

ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA AMAÇLI NANOKOMPOZİTLER

Yahya Öz¹
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii, Ankara

ÖZET

Bir maddenin elektromanyetik (EM) dalgaları absorblama kabiliyeti, sırasıyla elektrik veya manyetik enerjiyi saklama kapasitesi olan geçirgenlik adı verilen iki malzeme özelliğine bağlıdır. Her ikisinin kaynağı, atomik, moleküler veya kristal kafes seviyesinde elektrik veya manyetik dipollerin varlığıdır. Bir EM dalgası malzemeden geçtiğinde, bu dipoller alanın yönünün tersine yönlendirilir. Bazı malzemelerde, EM alanı sıfıra döndükten sonra dipoller zahmetsizce nötr hale gelir. Diğer materyallerde, dipoller “yapışkandır” ve onları yönlendirmek veya nötr hale getirmek için enerji gerekmektedir. Bu çalışmada elektromanyetik kalkanlama özelliğine sahip yeni nesil bir nanokompozit üretim tekniği açıklanmaktadır. Bu sayede özellikle nanomalzemelerin yönlendirilmesi başarılı olarak gerçekleştirilmiştir.

GİRİŞ

Elektromanyetik kalkanlama, bir nesnenin radar için algılanabilirliğini azaltma bilimidir. Amaç, bir radara yansıtılan elektromanyetik enerjiyi en aza indirmek, böylece sistemin geri dönüşü çevreden ve dahili elektroniklerinin gürültüsünden kaynaklanan sinyallerden ayırt edememesidir. Tespit edilebilirlik metriğine, hedeflerin metal kürelerle karşılaştırılmasıyla yansıtıcılığını normalleştiren radar kesiti (RCS) denir. İnsanların yaklaşık 1 m²'lik bir RCS'si vardır, yani 1 m²'lik geometrik bir kesite sahip bir küre kadar radar enerjisi geri dönmektedir. RCS'ler büyüklük derecelerine göre değiştiğinden, 100 m²'nin 20 dBsm'ye ve 0,1 m²'den -10 dBsm'ye dönüştürüldüğü logaritmik birim “desibel metrekaresi” (dBsm) kullanmak da yaygındır. RCS, radar sinyalinin açısına ve frekansına göre değişir. En çok ilgilenilen sektör azimutta ± 45 derece, yükseklikte ± 15 derecedir ve en çok endişe duyulan frekans bandı, çoğu kontrol radarının çalıştığı X bandıdır (8-12 GHz). Daha geniş bir frekans aralığında gözlemlenebilirliği azaltan “her yönden gizlilik” - her açıdan algılanabilirliği en aza indirmek - ve “geniş bant gizliliği” daha yüksek maliyet veya mühendislik dengesiyle elde edilebilir [Li, Zhang, Qu, Wang, Chen, Xu ve Zhang, 2014; Modi, Balanis, Birtcher ve Shaman, 2017]. Kalkanlama teknolojisi, radar dalgalarını yayıcıdan “dağıtacak” şekilde şekillendirerek ve enerjiyi ısıya dönüştürerek yansımaları azaltmak için radar absorblayan malzeme (RAM) kullanarak RCS'i azaltır. Geleneksel olarak, şekillendirme RCS azaltımının % 90'ını ve malzemeler % 10'unu oluşturur. Şekillendirme, dalgaların bilardo topları gibi bir yapıyı sektirdiği “aynasal” saçılma üzerine odaklanarak başlar. Düz yüzeyler çoğu gelen dalgaları eşit bir açıda yansıtır ve bu nedenle radarın geri dönüşünü en aza indirmek için tercih edilir ve yönlendirilir. Motor girişleri, kokpitler, 90 dereceli köşeler ve buna benzer yapılar dalgaları kaynaklarına yansıtır. Bu yüzden dik açılardan tamamen kaçınılması gerekmektedir. Kokpit kanopileri, radar enerjisini yansıtıcıları için birkaç nanometre altın veya indiyum kalay oksit ile “metalleştirilir” [Erdoğan, Erden, Astarlıoğlu, Özdemir, Özbay, Aygün, ve Özyüzer, 2020; Özbay, Erdoğan, Erden, Ekmekçioğlu, Özdemir, Aygün ve Özyüzer, 2020]. Motor fan yüzeyleri harici ekranlar (F-117 ve RQ-170), dahili blokerler (F/A-18E/F) veya serpantin şekilli girişler (B-2, F-22 ve F-35) ile radar dalgalarından korunabilir. Bu önlemlerin hepsi RAM içermektedir [Yu, Jiang

¹ Dr., İleri Malzeme, Proses ve Enerji Teknolojileri Merkezi, E-posta: yahya.oz@tai.com.tr

ve Gong, 2020]. Silahlar dahili olarak taşınmaktadır. Füzeler, bombalar ve yakıt tankları pylonları, yuvarlak gövdeleri, haç kuyrukları ve sensör açıklıkları ile RCS'yi artırır. Ayrıca RCS'yi artırabilen gövdeleri ile çoklu sıçrama geometrileri oluştururlar. Kenarlar, radar enerjisini dar, yelpaze benzeri bir desende, ancak yine de gelen dalgaya eşit bir açıda dağıtır. Kanat ve kuyruk uçları, dalgaları her yöne dağıtır. Her ikisi de RCS'yi en aza indirmek için dar tutulur ve kenarlar radar sistemine ters açıdır.

RAM'ler bir matris malzemesi ve bir dolgu maddesinden oluşan kompozitlerdir [Xiao, Zhu, Wang, Sun, Zhao, Ng, Teo, Hu ve Tu, 2020]. Matris, kayda değer geçirgenliğe düşük kayıplı bir dielektrik malzemedir. EM dalgalarına etkili bir şekilde "şeffaftır" ve genellikle fiziksel özellikleri için seçilirler. Tipik olarak plastik, cam, reçine, poliüretan ve kauçuk gibi yalıtkan polimerlerden oluşmaktadır. Seramikler daha yüksek geçirgenliğe ve ısı toleransına sahiptir. Köpükler ve petekler de kullanılmaktadır [Hunjra, Fakhar, Naveed ve Subhani, 2016]. Bu tür "şeffaf" malzemelerden bir uçak cildi inşa etmek cazip gelebilir, ancak daha sonra sensörler, yakıt, metalik gövde, motor parçaları ve kanopi yansıtmaya sebep olmaktadır.

Bir uçağın RCS değerini azaltmak için teorik olarak dört yöntem vardır. Dalgaların pasif / aktif iptali genellikle pratik olmadığından, diğer iki yöntemin, RAM ve tasarımın bir kombinasyonu kullanılır.

Şimdiye kadar geliştirilen malzemeler RCS'in düşmesini sağlamaktadır. RAM olarak kullanılan metotlar "iron ball paint", "ferrofluid" (Ferromanyetik sıvı), köpükler vb. malzemeler içerir. Ancak kullanılan bu yöntemlerin farklı problemleri mevcuttur. Köpüklerin doğal olarak mekanik özellikleri gelişmiş değildir. Ferromanyetik sıvılar için ise nano ölçülerde (<10 nm) ferromanyetik parçacıklar gerekmektedir. Bu parçacıkların küresel şekli radar dalgalarını absorblamak için uygun ancak mekanik dayanım için uygun değildir. Ayrıca bu yöntemle uçağın kenarlarında radar istasyonları tarafından gözlemlenebilen yüzey dalgaları oluşmaktadır.

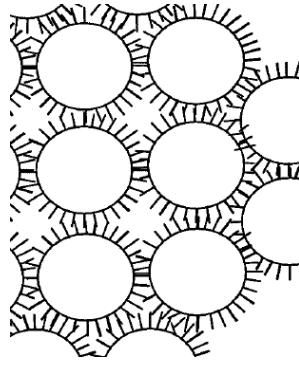
Bunun dışında literatürde "Dallenbach (Tuned) Layer Absorber", "Salisbury Screen", "Jaumann Absorber" vb. uygulamalar mevcuttur. Bu metotlarda yok edici girişimden yararlanmaya çalışılmaktadır [Song, Wu, Huang, Yang, Ji, Zhang ve Luo, 2019].

Radar dalgalarını absorblamak dışında literatürde [Jayalakshmi, Inamdar, Anand ve Kandasubramanian, 2018] kenar uygulaması olarak bilinen yöntemi ayrıca sağlamak amaçlanan hedeflerden biridir. Bu sayede normal şartlarda kenarlarda oluşan yüzey dalgalarının oluşması engellenmektedir. Empedans bu amaç için uça havanın empedansına eşit olmalı ve arkasındaki iletken yüzeyde sifıra düşmelidir. Bu yapı, yüzey akımlarının geçişine normalin aksine ani değil yavaşça izin verir. Bu düzenleme, RCS'e katkıda bulunan üç etkiyi baskılar; kenar akımlarını, yürüyen dalgaları ve kenar kırınımları. RCS her açıdan ve özellikle normal olmayan açılarda bile azalır.

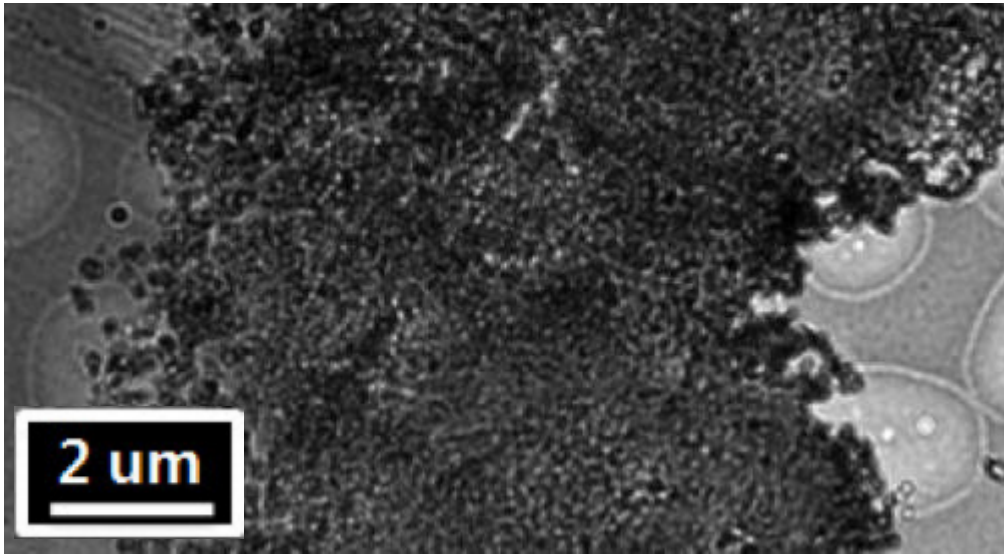
Bu tür bir yapıyı elde etmek için yeni nesil nanokompozitlere ihtiyaç vardır. Çalışmanın motivasyonu bundan kaynaklıdır.

YÖNTEM

RAM içinde bulunan yeni nesil nanomalzemesi olarak karbon nanotüp kullanılmaktadır. Bu nanomalzemeler yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir. Ancak bu tür nanomalzemelerin izotropik olarak RAM içine dağılması engellenmesi gerekmektedir. Aksine sadece bir veya iki yönde elektriksel iletkenlik hedeflenmektedir. Bunu sağlamak için çalışmamızda Şekil 1'de farklı fiberler gösterildiği gibi kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile karbon nanotüpler ile kaplanmıştır. Fiberler ise epoksi reçine içerisine yerleştirilmiştir. Bu sayede anizotropik elektriksel iletkenliğe sahip RAM elde edilmiştir. Elektriksel iletkenliği 4 nokta testi, mikroyapısı ise taramalı elektron mikroskobu ile araştırılmıştır. Kullanılan karbon fiber katmanlarının yoğunluğu 300 g/m² ve çapları 7 µm, Karbon nanotüplerin ise ortalama çapları 10 nm, ortalama uzunlukları ise 20 nm idi. Matris olarak 120 °C'de kürlenmiş bir epoksi kullanılmıştır. Karbon fiberlerin elektrokimyasal bir banyo içinde nikel [Aykaç, Öz, Erdoğan ve Karakaya, 2020] ile kaplandıktan sonra kimyasal buhar biriktirme sayesinde üstünde karbon nanotüpler büyütülmüştür. Fiber ile epoksi el ile serme yöntemi sayesinde bir nanokompozit haline getirilmiştir.



Şekil 1: Nanomalzeme yönlendirilmesi



Şekil 2: Karbonfiberin karbon nanotüp büyümesinin ardından hazırlanmış TEM görüntüsü

UYGULAMALAR

Bu yöntem ile üretilen nanokompozitler RAM olarak hava araçlarında kullanıma açıktır. Özellikle iletkenliğin ayarlanması sayesinde kanat bölgelerinde uygulamaları mevcut olacaktır. Zira B-2 ve F-22 için geliştirilen düşük gözlemlenebilir malzemeler RCS'yi azaltmaktadır, ancak bakım yükleri ağırdır. Mekanik performansları düşük olmasından kaynaklı bakım masrafları ve üretim masrafları çok yüksektir. Aksine bu çalışmada sunulan nanokompozitlerin içinde bulunan nanomalzemeler küresel formda değildir. Bununla birlikte mekanik performansları çok daha yüksektir.

Şekil 2, karbon nanotüp ile kaplı karbon fiberlerin TEM görüntülerini göstermektedir. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile bu tür kompozitlerin üretiminin mümkün olduğunu kanıtlamaktadır ve Şekil 1'de gösterilen hedef kompozitin üretimi için ilk adımdır. Ayrıca nanokatki sayesinde fiberlerin yüzey enerjisi yükseltilmiştir. Bu sayede Matris-fiber arayüzeyi iyileştirilmiştir zira fiberin ıslanılabilirliği artmış durumdadır.

SONUÇ

Sunulan bu çalışmada anizotropik özelliğe sahip yüksek mekanik performanslı nanokompozit üretilmiştir. Gelecek dönemlerde ise nanomalzemelerin yoğunluğu araştırılacaktır. Ayrıca çok-katmanlı yapılar incelenecektir. Bununla beraber, kupon boyutunun dışına çıkılması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- Aykaç, B., Öz, Y., Erdoğan, M. ve Karakaya, I., 2020. *Metallization of High Density Polyurethane Surfaces*, under review.
- Delfini, A., Albano, M., Vricella, A., Santoni, F., Rubini, G., Pastore, R. ve Marchetti, M., 2018. *Polymer matrix composites as broadband radar absorbing structures for stealth aircrafts*, Materials, Cilt.11, s.1730.
- Erdoğan, N., Erden, F., Astarlıoğlu, A. T., Özdemir M., Özbay, S., Aygün, G. ve Özyüzer, L., 2020. *ITO/Au/ITO multilayer thin films on transparent polycarbonate with enhanced EMI shielding properties*, Current Applied Physics, Cilt.20, s.489-497.
- Hunjra, M., Fakhar, M., Naveed, K. ve Subhani, T., 2016, *Polyurethane foam-based radar absorbing sandwich structures to evade detection*, Journal of Sandwich Structures & Materials, Cilt.19, s.647-658.
- Jayalakshmi, C. G., Inamdar, A., Anand, A. ve Kandasubramanian, B., 2018. *Polymer matrix composites as broadband radar absorbing structures for stealth aircrafts*, Journal of Applied Polymer Science, Cilt.136, s.47241.
- Li, Y., Zhang, J., Qu, S., Wang, J. Chen, H., Xu, Z. ve Zhang, A., 2014. *Wideband radar cross section reduction using two-dimensional phase gradient metasurfaces*, Applied Physics Letters, Cilt.104, s.221110.
- Modi, A. Y., Balanis, C. A., Birtcher, C. R. ve Shaman, H. N., 2017. *Novel Design of Ultrabroadband Radar Cross Section Reduction Surfaces Using Artificial Magnetic Conductors*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Cilt.65, s.5406-5417.
- Özbay, S., Erdoğan, N., Erden, F., Ekmekçioğlu, M., Özdemir, M. Aygün, G. ve Özyüzer, L., 2020. *Surface free energy analysis of ITO/Au/ITO multilayer thin films on polycarbonate substrate by apparent contact angle measurements*, Applied Surface Science, Cilt.529, s.147111.
- Song, J., Wu, X., Huang, C., Yang, J., Ji, C., Zhang, C. ve Luo, X., 2019. *Broadband and Tunable RCS Reduction using High-order Reflections and Salisbury-type Absorption Mechanisms*, Scientific Reports, Cilt.9, s.9036.
- Xiao, D., Zhu, M., Wang, Q., Sun, L., Zhao, C., Ng, Z. K., Teo, E. H. T., Hu, F. ve Tu, L., 2020. *A flexible and ultra-broadband terahertz wave absorber based on graphene–vertically aligned carbon nanotube hybrids*, Journal of Materials Chemistry C, Cilt.8, s.7244-7252.
- Yu, J., Jiang, W. ve Gong, S., 2020. *Wideband Angular Stable Absorber Based on Spoof Surface Plasmon Polariton for RCS Reduction*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Cilt.19, s.1058-1062.