measurements," NTIA Report 79-20, May 1979.
- [15] Adams, J. E., *et al.*, "Measurements and Predictions of HF Ground Wave Propagation over Irregular, Inhomogeneous Terrain," NTIA-Report 84-151, July 1984.
- [16] DeMinco, N, "Medium Frequency Propagation Prediction Techniques and Antenna Modeling for Intelligent Transportation Systems (ITS) Broadcast Applications," NTIA-Report 99-368, Aug. 1999.
- [17] DeMinco, N, "Propagation Prediction Techniques and Antenna Modeling (150 to 1705 kHz) for Intelligent Transportation Systems (ITS), *IEEE AP Magazine*, AP Vol. 42, No. 4, Aug. 2000, pp. 9-34.
- [18] Rotheram, A.S.: 'Ground-wave propagation. Part 1 Theory for short distances', *IEE Proc, F*, 1981,128, pp. 275-284.
- [19] Rotheram, A.S.: 'Ground-wave propagation. Part 2 Theory for medium and long distances and reference propagation curves', *IEE Proc. F*, 1918, 128, pp. 285-295.
- [20] Rotheram, A.S.: 'Ground-wave propagation', *Marconi Rev.*, 1982, 45, (1), pp. 18-48.

- [21] Causebrook, J.H., 1977, 'Groundwave propagation at medium frequency in built-up areas'. BBC Engineering Research Department Report RD 1977/25.
- [22] Causebrook, J.H., 1978, 'Medium-wave propagation in built-up areas', Proc. IEE, Vol. 125, 9, pp. 804-808.
- [23] Bremmer, H.: *Terrestrial Radio Waves* Elsevier, 1949.
- [24] Picquenard, A. "Radio Wave Propagation", New York: John Wiley and Sons, 1974, p. 80.
- [25] Craig K.H. "Clear Air Characteristics of the Troposphere", in "Propagation of radio waves" 2nd ed, ed Barclay L W, 2003 ISBN 0 85296 102 2, Chapter 7.
- [26] "Ground wave propagation in an exponential atmosphere", CCIR Report 714-2, 1990.
- [27] DeMinco, N "Propagation Loss Prediction Considerations for Close-In Distances and Low Antenna Height Applications," NTIA-Report TR-07-449, July 2007.
- [28] Кашпровский В.Е., Кузубов Ф.А., "Распространение средних радиоволн земным лучом" (Kashprovsky V.E., Kuzubov F.A., "Propagation of medium waves by terrestrial ray"), "Svyaz", 1971, 220 pages.
- [29] Feinberg, E.L., "Propagation of radiowaves along a terrestrial surface" Iss AS USSR M 1961, p.546.
- [30] Millington G, 1949, Nature 163 p. 128.
- [31] Millington G. and Isted G.A. 1950 "Ground-wave propagation over an inhomogeneous Earth, Part 2 Experimental evidence and practical implications", Proc. IEE, 97, 209.
- [32] Hoffman, J.R., *et al.*, "Field Strength Measurements of DGPS and FAA Beacons in the 285 to 315 kHz Band," NTIA-Report 97-337, June 1997.
- [33] Damboldt Th. 1981 "HF ground-wave field strength measurements on mixed land-sea paths", IEE 2nd Int Conf Antennas and Propagation, Heslington, York, UK; IEE Conf Proc No. 195.
- [34] Barrick, D.E., (1971a), "Theory of HF and VHF propagation across the rough sea, 1, The Effective Surface Impedance For A Slightly Rough Highly Conducting Medium At Grazing Incidence", Rad. Sci, V6, pp 517-526.
- [35] Barrick, D.E., (1971b), "2. Application to HF and VHF propagation over the sea", Rad. Sci., V6 pp 527-533.
- [36] Phillips, O.M. (1957): "On the generation of surface waves by turbulent wind", J. Fluid Mech., Vol.2, pp. 417-445.
- [37] Furutsu, K. Radio Science vol 17 pp 1037-1050, 1982.
- [38] J.M. Pielou, J.D. Milsom and R N Herring "HF ground wave propagation from a cliff top site" IEE Conf ICAP87, p103, 1987
- [39] Chernov Yu. A., Zhiltsov A.U. "The Statistical characteristics of a terrestrial wave in a range LF-MF", "Radiotekhnika", 1997, № 2, PP. 41-45.
- [40] Stratton G.A., "The Theory of electromagnetism", "Gostekhizdat", 1948.
- [41] Chernov Yu. A. "Distribution of average radiowaves in urban environment", Trudy NIIR, 2004, PP. 131-136.
- [42] Buchatskaja G.B. "An experimental research of distribution of a field HF-waves in city for a transmitter, located within the limits of this city", Trudy NIIR, 1989, № 4, PP. 14-19.
- [43] Bown, R. Martin, D.K. and Potter, R.K. "Some Studies in Radio Broadcast Transmission" 1924, Proc IRE V12 pp. 57-131.
- [44] Bown, R and Gillett, G.D., "Distribution of radio Waves From Broadcasting Stations Over City Districts" 1924, Proc IRE V12 pp. 395-409.

- [45] Barfield, R.H. and Munro, G.H. "The Attenuation of Wireless waves Over Towns", 1929, Proc IEE, V67, pp. 253-270.
- [45] Naismith, R. "Field Strength Measurements on Daventry 5XX", 1931, Proc IEE V69 pp. 881-890.
- [47] Causebrook, J.H "Medium-wave propagation in built-up areas", 1978, Proc. IEE, V125, pp. 804-808.
- [48] Luo Lichen, "A New MF and HF Ground-wave Model for Urban Areas", 2000, IEEE Antennas and Prop. Mag, V42, pp. 21-32.
- [49] Gracely, F.R. "Temperature Variations of Ground-Wave Signal Intensity at Standard Broadcast Frequencies", Proc. I.R.E., April, 1949, pp. 360-363.
- [50] Gerber W. and A. Werthmüller, Ueber die vegetabile Absorption der Bodenwelle, Techn. Mitt.T.T., Sw., 1945, №1, 12-19.
- [51] Chernov Yu. A. "Seasonal changes of a field intensity of a ground wave in day time in LF and MF bands" Trudy NIIR, 2005, pp. 109-115.
- [52] Захаренко В.Н., "Влияние вариаций электропроводности подстилающей поверхности на амплитуду напряженности земной волны диапазонов СВ и ДВ", Электросвязь, 1992, №1, pp. 34-35. [V.N. Zakharenko, "Influence of variations in electroconductivity of a ground surface on amplitude of intensity of a ground wave signal in the MF and LF bands", Elektrosvyaz, 1992, №1, pp. 34-35.
- [53] Recommendation ITU-R P.1321-3.
- [54] Чернов, Ю.А, Цифровое радиовещание до 30 МГц: иллюзии и реальность. Часть 2. Длинные и средние волны. Темное время суток, Электросвязь, 2012, №2. (Yu. Chernov, Digital broadcasting up to 30 MHz: illusions and reality. Part 2. LW and MW. Dark time of day, Electrosvyaz, 2012, № 2.).
- [55] Causebrook J H and Tait B, 1979, "Ground Wave propagation in a realistic terrain" BBC Research Dept Report RD 1979/19.
- [56] ERC Recommendation (00)08, 2000, "Field Strength Measurements along a Route with Geographical Coordinate Registrations"
<http://www.eroocdb.dk/docs/doc98/Official/Pdf/Rec0008.pdf>.
- [57] Ott, R.H. 1971, 'An alternative integral equation for propagation over irregular terrain', Radio Sci., Part 2, 6(4), pp. 429-435.
- [58] de la Vega, D *et al.*, "Analysis of the Attenuation Caused by Orography Influence in the Medium Wave Band", 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference - VTC2007.
- [59] Wait J R 1962, "Electromagnetic Waves in Stratified Media," Oxford, Pergamon.
- [60] Almeida, M.P.C. ; David, R.P.; Souza, R.S.L.; Castellanos, P.V.G. ; Cal Braz, J.A.; Lima, M.V.; Lima, F.F.; Silva Mello, L.A.R.; "Medium wave DRM field trials in Brazil - some daytime and night-time results in urban environment", Measurement (London. Print), v. 45, p. 1-9, 2012.
- [61] Report ITU-R BS.2144. "Planning parameters and coverage for Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting at frequencies below 30 MHz", May 2009.
- [62] Causebrook, J.H., 1977, "Ground Wave Propagation at Medium Frequency in Built-up Areas" BBC Research Dept Report 1977/25.
- [63] Gil, U, *et al.*, 2009, "Medium Wave Field Strength Spatial Variability in Urban Environments", 3rd European Conference on Antenas and Propagation 2009.
- [64] Gil, U, *et al.*, 2010, "Empirical Analysis of Medium Wave Field Strength Prediction in Urban Environments", IEEE Int Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. Shanghai 2010.

- [65] Fernandez, I, *et al.*, 2011, Carrier and Noise Measurements in the Medium Wave Band for Urban Indoor Reception of Digital Radio” IEEE Trans Broadcasting.
- [66] Fernandez, I, *et al.*, 2011, Carrier and Noise Measurements in the Medium Wave Band for Urban Indoor Reception of Digital Radio” IEEE Trans Broadcasting.
- [67] Chernov Yu, “Distribution of terrestrial wave signal levels in a service zone at medium frequencies” Trans NIIR, 2006, pp. 81-90.
- [68] DeMinco, N., *et al.*, “Free-Field Measurements of the Electrical Properties of Soil Using the Surface Wave Propagation Between Two Monopole Antennas,” NTIA-Report TR-12-484, January 2012.
- [69] DeMinco, N., *et al.*, “Free-Field Measurements of the Electrical Properties of Soil Using the Measured Reflection Coefficient at Normal Incidence and Multilayer Analysis,” NTIA-Report TR-13-494, February 2013.
- [70] Eaton J L 1976 “The wave tilt method of measuring electrical ground constants in the lf and mf bands” BBC Research Report RD 1976/15. www.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1976-15.pdf.
- [71] CCIR Report 716-3, 1990.
- [72] Johler, J.R., Kellar, W.J. and Walters, L. C. 1956, “Phase of the low radio-frequency ground wave”. NBS Circular 573, <http://tf.boulder.nist.gov/general/pdf/2302.pdf>.
- [73] Hill, D.A. and Wait, J. R., 1980, 2Ground-wave attenuation function for a spherical earth with arbitrary surface impedance”. *Radio Sci.* Vol. 15, 3.
- [74] Johler, J.R. and Horowitz, S. 1974 “Propagation of a Loran pulse over irregular, inhomogeneous ground”. Paper 28, AGARD Conf. Proc. No. 144 on Electromagnetic wave propagation involving irregular surfaces and inhomogeneous media, ed A. N. Ince. NTIS Accession Number AD A008583, National Technical Information Service, Springfield, Va. 22161, USA.
- [75] Samaddar, S.N. 1979, “The theory of Loran-C ground-wave propagation - A review”. *Navigation*, Vol. 26, 3.
- [76] Pressey, B.G., Ashwell, G.E. and Fowler, C.S. 1953, “The measurements of the phase velocity of ground-wave propagation at low frequencies over a land path”. *Proc. IEE*, 100, Pt. III.
- [77] Doherty, R.H. and Johler, J. R. 1975, “ Meteorological influences on Loran-C ground-wave propagation”. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 37, pp. 1117-1124.
- [78] Samaddar, S. N. 1980 “Weather effects on Loran-C propagation”. *Navigation*, Vol. 27, 1.
- [79] Lee, W C Y, 1986, “Mobile Communications Design Fundamentals”, Howard W. Sams and Co.
- [80] Lee, W C Y, 1985, “Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal”, IEEE Trans Vehicular Technology, Vol. VT-34, N° 1.
- [81] “ERC Recommendation (00)08, 2000, “Field Strength Measurements along a Route with Geographical Coordinate Registrations” <http://www.eroocdb.dk/docs/doc98/Official/Pdf/Rec0008.pdf>.
- [82] Lee, W C Y, 1982, “Mobile Communications Engineering”, Ed. McGraw-Hill Book Company.
- [83] J. D. Parsons, 2000, “The Mobile Radio Propagation Channel”, 2nd. Ed, John Wiley & Sons Ltd, 2000, ISBN 0 471 98857 X.
- [84] de la Vega, D, *et al.*, 2009 “Generalization of the Lee Method for the Analysis of Signal Variability”, IEEE Trans Vehicular Technology, Vol. 58, N° 2, pp. 506-516.
- [85] Gil, U, *et al.* 2008, “DRM Field Trials for Urban Coverage in Spain”, EBU Technical Review 2008-Q2.

- [86] Gil, U, et al.2008, “DRM 20 kHz Simulcast Field Trials in the Medium Wave Band in Mexico D.F.” IEEE Trans Broadcasting, Vol. 54, N° 1, pp. 58-61.
- [87] de la Vega, D, *et al.*, 2008, “Evaluation of the Lee Method for the Analysis of the Long-Term and Short-Term Variations in the Digital Broadcasting Services in the MW Band”, IEEE Int Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, Las Vegas, USA, March 2008.
- [88] de la Vega, D, *et al.*, 2008, “Empirical Analysis of the Sample Correlation for the Planning of Field Trials in the Digital Broadcasting Services at MF Band,” Proc IEEE Int Instrumentation and Measurement Technology Conference - I²MTC 2008, pp. 2201-2204, Victoria BC, Canada, May 2008.
- [89] Gil, U, *et al.*, 2010, “Statistical Characterization of the Medium Wave Field Strength Spatial Variability in Urban Environments Using the Generalized Lee Method” Proc. 4th European Conf on Antennas and Propagation, Barcelona, Spain, April 2010.
-

ISBN 978-92-61-14646-7

SAP id



طبع في سويسرا
2014، جنيف،

إصدار الصور: Shutterstock

الاتحاد الدولي للاتصالات

شعبة المبيعات والتسويق

Place des Nations

CH-1211 Geneva 20

Switzerland

Fax: +41 22 730 5194

Tel.: +41 22 730 6141

E-mail: sales@itu.int

Web: www.itu.int/publications