

Performance of Broadcast Satellite System Receiver Earth Stations(BSS-ES) Using Ka-band under Effect of Interference from Terrestrial Communication Towers which Operating in the Same Frequency Band in the Syrian Arab Republic

Suhad Ghanem Halloum*

(Received 18 / 1 / 2023. Accepted 1 / 3 / 2023)

□ ABSTRACT □

The research includes a study of the performance of BSS-ES that operate within the ka-band in the Syrian Arab Republic when the satellite downlink is affected by interference from the signals of the terrestrial communications towers and fixed terrestrial stations operating within the same band, The research presents a study of the worst case scenario of the working conditions of the satellite receiving stations by analyzing their performance under the influence of rainy climatic conditions, which greatly affect the quality of the satellite link, especially in the Ka-band BSS, The research includes a study of CNIR, which expresses the carrier To the noise plus interference ratio ,and presented results that help in choosing the height and diameters of the antennas used in the Ka-band BSS receiver stations, according to its geographical location and climatic conditions in order to ensure the quality of the received signal within the required limits.

Keywords: BSS-Ka, interference of satellite link ,DBS , CINR, rain attenuation in satellite systems.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Work Supervisor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

دراسة أداء محطات استقبال البث الفضائي (BSS-ES) العاملة بالنطاق الترددي Ka والخاضعة لتأثير التداخل الناتج عن أبراج الاتصالات الأرضية العاملة بنفس النطاق الترددي على أراضي الجمهورية العربية السورية

سهاد غانم حلوم*

(تاريخ الإيداع 18 / 1 / 2023. قُبِلَ للنشر في 1 / 3 / 2023)

□ ملخص □

يتضمن البحث دراسة أداء محطات استقبال البث الفضائي (BSS-ES) والتي تعمل ضمن النطاق الترددي-Ka (Ka band Broadcast satellite system-Earth station) على أراضي الجمهورية العربية السورية وذلك عندما تخضع الوصلة الفضائية الهابطة من القمر الصناعي (down link) باتجاه تلك المحطات للتداخل مع إشارات الأبراج والمحطات الأرضية الثابتة العاملة ضمن نفس النطاق الترددي ، يقدم البحث دراسة السيناريو الأسوأ لظروف عمل محطات الاستقبال البث الفضائي من خلال تحليل أداء الوصلة الفضائية الهابطة تحت تأثير الظروف المناخية الماطرة والتي تؤثر بشكل كبير على جودتها وخصوصاً في المحطات المستقبلية للبث الفضائي العاملة ضمن النطاق الترددي Ka، قدم البحث دراسة وتحليل للمعامل CNIR والذي يعبر عن نسبة استطاعة الحامل إلى مجموع استطاعتي الضجيج والتداخل في الوصلة الفضائية الهابطة ، وتوصل لنتائج تساعد في اختيار ارتفاع وقطر الهوائيات المستخدمة في المحطات الأرضية المستقبلية للبث الفضائي وذلك حسب موقعها الجغرافي والظروف المناخية المؤثرة عليها ضمن أراضي الجمهورية العربية السورية لضمان أن تكون جودة الإشارة المستقبلية ضمن الحدود المطلوبة في المحطة المستقبلية للبث الفضائي.

الكلمات المفتاحية: نظام البث الفضائي العامل بالنطاق الترددي Ka ، تأثير التداخل الناتج عن العوائق المحلية على الوصلة الفضائية، المحطات الأرضية المستقبلية للبث الفضائي ، تأثير الأمطار على أداء الوصلات الفضائية، نسبة استطاعة الحامل إلى مجموع استطاعتي الضجيج والتداخل لوصلة فضائية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* مشرف على الاعمال - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

نتيجة التطور المستمر لتقنيات الاتصال عبر الأقمار الصناعية و نفاذ الترددات العاملة في النطاقين التردديين C و Ku تم استخدام الأجيال الجديدة من الأقمار الصناعية الشبه ثابتة GEO (Geostationary Orbit) التي تعمل ضمن النطاقين التردديين K و Ka والذان دمجا في الاتصالات الفضائية ضمن نطاق ترددي واحد تحت اسم النطاق الترددي Ka [1]، يركز البحث على نظام البث الفضائي الذي يعمل ضمن النطاق الترددي (BSS-Ka) من التردد (21.4 GHz) إلى التردد (22 GHz) [2]، حيث قدم النطاق الترددي الجديد Ka عرض مجال ترددي أكبر وبالتالي معدلات إرسال أعلى لكنها بالمقابل أصبحت الإشارة أكثر تأثراً بالتخميد الناتج عن العوامل الجوية والعوامل البيئية الطبيعية وغير الطبيعية وأيضاً أكثر عرضة للتداخل مع إشارات أبراج الاتصالات الأرضية التي تعمل ضمن نفس النطاق، لذلك وجب دراسة كل العوامل المؤثرة على الوصلة الفضائية العاملة ضمن النطاق الترددي Ka بشكل دقيق للحفاظ على جودة إشارة ضمن الحدود المقبولة في المحطة المستقبلية للوصلة الفضائية الهابطة .

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقديم تقييم دقيق لأداء محطات استقبال البث الفضائي العاملة بالنطاق الترددي Ka على أراضي الجمهورية العربية السورية وذلك من خلال دراسة المعامل CNIR للوصلة الفضائية الهابطة والذي يعد من أهم المعايير المحددة لجودة الوصلة الفضائية المستقبلية والتي تعرضت لكل من التداخل مع إشارات الأبراج الأرضية القريبة والضجيج الموجود على كامل مسار تلك الوصلة، تمت دراسة المعامل CNIR في كل من الأجواء الصافية (clear sky) والأجواء الماطرة (rain) للتوصل إلى نتائج تحدد قيم هذا المعامل تبعاً للموقع الجغرافي المناخي للمحطة الأرضية المستقبلية للبث الفضائي وموقعها بالنسبة للعوائق المحلية التي تسبب إنعراج (diffraction) إشارات أبراج الاتصالات الأرضية المسببة للتداخل مع الوصلة الفضائية الهابطة كما قدم البحث معايير لتحديد أبعاد وارتفاع الهوائيات المستخدمة بالمحطات الأرضية المستقبلية للبث الفضائي من أجل ضمان جودة الوصلة الفضائية الهابطة ضمن الحدود المقبولة في تلك المحطات.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على افتراض السيناريو الأسوأ من حيث العوامل المؤثرة على أداء المحطات الأرضية المستقبلية للبث الفضائي والعاملة ضمن النطاق الترددي Ka على أراضي الجمهورية العربية السورية. افترض البحث أن تلك المحطات سوف تستقبل البث عبر الوصلة الفضائية الهابطة من القمر الصناعي عربسات بدر7 العامل بنظام (BSS-Ka) والذي يؤمن التغطية اللازمة للجمهورية العربية السورية كما هو موضح بمخطط التغطية الخاص به [3] ، تم الافتراض بأن الوصلة الفضائية الهابطة من القمر الصناعي عربسات بدر7 تخضع للتداخل مع الإشارات الصادرة عن الأبراج الأرضية التي تعمل ضمن نفس النطاق الترددي بحيث يتم التداخل نتيجة انعراج تلك الإشارات الأرضية عن العوائق المحلية المحيطة بالمحطة الأرضية المستقبلية للبث الفضائي لتصل إلى هوائي تلك المحطة وتتداخل مع الوصلة الفضائية الهابطة [4] ، كما أخذ بالحسبان أيضاً تأثير الأجواء الماطرة على الوصلة الفضائية الهابطة وذلك تبعاً للموقع

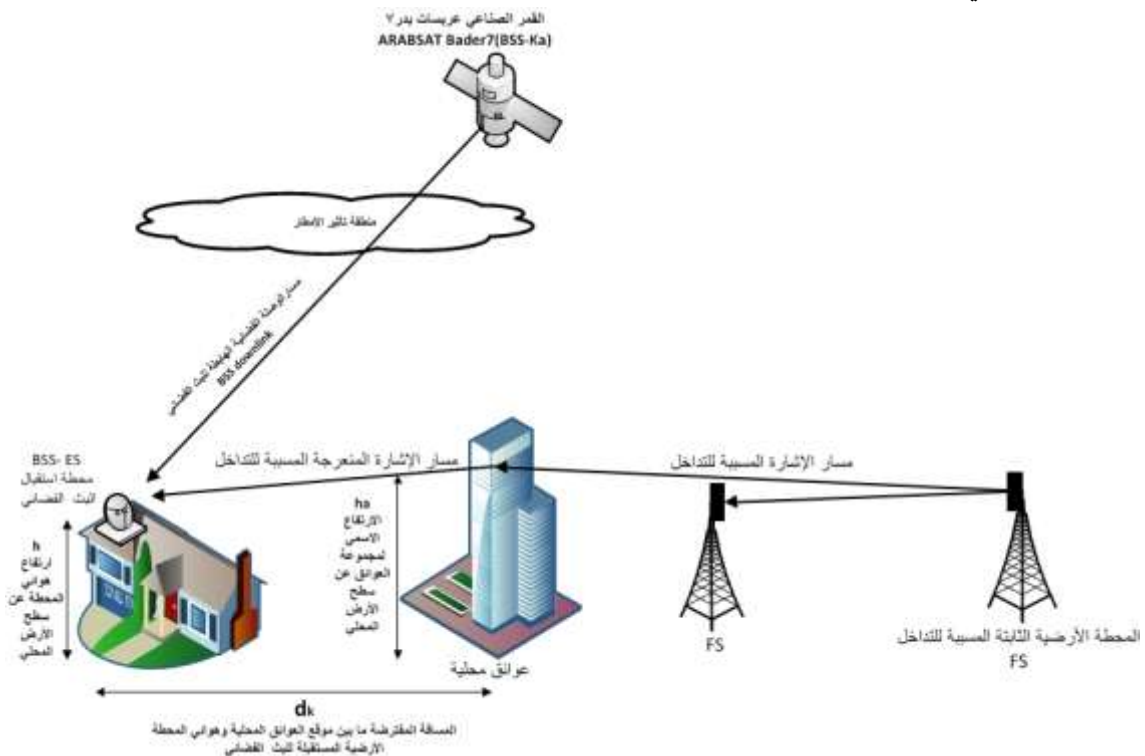
الجغرافي للمحطة الأرضية المستقبلية للبت الفضائي ضمن خرائط التوزع المناخي الموضوعة حسب توصيات قسم الاتصالات الراديوية التابع لاتحاد الاتصالات الدولي ITU-R، يوضح الشكل(1) السيناريو المقترض.

ولتقييم أداء المحطة المستقبلية للبت الفضائي(BSS-ES) تم الاعتماد على المعامل CNIR والذي يعبر عن نسبة استطاعة الحامل إلى مجموع استطاتي الضجيج والتداخل ويعطى بالعلاقة (1) [5] :

$$CNIR_{[dB]} = -10 \log \left(10^{\frac{-CNR_{[dB]}}{10}} + 10^{\frac{-CIR_{[dB]}}{10}} \right) \quad (1)$$

إذ أن: CNR : هي قيمة نسبة استطاعة الحامل إلى استطاعة الضجيج مقدر بالديسيبل [dB].

CIR : هي قيمة نسبة استطاعة الحامل إلى استطاعة التداخل مقدر بالديسيبل [dB].



الشكل(1) السيناريو المقترض لتحليل أداء الوصلة الفضائية الهابطة باتجاه المحطة المستقبلية للبت الفضائي BSS-ES

يقدم البحث تحليلاً رياضياً بيانياً باستخدام برنامج الماتلاب لقيم المعامل CNIR لتقييم أداء محطات BSS-ES في حالتها الجوية الصافية والأجواء الماطرة عند معدلات هطول مطري مختلفة تبعاً لنسب مئوية مطلوبة من الوقت لا يمكن تجاوزها لفقدان الاتصال ما بين القمر الصناعي والمحطة الأرضية المستقبلية للبت الفضائي من جهة ، ومن جهة أخرى تبعاً للموقع الجغرافي للمحطة الأرضية المستقبلية للبت الفضائي بالاعتماد على توصيات الاتحاد الدولي للاتصالات الذي حدد توزيع أراضي الجمهورية العربية السورية على منطقتين مناخيتين هما E و K [6]، لذلك افترض السيناريو المدروس دراسة وتحليل أداء محطتي استقبال بث فضائي الأولى في المنطقة المناخية E والمتمثلة بالعاصمة دمشق والثانية بالمنطقة المناخية K والمتمثلة بمدينة اللاذقية .

1- حساب CNIR في المحطة BSS-ES في حالة الأجواء الصافية: لحساب CNIR يجب حساب المعاملات الميمنة بالعلافة(1).

1-1 حساب CNR في حالة الأجواء الصافية:

تعطى العلاقة التي تعبر عن نسبة استطاعة الحامل إلى استطاعة الضجيج في الأجواء الصافية كما هو مبين بالعلاقة(2) [8],[7]:

$$CNR_{clear\ sky}[dB] = P_{r\ clear\ sky}[dBw] - N_{clear\ sky}[dBw] \quad (2)$$

إذ أن:

$P_{r\ clear\ sky}$: تعبر عن قيمة الاستطاعة المستقبلية بالمحطة BSS-ES مقدره بالديسيبل واط في الأجواء الصافية.

$N_{clear\ sky}$: استطاعة الضجيج بالمحطة المستقبلية BSS-ES مقدره بالديسيبل واط في الأجواء الصافية.

1-1-1 حساب الاستطاعة المستقبلية بالمحطة BSS-ES في الأجواء الصافية:

تعطى الاستطاعة المستقبلية $P_{r\ clear\ sky}$ في الأجواء الصافية مقدره بـ [dB] بالعلاقة (3) [8],[7]:

$$P_{r\ clear\ sky}[dBw] = EIRP_{sat}[dBw] + G_r[dBi] - L_{clear\ sky}[dB] \quad (3)$$

إذ أن: $EIRP_{sat}$: الاستطاعة المشعة الإيزوتروبية للقمر الصناعي باتجاه المحطة BSS-ES مقدره بـ [dBw].

G_r : ربح هوائي الاستقبال للمحطة BSS-ES مقدرًا بـ [dBi] ويعطى بالعلاقة (4) [8],[7].

$L_{clear\ sky}$: الضياعات الناتجة عن التخميد (attenuation) للوصلة الفضائية الهابطة في الأجواء الصافية مقدره بـ

[dB] وموضحة بالعلاقة(5) [4].

$$G_r[dBi] = 10 \log(\mu) + 20 \log(f_{[GHZ]}) + 20 \log(d_{[m]}) + 20.4 \quad (4)$$

إذ أن: μ : فاعلية هوائي الاستقبال في المحطة BSS-ES.

f : التردد العامل للوصلة الفضائية الهابطة مقدرًا بـ [GHZ].

d : قطر هوائي الاستقبال في المحطة BSS-ES مقدرًا بـ [m].

$$L_{clear\ sky}[dB] = L_p[dB] + L_{inter}[dB] \quad (5)$$

إذ أن: L_p : ضياع تخميد المسار الحر الذي تتعرض له الوصلة الفضائية الهابطة مقدره بـ [dB] وموضحة

بالعلاقة(6) [8],[7].

L_{inter} : ضياع التخميد الناتج عن تداخل إشارة الأبراج الأرضية المنعرجة عن العوائق المحلية باتجاه المحطة BSS-

ES مع الوصلة الفضائية الهابطة مقدره بـ [dB] وتعطى بالعلاقة(7) [4].

$$L_p[dB] = 20 \log(D_{[km]}) + 20 \log(f_{[GHZ]}) + 92.5 \quad (6)$$

إذ أن: D : المسافة ما بين القمر الصناعي والمحطة BSS-ES مقدره بـ [km] وموضحة بالعلاقة(9) [8].

f : التردد العامل للوصلة الفضائية الهابطة مقدرًا بـ [GHZ].

$$L_{inter}[dB] = 10.25 \times F_{fc} \times e^{-d_k} \{1 - \tanh[6 \left(\frac{h}{h_a} - 0.625 \right)]\} - 0.33 \quad (7)$$

إذ أن [4]:

d_k : المسافة ما بين المحطة BSS-ES والموقع الإسمي للعوائق المحلية مقدرًا بـ [km] كما هو موضح بالشكل(1).

h : ارتفاع هوائي الاستقبال للمحطة BSS-ES عن سطح الأرض مقدرًا بـ [m] كما هو موضح بالشكل(1).

h_a : ارتفاع العوائق المحلية عن سطح الأرض مقدرًا بـ [m] كما هو موضح أيضاً بالشكل(1).

F_{fc} : ثابت يتعلق بقيمة التردد العامل f ويعطى بالعلاقة (8) [4]:

$$F_{fc} = 0.25 + \{0.37[1 + \tan 7.5(f - 0.5)]\} \quad (8)$$

حيث يقدر التردد f بـ [GHZ].

$$D_{[km]} = \sqrt{[r^2 + s^2 - 2 \times r \times s \times \cos(c)]} \quad (9)$$

إذ إن: r : نصف قطر الأرض عند خط الاستواء ويساوي (6378.13 km) [7],[8].

s : نصف قطر مدار القمر الصناعي المتزامن (GEO-Sat) ويساوي (42164.17 km) [7],[8].

يمكن كتابة العلاقة (9) المعبرة عن بعد القمر الصناعي عن المحطة BSS-ES كما هو موضح بالعلاقة (10):

$$D_{[km]} = s \sqrt{1 + \frac{r}{s} - 2 \times \frac{r}{s} \cos c} \quad (10)$$

بالاستفادة من قيم r, s وتعويضهم بالعلاقة (10) نحصل على العلاقة التالية:

$$D_{[km]} = 42164.17 \sqrt{(1.02288235 - 0.03253825 \cos(c))} \quad (11)$$

حيث:

$$c = \cos^{-1}[\cos x_1 \times \cos(x_2 - x_3)] \quad (12)$$

إذ أن: x_1 : خط عرض المحطة BSS-ES مقدراً بالدرجات.

x_2 : خط طول المحطة BSS-ES مقدراً بالدرجات.

x_3 : خط طول القمر الصناعي مقدراً بالدرجات.

1-1-2 حساب استطاعة الضجيج في المحطة المستقبلية BSS-ES في الأجواء الصافية:

تعطى العلاقة التي تعبر عن استطاعة الضجيج في المحطة BSS-ES بالعلاقة (13) [8]:

$$N_{[dBw]} = 10 \log(T_t) + 10 \log(Bw) - 228.6 \quad (13)$$

إذ أن: T_t : درجة حرارة الضجيج الكلية مقدرة بالكلفن [K] بالأجواء الصافية موضحة بالعلاقة (14) [9],[10].

Bw : عرض الحزمة الترددية للإشارة المستقبلية مقدرة بـ [HZ].

$$T_t = T_{clear sky} + T_{Rx} + T_{other} \quad (14)$$

حيث: $T_{clear sky}$: درجة حرارة الضجيج للسماء الصافية مقدراً بالكلفن [K] وتعطى بالعلاقة (15) [9],[10].

T_{Rx} : درجة حرارة الضجيج الناتجة عن تجهيزات المحطة BSS-ES مقدرة بالكلفن [K] [8].

T_{other} : درجة حرارة الضجيج الناتجة عن مصادر مختلفة مقدرة بالكلفن [K] وتعطى بالعلاقة (17) [9],[10].

$$T_{clear sky} = T_{CMB} = 2.7 \left(\frac{t}{e^{-t} - 1} \right) \quad (15)$$

إذ أن: T_{CMB} : هي درجة حرارة الضجيج الكوني (cosmic background noise) مقدرة بالكلفن [K]. حيث:

$$t = \frac{h \times f}{2.7 \times k} \quad (16)$$

إذ أن: h : ثابت بلانك ويساوي $6.626 \cdot 10^{-34}$ [J/S].

k : ثابت بلوتزمان ويساوي $1.38 \cdot 10^{-24}$ [J/K].

f : التردد العامل مقدراً بـ [HZ].

$$T_{other} = T_{sp} + T_{SL} + T_{interf} \quad (17)$$

إذ أن: T_{sp} : درجة حرارة الضجيج الناتجة عن الإشعاع الأرضي ويكون ناتج عن الأرض والهوائي وممتد على خط

النظر حول عاكس الهوائي وبالعادة قيمتها ثابتة ضمن النطاق الترددي Ka وهي بحدود [K] (6) [11].

T_{SL} : درجة حرارة الضجيج الناتجة عن الحزم الجانبية لمخطط الإشعاع للهوائي (side lobe of the antenna) وتكون بالعادة قيمتها ثابتة ضمن النطاق الترددي Ka وهي بحدود (3 [K]) [11].

T_{interf} : درجة حرارة الضجيج الناتجة عن التداخل الناتج عن أنظمة الاتصال القريبة وعادة ما تكون أكبر قيمة لها ضمن النطاق الترددي Ka بحدود (7 [k]) [11].

2-1 حساب CIR في الأجواء الصافية:

تعطى العلاقة التي تعبر عن نسبة استطاعة الحامل إلى استطاعة التداخل في الأجواء الصافية كما هو مبين بالعلاقة (18) [7],[8]:

$$CIR_{clear\ sky}[dB] = P_{r\ clear\ sky}[dBw] - I_{r\ clear\ sky}[dBw] \quad (18)$$

إذ أن: $P_{r\ clear\ sky}[dBw]$: الاستطاعة المستقبلية بالمحطة BSS-ES بالأجواء الصافية ومعطاة بالعلاقة (3).
 $I_{r\ clear\ sky}[dBw]$: استطاعة الإشارة المنعرجة عن العوائق المحلية والمسببة للتداخل مع الوصلة الفضائية الهابطة عند هوائي المحطة BSS-ES مقدر بـ [dBw] وتعطى بالعلاقة (19) [7],[8]:

$$I_{r\ clear\ sky}[dBw] = EIRP_{FS}[dBw] + G_r[dBi] - L_{PI}[dB] \quad (19)$$

إذ أن: $EIRP_{FS}$: الاستطاعة المشعة الإيزوتروبية لبرج الاتصالات الأرضي المسبب للتداخل باتجاه المحطة BSS-ES مقدر بـ [dBw].

G_r : ربح هوائي الاستقبال للمحطة BSS-ES مقدر بـ [dBi] معطى بالعلاقة (4).

L_{PI} : ضياع تخميد المسار الحر الذي تتعرض له إشارة التداخل مقدر بـ [dB] وموضحة بالعلاقة (20) [7],[8]:

$$L_{p}[dB] = 20 \log(d_k[km]) + 20 \log(f_{[GHZ]}) + 92.5 \quad (20)$$

إذ أن: d_k : المسافة ما بين المحطة BSS-ES والعوائق المحلية مقدر بـ [km]. وذلك بافتراض الحالة الأسوأ وهي اعتبار مصدر إشارة التداخل هي العوائق المحلية القريبة [4].

f : التردد العامل مقدر بـ [GHZ].

وبالتالي بتعويض ناتج العلاقتين (2) و(18) في العلاقة (1) سوف نحصل على قيمة CNIR في المحطة BSS-ES وذلك بالأجواء الصافية.

2- حساب CNIR في المحطة BSS-ES في الأجواء الماطرة:

1-2 حساب CNR في الأجواء الماطرة:

تعطى العلاقة التي تعبر عن نسبة استطاعة الحامل إلى استطاعة الضجيج في الأجواء الماطرة كما هو مبين بالعلاقة (21) [7],[8]:

$$CNR_{rain}[dB] = P_{r\ rain}[dBw] - N_{rain}[dBw] \quad (21)$$

وبالتالي يجب حساب استطاعة الإشارة المستقبلية واستطاعة الضجيج بالمحطة BSS-ES خلال الأجواء الماطرة.

2-1-1 حساب الاستطاعة المستقبلية بالمحطة BSS-ES في الأجواء الماطرة:

تعطى الاستطاعة المستقبلية $P_{r\ rain}$ مقدر بـ [dBw] بالعلاقة (22) [7],[8]:

$$P_{r\ rain}[dBw] = EIRP_{sat}[dBw] + G_r[dBi] - L_{rain}[dB] \quad (22)$$

بالمقارنة مع العلاقة (3) ما يختلف فقط هو مقدار الضياعات الناتجة عن التخميد في الأجواء الماطرة والتي تعطى بالعلاقة (23) [7],[8]:

$$L_{rain}[dB] = L_p[dB] + L_{inter}[dB] + L_r[dB] \quad (23)$$

بالمقارنة مع العلاقة (5) فقد ازدادت تلك القيمة للضباغات بمقدار L_r والذي يمثل مقدار الضباغات الناتجة عن التخمين الحاصل لوصلة الفضائية الهابطة نتيجة هطول الأمطار ويعطى بالعلاقة (24) [12] :

$$L_r[dB] = \gamma_{R[\frac{dB}{km}]} \times D_{rain}[km] \quad (24)$$

إذ أن: γ_R : مقدار التخمين الناتج عن الهطول المطري مقدراً بـ [dB/km] ويعطى بالعلاقة (25) [12] .

D_{rain} : طول المسار التي تتعرض ضمنه الإشارة لتأثير هطول الأمطار مقدراً بـ [km] ويعطى بالعلاقة (26).

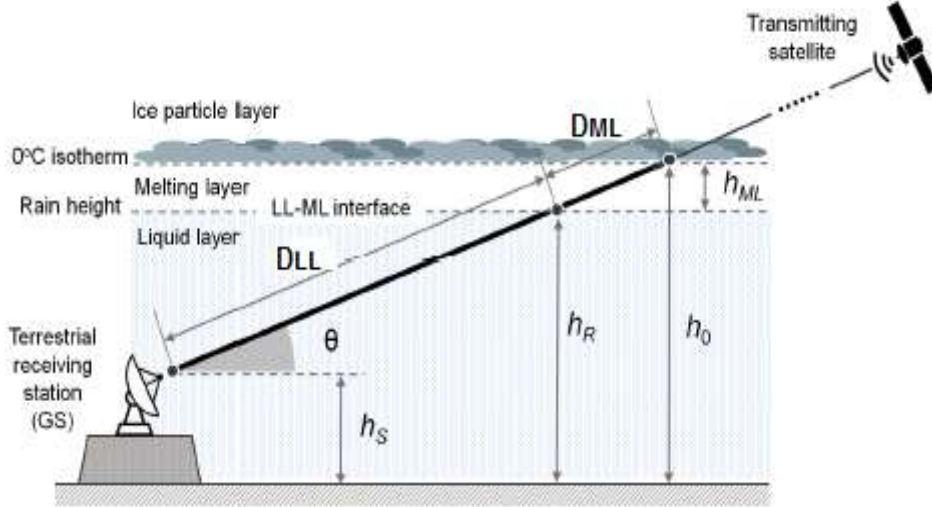
$$\gamma_{R[\frac{dB}{km}]} = k \times (R_p)^\alpha \quad (25)$$

إذ أن: k و α هما معاملان مرتبطان بقيمة التردد العامل و نوع استقطاب الإشارة (أفقي-عمودي) ويعطيان بجدول خاصة حسب توصيات اتحاد الاتصال الدولي ITU-R [12] .

R_p : كمية الهطول المطري مقدرة بـ [mm/hr] وذلك عند نسبة مئوية p من الوقت التي يمكن أن تتجاوز فيها كمية الهطول المطري الكمية المحددة وبالتالي التسبب بفقدان الاتصال ما بين القمر الصناعي والمحطة الأرضية المستقبلية للبت الفضائي نتيجة الامطار. قيمة (R_p) مرتبطة بالموقع الجغرافي للمحطة المستقبلية BSS-ES وفق خرائط المناطق المناخية الموضوعة وفق توصيات اتحاد الاتصالات الدولي ITU-R [6] .

• حساب طول المسار الذي تتعرض ضمنه الإشارة لتأثير هطول الأمطار D_{rain} :

يمكن تمثيل مسار الوصلة الفضائية الهابطة من القمر الصناعي باتجاه المحطة BSS-ES والخاضعة لتأثير الهطول المطري بالشكل (2):



الشكل (2) مسار الوصلة الفضائية الهابطة من القمر الصناعي باتجاه المحطة BSS-ES والخاضعة لتأثير الهطول المطري

يوضح الشكل (2) أن مسار الوصلة الفضائية سوف يمر عبر ثلاث طبقات:

- 1- الطبقة المتجمدة (Ice laye) ذات الارتفاع h_0 عن سطح البحر وتكون فيها حبات المطر عبارة عن جليد.
- 2- الطبقة السائلة (Liquid layer) ذات الارتفاع h_R عن سطح البحر وتكون فيها حبات المطر عبارة عن سائل ويكون طول المسار للوصلة الفضائية خلاله D_{LL} .
- 3- طبقة الذوبان (Melting layer) وهي الطبقة المتواجدة بين الطبقتين السابقتين ذات الارتفاع h_{ML} عن الطبقة السائلة وتتعرض ضمنها حبات المطر للذوبان ويكون طول المسار للوصلة الفضائية خلالها D_{ML} .

وبالتالي يصبح طول المسار المتأثر بالأمطار يعطى بالعلاقة (26):

$$D_{rain} = D_{ML} + D_{LL} \quad (26)$$

تحدد قيمة h_0 تبعاً لخط عرض المحطة الأرضية BSS-ES بالعلاقة (27) وذلك لنصف الكرة الأرضية شمال خط الاستواء [13]:

$$h_{0[km]} = \begin{cases} 5 - 0.075(x_1 - 23) & x_1 > 23^\circ \\ 5 & 0 \leq x_1 \leq 23^\circ \end{cases} \quad (27)$$

إذ أن: x_1 : خط عرض المحطة الأرضية BSS-ES وبالنسبة للجمهورية العربية السورية فإن $x > 23^\circ$.
ومن أجل أخذ تأثير الطبقات الثلاث السابقة تعطي قيمة h_R بشكل عملي بالعلاقة (28) [14]:

$$h_{R[km]} = h_{0[km]} + 0.36 \quad (28)$$

يمكن حساب طول مسار الوصلة الهابطة الذي يخضع لتخميد الأمطار من الشكل (2) بالعلاقة (29):

$$D_{rain[km]} = \frac{h_{R[km]} - h_S[km]}{\sin(\theta)} \quad (29)$$

إذ أن: h_S : ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES عن سطح البحر ويمكن إهماله في المناطق ذات الارتفاعات القريبة من سطح البحر.

θ : زاوية ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES مقدر بالدرجات.

2-1-2 حساب استطاعة الضجيج في المحطة المستقبلية BSS-ES في الأجواء الماطرة:

تعطى العلاقة التي تعبر عن استطاعة الضجيج في المحطة BSS-ES كما هو موضح بالعلاقة (13) لكن في الأجواء الماطرة سوف تختلف درجة حرارة الضجيج ليعبر عنها بالعلاقة (30) [9],[10]:

$$T_t = T_{rain\ sky} + T_{Rx} + T_{other} \quad (30)$$

إذ أن: $T_{rain\ sky}$: درجة حرارة الضجيج للسماء الماطرة مقدراً بالكلفن [K] وتعطى بالعلاقة (31) [9],[10].

$$T_{rain\ sky} = T_o \left(1 - 10^{\frac{-A_t}{10}} \right) + T_{CMB} \quad (31)$$

إذ أن: $T_o = 280\text{ K}$.

T_{CMB} : هي درجة حرارة الضجيج الكوني (cosmic background noise) مقدر بالكلفن معطاة بالعلاقة (15).

A_t : مقدار تخميد للوصلة الهابطة نتيجة الأمطار والغلاف الجوي مقدر بـ [dB/km] وتعطى بالعلاقة (32) [9],[10]:

$$A_{t[dB/km]} = \gamma_R + A_{atmo} \quad (32)$$

إذ أن γ_R : مقدار التخميد الناتج عن الهطول المطري مقدراً بـ [dB/km] ويعطى بالعلاقة (25).

A_{atmo} : التخميد الناتج عن غازات الغلاف الجوي والتي يكون تأثيرها كبير نسبياً على الترددات الأكبر من (70GHZ) بينما يكون تأثيرها قليل على الترددات القريبة من (20GHZ) وتكون بحوالي (0.4 dB/km) [15].

2-2 حساب CIR في الأجواء الماطرة:

تعطى العلاقة التي تعبر عن نسبة استطاعة الحامل إلى استطاعة الضجيج بالأجواء الماطرة كما هو مبين بالعلاقة (33) [8],[7]:

$$CIR_{rain\ [dB]} = P_{r\ rain\ [dBw]} - I_{r\ rain\ [dBw]} \quad (33)$$

إذ أن:

$P_{r\ rain[dBw]}$: الاستطاعة المستقبلية بالمحطة BSS-ES بالأجواء الماطرة ومعطاة بالعلاقة (22).

$I_{r\ rain}$: استطاعة الإشارة المنعرجة عن العوائق المحلية والمسببة للتداخل مع الوصلة الفضائية الهابطة عند هوائي المحطة BSS-ES في الأجواء الماطرة وتعطى بالعلاقة (34) [7],[8]:

$$I_{r\ rain[dBw]} = EIRP_{FS[dBw]} + G_r[dBi] - L_{PI[dB]} - L_{I\ rain} \quad (34)$$

إذ أن:

$EIRP_{FS}$: استطاعة المشعة الإيزوتروبية للبرج الأرضي المسبب للتداخل باتجاه المحطة BSS-ES مقدراً بـ [dBw].

G_r : ربح هوائي الاستقبال للمحطة BSS-ES مقدراً بـ [dBi] معطى بالعلاقة (4).

L_{PI} : ضياع تخميد المسار الحر الذي تتعرض له إشارة التداخل مقدراً بـ [dB] وموضحة بالعلاقة (20).

$L_{I\ rain}$: ضياع التخميد الناتج عن المطر الذي تتعرض له الإشارة المنعرجة المسببة للتداخل مقدراً بـ [dB] وتعطى بالعلاقة (35) [12]:

$$L_{I\ rain[dB]} = \gamma_R \times d_k \quad (35)$$

إذ أن:

γ_R : مقدار التخميد الناتج عن الهطول المطري مقدراً بـ (dB/km) ويعطى بالعلاقة (25).

d_k : طول المسار التي تتعرض ضمنه الإشارة لتأثير هطول الأمطار مقدراً بـ [km] وهو نفس المسافة ما بين العوائق المحلية والمحطة BSS-ES.

وبالتالي بتعويض ناتج العلاقتين (21) و (33) في العلاقة (1) سوف نحصل على قيمة CNIR في المحطة BSS-ES وذلك بالأجواء الماطرة.

المعطيات اللازمة للسيناريو المدروس :

1- بارمترات الجزء الفضائي [3]:

القمر الصناعي	عربسات بدر 7
الموقع	26°E
الخدمة المقدمة	BSS-Ka
الحزمة الترددية	21.728-22[GHZ]
EIRP	60 [dBw]

2- بارمترات الحامل الرقمي لخدمة البث الفضائي BSS-Ka [10]:

التردد العامل f	21.728 [GHZ]
عرض الحزمة الترددية	11.6580 [MHZ]
القطبية	عامودي v

3- بارمترات المحطتين الأرضيتين BSS-ES [10],[16]:

اسم الموقع	دمشق	خط طول: 36.12°E
		خط عرض: 33.27°N
	اللاذقية	خط طول: 35.46°E
		خط عرض: 35.33°N
قطر الهوائي (d)	0.6[m]-2[m]	

60%	فاعلية الهوائي (μ)
5.6 [dB]	CNIR المطلوبة
40°	زاوية الارتفاع θ
100 [K]	درجة حرارة الضجيج للتجهيزات T_{RX}

-4 بارمترات برج الاتصال الأرضي FS المسبب للتداخل :

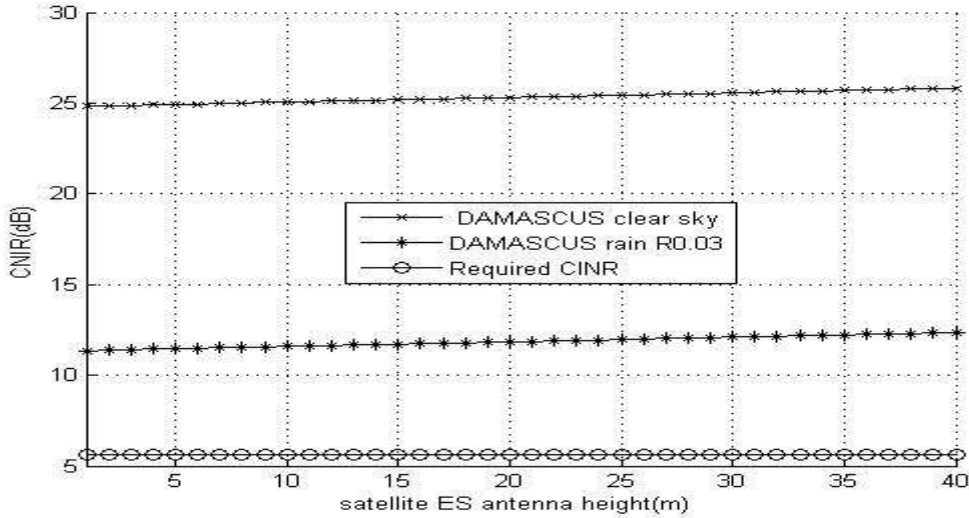
-146.6 [dBw]	EIRP
0.6[m]	قطر الهوائي
7[MHZ]	عرض الحزمة الترددية

النتائج والمناقشة:

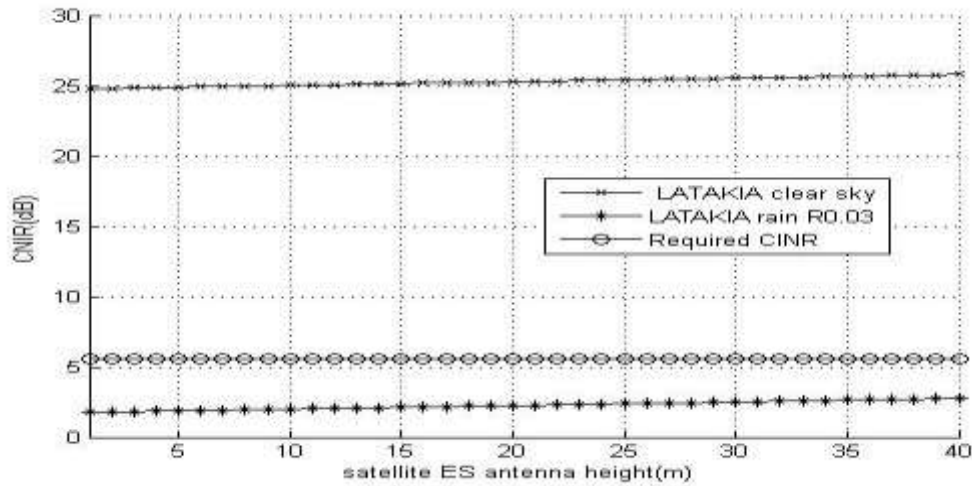
1- علاقة CNIR مع ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES :

توضح الأشكال (3,4,5) علاقة CNIR مع ارتفاع الهوائي لمحطتي BSS-ES موجودتان بدمشق واللاذقية وذلك بحالتي الأجواء الصافية والأجواء الماطرة عند معدل هطول مطري $R_p=R_{0.03}$ وبافتراض أن:

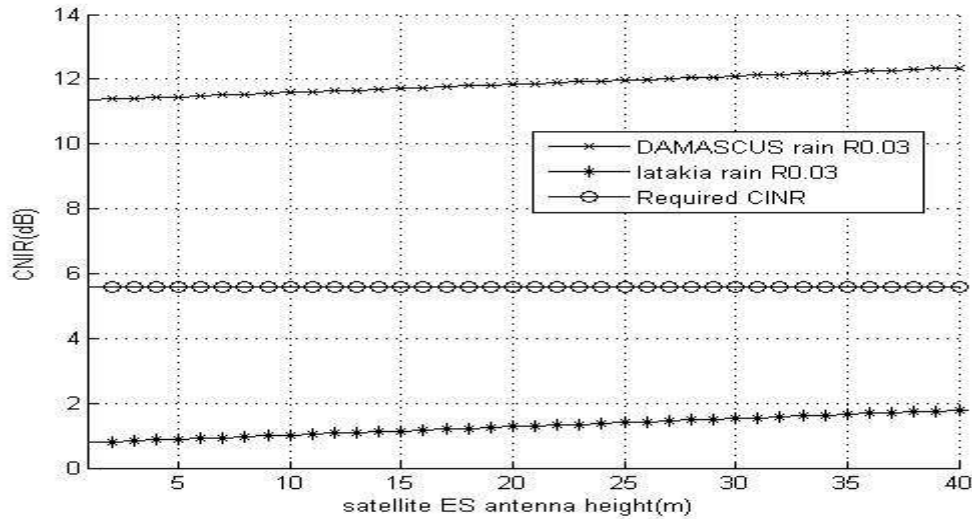
$$h_a=20m, d_k=0.02km, d=0.8m$$



الشكل (3) علاقة CNIR مع ارتفاع هوائي الاستقبال في محطة BSS-ES الموجودة بدمشق



الشكل (4) علاقة CNIR مع ارتفاع هوائي الاستقبال في محطة BSS-ES الموجودة باللاذقية

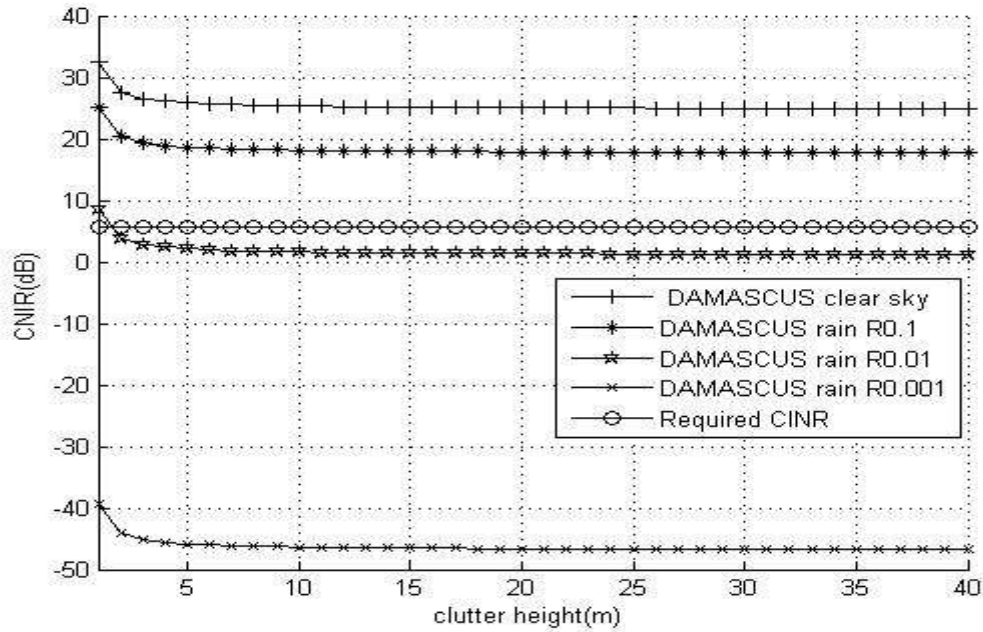


الشكل (5) مقارنة بين قيم CNIR في المحطتين الموجودتين بدمشق واللاذقية تبعاً لارتفاع هوائي الاستقبال عند $p=0.03$

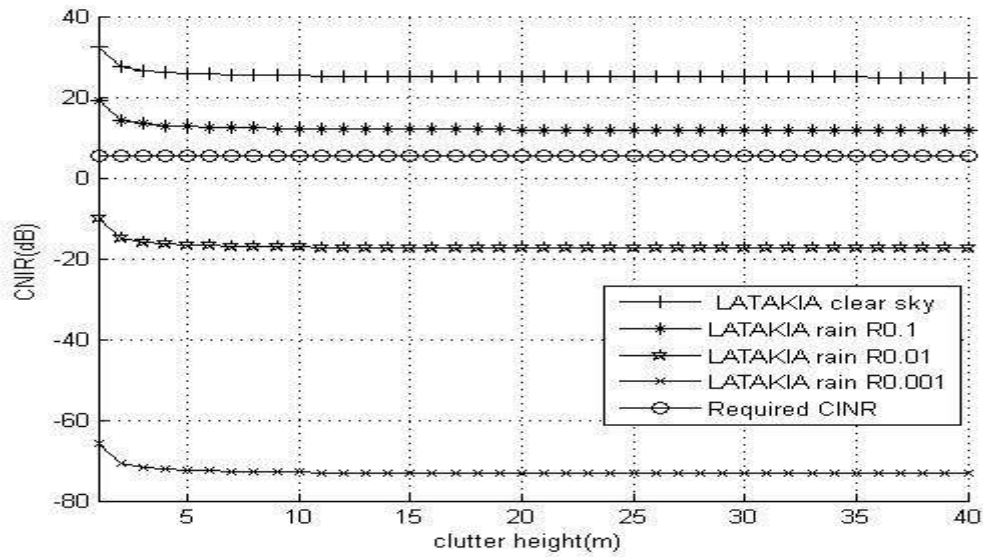
نلاحظ من الأشكال (3,4,5) أن زيادة ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES سوف يكون له تأثير على تحسين قيمة CNIR ولو بشكل بسيط.

2- علاقة CNIR مع ارتفاع العوائق الطبيعية المحيطة المسببة للتداخل:

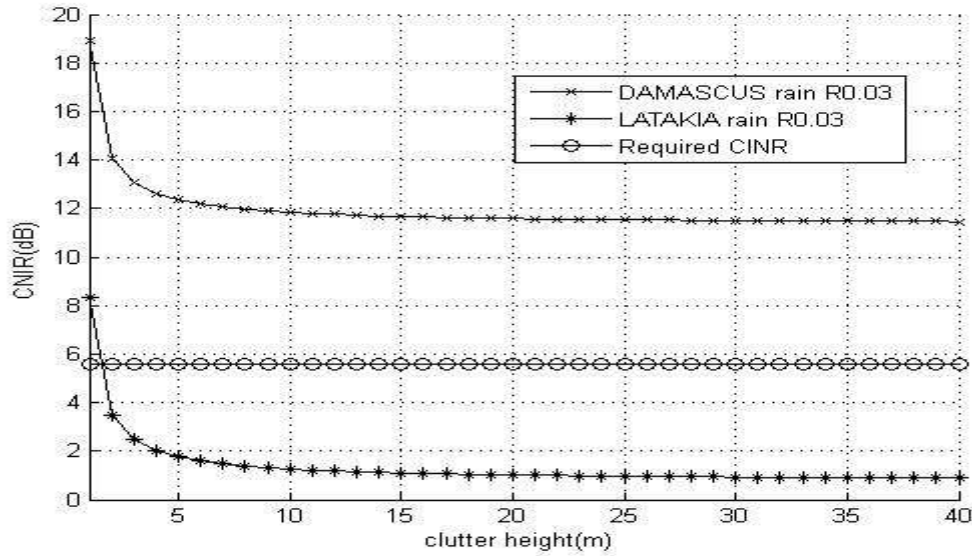
توضح الأشكال (6,7,8) علاقة CNIR مع ارتفاع العوائق الطبيعية المحيطة بمحطتي BSS-ES الموجودتان بدمشق واللاذقية وذلك بحالتي الأجواء الصافية والأجواء الماطرة عند معدلات هطول R_p مقدرة بـ (mm/hr) وذلك عند قيم p مختلفة وبافتراض أن: $h=10m, d_k=0.02km, d=0.8m$.



الشكل (6) علاقة CNIR مع ارتفاع العوائق الطبيعية المحيطة بمحطة BSS-ES الموجودة بدمشق عند قيم p مختلفة



الشكل (7) علاقة CNIR مع ارتفاع العوائق الطبيعية المحيطة بمحطة BSS-ES الموجودة باللاذقية عند قيم p مختلفة

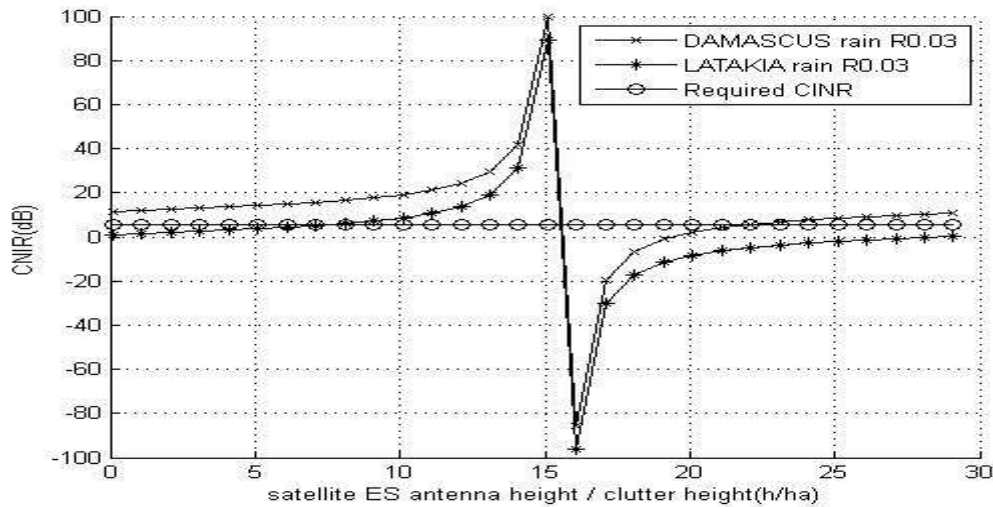


الشكل (8) مقارنة بين قيم CNIR في المحطتين الموجودتين بدمشق واللاذقية تبعاً لارتفاع العوائق المحيطة بهما عند $p=0.03$

نلاحظ من الأشكال (6,7,8) أن زيادة ارتفاع العوائق المحيطة بالمحطة BSS-ES سوف يسبب انخفاض حاد بقيمة CNIR للارتفاعات ضمن المجال الأقل من (10m) والذي يساوي ارتفاع هوائي الاستقبال، بينما لن يكون لها تأثير ملحوظ على CNIR بعد تلك القيمة مهما ازداد الارتفاع ونلاحظ من الشكل (8) تأثر المحطة الموجودة في اللاذقية بشكل أكبر وذلك نتيجة وقوعها بمنطقة مناخية ذات معدلات هطول مطرية أكبر مما هي عليه في دمشق.

3- علاقة CNIR مع نسبة ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES إلى ارتفاع العوائق الطبيعية المحيطة بها والمسببة للتداخل:

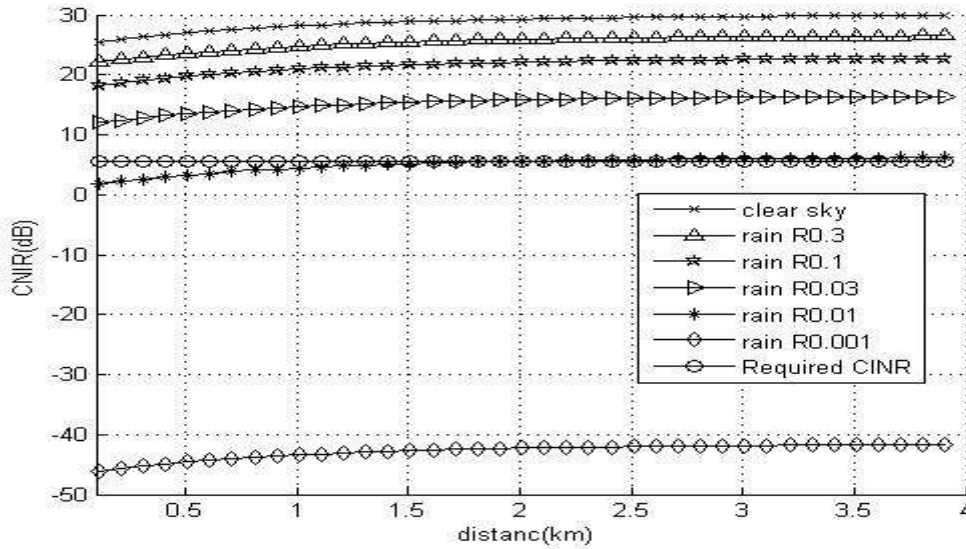
يوضح الشكل (9) علاقة CNIR مع نسبة ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES إلى ارتفاع العوائق الطبيعية المحيطة المسببة للتداخل بمحطتي BSS-ES الموجودتان بدمشق واللاذقية وذلك بحالة الأجواء الماطرة عند معدلات هطول R_p مقدرة بـ (mm/hr) وبافتراض أن: $p=0.03, d=0.8m$.



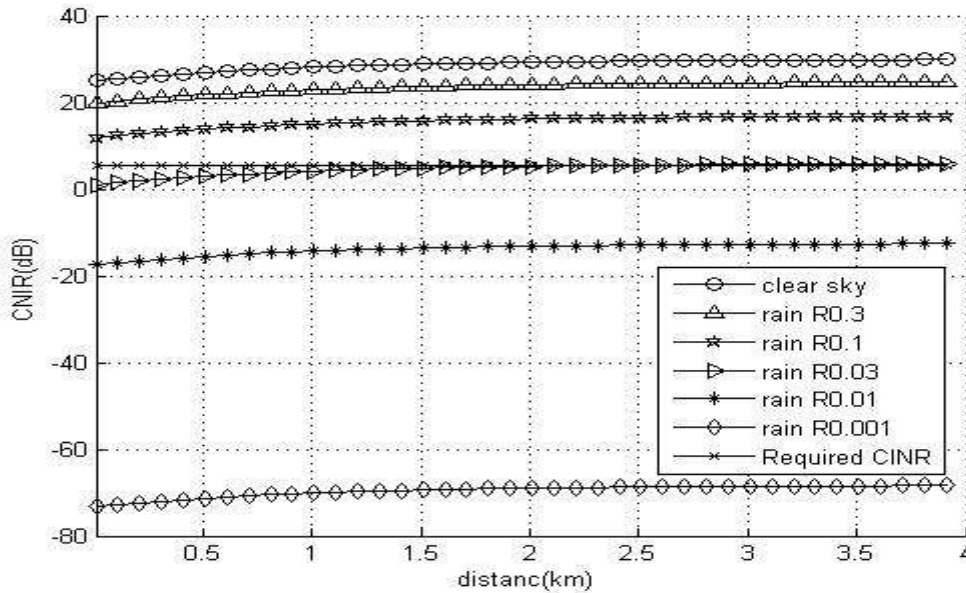
الشكل (9) مقارنة بين قيم CNIR في المحطتين الموجودتين بدمشق واللاذقية تبعاً للنسبة (h/ha) عند $p=0.03$

نلاحظ من الشكل (9) يبدأ المعامل CNIR بالتحسن كلما أصبح ارتفاع الهوائي أكبر من ارتفاع العوائق المحيطة ليصل إلى النسبة الأمثل هي عند القيمة 15 ثم تهبط بشكل حاد لتعود وتتزايد بعد القيمة 16 لتصبح قريبة من الحدود المطلوبة لقيمة الـ CNIR مع ازدياد تلك النسبة.

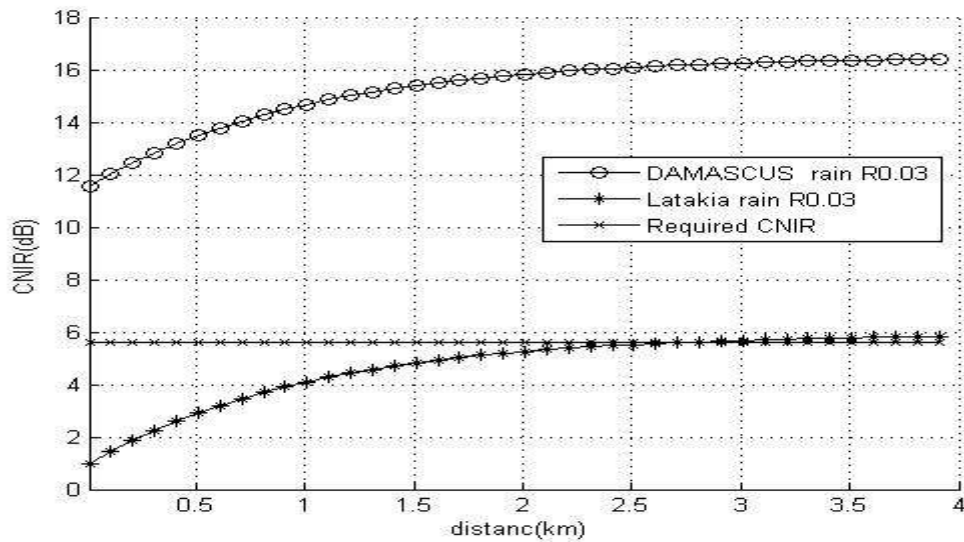
4- علاقة CNIR مع المسافة ما بين والمحطة BSS-ES والعوائق المحلية المحيطة بها المسببة للتداخل: توضح الأشكال (10,11,12) علاقة CNIR مع المسافة ما بين العوائق المحلية ومحطتي BSS-ES الموجودتان بدمشق واللاذقية وذلك بحالتي الأجواء الصافية والأجواء الماطرة عند معدلات هطول R_p مقدرة بـ (mm/hr) وذلك عند قيم p مختلفة وبافتراض أن: $h=10m, h_a=20m, d=0.8m$



الشكل (10) علاقة CNIR مع المسافة ما بين محطة BSS-ES الموجودة بدمشق والعوائق المحلية عند قيم p مختلفة

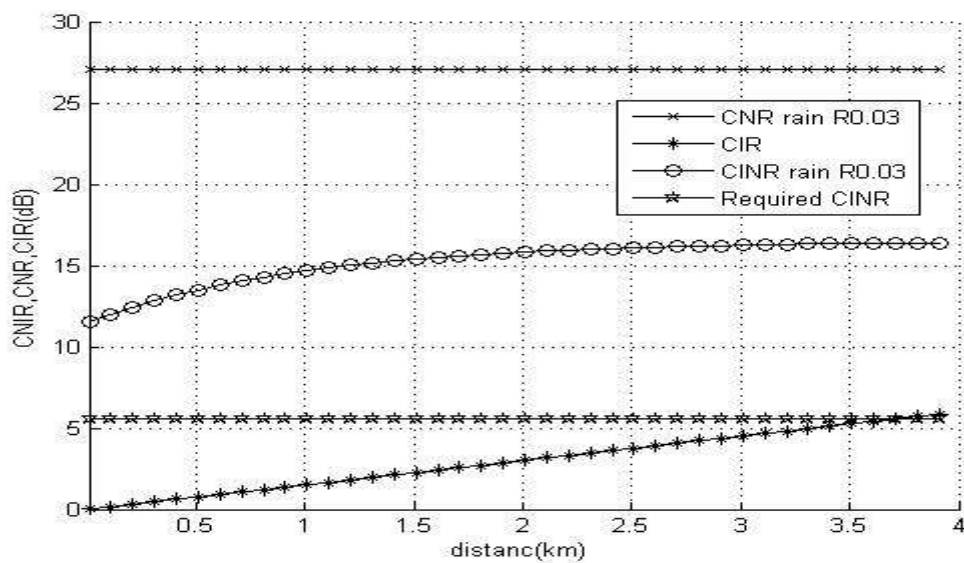


الشكل (11) علاقة CNIR مع المسافة ما بين محطة BSS-ES الموجودة باللاذقية والعوائق المحلية عند قيم p مختلفة

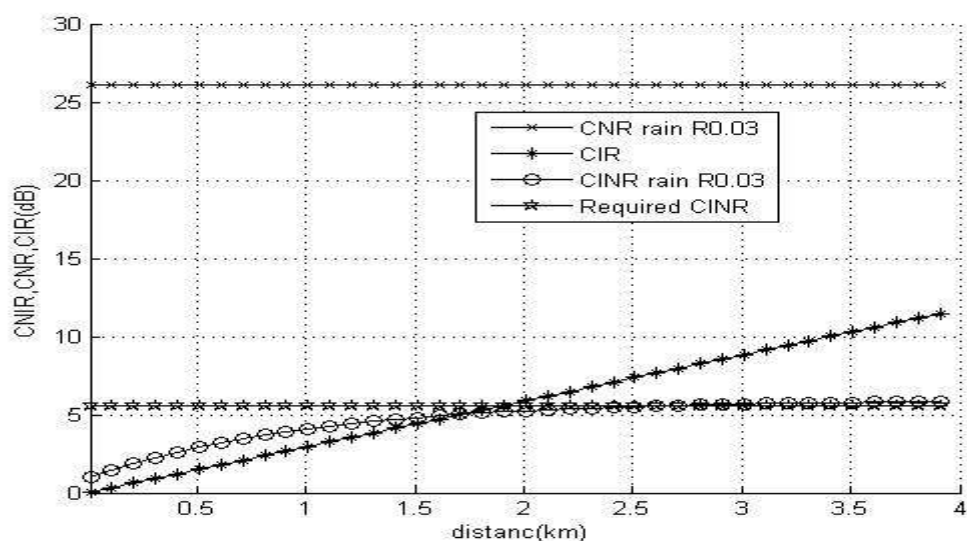


الشكل (12) مقارنة بين قيم CNIR في المحطتين الموجودتين بدمشق واللاذقية تبعاً لمسافة العوائق المحلية عنهما عند $p=0.03$ نلاحظ من الأشكال (10,11,12) أن زيادة المسافة ما بين العوائق المحيطة ومحطة BSS-ES سوف يحسن قيمة CNIR بشكل ملموس حتى المسافات الأقل من (2.5 km) بينما سوف لن يكون له تأثير ملحوظ على تحسين قيمة CNIR مهما ازادت المسافة أكثر من (2.5km) ، كما نلاحظ من الشكل (12) أن التأثير الأكبر يكون على المحطة المستقبلية الموجودة في اللاذقية نتيجة زيادة الهطول المطري عما هو عليه في دمشق حيث تتطلب تأمين مسافة حماية عن العوائق المحلية بقيمة أكبر من (2.5km) لضمان جودة إشارة مستقبلية أكبر من القيمة الحدية المطلوبة وذلك عند $p=0.03, h=10m, h_a=20m, d=0.8m$.

يوضح الشكلان (13,14) علاقة CNIR و CNR و CIR مع المسافة ما بين العوائق المحلية المحيطة ومحطتي BSS-ES الموجودتان بدمشق واللاذقية في الأجواء الماطرة عند معدلات هطول R_p مقدرة بـ (mm/hr) وذلك عند قيمة $p=0.03$ وبافتراض: $h=10m, h_a=20m, d=0.8m$:



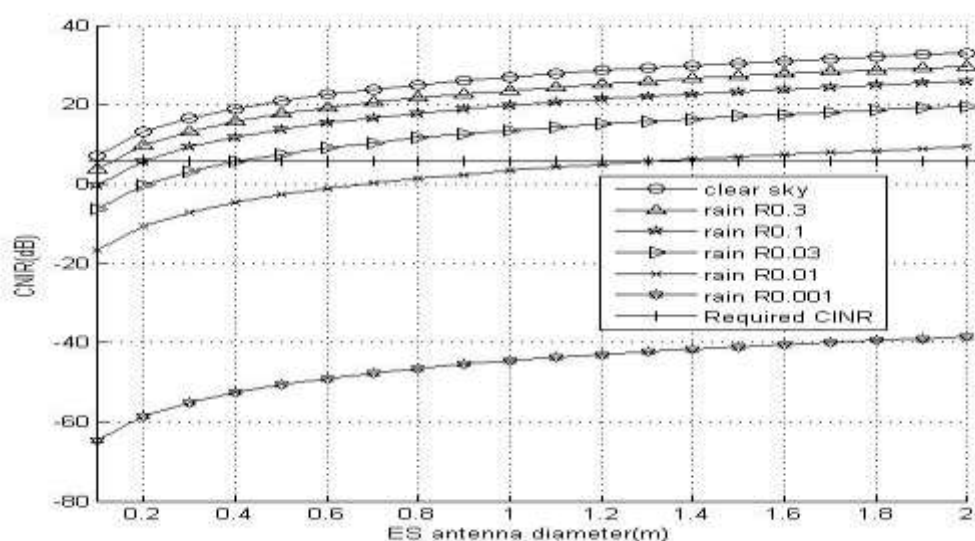
الشكل (13) علاقة CNIR-CNR-CIR مع المسافة ما بين محطة BSS-ES بدمشق والعوائق المحلية المحيطة عند $p=0.03$



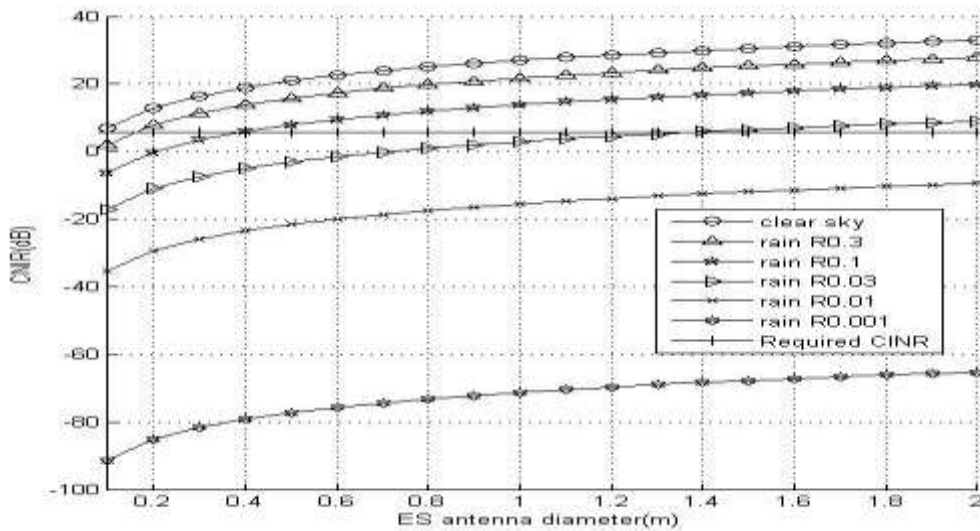
الشكل (14) علاقة CNIR-CNR-CIR مع المسافة ما بين محطة BSS-ES باللاذقية والعوائق المحلية المحيطة عند $p=0.03$

نلاحظ من الشكلين (14,13) التأثير الكبير للمسافة ما بين العوائق المحلية والمحطة BSS-ES على قيمة CIR حيث تزداد بشكل ملحوظ مع ازدياد مسافة العوائق المحلية عن المحطة المستقبلية ولكن نلاحظ من جهة أخرى أن قيمة CNR في الأجواء الماطرة قد وضعت حدود لتحسن قيمة CIR مع زيادة المسافة وذلك بعد جمع تأثيرهما بالقيمة CNIR حيث نلاحظ أن تأثير زيادة المسافة ما بين العوائق والمحطة على قيمة CNIR سوف يكون غير ملحوظ بعد (2.5km).

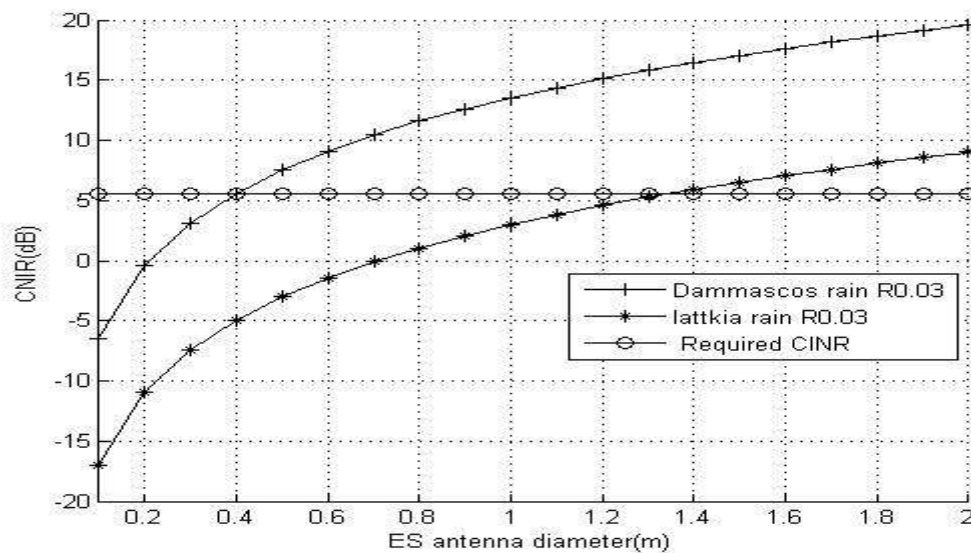
5- علاقة CNIR مع قطر هوائي المحطة BSS-ES: توضح الأشكال (17,16,15) علاقة CNIR مع قطر الهوائي لمحطتي BSS-ES الموجودتان بدمشق واللاذقية وذلك بحالتي الأجواء الصافية والأجواء الماطرة عند معدلات هطول R_p مقدرة بـ (mm/hr) عند قيم p مختلفة وبافتراض أن $h=10m, h_a=20m, d_k=0.02km$



الشكل (15) علاقة CNIR مع قطر هوائي محطة BSS-ES الموجودة بدمشق عند قيم p مختلفة



الشكل(16) علاقة CNIR مع قطر هوائي محطة BSS-ES الموجودة باللاذقية عند قيم p مختلفة



الشكل(17) مقارنة بين قيم CNIR في محطتي BSS-ES الموجودتين في دمشق واللاذقية تبعا لقطر هوائي المحطة عند $p=0.03$

نلاحظ من الأشكال (15,16,17) أن زيادة قطر هوائي المحطة BSS-ES سوف يحسن قيمة CNIR بشكل ملحوظ، كما نلاحظ من الشكل(17) أن قطر هوائي المحطة المستقبلية الموجودة في اللاذقية يجب أن يكون أكبر مما هو عليه في المحطة الموجودة في دمشق لضمان جودة إشارة مستقبلية أكبر من القيمة الحدية المطلوبة عند نفس المعطيات.

الاستنتاجات والتوصيات:

يجب عند اختيار بارامترات المحطات الأرضية المستقبلية للبث الفضائي BSS-ES ضمن النطاق الترددي Ka والمتواجدة على امتداد أراضي الجمهورية العربية السورية مراعاة ما يلي:

- 1- إن لزيادة ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES تأثير على تحسين قيمة CNIR وخصوصاً عندما يصبح ارتفاع هوائي الاستقبال أكبر من ارتفاع العوائق المحيطة بالهوائي وذلك بكلا المنطقتين المناخيتين E,K على أرضي الجمهورية العربية السورية ويكون التأثير ملحوظاً بشكل أكبر في المحطات المستقبلية المتواجدة في المنطقة المناخية E أكثر مما هو عليه بالمنطقة K .
- 2- يؤثر ارتفاع العوائق المحلية المحيطة بمحطات الاستقبال بشكل ملحوظ على جودة الوصلة الفضائية الهابطة فزيادة الارتفاع سوف تنخفض قيمة CNIR بشكل ملحوظ وخصوصاً عند ازدياد ارتفاع العوائق أكثر من ارتفاع هوائي الاستقبال ثم تثبت قيمة الـ CNIR تقريباً مهما ازداد ارتفاع العوائق أكثر من ذلك. على سبيل المثال في المدن والضواحي والتي يكون فيها المسافة ما بين المحطة المستقبلية والعوائق المحلية حوالي (20m) [4] ويفترض أن المحطة المستقبلية ذات ارتفاع هوائي قدره (10m)، يجب اختيار موقع المحطات التي تقع في المنطقة المناخية K على أراضي الجمهورية العربية السورية بحيث يكون ارتفاع العوائق المحلية المحيطة بها (2-3m) كحد أقصى من أجل الحصول على CNIR أكبر من (CNIR_{required}= 5.6dB) لضمان عدم انقطاع الوصلة الفضائية بنسبة 99.97% من الوقت وذلك عند (P=0.03,h=10m,d=0.8m). بينما تبقى قيمة CNIR أكبر من القيمة المطلوبة في المحطات ذات نفس المواصفات والمتواجدة في المنطقة المناخية E حتى مع زيادة ارتفاع العوائق المحلية أكثر من 10m ضمن نفس المعطيات والظروف المناخية.
- 3- يجب الأخذ بالحسبان المسافة الفاصلة ما بين المحطة المستقبلية والعوائق المحلية المحيطة والتي يكون لها تأثير ملحوظ على قيم الـ CNIR ، فمثلاً إذا كان ارتفاع العوائق المحلية حوالي (20m) وارتفاع الهوائي (10m) فيجب أن تكون مسافة الأمان ما بين المحطة المستقبلية وتلك العوائق كحد أدنى (2.5km) لضمان الحصول على قيمة CNIR أكبر من القيمة المطلوبة بنسبة 99.97% من الوقت وذلك للمحطات المستقبلية المتواجدة في المنطقة المناخية K على أراضي الجمهورية العربية السورية وذلك عند (P=0.03,d=0.8m)، بينما تحافظ المحطات المستقبلية الموجودة بالمنطقة المناخية E ضمن أراضي الجمهورية العربية السورية على قيم CNIR أكبر من القيمة المطلوبة بنسبة 99.97% من الوقت حتى مع انخفاض المسافة بين المحطات و العوائق المحلية لعدة أمتار مع ضمان الحفاظ الدائم على خط النظر بين القمر الصناعي والمحطة المستقبلية.
- 4- تحقق نسبة ارتفاع هوائي المحطة BSS-ES إلى ارتفاع العوائق الطبيعية المحيطة المسببة للتداخل النسبة الأفضل عند القيمة (15) حيث تسجل القيمة العظمى للمعامل CNIR، بينما تكون النسبة الأسوأ ما بين (15-16) حيث تهبط قيمة الـ CNIR بشكل حاد لتعود وتترايد بعدها لتصبح قريبة من الحدود المطلوبة CNIR بازدياد تلك النسبة.
- 5- أكد البحث أن تأثير التداخل الناتج عن الأبراج الأرضية على أداء الوصلة الفضائية الهابطة والعامله ضمن النطاق الترددي Ka سوف ينخفض بشكل ملحوظ عند زيادة المسافة ما بين العوائق المحلية والمحطة المستقبلية وقد انعكس ذلك على الزيادة الملحوظة لقيمة CIR ولكن من جهة أخرى سوف يصبح هذا التحسن غير ملحوظ عند تأثر الوصلة الفضائية الهابطة بالأجواء الماطرة مما يؤدي بالمجمل إلى انخفاض أداء الوصلة الفضائية الهابطة بشكل كبير والذي يعكس التأثير السلبي الملحوظ للمطر على الترددات العاملة ضمن النطاق الترددي Ka وخصوصاً في المنطقة المناخية K على أراضي الجمهورية العربية السورية.
- 6- يجب اختيار قطر هوائي الاستقبال في محطات استقبال البث الفضائي BSS-ES بحيث يحقق قيمة CNIR أكبر من القيمة المطلوبة في المحطة المستقبلية، مثلاً يجب أن يكون قطر الهوائي أكبر أو يساوي (40cm) لضمان

الحصول على قيمة CNIR أكبر من القيمة المطلوبة بنسبة 99.97% من الوقت ($P=0.03$) بغض النظر عن ارتفاع العوائق المحلية ومسافتها عن المحطة المستقبلية المتواجدة في المنطقة المناخية E على أراضي الجمهورية العربية السورية، بينما لتحقيق ذلك في محطة متواجدة في المنطقة المناخية K على أراضي الجمهورية العربية السورية يجب أن يكون قطر الهوائي أكبر أو يساوي (1.4m) وذلك عند الشروط ($P=0.03, h=10m, d_k=0.02km$).

References:

- 1- ITU-R V.431-8, *Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications*, 2015, 3.
- 2- ITU, *FINAL ACTS of the World Administrative Radio Conference for Dealing with Frequency Allocations in Certain Parts of the Spectrum (WARC-92)*, Malaga-Torremolinos, 1992, 81.
- 3- 12 Aug. 2022. < www.arabsat.com >.
- 4- ITU-R P.452-17, *Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1GHz*, 2021, 18-20.
- 5- ITU-R S.1323-2, *Maximum permissible levels of interference in a satellite network (GSO/FSS; non-GSO/FSS; non-GSO/MSS feeder links) in the fixed-satellite service caused by other codirectional FSS networks below 30 GHz*, 2002.
- 6- ITU-R PN.837-1, *CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION FOR PROPAGATION MODELLING*, 1994.
- 7- Tri. T. Ha, *Digital satellite communications*. 2nd. ed, McGraw-Hill, 1990, 129-186.
- 8- ITELSAT, *Digital satellite communications technology*. 2nd. ed. 1995.
- 9- ITU-R SA.1017, *Preferred method for calculating link performance in the space research service*, 1994.
- 10- Mark, E. L. *The Digital satellite TV handbook*, Newnes Publication, 1999, 93, 94.
- 11- Otoshi. T. Y, *Calculation of Antenna System Noise Temperatures at Different Ports—Revisited*, IPN Progress Report, 2002. 42-150.
- 12- ITU-R P.838-3, *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods*, 2005.
- 13- ITU-R P.839-1, *RAIN HEIGHT MODEL FOR PREDICTION METHODS*, 1997.
- 14- ITU-R P.839-4, *Rain height model for prediction methods*, 2013.
- 15- ITU-R P.676-11, *Attenuation by atmospheric gases*, 2016, 17.
- 16- ITU-R BO.1776-1, *Maximum power flux-density for the broadcasting-satellite service in the band 21.4-22.0 GHz in Regions 1 and 3*. 2012.