For cited: *Akçin Ergün, Y. (2019). Modeling of Electrical Conductivity of Unidirectional CFRP Composite Materials in Thickness Direction. Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology, 5 (2), 65-72.*

Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology (JoCREST)
ISSN: 2651-2521

Year: 2019
Volume: 5
Issue: 2

Crossref doi: 10.26579/jocrest-5.2.5

Research Article/Araştırma Makalesi

Modeling of Electrical Conductivity of Unidirectional CFRP Composite Materials in Thickness Direction

Yelda AKÇİN ERGÜN[1]

Keywords
Finite element, electrical conductivity, CFRP.

Article History
Received
21 Oct, 2019
Accepted
22 Dec, 2019

Abstract
Carbon fiber reinforced composite materials (CFRP) are materials that have increased in use in all areas in recent years due to their very high strength and rigidity compared to their weight. They have replaced with metals, especially in aviation transport, where weight is an important design factor. However, epoxy, which is an insulating material, does not reach the electrical conductivity required for aeronautical applications even when combined with carbon fiber, which is a highly conductive material. Electrical conductivity is a desired condition in order not to cause any malfunction in the case of lightning strikes in aircraft. On the other hand, it is important that the electrical conductivity of CFRP composite materials, which show different properties in each production, can be easily determined. For this reason, in this study, the electrical conductivity of CFRP composite materials in thickness direction is tried to be determined by using finite element method on microstructure pictures taken from the sample and the results are compared with the experimental results.

Tek Doğrultulu CFRP Kompozit Malzemelerinin Kalınlık Doğrultusunda Elektriksel İletkenliğinin Modellenmesi

Anahtar Kelimeler
Sonlu Elemanlar, Elektriksel İletkenlik, CFRP.

Makale Geçmişi
Alınan Tarih
21 Ekim 2019
Kabul Tarihi
22 Aralık 2019

Özet
Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler (CFRP) ağırlıklarına oranla çok yüksek olan mukavemetleri ve rijitlikleri nedeniyle son yıllarda her alanda kullanımı oldukça artan malzemelerdir. Özellikle ağırlığın önemli bir tasarım faktörü olduğu havacılık taşımalığında metallerin yerini almışlardır. Ancak yalıtkan bir malzeme olan epoksi çok iletken bir malzeme olan karbon fiberle birleştirildiğinde dahi özellikle kalınlık doğrultusunda havacılık uygulamaları için gerekli olan elektriksel iletkenliğe ulaşamamaktadır. Elektriksel iletkenlik uçaklarda yıldırım çarpması durumunda herhangi bir arıza oluşmaması için istenilen bir durumdur. Diğer taraftan her üretimde farklı özellik gösteren CFRP kompozit malzemelerin elektriksel iletkenliğinin kolay bir şekilde belirlenebilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada CFRP kompozit malzemelerin kalınlık doğrultusunca elektriksel iletkenliği sonlu elemanlar yöntemi ile kullanılacak numuneden alınan mikro yapı resimleri üzerinden belirlenmeye çalışılmış ve sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

[1] Corresponding Author. ORCID: 0000-0003-3474-8722. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, yeldaakcin@aku.edu.tr

1. Giriş

Karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler (CFRP) sahip oldukları yüksek rijitlik/ağırlık ve mukavemet/ağırlık özellikleri nedeniyle son yıllarda uçak yapılarında ve rüzgâr tribünlerinde çok daha fazla kullanılmaya başlanmıştır [1], [2] [3]. Küresel ısınmada önemli bir rol oynayan egzoz gazı salınımında hava taşımacılığı kara taşımacılığının hemen ardında ikinci sırada bulunmaktadır [4]; [5]. Her geçen gün büyümeye devam eden havacılık endüstrisi hem çevrecilik farkındalığının artması hem de yakıt tasarrufu gibi nedenlerle metallere göre çok daha hafif olan CFRP malzemelere yönelmiş özellikle uçakların dış kısımlarında büyük oranda bu malzemeleri kullanmaya başlamıştır [6]. Ancak metal muadillerinin aksine CFRP kompozit malzemeler elektriği çok iyi iletemezler. Özellikle kalınlık doğrultusunda çok düşük olan elektriksel iletkenlikleri nedeniyle yıldırım çarpması sonucu birçok hasara uğrayabilirler. Uçaklarda, ESD (Electro-Statik Boşalma), elektriksel irtibat, EMI(Elektro-Manyetik Girişim) kalkanı ve yıldırım çarpmalarına karşı koruma etkinliği gibi sistemler yapının elektriksel iletkenliği ile doğrudan ilişkilidir ve özellikle kalınlık doğrultusunda çok düşük bir elektriksel iletkenliğe sahip olan CFRP malzemeler için mutlaka ek önlemler alınması gereklidir. Aksi takdirde ark kıvılcımı, Joule ısısı, manyetik kuvvet veya dielektrik arızası gibi sonuçlar doğabilir [7], [8] [9]. Bir uçak elektrik yüklü bir bulutun içerisinden geçerken yıldırım çarpmasını tetikler. İstatiksel verilere göre ticari bir yolcu uçağı yılda bir kere yıldırım çarpmasına maruz kalmaktadır [10]. Diğer taraftan sadece uçaklarda değil rüzgâr tribünlerinde de CFRP kompozit malzemeler gösterdikleri üstün mekanik özellikler ve hafif olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Ancak gösterdikleri anizotropik elektriksel iletkenlik özellikleri burada da yıldırım çarpması durumunda sıkıntılara neden olmaktadır [11].

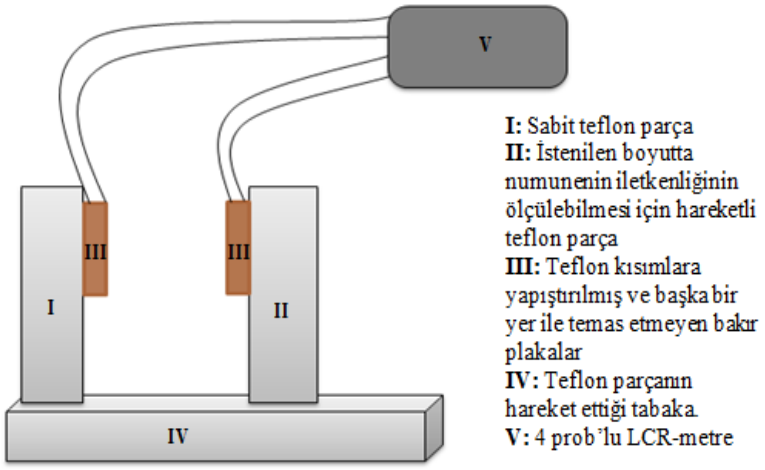
Sonlu elemanlar programı ile modelleme ve analiz çalışmalarında temel amaçlardan bir tanesi oluşturulan modelin malzemeyi en iyi şekilde yansıtmasıdır. CFRP kompozit malzemeler ise yapıları gereği farklı fiziksel özelliklere sahip olabilmekte ve hatta her üretimde farklı özellikler göstermektedirler. Bu nedenle bu çalışmada ABAQUS 6.14 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak tek doğrultulu CFRP kompozit malzemelerin kalınlık doğrultusunca elektriksel iletkenliği mikro yapı resimleri kullanılarak modellenmeye çalışılmıştır. Böylece malzemede yapısal olarak var olan farklılıkların modele ve sonuç olarak analize en iyi şekilde aktarılması amaçlanmıştır. Bunun için üretilen numunelerin elektriksel iletkenliği hem deneysel olarak ölçülmüş hem de analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Materyal Metod

Bu çalışmada kullanılan malzeme, ticari olarak temin edilebilen, 198 g / m^2'lik bir alan yoğunluğuna sahip, havacılık alanında kullanılan tek doğrultulu T800 / M21 karbon fiber / epoksi prepreg'dir. T800 / M21 karbon fiber / epoksi prepreg malzemeler Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. tarafından üretilmiştir. Tabakalar, 180˚C sıcaklıkta 8 bar basınç altında 2 saatlik kürleme işlemi yapılarak hazırlanmış daha sonra 50 x 25 x 4 mm boyutlarında kesilmiştir. Kompozit malzemenin kalınlık doğrultusunda elektriksel iletkenliğinin deneysel olarak belirlenmesi için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan düzenekte ölçme boyu ayarlanabilir

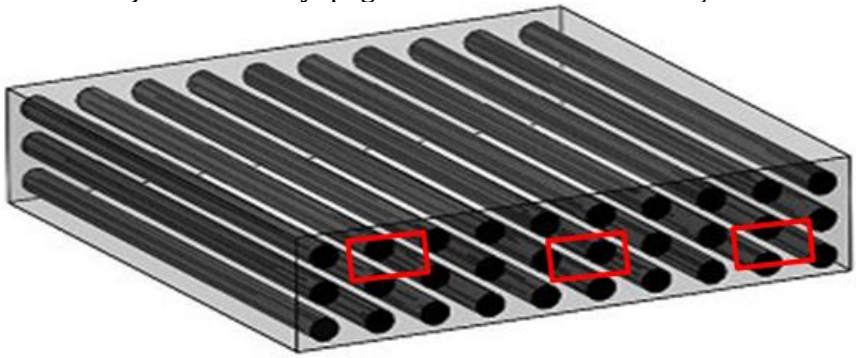
çubuk üzerine montelenmiş teflon kısım ve bu kısma sabitlenmiş bakır plakalar arasına numune yerleştirilmektedir. Hazırlanan deney düzeneği şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Numuneler bakır plakalar arasına sıkıştırılarak tam temas sağlandıktan sonra HM8118 LCR-Bridge marka LCR-metre cihazıyla oda sıcaklığında elektriksel iletkenlikler ölçülmüştür. Ölçüm, 4 prob yöntemi ile yapılarak temas direnci en aza indirilmiştir. 6 farklı numune ve her bir numuneden beş kere ölçüm alınarak tüm sonuçların ortalaması alınmıştır.

Şekil 1. Elektriksel iletkenliğin ölçülmesi için hazırlanan deney düzeneği.



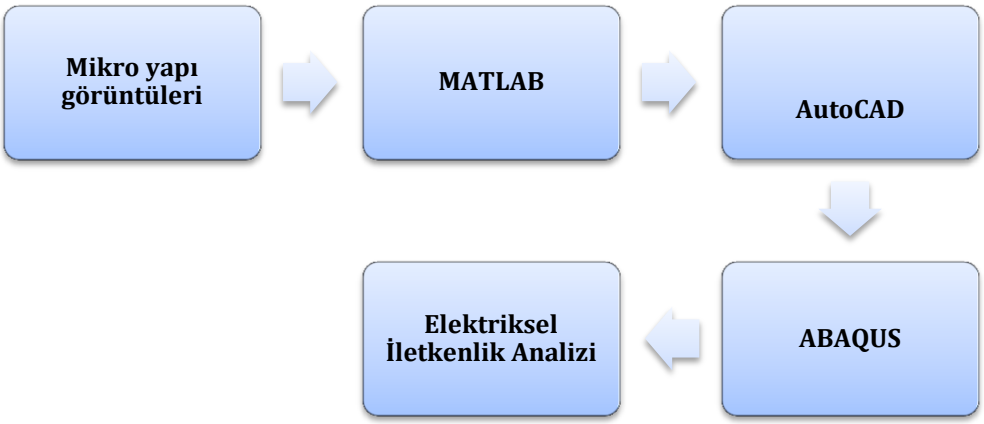
Sonlu elemanlar programında analiz yapmak için kullanılacak olan modeller, deneysel olarak elektriksel iletkenlik ölçümleri alınan 6 farklı CFRP numunesinden Şekil 2'de görüldüğü gibi kalınlık doğrultusunda üst köşeden alt çapraz köşeye rastgele olarak 200 büyütmede alınan 3 mikro yapı görüntüsü kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 2. Mikroyapı görüntülerinin temsili alınışı



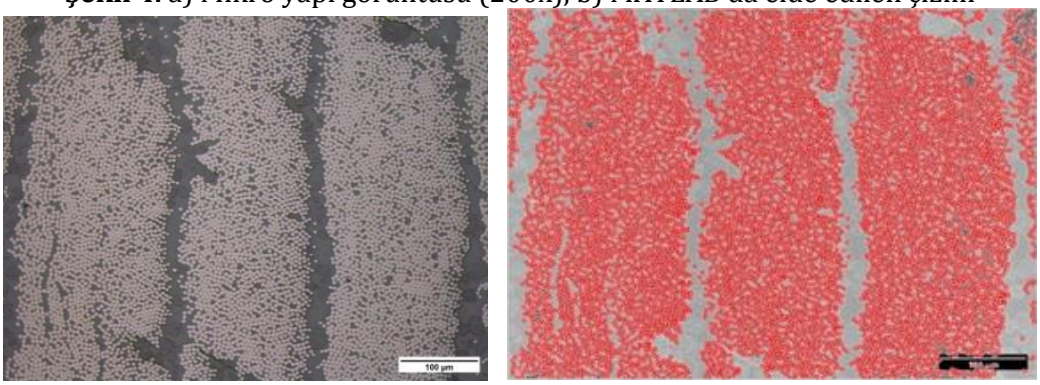
Alınan resimlerden Abaqus 6.14 sonlu elemanlar yazılımında model oluşturana kadar Şekil 3'te verilen akış şeması takip edilmiştir. Bunun için farklı 6 numuneden alınan her bir mikro yapı görüntüsü MATLAB'da görüntü işleme özelliği kullanılarak "dxf" uzantılı AutoCAD çizimlerine dönüştürülmüştür.

Şekil 3. Modelleme akış şeması



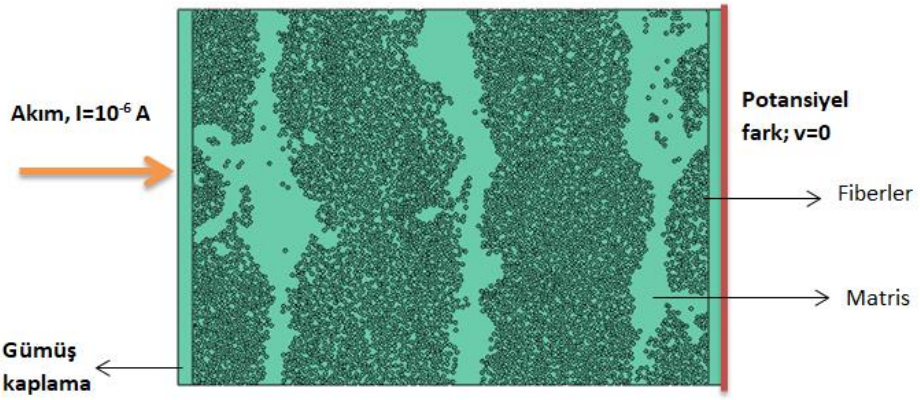
Matlab'da mikro yapı görüntüsü üzerinde elde edilen çizimler Şekil 4 a ve b'de verilmiştir. Mikro yapı resminin X eksenine göre simetriği olarak elde edilen autocad çizimleri burada "scale" komutu kullanılarak orijinal boyutlarına getirilmiştir. Bu işlem yapıldıktan sonra her bir fiberin yarıçapı 5 μm olarak belirlenmiştir. Daha sonra ABAQUS 6.14 sonlu elemanlar programına "import" komutu ile alınan orijinal boyutundaki autocad çizimlerinden model oluşturularak Coupled thermal –electric analizi steady-state olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen model Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 4. a) Mikro yapı görüntüsü (200x), b) MATLAB'da elde edilen çizim



(a) (b)

Şekil 5. ABAQUS sonlu elemanlar programında elde edilen model ve uygulanan sınır şartları.

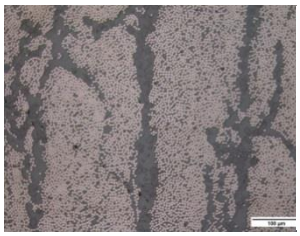
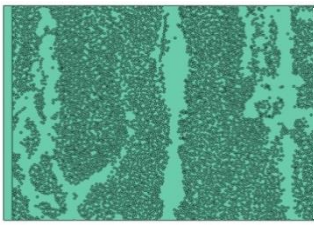
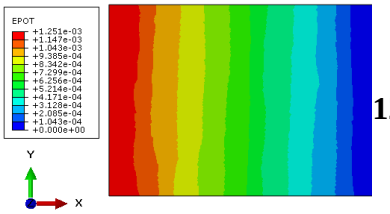
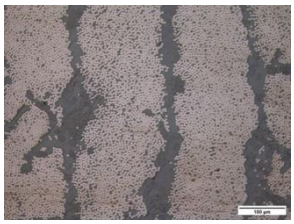
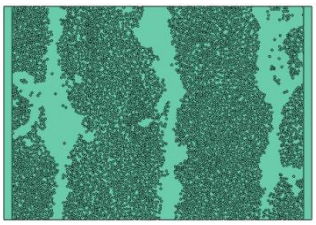
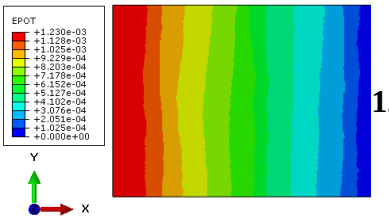
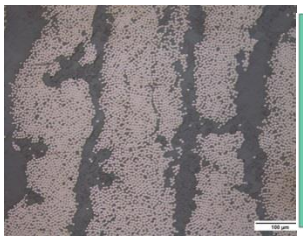
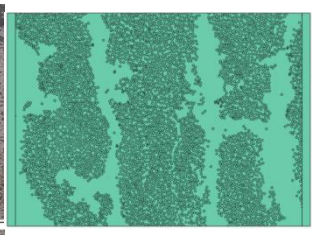
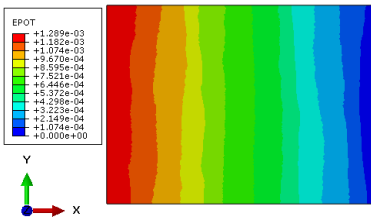


Şekil 5'te görüldüğü gibi elde edilen modellere de deneysel metoda uygun olarak gümüş kaplama yapılmıştır. Analiz çalışmasında karbon fiberin elektriksel iletkenliği üretici firma tarafından [12], σ_{fiber}, 71400S/m, epoksi matrisin elektriksel iletkenliği , σ_{matris}, 5 $\times 10^{-7}$ S/m, yüzeylere kaplanan gümüş boyanın elektriksel iletkenliği , $\sigma_{gümüş}$, 63000 S/m olarak belirlenmiştir. Modelde gümüş kaplama üzerinde tek noktadan 1×10^{-6} A yoğunlaştırılmış akım verilmiş, karşı taraftaki gümüş yüzeyde elektrik potansiyeli sıfır verilerek modelde sınır şartı oluşturulmuştur. Abaqus'te oluşturulan 0,72 x 0,52 mm boyutundaki modeller 200000-250000 arasında eş üçgen parçaya bölünmüş ve analizler gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuç

Tablo 1'de ise bir numuneden alınan üç mikro yapı resminin analizi sonucu ve bu sonuçların ortalaması verilmiştir. Tablo 2'de ise her bir numunenin deneysel ve analizler sonucu elde edilen elektriksel iletkenlik sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2. Bir numunenin analiz sonuçları

Mikro Yapı Resmi (200X)	Auto-Cad'den Abaqus'e aktarılan mikroyapı modeli	Abaqus analizi sonucu	R (ohm)	σ (S/m)
1.Numune σ_{ort}=1,08 S/m				
			**1251**	**1,09**
			**1230**	**1,1**
			**1289**	**1,05**

Tablo 1. Deneysel olarak ve analizler sonucu elde edilen elektriksel iletkenlik sonuçları

İletkenlik Sonuçları	**Numuneler**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Deneysel (S/m)	1,09	1,12	1,24	1,16	1,15	1,17
Modelleme (S/m)	1,08	1,09	1,18	1,13	1,23	1,17

Tablo 2'ye baktığımızda her numuneden deneysel olarak elde edilen elektriksel iletkenlik sonucu ile ABAQUS 6.14 Sonlu Elemanlar analiz programı kullanılarak elde edilen elektriksel iletkenlik sonuçlarının çok yakın olduğu görülmektedir. Tüm sonuçların ortalaması alındığında deneysel sonuç 1.155 S/m iken analiz sonucu 1.146 S/m olarak elde edilmektedir.200 büyütmedeki mikro yapı resimleri yaklaşık olarak 630 μm lik bir uzunluğu yansıtmaktadır. Her numuneden 3 mikro yapı resmi alındığı için yaklaşık olarak 1,9 mm uzunluğundan geçen akım dikkate alınmış olmaktadır. Böylece az görüntü ile daha fazla kalınlık elde edilmiş ve görüntülerin numuneyi yansıtma miktarı artmıştır. Ayrıca sonuçlara göre, mikro yapı resimlerinin her birisi tek başına düşünüldüğünde dahi elektriksel iletkenlik değerleri mantıklı sonuçlar vermektedir ve standart sapmaları 0,07'dir. Sonuç olarak mikro yapı modelleme yöntemi kullanılarak elektriksel iletkenlik deneysel sonuçlarına çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynakça

[1] C. Soutis, «Carbon fiber reinforced plastics in aircraft construction,» *Materials Science and Engineering A,* p. 171–176, 2005.

[2] H. Zhang, Y. Liu, M. Kuwata, E. Bilotti ve T. Peijs, «Improved fracture toughness and integrated damage sensing capabilityby spray coated CNTs on carbon fibre prepreg,» *Composites: Part A,* pp. 102-110, 2015.

[3] H. Suherman, J. Sahari ve A. Sulong, «Electrical properties of carbon nanotubes-based epoxy nanocomposites for high electrical conductive plate,» *Adv Mater Res: Trans Tech Publ,* pp. 559-564, 2011.

[4] G. C. Bowe ve I. M. Kroo, «Multi-objective aircraft optimization for minimum cost and emissions over specific route networks,» %1 içinde *The 26th Congress of ICAS and 8th AIAA ATIO*, Alaska, 2008.

[5] D. S.Lee, D. W.Fahey, P. M.Forster, P. J.Newton, R. C.N.Wit, L. L.Lim, BethanOwen ve RobertSausen, «Aviation and global climate change in the 21st century,» *Atmospheric Environment,* pp. 3520-3537, 2009.

[6] Y. Hirano, T. Yokozeki, Y. Ishida, T. Goto, T. Takahashi, D. Qian, S. Ito, T. Ogasawara ve M. Ishibashi, «Lightning damage suppression in a carbonfiber-reinforced polymerwith a polyaniline-based conductive thermoset matrix,» *Composites Science and Technology,* pp. 1-7, 2016.

[7] P. Feraboli ve M. Miller, «Damage resistance and tolerance of carbon/epoxy composite coupons subjected to simulated lightning strike,» *Compos Part A-*

Appl Sci, pp. 954-967, 2009.

[8] M. Gagné ve D. Therriault, «Lightning strike protection of composites,» *Prog Aerosp Sci,* pp. 1-16, 2014.

[9] F. Wang, N. Ding, Z. Liu, Y. Ji ve Z. Yue, «Ablation damage characteristic and residual strength prediction of carbon fiber/epoxy composite suffered from lightning strike,» *Compos Struct,* pp. 222-233, 2014.

[10] J. Gou, Y. Tang, F. Liang, Z. Zhao, D. Firsich ve J. Fielding, «Carbon nanofiber paper for lightning strike protection of composite materials,» *Composites: Part B,* pp. 192-198, 2010.

[11] T.M.Harrell, O.T.Thomsen, J.M.Dulieu-Barton ve S.F.Madsen, «Damage in CFRP composites subjected to simulated lighting strikes - Assessment of thermal and mechanical responses,» *Composites Part B: Engineering,* 2019.

[12] «T800H Data Sheet,» 2019 11 30. [Çevrimiçi]. Available: http://www.toraycfa.com/pdfs/T800H.

SRA Strategic Research Academy ©

© Copyright of Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology (JoCREST) is the property of Strategic Research Academy and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.