

دراسة العلاقة بين زاوية ارتفاع الهوائي والضياع الناتج عن غازات الأتوموسفير للوصلة الهابطة في نظام الاتصال الفضائي

الدكتور هيثم الرضوان*

(قبل للنشر في 6/7/2006)

□ الملخص □

يعتمد البحث على دراسة علاقة توجيه هوائي المحطة الأرضية بالضياع الناتج عن غازات طبقة الأتوموسفير. يتضمن البحث دراسة نظرية عن تأثير غازات الأتوموسفير على شدة الإشارة المستقبلية عند الوصلة الهابطة. تم إجراء نمذجة تطبيقية على الحاسب باستخدام اللغة البرمجية Matlab للحصول على أفضل زاوية ارتفاع لمعالجة الضياع في شدة الإشارة المستقبلية مع الأخذ بعين الاعتبار تغيرات درجة الحرارة وكثافة بخار الماء. تم التوصل إلى نتائج تساعد في اختيار زاوية ارتفاع هوائي الوصلة الهابطة من أجل درجات الحرارة الموجبة والسالبة وذلك من أجل كافة القيم المحتملة لكثافة بخار الماء.

الكلمات المفتاحية:

Elevation angle, atmosphere loss, downlink satellite communication, satellite system's attenuation.

* مدرس في قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

A Study of the Relationship between Antenna Elevation Angle and Downlink Loss Caused by Atmosphere Gases in the Satellite Communication System

Dr. Haytham Al-Radwan*

(Accepted 6/7/2006)

□ ABSTRACT □

This research is a study of the relation between antenna elevation angle and atmosphere loss. The study includes a theoretical analysis of how atmosphere neutral gases affect the downlink of the received signal strength.

A mathematical modeling using Matlab has been applied in order to get optimized elevation angle to process the downlink pass loss, taking the temperature and water vapor density into consideration.

The research comes up with some conclusions that would help in choosing the best suitable elevation angle for downlink of the earth station antenna for all possible values of temperature degrees and water vapor densities.

Keywords: *Elevation angle, atmosphere loss, downlink satellite communication, satellite systems' attenuation.*

*Assistant Professor, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تكتسب الاتصالات الفضائية أهمية بالغة وتستخدم في مجالات كثيرة مثل الاتصالات الهاتفية والتلفزيونية وإرسال المعلومات... الخ.

يتكون نظام الاتصال الفضائي من الوصلة الصاعدة وفيها المحطة الأرضية المرسل، والوصلة الهابطة وفيها المحطة الأرضية المستقبلة، والمقوي الذي يتوضع في الفضاء.

تتعرض الإشارة أثناء سيرها في الفضاء إلى عدة تأثيرات تؤدي إلى تخامد في شدة الإشارة المستقبلة مما يؤثر على جودة الاستقبال ويمكن معالجة هذه الظاهرة بتوجيه الهوائي في المحطة الأرضية المستقبلة بشكل يؤمن كسباً أعلى وتخامداً أقل.

الهدف من البحث:

يهدف من خلال هذه الدراسة إلى تحديد زاوية الارتفاع المثلى في المحطة الأرضية المستقبلة إذ إن توجيه الهوائي دون الأخذ بالاعتبار الضياعات الناتجة عن غازات الأتموسفير يؤدي إلى فقد في شدة الإشارة المستقبلة وعدم دقة في الإشارة المستقبلة على دخل الوصلة الهابطة.

لتحقيق ذلك لابد من دراسة تأثير غازات الأتموسفير على كسب الإشارة المستقبلة وذلك وفق تغير العوامل الجوية كدرجة الحرارة والرطوبة.

طريقة البحث:

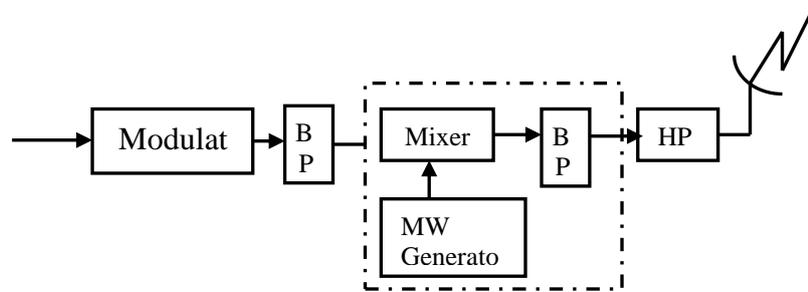
نقوم بهذا البحث بدراسة إحصائية برمجية لتأثير العوامل الجوية على توجيه هوائي الاستقبال وذلك لتأمين إشارة استقبال بضياعات قليلة.

1- نماذج أنظمة الاتصال الفضائي:

يتألف نظام الاتصال الفضائي من الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة والمقوي [1 و 2 و 7].

1-1- الوصلة الصاعدة (UP-Link):

يبين الشكل (1) مخططاً صندوقياً للوصلة الصاعدة وهي تتألف من: مرسل المحطة الأرضية الذي يتألف من معدل على تردد وسيط ومبدل تردد وسيط إلى تردد ميكروي ومضخم استطاعة ومرشح لمجال ترددات الخرج وهوائي الإرسال.

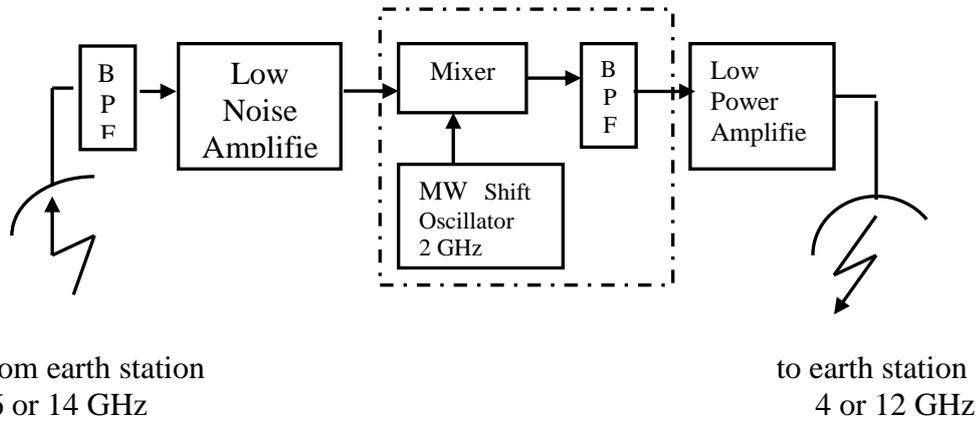


الشكل (1) المخطط الصندوقي للوصلة الصاعدة.

يقوم المعدل بتعديل الإشارة تعديلاً ترددياً أو إقفالاً طورياً PSK أو أحد مشتقاته (QPSK مثلاً) أو تعديلاً مطالياً متعامداً QAM إلى تردد وسيط عن طريق مرشح تمرير الحزمة BPF .
يقوم المبدل الترددي UP-Convertor بتبديل التردد إلى تردد عال راديوي بينما يقوم مضخم الاستطاعة HPA بتقديم الاستطاعة اللازمة لإرسال الإشارة من الهوائي.

2-1- المقوي (Transponder):

يبين الشكل (2) مخططاً صندوقياً للمقوي في الساتل وهو يتألف من مرشح تمرير حزمة (BPF) ومضخم ذو ضجيج منخفض (LNA) ومبدل ترددي (Frequency Translator) ومضخم ذو استطاعة منخفضة (Low Power Amplifier).

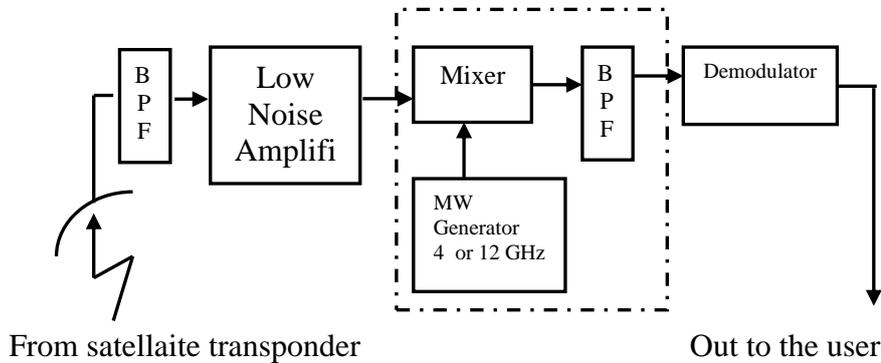


الشكل (2) المخطط الصندوقي للمقوي.

يقوم مرشح تمرير الحزمة بتحديد الضجيج على مدخل المضخم LNA ويؤخذ خرج المضخم إلى دخل المبدل الترددي الذي يحول التردد من التردد الميكروي للوصلة الصاعدة إلى التردد الميكروي للوصلة الهابطة.

3-1- الوصلة الهابطة (Down-Link):

يبين الشكل (3) مخططاً صندوقياً للوصلة الهابطة وهي تتكون من مضخم ضجيج منخفض ومن مبدل إلى تردد وسيط.



الشكل (3) المخطط الصندوقي للوصلة الهابطة.

يحدد مرشح تمرير الحزمة BPF الضجيج على مدخل المضخم ذي الضجيج المنخفض بينما يحول المبدل الترددي (Down converter) التردد إلى تردد متوسط ليتمكن كاشف التعديل من كشف إشارة المعلومات وإيصالها من ثم للمتلقي.

2-دراسة التخماد الناتج بسبب غازات الأتموسفير:

إن السبب الرئيس لهذا النوع من التخماد هو توزيع الاوكسجين وبخار الماء خلال طبقة الأتموسفير [2,3,4] ويمكن تحديد التخماد الكلي المسبب باستخدام درجة الحرارة على سطح الارض وتركيز بخار الماء وتعطي هذه الطريقة التخماد على سطح الارض لأي زاوية ارتفاع.

يتم في هذه الطريقة ايجاد التخميد النوعي المركب V_a وهو عبارة عن التخميد الناتج عن توزيع الاكسجين وبخار الماء.

يتم بعد ذلك ايجاد معامل التخميد الرأسى $A_a(\theta = 90)$.

يعتمد حساب المعاملين السابقين على التردد ويتم حسابهما وفق العلاقتين [2]:

$$V_a = a(f) + b(f) - c(f) \cdot t_0 \quad (1)$$

$$A_a(\theta = 90) = \alpha(f) + \beta(f) \cdot \rho_0 - \eta(f) \cdot t_0 \quad (2)$$

إذ إن:

ρ_0 - تركيز بخار الماء عند مكان محدد على سطح الأرض وواحدة قياسه gm/m^3 .

t_0 - درجة الحرارة عند سطح الأرض.

البارامترات: $[a(f), b(f), c(f), \alpha(f), \beta(f), \eta(f)]$ بارامترات تجريبية وتعتمد على التردد المستخدم في

الوصلة وتؤخذ من جداول خاصة .

إذا كان المطلوب ايجاد المعامل V_0 عند التردد f_0 ، يتم أولاً ايجاد قيمة العامل عند تردد أقل وأعلى من

التردد المطلوب ثم نطبق المعادلة:

$$m = \frac{\log(V_1)}{V_2} \quad (3)$$

$$\log\left(\frac{f_1}{f_2}\right)$$

حيث إن (V_1) و (V_2) قيم مناظرة للتردد (f_1) و (f_2) .

يتم بعد ذلك حساب:

$$B = \log V_2 - m \log f_2 \quad (4)$$

وبعدها يمكن ايجاد قيمة العامل V_0 وفق العلاقة:

$$\log V_0 = m \log f_0 + B \quad (5)$$

يتم بعد ذلك ايجاد مقياس الارتفاع H_a من العلاقة:

$$H_a = \frac{A_a(90)}{v_a(f_0)} \quad (6)$$

تؤثر زاوية الارتفاع على حساب قيمة المعامل $A_a(\theta)$ وهو يحسب وفق تغيرات زاوية ارتفاع هوائي المحطة

الأرضية وفق العلاقات التالية:

$$A_a(\theta) = \frac{H_a A_a(90)}{\sin(\theta)}, \quad \theta > 10 \quad (7)$$

$$A_a(\theta) = \frac{2 H_a A_a(90)}{\sqrt{(\sin(\theta))^2 + \frac{2 H_a(90)}{8500} + \sin(\theta)}}, \quad \theta < 10 \quad (8)$$

$$A_a(\theta) = 130.83 \sqrt{H_a A_a(90)}, \quad \theta = 0 \quad (9)$$

إن أدنى زاوية ارتفاع للهوائي يجب أن تكون 5 درجات [7] ولذلك لن تستخدم العلاقة في حساباتنا.

تم استخدام اللغة البرمجية Matlab [5 و 6] للحصول على العلاقة بين زاوية الارتفاع والضياح الناتج بسبب

غازات طبقة الاتموسفير وذلك مع الأخذ بعين الاعتبار المعادلات من 1-9 وبيين الشكل 10 البرنامج المستخدم. تم

اختبار 7700 عينة وتبين الجداول (1-5) بعض نتائج القياس من أجل كثافة بخار الماء 20% و 40% و 60%

و 80% و 95%. وتبين الأشكال (4-9) بعض المنحنيات البيانية التي توضح العلاقة بين زاوية ارتفاع هوائي الوصلة

الهابطة والضياح الناتج بسبب غازات الأتموسفير وهو يقدر بالديسيبل.

مثال عددي:

بفرض وجود القيم الآتية: درجة الحرارة = 40 درجة، كثافة بخار الماء 60%، زاوية الارتفاع 15 درجة وبفرض

أن التردد يساوي إلى 4GHz.

بالعودة للجداول في [2] وبالتعويض في المعادلة (1) نحصل على قيمة المعامل $v_a = 4.729 \cdot 10^{-3}$.

بالتعويض في المعادلة (2) نحصل على قيمة المعامل $A_a(\theta = 90) = 0.0328256$.

يتم بعد ذلك ايجاد مقياس الارتفاع H_a من العلاقة (6) وبالتعويض نحصل على: $H_a = 6.94134$.

بما أن زاوية الارتفاع تساوي لـ: 15 درجة يتم استخدام المعادلة (7) للحساب وبالتعويض في المعادلة المذكورة

وحسابها بالديسيبل نحصل على: $A_a(\theta) = -0.55dB$

الجدول(3) الضياع الناتج عن غازات الأتموسفير من أجل كثافة بخار الماء 60%(الضياع بالديسيل)

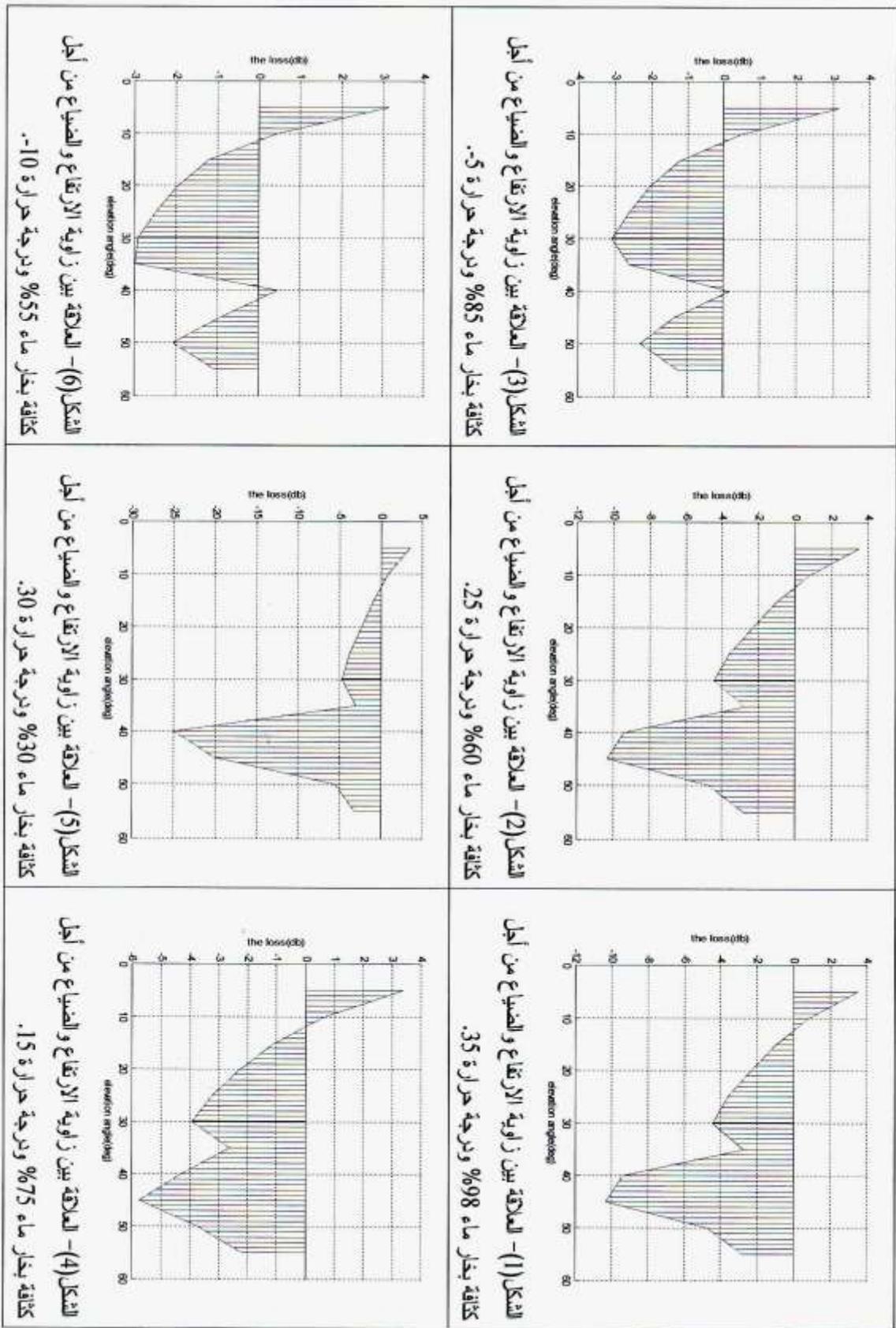
زاوية الارتفاع درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=15$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=20$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=25$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=30$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=35$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=40$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=45$ درجة	زاوية الارتفاع درجة
5	3.3406	3.4048	3.4778	3.5609	3.6554	3.7632	3.8863	5
10	0.6307	0.7001	0.7833	0.8829	1.0019	1.1444	1.3156	10
15	-1.0876	-1.0325	-0.9640	-0.8792	-0.7749	-0.6469	-0.4896	15
20	-2.2704	-2.3163	-2.3545	-2.3828	-2.3983	-2.3969	-3.3733	20
25	-3.2511	-3.4193	-3.5918	-3.7682	-3.9477	-4.1291	-4.3102	25
30	-3.9514	-4.1859	-4.4330	-4.6940	-4.9702	-5.2630	-5.5741	30
35	-2.8217	-2.7924	-2.7606	-2.7261	-2.6888	-2.6485	-2.6049	35
45	-5.0985	-6.9691	-9.4177	-12.9365	-19.1543	-42.0917	-17.7948	45
45	-6.3658	-8.1127	-10.3275	-13.3450	-18.0732	-29.4867	-24.6223	45
50	-3.7958	-4.2357	-4.7230	-5.2689	-5.8886	-6.6044	-7.4495	50
55	-2.2327	-2.5068	-2.7993	-3.1127	-3.4501	-3.8156	-4.2140	55
زاوية الارتفاع درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=20$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=15$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=-10$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=-5$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=0$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=5$ درجة	$A_0(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=10$ درجة	زاوية الارتفاع درجة
5	3.0686	3.0928	3.1211	3.1538	3.1915	3.2348	3.2842	5
10	0.3989	0.4125	0.4312	0.4557	0.4869	0.5256	0.5731	10
15	-1.2286	-1.2268	-1.2203	-1.2084	-1.1902	-1.1649	-1.1311	15
20	-1.8400	-1.9077	-1.9743	-2.0392	-2.1020	-2.1621	-2.2185	20
25	-2.1974	-2.3354	-2.4773	-2.6233	-2.7736	-2.9283	-3.0874	25
30	-2.5820	-2.7537	-2.9324	-3.1185	-3.3127	-3.5157	-3.7283	30
35	-2.9703	-2.9543	-2.9367	-2.9175	-2.8965	-2.8736	-2.8487	35
45	1.9513	1.2748	0.5269	-0.3078	-1.2502	-2.3298	-3.5900	45
45	0.5853	-0.1054	-0.8632	-1.7018	-2.6395	-3.7019	-4.9255	45
50	-1.5407	-1.8008	-2.0772	-2.3719	-2.6876	-3.0274	-3.3951	50
55	-0.6831	-0.8735	-1.0726	-1.2813	-1.5004	-1.7311	-1.9747	55

الجدول (4) الضياح الناتج عن غازات الأتومسفير من أجل كثافة بخار الماء 80%(الضياح بالديسيل)

زاوية الارتفاع درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=15$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=20$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=25$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=30$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=35$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=40$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=45$ درجة	زاوية الارتفاع درجة
5	3.3378	3.4019	3.4748	3.5576	3.6520	3.7595	3.8823	5
10	0.6258	0.6943	0.7766	0.8749	0.9925	1.1333	1.3023	10
15	-1.0943	-1.0409	-0.9743	-0.8919	-0.7905	-0.6659	-0.5129	15
20	-2.2788	-2.3293	-2.3731	-2.4083	-2.4325	-2.4421	-2.4326	20
25	-3.2440	-3.4155	-3.5923	-3.7743	-3.9613	-4.1527	-4.3474	25
30	-3.9337	-4.1694	-4.4184	-4.6819	-4.9618	-5.2600	-5.5789	30
35	-2.6003	-2.5777	-2.5533	-2.5269	-2.4984	-2.4677	-2.4346	35
45	-4.0883	-5.6044	-7.4815	-9.9339	-13.4490	-19.6302	-44.1583	45
45	-5.5530	-7.0126	-8.7854	-11.0383	-14.1220	-19.0072	-31.4759	45
50	-3.7119	-4.6069	-4.6069	-5.1292	-5.7175	-6.3897	-7.1721	50
55	-2.1956	-2.7589	-2.7589	-3.0706	-3.4062	-3.7700	-4.1669	55
زاوية الارتفاع درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=20$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=15$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=10$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=5$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=0$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=5$ درجة	$A_{\sigma}(\theta)$ من أجل درجة حرارة $t=10$ درجة	زاوية الارتفاع درجة
5	3.0666	3.0907	3.1189	3.1515	3.1891	3.2323	3.2816	5
10	0.3975	0.4108	0.4291	0.4532	0.4839	0.5221	0.5689	10
15	-1.2288	-1.2276	-1.2218	-1.2106	-1.1933	-1.1690	-1.1364	15
20	-1.8323	-1.9013	-1.9693	-2.0361	-2.1011	-2.1637	-2.2233	20
25	-2.1806	-2.3191	-2.4618	-2.6087	-2.7603	-2.9165	-3.0777	25
30	-2.5625	-2.7342	-2.9128	-3.0989	-3.2933	-3.4966	-3.7098	30
35	-2.7155	-2.7030	-2.6894	-2.6745	-2.6582	-2.6405	-2.6212	35
45	2.1257	1.5012	0.8168	0.0610	-0.7817	-1.7323	-2.8201	45
45	0.6656	0.0240	-0.6748	-1.4415	-2.2899	-3.2388	-4.3141	45
50	-1.5046	-1.7609	-2.0327	-2.3222	-2.6316	-2.9639	-3.3225	50
55	-0.6548	-0.8442	-1.0422	-1.2497	-1.4676	-1.6970	-1.9391	55

الجدول (5) الضياع الناتج عن غازات الأتوموسفير من أجل كثافة بخار الماء 95% (الضياع بالديسيبل)

زاوية الارتفاع درجة	$A_0(\theta)$ درجة 15	$A_0(\theta)$ درجة 20	$A_0(\theta)$ درجة 25	$A_0(\theta)$ درجة 30	$A_0(\theta)$ درجة 35	$A_0(\theta)$ درجة 40	$A_0(\theta)$ درجة 45
5	3.3358	3.3997	3.4725	3.5552	3.6494	3.7568	3.8799
10	0.6222	0.6901	0.7715	0.8690	0.9855	1.1250	1.2925
15	-1.0992	-1.0971	-0.9819	-0.9012	-0.8019	-0.6799	-0.5300
20	-2.2835	-2.3371	-2.3846	-2.4264	-2.4545	-2.4715	-2.4715
25	-3.2347	-3.4080	-3.5872	-3.7723	-3.9633	-4.1601	-4.3662
30	-3.9149	-4.1508	-4.3999	-4.6639	-4.9447	-5.2444	-5.5657
35	-2.4348	-2.4159	-2.3956	-2.3736	-2.3500	-2.3245	-2.2972
45	-3.4521	-4.7793	-6.3765	-8.3742	-11.0285	-14.9605	-22.5674
45	-5.0275	-6.3268	-7.8689	-9.7624	-12.2106	-15.6674	-21.5670
50	-3.6425	-4.0574	-4.5131	-5.0179	-5.5833	-6.2248	-6.9644
55	-2.1672	-2.4333	-2.7219	-3.0310	-3.3639	-3.7243	-4.1174
زاوية الارتفاع درجة	$A_0(\theta)$ درجة 10	$A_0(\theta)$ درجة 15	$A_0(\theta)$ درجة 20	$A_0(\theta)$ درجة 25	$A_0(\theta)$ درجة 30	$A_0(\theta)$ درجة 35	$A_0(\theta)$ درجة 40
5	3.0651	3.0891	3.1172	3.1498	3.1873	3.2304	3.2796
10	0.3965	0.4095	0.4276	0.4514	0.4817	0.5159	0.5658
15	-1.2288	-1.2281	-1.2228	-1.2122	-1.1965	-1.1720	-1.1403
20	-1.8259	-1.8958	-1.9649	-2.0399	-2.0993	-2.1637	-2.2254
25	-2.1664	2.3051	-2.4481	-2.5956	-2.7477	-2.9048	-3.0670
30	-2.5456	-2.7168	-2.8951	-3.0810	-3.2751	-3.4782	-3.6911
35	-2.5309	-2.5205	-2.5092	-2.4967	-2.4831	-2.4782	-2.4522
45	2.2599	1.6696	-1.0264	-0.3206	-0.4602	-1.3325	-2.3191
45	0.7395	0.1304	-0.5298	-1.2501	-2.0419	-2.9204	-3.9061
50	-1.4734	-1.7265	-1.9947	-2.2799	-2.5843	-2.9105	-3.2619
55	-0.6312	-0.8196	-1.0165	-1.2229	-1.4395	-1.6674	-1.9086



```

%tishreen univ
%attenuation
%this program was written&design by
%Dr. Hayisam
hold on
for r=1:1,
freq=[1 4 6 12 15 16 20 22 24 30 35]*10^9;
a=[0.00588 0.00802 0.00824 0.00898 0.00953 0.00957 0.0125 0.0181 0.0162 0.0179 0.0264];
b=[0.0000178 0.000141 0.0003 0.00137 0.00269 0.00345 0.0125 0.0221 0.0203 0.01 0.0101];
c=[0.0000517 0.000085 0.0000859 0.000108 0.000125 0.000133 0.000101 0.000129 0.0000563
0.00028 0.000369];
beta=[0.00000276 0.000276 0.000561 0.00318 0.00634 0.00821 0.0346 0.0783 0.0591 0.0237
0.0237];
elfa=[0.0334 0.0397 0.0404 0.0436 0.0461 0.0472 0.0560 0.0760 0.0961 0.0851 0.123];
eta=[0.000112 0.000176 0.000169 0.000315 0.000455 0.000536 0.000155 0.00310 0.00250
0.00133 0.00149];
den=input('density of vapor=');
t=input('temperature degree');
mu=a+b*den-c*t;
ar=elfa+beta*den-eta*t;
ha=ar./mu;
the=5:5:55;
theta=(5:5:55)*pi/180;
i=max(size(theta));
for n=1:I;
if theta(n)<10,
atten(n)=((2*ha(n)*ar(n))/(sqrt(sin(theta(n))^2+(2*ha(n)/8500))+sin(theta(n)))));
else
atten(n)=(ha(n)*ar(n))/(sin(theta)) ;
end
end
x=the
y=10*log10(atten);
x1=5:1:55;
y1=interp1(x,y,x1);
bar(x1,y1,0.1);
shg
pause
plot(x,y)
grid
xlabel('elevation angle(deg)');
shg(ylabel('attenuation(db)');
end

```

الشكل (10) برنامج بلغة الـ Matlab لحساب التخماد الناتج عن غازات الأتموسفير.

النتائج:

- بناءً على النتائج الرقمية التي تم الحصول عليها والموضحة بالجداول (1-5) والمنحنيات البيانية الموضحة بالأشكال (4-9) يلاحظ مايلي:
- 1- إن قيمة الضياع الأعظمي من أجل أي قيمة لكثافة بخار الماء تتزايد مع تزايد درجة الحرارة فعلى سبيل المثال وكما هو واضح من الجدول (3) من أجل كثافة بخار ماء 60% وزاوية ارتفاع هوائي 30 درجة تبلغ قيمة الضياع 5.57411db عند درجة حرارة 45 درجة مئوية وتبلغ 4.4330db عند درجة حرارة 25 درجة مئوية وتبلغ 2.9324 db عند درجة حرارة 10- درجة مئوية.
 - 2- يتضح من الجداول والمنحنيات البيانية أن القيمة الأعظمية للضياع في الإشارة المستقبلية تكون عند زاوية ارتفاع هوائي مساوية لخمس درجات، وذلك من أجل أي قيمة لكثافة بخار الماء وأي قيمة لدرجة الحرارة مما يعني عدم امكانية معالجة الضياع الناتج عن غازات الاتموسفير عند زاوية ارتفاع 5 درجات.
 - 3- في حالة كون درجة الحرارة موجبة فإن أفضل زاوية ارتفاع هي 45 درجة في حالة كون كثافة بخار الماء أعلى من 55% و 40 درجة في حالة كونها أقل من ذلك نظراً لأن قيمة الضياع المسببة بغازات الاتموسفير تكون أقل مايمكن أما في حالة كونها سالبة فإن الزاوية الانسب هي 30 درجة.
 - 4- يجب مراعاة توجيه الهوائي عند المحطة الأرضية واختيارها بحيث يكون الضياع قليلاً ولا يؤثر على استقبال الإشارة.

المراجع

- 1- RICHARIA, M.- *Satellite communication systems design principles*, Macmillan new electronic services, 1995. 440p.
- 2- TRI, T.Ha. - *Digital satellite communication*, second edition, 1990. 641p.
- 3- MARTIN, J. - *Manual of satellite communication*, Mcgra whill, 1984.
- 4- *Hand book of satellite telecommunications and broadcasting*, Artech house;1987
- 5- MARTIN, S. Roden; *Analog and Digital Communication Systems*, 4th Edition, 1996. 560p.
- 6- Matlab 5.3 دليل الاستخدام والبرمجة؛ الدكتور المهندس ابراهيم الحكيم، دار شعاع، 2000. 541 ص.
- 7- أنظمة الاتصالات الإلكترونية المتقدمة، ترجمة د. عمر شابسيغ، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، 1994. 430 صفحة.