الجمهوريّة العربيّة السوريّة

وزارة التربيّة

المركز الوطنيّ للمتميّزين

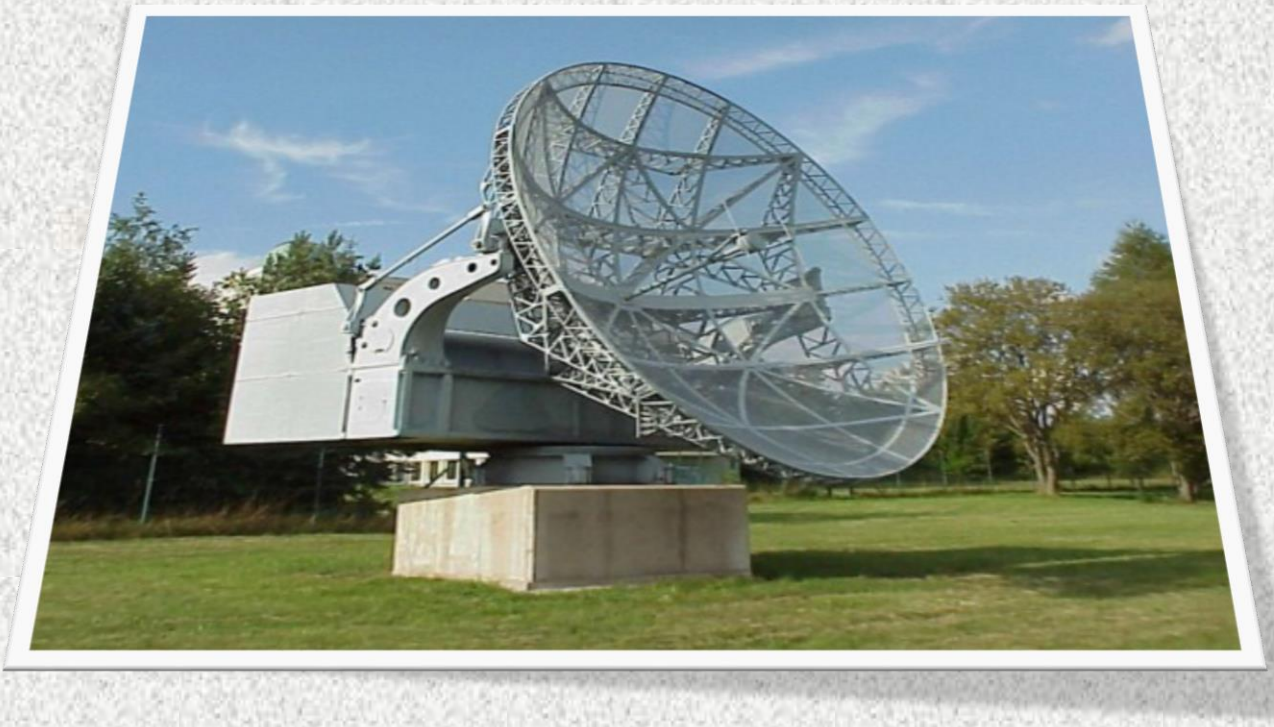


*Figure 1: "Würzburg Riese", World War II radar produced in 1940 by Telefunken (Germany) [1]*

# حلقة بحث مقدّمة لمادة الفيزياء بعنوان: الراداارات

تقديم الطالبة: ايمان احمد

بإشراف المدرّس: حسام حاج قاسم

للعام الدراسيّ ٢٠١٤ -٢٠١٥

# اشكاليّة البحث

إنّ الرادارات صممت لأغراض مختلفة، ومن أهمّها الاستخدام العسكري، حيث تستخدم لرصد الطائرات الدخيلة، ولكن تمّ حديثاً استحداث الطائرات الهجوميّة أو الاستكشافية للعدو بحيث لا يمكن رصدها من قبل الرادار، لذلك سنبحث في كيفيّة عمل الرادار حيث يسهل التوصّل الى طريقة لاكتشاف هذه الطائرات أو تحسين الرادارات لاستخدامات أكثر شمولاً.

# الأهداف

١. الفهم الصحيح لمبدأ تصميم وعمل الرادار.
٢. البحث في طرق جديدة لاستخدام الرادار.
٣. البحث في أمور أكثر توسّعاً وشمولاً من فعل دوبلر وذلك بتطبيقه.

# المقدّمة

مع تطور الحياة وتعقيداتها واتساع دائرة التقدم العلمي والاختراعات التي جاءت لخدمة الإنسانية كان لابد من بعض هذه الإنجازات سلبياً على الطبيعة والإنسان. ومن هنا نذكر الانجاز الكبير الذي جاء من اختراع الاجهزة التي تعمل بالموجات الكهرومغناطيسية الذي قدم خدمات كبيرة للإنسان وتحقيق قفزات نوعية لتحقيق خدمة التطور الانساني بجميع جوانبه. ولكن هذا التقدم العلمي في مجال الطاقة والاتصالات له سلبيات قد تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على صحة الأنسان.

# أولاً

## الرادارات ومبدأ عملها

الرادار هو نظام إلكتروني يُستخدم لكشف أهداف مُتحرّكة أو ثابتة وتحديد مواقعها. ويمكن للرَّادار تحديد اتجاه أهداف بعيدة عن رؤية العين البشريّة، وكذلك تحديد مسافتها وارتفاعها، كما يُمكن له إيجاد أهداف بصغر الحشرات أو بضخامة الجبال. ويَعْمَل الرّادار بكفاءة في اللّيل، وحتى في الضباب الكثيف والمطر أو الثلج.

وقابلية الرّادار لتنفيذ عدَّة مهام تجعله مفيدًا لأغراض مختلفة وواسعة؛ إذْ يعتمد الطيارون على الرّادار لهبوط طائراتهم بأمان في المطارات المزدحمة، كما يستخدمه الملاحون في الطقس الرَّديء لقيادة سفنهم قرب القوارب والأهداف الخطرة . ويستخدم الكثير من الدول الرّادار للحراسة من هجمات فُجائية من طائرات العدوّ وصواريخه، كما يُمَكِّن الرّادار المشتغلين بأحوال الطقس الجوّيّ من تتبُّع العواصف المقتربة. ويستخدم العلماء الرّادار لاستقصاء جو الأرض الأعلى، كما يستخدمونه أيضًا لدراسة الكواكب الأخرى وأقمارها.

ويعمل جهاز كلِّ رادار تقريبًا بوساطة إرسال موجات راديوية باتجاه الهدف، واستقبال الموجات التي تنعكس منه. ويَدُلُّ الزمن الذي تستغرقه الموجات المنعكسة لتعود على مَدَى الهدف وكم يبعد؟، هذا بالإضافة إلى الاتجاه الذي تعود منه الموجات المنعكسة على موضع الهدف.

وتختلف أجهزة الرّادار في الحجم والشَّكْل، إلاَّ أنها جميعًا ذات أجزاء أساسية واحدة؛ ولكُل جهاز مُرْسل لإنتاج الإشارات الرادارية، وهوائي لبثِّها إلى الخارج، ويَجْمَع الهوائيُّ نفسه في معظم أنواع الرّادار، الموجات المرتدة من الهدف. ويُقوِّي المُسْتَقبِل الموجات المنعكسة التي تُدْعى **الأصداء** بحيث يمكن رؤيتها على شاشة. وتُماثل شاشة الرادار أنبوب الصورة في جهاز التّلفاز، إلا أنها غالبًا ما تكون

دائرية بدلاً من أن تكون مستطيلة. وتَظْهَر الأصداء نقاطًا من الضوء، أو خيالاً للهدف المُشاهَد.

رادار صغير ذو طور واسع يتتبع الصواريخ والأقمار الصناعية بحزم إشارة مزاحة إلكترونيًا وتُبث إشارة الحزم من وجه الرادار الذي يشبه الساعة.

# ثانياً

## استخدامات الرادار

في الملاحة الجوية .الرّادار أداة مهمة في الملاحة. وقد أسهم استخدامه في كلَّ المطارات والطائرات إلى حدٍّ كبير في سلامة الملاحة.

والمعلوم أنَّ الحركة الجوية قرب المطارات الكبيرة تكون كثيفة للغاية، لذلك يستخدم مراقبو المرور المدرَّبون الرّادار في جميع مطارات العالم الرئيسيَّة لتوجيه التدفُّق المُستمر للطائرات القادمة والمغادرة؛ إذ يبيّن الرّادار للمراقبين مَوْضِع كلّ طائرة في الجو في حد أدنى قدره ٨٠ كم من المطار. وتمكِّنهم هذه المعلومات من مَنْع الاصطدامات باختيار أنسب المَسَارات ليتَّبعها الطيَّارون .ويعتمد المراقبون أيضًا على الرّادار ليُمَكِّنهم من تَوجيه

الهبوط الأرضي عند رداءة الطقس، وذلك حين تصبح رؤية الطيَّارين للأنوار والمدرَّجات صعبة أثناء اقترابهم .

**تعتمد مراكز تحكُّم الحركة الجويّة على الرّادار** لتتبُّع الطائرات وإرشادها في طيرانها بين المطارات. وتظهر الموجات الرّادارية المنعكسة من الطائرات نقاطاً مضيئة على شاشة دائرية. ويمكن تحديد مَسار الطيران لكلّ طائرة بمتابعة حركات النِّقاط.

ويحدِّد نظام يُدْعى الرّادار **الثَّانويّ**، الطائرة على شاشات المراقبين في الحركة الجوية. فتبعث الإشارة اللاسلكية مُرْسِلاً على الطائرة، فيرسل إشارة شفرية راجعة، تحوي إشارة نداء الطائرة. وهذه الإشارة تُرْسم على الشاشة بجانب النقطة التي تمثِّل الطائرة.

وبمعظم الطائرات الحديثة أنواع مختلفة من الرادارات لتساعد الطيَّار. فعلى سبيل المثال يُبيِّن رادار **مقياس الارتفاع** مقدار علُو الطائرة في أثناء طيرانها، وهكذا يساعد الطيارين للحِفاظ على ارتفاع مناسب. وهناك وسيلة أخرى، هي **رادار الطقس** الذي يكشف العواصف القريبة، وبذلك يستطيع الطيَّارون تغيير المسارات لتجنب الطقس الرَّديء قَدر استطاعتهم.

في الملاحة البحرية .يُستخدم الرّادار على نطاق واسع بوصفه مساعِدًا للملاحة في أنواع عديدة من القوارب والسُّفن، من مركبة النُّزهة الصغيرة، إلى ناقلات النفط الضخمة. ويمكن لرادار السفينة ـ في الظروف الجويَّة الرَّديئة ـ تحديد أماكن السُّفن الأخرى والصخور والجبال الثَّلجية في الأوقات المناسبة لتجنُّب الحوادث. ويستطيع الملاح، عندما تكون السفينة قُربَ الشاطئ، تحديدَ مكان السفينة بوساطة أصداء الرّادار من عواكس خاصّةٍ عائمة، أو من الجُزُر، أو من علامات أرضية أخرى

**القوارب والسفن تستخدم الرّادار** للمساعدة في الملاحة البحرية خاصة لتجنب العوارض في حالة ضعف الرؤية. وتستخدم الزوارق الصغيرة، كزورق القطر (الصورة اليمنى) عدّة رادارات ذات هوائيّ متحرك أعلى الكابينة. ويوضح الشكل (في الصورة اليسرى) كيف تخترق موجات الرّادار الضباب الكثيف؛ حيث تمكن صدى الموجات المستقبلة الملاحين

ويستخدم المسؤولون عن الميناء الرّادار للتحكُّم في السّفن في الموانئ المزدحمة. فهم يتتبَّعون حركة جميع السُّفن في الميناء على شاشة الرّادار التي تعطي ما يشبه صورة خريطة للميناء. وبوساطة الاتصالات الراديوية يستطيع هؤلاء المسؤولون توجيه السفن الدَّاخلة والخارجة من المَرْفأ بأمان في أيّ ظروف جوية.

كذلك يمكن لمحطات حَرَس الشواطئ تتبُّع آثار السفن من خلال المُراقِبات الرّادارية، ويستخدم حرس الشواطئ الرّادار للبحث عن السُّفن المُدَوَّنة والمبلَّغ عن فقدها.

في القوات المسلحة: للرادار استخدامات واسعة ومتعددة في القوات المسلحة، ومنها الاستخدامات الرئيسية التالية: ١-الدِّفاع الجوي، ٢-الدفاع الصَّاروخيّ، ٣-المراقبة الفضائيّة، ٤-الاستطلاع، ٥-قياس المَدَى، ٦-التحكُّم في نيران الأسلحة.

الرّادار حيويٌّ للأمن القوميّ للعديد من الدول؛ حيث تمكن الرّادارات المستخدمة في الدفاع الصاروخي من الإنذار المبكّر لقذائف العدو بعيدة المدى. كما يمكن لرادارات الدفاع الجوي اكتشاف الطائرات المُغيرة. ويقوم نظام الكشف والملاحقة الفضائيّ بتتبع الأقمار الاصطناعية الموجودة حول الأرض. كما تمكّن الرّادارات الأخرى الموجودة في النصف الشّماليّ للأرض من توفير الحماية ضد القذائف الموجّهة.

الدفاع الجوي. يتطلب رادارات طويلة المدى تستطيع كشف طائرات العدو المُقتربة، وتتبعها من مسافات كبيرة، بحيث تعطي إنذارًا مبكرًا جدًا. وتشكِّل شبكات واسعة من محطات الرّادار، معظم نُظُم الدِّفاع الجوّيّ الوطنيّة. وأشهر هذه الشبكات هي شبكة الإنذار المُبَكِّر البعيد، التي تحمي الولايات المتحدة الأمريكية وكندا ضد هجوم من الشمال، وتتألف من أكثر من ٣٠ محطة راداريَّة عبر شمالي أمريكا الشمالية.

وتستخدم عدَّة بلدان، بالإضافة إلى المحطات الرّادارية الأرضية، طائرات مجهزة بالرّادار للحماية من الهجوم الجوي المُباغت. ويستطيع الرّادار المحمول جوًّا تحديد قاذفات العدو المنخفضة الطيران التي يُمكِنها الهرب من قواعد الرّادار الأرضية.

الدفاع الصاروخي يتكون من شبكة راداريَّة مماثلة لتلك المستخدمة في الإنذار المبكر من الطائرات المُعادِية، إلاَّ أنَّها تتطلب رادارات ذات قُدرة أكبر

لكَشف الصواريخ الموجَّهة؛ حيث إنَّها تطير بسرعة أكبر، وعلى ارتفاعات أعلى من الطائرات .والشبكة الرئيسيَّة التي طَوَّرَتها الولايات المتحدة الأمريكية للدفاع الصاروخي هي: نظام الإنذار المبكر للصواريخ البالستية، ولهذا النظام مُنشآت في كلٍّ من كلير في ألاسكا، وثول في جرينلاند، وفلايندل في إنجلترا. وتستطيع الوحدات الرّادارِيَّة في هذه المنشآت تحديد الصواريخ الطويلة المدى التي تصل حتى مسافة4,800 كم.

المراقبة الفضائية تشمل استخدام رادارات فائقة القُدرة لكشف الأقمار الاصطناعيّة وتتبُّعها، وكذلك أيّ أهداف أخرى موضوعة في مدار حول الأرض. ولهذا الغرض تستثمر الولايات المتحدة وكندا شبكة تسمى نظام الكَشْف والمُلاحقة الفضائيّ. ويتضمن النظام ثلاث مُنشآت لنظام الدفاع الصاروخيّ، وثماني منشآت أخرى في مواقع مختلفة من العالم .ويُؤمِّن هذا النظام حوالي ٢٠,٠٠٠ مراقبة يومية لمئات الأهداف المَدَارِيَّة (التي تدور حول الأرض). وتساعد البيانات الواردة من هذه المراقبات في تحديد هُوِيَّة أقمار الاستطلاع المستخدمة للتَّجَسُّس.

الاستطلاع -تجميع المعلومات. يُستخدم الرّادار لجمع المعلومات حول الاستعدادات التي تتخذها دولُ أخرى للحرب. ويستطيع **رادار رَسْم الخرائط** المحمول في الطائرة أن ينتج خرائط تفصيلية للأرض، ويبيّن المُنشآت العسكرية والتجهيزات. وتستطيع أنواع أخرى من الرّادارات الحصول على معلومات مهمة عن النظم الصاروخية لدولة أخرى بمراقبة صواريخها أثناء تجارب الإطلاق.

رسم الخرائط بالرّادار يُمكن إجراؤه من طائرة. وهذه خريطة رادارية لمدينة فلاجستاف في ولاية أريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية. (على اليمين.) أخذت من ارتفاع ١٢,٠٠٠م وتظهر المدينة كعنقود من الصُّور الصفراء. أمّا شكل الأرض الضخم إلى يسار المدينة فهو جبل إلدن.

قياس المدى. يُستخدم الرّادار غالبًا لفحص المَدَى بغرض التأكد من أداء التجهيزات العسكريّة. فعلى سبيل المثال تستطيع رادارات قياس المدى أن تَتَتَبَّع بدقة طيران صاروخ جديد. فإذا لم يكن أداء الصاروخ كما هو متوقع، فيمكن لبيانات التَّتبُّع أن تساعد المُصَمِّم على تحديد الخطأ.

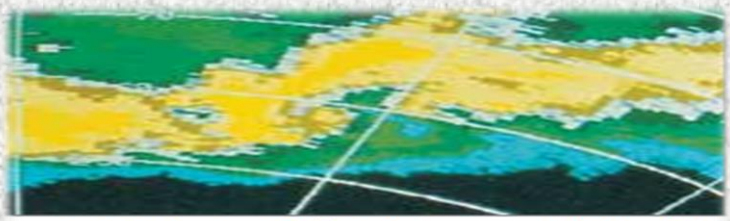
التحكُّم في نيران الأسلحة. يستطيع الرّادار تحديد الأهداف بدقَّة، بحيث يُستخدم لتوجيه العديد من أنواع الأسلحة وإطلاقها. ويتحكَّم الرّادار في نيران المدفعية المضادَّة للطائرات المركَّبة على الدبابات والسفن. ويُوَجِّه الصواريخ المُنطلقة من المُقاتلات ومن مواضع قواعد الإطلاق الأرضية، إضافة إلى أنَّ الطائرات المزوَّدة بقنابل مُوجهة راداريًّا، تستطيع إلقاء القنابل بدقَّة على الأهداف في الليل أو في طقسٍ رديء.

في التحكم في سرعة المرور وتدفقه .تستخدم الشُّرطة في بعض الدُّول الرّادار لتطبيق قوانين السرعة والتأكُّد من سرعة المَرْكبَات على الشوارع والطُّرق العامة. وتستطيع أجهزة رادارات الشرطة المتحرّكة كَشْفَ المركبات المُسْرِعة من بعد حوالي ٣٧٠م. وتبثُّ الإشارات الرّادارية من الهوائي المُرَكَّب خارج مَرْكبة الشرطة.

**كيف يساعد الرادار الشرطة في القبض على السائقين المسرعين**
تستخدم الشرطة رادار دوبلر للكشف عن السائقين المسرعين. ويرسل هوائي الرادار المركب على سيارة الشرطة (أسفل إلى اليمين) موجات لاسلكية مستمرّة على تردُّد معيَّن، وعندما تصْدم هذه الموجة سيارة متحركة، تنعكس بتردُّد مختلف كما هو مبين بالرسم. ويقيس جهاز الرادار فرق التردد لإيجاد سرعة المَركبة ويسجلها (أسفل إلى اليسار).

وفي بعض المدن يكون لدى موظفي النقل رادار يساعدهم على تحديد كثافة حركة المرور على الشوارع الرئيسية. وتستخدم هذه المعلومات لتعديل إشارات المرور، والمسارات أثناء ساعات الازدحام أو الطقس الرديء.

في مراقبة الطقس وتوقّعه .للرادار دور مُهِم في تنبؤات أحوال الطقس المَحَلِّية قصيرة المدى .ويمكن لأصداء الرّادار كَشف قطرات المطر وذرات الثلوج في الغيوم من بعد400 كم. وفي أحوال عديدة تبيّن شدَّة هذه الأصداء نَوعَ العاصفة المقتربة، كالأصداء الرَّعدية، كما يمكن للأصداء الرّادارية أن تشير إلى اتجاه العاصفة وسرعتها.


**رادار الطقس** يستطيع كَشْف معلومات عن تكون العواصف وحركتها بتسجيل الأصداء المُرتدَّة من قطرات المطر وذرات الثلج. وتبين شاشة الرادار هذه عاصفة مكونة لإعصار التورناد.

ويمكن للمشتغلين بالأرصاد الجوية، وتحليل المشاهدات الرّادارية، توقع موعد مرور عاصفة ما فوق منطقة مُعَيَّنة. ويستطيعون في أحوال عدَّة، إعطاء تحذيرات مُسبقة إلى الجمهور عن مسار إعصار أو زوبعة أو عاصفة شديدة. وتُستخدم مئات الرّادارات الأرضية والرّادارات المحمولة جوًا لتتبُّع مثل هذه العواصف، كما أن معظم المطارات الرئيسيَّة لديها رادارات توقُّع الطقس. فإذا لوحظت عاصفة شديدة على مسار خطِّ طيران، فإن الحركة الجوية تعيد توجيه الطائرات لتجنُّبها.

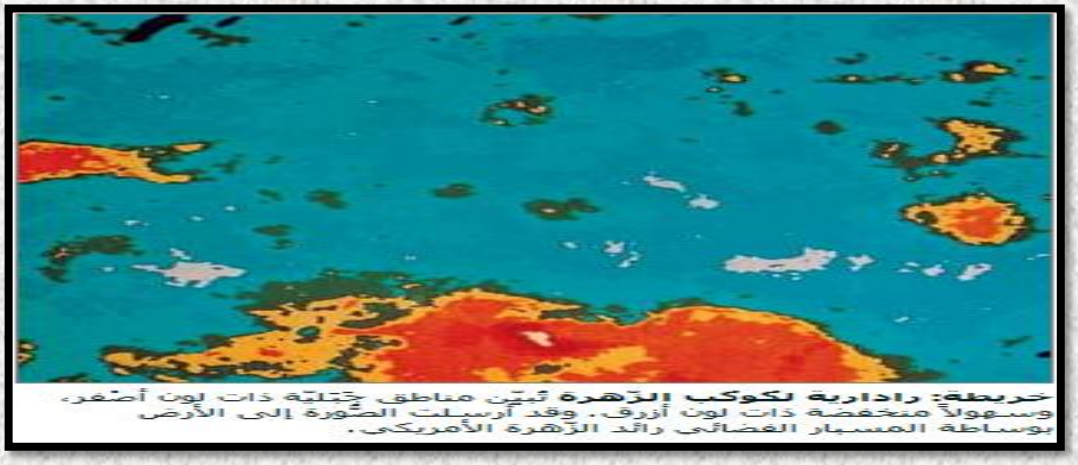
في البحوث العلمية .يعتمد العلماء على الرّادار لإجراء أنواع الدِّراسات المختلفة؛ فيستخدمون الرّادارات ذات القُدرة العالية لاستقصاء طبقات الجو العُليا. ويكون إشعاع الشمس على ارتفاع ١٠٠كم فما فوق شديدًا، إلى حدّ أنه يفكك جُزَيئات الهواء مكونًا جُسَيْمات مشحونة كهربائيًا تسمى **الإلكترونات والأيونات** .والهواء المتأيِّن في طبقات الجو العليا وخاصة في المنطقة المسماة **بالغلاف الأيوني** يعكس بعض الموجات الراديوية، ويمكن نتيجة لذلك دراستُها بوساطة الرّادار من سطح الأرض. وتساعد المشاهدات الرّادارية العلماء في تحديد درجة حرارة طبقات الجو العليا، وأنواع الغازات في الهواء. وتُبيِّن المشاهدات الرّادارية أيضًا مَدى سرعة هبات الرِّياح على مثل هذه الارتفاعات في كل الأوقات.

وتُسْهم تقنية الرّادار وأجهزته كثيرًا في دراسة النِّظام الشَّمسيّ؛ فقد استخدم الفلكيون المشاهدات الرّادارية للقمر والشمس والكواكب القريبة من الأرض، كما جمعوا الأصداء الرّادارية من أكبر توابع كوكب المشتري. ولقد أعطت هذه المشاهد الرّادارية قياسات دقيقة للغاية عن مسافات هذه الأهداف، كما بيَّنت مقدار سرعة هذه الأهداف. وحصل الفلكيُّون على خرائط مُفصَّلة عن القمر، وعن كوكب المريخ؛ وذلك بتسجيل الموجات الراديوية المُرْتَدَّة من سطحها، وبالتقنية نفسها نجحوا في اختراق الغيوم الكثيفة المحيطة بكوكب الزهرة، وكشفوا الجبال العديدة والظواهر المماثلة للأوْدية على سطحه.

كذلك استفادت دراسة هجرة الطيور ـ وهي موضوع بحث علمي آخر ـ من الرّادار أيضًا؛ إذْ يعتمد علماء الحيوان على الرّادار لتعقُّب طيران نماذج من الطيور المهاجِرة ليلاً، أو الأنواع الصغيرة جدًّا التي يتعذَّر رؤيتُها من الشاطئ. ومثل هذه المعلومات مفيدة في بحوث الأحياء البحريَّة، ولتخطيط حَفْر آبار النفط البعيدة عن الشاطئ.

في الرحلات الفضائية .الرّادار عامل أساسي لنجاح المُهمات في الفضاء الخارجي .والخطوة الأولى في مثل هذه المهمات هي إطلاق مَرْكبة فضائيّة مأهُولة أو غير مأهُولة في مدارٍ حول الأرض. ويستخدم المتحكِّمون في المهمة الفضائيَّة في أثناء الإطلاق نظامًا من قواعد الرّادارات الأرضية، وأجهزة راديوية أخرى، لتتبع حركة المَرْكبة. وفور دخولها مَدارَها حول الأرض، تقيس الرّادارات شَكْل المَدار وحجمه، وتأخذ الحواسيبُ القياسات

لتحدد وقت تشغيل محركات الصواريخ المتبقِّية ومدَّة تشغيلها ليتم إطلاق المركبة من مدارها حول الأرض إلى الفضاء الخارجي.



خريطة: رادارية لكوكب الزهرة تبيّن مناطق جبلية ذات لون أصفر، وسهولاً منخفضة ذات لون أزرق. وقد أرسلت الصورة إلى الأرض بوساطة المسبار الفضائي رائد الزهرة الأمريكي.

وتَحْمِل المَرْكبات الفضائية المُصمَّمة للهبوط على سَطْح القمر أو أي كوكب آخر رادار هبوط، لقياس ارتفاع المَرْكبة الفضائية فوق موقع الهبوط ومُعَدل هبوطها .وتفيد هذه المعلومات في تنظيم سرعة محرّكات المَركبة، بحيث تَهْبِط بالسُّرعة الصحيحة؛ إذ إنه في حالة نزول المَرْكبة بسرعة عالية فإنَّها ستتحطم، وإذا نزلت ببطء كبير، فإنها ستستهلك كثيرًا من الوقود. إضافة إلى ذلك يستخدم مخططو الطيران الرّادار لتحديد مواقع الهبوط الآمنة للمركبة الفضائية. فعلى سبيل المثال، ساعدت الخرائط الرّادارية للقمر علماء الولايات المتحدة على اختيار مساحات للهبوط لم يكن فيها تشكيلات صخرية حادّة تُتْلِف مرْكبة أبُولو القَمَريَّة.

كذلك تتطلب مهمة التحام المَرْكبة الفضائية بمركبة فضائية أخرى استخدام أجهزة الرّادار، حيث يحدد رُوَّاد الفضاء في المركبة الأولى المَرْكبة الأخرى بوساطة الرّادار، وبعدها يستخدمون المعطيات الرّادارية لضَبْط سُرعة مركبتهم وتوجيهها لتقوم بمناورة الالتحام.

## ثالثاً

## أقسام مجموعة الرادار

يتباين حجم مجموعة الرّادار حسب استخدامها؛ فمجموعة الرّادار التي تستخدمها الشرطة للكشف عن السيارات القريبة المُسرعة، يمكن حملها باليد، وتزن حوالي ١٨كجم .أمَّا وحدات الرّادار الضخم المستخدم لدراسة الكواكب والأهداف الأخرى البعيدة، فتشمل أبنية كبيرة. ولبعض هذه الوحدات هوائيات يصل قُطْرها إلى ٣٠٠م.

وعلى الرغم من اختلاف المجموعات الرّادارية في الحجم فهي متشابهة في أقسامها، وهذه الأقسام هي: ١-المذُبذب، ٢-المضمِّن، ٣-المرسِل، ٤-مفتاح الإرسال والاستقبال، ٥-الهوائيّ، ٦-المستقبِل، ٧-معالج الإشارة، ٨-العارض، ٩-الموقت.

المذبذب .جهاز يُنتِج إشارة كهربائية ذات قدرة منخفضة بتردد ثابت. يحدد ترددُ المذبذب ترددَ عمل مجموعة الرّادار.

المُضمن .في الرّادار النَّبضي، مفتاح إلكترونيّ، يُوصِّل المرسل ويفصله بسرعة. وبذلك ينتج المُرسِل رشقاتٍ مَوْجيَّة قصيرة. وفي رادار تضمين التردد يغيّر المضمن الموجة المُرسلة باستمرار. وليس لرادار دوبلر مضمن.

المُرسل .يعْمَل بوصفه مُكبِّرًا، إذ يأخذ الإشارة الكهربائية ذات القدرة المنخفضة، وينتج إشارة عالية القُدرة. فعلى سبيل المثال، ينتج مرسل الرّادار النَّبضي، المستخَدم في التحكُّم في الملاحة الجوية، إشارة بقدرة قصوى تصل إلى عدة ملايين واط.

طبق هوائي كبير دوار يستخدم في محطات رادارية على خط الإنذار المبكر البعيد، وتمسح هذه العواكس - التي تعمل آليًا - السماء، للكشف عن الطيران المعادي.

مفتاح الإرسال والاستقبال .يُمكِّن استخدام هوائيّ واحد لكلٍّ من الإرسال والاستقبال. ويقود مفتاح الإرسال والاستقبال إشارات المُرسِل إلى الهوائي، ويمنع هذه الإشارات من التدفُّق إلى المستقبِل. والإشارات القويّة من المُرسِل قد تُتْلفُ المستقبِل الحسَّاس إذا دخلت فيه. وبعد إرسال الهوائي للموجة يوصل مفتاح الإرسال والاستقبال، المستقبِل إلى الهوائيّ. ويمكن هذا التوصيل المستقبِل من التقاط الأصداء القادمة.

الهوائي .يُرسِل الإشارات الرّادارية على شكل حزْمة ضيّقة من الموجات الكهرومغناطيسية، كما يجمع الأصداء المُنعكسة. وحيث إن معظم وحدات الرّادار الحديثة لها مفتاح إرسال واستقبال، فإنّها تستخدم الهوائيّ نفسه للإرسال والاستقبال.

ويتكون النوع الشائع من الهوائيات من بوق مربوط في مقدمة صحن عاكس كبير يُسمَّى **عاكسًا** .ويطلق البوق الموجات الرّادارية، فيركِّزها العاكس في حزْمة ضَيِّقة. ويدور هوائي الرّادار، بحيث تنتشر هذه الحزمة حول محطة الرّادار ماسحة الأهداف في جميع الاتجاهات.

وتُستخدَم في مجموعات الرّادار أنواع أخرى من الهوائيات تعمل عند ترددات منخفضة نسبيًّا أو عند ترددات عالية للغاية. ويستخدم الرّادار الذي يَبُثُّ موجات راديويَّة منخفضة التردد هوائيات مصنوعة من أنابيب معدنية، أو قضبانًا تشبه الهوائيات الخارجية للتلفاز. وتستخدم في الرّادارات الضَّوئيَّة، نبيطة مختلفة اختلافًا بيّنًا ترسل الموجات ذات التردُّد العالي كالضوء فوق البنفسجي أو الضوء المرئي أو الأشعة تحت الحمراء. وتشبه هذه الوسائل التلسكوب (المقراب) ولها عدسات زجاجية تُرَكِّز الموجات الخارجة في حزمة.

المُستقبل .يأخذ الأصداء الضعيفة المتجمعة بوساطة الهوائيّ ويضخِّمها كثيرًا. والمُستقبل حسَّاس لدرجة أنه يستطيع بسهولة كشف الأصداء ذات القدرة التي تقلّ عن واحد من المليون من الواط. ويرشِّح المستقبل أيضًا الضَّجيج والتَّداخلات الأخرى الملتقَطة من الهوائيّ.

معالج الإشارة .تَمُرُّ الإشارة الواردة من المستقبل، في معظم وحدات الرّادار، خلال معالج للإشارة قبل ذهابها إلى الشاشة. ويؤدي معالج الإشارة وظائف مختلفة في الرّادارات المستخدمة لأغراض مختلفة، فهو يَحْجُبُ في بعض أنواع الرّادارات الأصداء من أهداف كبيرة وثابتة، ويسمح فقط للأصداء من الأهداف الصغيرة المتحرّكة لتصل إلى الشاشة. وبذلك يُمكِّن مُعَالج الإشارة عاملَ الرّادار، من رؤية طائرة على سبيل المثال، على الرغم من أنَّ أصداء الطائرة تصل في وقت واحد مع أصداء أقوى بكثير صادرة من جبل. ويقوم الحاسُوب في كثير من أجهزة الرّادار الحديثة مقام مُعالِج الإشارة.

العارض (الشاشة) .يُقدِّم للعاملين في الرّادار المعلومات المُحصَّلة عن هدفٍ ما. ولبعض مجموعات الرّادار عارض بسيط. فرادارات دوبلر المحمولة التي تستخدمها الشرطة على سبيل المثال لها مقياس يشير إلى سُرعة عَرَبةٍ أو شاحنة، إلا أن معظم مجموعات الرّادار ذات عارض أعقد، مؤلّف من أنبوبة أشعة مِهْبَطية، وهي صمام مُفرَّغ مُزَوَّد بعارض فلوريّ يشبه جهاز التلفاز .ويستطيع عارض أنبوبة الأشعة المِهْبَطية عَرْض المُعطيات الرّادارية بأشكال عدَّة.

والعارض الأكثر انتشارًا هو عارض مؤشّر المَوْضِع السَّطْحيّ، ويزودنا بصُورةٍ تُماثل الخارطة للمنطقة الممسوحة بحزمة الرّادار .ويوافق مركز الصورة موضع مجموعة الرّادار .ومحيط العارض مدرج مثل البوصلة وذلك لقراءة الاتجاه. ويمكن أن تكون للعارض دوائر تنتشر من مركز الصُّورة إلى محيطها لتبيّن المسافة بالميل أو الكيلومتر. وتَظْهَر الأصداء الرّادارية في شكل نقاط مضيئة. ويعطي موضع النقطة بالنسبة لتدريج البوصلة اتجاه الهدف. وتبين مسافة النقطة من مركز الشاشة مقدار بُعْد الهَدَف. ويمكن تحديد سرعة الهدف بملاحظة الوقت الذي تستغرقه النقطة لتقطع مسافة معيَّنة على عارض الرّادار.

وتبيّن أشكال أخرى من العوارض ارتفاع الهدف، ويستخدم هذا النوع من العوارض في مجموعات الرّادار المصمَّمة للمساعَدة في توجيه الطائرة في أثناء الهبوط.

المُوقِّت .يؤَمِّن تشغيل مجموعة الرّادار بكفاءة وسهولة .وتُوصِّل هذه النبيطة أجزاءً رئيسية لمجموعة الرّادار بدقة وتفصلها في الوقت المناسب أوتوماتيكياً، ويقوم الموقت بعمله هذا بإرسال إشارات تَحَكُّم إلى أقسام النِّظام المختلفة بتسلسل مناسِب.

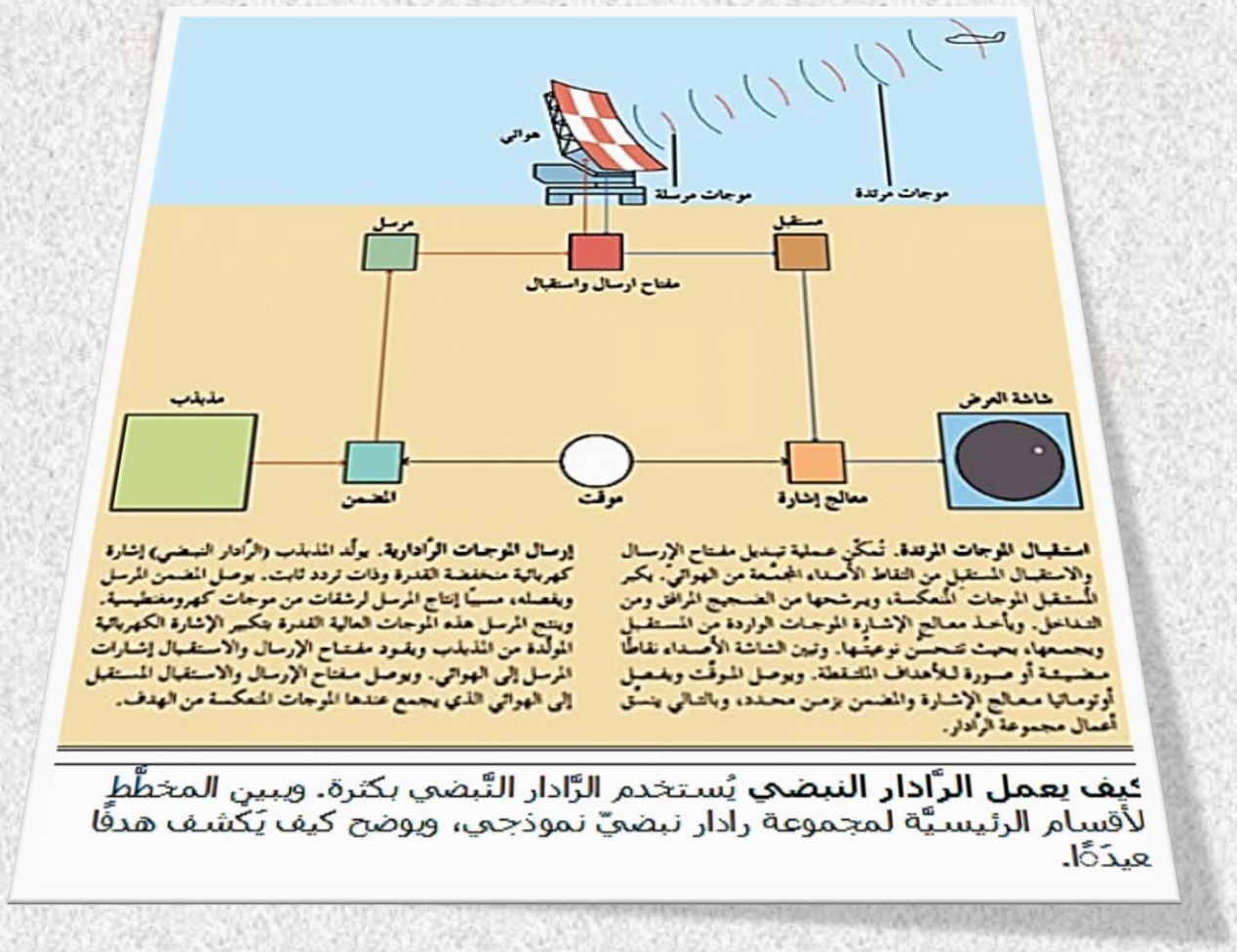
# رابعاً

## كيف يعمل الرادار؟

تختلف مجموعات الرّادار في التَّصميم وفي الغَرض، ولكنَّها جميعًا تَعْمل على المبادئ العامة نفسها. وتُنْتج جميع الرّادارات وتَبُث الإشارات على شكل موجات كهرومغناطيسية. ويمكن للموجات الرّادارية أن تُكَوِّن موجات راديوية أو موجات ضوئيَّة. ومعظم مجموعات الرّادار تَبُث موجات راديوية، ولكن قلّة منها تُسمَّى **الرادارات الضَّوئية أو الرّادارات اللّيزَرِية** تَبُثُّ موجات ضوئية .

عندما تُرسل مجموعة الرّادار الموجات الراديوية تصطدم هذه الموجات بالهدف وتنعكس، ويعود قسم من الموجات المنعكسة إلى مجموعة الرّادار على المسار نفسه، الذي أُرسلت عليه. ويُشبه هذا الانعكاس،

لدرجة كبيرة، ما يحدث عندما يَصْرُخ شخص في وادٍ جَبليّ، ويسمع صدى صرخته من الصخور القريبة. في هذه الحالة تنعكس الموجات الصوتية عِوضًا عن الموجات الراديوية أو الضَّوئية.




**كيف يعمل الرّادار النبضي** يُستخدم الرّادار النّبضي بكثرة. ويبين المخطّط لأقسام الرئيسيّة لمجموعة رادار نبضيّ نموذجي، ويوضح كيف يَكشف هدفًا عيدًا.

وللموجات التي يُرْسلها الرّادار تردد مُحَدَّد. ويُقاس تردد مثل هذه الموجة بوحدة تسمى **ميجاهرتز** .تساوي وحدة الميجاهرتز مليون **هرتز**) دورة بالثانية .(وللموجات الراديوية تردُّدات منخفضة عن ترددات الموجات الضوئية، ومعظم الرّادارات التي تبث على الموجات الراديوية تعمل على ترددات بين ١,٠٠٠ ميجاهرتز و٥٠,٠٠٠ ميجاهرتز. وتعمل الرّادارات الضوئية على ترددات أعلى بكثير، وبعضها يُولّد موجات ضوئية ذات ترددات تصل إلى بليون ميجاهرتز .

وتُصَمَّم مجموعات الرّادارات، في أحوال عدة، لأغراض مختلفة وتعمل على ترددُات مختلفة. وتكون الرّادارات العاملة على ترددات منخفضة فعَّالة أكثر من تلك العاملة على ترددات مرتفعة في اختراق الغيوم والضَّباب والمطر، لذا تُستخدم بكثرة في الطائرات والسُّفن. ومن ناحية أخرى تُعْطي أجهزة الرّادار ذات التَّردُّدات العالية، قياسات دقيقة وبهوائيات أصغر من تلك المُستخدمة في الرّادارات ذات الترددات المُنخفضة. يستطيع الرّادار الضوئي، على سبيل المثال، إنتاج إشارة ذات حزمة ضيِّقة للغاية من ليزر ذي قطر يبلغ فقط ١,٣سم .وتكون الرّادارات الضوئية مفيدة بصورة خاصة في مسح التضاريس القاسية، حيث يجب قياس النقاط البعيدة من خلال الفجوات بين الأشياء كالصخور الكبيرة والأشجار.

وتختلف مجموعات الرّادار أيضًا في كيفية إرسال الإشارات، وتصنف على هذا الأساس إلى نوعين عامَّيْن هما: ١ـ الرّادار النبضي، ٢ـ الرّادار ذو الموجة المستمرة، والنَّوع الأول أكثر شيوعًا.

الرّادار النَّبْضي .يَبُثّ إشارات على شكل رشقات قويَّة متقطِّعة، أو نبضات، وتستمر هذه النَّبضات للموجات الرّادارية بضعة أجزاء من المليون من الثانية. ولمجموعة الرّادار النبضي هوائي واحد يستخدم بالتناوب لإرسال النبضات ولاستقبال أصدائها.

ويمكن إيجاد المسافة إلى أحد الأهداف بقياس الزَّمن الذي تستغرقه الموجة الرّادارية لتصل إلى هذا الهدف وتعود. وتسير الموجات الرّادارية كبقية الموجات الكهرومغناطيسية بسرعة الضوء ٢٩٩,٧٩٢كم/ث. لذا فالموجة الرّادارية التي تعود بعد ثانيتين تكون قد قَطَعت ٥٩٩,٥٨٤كم، أي ٢٩٩,٧٩٢كم في الذهاب إلى الهدف والمسافة نفسها في الإياب، وتحول مجموعة الرّادار النبضي آليًا الزمن اللازم للذهاب والإياب إلى **مسافة** (بُعْد) نحو الهدف.

ويَبُثُّ الهوائيُّ النبضات المَوْجيَّة في حزْمة ضيقة عالية التَّوجيه تُمكِّن مجموعة الرّادار من تحديد اتجاه الهدف. ولا يستطيع عكس الموجات إلا الهدف الذي يقع في حجم الحزمة فقط .ويحدد الاتجاه الذي منه تنعكس الموجات موضِع الهدف. ويستطيع الرّادار النبضي ملاحقة (تتبع) هدف، بإرسال متواصل لإشارات نبضية، وقياس مسافة الهدف واتجاهه في فترات منتظمة. ويستخدم هذا النوع من الرّادار أيضًا لرسم خرائط رادارية من طائرة. ويمكن إنتاج الخريطة الرادارية بمسح حزمة نبضات فوق مساحة محددة، ورسم شدة الأصداء من كل اتجاه .وتظهر الأصداء في شكل صورة على شاشة الرادار، وتسجل على فيلم ضوئي. وتنتج الأهدافُ، مثل الأبنية والجسور والجبال، صورًا لامعة، لأنها تعكس أصداء قويّة.

الرّادار ذو المَوْجة المستمرة .يبث إشارة متواصلة عوضًا عن الرشقات القصيرة، ويوجد نوعان من الرّادار ذي الموجة المستمرَّة، هما: ١ـ رادار دوبلر ٢ـ رادار تضمين التردد.

رادار دوبلر يستخدم بصورة رئيسيَّة للقياسات الدقيقة للسُّرعة، ويعمل على مبدأ **تأثير دُوبلر**، وهو تغيير على تردد الموجة تسببه الحركة. يرسل رادار دُوبلر موجة مستمرَّة بتردُّد ثابت، ويستخدم الهوائي نفسه في كلٍّ من الإرسال والاستقبال .وعندما تصطدم الموجة المُرْسَلة بهدف مُقترِب من الرّادار، تنعكس الموجات عند تردد أعلى من التردد المرسل. وعندما يكون الهدف مبتعدًا عن مجموعة الرّادار، فإن الموجة المرتَدَّة تصبح ذات تردُّدٍ أقلَّ، وكلّما كان الهدف أسرع في أيٍّ من الاتجاهين كان الفرق أكبر بين تردد الموجة المرسَلة وتردد الموجة المُنعكِسة. وبقياس الفَرقْ في التردُّد يحدد رادار دُوبلر سرعة الهدف المُراقَب.

وتستخدم الشرطة رادار دُوبلر لكشف السائقين المُسرعِين. ويستخدمه الجنود لقياس سرعة الأهداف بغية توجيه نيران الأسلحة.

رادار تضمين التردد يبث أيضًا إشارة مستمرَّة، إلاَّ أنه يزيد أو ينقص تردُّد الإشارة في فترات منتظمة. ونتيجة لذلك فإنّ رادار تضمين التردّد، خلافًا لرادار دوبلر، يُمْكِنُه تحديد المسافات لهدف ثابت أو متحرك. وفي الزمن الذي تصل فيه إشارة الرّادار إلى الهدف وتعود، يكون تردُّد الهدف المرسل قد تغير. ويقاس الفرق بين تردّد الصدى وتردُّد المُرسل، ويحوّل إلى مسافة للهدف الذي ينتج الصدى. وكلّما كان الهدف أبعد ازداد الفرق بين الترددين.

ويمكن استخدام رادار تضمين التردّد، مثل الرّادار النَّبْضيّ، في رسم الخرائط، وفي الملاحقة. ويمكن استخدامه على الطائرات مقياسًا للارتفاع.

# خامساً

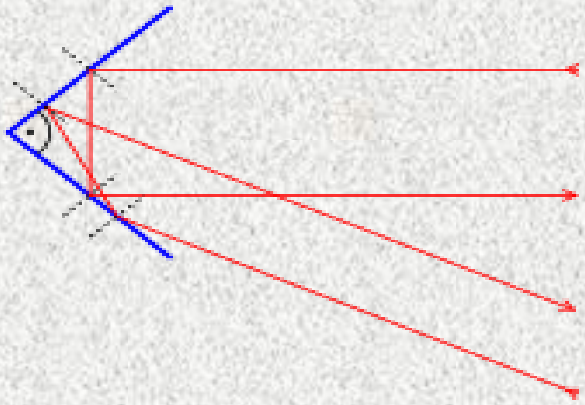
## أساسيّات عمل الرادار

**الانعكاس:**

الموجات الكهرومغناطيسية تنعكس (أحيانًا تتبدد) عند أي اختلاف كبير في ثوابت العزل الكهربائي أو التعاكس المغناطيسي (الديامغناطيسية)، وهذا يعني أن المواد الصلبة الموجودة بالهواء أو الفراغ أو أي تغيير ملموس بالكثافة الذرية بين الجسم والبيئة المحيطة به سوف يبدد الإشعاع أو

الموجات الراديوية. وتنطبق على الموصلات الكهربية كالمعادن والألياف الكربونية والتي تساعد الرادار على سهولة الكشف على الطائرات والسفن. المواد التي تمتص الرادار تحتوي على مقاومة ومواد مغناطيسية وتستخدم بالعربات العسكرية لخفض انعكاس الرادار، وأيضا الأصباغ الداكنة تعمل نفس العمل.

تتفرق (تتشتت) موجات الرادار بعدة أشكال اعتمادًا على طول الموجة وشكل الهدف. فإذا كان طول الموجة أقصر من حجم الهدف فإن الموجة سترتد باتجاهات متغايرة كالضوء على المرآة، وإذا كانت الموجة أطول من حجم الهدف فإن الهدف سيكون متقاطب (الشحنات الموجبة والسالبة منفصلة) مثل الإريال ثنائي الأقطاب. الرادارات المبكرة استخدمت موجات ذات أطوال عالية أطول من الهدف مما جعلها تستقبل إشارات مبهمة، لكن الحديثة منها تستخدم أطوال قصيرة جدا بحيث يمكنها التقاط أهداف بحجم رغيف الخبز. موجات الراديو القصيرة تنعكس من الزوايا والمنحنيات بطريقة مشابهة للمعان قطعة زجاج مدورة. الأهداف الأكثر انعكاسا للموجات القصيرة لها زوايا ٩٠ درجة بين الأسطح المنعكسة، الجسم الذي يحتوي على ٣ أسطح وتلتقي بزاوية واحدة كزاوية علبة تعكس الموجات الداخلة إليها مباشرة إلى المصدر وتسمى بالزوايا العاكسة وهذه الطريقة تستعمل لتسهيل الكشف الراداري وتوجد بالقوارب لتسهيل حالات الإنقاذ وتقليل الاصطدامات كما بالصورة.



**طريقة عمل الزوايا العاكسة:**

ولأسباب مشابهة هناك أهداف تحاول تجنب الكشف الراداري وذلك بعمل الزوايا لأجسامها بطريقة لمنع الكشف وتكون حوافها عمودية لاتجاه الكشف مما يقود لاتجاه العكس كما بطائرة الشبح، ومع ذلك فإن التخفي لا يكون كاملا بسبب عامل الانحراف للموجات وخاصة للموجات الطويلة.

معادلة الرادار:

كمية الطاقة للإشارة المرتدة إلى الرادار المرسل تعطى بالمعادلة التالية:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 R^4}$$

حيث أن

Pt = الطاقة المرسلة

Gt = زيادة إرسال الهوائي

Ar = مساحة الهوائي المرسل

σ = المقطع العرضي للرادار

F = عامل الانتشار

R = المسافة أو المدى بين المرسل والهدف

من المعادلة نرى أن كمية طاقة الإشارة المرتدة تضعف إلى مستوى أقل من ربع طاقة المدى مما يعني أن قوة الإشارة المستلمة تكون ضعيفة جدا.

عامل الانتشار=١ في حالة الفراغ ويعني إنه لا وجود لأي تشويش، وهذا العامل ينسب إلى تأثير الانتشار والتضليل وطبيعة البيئة المحيطة وحتى الفقدان خلال الطريق تؤخذ بالحسبان. بعض المعادلات الرياضية التي تطور الإشارة الرادار تضيف تصنيف زمن التردد (المويجة) ويستخدم للأهداف المتحركة.

**الاستقطاب:**

إشارات الرادار المرسلة يكون مجالها الكهربائي متعامد مع اتجاه الموجة واتجاه هذا المجال يكون هو استقطاب الموجة، فنرى قطبية الرادار إما أفقية أو عمودي أو على شكل خط مستقيم أو دائري حتى يمكنه الكشف على عدة أنواع من الانعكاسات، فمثلا الاستقطاب الأفقي يستخدم لتقليل التشويش الآتي من المطر. الاستقطاب المعاد على خط مستقيم يستخدم للتعريف على الأجسام المعدنية، الاستقطاب العشوائي المعاد يدل على الأسطح الصغيرة والكسرات كالصخور والتربة وهذا النوع من الرادار تستخدم بمراقبة الملاحة الجوية

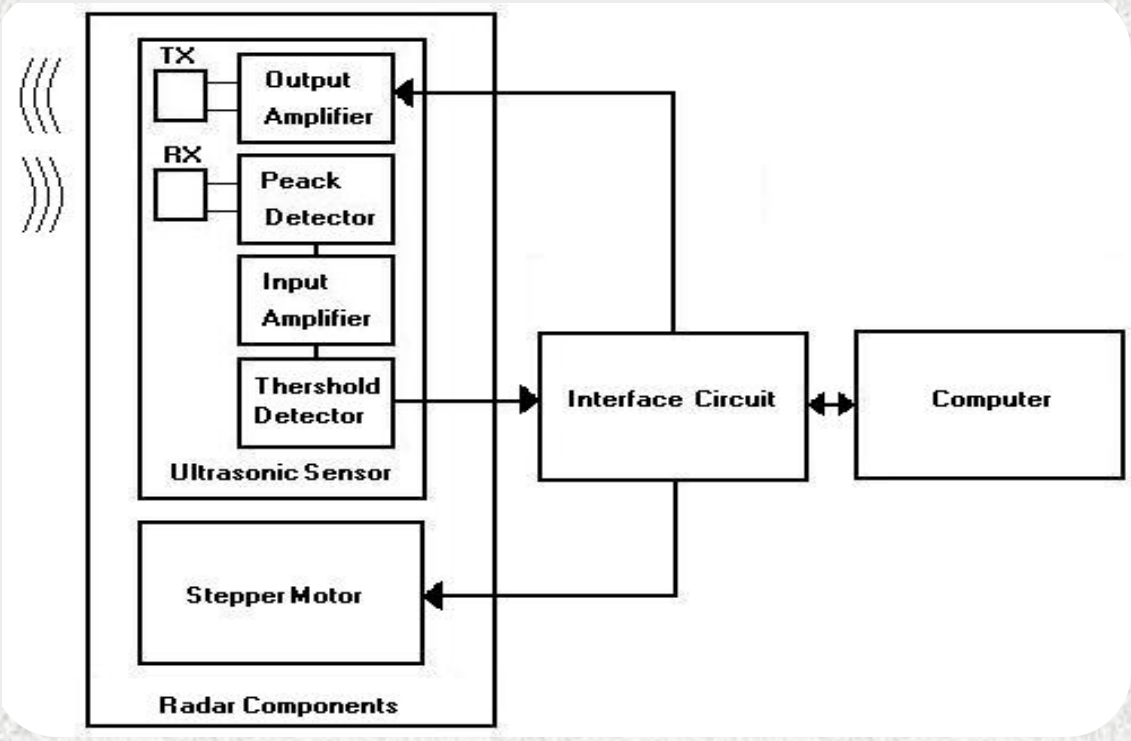
**التداخل:**

نظام الرادار يجب عليه تخطي بعض الإشارات الغير مرغوبة الناشئة من (مصادر داخلية أو خارجية سواءً سلبية أو إيجابية) حتى تظهر الأهداف الحقيقية. وتعرف تلك المقدرة على تخطي موجات التشويش بنسبة الإشارة إلى الضجيج. (signal to noise ratio SNR) كلما كانت النسبة عالية كلما كانت كلما كانت نقاوة الموجة المستقبلة أفضل

**الضوضاء:**

إشارة الضوضاء هي مصدر داخلي من الاختلافات المتعددة للإشارة، وتشكلت إلى حد ما من قبل القطع الإلكترونية الداخلية. وهو مضاف بشكل عشوائي على الموجة المرتدة بالرادار المستقبل، كلما ضعفت الإشارة المستقبلة كلما زادت صعوبة تطهيرها من الضجيج، وأفضل مثال على ذلك هو السماع لهمس بجانب طريق مزدحم. لذلك من الأهمية تقليل تلك الضوضاء بتقليل عواملها، ويقاس تلك الضوضاء المنتجة داخل الجهاز المستقبل مقارنة مع الجهاز المثالي وكلما قلت الكمية المقروءة كلما كان الاستقبال أفضل.

هناك ضوضاء ذات مصدر خارجي ويكون عادة من الحرارة الطبيعية المحيطة بالهدف. أنظمة الرادار الحديثة تكون أجهزة الاستقبال ذات كفاءة بحيث أن الضوضاء الداخلية تكون بسيطة وأقل نسبة من الضوضاء الخارجية. وأيضا توجد الضوضاء المتقطعة، تظهر خلال مرور الإلكترونات وتكون ذات علاقة عكسية مع الموجة بمعنى كلما زادت قوة الموجة كلما قلت تلك الضوضاء بشكل كبير، الرادار النبضي يستخدم النظام التمازجي بمعنى اقتران ترددين.



**يتكون المخطط الصندوقي من:**

- **جهاز الكمبيوتر:**
  حيث سنقوم بربط دائرتنا بالكمبيوتر عن طريق منفذ ( Parallel Port).

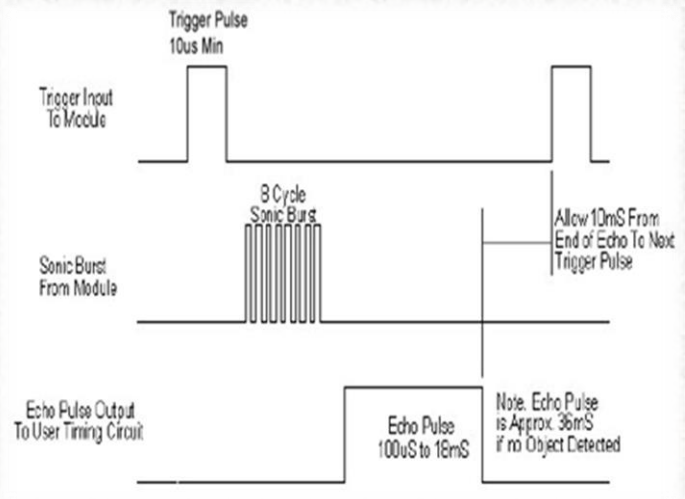
- **الحساس**:
  ويضم عدة أجزاء هي:

- **مكبر إشارة الخرج (Output Amplifier):**
  هو الجز من الدائرة الذي يقوم بتكبير إشارة الخرج بشكل المطلوب.

- **مكبر إشارة الدخل ((Input Amplifier:**
  هو الجزء الذي يقوم باستقبال الإشارة عن طريق المستقبل فيقوم بتكبيرها بشكل ملائم.

- **كاشف القمة او العتبة (Peak Detector):**
  هو الجزء الذي يقوم بتحديد القمة أو قيمة الجهد المناسبة والمرغوبة بحيث تكون ملائمة لدخل الشريحة (PIC).

رسم توضيحي للنبضات:



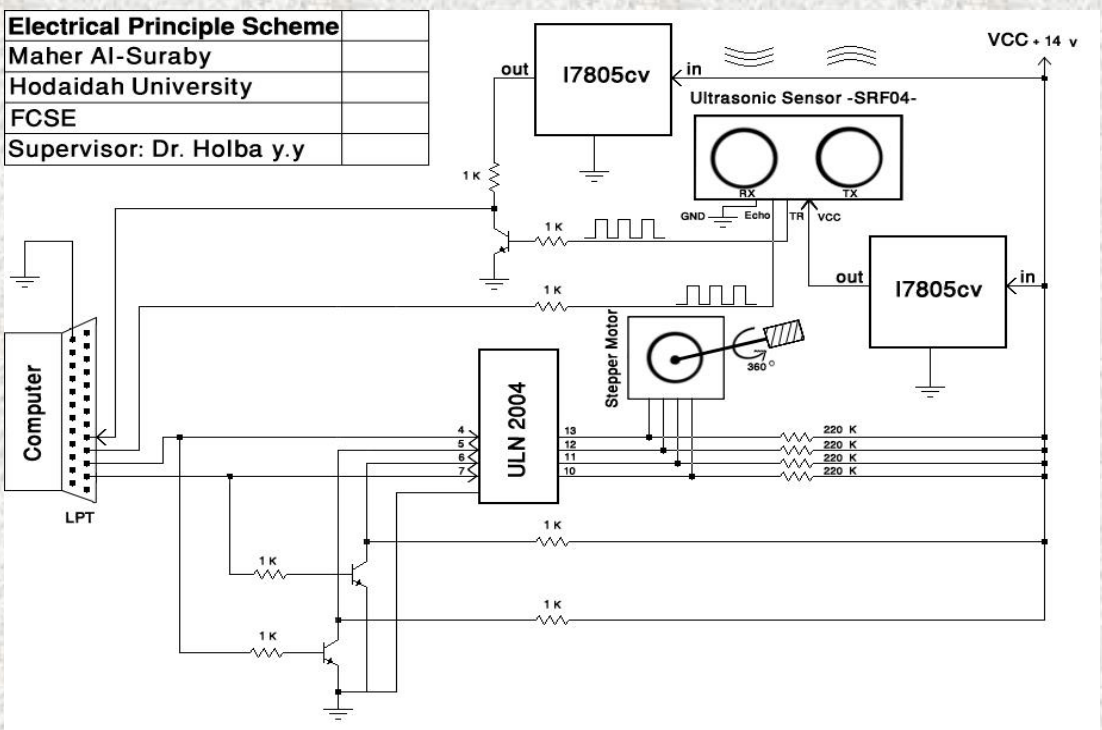
يتم إرسال نبضه من منفذ الكمبيوتر (Parallel Port) إلى منفذ الحساس المسمى

(Trigger) أو المذبذب حيث تكون النبضة بعرض فتره زمنيه (Period) 10us وذالك لتوليد ثمانية دورات (8 Cycle) من موجات (Ultrasonic) بتردد 40KHzوكل ما زاد عرض النبضة فستزيد عدد الدورات المولدة ولكننا استخدمنا اقل فتره ممكنه لتوليد اقل عينه لتكون القياسات صحيحة بما أننا يهمنا حساب الزمن الحقيقي أو الحقيقي نسبيا.

بعد تفعيل المذبذب (Trigger) وتوليد ثمان موجات بتردد 40KHz ستقوم شريحة (PIC) الموجودة في (SRF04) بعد إطلاق آخر موجه بتفعيل منفذ الصدى (Echo) بقيمه عاليه (High) كما هو مبين حتى إذا ما ارتدت موجه يتم إرجاعه إلى القيمة المنخفضة (Low) فإذا لم ترتد أي موجه ووصل عداد انتها الزمن (Time Out) فانه أيضا يرد إلى القيمة المنخفضة (Low) ولكن بعد مرور زمن محدد وهو تقريبا 36ms أي (Time Out).

ثم يتم إضافة تأخير حوالي 10msقبل العودة إلى دوره جديدة.

## مخطط الدارة الكهربائية:



# الخاتمة

إنّ الكثير من أنواع الرادارات مفيد ومتطوّر، ولكن له بعض السلبيات وقد طوّرت الطائرات بحيث تتخطاه، لذلك فإنّ هذا البحث الصغير لمعرفة المبادئ الأولى للرادار لنتمكن من التوصّل إلى رادارات أفضل ومتنوعة الاستخدامات، ولكن هذا البحث غير كافٍ، لذلك فإنّ هذه معلومات بسيطة لتصميم الرادار، ولكن يجب البحث في تطوّر الطائرات لمعرفة إن كان يمكننا كشفها بالرادارات وكيف!

# المصادر والمراجع


1. Bassem R. Mahafza, Ph.D., Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, PP.532.

2. N.Shinjo, l.Buist and C.S. Subramanian, Stepper Motor Control

3. http://www.micro-examples.com/public/croex-havig/doc/print_090-ultrasonic-ranger.html.

4. http://www.ecelab.com/circuit-ultrasonic-t.htm.

5. http://www.ecelab.com/circuit-ultrasonic-r.htm.

6. http://www.abb.com/product/seitp329/fe13392849a620f56e24002eaa59.aspx?productLanguage=ar&country=00.

7. http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/presentstate.htm.

8. http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf04th.htm.

9. http://www.electronics-lab.com/projects/sensors/007/index.html.

10. http://multyremotes.com/four-el-IR-remote.htm.

11. http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor#Fundentals_Opa

# الفهرس


| العنوان | الصفحة |
|---|---|
| صفحة الغلاف | ١ |
| إشكالية البحث | ٢ |
| الأهداف | ٢ |
| المقدّمة | ٢ |
| الفصل الأول: الرادارات ومبدأ عملها | ٣ - ٤ |
| الفصل الثاني: استخدامات الرادار | ٤ - ٩ |
| الفصل الثالث: أقسام مجموعة الرادار | ٩ - ١٠ |
| الفصل الرابع: كيف يعمل الرادار؟ | ١٠ -١٦ |
| الفصل الخامس: أساسيات عمل الرادار | ١٦ -٢١ |
| الخاتمة | ٢٢ |
| المصادر والمراجع | ٢٢ |
| الفهرس | ٢٤ |
| فهرس الصور | ٢٥ |

# فهرس الصور


| هويّة الصورة | رقم الصفحة |
|---|---|
| Figure 1: "Würzburg Riese", World War II radar produced in 1940 by Telefunken (Germany) ٢ | ١ |
| رادار ضعيف ذو طور واسع | ٤ |
| رادارات التحكم بالحركة الجوية | ٥ |
| رادارات مراقبة السفن | ٥ |
| رادارات الدفاع الصاروخي | ٦ |
| رادارات رسم الخرائط | ٧ |
| رادار دوبلر | ٨ |
| رادار الطقس | ٨ |
| خريطة رادارية لكوكب الزهرة | ١٠ |
| طبق هوائي كبير دوار | ١١ |
| الرادار النبضي | ١٤ |