

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية **ITU-R P.453-13**
(2017/12)

دليل الانكسار الراديوي:
عباراته وبيانات الانكسارية

السلسلة **P**
انتشار الموجات الراديوية

تمهيد

يضمطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2018

التوصية ITU-R P.453-13

دليل الانكسار الراديوي: عباراته وبيانات الانكسارية

(المسألة ITU-R 201/3)

(1970-1986-1990-1992-1994-1995-1997-1999-2001-2003-2012-2015-2016-2017)

مجال التطبيق

توفر التوصية ITU-R P.453 طرفاً لتقدير دليل الانكسار الراديوي وسلوكه في شتى المواقع في العالم؛ وتورد وصفاً للخصائص السطحية والرأسية للمظهر الجانبي؛ وتوفر خرائط عالمية لتوزيع معلمات الانكسارية وتغيراتها الإحصائية.

مصطلحات أساسية

دليل الانكسار الراديوي، السطح، المظهر الجانبي الرأسي، معلمات الانكسارية، التغيرات الإحصائية

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) ضرورة استعمال صيغة وحيدة لحساب دليل انكسار الجو؛
 ب) الحاجة لبيانات مرجعية عن الانكسارية وتدرُّج الانكسارية في العالم؛
 ج) ضرورة وجود طريقة رياضية للتعبير عن التوزيع الإحصائي لتدرجات الانكسارية،

توصي

- 1 بأن يحسب دليل الانكسار الراديوي الجوي، n ، بواسطة الصيغة الواردة في الملحق 1؛
- 2 أن تستعمل بيانات الانكسارية الواردة في خرائط العالم الرقمية للملحق 1، إلا إذا تيسرت بيانات محلية موثوقة؛
- 3 بأن يحسب التوزيع الإحصائي لتدرجات الانكسارية بواسطة الطريقة الواردة في الملحق 1؛
- 4 بأن تستخدم، في غياب البيانات المحلية عن درجة الحرارة والرطوبة النسبية، الخريطة الرقمية العالمية "لعبارة الرطوبة" في الانكسار الراديوي السطحي الذي يتم تجاوزه خلال 50% من السنة الواردة في الفقرة 2.2 من الملحق 1 (انظر الشكل 3).

الملحق 1

1 صيغ دليل الانكسار الراديوي

يمكن حساب دليل الانكسار الراديوي الجوي، n ، بواسطة الصيغ التالية:

$$(1) \quad n = 1 + N \times 10^{-6}$$

حيث إن الانكسارية الراديوية، N ، هي:

$$(2) \quad N = 77,6 \frac{P_d}{T} + 72 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (\text{وحدات-N})$$

و"عبارة الجفاف" في الانكسارية الراديوية، N_{dry} ، هي:

$$(3) \quad N_{dry} = 77,6 \frac{P_d}{T}$$

و"عبارة الرطوبة" في الانكسارية الراديوية، N_{wet} ، هي:

$$(4) \quad N_{wet} = 72 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$$

حيث:

P_d : الضغط الجوي الجاف (hPa)

P : الضغط الجوي الكلي (hPa)

e : ضغط بخار الماء (hPa)

T : درجة الحرارة المطلقة (K)

و

$$(5) \quad P = P_d + e$$

نظراً لأن $P_d = P - e$ ، يمكن كتابة المعادلة (2) على النحو التالي:

$$(6) \quad N = 77,6 \frac{P}{T} - 5,6 \frac{e}{T} + 3,75 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$$

يمكن تقريب المعادلة (6) بتقليل الدقة على النحو التالي:

$$(7) \quad N = \frac{77,6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right)$$

تؤدي المعادلة (7) إلى قيم N ضمن 0,02 في المائة من القيمة المتحصل عليها من المعادلة (2) المستعملة من أجل مدى درجة الحرارة من 50°C إلى 40°C . وترد المظاهر الجانبية الممثلة للحرارة والضغط وضغط بخار الماء في التوصية ITU-R P.835. ولمزيد من السهولة، تعطى الصيغة التالية العلاقة بين ضغط بخار الماء، e ، والرطوبة النسبية:

$$(8) \quad e = \frac{H \cdot e_s}{100}$$

مع:

$$(9) \quad e_s = EF \cdot a \cdot \exp \left[\frac{\left(b - \frac{t}{d} \right) \cdot t}{t + c} \right]$$

و:

$$EF_{water} = 1 + 10^{-4} \left[7,2 + P \cdot \left(0,0320 + 5,9 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 \right) \right]$$

$$EF_{ice} = 1 + 10^{-4} \left[2,2 + P \cdot \left(0,0383 + 6,4 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 \right) \right]$$

حيث:

 t : درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$) P : الضغط الجوي الكلي (hPa) H : الرطوبة النسبية (%) e_s : ضغط بخار الماء المشبع (hPa) عند درجة الحرارة t ($^{\circ}\text{C}$)، وتكون المعاملات a و b و c و d كما يلي:

للجليد

للماء

$6,1115 = a$

$6,1121 = a$

$23,036 = b$

$18,678 = b$

$279,82 = c$

$257,14 = c$

$333,7 = d$

$234,5 = d$

(تطبق بين 80° و 0°)(تطبق بين 40° و 50°)

بالرغم من أن P تعرف على أنها الضغط الجوي الكلي، فإنه يمكن استعمال الضغط الجوي الجاف مع خسارة غير ذات شأن في دقة التنبؤ. يُحصل على ضغط بخار الماء e من كثافة بخار الماء ρ بواسطة المعادلة التالية:

$$(10) \quad e = \frac{\rho T}{216,7} \quad \text{hPa}$$

حيث يعبر عن ρ بالوحدات g/m^3 . وتعطي التوصية ITU-R P.836، قيماً تمثيلية للكثافة ρ .

2 الانكسارية السطحية وعلاقتها بالارتفاع

1.2 الانكسارية كدالة في الارتفاع

تبين أن القانون الآسي يعبر جيداً عن التغير الوسطي الطويل الأجل للدليل الانكسار n بدلالة الارتفاع h :

$$(11) \quad n(h) = 1 + N_0 \times 10^{-6} \times \exp(-h/h_0)$$

حيث:

N_0 : القيمة المتوسطة للانكسارية الجوية المستكملة خارجياً على مستوى البحر

h_0 : الارتفاع المرجعي (km).

ويمكن تحديد القيمتين N_0 و h_0 من أجل مناخات مختلفة بطريقة إحصائية. ويمكن لأغراض مرجعية تحديد متوسط إجمالي للمظهر الجانبي لارتفاع الانكسارية بما يلي:

$$N_0 = 315$$

$$h_0 = 7,35 \text{ km}$$

ولا تطبق هاتان القيمتان الرقميتان إلا على مسيرات أرضية.

ويمكن أن يستخدم هذا المظهر الجانبي المرجعي في حساب قيمة الانكسارية N_s على سطح الأرض اعتباراً من N_0 على النحو التالي:

$$(12) \quad N_s = N_0 \exp(-h_s/h_0)$$

حيث:

h_s : ارتفاع سطح الأرض فوق مستوى البحر (km).

إلا أنه يلاحظ أن أكفّة الشكلين 1 و 2 تشتق بواسطة قيمة $h_0 = 9,5 \text{ km}$. وقد اشتق الشكلان 1 و 2 من مجموعة من البيانات أُخذت على مدى 5 سنوات (1955-1959) من نحو 1 000 محطة أرضية. (الشكلان 1 و 2 غير متوفرين بشكل رقمي).

وفيما يخص المسيرات الأرضية-الساتلية، يمكن الحصول على دليل الانكسار عند ارتفاع معين باستخدام المعادلات (1) و (2) و (10) أعلاه، وكذلك القيم المناسبة للمعلومات الواردة في الملحق 1 من التوصية ITU-R P.835. وهكذا يمكن استعمال أدلة الانكسار التي تم الحصول عليها من أجل النمذجة الرقمية لمسيرات الأشعة عبر الجو.

(تجدر الإشارة إلى أن الشكل الآسي في المعادلة (12) يمكن استعماله أيضاً لإعطاء تقديرات سريعة وتقريبية لتدرج الانكسارية قرب سطح الأرض ولزاوية التسديد الظاهرية على النحو الوارد في الفقرة 3.4 من التوصية ITU-R P.834).

2.2 عبارة الرطوبة في الانكسارية السطحية

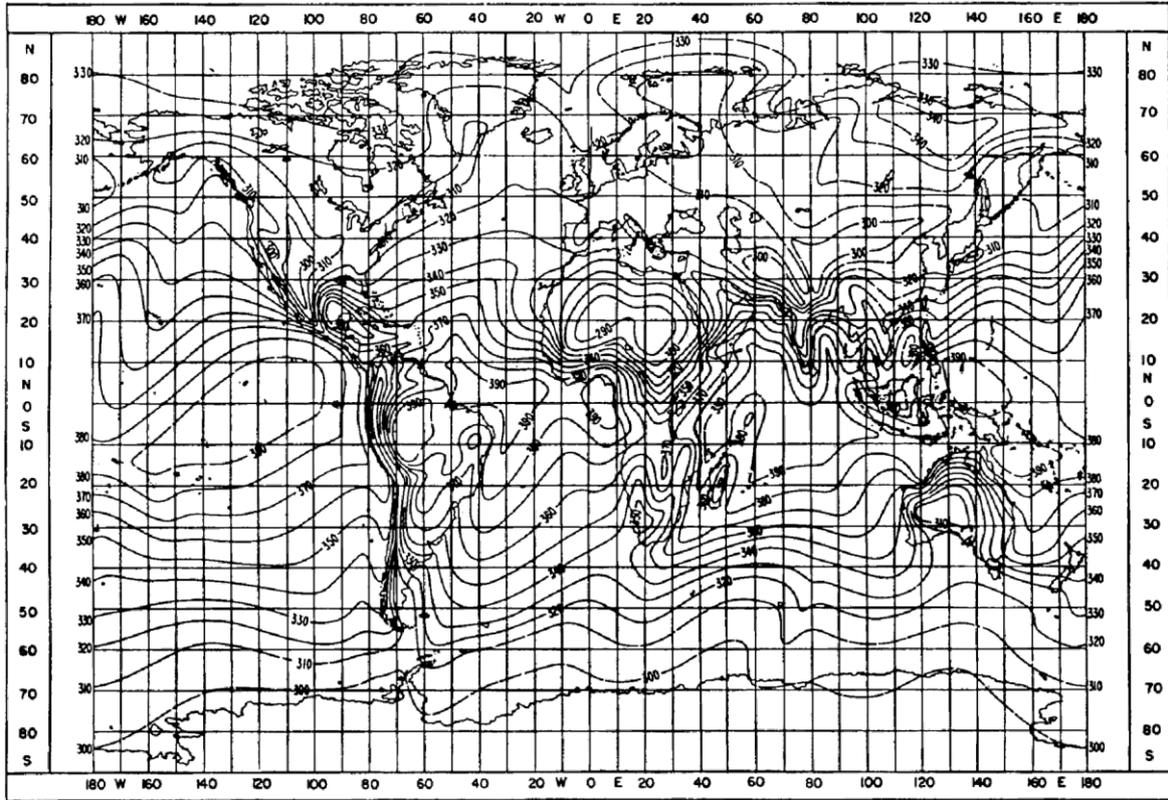
القيم السنوية لكثافة بخار الماء عند سطح الأرض، N_{wet} (ppm)، التي يتم تجاوزها لنسب 0,1 و 0,2 و 0,3 و 0,5 و 1 و 2 و 3 و 5 و 10 و 20 و 30 و 50 و 60 و 70 و 80 و 90 و 95 و 99 في المائة من سنة متوسطة وشهر متوسط على التوالي، تعتبر جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وهي متاحة في صورة خرائط رقمية ترد في الملف P.453-13-201712-II!ZIP.zip.

والبيانات من -180° إلى 180° في خطوط الطول ومن -90° إلى 90° من خطوط العرض وذات استبانة تبلغ 0,75° في كل من خطوط الطول والعرض. وتشتق عبارة الرطوبة في الانكسارية السطحية عند أي موقع على سطح الأرض من خلال طريقة الاستكمال الداخلي التالية:

أ) تحدد قيمتا الاحتمالين p_{above} (الاحتمال الأعلى) و p_{below} (الاحتمال الأدنى) من قيمة الاحتمال المطلوب، p ، من المجموعة: 0,1 و 0,2 و 0,3 و 0,5 و 1 و 2 و 3 و 5 و 10 و 20 و 30 و 50 و 60 و 70 و 80 و 90 و 95 و 99%؛

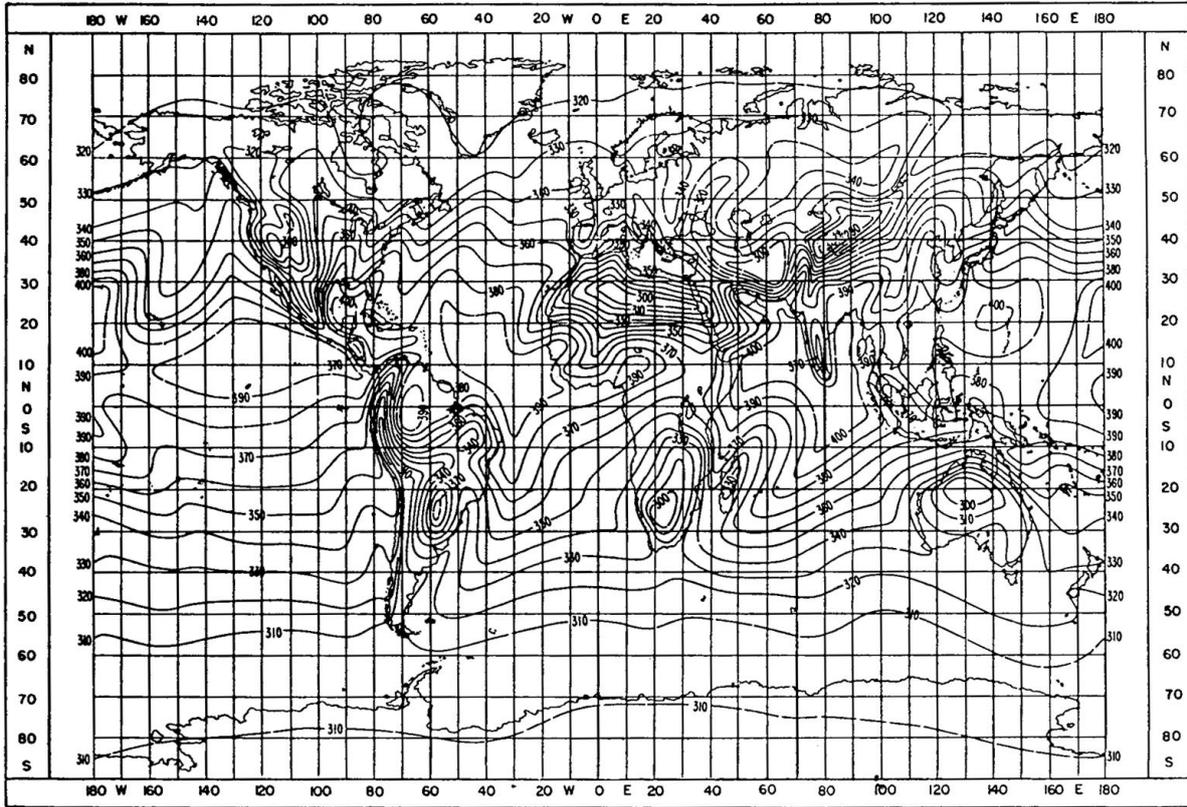
- (ب) بالنسبة للاحتمالين الأعلى والأدنى p_{above} و p_{below} ، تحدد عبارة الرطوبة في الانكسارية السطحية، N_{wet1} و N_{wet2} و N_{wet3} و N_{wet4} عند أقرب أربع نقاط شبكية؛
- (ج) تحديد عبارة الرطوبة في الانكسارية السطحية، $N_{wetabove}$ و $N_{wetbelow}$ عند الاحتمالين p_{above} و p_{below} بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية للقيم الأربع لكثافة بخار الماء N_{wet1} و N_{wet2} و N_{wet3} و N_{wet4} عند النقاط الشبكية الأربع على النحو المبين في التوصية ITU-R P.1144؛
- (د) تحديد عبارة الرطوبة في الانكسارية السطحية، N_{wet} ، عند الاحتمال المرغوب، p ، بإجراء استكمال داخلي لكل من $N_{wetabove}$ و $N_{wetbelow}$ إزاء الاحتمالين p_{above} و p_{below} بالنسبة إلى الاحتمال p على المنحني الخطي p إزاء مقياس $\log p$.
- وقد اشتقت عبارة الرطوبة في الانكسارية السطحية الشهرية والسنوية من البيانات المرحلية الخاصة بالتنبؤات الجوية الرقمية التي أُخذت على مدى سنتين (1979-2014) من المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى (ECMWF).
- وتسهيلاً للمرجعية، يُظهر الشكل 3 القيمة المتوسطة (50%) لعبارة الرطوبة في الانكسارية السطحية التي يتم تجاوزها خلال السنة المتوسطة.

الشكل 1

متوسط قيم N_0 الشهرية: فبراير

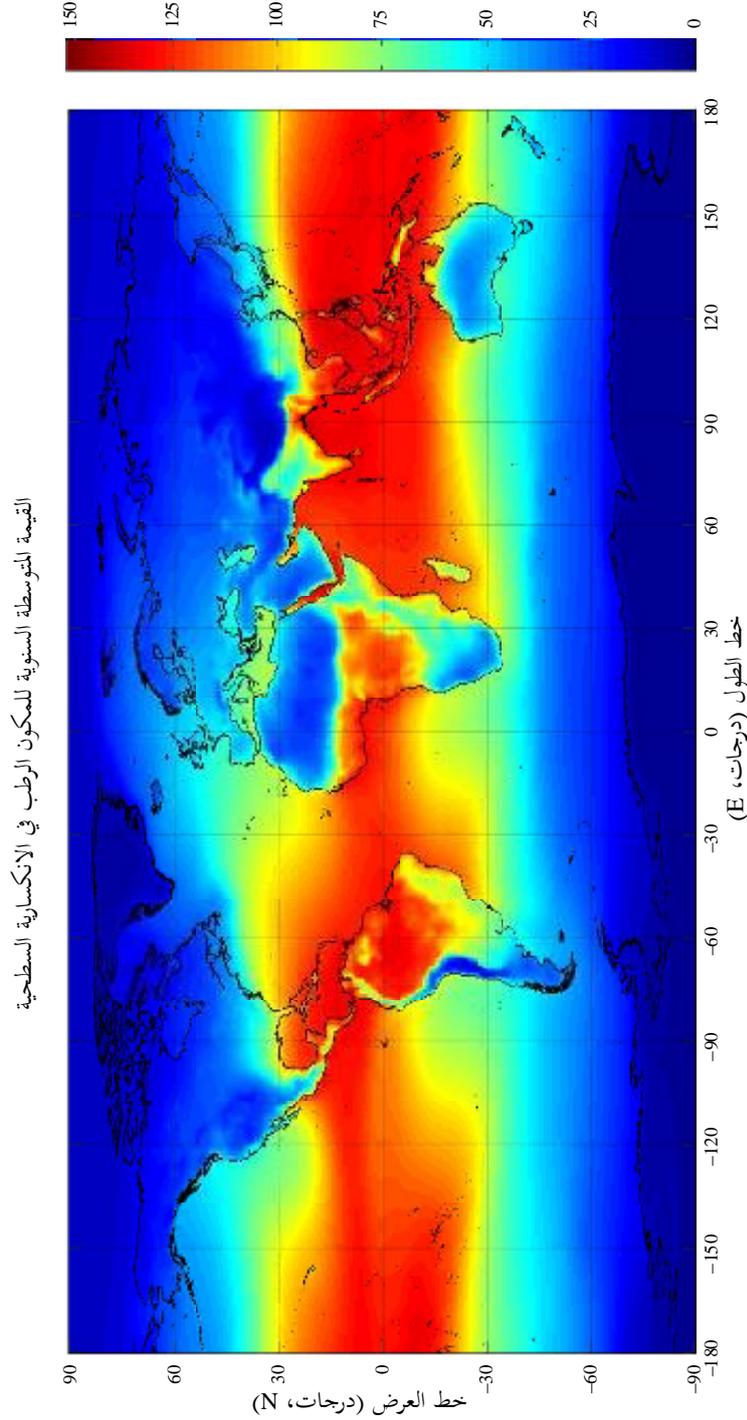
الشكل 2

متوسط قيم N_0 الشهرية: أغسطس



الشكل 3

المكون الرطب في الانكسارية السطحية (أجزاء بالمليون) (ppm) المتجاوز خلال 50% من السنة



3 التدرج الرأسى للانكسارية

تُعتبر الإحصائيات المتعلقة بالتدرج الرأسى للانكسارية الراديوية في أدنى طبقة جوية بمثابة معلمات هامة لتقدير خلوص المسير وتأثيرات الانتشار المرافقة من قبيل الانتشار الموجه في مسيرات عابرة للأفق، والانعكاس على السطح، والخبو والتشوه المتعدد المسيرات على وصلات للأرض في خط البصر.

1.3 في الكيلومتر الأول من الجوّ

تبين الأشكال من 4 إلى 7 خطوط تساوي القيم لمتوسط التناقص الشهري (أي الهبوط) في الانكسارية الراديوية على طبقة بعمق 1 km فوق السطح. وقد حسب التغير في الانكسارية الراديوية، ΔN ، من العبارة التالية:

$$(13) \quad \Delta N = N_s - N_1$$

حيث N_1 هي الانكسارية الراديوية عند ارتفاع 1 km فوق سطح الأرض. ولم تحوّل قيم ΔN إلى سطح مرجعي. وقد اشتُقت الأشكال من 4 إلى 7 من مجموعة بيانات أخذت على مدى 4 سنوات (1955-1959) من 99 موقعاً للسبر الراديوي. (الأشكال من 4 إلى 7 غير متوفرة بشكل رقمي).

وبالإضافة إلى ذلك، تعتبر القيم السنوية ΔN التي يتم تجاوزها بمقدار 0,1 و 0,2 و 0,5 و 1 و 2 و 5 و 10 و 20 و 30 و 40 و 50 و 60 و 70 و 80 و 90 و 95 و 98 و 99 و 99,5 و 99,8 و 99,9 من سنة متوسطة، جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وهي متاحة في صورة خرائط رقمية وترد في الإضافة. والقيم الشهرية ΔN التي يتم تجاوزها بمقدار 0,1 و 0,2 و 0,5 و 1 و 2 و 5 و 10 و 20 و 30 و 40 و 50 و 60 و 70 و 80 و 90 و 95 و 98 و 99 و 99,5 و 99,8 و 99,9 من شهر متوسط تعتبر جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وهي متاحة في صورة خرائط رقمية وترد في الإضافة.

2.3 في الطبقة الجوية الدنيا

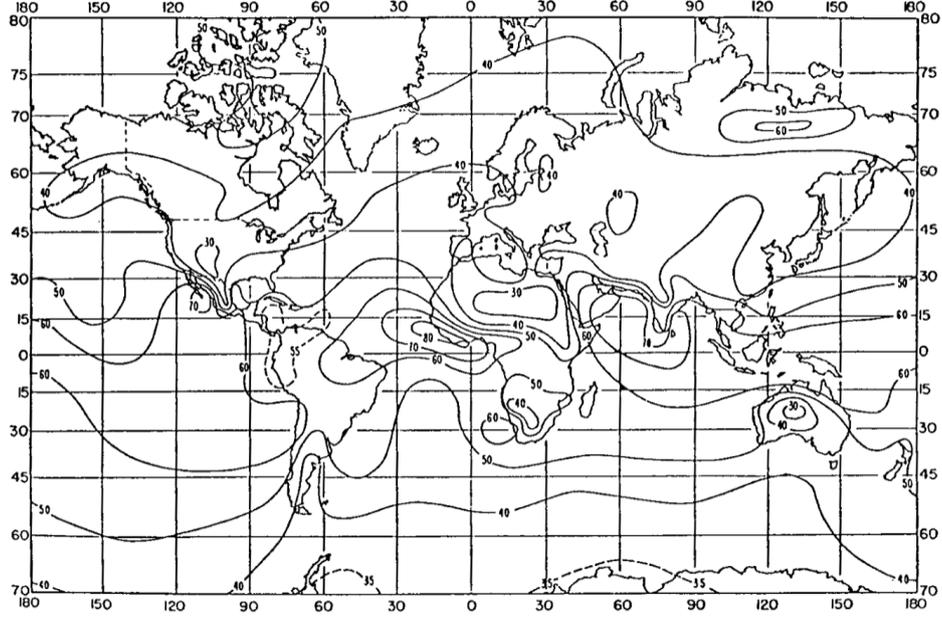
تستعمل إحصائيات تدرج الانكسارية في أدنى 100 m من سطح الأرض من أجل تقدير احتمال حدوث شروط الانتشار الموجه والانتشار المتعدد المسيرات. وعندما لا تتيسر بيانات محلية موثوقة، تعطي الخرائط في الأشكال من 8 إلى 11 هذه الإحصائيات بالنسبة إلى العالم، حيث جرى اشتقاقها من مجموعة بيانات أخذت على مدى 5 سنوات (1955-1959) من 99 مسباراً راديويًا. (الأشكال من 8 إلى 11 غير متاحة بشكل رقمي).

وبالإضافة إلى ذلك، تشكل المعلومات التالية جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية وهي متاحة في صورة خرائط رقمية وترد في الإضافة.

- القيم السنوية لتدرج الانكسارية في أدنى 65 m من سطح الأرض، ΔN_{65m} التي يتم تجاوزها بمقدار 0,1 و 0,2 و 0,5 و 1 و 2 و 5 و 10 و 20 و 30 و 40 و 50 و 60 و 70 و 80 و 90 و 95 و 98 و 99 و 99,5 و 99,8 و 99,9 من سنة متوسطة.
- القيم الشهرية لتدرج الانكسارية في أدنى 65 m من سطح الأرض، ΔN_{65m} التي يتم تجاوزها بمقدار 0,1 و 0,2 و 0,5 و 1 و 2 و 5 و 10 و 20 و 30 و 40 و 50 و 60 و 70 و 80 و 90 و 95 و 98 و 99 و 99,5 و 99,8 و 99,9 من شهر متوسط.
- النسبة المئوية من الأوقات السنوية والشهرية التي يكون فيها تدرج الانكسار ΔN فوق 100 m أدنى من $N_{\text{unit}}/100\text{km}$ ، (%).

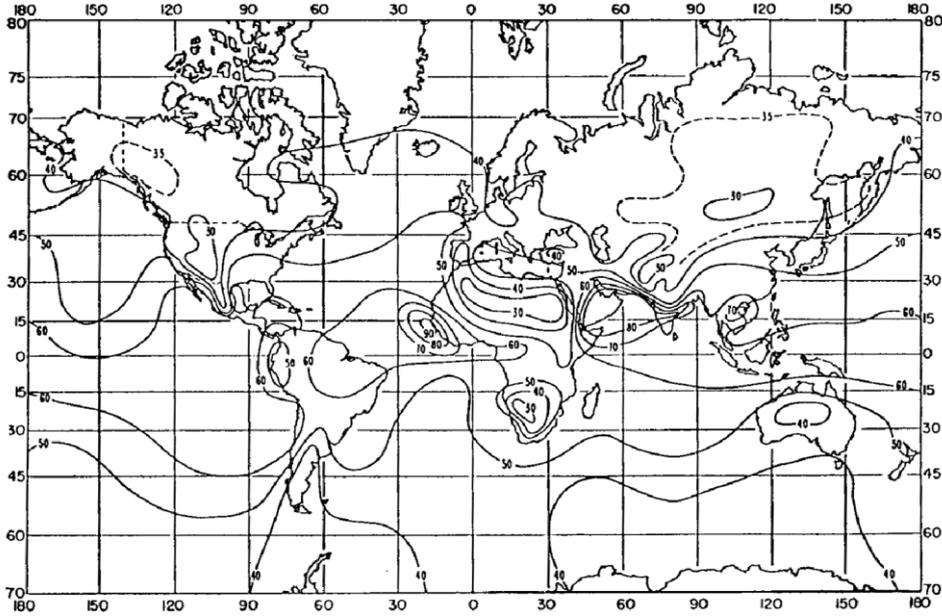
تتراوح البيانات من 0° إلى 360° لخطوط الطول ومن +90° إلى -90° لخطوط العرض. وإذا كان الموقع مختلفاً عن النقاط الشبكية، يمكن اشتقاق تدرج الانكسارية عند الموقع المطلوب باستكمال داخلي ثنائي الخطية للقيم العائدة إلى أقرب أربع نقاط شبكية إليه على النحو المبين في التوصية ITU-R P.1144.

الشكل 4

متوسط قيم ΔN الشهرية: فبراير

P.0453-04

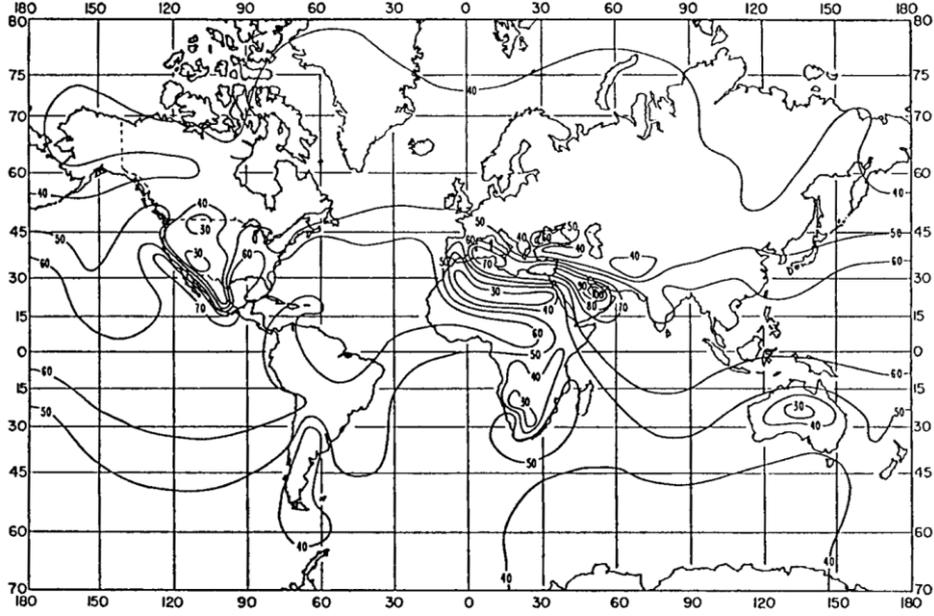
الشكل 5

متوسط قيم ΔN الشهرية: مايو

P.0453-05

الشكل 6

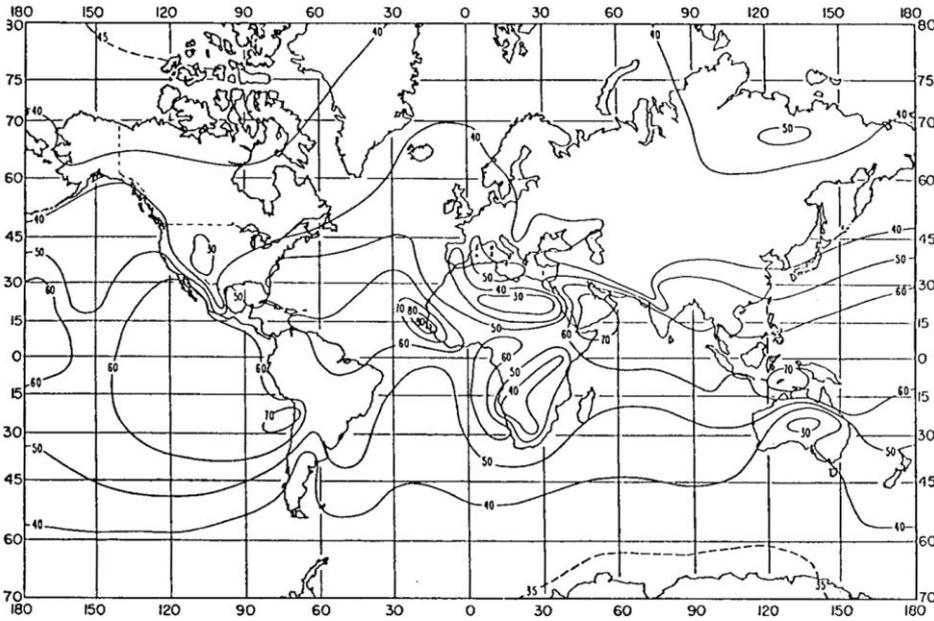
متوسط قيم ΔN الشهرية: أغسطس



P.0453-06

الشكل 7

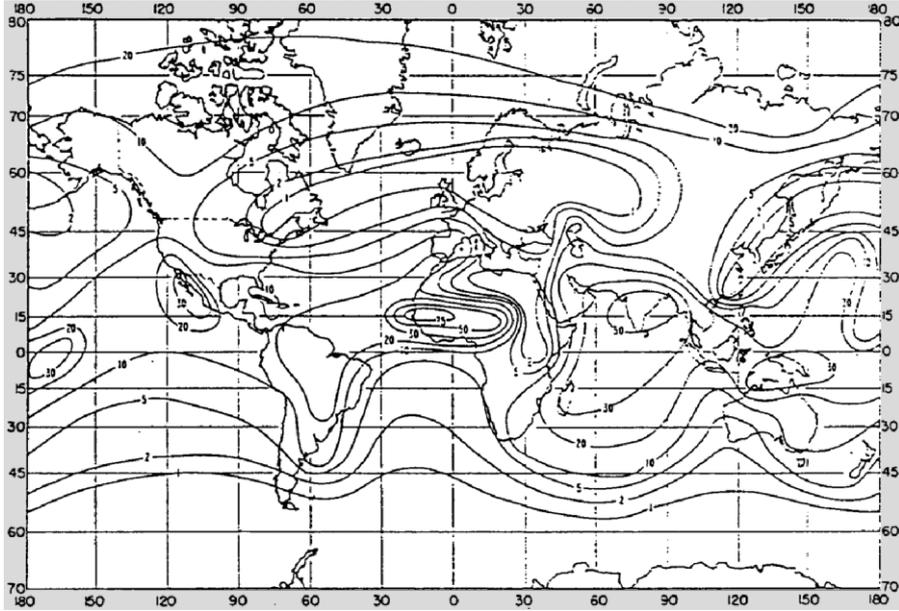
متوسط قيم ΔN الشهرية: نوفمبر



P.0453-07

الشكل 8

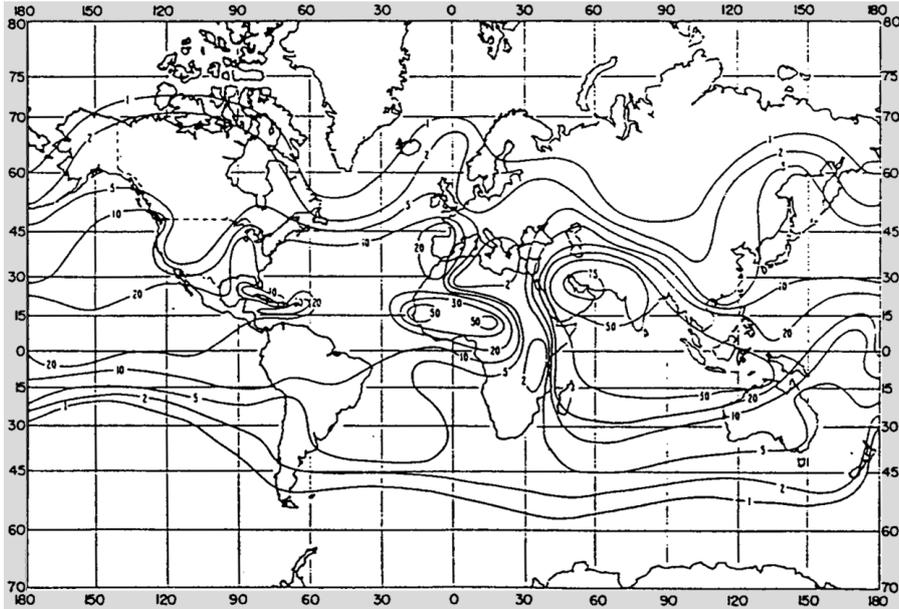
النسبة المئوية من الوقت التي يكون فيها التدرج ≥ 100 (وحدات-km/N): فبراير



P.0453-08

الشكل 9

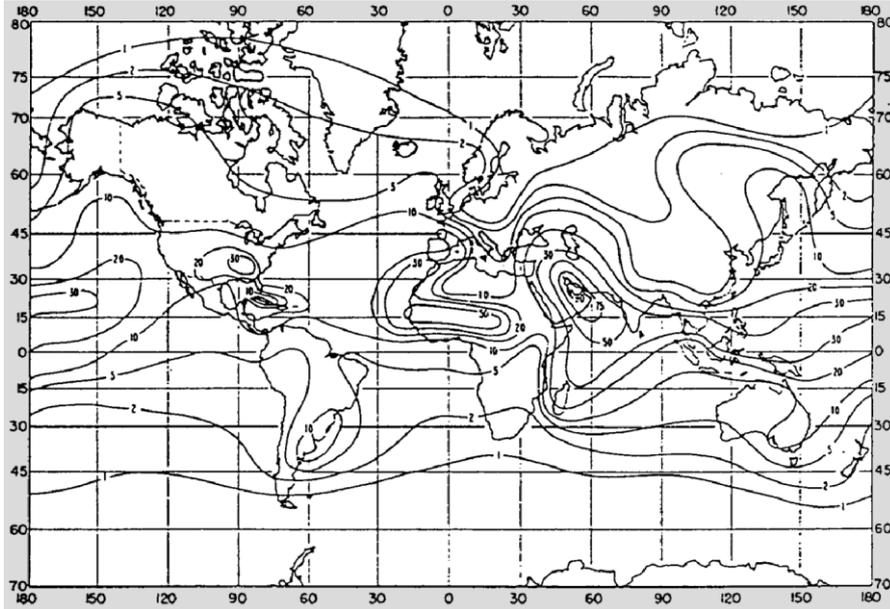
النسبة المئوية من الوقت التي يكون فيها التدرج ≥ 100 (وحدات-km/N): مايو



P.0453-09

الشكل 10

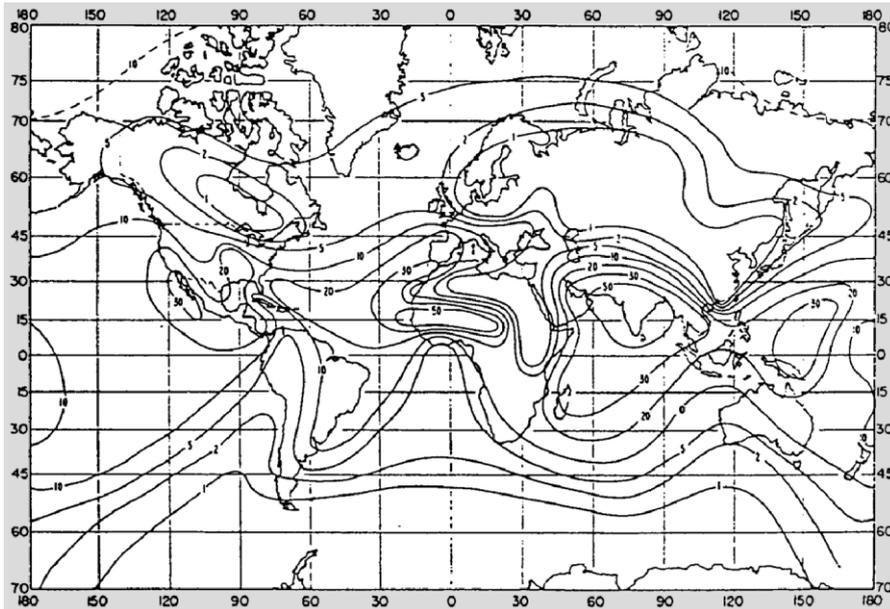
النسبة المئوية من الوقت التي يكون فيها التدرج ≥ 100 (وحدات-km/N): أغسطس



P0453-10

الشكل 11

النسبة المئوية من الوقت التي يكون فيها التدرج ≥ 100 (وحدات-km/N): نوفمبر



P0453-11

4 التوزيع الإحصائي لتدرج الانكسارية

يمكن تقدير التوزيع الإحصائي الكامل لتدرج الانكسارية قرب سطح الأرض في أدنى 100 m من الغلاف الجوي انطلاقاً من معرفة القيمة المتوسطة، Med ، لتدرج الانكسارية وقيمة الانكسارية عند سطح الأرض، N_s ، في الموقع المعني.

ويمكن حساب القيمة المتوسطة، Med ، لتوزيع تدرج الانكسارية انطلاقاً من الاحتمال P_0 الذي يقل فيه تدرج الانكسارية عن D_n أو يساويها باستعمال العبارة التالية:

$$(14) \quad Med = \frac{D_n + k_1}{(1/P_0 - 1)^{1/E_0}} - k_1$$

حيث:

$$\log_{10}(|D_n|) = E_0$$

$$.30 = k_1$$

وتعد الصيغة (14) صالحة في المدى 300- وحدات km/N - $40 \geq D_n \geq km/N$ - وإذا لم يكن الاحتمال P_0 الذي يتطابق مع أي قيمة D_n معطاة لتدرج الانكسارية معروفاً في الموقع المعني، يمكن استخراج هذا الاحتمال P_0 من الخرائط العالمية الواردة في الأشكال من 8 إلى 11 التي تعطي النسبة المئوية من الوقت التي يقل فيها تدرج الانكسارية عن 100- وحدات km/N أو يساويها في الأمتار الأولى من الجو البالغة 100 m.

وعندما لا تتوفر بيانات محلية موثوقة، يمكن استخراج N_s من الخرائط العالمية للانكسارية عند مستوى البحر المبينة في الشكلين 1 و 2 ومن المعادلة (12).

ويمكن الحصول على الاحتمال التراكمي P_1 للكمية D_n من أجل قيم $Med \geq D_n$:

$$(15) \quad P_1 = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{|D_n - Med|}{B} + k_2 \right) k_3 \right]^{E_1}}$$

حيث:

$$B = \left| \frac{0.3 Med - N_s + 210}{2} \right|$$

$$E_1 = \log_{10}(F + 1)$$

$$F = \frac{2 \times |D_n - Med|}{\left(\frac{B}{67} \right)^{6.5} + 1}$$

$$k_2 = \frac{1.6B}{120}$$

$$k_3 = \frac{120}{B}$$

وتعد المعادلة (15) صالحة من أجل قيم $Med < 120$ وحدات km/N وفي المدى 300- وحدات km/N - $50 > D_n > km/N$.

ويحسب الاحتمال التراكمي P_2 للكمية D_n عندما $Med < D_n$ كما يلي:

$$(16) \quad P_2 = 1 - \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{|D_n - Med|}{B} + k_2 \right) k_4 \right]^{E_1}}$$

حيث:

$$B = \left| \frac{0.3 Med - N_s + 210}{2} \right|$$

$$E_1 = \log_{10}(F + 1)$$

$$F = \frac{2 \times |D_n - Med|}{\left(\frac{B}{67} \right)^{6.5} + 1}$$

$$k_4 = \left[\frac{100}{B} \right]^{2.4}$$

أما المعادلة (16) فهي صالحة من أجل قيم $Med < 120$ وحدات km/N وفي المدى $300 - 50 > D_n > km/N$ وحدات.

5 المجاري الجوية السطحية والمرتفعة

يمكن أن تحدث المجاري الجوية في وصلات خط البصر الأرضية حيوياً بطيئاً وعميقاً وتحسيناً شديداً في الإشارة وخبواً متعدد المسيرات، وقد تسبب أيضاً تداخلاً ملحوظاً في المسيرات العابرة للأفق. لذلك فمن الأهمية بمكان أن نصف احتمال حدوث هذه المجاري الجوية وتركيباتها. ويقدم هذا القسم إحصائيات اشتقت على مدى 20 عاماً (1977-1996) من أرصاد السبر الراديوي المأخوذة من 661 موقعاً.

وتوصف المجاري الجوية بدلالة الانكسارية المعدلة التي تعرف كما يلي:

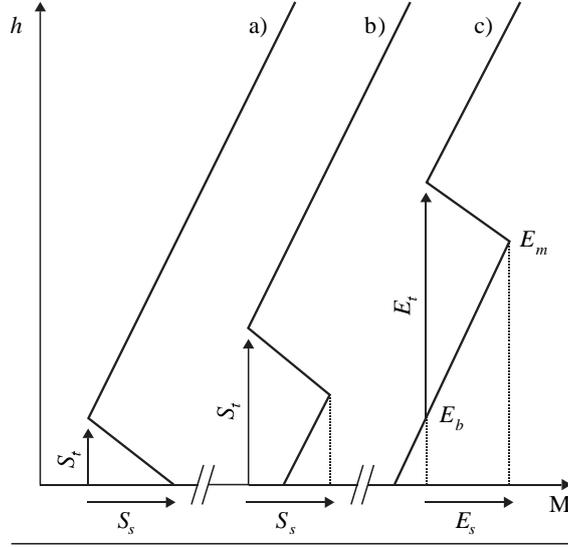
$$(17) \quad M(h) = N(h) + 157h \quad (\text{وحدات-M})$$

حيث h هو الارتفاع (km).

ويوضح الشكل 12 الانكسارية المعدلة كدالة في الارتفاع عن سطح الأرض ويورد تعريفات للمجاري الجوية. وهذه المجاري يمكن أن تكون على ثلاثة أنواع: المجاري السطحية، والمجاري السطحية المرتفعة، والمجاري المرتفعة. ونظراً للحالات القليلة نوعاً ما التي تحدث فيها مجار سطحية مرتفعة مقارنةً بالمجاري السطحية، فقد اشتقت الإحصائيات بجمع هذين النوعين في فئة واحدة تعرف بالمجاري السطحية. وتتميز المجاري السطحية بشدتها، S_s (وحدات-M) أو E_s (وحدات-M)، وسماكتها S_t (m) أو E_t (m). وتستخدم معلمتان إضافيتان لتحديد خصائص المجاري المرتفعة، وهما: ارتفاع قاعدة المجرى الهوائي E_b (m)، والارتفاع E_m (m) داخل المجرى نفسه الذي يكون ارتفاعه الأقصى M .

الشكل 12

تعريف المعلمات التي تصف أ) المجرى السطحي، ب) المجرى السطحي المرتفع،
ج) المجرى المرتفع



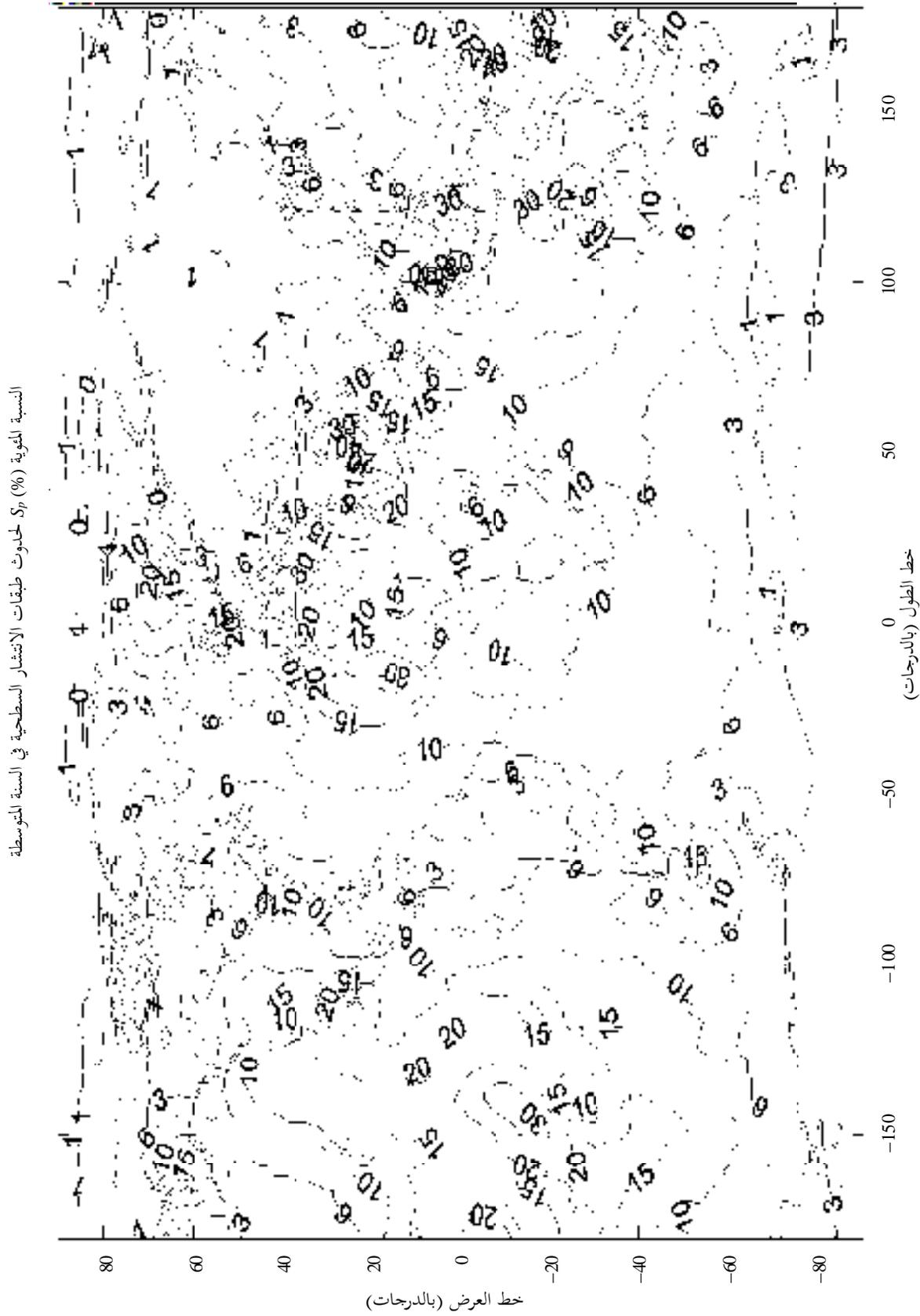
P.0453-12

ولمزيد من السهولة، تبين الأشكال من 13 إلى 20 البيانات الواردة في ملفات البيانات المذكورة في عناوين الأشكال. وقد تم جمع المجاري السطحية والسطحية المرتفعة معاً في الإحصائيات نظراً إلى الحالات القليلة نوعاً ما للمجاري السطحية المرتفعة. وتتراوح البيانات من 0° إلى 360° لخطوط الطول ومن $+90^\circ$ إلى -90° لخطوط العرض باستبانة قدرها $1,5^\circ$. وإذا كان الموقع مختلفاً عن النقاط الشبكية، يمكن اشتقاق المعلمة المعنية في الموقع المطلوب باستكمال داخلي ثنائي الخطية للقيم العائدة إلى أقرب أربع نقاط شبكية إليه.

ويمكن الحصول على ملفات البيانات من مكتب الاتصالات الراديوية.

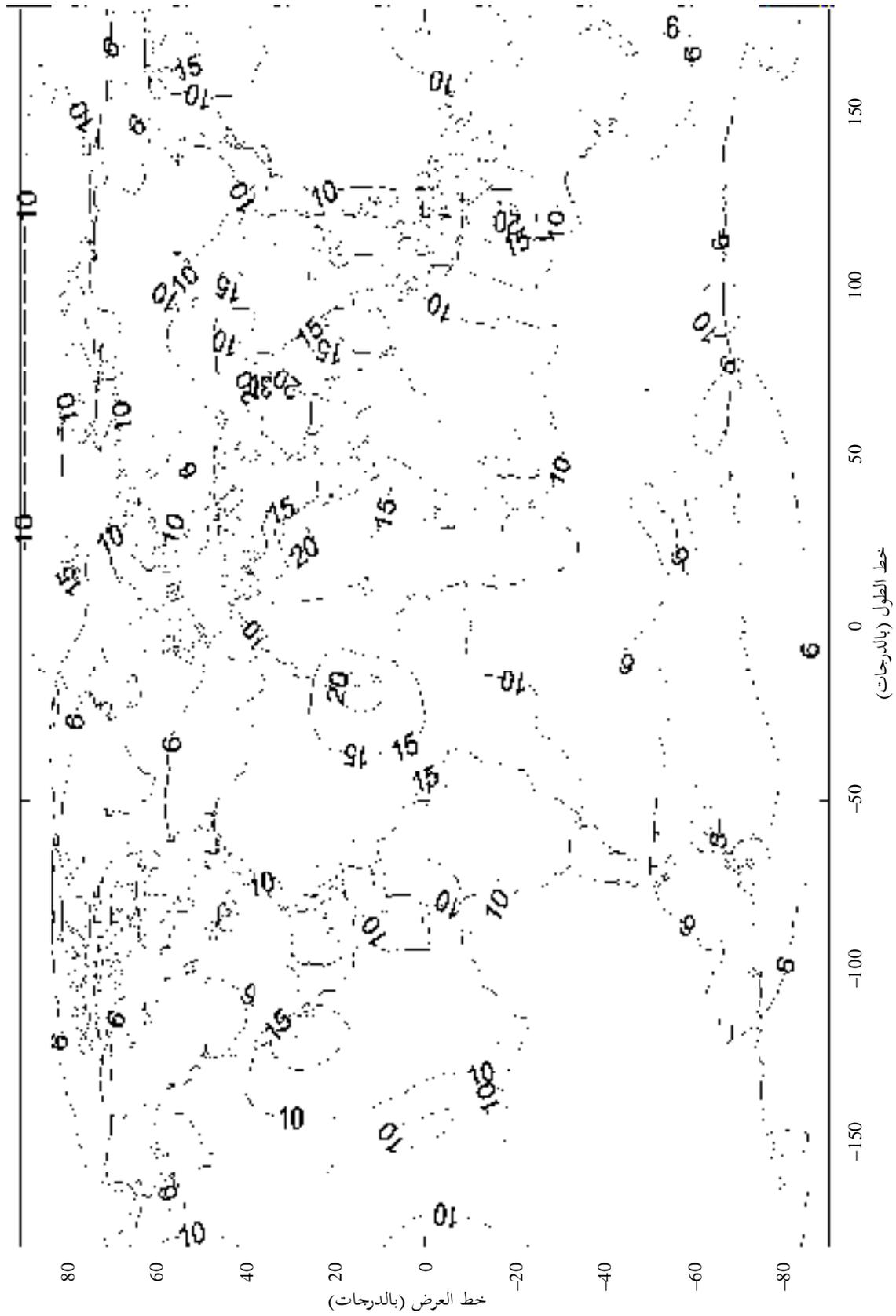
الشكل 13

اسم الملف: S_OCCURRENCE.TXT



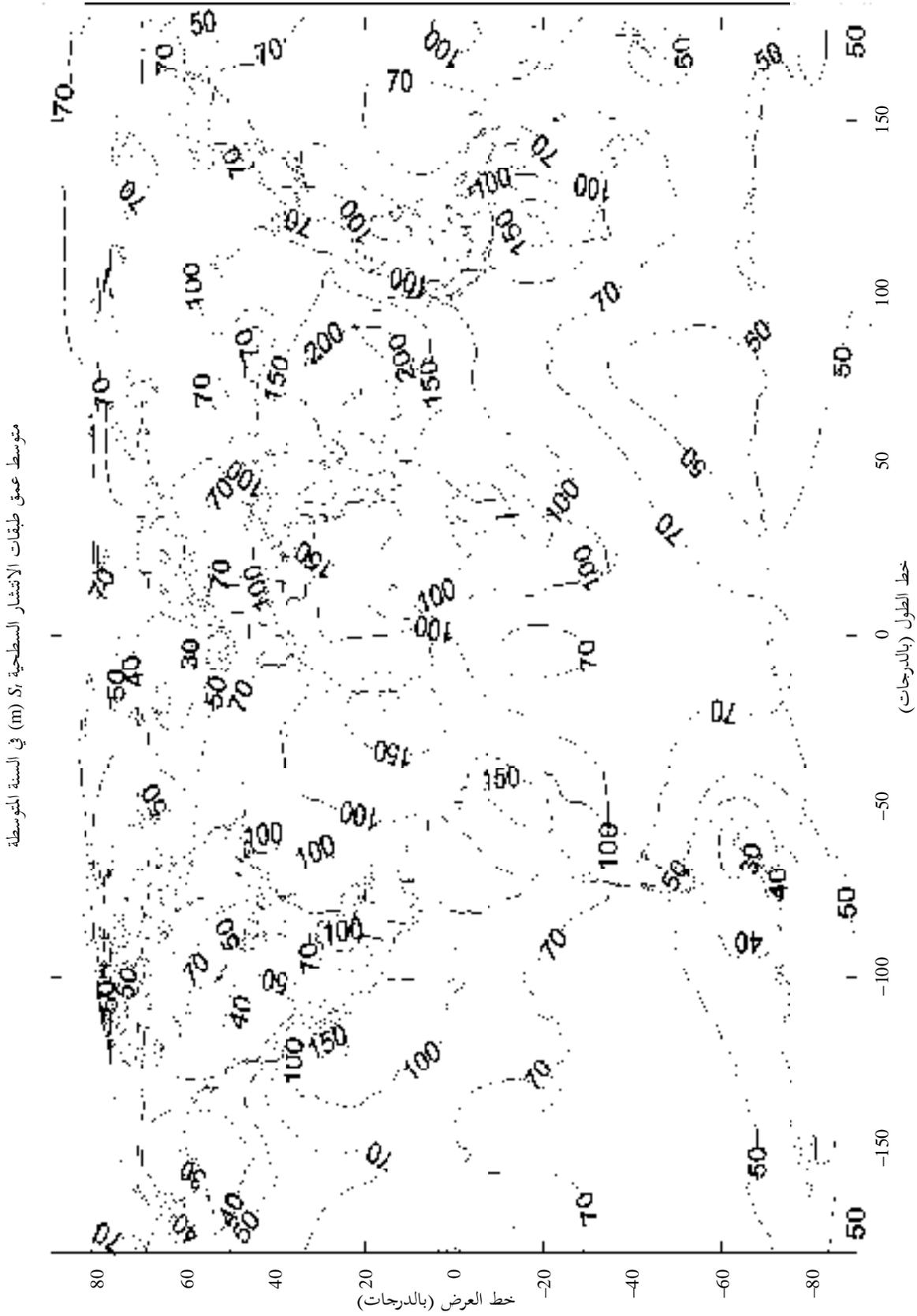
الشكل 14

اسم الملف: S_STRENGTH.TXT

متوسط شدة طبقات الانتشار السطحية S_p (وحدة M) في السنة المتوسطة

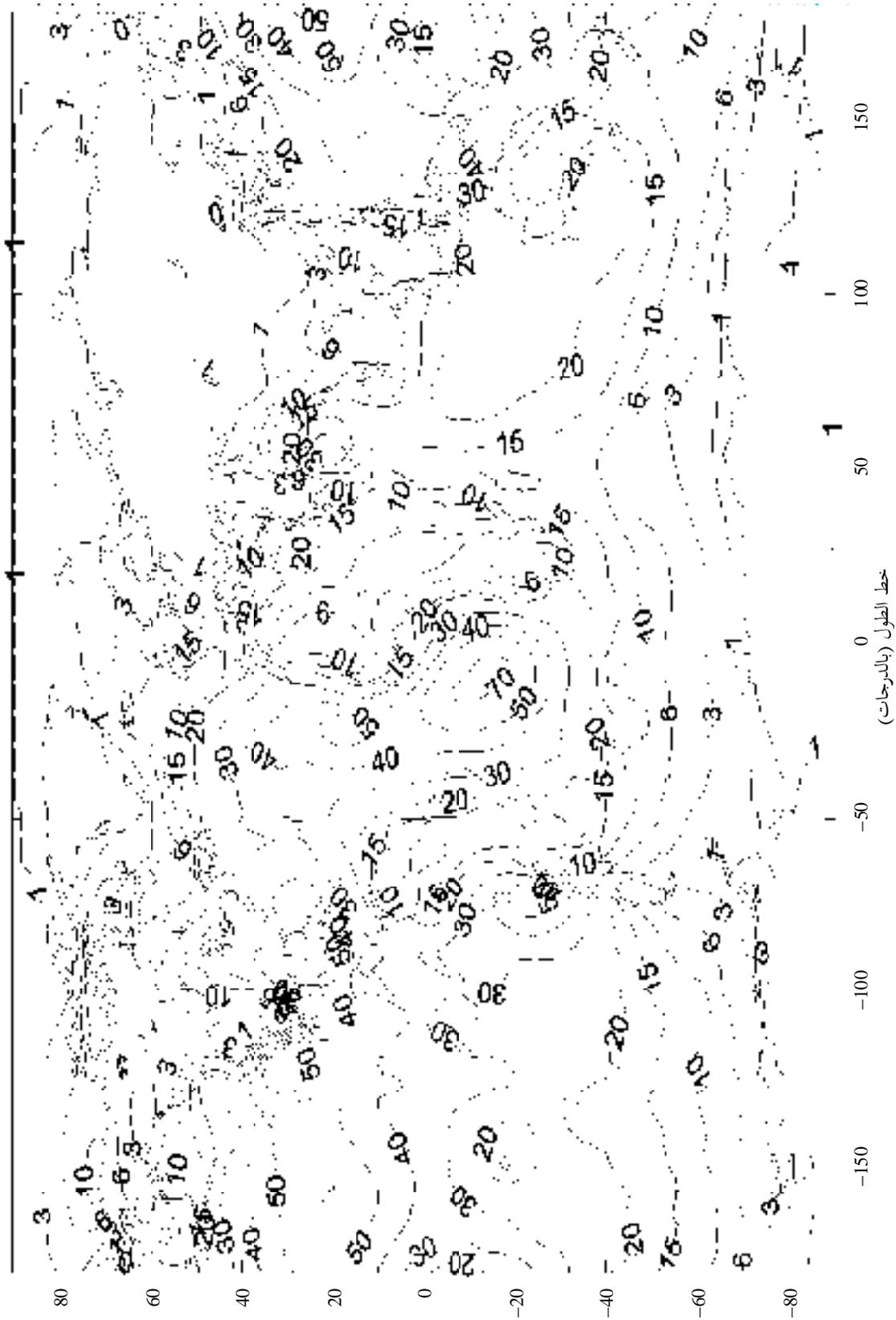
الشكل 15

اسم الملف: S_THICKNESS.TXT



الشكل 16

اسم الملف: E_OCCURRENCE.TXT

النسبة المئوية (E_p %) لحدوث طبقات الانتشار المرتفعة في السنة المتوسطة

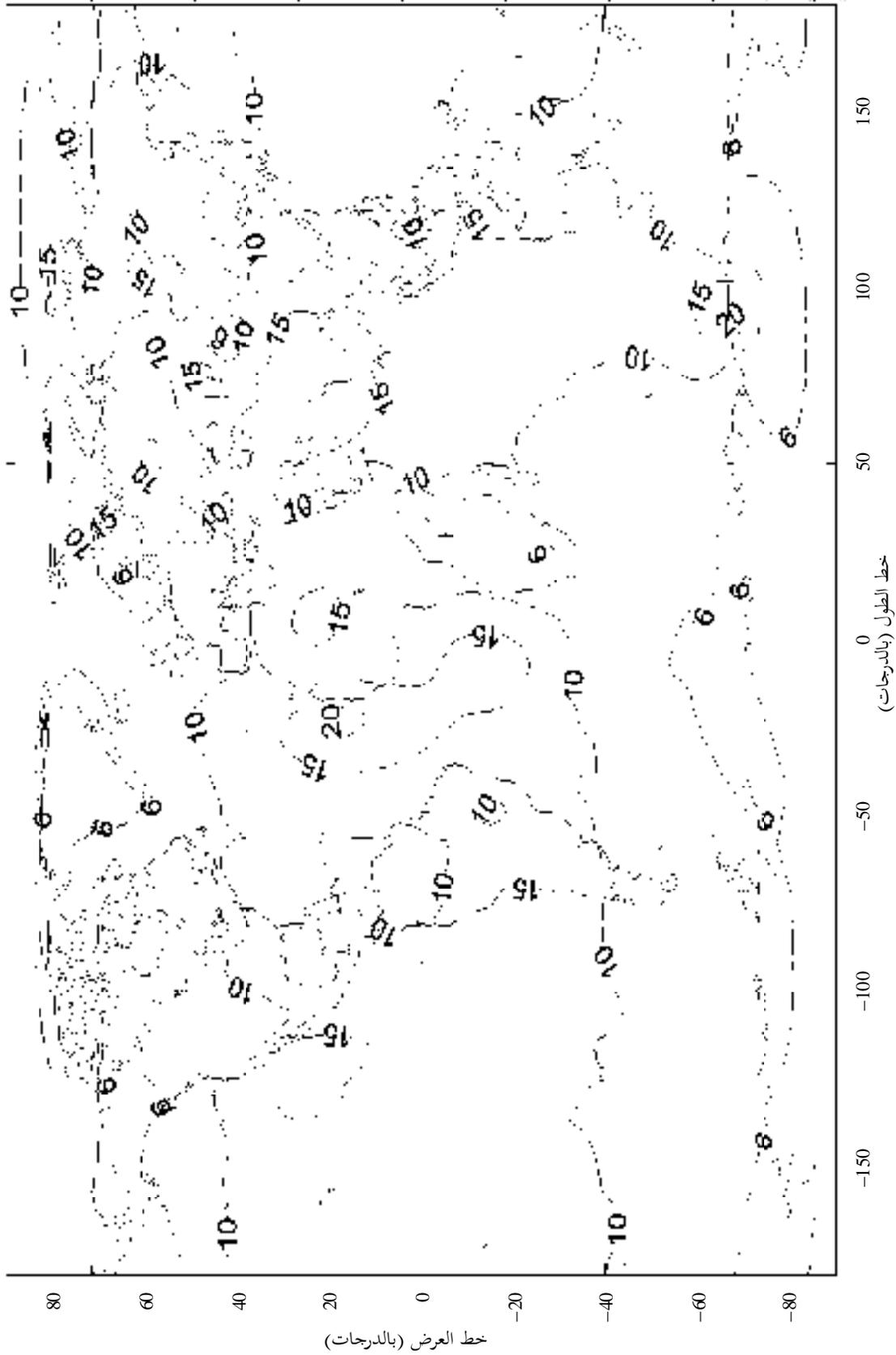
خط العرض (بالدرجات)

خط الطول (بالدرجات)

الشكل 17

اسم الملف: E_STRENGTH.TXT

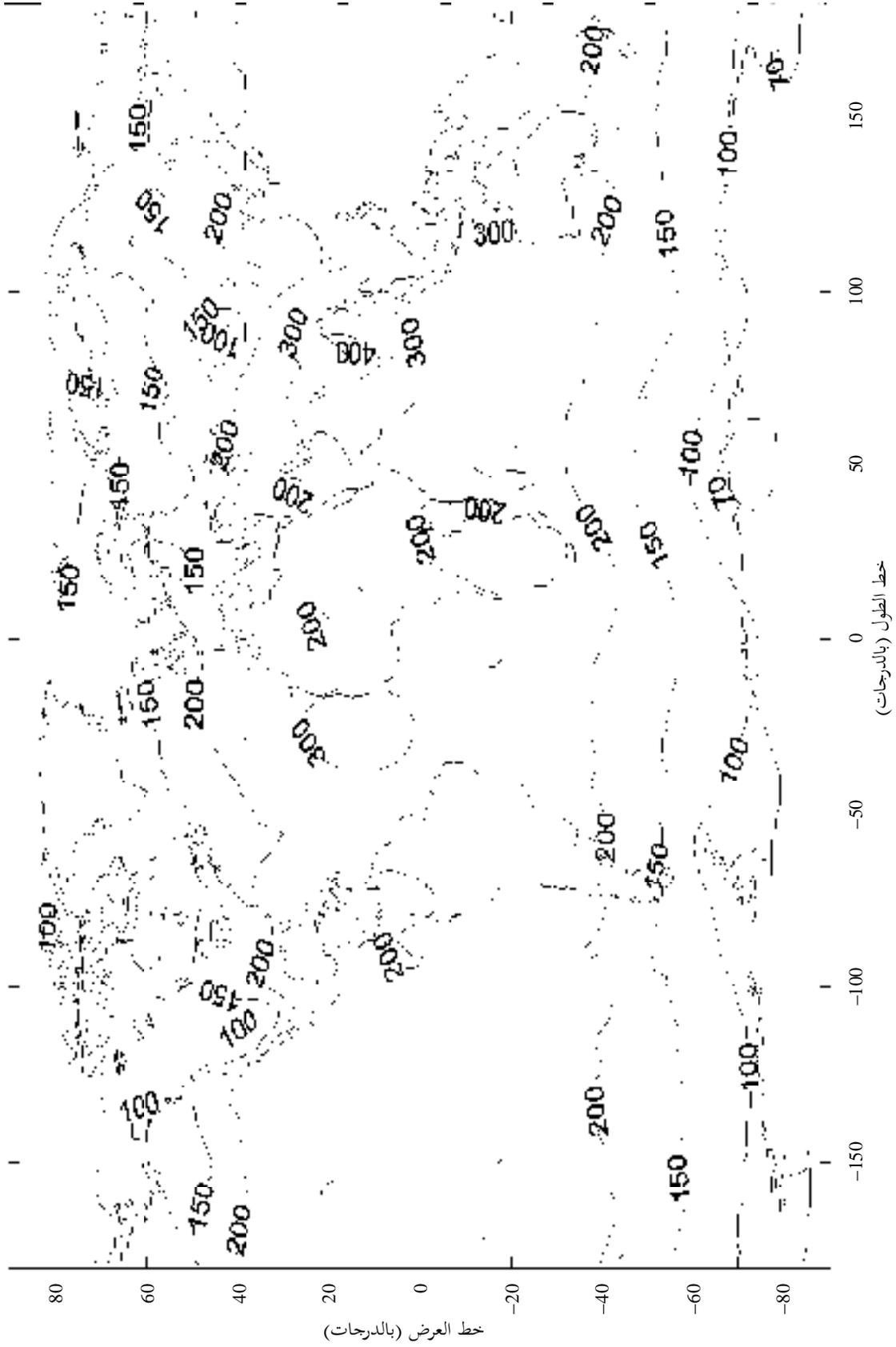
متوسط شدة طبقات الانتشار المرتفعة E_s (وحدات-M) في السنة المتوسطة



الشكل 18

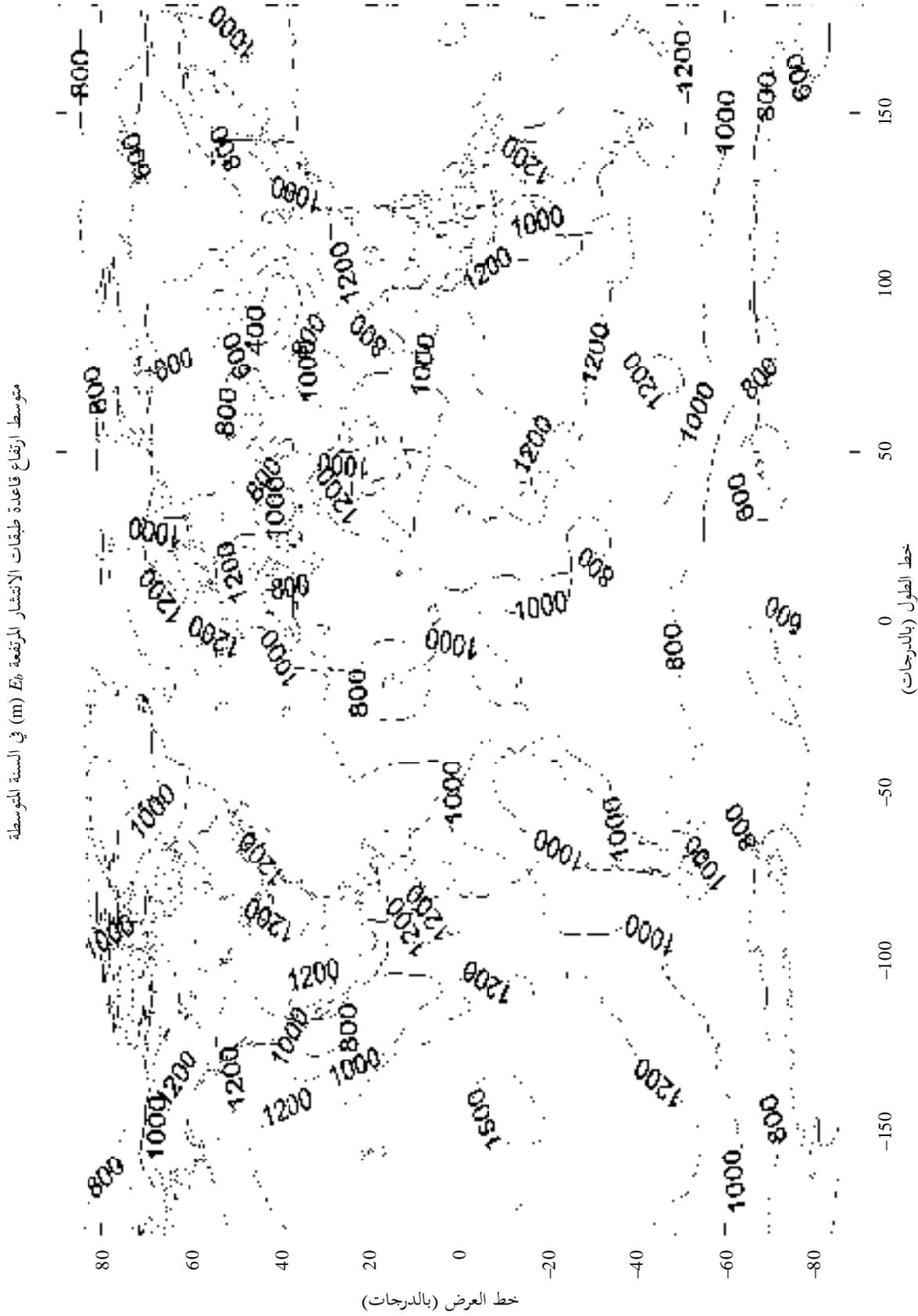
اسم الملف: E_THICKNESS.TXT

متوسط عمق طبقات الانتشار السطحية المرتفعة E_s (m) في السنة المتوسطة



الشكل 19

اسم الملف: E_BASE.TXT



الشكل 20

اسم الملف: E_MAX_M.TXT

متوسط عمق طبقات الانتشار المرتفعة E_m (m) في السنة المتوسطة