# بررسی نقش پوشش‌های فرّیتی جاذبِ امواج الکترومغناطیس در رادارگریزی شناورهای تندرو

**ابوذر روئین‌تن**

استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه امام حسین(علیه‌السلام)، abroeintan@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۷)

**چکیده:**

پوشش‌های فریتی جاذب امواج الکترو مغناطیس در دو حوزه‌ی مهم نظامی و پزشکی کاربرد دارد. اهمیت این پوشش‌ها در حوزه‌ی نظامی به مخفی کردن ادوات نظامی و ایمن کردن آنها تا حد ممکن از تیررس دشمن مربوط می‌شود. بخش زیادی از پروژه‌های مربوط به طرّاحی و ساخت شناورها، به کاهش سطح مقطع راداری (RCS[1]) اختصاص داده می‌شود که برای رسیدن به این هدف از تغییر شکل بدنه‌ی سازه استفاده می‌کنند. تغییر شکل بدنه، سختی کار و مشکلات زیادی را به دنبال خواهد داشت که مهم‌ترین آنها تضعیف خواص آیرودینامیکی است. پوشش‌های جاذب امواج رادار و نصب آنها بر روی بدنه شناورها علاوه بر حفظ طرّاحی بهینه، می‌تواند بازه‌ی وسیعی از امواج رادار را تضعیف و جذب کند که این امر منجر به رادارگریز کردن آنها می‌شود. مواد نانو به دلیل خواص بی‌نظیر الکتریکی و مکانیکی گزینه‌های مناسبی برای جذب امواج الکترومغناطیسی هستند. مواد کامپوزیتی نانوپایه می‌توانند کم‌وزن، ارزان و راحت سنتز شوند. استفاده از نانوذرات آهن، نیکل و کبالت در ساخت نانوکامپوزیت‌های فریتی قادر است در محدوده‌ی فرکانسی امواج رادار، سطح مقطع راداری را حداقل تا ۶ برابر کاهش دهد که این نتیجه‌ی بسیار خوبی محسوب می‌شود. این مواد به صورت روکش یک میلی‌متری بر روی بدنه‌ی شناورها کشیده شده و قادر است آنها را از دید رادارهای دشمن پنهان کند.

**واژه‌های کلیدی:** پوشش‌های فرّیتی جاذب، امواج الکترومغناطیس، سطح مقطع راداری، شناورهای تندرو.

# Investigating the role of electromagnetic absorption ferrite coatings in radar detection of high speed crafts

**Abouzar Roeintan**

Assistant professor of Imam Hossein University; abroeintan@gmail.com

(Submitted: 2017/Oct/05; Accepted: 2017/Oct/29)

**Abstract:**

Electromagnetic absorption ferrite coatings are used in two important military and medical fields. The importance of these coverings in the military field is to hide military equipment and secure them as far as possible from the enemy's throws. A large part of the projects related to the design and construction of crafts is intended to reduce the radar cross section (RCS), which uses structural body changes to achieve this purpose. Body deformation will have a lot of difficulty and problems, most notably the weakening of aerodynamic properties. The radar absorbing coatings and their installation on the crafting bodies, in addition to maintaining optimal design, can weaken and absorb a wide range of radar waves, which will lead to realization of them. Nano-material is an excellent choice for absorbing electromagnetic waves due to its unique electrical and mechanical properties. Nano-based composites can be low-weight, cheap and easy to synthesize. The use of nanoparticles iron, nickel and cobalt in the manufacture of ferrite nano-composites is capable of reducing the radar cross section area by at least 6 times in the frequency range of the radar, which is a very good result. The material is pulled by a 1 mm overlay on the crafts body and is able to hide them from the enemy's radar's sight.

**Keywords:** Absorbent ferrite coatings, Electromagnetic waves, Radar cross section, High speed craft.

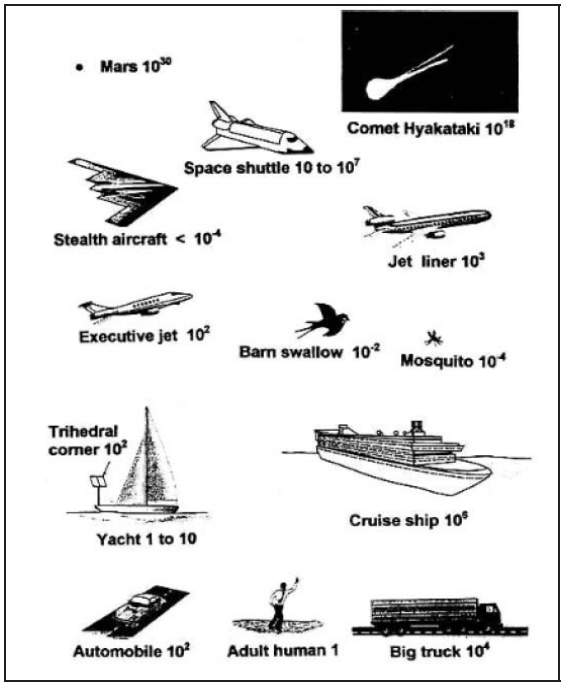
[1] Radar Cross Section

## ۱- مقدمه

امروزه، تداخل امواج الکترومغناطیسی به عنوان نوع جدیدی از آلودگی شناخته شده است که ناشی از گسترش روزافزون استفاده از تجهیزات الکترونیکی در بخش‌هایی همچون صنعتی، دفاعی و بهداشت و درمان می‌باشد. برای حفاظت و جلوگیری از جذب این امواج توسط بدن در برابر اغتشاشات امواج الکترومغناطیسی در زمینه‌ی زیست‌محیطی و در زمینه‌ی نظامی جهت استتار تجهیزات نظامی از دید رادارها این نوع پوشش‌ها کاربرد فراوانی دارند. در این راستا، در سال‌های اخیر انواع ابزارهای حفاظتی با توانایی جذب امواج الکترومغناطیسی بسیار مورد توجه بوده است[۱]. انواع جاذب‌های امواج الکترومغناطیسی عبارتند از: پودرهای فلزی، الیاف رسانای مغناطیسی، نانوذرات مغناطیسی، نانوالیاف و فیبرها. این جاذب‌ها مزایا و معایبی دارند که از جمله‌ی معایب آنها می‌توان به وزن مخصوص بزرگ، پهنای باند کم برای جذب [۲، ۳] و ضعف عملکرد در دمای بالا اشاره کرد. برای حل مشکلات موجود می‌توان از کربن به عنوان نوع جدید پوشش جاذب، به دلیل سبکی، قدرت جذب و پهنای باند جذب بالا استفاده نمود. بر اساس مکانیسم جذب امواج، معمولاً مواد جاذب به دو صورت کاهش دی‌الکتریکی و کاهش مغناطیسی عمل می‌کنند که بیشتر جاذب‌های کربنی از نوع اول می‌باشند. از این رو، ساخت نانوذرات مغناطیسی با عناصر مختلف که این خاصیت را دارند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بیشتر مواد کربنی [۵-۷] از نوع نانولوله‌های کربنی هستند[۸، ۹]. اگرچه نانولوله‌های کربنی عملکرد بهتری در مقایسه با بقیه دارند [۱۰] ولی از الیاف کربنی به دلیل مقرون به صرفه بودن در فرآیند تولید و آماده‌سازی بیشتر استفاده می‌شود[۱۱]. نانولوله‌های کربنی دارای خواص مکانیکی، الکتریکی و گرمایی بسیار خوبی هستند که وابسته به قطر و کایرالیته نانولوله‌ها (نانولوله‌های تک‌جداره یا چندجداره) می‌باشد[۱۲]. مواد مناسب جذب، باید توانایی جذب طول‌موج گسترده در امواج رادیویی، جذب قوی، وزن سبک، ضخامت نازک داشته باشند. همچنین، موادی که خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب و روش بهره‌برداری مساعدتری دارند، ترجیح داده می‌شوند[۱۳، ۱۴]. با استفاده از روش سل–ژل معمولی [۱۵] و اصلاح‌شده [۱۶، ۱۷] و به وسیله‌ی نانوذرات مغناطیسی می‌توان پوشش مناسب را روی نانولوله‌های کربنی قرار داد. فرّیت‌ها مواد مغناطیسی هستند که به سبب کاربردهای متنوع و کارایی بالای الکترومغناطیسی در ناحیه‌ی وسیع فرکانسی، بسیار سودمند می‌باشند[۱۸]. در سال‌های اخیر، با توجه به استفاده‌ی بیش از حد از ابزارهای الکترونیکی، مانند سامانه‌های راداری، مسأله‌ی تداخل امواج الکترومغناطیسی و آسیب‌های ناشی از آن توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. به همین منظور، تحقیق درباره‌ی مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی به طور فزاینده‌ای در حال پیشرفت و گسترش است[۱۹]. در میان مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی، مواد فرّیتی نرم مغناطیسی به سبب دارا بودن ویژگی‌هایی همچون اشباع‌شدگی مغناطیسی بالا، پایداری شیمیایی بالا و مقاومت در برابر خوردگی می‌توانند گزینه‌ی مناسبی در زمینه‌ی تحقیق درباره‌ی مواد جاذب باشند[۱۹]. با توجه به خصوصیات ذکرشده در بالا، استفاده از مواد فرّیتی نرم مغناطیسی به عنوان پوشش‌های جاذب امواج الکترومغناطیسی معایب ذکرشده در مورد دیگر نانوذرات را ندارد و می‌تواند گزینه‌ی مناسبی جهت جذب امواج باشد. با توجه به دکترین دفاعی جمهوری اسلامی ایران در خصوص بکارگیری شناورهای تندرو در مقابل شناورهای دشمن، نزدیک شدن به اهداف مورد نظر بدون کشف توسط حساسه‌های دشمن، امری ضروری است. لذا، با توجه به نقش محوری شناسایی و دقت در اطلاعات نظامی طرف مقابل (نیروهای دشمن) که در خصوص تجهیزات آشکارسازی، پیشرفت‌های چشمگیری داشته و همگی به حساسه‌های قوی راداری مجهز هستند، افزایش قابلیت رادارگریزی در دریا به عنوان یک نیاز اولیه مطرح می‌گردد و عدم استفاده از تاکتیک‌های اختفاء در شناورهای موجود و شناورهای آینده، مشکلات زیادی را در عرصه‌ی نبردهای دریایی آینده برایمان ایجاد خواهد نمود. لذا، پیش‌بینی می‌شود که افزایش قابلیت اختفای راداری در شناورها بتواند تا حدی تأثیر تجهیزات شناسایی و برتری آتش دشمن را خنثی نموده و باعث تداوم اتکاء بر شناورهای سطحی، به ویژه شناورهای تندرو در آینده گردد.

## ۲- مواد جاذب رادار

امروزه فناوری استتار به صورت انواع مختلف استتار بصری، الکترونیکی و نوری عمدتاً در هواپیما و کشتی‌ها به منظور کاهش تشخیص توسط رادار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری مبتنی بر طراحی و ترکیب وسایل و تجهیزات است و بازتابش نور از رادار را به شدت کاهش می‌دهد. مواد جاذب رادار موادی هستند که در فناوری استتار برای پنهان کردن یک وسیله یا یک شیء از امواج رادار استفاده می‌شوند. میزان جذب امواج رادار در یک فرکانس مشخص بستگی به ساختار ماده‌ی جاذب دارد. این مواد به طور کامل نمی‌توانند امواج را جذب کنند و همچنین، ماده‌ای وجود ندارد که بتواند تمام فرکانس‌های رادار را جذب کند. یک اشتباه مرسوم این است که برخی فکر می‌کنند این مواد می‌توانند اشیا را در برابر امواج رادار نامرئی کنند در صورتی که آنها فقط میزان سطح مقطع راداری اشیاء را در یک فرکانس مشخص کاهش می‌دهند. محاسبه‌ی سطح مقطع راداری یک جسم بسیار پیچیده است، چرا که تابع پیچیده‌ای از فرکانس و زاویه‌ی تابش موج ارسالی و نوع قطبش آن، جنس ماده و ابعاد آن و همچنین زاویه‌ی مشاهده می‌باشد. از طرفی، کاهش سطح مقطع راداری یک جسم، از اهیمت ویژه‌ای در امور نظامی برخوردار است. سطح مقطع راداری، میزان قابل شناسایی بودن یک شیء توسط رادار را بیان می‌کند. هرچه این مقدار بیشتر باشد شکل برای رادار قابل رؤیت‌تر است. یک شیء مقدار محدودی از انرژی رادار را باز می‌گرداند. مقدار بازگشت امواج الکترومغناطیس به منبعش را عوامل گوناگونی مشخص می‌کنند که می‌توان به ماده سازنده‌ی هدف، اندازه‌ی دقیق هدف، نسبت اندازه‌ی هدف با طول‌موج تولیدشده توسط رادار، زاویه‌ی برخورد، زاویه‌ی بازگشت و قطبش امواج فرستاده‌شده و بازگشتی با توجه به جهت هدف اشاره نمود. به طور کلی، چهار روش اصلی کاهش سطح مقطع راداری معرفی شده است که این چهار روش عبارتند از: شکل‌دهی هدف، مواد جاذب راداری، حذف فعّال و حذف غیرفعّال. امروزه، مواد مختلفی به عنوان مواد جاذب رادار مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌توان به کربن، فلزات و ذرات فلزی، پلیمرهای رسانا و مواد کایرال اشاره نمود. در شکل ۱ مقایسه‌ی سطح مقطع راداری در اشیاء مختلف بر حسب مترمربع بیان شده است. در این شکل، برخی از تصاویر اشیاء مختلف و واکنش‌های آنها در مواجهه با امواج رادار آورده شده است. اختلاف سطح مقطع راداری مشاهده‌شده در اشیاء مختلف با روش‌های مختلفی تغییر می‌کند که به فرکانس و سیگنال رادار بستگی دارد. به عنوان مثال، برای فرکانس‌های بالاتر از ۴۰ گیگاهرتز سطح مقطع راداری استتار هواپیما بالاتر از یک انسان بزرگسال است.




شکل (۱): مقایسه‌ی سطح مقطع راداری در اشیاء مختلف.

## ۳- فرّیت‌های مغناطیسی

معمولاً از فرّیت‌ها به عنوان ماده‌ی پایه برای بازتاب امواج مایکروویو و نامرئی کردن ادوات نظامی استفاده می‌شود. فرّیت‌ها ترکیبی از فلزات مغناطیسی آهن، نیکل و کبالت و با ساختار بلوری اسپینل هستند. از خواص فرّیت‌های مغناطیسی آن است که وقتی در یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند با آن هم‌راستا شده و بعد از قطع آن به راستای اولیه‌ی خود برنمی‌گردند[۱۸]. مواد فرومغناطیس به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

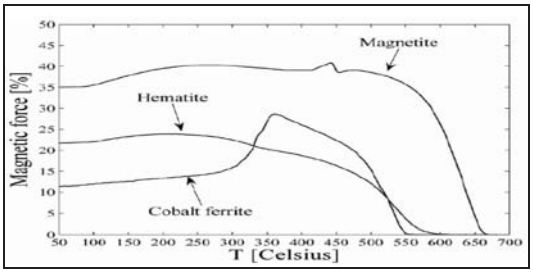
۱- فرومغناطیس نرم: این مواد زمانی که در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند به راحتی آهنربا می‌شوند و با قطع میدان، خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند.

۲ – فرومغناطیس سخت: این مواد زمانی که در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند به سختی آهنربا می‌شوند و با

قطع میدان به سختی خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌هند[۱۹].

## ۴- استفاده از نانوفریت‌ها به جای فرّیت‌های معمولی به عنوان مواد جاذب رادار

از نقاط ضعف فرّیت‌ها می‌توان به کاهش یا از بین رفتن اثر آنها با گرما اشاره کرد. وقتی فرّیت‌های فرومغناطیسی در مواجهه با افزایش دما قرار می‌گیرند، در دمای خاصی که به «دمای کوری» معروف است، حوزه‌های مغناطیسی‌شان از بین رفته و تبدیل به پارامغناطیس می‌شوند[۱۹] (شکل ۲).




شکل (۲): از بین رفتن خاصیت یک ماده‌ی فرومغناطیس در دمای کوری برای سه فرّیت معروف.

نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی مانند نانوکامپوزیت مگنتیت به دلیل ماهیّت و ساختار کریستالی ویژه خود (ساختار اسپینلی[1]) و مقاوم‌تر بودن دیواره‌های مغناطیسی نسبت به فرّیت‌های معمولی در مواجهه با امواج الکترومغناطیسی دیرتر به حالت اشباع می‌رسند و پایداری بیشتری در مقابل تغییر درجه‌ی حرارت دارند. این نانوکامپوزیت به دلیل تأثیرپذیری مغناطیسی بالا وقتی در مواجهه با میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد با خطوط میدان هم‌راستا شده و ایجاد آهنربا می‌کند و با قطع میدان خاصیت آهنربایی را نسبت به فرّیت‌های معمولی بیشتر در خود نگه می‌دارد[۱۸]. پس می‌توان بیان کرد که تأثیر نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی در مواجهه با مؤلفه‌ی مغناطیسی امواج رادار بسیار بالاتر از تأثیر فرّیت‌های معمولی است. به عبارت دیگر، برای تأثیر مساوی با نانوکامپوزیت‌ها باید مواد بیشتر و با ضخامت بیشتری از فرّیت‌های معمولی در سطح مورد نظر به کار رود و این باعث سنگین‌تر شدن بیش از حدّ ادوات نظامی می‌شود.

[1] Spinel structure

حُسن بعدی استفاده از نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی به جای فرّیت‌های معمولی، سبک‌تر بودن آنهاست[۱۹].

## ۵- مزایای پوشش‌های نانوفرّیتی مغناطیسی نسبت به پوشش‌های دیگر

به طور کلی، مواد جاذب رادار از دیدگاه اجزای سازنده در دو دسته مواد جاذب دی‌الکتریک و مواد جاذب الکترومغناطیس طبقه‌بندی می‌شوند. کامپوزیت‌های حاوی پُرکننده‌های رسانا، همچون گرافیت، کربن سیاه، نیمه‌رساناها و پلیمرهای رسانا در زمینه‌ی پلیمرهای مهندسی، مانند اِپوکسی و پلی‌یورتان عموماً در ساخت جاذب‌های دی‌الکتریک مور استفاده قرار می‌گیرند. نوع دیگر جاذب‌های الکترومغناطیسی، جاذب‌های مغناطیسی هستند که در آنها کربونیل آهن، آلیاژهای فلزی مغناطیسی و فرّیت‌ها نقش پُرکننده‌ی جاذب را ایفا می‌کنند. میزان جذب امواج الکترومغناطیسی یا اتلاف انعکاسی در هر یک از انواع جاذب‌ها به ترکیبات سازنده، ضخامت و مقادیر به کار رفته از ماده پُرکننده در ساخت پوشش بستگی خواهد داشت. همچنین، در طرّاحی و ساخت پوشش‌های جاذب امواج الکترومغناطیسی علاوه بر حداکثر جذب باید وزن، ضخامت، مقاومت محیطی، استحکام مکانیکی و هزینه‌ی تولید روکش نیز مد نظر قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین مزایای پوشش‌های نانوفرّیتی مغناطیسی نسبت به دیگر پوشش‌ها، تطابق خوب امپدانس هوا با روکش جاذب است که این موضوع باعث نفوذ فوق‌العاده‌ی امواج الکترومغناطیس درون جاذب می‌گردد و در نتیجه‌ی آن امواج ساطع‌شده از سطح شناورها به سمت رادار به حداقل میزان کاهش می‌یابد. اگرچه مواد جاذب دی‌الکتریک وزن کمتری نسبت به جاذب‌های الکترومغاطیس فرّیتی دارند، اما میزان جذب امواج توسط آنها در فرکانس‌های بسیار بالا کم است. به عبارت دیگر، بخشی از امواج را بازتابش می‌کنند. امروزه، با استفاده از فناوری نانو، پوشش‌های نانوفرّیتی مناسب با دانسیته و چگالی بسیار پایین‌تر تولید شده است که این مهم در کاهش وزن شناورها به منظور سرعت عمل عملیاتی بالاتر بسیار حائز اهمیت است. پایداری شیمیایی بالا، روش تولید آسان، هزینه‌ی تولید پایین، مقاومت در مقابل خوردگی و جلوگیری از رشد موجودات دریایی نظیر

جلبک‌ها و خزه‌ها از دیگر مزیّت‌های این پوشش‌ها نسبت به سایر پوشش‌هاست.

## ۶- انواع پوشش‌های دریایی

پوشش‌های کامپوزیتی جاذب امواج الکترومغناطیسی، پوشش‌های پایه‌پلیمری تقویت‌شده با الیاف کربن می‌باشند که به دلیل دارا بودن وزن و چگالی پایین و همچنین، استحکام مکانیکی مطلوب، در عین خواص ضدّ خوردگی شیمیایی، به لحاظ جذب امواج الکترومغناطیسی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. پلاستیک‌های تقویت‌شده با الیاف شیشه از سال ۱۹۵۰ در صنایع نظامی و ساخت تجهیزات مختلف از جمله بدنه‌ی شناورها، لوله‌ها، پایه‌ی پمپ‌ها و مخازن مورد استفاده قرار گرفته است. در این نوع پوشش‌ها، نوع، کیفیّت، پایه‌ی شیمیایی رزین مصرفی، الیاف مصرفی، طرح بافت، کیفیّت الیاف و نحوه‌ی اجرای پوشش تعیین‌کننده‌ی کیفیت نهایی پوشش می‌باشد. رزین‌هایی که معمولاً در ماتریس این نوع پوشش‌ها استفاده می‌شوند، عبارتند از: وینیل استر، اپوکسی، پلی‌استر، فوران، فنول، وینیل استر. الیاف تقویتی مورد استفاده نیز که نقش مهمی را در تقویت و استحکام پوشش‌های ضدّ خوردگی ایفا می‌کنند، معمولاً از انواع الیاف شیشه و کربن با دانسیته‌های مختلف می‌باشد. در پوشش‌های کامپوزیتی، پایه‌ی رزین علاوه بر خواص شیمیایی از دو جهت حائز اهمیت می‌باشد؛ اول به عنوان نگهدارنده‌ی بستر الیاف تقویتی؛ دوّم به عنوان توزیع‌کننده‌ی تنش‌های وارده در کل سطح پوشش و جلوگیری از آسیب‌های مکانیکی احتمالی. لذا، انتخاب نوع مناسب و باکیفیّت رزین، با در نظر گرفتن شرایط فرآیندی، نقش بسزایی در بهبود عملکرد و طول عمر پوشش ایفا می‌نماید. از مزایای پوشش‌های کامپوزیتی می‌توان به مقاومت بالای خوردگی در مقابل طیف وسیعی از اسیدها، بازها، مقاومت حرارتی مطلوب، استحکام مکانیکی و مقاومت در برابر ضربه، قابلیت ترمیم آسان و جذب امواج الکترومغناطیسی اشاره نمود. یکی از مهم‌ترین دسته پوشش‌های دریایی، پوشش ضدّ خزه است که به منظور جلوگیری از رشد موجودات دریایی اعم از جلبک‌ها و خزه‌ها بر روی سطح شناورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه، با استفاده از فناوری نانو، نانوکامپوزیت‌هایی بر پایه‌ی اپوکسی حاوی نانوذرات اُکسید-روی سنتز و مورد استفاده قرار گرفته است. وزن کم، جلوگیری از خوردگی در برابر آب دریا و جذب امواج مغناطیسی از مزایای مهم این نانوکامپوزیت‌هاست.

## ۷- نتیجه‌گیری

امروزه، استفاده از فناوری نانو در صنایع نظامی رشد بسیار چشمگیری داشته است. به طوری که یکی از دستاوردهای مهم استفاده از علم نانو در ادوات نظامی، تجهیز آنها با مواد جاذب رادار می‌باشد. با استفاده از مواد جاذب رادار، ادوات تجهیزشده توسط رادار دشمن آشکار نمی‌شوند و به اصطلاح رادارگریز می‌گردند. اغلب مواد جاذب رادار فرّیت‌ها هستند که جزو مواد فرومغناطیس سخت می‌باشند که با برهم‌کنش با مؤلّفه‌ی مغناطیسی امواج رادار آن را به خود جذب کرده و اثر آن بر ادوات نظامی را خنثی می‌کنند. یکی از نقاط ضعف فرّیت‌ها دمای کوری آن‌هاست که در آن دما خاصیت فرومغناطیسی این مواد از بین می‌رود. با تولید نانوکامپوزیت این فرّیت‌ها، دمای کوری بیشتر شده و این مشکل مرتفع می‌گردد. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد و استثنایی دیگر نانوکامپوزیت‌های فرّیتی نسبت به مواد فرّیتی معمولی وزن بسیار سبک آن است که این ویژگی در طراحی و ساخت شناورها یک مزیّت بسیار مهم می‌باشد.

## مراجع:


[1] Micheli, D., Apollo, C., Pastore, R., Morles, R. B., Laurenzi, S., and Marchetti, M., "Nanostructured composite materials for electromagnetic interference shielding applications," Acta Astro - nautica, Vol. 69, pp. 747-757, 2011.

[2] Kim, Y. H., and Park, S. J., "Roles of nanosized $Fe_3O_4$ on supercapacitive properties of carbon nanotubes," Current Applied Physics, Vol. 11, pp. 462–466, 2011.

[3] Tong, G. X., Wu, W. H., Guan, J. G., Qian, H. S., Yuan, J. H., and Li, W., "Synthesis and characterization of nanosized urchin-like α-$Fe_2O_3$ and $Fe_3O_4$: Microwave electromagnetic and absorbing properties," Journal of Alloys and Compounds, Vol. 509, pp. 4320–4326, 2011.

[4] Chung, D. D. L., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon

nickel-coated carbon fibers," Composites Science and Technology, Vol. 70, pp. 102–109, 2010.
[15] De-xu, Z., Qiao-ling, L., Yun, Y., and Cun-rui, Z., "Synthesis and characterization of carbon nanotubes decorated with strontium ferrite nanoparticles," Synthetic Metals, Vol. 160, pp. 866–870, 2010.
[16] Ghasemi, A., "Remarkable influence of carbon nanotubes on microwave absorption characteristics of strontiumferrite / CNT nanocomposites," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 323, pp. 3133–3137, 2011.
[17] Ghasemi, A., Sepelak, V., Liu, X., and Morisako, A., "Structural, Microwave, and Magnetic Properties of Self-Assembled Substituted Strontium Ferrite Dot Array on Multiwall Carbon Nanotubes," IEE Tranactions on Magnetics, Vol. 48, No. 11, pp. 3474-3477, 2012.
[18] Dixit, G., et al., "Magnetic and optical studies of nickel ferrite thin films," Advanced Materials Letters, Vol. 3, No. 1, 2012.
[19] Zhu, W., et al., "Electromagnetic and microwave-absorbing properties of magnetic nickel ferrite nanocrystals," Nanoscale, Vol. 3, No. 7, pp. 2862–2864, 2011.

materials," Carbon, Vol. 39, pp. 279–285, 2001.
[5] Fan, Y. Z., Yang, H. B., Liu, X. Z., Zhu, H. G., and Zou, G. G., "Preparation and study on radar absorbing materials of nickel-coated carbon fiber and flake graphite," Journal of Alloys and Compounds, Vol. 461, pp. 490–494, 2008.
[6] Zhao, N. Q., Zhou, T. C., Shi, C. S., Li, J. J., and Guo, W. K., "Microwave absorbing properties of activated carbon-fiber felt screens (vertical-arranged carbon fibers) / epoxy resin composites," Materials Science and Engineering, Vol. 127, pp. 207–211, 2006.
[7] Qing, Y. C., Zhou, W. C., Jia, S., Luo, F., and Zhu, D. M., "Electromagnetic, microwave absorption properties of carbonyl iron and carbon fiber filled epoxy/silicone resin coatings," Applied Physics, Vol. 100, pp. 1177–1181, 2010.
[8] Liu, X. L., "Study on microwave-absorbing behavior of multi-walled CNTs," Modern Applied Science, Vol. 4, No. 9, pp. 124–129, 2010.
[9] Micheli, D., Apollo, C., Pastore, R., and Marchetti, M., "X-Band microwave characterization of carbon-based nanocomposite material, absorption capability comparison and RAS design simulation," Composites Science and Technology, Vol. 70, pp. 400–409, 2010.
[10] Kim, J. B., Lee, S. K., and Kim, C. G., "Comparison study on the effect of carbo nanomaterials for single-layer microwave absorbers in X-band," Composites Science and Technology, Vol. 68, pp. 2909–2916, 2008.
[11] Deng, L. J., and Han, M. G., "Microwave absorbing performances of multiwalled carbon nanotube," Applied Physics Letters, Vol. 91, 2007.
[12] Kong, L., Lu, X., and Zhang, W., "Facile synthesis of multifunctional multiwalled carbon nanotubes / $Fe_3O_4$ nanoparticles / polyaniline composite nanotubes," Journal of Solid State Chemistry, Vol. 181, No. 3, pp. 628–636, March 2008.
[13] Petrov, V. M., and Gagulin, V. V., "Microwave absorbing materials," Inorganic Materials, Vol. 37, No. 2, pp. 93–98, 2001.
[14] De'Rosa, I. M., Dinescu, A., Sarasini, F. and Sarto, M. S., "Effect of short carbon fibers and MWCNTs on microwave absorbing properties of polyester composites containing