

## تحليل العوامل الفاعلة في تشكيل الغيمة الإلكترونية ومساحة مقطعها الراداري

محمد أسعد، محمد نجيب صلاحو\*، غزوان الخوري\*، يحيى فريد\*\*\*

طالب دكتوراه قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

\* أستاذ في قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

\*\* أستاذ مساعد في فرع هندسة اللاسلكي والرادار، أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية

\*\*\* أستاذ في قسم هندسة الاتصالات، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

### الملخص

تعتبر الغيمة الإلكترونية من وسائل الدفاع والتمويه الناجحة في التكتيكات العسكرية منذ أمد بعيد، لذلك تمت دراستها وتطوير تقنيات تصنيعها بشكل موسع، كما تم تقديم العديد من النماذج والمعادلة الرياضية التي توصف طبيعة عمل هذه الغيمة، وذلك لتقييم الأداء وتحليله قبل اطلاقها في الميدان مباشرة. تُطلق الغيمة الإلكترونية في الجو ضمن ظروف طبيعية يصعب محاكاتها مخبرياً وبالتالي يصعب التنبؤ بسلوك هذه الغيمة وحساب قيمة مساحة المقطع الراداري الخاص بها (RCS) Radar Cross Section تم اختيار مجموعة من المعاملات التي تعتبر من أكثر المعاملات تأثيراً على شكلها وسلوكها وهي: أثر الرياح وسرعتها - ظاهرة دوبلر - وزن وعدد الدايبولات المكونة للغيمة وفقاً للمادة المصنوعة منها، ومن ثم تقديم مجموعة من المعادلات الرياضية ونمذجتها باستخدام لغة برمجية عالية المستوى مع واجهة تخاطبية بسيطة.

الكلمات المفتاحية: الغيمة الإلكترونية، أثر دوبلر، RCS، التشويش والتمويه.

# Analyzing of the Impact Factors on the Chaff Cloud Formation and Its RCS

Mohammad Asaad, M.Najib Salaho\*, Ghazwan Alkhoury\*\*, Yahia Fareed\*\*\*

Postgraduate Student (PhD) Telecommunication Engineering Dep., Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Aleppo

\*Professor in Telecommunication Engineering Dep., Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Aleppo

\*\*Assistant Professor in Wireless and Radar Engineering Branch, Al-Assad Academy of Military Engineering

\*\*\*Professor in Telecommunication Engineering Dep., Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Aleppo

## Abstract

Chaff cloud has been considered a successful defense and camouflage tools in military tactics for a long time, which used in military radar applications by generate false targets and produce Radar Cross Section (RCS) similar to the object to be camouflaged, so it has been studied and developed extensively especially in manufacturing techniques.

Many models and mathematical equations describing the nature of the chaff cloud had presented, in order to evaluate and analyze performance before launching it in the field directly. Chaff cloud is released into the atmosphere under natural conditions that are difficult to simulate and study in laboratory environment, and therefore it is difficult to predict the behavior of this cloud and estimate RCS value.

A set of an impact factors have been choesn that directly affect the chaff cloud shape and behavior: Wind speed and turbulence - Doppler phenomenon - material of dipoles – number of cuts – the general weight of cloud, and then presenting a set of mathematical equations using a high-level programming language with a user friendly interface which model that impact.

**Keywords:** Chaff cloud, Radar Cross Section, Passive jamming

## 1- مقدمة:

تُعرف الغيمة على أنها مجموعة من الرقائق أو القطع المعدنية التي تنتثر بكميات كبيرة على هيئة حزم، والتي تعكس اشارات الرادار التي تصطدم بها لتحاكي هدف ما، وعادة ما تكون الرقائق من الألمنيوم أو الألياف الزجاجية المطلية بمعادن ما، وتحوي كل حزمة على آلاف العواكس التي يحدد طولها وفقاً لطول موجة الرادار ولهذا تسمى الغيوم المستخدمة في الحزمة الترددية HF والحزمة VHF بغيمة الحبال بسبب الطول الكبير لطول موجة الإشارة. [1]

تستخدم الغيوم الإلكترونية عموماً في ثلاثة تطبيقات أساسية:

1- يمكن أن تحاكي الغيمة الثابتة هدف حقيقي وبالتالي تصبح بمثابة فخ للرادارات التي لا تمتلك القدرة على ترشيح اثر دوبلر.

2- يمكن أن تخفي هدف حقيقي ضمنها أو خلفها كطائرة مثلاً.

3- يمكن نشر عدد كبير من الغيوم الإلكترونية على مساحة جغرافية كبيرة، وبالتالي تؤمن التشويش على الرادارات قبل البدء بغارة أو أن تكون مجرد عملية إرباك للعدو.

تكون العواكس عادة من رتبة طول موجة الرادار المراد التشويش عليه ومن الممكن استخدام عدد من الأطوال المختلفة وبالتالي تغطية مجال ترددي أكبر والحصول على قيمة كبيرة لسطح المقطع الراداري (RCS (Radar Cross Section). يتم إطلاق هذه الغيوم عبر الألعاب النارية أو الصواريخ أو قذائف الهاون وعادة يتم النشر بطريقة ميكانيكية أو نارية، حيث يستخدم الطرد الميكانيكي رقائق صغيرة من الورق المقوى التي تفتح اثناء الاطلاق. ويبين الشكل (1) أحد أشكال الغيوم الإلكترونية، كما يمكن استخدام القذف الناري وذلك من خلال الغازات الساخنة المتولدة في حجرة الانفجار التي تدفع مكبساً بلاستيكياً صغيراً لأسفل أنبوب مملوء بالعواكس الذي يكون بطول 8 بوصات وبمقطع عرضي 1 بوصة مربعة، مما يؤدي إلى إخراج الغطاء البلاستيكي لتتبعه ألياف الغيمة. [2]

تعتبر هذه الطريقة في التمويه من طرق التشويش السلبي المصطنع ويهدف التشويش عموماً إلى تقليل فعالية الوسائط الإلكترونية ويمكن تنفيذه بعدة أشكال منها:

- استخدام مشعات خاصة تؤثر على المستقبلات.
- استخدام أهداف كاذبة.
- استخدام إرساليات خادعة.



الشكل (1) أحد أشكال الغيوم الإلكترونية [3]

## 2- الدراسة المرجعية:

يوجد العديد من الدراسات التي قامت بنمذجة الغيمة الإلكترونية وإيجاد المعادلات الرياضية التي تصف عملها وضمن بيئات عمل مختلفة للوصول بالمحاكاة الى أقرب سلوك يحاكي سلوك الغيمة الحقيقي في الجو وتفاعلها مع البيئة من جهة والإشارة الكهرومغناطيسية من جهة أخرى، حيث قدم البحث [4] نموذجاً رياضياً للغيمة الإلكترونية المنتشرة في الجو بالاعتماد على استخدام معادلة الانتشار - رد الفعل العكسي ومن ثم تطبيق نظرية نقل الشعاع (Vector Transport Theory) VRT والحصول على بارامترات الانعكاس للغيمة الإلكترونية، وقدم البحث [5] دراسة عددية للطاقة الحركية للغيمة الإلكترونية تحت تأثير سرعة تدفق الرياح العالية وتوصل إلى أن عملية تشتت الغيمة تستغرق حتى الثبات خمسة ثواني في ظل السرعة العالية وبشكل شبه مخروطي، كما تمت دراسة تأثير التخمد الإيروديناميكي على دوران عناصر الغيمة، ومن وجهة نظر أخرى درس البحث [6] أثر سماكة الطلاء المعدني المغلف لألياف الغيمة الإلكترونية على مساحة السطح العاكس الراداري باستخدام برنامج

Ansyst HFSS حيث وجد الباحثون بأنه كلما تمت زيادة سماكة المادة الناقلة المغلفة كلما زاد الانعكاس الكهرومغناطيسي الناتج عن الغيمة، وذلك حتى قيم معينة بحيث لا تتجاوز عمق القشرة للمعدن المستخدم عند التردد المدروس لأن الزيادة لن تكون مجدية حينئذ وبالتالي بعد تلك القيمة لن يكون هنالك أي تأثير ملحوظ في زيادة قيمة السطح العاكس الراداري بل على العكس سيكون له تأثيراً سلبياً من خلال إضافة وزن زائد لجملة وزن الغيمة الإلكترونية ولكن لم يتم التطرق إلى ماهية الطلاء أو الألياف وإنما كانت دراسة تحليلية تجريدية، أما البحث [7] فتطرق إلى عملية تشكل الغيمة وفق مرحلتين: مرحلة التشتت السريع ومرحلة الانتشار المستقر وتمت دراسة الخواص الكهرومغناطيسية من خلال نظرية الامتصاص ونظرية الإشعاع الديبولي، وبينت الدراسة [8] خاصية جديدة لاستقطاب الغيمة تفيد بتغير الانعكاسية التفاضلية مع الارتفاع خلال عملية التشتت وقدمت نموذجاً رياضياً يصف هذه الظاهرة. وبالنسبة للبحث [9] فكان عبارة عن دراسة قدرة الغيمة الإلكترونية على التموهية في الأيام الماطرة، وذلك من خلال دراسة تأثير المطر على تخميد إشارة الرادار في عدة درجات من المطر والتي أظهرت بأن كفاءة التشويش ازدادت مع المطر وفي السياق ذاته قدم البحث [10] دراسة عن خصائص انتشار الغيوم الإلكترونية في الغلاف الجوي، حيث تم الحصول على قيم مختلفة للتخميد في عدد من الشروط الحدية من خلال دراسة معاملات الانعكاس وبالتالي دراسة خصائص الغيمة.

مما سبق يُلاحظ بأن الأبحاث السابقة لم تناقش تأثير سرعة الرياح على خصائص الغيمة وسلوكها أو نوع المادة المعدنية المستخدمة مع وزنها وعددها وبالتالي تميز بحثنا هذا بدراسة معامل الانعكاس على الديبولات المكونة للغيمة الإلكترونية واستخدام المعدن المناسب من حيث الكلفة والوزن والأداء، وكذلك توضيح علاقة الحزمة الترددية المستخدمة على عدد العواكس ووزن الغيمة العام للحصول على قيمة مقطع راداري معين بالإضافة إلى دراسة تأثير الرياح واضطراباتها على تابع كثافة الطاقة للإشارة المنعكسة عن الغيمة ضمن مجال انزياح دوبلري معين ودراسة تأثير سرعة

الرياح على تابع الكثافة وبالتالي يُعتبر هذا البحث من الأبحاث القيّمة التي يمكن أن تُساهم في تحسين أداء المحطات الرادارية في ظروف التشويش السلبي بكافة أنواعه.

### 3- أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في دراسة العوامل المؤثرة على قيمة المقطع الراداري للغيمة الإلكترونية من عدة جوانب، وهي:

1- دراسة معامل الانعكاس على الديبولات المكونة للغيمة الإلكترونية واستخدام المعدن المناسب من حيث الكلفة والوزن والأداء.

2- دراسة علاقة الحزمة الترددية المستخدمة على عدد العواكس ووزن الغيمة العام للحصول على قيمة مقطع راداري معين.

3- دراسة تأثير الرياح واضطراباتها على تابع كثافة الطاقة للإشارة المنعكسة عن الغيمة ضمن مجال انزياح دوبلري معين.

4- دراسة تأثير سرعة الرياح على تابع الكثافة.

### 4- بنية الغيمة الإلكترونية:

غالباً ما تستخدم القصاصات المعدنية (الديبولات) العاكسة المولدة للتشويش السلبي المصطنع ويتم اختيار طول وسماكة الديبولات بشكل يؤمن انعكاس كافة الأمواج تقريباً عن هذه الديبولات مما يؤدي إلى ظهور بقعة مضيئة للتشويش السلبي على شاشات جميع المحطات الرادارية بمختلف أطوال أمواجها، وكقاعدة يجب أن يختار طول الديبول مساوياً لعدد صحيح من أنصاف طول الموجة للمحطة الرادارية المراد التشويش عليها بهدف زيادة استطاعة التشويش السلبي.

يتم تمويه إشارة الأهداف الحقيقية والتأثير على عمل محطة الرادار باستخدام التشويش السلبي بطريقتين:

1- رمي القصاصات المعدنية.

2- رمي العواكس الديبولية.

بالنسبة القصاصات المعدنية والتي هي شرائح معدنية مصنوعة من معدن خفيف مثلاً الألمنيوم (ممكن أن تكون كذلك أوراق قصدير) تُرمى من الطائرات بأعداد كبيرة على شكل حزم تحوي كل منها آلاف الشرائح بأطوال موجية قريبة وأحياناً مساوية تماماً طول

الموجة العاملة للرادار وتقوم بتمويه الأهداف ضمن منطقة الكشف الراداري ويمكن أن تظهر في بعض الأحيان كأهداف كاذبة على الشاشة، ويسمى التشويش السلبي باستخدام القصاصات ضمن مجال الترددات (VHF، HF) بالتشويش المقيد rope chaff ويرمى هذا النوع من التشويش بثلاثة أشكال هي:

أولاً- مَرَكز بحيث تقلد الهدف الحقيقي.

ثانياً- يُشكل ممر خلف الطائرات المشاركة بالهجوم لإخفائها وتضليل صواريخ الدفاع الجوي عنها.

ثالثاً- يُشكل غيمة منتشرة على مجال واسع تخفي الممر الحقيقي للهجوم والأهداف المهاجمة.

أما الديبولات العاكسة فهي عناصر مصنوعة من معدن خفيف مثل الألمنيوم أو من الزجاج المكسو بالألمنيوم ترمى في الجو لتعكس طاقة الرادار مقلدةً بذلك إشارة منعكسة عن هدف حقيقي ذي سطح عاكس فعال كبير وغالباً ما يتم رميها برزم تحوي ديبولات مختلفة الأطوال لتؤثر على مجموعة من الرادارات بأن واحد. تتمتع العواكس الديبولية بسطح عاكس فعال كبير نسبياً، تفوق شدة إشارات التشويش السلبي أحياناً مستوى الضجيج الداخلي للمستقبل بمقدار  $(30 \div 80)dB$  مما يؤدي إلى إشباع مستقبل المحطة الرادارية وضياح الإشارات المفيدة كذلك يمكن أن تصل الإشارات المفيدة مع إشارات التشويش السلبي في آن واحد وهنا يصعب تمييز إشارة الهدف الحقيقي عن التشويش وبالتالي عدم الكشف.

إن إشارات الأهداف الثابتة هي إشارات الأصداء الثابتة المنعكسة عن أجسام واقعة ضمن حجم نبضي لمخطط الإشعاع الهوائي.

إن جميع أنواع الأصداء الثابتة أو المتحركة بشكل بطيء مثل التضاريس الأرضية أو الغيوم أو مجموعات كبيرة من الطيور أو حتى رقائق التشويش السلبي تعطي إشارات انعكاس غير مرغوبة تدعى ضوضاء (Cluter) والتي تملأ شاشة الرادار. يُشكل التشويش السلبي خطراً كبيراً على الوسائط اللاسلكية وخاصة الرادارية منها وذلك لأنه

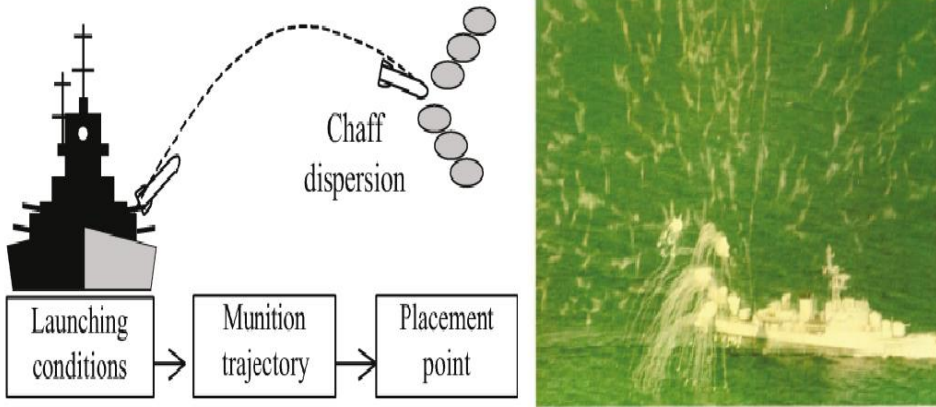
موجود في زمن الحرب والسلم، وأهم الاختلافات الأساسية بين الأهداف ومنابع التشويش السلبي هي:

1- إن الطائرات والصواريخ والأهداف الأخرى كقاعدة تعتبر أهداف نقطية، حيث تعتبر أبعاد الهدف الحقيقي أصغر من الحجم النبضي، بينما يكون التشويش السلبي أهدافاً منتشرة.

2- في أغلب الحالات تكون سرعة الأهداف الحقيقية أكبر بكثير من سرعة منابع التشويش. فمثلاً تكون سرعة الغيوم الديبولية أو ظرف الطقس (غيوم، تلوج، أمطار) مساوية لسرعة الريح وتصل إلى عشرات الكيلومترات في الساعة، وتكون سرعة الأجسام الثابتة مساوية للصفر، أما سرعة الطائرات والصواريخ فتصل إلى مئات وآلاف الكيلومترات في الساعة، إن الاختلاف بالسرعة يؤدي إلى اختلاف بتردد الإشارة المنعكسة عن الهدف عن تردد إشارة التشويش السلبي.

3- إن منابع التشويش السلبي الناتجة عن ظروف الطقس تكون ذات شكل أقرب إلى الكروي، بينما تكون الأهداف الحقيقية على الغالب ذات شكل يفتقر إلى التناظر المركزي، وهذا يؤدي إلى وجود اختلافات في استقطاب الإشارات المنعكسة عن الأهداف والإشارات المنعكسة عن ظروف الطقس. [2].

عند نشر محتويات الحاوية في الجو تشكل سحابة (قطاع) من الديبولات ذات التوضع الفراغي النسبي العشوائي، الشكل (2).



الشكل (2) أحد أشكال الغيوم الإلكترونية [11]



لدراسة وتقييم نوعية العواكس الدايبولية والأسلاك الطويلة تستخدم البارامترات التالية [11]:

1- السطح العاكس الفعال ( $\sigma$ )

2- مواصفات السحابة وزمن تشكيلها.

3- طيف وتابع ارتباط الإشارة المنعكسة عن السحابة الدايبولية.

## 5- النتائج والمناقشة:

تم الاعتماد على مجموعة من النماذج الرياضية لمحاكاة عمل الغيمة الإلكترونية باستخدام برنامج MATLAB كبيئة برمجية (تم اعتماد المرجع [12] كدليل برمجي)، وقد تم برمجة النماذج الرياضية وحساب قيم RCS (Radar Cross Section) ومحاكاة أثر الانعكاس وعدد ووزن الدايبولات وسرعة الرياح باستخدام أربعة واجهات برمجية GUI لكل واحدة منها موضحة في الأشكال (3)، (4)، (5) حيث يتم ضبط البارامترات العامة للغيمة والموضوع المدروس وإظهار النتيجة على الواجهة. عادة ما يتم تحديد السطح العاكس الفعال لديبول بتوضع واحد عشوائي وفق العلاقة (1):

$$\sigma_{\pi} = 0.85 \cdot \lambda^2 \cdot \cos^4 \theta \quad (1)$$

$\theta$ : الزاوية بين محور العاكس وشعاع الحقل الكهربائي  $\vec{E}$ .

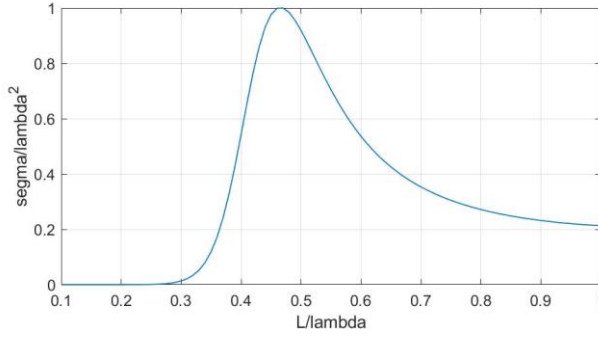
بفرض أن التوضع يخضع لقانون التوزيع الطبيعي فتحدد القيمة المتوسطة للسطح العاكس الفعال لديبول واحد وفق العلاقة (2):

$$\bar{\sigma} = 0.17 \cdot \lambda^2 \quad (2)$$

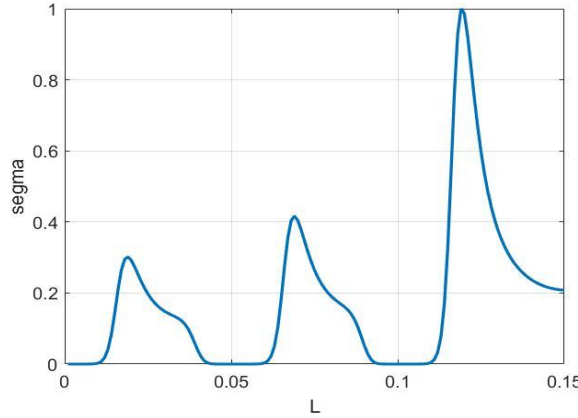
يتم اختيار طول وسماكة العاكس بحيث يؤمن انعكاس فعال للأمواج من أجل أبعاد صغيرة. من أجل الحصول على الحالة الطنينية يجب تصغير طول العاكس الديبولي بحيث يكون أقل بقليل من نصف طول الموجة الواردة عليه وتتعلق نسبة التصغير بالأبعاد العرضية للديبول وبالتالي لتقليل وزن وحجم حزمة الدايبولات يجب أن يكون طول الديبول صغيراً. عملياً يتحدد طول الديبول ( $L = 0.47\lambda$ ) ويُلاحظ من الشكل أن الطنين

يحدث عند القيمة 0.47 . يوضح الشكل (3) علاقة السطح العاكس الفعال بنسبة طول الديبول إلى طول الموجة.

يزداد السطح العاكس الفعال بشكل متموج بزيادة طوله الكهربائي وتكون الذروة الأولى عندما تتحقق المساواة ( $L \approx \lambda/2$ ) ، أما الذروات الأخرى فتوافق أطوال مساوية لمضاعفات أنصاف طول الموجة ويزداد السطح العاكس الفعال بزيادة طول العاكس. يبين الشكل (4) علاقة السطح العاكس الفعال بطول العاكس الديبولي.



الشكل (3) علاقة السطح العاكس الفعال بنسبة طول الديبول إلى طول الموجة



الشكل (4) علاقة السطح العاكس الفعال بطول العاكس الديبولي

يُلاحظ من الشكل (4) أن الذروة الأولى (1) تمثل القيمة الأعظمية للسطح العاكس الفعال عندما ( $L = 0.47\lambda$ ) ، والذروة الثانية (2) والثالثة (3) تمثلان القيم الأعظمية للسطح العاكس الفعال من أجل مضاعفات القيمة السابقة لطول العاكس.

عادة لا تستخدم عواكس طويلة ( $L > \lambda/2$ ) وذلك لصعوبة الاستثمار وزيادة الوزن والحجم. يجب معرفة أن السطح العاكس الفعال يرتبط أيضاً بالتوضع الفراغي للعاكس واستقطاب الإشارة والمادة المصنوع منها، لذلك عملياً تستخدم عواكس بطول ( $L = 0.47\lambda$ ). تُعطى قيمة السطح العاكس الفعال لحزمة ديبولية بشكل عام بالعلاقة (3) [6]:

$$\sigma_{chaff} \approx 0.18 \cdot \lambda^2 \cdot N \quad (3)$$

إن قيمة هذا السطح تختلف تبعاً لنوع الاستقطاب فتعطى بالنسبة للاستقطاب الخطي LP (linear Polarization) بالعلاقة (4):

$$\sigma_{chaff} \approx 0.15 \lambda^2 N \quad (4)$$

بالنسبة للاستقطاب الدائري CP (circular polarization) بالعلاقة (5):

$$\sigma_{chaff} \approx 0.10 \lambda^2 N \quad (5)$$

حيث:  $\lambda$  طول الموجة بالمتر،  $N$  العدد الكلي للديبولات ضمن الحجم. تتم عملية تصميم الدارات في المجال الميكروي والراديو وفقاً لمجال العمل الترددي فمن وجهة نظر تصميمية نعتبر الغيمة الإلكترونية عبارة عن عنصر يرتبط مع المرسل (الرادار) عبر خط نقل (قناة الاتصال اللاسلكية) يعمل عند تردد معين حتى يتم تحقيق أكبر قدر ممكن من الكشف عن الغيمة من قبل الرادار يجب عكس أكبر مقدار من الاستطاعة الواردة وبالتالي التمويه عن الهدف وهذا ما يسمى بملاءمة الممانعة مع قناة النقل، أي بكلمات أخرى دراسة معامل الانعكاس ما بين عناصر هذه الغيمة وخط النقل. يمثل ضياع العودة (Return Loss) مقدار الاستطاعة المنعكسة عن الغيمة ويُعطى بالعلاقة الرياضية (6) [2]:

$$R = -20 \log |S_{11}| \quad (6)$$

ويمثل  $|S_{11}|$  معامل التوزيع عند دخل الغيمة وهو نسبة الموجة المنعكسة إلى الموجة الواردة ويمكن من خلاله معرفة الحزم الترددية التي تستجيب لها الغيمة وتُعطى أكبر قيمة ممكنة للمقطع الراداري. تُعطى مساحة المقطع الراداري لغيمة

(chaff) ضمن الحجم النبضي لمحطة الرادار، دون أخذ نوع الاستقطاب بعين الاعتبار، يعطى بالعلاقة (7):

$$\sigma_c = V_c \cdot \eta \quad (7)$$

حيث:  $\eta$ : معامل الانعكاس،  $V_c$ : الحجم النبضي.

لكي يتم تحديد الكلفة الكلية والكفاءة للغيمة الإلكترونية تم دراسة الانعكاس عنها لدى استخدام ثلاثة مواد مختلفة، وهي الألمنيوم والزنك والفولاذ حيث تم الانعكاس مع قناة النقل بوسط من الهواء، ويوضح الجدول (1) المواصفات الكهربائية والمغناطيسية لهذه المواد.

الجدول (1) العوامل الكهربائية للمواد المدروسة (مادة المنيوم - زينك - فولاذ)

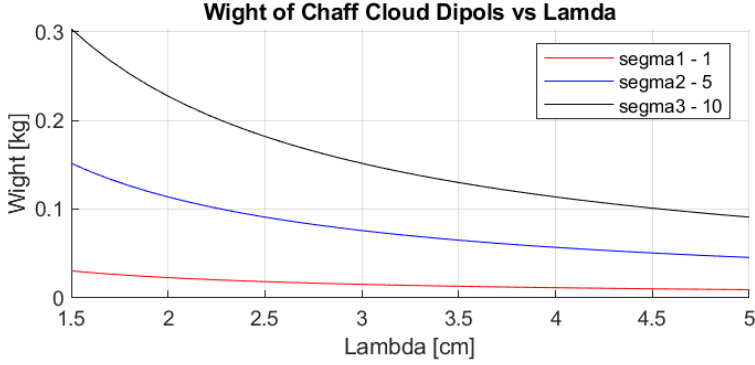
اسم المادة	السماحية النسبية	النفوذية النسبية	الناقلية الكهربائية
هواء	1.0006	1.0	$1.2 \times 10^{-12}$
الومينيوم	9.3	1.00000065	$36 \times 10^6$
زنك	8.5	1.999994	$16.6 \times 10^6$
فولاذ	1	2000	$10.1 \times 10^6$

يبين الشكل (5) الواجهة البرمجية GUI المبرمجة في بيئة Matlab لمحاكاة أثر سرعة الرياح ووزن وعدد القطع الدايبولية ومعامل الانعكاس للمواد المستخدمة.

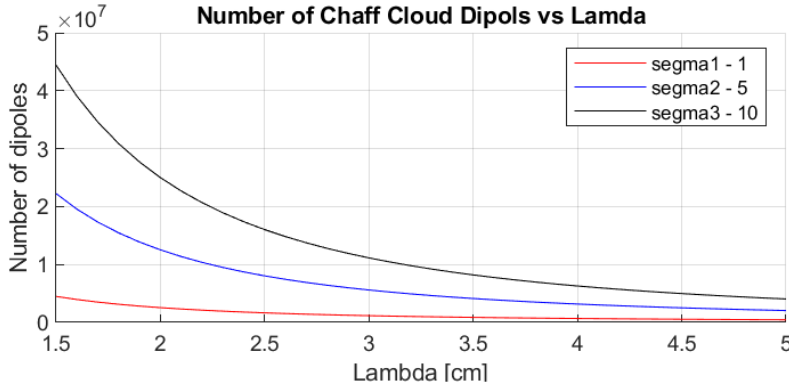


الشكل (5) الواجهة البرمجية GUI الممنذجة للبرامترات الفاعلة في عمل الغيمة

يُظهر الشكلين (6) و (7) علاقة وزن وعدد الديبولات المطلوب لتشكيل غيمة ديبولات عاكسة ذات سطح عاكس فعال  $\sigma_c = (1,5,10)m^2$  عند طول موجة تقع ضمن المجال  $\lambda = (1.5 \div 5)cm$  وذلك عند المحاكاة البرمجية ببيئة الماتلاب.



الشكل (6) علاقة وزن الديبولات المطلوب لتشكيل غيمة ديبولات عاكسة ذات سطح عاكس فعال



الشكل (7) علاقة عدد الديبولات المطلوب لتشكيل غيمة ديبولات عاكسة ذات سطح عاكس فعال

يتعلق السطح العاكس الفعال الكلي لـ (chaff) بكتلة حزمة الديبولات العاكسة

ويعطى بالنسبة للنماذج الأكثر استخداماً بالعلاقة (8) [2]:

$$\sigma_T \approx 22000\lambda.W_C \quad (8)$$

حيث:  $W_C$  كتلة حزمة الديبولات مقدرةً بـ  $kg$ . توضح المنحنيات البيانية على الشكل (6) العلاقة ما بين كلٍ من طول الموجة ( $\lambda$ ) والوزن اللازم من الديبولات، ذات الاستقطاب الدائري، لتشكيل غيمة ديبولية بسطح عاكس فعال مقداره الأرقام الثلاثة  $\sigma_C = (1,5,10)m^2$  وكذلك العلاقة وما بين طول الموجة ( $\lambda$ ) والعدد الكلي للديبولات العاكسة لتشكيل نفس تلك الغيمة.

$$\lambda = (1.5 \div 5) cm \text{ عند طول موجة تقع ضمن المجال } \sigma_C = (1,5,10)m^2$$

حيث يُلاحظ من الشكل بأنه مع زيادة طول الموجة تتناقص كتلة الغيمة الكلية من أجل مقطع راداري معين، وذلك بسبب الانخفاض الكبير في العدد حتى نحصل على ذات المقطع الراداري، كما ويُلاحظ أنه مع زيادة المقطع الراداري المطلوب تزداد كتلة الغيمة عند ذات طول الموجة كما يزداد عدد العناصر المطلوب لتأمين قيمة هذا المقطع. كما يُلاحظ من الشكل بأنه مع زيادة طول الموجة يتناقص الفرق في عدد الديبولات المستخدمة لتأمين مقاطع رادارية متفاوتة فعند طول الموجة 5 cm مثلاً يُلاحظ بأن المقاطع الرادارية الثالثة تتطلب العدد ذاته من الديبولات تقريباً.

لإظهار تأثير الرياح يُلاحظ أن رقائق الديبولات تنتشر في طبقات الجو أفقياً وتتساقط ببطء متذبذبة تبعاً لاضطرابات حركة الرياح مما يؤدي لتضخم معامل انعكاسها ( $\eta$ ) وازدياد نسبة الاستقطاب اللاخطي لها وفقاً لكثافتها وبالتالي ينخفض مدى الترابط ( $\rho$ ) فيما بينها. تتشابه من وجهة نظر الرادار خصائص التشويش الناتج عن الديبولات العاكسة مع خصائص التشويش الناتج عن الطقس إلى حد كبير باستثناء أن عرض حزمة التردد يكون قابلاً للامتداد ليصل لمجال (VHF) وكذلك يتعلق التردد الدوبلري الوسطي لطيف هذا النوع من التشويش بمتوسط سرعة الرياح أما بالنسبة لتوزعه فيتحدد بدرجة اضطراب الهواء وكما هو معلوم فإن اختلاف وتغير سرعة الرياح هو تابع للارتفاع. يشكل ضيق المجال الترددي أكبر سلبيات العواكس ذات الطول الثابت ولزيادة عرض المجال الترددي يتم ملء الحاويات بعواكس ذات أطوال مختلفة، لكن هذا يؤدي إلى زيادة وزن وكمية العواكس المطلوبة لتشكيل سحابة ذات سطح عاكس فعال معين. عادة تستخدم وسائط قص على متن الطائرة فبعد تحديد الرادار المراد إبطاله يحدد التردد الحامل ومن ثم يتم قص العواكس بما يناسب التردد المطلوب. يتصف الانعكاس الناتج عن الغيمة الإلكترونية بعشوائية المطال والصفحة ولذلك من الممكن توصيف تابع كثافة طيف استطاعته إحصائياً بتابع توزيع احتمالي ويُعتبر النموذج الغوصي (تابع التوزيع الطبيعي) الأكثر استخداماً لتوصيف هذا النوع من التشويش ويُعطى بالعلاقة (9):

$$W(f) = 1/\sqrt{2\pi\sigma_c^2} \exp(-f^2/2\sigma_c^2) \Rightarrow W(f) = W_0 \exp(-f^2/2\sigma_c^2) \quad (9)$$

حيث:  $W_0$ : القيمة الأعظمية لتابع كثافة طيف استطاعة التشويش السليبي الناتج عن الـ

chaff،  $\sigma_c^2$  هو تشتت تردد إشارة التشويش السليبي (chaff) مقدراً بالهرتز (Hz).

يمكن التعبير عن العلاقة السابقة في مجال السرعة بالعلاقة (10):

$$W(v) = W_0 \exp(-v^2/2\sigma_v^2) \quad (10)$$

حيث:  $v$  سرعة التشويش السليبي (chaff) مقدرة بـ (m/s)،  $\sigma_v$  هي الانحراف المعياري

لسرعة (chaff) ويُعطى بالعلاقة (11):

$$\sigma_v = \sigma_c \cdot \lambda / 2 \quad (11)$$

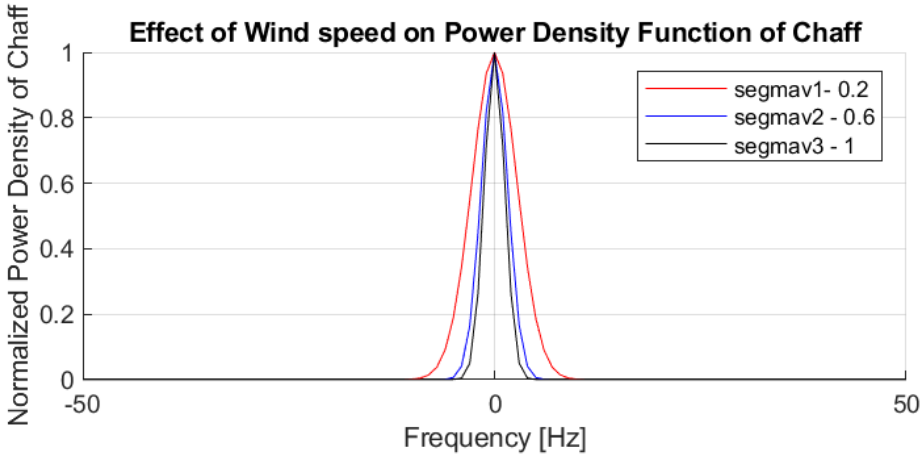
يوضح الشكل (8) علاقة تابع الكثافة الطيفية لـ (chaff) بالتردد عند القيم الأكثر

احتمالاً لـ  $\sigma_v$  وذلك من أجل القيم (1-0.6-0.2) ويُلاحظ بأنه مع زيادة الانحراف

المعياري يصبح عرض المجال أضيق، وذلك من أجل طول موجة 3 cm، كما يوضح

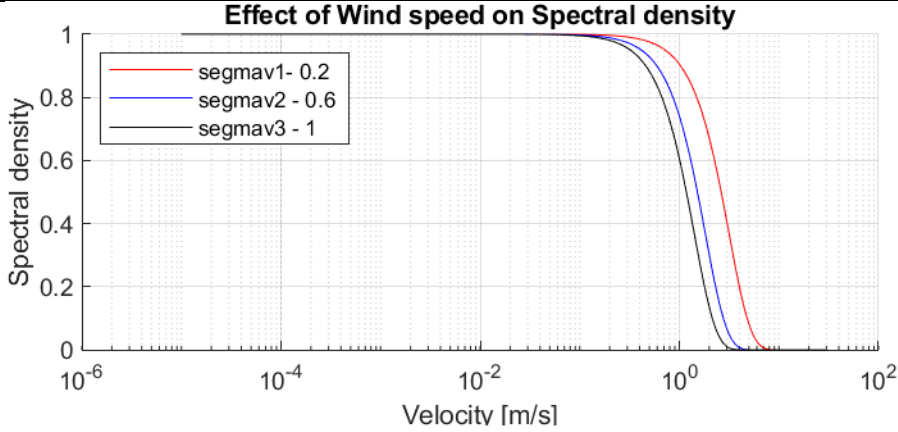
الشكل (9) العلاقة ما بين كثافة الاستطاعة الطيفية وسرعة الريح عند قيم الانحراف

المعياري الثلاثة.



الشكل (8) علاقة تابع الكثافة الطيفية لـ (chaff) بالتردد عند القيم الأكثر احتمالاً لـ  $\sigma_v$  من أجل قيم مختلفة





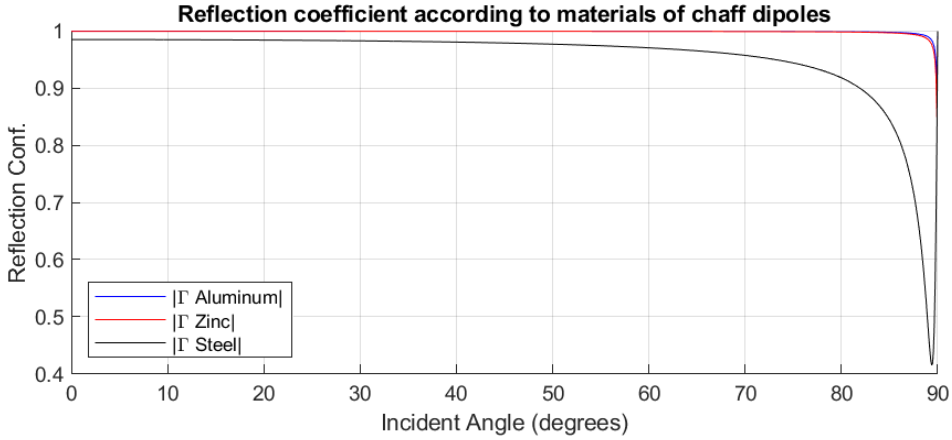
الشكل (9) العلاقة مابين كثافة الاستطاعة الطيفية وسرعة الريح عند قيم الانحراف المعياري الثلاثة.

بالنسبة لنتيجة المحاكاة بيئية الماتلاب في الشكل (10) فتوضح معامل الانعكاس لديبول عند استخدام مادة المنيوم - زينك - فولاذ ، ويُلاحظ من الشكل ما يلي:

1- للفولاذ أقل معامل انعكاس إلا أنه مقبول نسبياً

2- يتطابق معاملي انعكاس الزنك والألمنيوم.

وبما أن الكثافة الحجمية عند درجة حرارة الغرفة لكل من الألمنيوم 2.375 غ/سم<sup>3</sup> وللزنك 7.14 غ/سم<sup>3</sup> وللفولاذ 7.9 غ/سم<sup>3</sup> فإن استخدام الألمنيوم من حيث الوزن هو الأخف وهنالك تقارب في الوزن ما بين الزنك والفولاذ. ومن وجهة نظر أخرى فإن الألمنيوم أرخص من الزنك من حيث السعر العالمي إلا أن الفولاذ هو الأرخص على الإطلاق ويفارق كبير عن كلتا المادتين، ولكن من وجهة نظر ثانية فإن عملية التغطية بالزنك هي أسهل منها من باقي المواد وتتعدد تقنيات التغطية، وبالتالي في حال تم استخدام الألياف فإن الأفضل استخدام التغطية بالزنك ولكن في حال استخدام المعدن كعاكس فإنه من الأفضل استخدام الألمنيوم.



الشكل (10) معامل الانعكاس لديبول عند استخدام مادة المنيوم - زينك - فولاد

## 6- الخلاصة

مما تقدم يمكن الاستنتاج أنه هنالك عدة أنواع للتشويش السلبي ولكل منها خصائصه المميزة وهذا يستدعي وجود عدة طرق لحذفه إلا أن التشويش السلبي المصطنع والناجم بشكل خاص عن الديبولات العاكسة (chaff) يعتبر الأعداء ومازالت مهمة التخلص من تأثيره بشكل كامل تشغل اهتمام الباحثين في علم الرادار. يمكن محاكاة العوامل المؤثرة على الغيمة الإلكترونية باستخدام نماذج رياضية والوصول إلى نتائج قريبة من الواقع العملي، حيث أن تغيير المواد المعدنية يؤثر مباشرة على أداء الغيمة من حيث الوزن والأداء والكلفة ويفضل استخدام الألمنيوم للعواكس المعدنية أو الطلاء بالزنك من أجل العواكس المصنوعة من الألياف، كما أنه يمكن دراسة علاقة الوزن وعدد العواكس المستخدمة لتأمين مقطع راداري معين يحاكي هدف معين مع دراسة أثر سرعة الرياح واضطرابها على تردد دوبلر وبالتالي الكشف.

## المراجع References

- [1] ZAK J.; VACH M.; DVORACEK F., 2016 – **Advanced Chaff Usage in Modern EW. IEEE**, 4.
- [2] HARRISON A., 2020 - **Introduction to Radar Using Python and MATLAB**. ARTECH HOUSE, London, 491.
- [3] KNOTTE E.; SHAEFFER J.; TUELY M., 2004 - **Radar Cross Section**. SciTech Publishing, second edition, USA, 634.
- [4] LIXINEN G.; YANCHUAN Z., 2020 – **Investigation on the Electromagnetic Scattering from the Chaff Cloud in Airflow with VRT. IEEE**, 4.
- [5] HUANG H. ; TONG Z. ; CHAI S. ; ZHANG Y., 2018 - **Experimental and numerical study of chaff cloud kinetic performance under impact of high speed airflow. Chinese Journal of Aeronautics**, **31(11)**, 2080-2092.
- [6] BAJPAI V.; KUMAR V.; GADRI K.; SINGH A.; MOHAMMAD N.; CHOHAN K.; BASITA A.; VAISTHA P.; KUMAR R., 2021 - **Optimization of Coating Thickness of Conducting Material on Base Fiber to make it as a Radar Reflector. International Journal of Advances in Microwave Technology (IJAMT)**, **6(1)**, 247-253.
- [7] ZHU G.; MAN L.; CHEN Y.; YIN H., 2018 - **Approach of Electromagnetic modeling for chaff clouds formed by exploding. IEEE**, 3.
- [8] CUI G.; SHI L.; MA J.; WANG X., 2018 - **Study on Chaff Diffusion and Polarization Stratification. IEEE**, 3.
- [9] SHI F.; XU W.; YUXU C.; WENG X.; QIN L., 2012 - **The Analysis of Influence Factors of Chaff's Jamming Property in the Rainy Day. IEEE**, 5.
- [10] TAO W.; JIE X.; BING L.; JUN W., 2014– **The Propagation Properties of Chaff Clouds in Atmosphere. IEEE**, 6.

[11] PINCHOT L.; BECHU O.; POULIGUEN P., 2005– **A chaff cloud modelisation. ANTEM**, 4.

[12] Matlab, 2015 - **Creating Graphical User Interfaces**. The Mathworks Inc., USA, 502.