

SELF-HEALING SMART COMPOSITE MATERIALS

Sevgi ULUTAN, Göksenin KURT ÇÖMLEKÇİ

Ege Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova,

İzmir Türkiye

sevgi.ulutan@gmail.com, goksenin.kurt@ege.edu.tr

Abstract

Polymers and structural composites are susceptible to damage induced by mechanical, chemical, thermal, UV radiation, or a combination of these factors. Several techniques have been developed and adopted by industries for repairing visible or detectable damages on the polymeric structures [1]. Small-scale microcracking that appears in the matrix phase under repeated thermomechanical loading eventually leads to large-scale damage such as delamination. Self-healing systems that first proposed in 1980s find broad applications in the field of smart materials as a means of healing invisible microcracks for extending the service life and safety of the polymeric components [2]. This subject finds special interest that may be proved by the huge number of articles found in sciencedirect.com address as searched by using the words self healing, self replenishing, self repairing.

Healing of microcracks could delay or prevent large-scale damage in structural composites. An important step forward in self-healing research is the development of smaller microcapsules distributed throughout the entire matrix phase and the evaluation of healing under fatigue loading conditions [2].

Recently use of healing liquids for self-healing of polymeric composites becomes widespread. The systems able to heal the crack releasing appropriate materials are developed for this purpose. In such systems the growing of crack is inhibited and

life span of composite material gets longer and therefore the cost for repairing is decreased by this way [3].

The polymers that are used in self-healing systems need to have reversible covalent bonds and the healing mechanism must be initiated by an outer effect such as heat or UV radiation. Another system which is used in different functional coatings such as anticorrosive and antimicrobial ones is defined as "self-replenishing" [4].

Healing materials that are entrapped in the capsules which date back to 1953 with microcapsules are released and diffused with the capillary action in the polymer matrices and upon the breaking of capsules with crack propagation. The released healing agent repairs the crack reacting to polymerize with catalyst particles upon collision formerly distributed in the polymer matrices. Release of healing/repairing materials may start with certain effects such as heat, moisture, mechanical forces. Therefore the microcapsule performs as a new toughener and thus mechanical properties of composites are maintained [5].

The microcapsules filled with healing agents embedded in composites are special. They must remain intact during the fabrication processing of composites, rupture when propagating microcracks occur and release the healing agent. All these microcapsules filled with healing agents offer tremendous potential for providing long-lived structural materials and saving time and manpower used in repairing composites. Therefore, microencapsulated liquid healing agents, which can be used to fabricate self-healing composites, have been paid more attentions. The optimal mechanical properties and wall thickness of microcapsules to be used in self healing systems is of great importance to have appropriate functionalities. Applicability of self-healing property is observed in literature on several polymeric systems such as epoxies, phenolics, acrylics.

In the present review, the micro/nano capsules to be used in self healing/ self repairing of microcracks, their production, applications in several composites and healing mechanisms in those structures will be discussed.

Özet

Bu derlemede, kullanım sürecinde mikroçatlak oluştuğunda kendini iyileştirebilen sistemler, bu sistemlerde kullanılan mikrokapsüller, bu kapsüllerin üretimi, kullanılan iyileştirici maddeler, katalizörler ve onarım üzerine etkileri incelenmiştir. Bilimsel kaynaklarda yerinde polimerleşme tekniği ile üretilen üre-formaldehit (ÜF) ve melamin-formaldehit (MF) mikrokapsüllere ve öz madde

olarak epoksi ve disiklopentadien (DCPD) lere ilişkin araştırmalar yoğunluktadır. Mikrokapsül boyutunun ve morfolojisinin, ağırlık oranının (öz/kapsül), katalizör seçiminin, iyileştirici madde miktarının ve çatlak boyutunun kendini iyileştiren sistemlerde etkisi olduğu gözlenmiştir.

Giriş ve Amaç

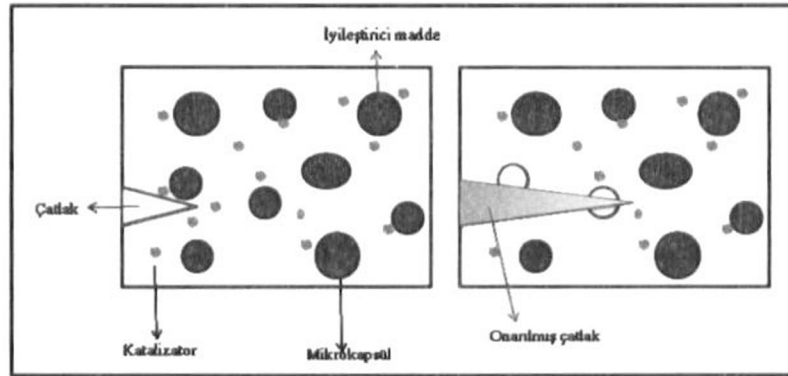
Canlı mekanizmalardaki gibi yaralı kısma iyileştirici madde hızla taşınıp dokunun yeniden yapılandırılmasından esinlenerek kendini iyileştiren sistemler polimerik malzemelere de uyarlanmıştır [5].

Polimerler ve polimerik kompozit malzemeler hafiflik, kolay işlenebilirlik ve kimyasal kararlılık özellikleri ile günümüzde geniş bir uygulama alanı bulur. Ancak dış etkenler ile hizmet ömrünün kısalması, kalitesinin düşmesi gibi sorunlu yönleri bulunmaktadır. Bazı hasarlar gözle görülebilirken, bazı hasarlar kolay fark edilememektedir. Malzemede oluşan hasarların denetlenebilmesi, malzemenin hizmet ömrünün arttırmasından ve kullanım sırasında oluşabilecek sorunları önlemesinden dolayı mikroçatlak oluştuğunda kendini iyileştiren akıllı kompozit malzemeler önem taşımaktadır.

Ulaşım araçlarında, spor gereçlerinde, inşaat yapılarında, elektronik sistemlerde, korozyonu ve yüzeydeki hasarları önlemek amacıyla malzemeye uygulanan kaplamalarda kullanılan polimerler ve kompozitleri mekanik, ısı, kimyasal vb. etkilere dolaylı hasara uğrurlar. Kendini iyileştiren sistemler bu hasarların onarımında kullanılarak malzemeye uzun ömür kazandırması ve güvenilirlik açısından önem taşır.

Mikroçatlak Oluştuğunda Kendini İyileştiren Sistemler

Mikroçatlak oluştuğunda kendini iyileştiren malzemelerde, darbe aldığı anda çatlayarak içerdiği iyileştirici maddeyi salan mikrokapsüller ve tepkimeyi başlatacak katalizör matris içinde dağılmaktadır [6]. Bilimsel kaynaklarda epoksi, fenolik, akrilik gibi pek çok polimerik sistemde kendini iyileştirme davranışının uygulanabildiği gözlenmiştir. İlerleyen çatlak bir mikrokapsüle ulaştığında onu kırarak içindeki iyileştirici maddenin (monomerin) kılcal hareket ile çatlak içine salınmasına neden olur. Salınan monomer katalizör ile karşılaştığında polimerleşme tepkimesi başlar ve çatlak doldurur [7]. Mikroçatlak oluştuğunda kompozitin kendini iyileştirme mekanizması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kendini iyileştiren kompozit sistemin çalışma mekanizması

Kendini İyileştiren Sistemlerde Mikrokapsül Yapısı, Üretimi Ve Katalizör Seçimi

Mikrokapsüller katı, sıvı damlacığı, ya da gazdan oluşan özü kaplayan küçük parçacıklardır. Arayüz polimerleşmesi, yığınlaştırma, yerinde polimerleştirme, ekstrüzyon ve sol-jel yöntemi gibi yöntemlerle sentezlenebilen mikro/nano kapsüller, sadece kendini iyileştiren sistemlerde değil, çevresel etkilere karşı koruma ve kolay taşınabilme gibi amaçlar için de kullanılır. Kendini iyileştiren sistemlerin başarıya ulaşması için mikrokapsüllerin uygun tasarımı önem taşır. Karbonsuz kopya kağıdı, yapıştırıcı, kozmetik, böcek ilaçları ve ilaçlar gibi geniş mühendislik uygulama alanlarında kullanılan ticari mikrokapsüller 3-800 µm çapında olup, ağırlıkça %10-90 öz içerirler.

Kullanılan kapsülün esneklik modülünün reçineninkinden daha düşük, duvar kalınlığının üretim sürecine dayanacak kadar kalın, çatlak ile etkileştiğinde kırılacak kadar ince olması gerekir.

Kendini iyileştiren sistemlerde katalizör seçimi, iyileştirici madde seçimi, katalizör ve mikrokapsüllerin matris içinde dağılımı, mikrokapsüllerin yapısı, çatlağın yapısı ve mikrokapsülle etkileşimi gibi parametreler başarılı bir onarım için önem taşımaktadır. Çatlak içinde serbestçe dolaşabilmesi nedeniyle genellikle sıvı fazdaki öz maddeler tercih edilir [8]. Başarılı bir iyileştirme sistemi kolay kapsüllenebilir olmalı, kullanım sırasında kararlı ve etkin kalabilmeli, hasar oluştuğunda çok hızlı tepkime verebilmelidir.

Kendini iyileştiren sistemlerde bilimsel kaynaklarda araştırılmış olan başlıca iyileştirici maddeler ve katalizörler **Tablo 1'** de verilmiştir.

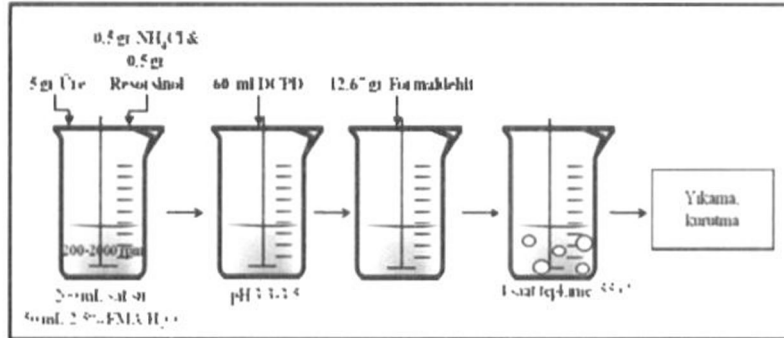
Tablo 1. Bilimsel kaynaklarda yer alan iyileştirici sistemler ve mekanizmalar [8]

İyileştirici Madde	Katalizör	Tepkime
Epoksi esaslı	Amin	Yoğuşma polimerleşmesi
Stiren esaslı	Kobalt nafta dimetil anilin	Radikal polimerleşme
Disiklopentadien (DCPD)	Bis(trisikloheksil fosfin benzilidin rutenyum (IV) diklorür) (Grubbs katalizörü)	Halka açılma polimerleşmesi
5-Etilidien-norbornene (ENB)		

Mikrokapsüllerin mekanik dayanımı kimyasal bileşimine, yapısına, büyüklüğüne, duvar kalınlığına ve üretim koşullarına bağlıdır.

Sun ve ark. (2002) [9], farklı duvar malzemeleri ile hazırladıkları mikrokapsüllerin mekanik dayanımlarını mikroyönlendirme yöntemi ile araştırmışlardır. Duvar malzemesi olarak yerinde polimerleşme ile sentezlenen ÜF, MF ve karmaşık yığınlaşma (complex coacervation) yöntemi ile sentezlenen jelatin kullanmışlardır. Sıkışma sonucu patlayan ÜF ve MF mikrokapsüller daha sonra plastik şekil değiştirme davranışı gösterirken, jelatin mikrokapsüller elastik davranış göstermiştir. MF mikrokapsüllerin ÜF mikrokapsüllere göre daha fazla dayanıklı olduğu gözlenmiştir. Yerinde polimerleşme diğer yöntemlere göre daha kolay ve ekonomik olduğu için yeğlenmekle birlikte 10µm'dan daha küçük boyutta kapsüller gerektiğinde sonikasyon tekniği ile nanokapsüller elde edilir [9].

Mikrokapsül hazırlamak için genellikle Brown ve arkadaşlarının (2003) [10] kullandıkları yerinde polimerleşme tekniği kullanılmaktadır (**Şekil 1**). Brown ve ark. (2003) [10], yağ-su emülsiyonunda yerinde polimerleşme yöntemi ile DCPD özünü ÜF mikrokapsülüne hapsetmişlerdir. Oda sıcaklığında, saf su ve yağ (etilenmaleik anhidrid kopolimeri, EMA) sıvı fazı bir beherde karıştırılmış, bu çözeltiye mikrokapsül duvarını oluşturacak üre, NH₄Cl ve resorsinol eklenmiştir. Çözelti pH'ı 3.5 olarak ayarlanıp öz madde (DCPD) eklenerek elde edilen mikrokapsüller süzülerek ayrılmıştır.

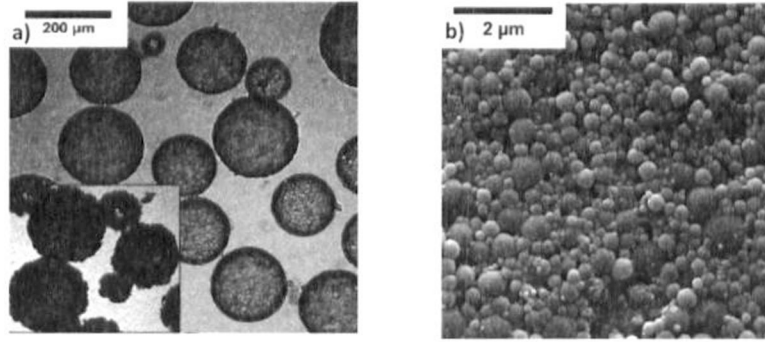


Şekil 2. Yerde polimerleşme yöntemi ile DCPD özü içeren ÜF mikrokapsül hazırlanması [10]

Le-Ping ve ark. (2010) [6], yerde polimerleşme yöntemi ile hazırladıkları karışım halindeki epoksi reçine özünü içeren ÜF mikrokapsüllerin SEM görüntülerini incelediklerinde, iç tarafında ince, sürekli bir yüzey (240 nm), dış tarafında ise epoksi reçineye yapışkanlığı sağlayan pürüzlü kalın bir yüzey gözlediler. Mikrokapsüllerin boyutunun karıştırma hızına bağlı olarak değiştiğini ve artan karıştırma hızı ile mikrokapsüllerin ortalama çapının azaldığını saptadılar [6]. Hua ve ark (2009) [11], yerde polimerleşme yöntemi ile oluşturdukları DCPD özünü içeren MF mikrokapsüllerin mekanik dayanımının kapsüllerin boyutuna bağlı olduğunu, büyük kapsüllerin daha zayıf olduğunu ve kapsül boyutunun karıştırma hızı ile, kapsül duvar kalınlığının ise tepkime zamanı ile denetlenebildiğini gözlediler.

Blaiszik ve ark. (2009) [12], çalışmalarında farklı teknik ve farklı çözücülerle epoksi reçinelerden oluşan öz maddeyi 10-300µm çapındaki ÜF mikrokapsüller içine hapsetttiler. Brown ve ark. (2003)'ün kullandığı kapsül üretme tekniği [10] ile hazırladıkları kalın ÜF mikrokapsüller süzme sırasında topaklaştığı için mikrokapsül duvar malzemesi ve kullanılan sıvı faz yarıya indirerek kalitesi daha yüksek, reçine ve çözücü arasındaki yüzey yapısı daha düzgün, daha tekdüze ve ince mikrokapsüller (Şekil 2a), sonikasyon yöntemi uyguladıklarında ise 300nm'e kadar küçük mikrokapsüller (Şekil 2b) elde ettiler. Şekil 2a' daki küçük resim nanoyapıdaki ÜF'in kapsül duvarlarında birikmesi ile mikrokapsül yüzeyinde

oluşan pürüzlülüğü göstermektedir. Mikrokapsülün pürüzlü olması kapsülün yüzey matris ile daha çok yapışmasını sağlayıp çatlak oluştuğunda kırılabilirliğini artırır.



Şekil 2. a) Normal teknik, b) Sonikasyon tekniği ile üretilen mikrokapsüller [12]

Kendini iyileştiren sistemlerde katalizör seçimi önemli bir parametredir. Genellikle kullanılan Grubb's katalizörü 120° C'de bozunduğundan DCPD/Grubbs katalizör içeren kendini iyileştiren sistemler 120°C üstünde kullanılamazlar. İyileştirme sisteminde kullanılan katalizörün uygunluğu için karıştırma derecesi, matris tipi, küreme maddesi, katalizör boyutu, miktarı, kırılan mikrokapsüle yakınlığı gibi etkenler önem taşır [8]. Mikrokapsüllerin boyutlarının küçük olması belli uygulamalar için önem taşımaktadır. Küçük çatlaklarda, çatlak mikrokapsüle ulaşamaması durumunda onarım işlemi gerçekleşemez. Mikrokapsüllerin boyutları küçültülerek küçük çaplı hasarların da onarılması sağlanır. Bu durumda mikrokapsül ağırlık oranının artırılması gerekmektedir. Yapılan kırılma testi ile iyileştirme başarımı, iyileştirici madde salınımı ve mikrokapsüllerin boyutu arasındaki ilişki araştırıldığında, eşit ağırlık oranında daha büyük mikrokapsüllerin iyileştirme başarımının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüksek ağırlık oranı daha fazla iyileştirici salınımı ve daha iyi onarım başarımı sağlamaktadır. Katalizör miktarı polimerleşme hızını artırarak DCPD buharlaşmasını azaltacağından daha az miktarda iyileştirici madde gerektirmektedir. Kullanılan katalizörün yapısı ve aktif yüzeyi onarım başarımını etkilemektedir [13].

Oluşabilecek çatlak boyutu, uygun mikrokapsül boyutunu saptamada önemli olup, onarımın başarımını etkiler. Çatlak boyutu küçüldükçe gereken iyileştirici madde miktarı da azalır ve daha küçük ağırlık oranlarında ve boyutta mikrokapsüllere gerek duyulur. Mikrokapsül boyutu küçüldükçe onarım

başarımının da arttığı gözlenmiştir. Rule ve ark. (2007) [13], gereken iyileştirici madde miktarını mikrokapsül ağırlık oranı ve çapı ile çarpımı olarak ifade etmiştir.

Sonsöz / Yorum

Bu derlemede mikroçatlak onarımında kullanılan kendini iyileştiren sistemler, bu sistemlerde kullanılan mikrokapsüllerin üretimi, onarım başarımı üzerine etkenler incelenmiştir. Kullanılan mikrokapsül boyutu, oluşan çatlak boyutu, kapsüllerin ve katalizörlerin matris içinde dağılımı, yapıları, kullanılan iyileştirici maddenin, katalizörün ve mikrokapsülün o matris içinde birbiri ile uyumu gibi etkenler, başarılı bir onarım için önemlidir.

Kendini iyileştiren sistemler malzemenin hizmet ömrünü arttırdığından önem taşımaktadır. Mikrokapsüllerle kendini iyileştiren/onaran sistemlerin ticari kullanımına ilişkin optimizasyon çalışmalarının artırılması gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Wu, D.Y., Meure, S., Solomon, D.; "Self-Healing Polymeric Materials: A Review of Recent Developments" *Prog. Polym. Sci.* 33 (2008) 479–522.
2. Kessler, M.R., Sottos, N.R., White S.R.; "Self-Healing Structural Composite Materials", *Composites: Part A*, 34 (2003) 743–753.
3. Tong, X.M., Zhang, T., Yang, M.Z., Zhang, Q.; "Preparation and Characterization of Novel Melamine Modified Poly (Urea-Formaldehyde) Self-Repairing Microcapsules", *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects* (2010), DOI:10.1016/J.Colsurfa.2010.09.009.
4. Benthem, R. A. T. M., Ming, W., De With, G.; "Self Healing Materials: An Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science", Ed: Van Der Zwaag S., Springer Series in Materials Science, Dordrecht, The Netherlands, 2007.
5. Yuan, Y. C., Yin, T., Rong, M. Z., Zhang M. Q, "Self Healing in Polymers and Polymer Composites. Concepts, Realization and Outlook: A Review", *Express Polymer Letters*, 2 (2008) 238–250.
6. Le-Ping, L., Wei, Z., Yang, Z., Wu-Jun, L., "Preparation and Characterization of Microcapsules for Self-Healing Materials", *Chem. Res. Chinese Universities*, 26(3) (2010) 496–500.
7. Kirkby, E.L., Michaud, V.J., Manson, J.-A.E., Sottos, N.R., White, S.R., "Performance of Self-Healing Epoxy With Microencapsulated Healing Agent and Shape Memory Alloy Wires" *Polymer*, 50 (2009) 5533–5538.
8. Samadzadeh, M., Hatami Boura, S., Peikari, M., Kasirha, S.M., Ashrafi, A., "A Review on Self-Healing Coatings Based on Micro/Nanocapsules", *Progress in Organic Coatings*, 68 (2010) 159–164.
9. Sun, G., Zhang, Z., "Mechanical Strength of Microcapsules Made of Different Wall Materials", *International Journal Of Pharmaceutics* 242 (2002) 307–311.

10. Brown, E. N., Kessler, M. R., Sottos, N. R., White, S. R., "In Situ Poly(Urea-Formaldehyde) Microencapsulation of Dicyclopentadiene", *Journal Of Microencapsulation*, 20(2003) 719-730.
11. Hu, J., Chen, H., Zhang, Z., "Mechanical Properties of Melamine Formaldehyde Microcapsules for Self-Healing Materials", *Materials Chemistry And Physics* 118 (2009) 63-70.
12. Blaiszik, B.J., Caruso, M.M., Meilroy, D.A., Moore, J.S., White, S.R., Sottos, N.R., "Microcapsules Filled With Reactive Solutions for Self-Healing Materials", *Polymer*, 50 (2009) 990-997.
13. Rule, J. D., Sottos, N. R., White, S. R., "Effect of Microcapsule Size on the Performance of Self-Healing Polymers", *Polymer*, 48 (2007) 3520-3529.

GIDA PAKETLEME UYGULAMALARINDA NANOTEKNOLOJİ

NANOTECHNOLOGY IN FOOD PACKAGING APPLICATIONS

Ş. Kavaklı²

Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoteknoloji ABD, İzmir, Türkiye

sebnem.kavakli@ege.edu.tr

Today, food industry and packaging industry play an important role in overcoming of food needs of the growing world population. Packaging is very important to preserve of food's quality and to have a long shelf life. Food packaging materials should be protect foods from adverse chemicals and biological interactions, damages from handling and storage. Also they are expected to be cheap, original, useful and environmentally sensitive designs. In line with these objectives; at today's packaging industry, food packaging that deveoped nanotechnological methods can meet these expectations.

Nanotechnology is processing and examination of nano-sized material in the range of 100-100 nanometers. It includes nano-sized science, engineering and technology which can explains material imaging technique of this size, scale, measurement, modeling, and manipulation. Greek "dwarf", meaning the term nano comes from the length unit. Nanometer is one billionth of a meter. Nanometer refers to the physical dimensions of the unit and it is called the scale of nanometer scale. To give the meaning of the word nano with a comparative example, a virus is about 100 nanometers in size.

Nanotechnology has got some important properties. Nanotechnology is a technology amenities. It is possible to redesign the material in the desired direction with nanotechnology. It disrupts the traditional techniques. It is based new manufacturing processes. It leads to product better and high standard of products.

Nanotechnology is a multidisciplinary science. It brings together so many people which previously separate areas.

There are some advantages of nanotechnology in food packaging applications; antibodies attached to fluorescent nanoparticles to detect chemicals or foodborne pathogens, biodegradable nanosensors for temperature, moisture and time monitoring, nanoclays and nanofilms as barrier materials to prevent spoilage and prevent oxygen absorption, electrochemical nano-sensors to detect ethylene, smart food packaging, antimicrobial and antifungal surface coatings with nanoparticles (silver, magnesium, zinc).

Nanotechnological packaging are divided into four sections. These are plastic nanocomposite packaging, biodegradable nanocomposite packaging, active packaging and intelligent packaging.

Nanocomposite materials are polymers which containing nano-sized material at least one dimension. The nano-particles dispersed in plastic or film form a barrier to prevent food to pass of oxygen, carbon dioxide and moisture. Nanocomposite applications can be shaped as film, coating, plastic bottles and containers. They are used to especially meat, cheese, bakery products, soft drinks, fruit juice and beer.

Biodegradable nanocomposite packaging plastics are produced from natural polymers such as starch, cellulose. With the integration of nanoparticles biodegradable plastics, new materials are being developed completely different properties.

Active packaging; these packages are one of the most promising innovations in smart packaging is the use of nanotechnology to develop antimicrobial packaging. Packaging that incorporates nanomaterials can be "smart," which means that it can respond to environmental conditions or repair itself or alert a consumer to contamination and/or the presence of pathogens.

Intelligent Packaging can do that conditions and monitoring the status of the product consumed in the pack until the product quality changes in production is defined as monitoring and information.

This study aims to explain that nanotechnological packaging systems for foods and also reflections of them to food industry and packaging industry.

Günümüzde gıda ve paketlenme endüstrisi artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacını karşılamakta önemli bir rol oynamaktadır. Paketleme gıdanın kalitesinin korunması

ve uzun bir raf ömrüne sahip olabilmesi açısından çok önemlidir. Gıda paketlenme materyali gıdaları istenmeyen biyolojik ve kimyasal etkileşimlerden, hasattan depolamaya kadar olan hasarlardan korumalıdır. Ayrıca; bu paketlerin ucuz, orjinal, kullanışlı ve çevreye duyarlı olması istenmektedir. Nanoteknolojik paketlenme bu beklentileri karşılamaktadır.

Nanoteknoloji 1-100 nanometre aralığındaki nano boyutlu materyallerin işlenmesi ve değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu nano boyutta bilim, mühendislik, ölçek, ölçüm, modelleme ve malzeme görüntüleme tekniği açısından teknoloji ve manipülasyonları içermektedir. Yunancada "cüce" anlamına gelen nano terimi bir uzunluk belirtmektedir. Nanometre metrenin milyarda biridir. Nanometre birimin fiziksel boyutları ifade eder ve nanometre ölçekli ölçek denir. Karşılaştırmalı bir örnek ile kelime nano anlam vermek için, bir virüs boyutu yaklaşık 100 nanometre olduğu belirtilebilir.

Nanoteknolojinin bazı önemli özellikleri vardır. Nanoteknoloji bir olanaklar teknolojisidir. Nanoteknoloji ile materyallerin arzu edilen doğrultuda yeniden tasarlanması mümkündür. Nanoteknoloji geleneksel teknikleri bozar. Yeni üretim süreçleri dayanır. Ürünlerin daha iyi ve yüksek standartlarda üretilmesine yol açar.

Nanoteknoloji disiplinler arası bir bilimdir. Farklı bilim dallarından insanları bir araya getirir.

Gıda paketlenme ambalajlarında nanoteknolojinin bazı avantajları vardır; bunlar florosant nanopartiküllere tutturulan antikorlar ile gıda kaynaklı patojenler ya da kimyasalların belirlenmesi, sıcaklık, nem ve zamanın kontrolü için biyoçözünür nanosensörler, oksijen absorpsiyonunun korunması, bozulmanın önlenmesi için nanokil ve nanofilm olarak geliştirilen bariyer materyalleri, etilen tespiti için geliştirilen elektrokimyasal nanosensörler, gümüş, magnezyum, çinko gibi nanopartiküller içeren antifungal ve antimikrobiyal yüzeyler, aktif ambalajlar gibidir.

Nanoteknolojik paketlenme dört ayrı bölüme ayrılır. Bunlar plastik nanokompozit paketlenme, biyoçözünür nanokompozit paketlenme, aktif paketlenme ve akıllı paketlenmedir.

Nanokompozit materyaller en az bir yüzeylerinde nano boyutta materyal içeren polimerlerdir. Nano parçacıklar plastik veya film şeklinde oksijen, karbondioksit ve nemi gıdaya geçmesini önlemek için bir bariyer şeklinde dağılmaktadırlar. Nanokompozit uygulamaları film, kaplama, plastik şişe ve kaplar gibi

şekillendirilebilir. Özellikle et, peynir, unlu mamuller, meşrubat, meyve suyu ve bira için kullanılır.

Biyolojik nanokompozit ambalaj plastik nişasta, selüloz gibi doğal polimerler üretilmektedir. Nanoparçacıkların dönüşümlü plastik ile entegrasyonu sonucu, tamamen farklı özelliklerde yeni malzemeler geliştirilmektedir.

Aktif paketleme; bu paketler nanoteknolojik paketlemede akıllı ambalajlar içinde en umut verici yeniliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu paketlemelerde antimikrobiyal ambalaj geliştirmek için nanoteknolojinin kullanımı gerçekleştirilmektedir. "akıllı" paketleme çevre koşullarına cevap verebilecek ya da kendini tamir ve / veya kirlenme ve / veya patojenlerin varlığı karşısında bir tüketici uyarı sistemi anlamına gelir.

Akıllı Ambalaj ise bilgi ve izleme paketi olarak tanımlanır. Üretim değişikliklerinde kaliteli ürün eldesi kadar tüketilen ürünün durumunu belirlemek için koşulların izlenmesi sağlanabilir.

Bu çalışma, gıdalar için nanoteknolojik paketleme sistemlerinin açıklanmasını ve aynı zamanda bunların sanayi, gıda ve ambalaj sanayine yansımalarının açıklanmasını hedeflemektedir.

MECHANICAL PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES BASED ON ETHYLENE-VINYLAACETATE COPOLYMER (EVA) FILLED WITH EXPANDED AND UNEXPANDED GRAPHITE

GENİŞLETİLMİŞ VE GENİŞLETİLMEMİŞ GRAFİT TAKVİYELİ, ETİLEN-VİNİLASETAT KOPOLİMER (EVA) ESASLI, NANOKOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İsmail H. Tavman*, Kutlay Sever*, Alpaslan Turgut*, İsmail Özdemir**

*Dokuz Eylül University, Mechanical Engineering Department, İzmir,
Turkey,

ismail.tavman@deu.edu.tr, kutlay.sever@deu.edu.tr,
alpaslan.turgut@deu.edu.tr

**Bartın University, Bartın, Turkey

ismail.ozdemir@deu.edu.tr

In this study, mechanical properties such as tensile stress, Young modulus and elongation at break were investigated for nanocomposites based on the ethylene-vinylacetate (EVA) matrix filled with nanostructured expanded graphite (EG) and standard, (nano)/micro-sized graphite (UG). Nano-composites containing up to 50 % by weight fraction of expanded and unexpanded graphite filler materials were prepared by melt mixing in a 30 ml mixing chamber of a Brabender Plasticorder PLE 331 (Germany) at 150°C for 10 min at a mixing speed of 35 rpm.

The mechanical properties of the nanocomposites were evaluated by a universal testing machine Instron model 4301 on dumbbell specimens, punched out from the pressed sample of 1mm thickness using an ASTM Die. The average values of seven tests for tensile strength, Young modulus, and elongation at break were reported for each sample and shown in Table1.

As it may be seen from this table, there is a decrease in tensile strength for both composites, EVA/EG and EVA/UG for low particle filler content. This decrease is in the order of 3.5% for EVA/EG nanocomposites and 9.4% for EVA/UG nanocomposites. For greater filler concentrations, this decrease is followed by an increase decrease in tensile strength for both composites, the increase being 40% for EVA/EG and 35% for EVA/UG nanocomposites.

Table 1. Mechanical properties of EVA and EVA-based nanocomposites.

Sample	V_f (%)	Stress at Peak (MPa)	Elongation at Break (%)	Stress at Break (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Stress at Thresh Yield (MPa)
EVA	0	14.00±0.62	929.2±43.2	13.70±0.67	42.34±2.98	4.451±0.23
EVA/UG - 96/4	0.017	12.79±0.69	808.9±46.5	12.47±0.75	45.75±4.15	5.022±0.27
EVA/UG - 92/8	0.035	11.03±0.84	610.6±64.7	10.710±1.0	55.05±4.22	5.688±0.16
EVA/UG - 88/12	0.053	11.04±0.20	593.9±19.7	10.81±0.22	67.40±4.31	6.334±0.13
EVA/UG - 85/15	0.068	9.739±0.46	517.9±53.4	9.627±0.47	74.33±5.95	6.501±0.16
EVA/UG - 80/20	0.094	8.481±0.26	290.1±40.6	8.389±0.28	90.45±2.30	7.176±0.11
EVA/UG - 70/30	0.151	9.286±0.82	91.60±13.6	9.214±0.82	139.6±12.1	9.262±0.81
EVA/UG - 60/40	0.216	10.53±0.31	41.81±1.22	10.490±0.32	167.5±5.5	10.49±0.32
EVA/UG - 50/50	0.293	12.19±0.28	23.11±0.30	12.160±0.27	285.5±20.8	12.247±0.33
EVA/EG - 98/2	0.008	10.92±0.62	671.7±38.8	10.61±0.66	44.52±3.95	4.806±0.21
EVA/EG - 96/4	0.017	10.05±0.69	626.3±41.5	9.943±0.63	48.84±3.73	5.363±0.14
EVA/EG - 94/6	0.026	9.004±0.42	500.6±36.4	8.817±0.35	59.43±4.86	5.558±0.13
EVA/EG - 92/8	0.035	7.824±0.85	335.8±122.1	7.648±0.88	66.32±3.75	5.927±0.11
EVA/EG - 90/10	0.044	8.138±0.54	322.6±62.1	8.087±0.53	77.47±2.77	6.746±0.53
EVA/EG - 88/12	0.053	7.718±0.46	184.8±63.1	7.671±0.46	87.07±1.32	7.466±0.42
EVA/EG - 85/15	0.068	8.015±0.18	105.3±23.1	7.991±0.16	103.5±2.60	7.942±0.11

EVA/EG - 80/20	0.094	9.272±0.12	63.87±3.53	9.258±0.13	137.2±4.50	9.018±0.39
EVA/EG - 70/30	0.151	11.82±0.41	30.50±3.77	11.78±0.42	229.4±9.20	11.53±0.49
EVA/EG - 60/40	0.216	14.84±0.38	19.65±2.88	14.71±0.36	362.1±29.8	-
EVA/EG - 50/50	0.293	17.08±0.39	13.76±0.83	17.04±0.38	473.6±16.2	-

The quoted data are all average results taken from a minimum of seven tests. The values after ± refer to the standard uncertainty of the measurement

Acknowledgement

This research was supported by the Scientific Support of the bilateral Project No. 107M227 of TUBITAK and SAS (Slovak Academy of Sciences).

Bu çalışmada, etilen-Vinilasetat kopolimer (EVA) matris esaslı, nano tanecik boyutlu genişlemiş grafitler (EG) ve nano/mikro boyutlu grafit (UG) ile takviye edilmiş nanokompozitlerin; çekme gerilmesi, % uzama ve Young modülü gibi mekanik özellikleri incelenmiştir. Kütleli olarak %50 katkı oranına kadar genişlemiş (EG) ve genişlememiş (UG) grafit malzemesi içeren numuneler, Brabender Plasticorder PLE 331 (Almanya) cihazının 30 ml'lik karışım hücresinde, eriyik harmanlama yöntemi ile 150°C sıcaklıkta, 35 devir/dakika karışım hızı kullanılarak 10 dakikada elde edilmiştir.

Nanokompozitlerin mekanik özellikleri, sıcak presleme ile 1mm kalınlığına getirilmiş levhalardan, standart ASTM kalıplar ile zımbalanarak elde edilmiş numunelerin Instron 4301 cihazı ile çekme testlerine tabi tutulması ile ölçülmüştür. Her numune için testler yedi kere tekrarlanmış ve çekme mukavemeti, Young modülü ve % uzamanın bu yedi test sonucunda elde edilen ortalamaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Bu tablodan da görüldüğü gibi, her iki dolgu çeşidi için, EVA/EG ve EVA/UG, düşük hacimsel katkı oranlarında çekme gerilmesinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Çekme gerilmesinde bu düşüş, EVA/EG nanokompoziti için % 3.5 ve EVA/UG nanokompoziti için % 9.4 mertebesinde. Daha yüksek takviye oranlarında ise, bu düşüşten sonra her iki kompozit için bir artış gözlemlenmektedir. Bu artış EVA/EG nanokompoziti için % 40 ve EVA/UG nanokompoziti için % 45'dir.

Tablo 1. Etilen vinil asetat(EVA) ve EVA matrisli nanokompozitlerin mekanik özellikleri.

Numune adı	Hacimsel katkı oranı(%)	Maksimum çekme gerilmesi (Mpa)	Uzama (%)	Kopma gerilmesi (Mpa)	Young modülü (Mpa)	Akma gerilmesi (Mpa)
EVA	0	14 00±0 62	929 2±43 2	13 70±0 67	42 34±2 98	4 451±0 23
EVA/UG - 96/4	1 7	12 79±0 69	808 9±46 5	12 47±0 75	45 75±4 15	5 022±0 27
EVA/UG - 92/8	3 5	11 03±0 84	610 6±64 7	10 710±1 0	55 05±4 22	5 688±0 16
EVA/UG -88/12	5 3	11 04±0 20	593 9±19 7	10 81±0 22	67 40±4 31	6 334±0 13
EVA/UG -85/15	6 8	9 739±0 46	517 9±53 4	9 627±0 47	74 33±5 95	6 501±0 16
EVA/UG -80/20	9 4	8 481±0 26	290 1±40 6	8 389±0 28	90 45±2 30	7 176±0 11
EVA/UG -70/30	15 1	9 286±0 82	91 60±13 6	9 214±0 82	139 6±12 1	9 262±0 81
EVA/UG -60/40	21 6	10 53±0 31	41 81±1 22	10 490±0 32	167 5±5 5	10 49±0 32
EVA/UG -50/50	29 3	12 19±0 28	23 11±0 30	12 160±0 27	285 5±20 8	12 247±0 33
EVA/EG - 98/2	0 8	10 92±0 62	671 7±38 8	10 61±0 66	44 52±3 95	4 806±0 21
EVA/EG - 96/4	1 7	10 05±0 69	626 3±41 5	9 943±0 63	48 84±3 73	5 363±0 14
EVA/EG - 94/6	2 6	9 004±0 42	500 6±36 4	8 817±0 35	59 43±4 86	5 558±0 13
EVA/EG - 92/8	3 5	7 824±0 85	335 8±122 1	7 648±0 88	66 32±3 75	5 927±0 11
EVA/EG -90/10	4 4	8 138±0 54	322 6±62 1	8 087±0 53	77 47±2 77	6 746±0 53
EVA/EG -88/12	5 3	7 718±0 46	184 8±63 1	7 671±0 46	87 07±1 32	7 466±0 42
EVA/EG -85/15	6 8	8 015±0 18	105 3±23 1	7 991±0 16	103 5±2 60	7 942±0 11
EVA/EG -80/20	9 4	9 272±0 12	63 87±3 53	9 258±0 13	137 2±4 50	9 018±0 39
EVA/EG -70/30	15 1	11 82±0 41	30 50±3 77	11 78±0 42	229 4±9 20	11 53±0 49
EVA/EG -60/40	21 6	14 84±0 38	19 65±2 88	14 71±0 36	362 1±29 8	-
EVA/EG -50/50	29 3	17 08±0 39	13 76±0 83	17 04±0 38	473 6±16 2	-

Verilen değerler en az yedi adet numunenin ortalamasıdır.

Teşekkür

Bu çalışma, 107M227 nolu TÜBİTAK ve SAS (Slovak Akademik Bilimler) arasındaki ikili işbirliği projesi tarafından desteklenmektedir.

DEVELOPMENT OF HEAT-STABLE AND ELECTRO-CONDUCTING RUBBERS WITH USE OF HYDROXYL- AND AMINE-CONTAINING OLIGOARYLENES

**B.A.Mamedov, R.Z.Shahnazatli, N.Ya.Ishenko, Kh.G.Nazaraliev,
M.M.Mamedov, A.M.Guliyev**

Institute of Polymer Materials of Azerbaijan National Academy of Sciences,

abasgulu@yandex.ru; ipoma@science.az

The functional aromatic polyconjugated oligomers prepared by oxidative polycondensation reaction of 1-naphthol in the presence of hydrogen peroxide and its copolycondensation with aniline in the presence of sodium hypochlorite possess high heat- and radiation stability, semiconductivity, catalytic, stabilizing and antistatic activity and paramagnetism. The availability of hydroxyl and amine groups in aromatic nuclei gave to oligomers good solubility, meltability and high reactivity in various chemical conversions. Oligohydroxynaphthylenes (OHN) synthesized thus and including reactive phenol hydroxyl groups and oligohydroxynaphthylenephényleneamines (OHP) with amine and hydroxyl groups were used as active addition in making of electro-conducting rubbers. The prepared OHN and OHP are powdered and well soluble in polar organic solvents products with melting point of 383-408 K (depending on conditions of synthesis.). Their composition and structure have been established by the methods of elemental and chemical analysis. The molecular-weight indices on data of gel-permeating chromatography have the values $\overline{M}_w = 820 \div 1540$, $\overline{M}_n = 710 \div 1150$ and $\overline{M}_w / \overline{M}_n = 1,15 \div 1,34$ for OHN, $\overline{M}_w = 730 \div 1040$, $\overline{M}_n = 620 \div 830$, $\overline{M}_w / \overline{M}_n = 1,18 \div 1,25$ for OHP.

OHN and OHP show paramagnetic (concentration of paramagnetic centers – PMC $\sim 1,2 \cdot 10^{17} \div 2,1 \cdot 10^{19}$ spin/g) and semiconductor ($\delta_0 \sim 10^{-8} \div 10^{-4}$ Ohm.cm⁻¹ at 298 K, $E = 1,3 \div 1,673$ B) properties. A growth of concentration of PMC in composition of

samples of OHN and OHP by a factor of 1-2 leads to increase of their electro-conductivity by 3÷5 factors.

It has been shown the samples of OHN and OHP show electron-exchange activity. Consequently, these oligomers can perform the function of antioxidant in the composition and thereby, increase heat-stability and its operation life.

The synthesized OHN and OHP were used as active addition for preparation of rubber mixtures on the basis of butyl (BR) and butadiene-nitrile (BNR-40) rubbers. In this case, the rubber mixtures on the basis of these rubbers have been prepared on the standard formula with that only difference that OHN and OHP (from 5.0 to 45 mass p. for 100 mass p. of rubber) were used instead of carbon black (partially or completely). It has been established that an introduction of OHN or OHP in composition of rubber mixtures instead of carbon black leads to increase of ultimate strength, specific elongation and decrease of modulus of elasticity of the prepared rubbers. For ex.: for rubbers prepared by vulcanization of mixture on the basis of BNR-40 and including 22,5-33,8 mass p. of OHN instead of carbon black the ultimate strength is increased to 25.0-26.0 MPa, specific elongation reaches to 500-560% and modulus at elongation for 200% is decreased from 9,8÷1,1 to 4,1-6,7 MPa. At the same time a heat-stability and life time of the prepared rubbers is increased which has been apparently connected with structural peculiarities of OHN; naphthalene nuclei in chain of aromatic polyconjugation stipulate high heat-stability and availability of hydroxyl groups in naphthalene rings – antioxidant activity.

Considering that OHN and OHP with various content of PMC show high electric conductivity, their joint use with electro-conducting carbon black allows to prepare the rubbers with specific volume conductivity $10^8\div10^6 \text{ Ohm}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$.

The growth of content of OHN and OHP from 10 to 30 mass p. (from rubber mass) instead of carbon black and also the increase of concentration of PMC in composition of OHN lead to increase of specific electro-conductivity of the prepared rubbers. The reinforcing properties of OHN in structure of rubber composition have been probably stipulated by optimal combination of such indices as small size of particles, small density, good compatibility of components and participation of hydroxyl and amine groups in formation of spatial net.

The dependence of specific volume resistance on displacement time at various contents OHN has been established. The main causes of changes of values of ρ_v of the made rubbers are structurization or destruction of macromolecules. As a result

of vulcanization a net is formed and higher internal stress in rubber is appeared. With growth of duration of milling, the higher probability of mechanical destruction of the spatially-cross-linked macromolecules increases, a consequence of which is the formation of defective zones in matrix of vulcanizate. A percolation effect is reached at content ~22 and 25 mass p. of polyconjugated oligomers for rubbers prepared from BR and BNR-40, respectively.

FIBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN BALİSTİK KORUMA UYGULAMALARI

BALLISTIC PROTECTION APPLICATIONS OF FIBER REINFORCED COMPOSITES

Yılmaz ERBİL, Abdulkadir EKŞİ, Durmuş Ali BİRCAN

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Balcalı / ADANA

yerbil@cu.edu.tr / aeksi@cu.edu.tr / abircan@cu.edu.tr

Özet

İnsanlığın başlangıcından günümüze savaş ortamı süregelmektedir. Bu nedenle insanoğlu sürekli yeni ve gelişmiş korunma yolları arayışı içerisinde. Çelik ve alüminyum, geçmişten bugüne balistik koruma uygulamalarında kullanılan zırh malzemeleri arasında başlıca iki seçenek olmuş ve uygulanma şekilleri Birinci Dünya Savaşı'nı takip eden seksen yıl süresince çok fazla değişikliğe uğramamıştır. Fakat 21. yüzyılın başlangıcıyla birlikte, fiber takviyeli kompozit malzemeler, personel, uçak, savaş gemisi ve kara savaş araçlarının korunması için ihtiyaç duyulan zırh uygulamalarında kendini göstermiş ve kullanımları yaygınlaşmıştır. Gelişmiş balistik performanslarının yanı sıra sağladıkları yüksek spesifik mukavemet ve katılık ile çelik ve alüminyumun yerini almışlardır. Günümüze pek çok ülkenin asker, polis ve diğer güvenlik kuvvetleri mermi ve şarapnel tehditlerine karşı korunmalarını, fiber takviyeli kompozit malzemelerden yapılmış ürünler kullanarak sağlamaktadırlar. Bu çalışmada, balistik koruma uygulamalarında kullanılan fiber takviyeli kompozit malzemelerin

sınıflandırılması, karakteristikleri, avantaj ve dezavantajları, farklı tip balistik ürün (çelik yelek, miğfer, parçacık kalkanı...vb) örnekleri yardımıyla açıklanacaktır.

Abstract

Ever since the beginning of humanity, warfare has existed. Therefore, human being always searches new and improved way of protection. Steel and aluminum were the predominant choice of armour materials used in ballistic protection and their applications have not changed greatly over the past eighty years following the World War I. But at the beginning of 21st century, fiber reinforced composite (FRC) materials have gradually appeared into armour applications for personnel, aircraft, naval vessels, and land combat vehicles. They have displaced steel and aluminum partly due to improved ballistic efficiencies, significant advancements in specific strength and stiffness. Nowadays military, police and other law enforcement agencies of many countries are using protective products made with FRC materials for their protection against bullets and fragments. In this study, classification, characteristics, advantages and disadvantages of FRC materials in ballistic applications will be explained with different types of FRC ballistic products examples (i.e. vest, helmet, spall liner...etc).

İYONİK POLİMER-METAL KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU ve BİYOMİMETİK AKTUATÖR UYGULAMALARINDA KULLANILMASI

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF IONIC POLYMER-METAL COMPOSITES AND ITS APPLICATION OF BIOMIMETIC ACTUATOR

Barış Oğuz GÜRSES¹, Kader SEVER¹, Mehmet SARIKANAT¹, Yoldaş
SEKİ², Ömer MERMER³

¹Ege University, Mechanical Engineering Department, Bornova, İzmir

²Dokuz Eylül University, Chemistry Department, Buca, İzmir

³Ege University, Electrical-Electronics Engineering Department, Bornova,

Abstract

During the last years scientists has focused on new power sources. Ionic polymer-metal composites(IPMC) in which they are categorized as smart materials, can change their shapes by the movements of ions due to an external electric field. There are numerous potential applications using IPMCs as actuators, artificial muscles, transducers and various biomimetic applications. Electroactive characterization and mathematical modeling of these Ionic polymer-metal

composite actuators become more important by the increase of the studies in these applications areas. They have time varying and highly nonlinear characteristics. Developing control algorithms to provide stable operation for both individual and system operation of actuators becomes very important in recent years. Ionic polymer-metal composites structures are formed from both ionic polymers and a few microns thick metal electrodes coated on two sides of polymer surfaces. Ionic polymer metal composite (IPMC) materials are in an early stage of development. Their dynamic response is still subjected to several critical parameters that vary with time. We think a nonlinear model for ionic polymer metal composites as actuators, the model is organized as follows. As a first step, the dependence of the IPMC absorbed current on the voltage applied across its thickness is taken into account; a nonlinear circuit model is proposed to describe this relationship. In a second step the transduction of the absorbed current into the IPMC mechanical reaction is modelled. Another study, a dynamic model of a simply supported ionic polymer-metal composite (IPMC) beam resting on human tissue is developed. First, the bending moment in the IPMC beam due to the alternative electric potential is derived from Nemat-Nasser's hybrid actuation model. This explicit bending moment expression provides an easy way to estimate the bending capacity of the IPMC. This paper presents fabrication and characterization of ionic polymer-metal composites and its application of biomimetic actuator.

Keywords: Ionic Polymer-Metal Composites, biomimetic actuator

Özet

Son yıllarda bilim adamları yeni güç kaynakları üzerinde yoğunlaşmıştır. Akıllı malzemeler kategorisine giren iyonik polimer-metal kompozitler, dışarıdan uygulanan bir elektrik alanı sonucu, içersinde bulunan iyonların hareketine bağlı olarak şekil değiştirirler. İyonik polimer metal kompozitlerin aktüatör, yapay kas, dönüştürücü ve birçok biyomimetik uygulamaları gibi sayısız uygulamaları vardır. Bu uygulama alanlarının üzerinde çalışmaların artması ile birlikte bu kompozitlerden üretilen elemanların elektroaktif karakterizasyonu ve matematiksel modellerinin çıkarılması önem kazanmıştır. Bu elemanlar zamana bağlı olarak değişen ve büyük oranda doğrusal olmayan bir karakteristiğe sahiptirler. Bu nedenle aktüatörlerin tek tek ve bir bütün halinde kararlı çalışmalarına olanak sağlayacak kontrol algoritmalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. İyonik polimer-metal kompozitlerin yapıları, iyonik polimer ve bu polimerin iki yüzeyine bir kaç mikron kalınlığında kaplanan metal elektrotlardan oluşmaktadır. İyonik polimer metal kompozit malzemeler gelişme aşamasındadır. Onların dinamik

cevabı hala zamanla değişen pek çok kritik parametrelere maruzdur. Aktüatörler gibi iyonik polimer metal kompozitler için doğrusal olmayan modeli düşünelim, aşağıdaki gibi bir model düzenlenmiş. İlk adım olarak, onun kalınlığı boyunca uygulanan voltaj üzerinde absorbe edilen akım iyonik polimer metal kompozitlerin bağlılığı dikkate alınır, doğrusal olmayan akım modeli bu ilişkiyi açıklamak için önerilmektedir. İkinci adımda iyonik polimer metal kompozitlerin mekanik reaksiyonuna absorbe edilen akımın dönüşüm modelidir. Başka bir çalışma, insan dokusu üzerinde duran basit mesnetli iyonik polimer metal kompozit kirişin dinamik modeli geliştirilmiştir. İlk olarak alternatif elektrik potansiyeli nedeniyle iyonik polimer metal kompozit çubukta eğilme Nemat-Nasır'ın hibrid tahrik modelinden türetilmiştir. Bu açık eğilme moment ifadesi iyonik polimer metal kompozitin eğilme kapasitesini tahmin etmek için kolay bir yol sağlar. Bu çalışmada, iyonik polimer-metal kompozitlerin üretimi, karakterizasyonu ve biyomimetik aktüatör uygulamalarında kullanılması üzerinde durulmuştur.

Keywords: İyonik polimer-metal kompozitler, biyomimetik aktüatör.

ÇALIŞTAY

POLİMERİK KOMPOZİT UYGULAMALARI VE SORUNLAR

- A. NANOKOMPOZİT SÜRECİ VE
KARAKTERİZASYONU / PROCESSING AND
CHARACTERIZATION OF
NANOCOMPOSITES: AEROSPACE AND
DEFENCE APPLICATIONS
- B. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ
UYGULAMALAR
- C. YAT SEKTÖRÜNDEKİ
UYGULAMALAR

PROCESSING AND CHARACTERIZATION OF NANOCOMPOSITES: AEROSPACE AND DEFENSE APPLICATIONS

M. Cengiz Altan

School of Aerospace and Mechanical Engineering
University of Oklahoma
Norman, OK 73019 USA

altan@ou.edu

Abstract

Composite materials that contain two or more different constituents have been used in a variety of engineering applications for several decades. With the availability of nano-scale reinforcements or additives, experimental and theoretical methods used for the analysis, processing, and design of composites have considerably changed during the last several years. In particular, various types of carbon nanotubes, nanoclay or other types of metal oxides are beginning to be used in commercial composites, improving their mechanical, chemical and physical properties. Aerospace and defense applications are being developed for use in future high-performance both manned and unmanned aircrafts. Most often, multi-functionality and multi-length scale reinforcements are tailored into subsystems used in these industries.

In this workshop, we will review the current state-of-the art in nanocomposites processing, characterization and describe various new developments in manufacturing science of nanocomposites. The emphasis will be on the recent advances that include development, fabrication, analysis and characterization of different types of molded and cured nanocomposite laminates. Examples of innovative processing methods, including bladder molding, vacuum assisted deposition and molding, and resin transfer molding will be discussed. In addition, examples of mechanical, thermal and microscopic characterization methods for nanocomposites will be presented. Both qualitative and quantitative methods to characterize microstructural features of nanocomposites will be described. We will also identify and discuss future challenges in development and commercialization of advanced nanocomposites.

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Fusun GÜNER

PETKİM Petrokimya Holding A.Ş., Ar-Ge Müdürlüğü, Aliğa/İZMİR

fguner@petkim.com.tr

Otomotiv ve ulaşım sektöründen yakıt ekonomisi ve emisyon hacimlerinin düşürülmesi gibi mevcut global beklentilerle birlikte çevre ve güvenlik yasalarındaki artış, metallerin yerini alabilecek düşük maliyetli, yüksek performanslı, hafif, yeni ve ileri malzemelerin kullanımına ve geliştirilmesine yönelik itici güç olmaktadır. Nanokompozitler sağladıkları mükemmel mekanik, termal ve işleme özellikleriyle otomotiv sektöründe metallerin yerini alabilecek polimerik malzemelerin yeni bir sınıfıdır [1].

Nanokompozit plastik parçalar, yüksek dolgulu plastik kompozitlere ve çeliğe göre ağırlıkta %25 oranında tasarruf sağlarken, arabanın toplam yaşam ömrü süresince kullandığı toplam enerjinin yaklaşık % 90 ını tükettiği yakıttan geldiği için ağırlıktaki bu azalma otomotiv endüstrisi ve araç kullanıcıları için anlamlı bir enerji tasarrufu olacaktır [2]. Nanokillerin kullanımıyla 175,000 km yapmış olduğu kabul edilen bir arabada 11.9-16.79 litre benzin tasarrufu, ağırlıkta 35.35 kg azalma sağlanırken atmosfere verilen CO₂ miktarında 33.21 kg bir azalma olacağı düşünülmektedir. Enerji tasarrufunun sağladığı katma değer nedeniyle arabaları da yapısal parçalarında, iç ve dış gövde panellerinde nanokompozit uygulamalarının yaygınlaşacağı düşünülmektedir [3].

Otomotiv sektörü malzeme teknolojisinin en önemli tüketicisidir ve nanoteknoloji mevcut teknolojinin performansının geliştirilmesi için çok ümit vericidir. Güç merkezinden hafif parçalara, enerjinin dönüştürülmesine, kirliliğin azaltılmasına, iç ve dış terimlere, aşınmanın azaltılmasına, sürücü dinamiklerine, kontrol ünitelerine, geri dönüşüm potansiyeline ve daha fazlasına kadar yapılan uygulamalar bu teknolojinin sağladığı katma değerleri anlamak için oldukça önemlidir. Arabalarda nano vizyonu "CO₂ free" motordan, güvenli sürüşe, sessiz arabaya, kendi kendini temizleyen karoser ve otomobil öncamına, ortama göre renk değiştirmeye kadar ulaşmıştır. Bütün bunlar, sürdürülebilirlik olarak tanımlanan gelişmiş ekoloji, güvenlik ve rahatlık gibi müşteri ihtiyaçları ve toplumsal eğilimler ile buluşmuş olacaktır.

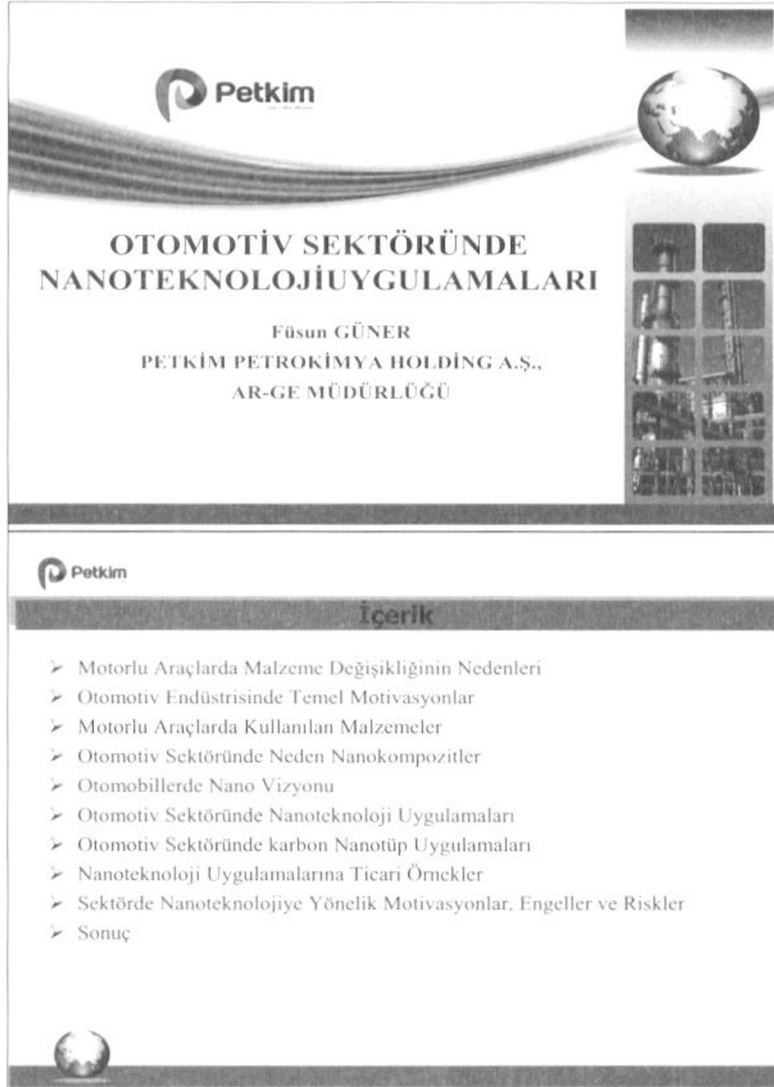
Nanoteknoloji otomobil parçalarının toplu üretiminde şimdiden yer almaktadır. Bazı kamyonların, camında çoklu nanotabakalardan yapılan yansımayan

kaplamalar kullanılmaktadır. Cam tabakalar içine gömülmüş kızıl ötesi yansımali nanotabakalı güneşten koruyan sırlar şimdiden otobüslerde kullanılmaktadır. TPO-Nano ticari isimli termoplastik nanokompozit, sert ve hafif dış trimlerde kullanılmaktadır. Kamyon lastiğinde geleneksel iç tabaka, nanokompozitler ile değiştirilince %2 yakıt ekonomisi sağlanmıştır.

Nanokompozitler otomotiv parçalarında dikkati çeken bir etki yapmaktadır. Lastik, yakıt sistemleri, yakıt hücrelerinde gaz ayırma membranları, koltuk kumaşları, kompozit gövde parçaları için yapıştırıcı gibi nanokompozit uygulamalarını çoğaltmak mümkündür. 2005 yılında global nanokompozit pazarının 75 milyon \$ olduğu açıklanırken 2010 yılında bu pazarın 250 milyon \$ olması beklenmektedir. Bu pazarın %80 kadarını otomotiv ve ambalaj sektörü oluşturmaktadır[4]. Nanokompozit kullanımındaki en büyük mücadele, teknik çalışmaların yanında mükemmel performanslı nanokompozitleri, metallerin ve yüksek dolgulu kompozitlerin yerini alabilecek rekabet edici fiyatlara getirmektir [5].

Kaynaklar:

- [1]. Garces, J. M., Moll, D., Bicerano J, X. L., Meng, Y. Z., "Polymeric Nanocomposites For Automotive Applications", Adv.Mater., 12, 23 1108-1114, 2000
- [2]. Morales A., Escolano c., "Economic Assesment Aeronautics and Automotive Sectors Final Report", 2009
- [3]. Vanakijpaibul N., Parkj., Kim T., "DFE 2008 Automotive Interior Door Panels, DaimlerChrysler", 2008
- [4].Arkema Group, "Automotive and Packaging Offer Growth Opportunities For Nanocomposites", Plastic additives & Compounding, November/December, 2005
- [5].Presting H., König U., "Future Nanotechnology Developments For Automotive Applications", Materials Science and Engineering, 23,737-741, 2003



 **Petkim**

Motorlu Araçlarda Malzeme Değişikliğinin Nedenleri

- Yakıt ekonomisi ve emisyon hacimlerinin düşürülmesi gibi mevcut global beklentiler
- Çevre ve güvenlik yasalarındaki artış
- Uzun süreli performans



 **Petkim**

Motorlu Araç Üreticileri

- Yüksek verimlilikli
- Düşük üretim maliyetlerinde
- Daha fazla yakıt ekonomisiyle
- Hafif araçlar yapmayı hedeflemektedirler







Otomotiv Endüstrisinde Temel Motivasyonlar

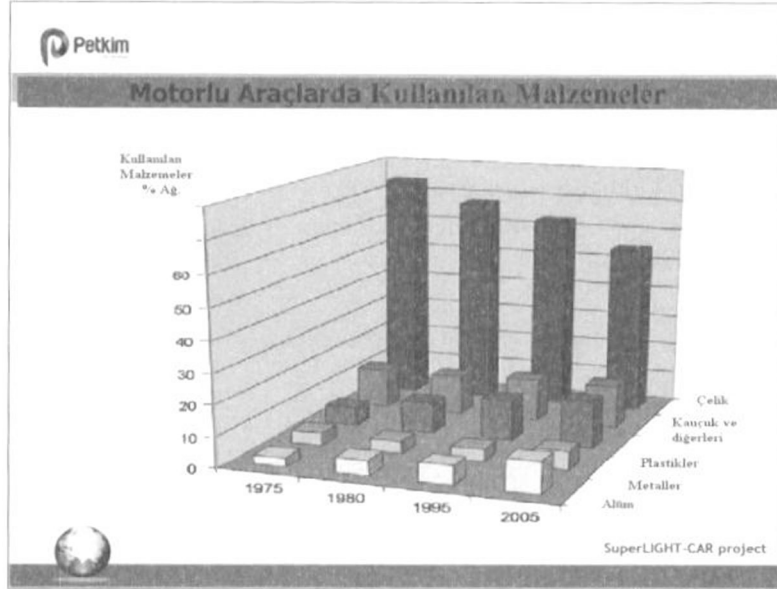
- Hava kirliliğinin azaltılması
- Parça ve sistemlerde ağırlığın azaltılması
- Geri dönüşüm
- Güvenlik
- Daha iyi bir performans ve motor verimliliği(yakıt ekonomisi)
- Estetik
- Daha uzun servis ömrüdür.



Otomotiv Endüstrisi

- Otomotiv endüstrisi malzeme yoğun bir sektördür.
- Spesifik uygulamaların gerekliliklerini karşılamak için çok çeşitli metaller, dolgular ve plastikler kullanılmaktadır.
- Malzeme seçiminde şüphesiz en önemli kriter, maliyet ve performanstır.
- Nanokompozit plastikler, yüksek dolgulu plastiklere göre %25, çeliğe göre %80 kadar ağırlıkta tasarruf sağlamaktadır.
- Bir arabanın yaşam ömrü boyunca kullanılan enerjinin yaklaşık %90'ı yakıt tüketiminden geldiği için ağırlıktaki bu azalma otomotiv sektörü ve araç kullanıcıları için anlamlı bir enerji tasarrufu olmaktadır.
- Yapısal plastikler, alternatif metaller ve alaşımlar, takviyeli dolgular, cam elyaf kompozitler bu yaklaşımlara en iyi örneklerdir.
- Bütün bu yaklaşımlarda sınırlamalar vardır.





- Petkim
- ### Motorlu Araçlarda Kullanılan Malzemeler
- Bütün bu yaklaşımlarda sınırlamalar vardır. Yapısal plastikte uzun bir döngü zamanı vardır, yüzey modifikasyonları gerekmektedir ve çok daha pahalıdır.
 - Hafif ağırlıktaki metaller ve onların alaşımları, kullanımları artmış gözükse de bu metaller çelik ve demir gibi aynı kısıtlamalara sahiptirler ayrıca ek bir maliyet getirmektedirler.
 - Talk, mika, kalsiyum karbonat gibi mukavemet artırıcı dolgular sertliği sağlarken ağırlık ve erime viskozitesi artmakta dayanıklılık, optik berraklık, yüzey kalitesi azalmaktadır.
 - Cam elyaf takviyesi ise yüksek dayanıklılık sağlarken buna bağlı olarak işleme zorluğu ve maliyet artmaktadır. Bu geleneksel güçlendiriciler, modül ve boyutsal kararlılığı artırırken ağırlık, dayanıklılık ve yüzey kalitesinde problemler yaşanmaktadır.

 **Petkim**

Otomotiv Sektöründe Neden Nanokompozitler ?

- Mekanik, termal özelliklerdeki artış
- Daha küçük dolgu boyutu nedeniyle araba parçalarının daha az yüzey bozulması
- Daha az dolgu miktarı nedeniyle son ürünün yoğunluğunun azalması ve buna bağlı olarak geliştirilmiş yakıt ekonomisi ve azaltılmış kirlilik

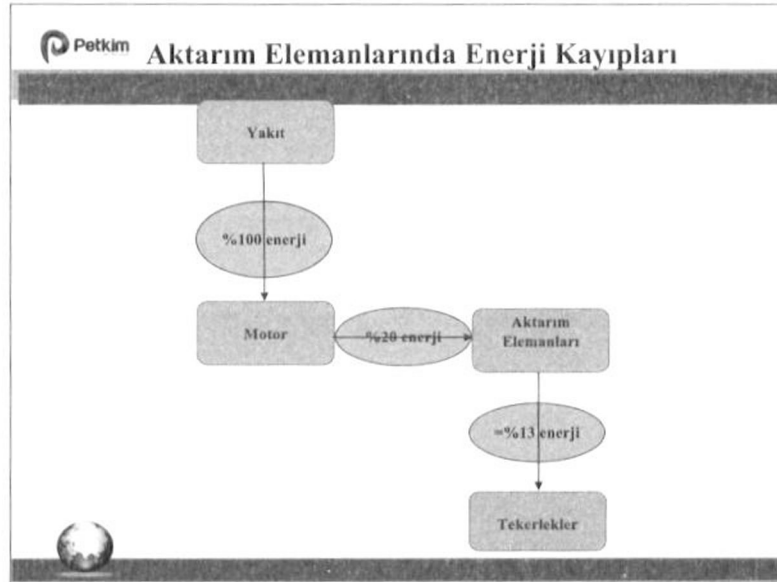
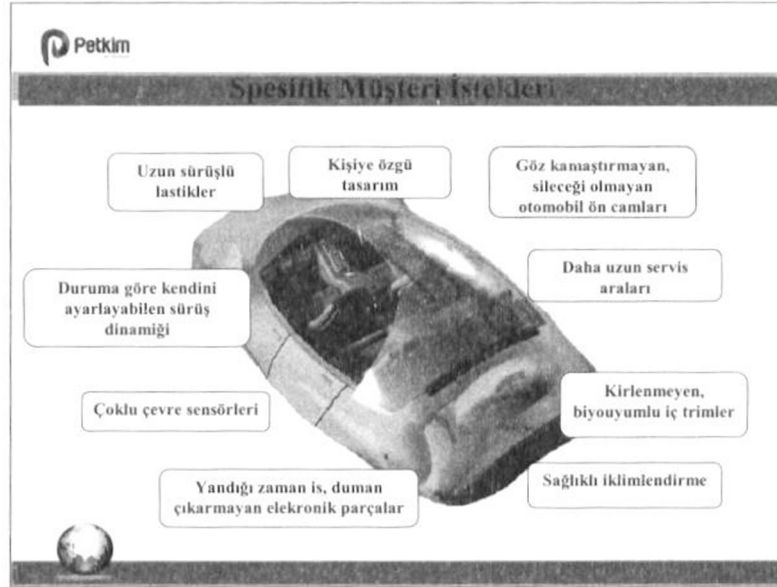


 **Petkim**

Otomotiv Sektöründe Neden Nanokompozitler ?

- Geleneksel dolguların aksine, tabakaları tamamiyle ayrılmış nano dolgular ağırlıkça %5 ilave edildiğinde oldukça etkili olmaktadır.
- Bu dolgular bükülme modülünde, ısısal kararlılıkta, alev gecikmesi, yüzey sertliği, ısı ile bozunma sıcaklığı, bozunma dayanımı, bariyer özelliklerinde anlamlı gelişmeler sağlamaktadır.
- Nano ölçekli güçlendirmeyle polimer kompozitin sistem ve parça tasarımı da mümkün olmaktadır.





 **Petkim**

Otomobillerde Nano Vizyonu

- Karbon dioksitsiz motordan,
- Güvenli sürüş
- Konforlu ve rahat arabalar
- Kendi kendini temizleyen gövdeler
- Ortama göre renk değiştiren otomobil ön camları
- Kendi kendilerine oluşan otomobil gövdelerine kadar ulaşmaktadır.



 **Petkim**

Polimer nanokompozitler

- Nanokompozitler, nanometre boyutlu kil partiküllerinin PP, PE, Polyester, Epoksiler v.s. gibi polimerlere katılmasıyla üretilmektedir. Polimer-Kil nanokompozit hazırlamak için birçok yol mevcuttur.
- Kil mineralleri polimer içinde eriyik halde ya da çözelti yöntemiyle dağıtılmaktadır. Bu metodun öncüsü Naylon 6-Kil(NCH) hibritini yaratan TOYOTA'dır. Bunu emniyet kemerlerinin yapımında kullanarak otomotiv uygulamalarında polimerik nanokompozit uygulamalarının ilk örneğini oluşturmuşlardır. Toyota'nın bu çalışması, polimerlerin nanokiller ile güçlendirilmesiyle mühendislik özelliklerinde önemli gelişmelerin sağlanabileceğini göstermektedir.
- Bu çalışmadan sonra global olarak her alanda yoğun çalışmalar yapılmıştır. Şimdi nanokompozit çalışmaları, PP, PE, PVC, PS, ABS, PMMA, PET, EVA, epoksi, poliimid, poliakrilonitril, polikarbonat, polietilen oksit gibi hemen hemen bütün mühendislik polimerlerinde yaygınlaştırılmıştır.





Otomotiv Sektöründe Nanoteknoloji Uygulamaları -

1

- CNTs, grafen ve diğer nanopartikül/yapılar ile geliştirilmiş malzemeler
- Plastikler için geliştirilmiş mekanik, ısı ve görünüm özellikleri
- Aşınma, korozyon dayanımı, geçirgenlik bariyeri ve görünüş için kaplamalar
- Isısal performansı geliştirilmiş soğutucu akışkanlar
- Isı çevrimi ve çatlama direnci geliştirilmiş ara yüzeyler
- Mekanik dayanımlı metal alaşımlar
- Mekanik özellikleri geliştirilmiş matriks ve seramikler

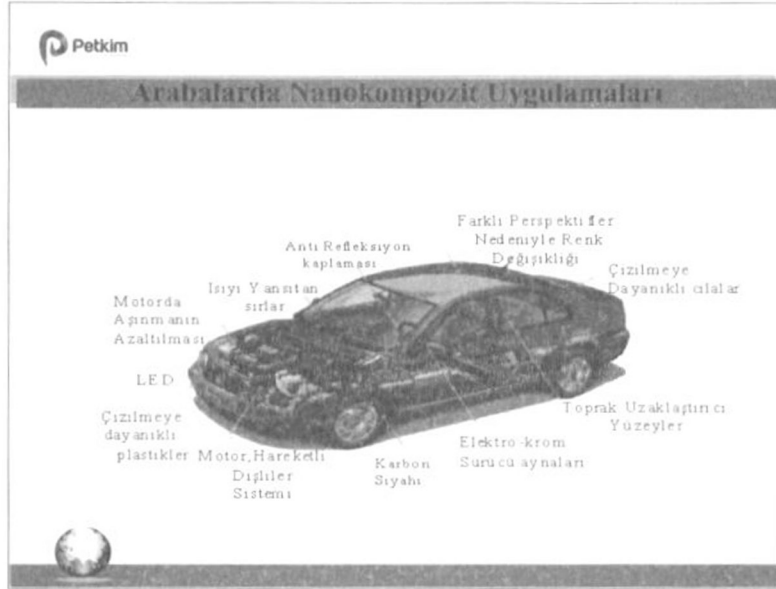


Otomotiv Sektöründe Nanoteknoloji Uygulamaları -

2

- Çatlamaya dayanıklı ya da daha düşük proses sıcaklığına sahip lehim malzemeleri
- Enerji kapasiteleri geliştirilmiş yakıt hücreleri ve bataryalar
- Otomotiv sensörleri
- Yüksek frekans ve güç uygulamaları için elektrik ara bağlantılar
- CNT transistörleri, kuantum transistörleri, nano-elektrik-mekanik düğmeler, elektron-emisyon güçlendiricileri ve daha etkili solar hücreleri içeren elektrik anahtarları
- Nanokompozitler, nano yapışkanlar, çizilme dayanımlı boyalar
- Sis oluşturmeyen kaplamalar
- Aşınmaya dirençli lastikler
- Kir tutmayan kaplamalar
- LED ler
- Cizilmeye dayanıklı cilalardır

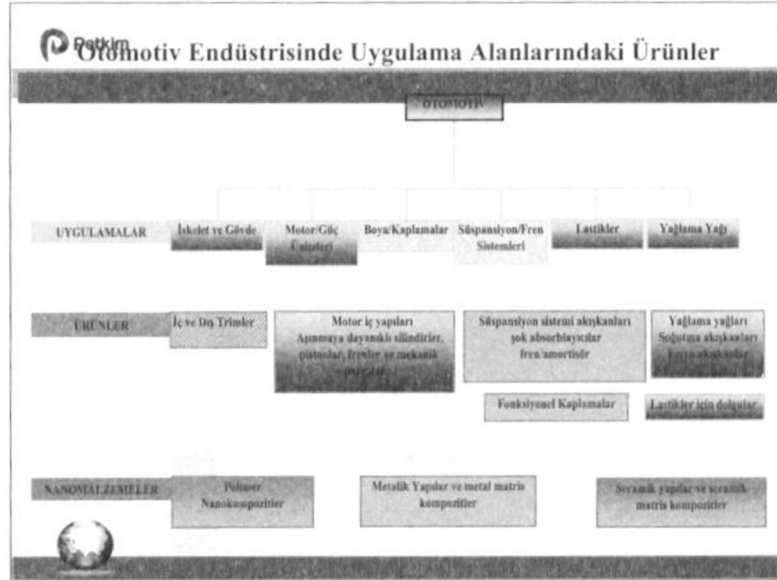




Petkim

Otomobilde Nanoteknolojinin Uygulandığı Parçalar

- Otomobil Gövdeleri
- Aktarım Elemanları
- Süspansiyon ve Fren Sistemleri
- Lastikler
- Otomobil Camları
- Yağlama Yağı
- Yapıştırıcılar
- Kalıplar



Petkim

Araba Tamponunda Talk ve Kauçuk Miktarının Azaltılması-Örnek 2

- TPO
 - Talk dolgusu yerine nanokil kullanımı
 - Kauçuk miktarının azaltılması
- Ağ. % 60 Polipropilen
 - % 15 ataktik polipropilen
 - % 15 İzotaktik polipropilen
 - % 30 Kopolimer
- Daha az kauçuk miktarı ile eşdeğer darbe dayanımı
 - % 3 nanokil ilavesi ile kabul edilebilir darbe dayanımı
 - Kauçuk miktarının % 10 azaltılması (yaklaşık üç de bir oranında)
- % 30 Elastomer (EPDM)
- % 10 talk



Petkim

SMC Gövde Panelleri-Örnek 3

- Elektrostatik boyamalarda karbon nano elyaf kullanımı-iletken astar boyama katının kaldırılması
- Karbon nano elyafların kullanımıyla
 - CaCO_3 miktarı azaltılmakta
 - Sertlik artırılmakta
 - Daha hafif paneller yapılmaktadır.
- Yüzey kalitesi A sınıfı olmaktadır.
- İletken astar boyama katı SMC Çamurluk üretiminde maliyetin 1/3 nü oluşturmaktadır.





İlk Ticari TPO (Astro ve Safari kamyonetlerde basamak)

- Ağırlık tasarrufu
- Daha özgül yoğunluk
- Daha az ağırlık maliyeti, d buna bağlı olarak bağlantı parçaları için daha az yapıştırıcı kullanılmıştır.
- Uyumlu fiziksel ve mekanik özellikler
- Gelişmiş renklendirme ve boyanabilirlik
- Geliştirilmiş çizilme ve aşınma direnci
- Düşük sıcaklıkta sünme özelliği
- Geri dönüştürülebilirlik
- Geniş işleme süresi (08/2001)



GM/Basell/Southern Clay Products/Blackhawk



Chevrolet Impala'da Nanokompozit Kullanımı

- Chevrolet Impala yan kapılarda nanokompozit kullanılmıştır (2004) .
- Kullanılan polimer polipropilendir.
- Nanotalk ve nanokil kullanılmıştır.
- GM, bu kompoziti son yıllarda GM Hummer H2 SUT arka bagaj ve panellerinde de (2005 yılı) kullanmıştır.
- Ağırlıkça % 7 ağırlık tasarrufu(Chevrolet Impala)



Chevrolet Impala, 2004



GM Hummer H2 SUT, 2005



 **Petkim**

Honda Acura Koltuk Arkası

- Honda Acura TL2004 model arabasında PP bazlı nanokompozit koltuk arkasında kullanmıştır.
- Önceden cam elyaf takviyeli PP kullanılmaktaydı. Bu, işleme zorluklarına, estetik kusurlara ve deformasyona neden olmaktaydı.
- Şimdi kullanılan nano yapılı malzemeler sadece yukarıda söylenen problemleri çözmekle kalmayıp aynı zamanda yoğunluğu (0.928 g/cm³) düşürmekte, daha yüksek mekanik özellikler, daha estetik bir performans sağlamaktadırlar.

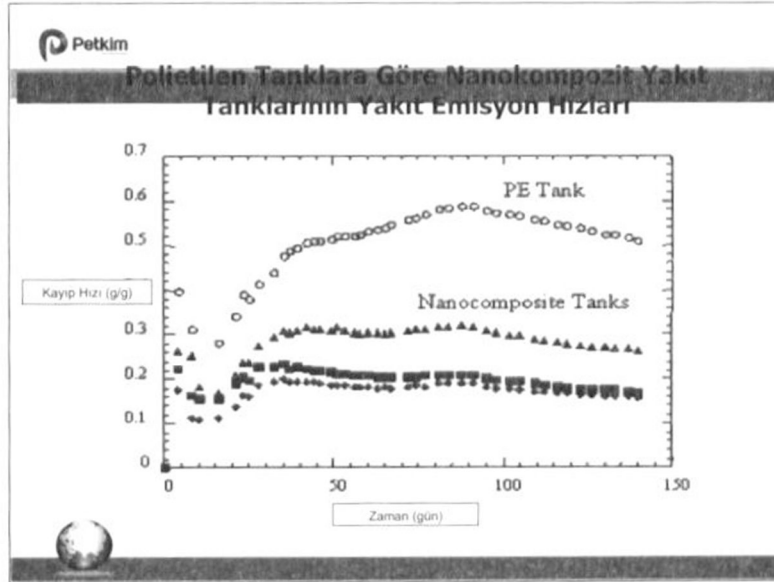
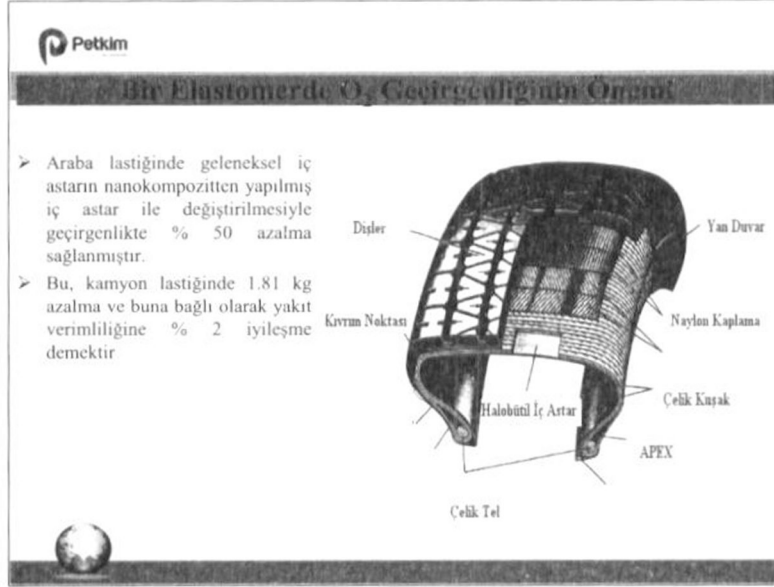


 **Petkim**

Volvo Car Company

- Volvo, Ağ. % 5 montmorilloniti TPO içinde dağıtarak ağırlığı düşürmeye çalışmaktadır.
- Ağırlıkta 25 kg azalma yakıt ekonomisinde %1 artış demektir.

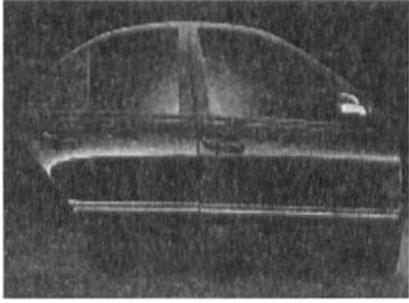




 **Petkim**

Mercedes Benz Nano Partikül Oromodis Boyası

- “Nano-clear coat” termoset akrilik, alkid ve poliüretandan oluşmaktadır.
- Nano boyutlu seramik partiküller ilave edilmektedir.
- Konvansiyonel dolgulara göre çizilme dayanımı ve parlaklık geliştirilmiştir.
- Beş yıl pratik çalışmalarda ve 60 arabada denemesinden sonra ticari olarak kullanılmıştır.



 **Petkim**

Nanokompozit Uygulamalarına Örnekler



Pontiac Aztec’de kapı kolları ve arka çeyrek panel

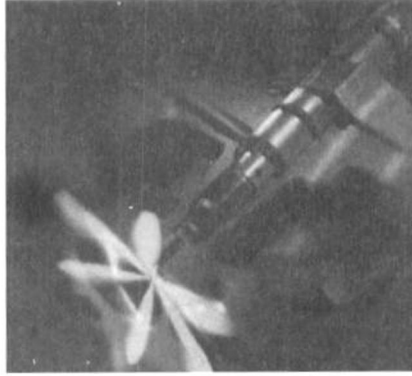
Denali ön tamponunda nanokompozit uygulamaları



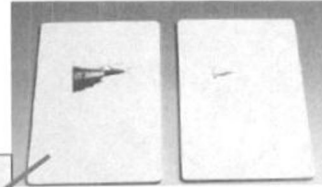


Dizel Motor Yakıt Sisteminde Nano Boyutunda Elmas Kullanılması

- İçten yanmalı motorlarda nanokristal yapılar (daha büyük mukavemet ve sıcaklık toleransı) kullanılmaktadır. Dizel motorların yakıt enjektörlerinde, aşınma dayanımını arttırmak için karbon kaplamalar gibi ince elmasın kullanılmasına yönelik çalışmalar mevcuttur



Boyalarda Çizilme Dayanımı



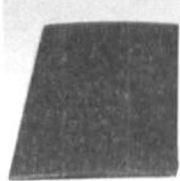
Kompozit

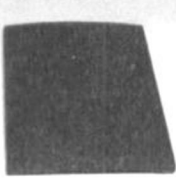
Nanokompozit

 **Petkim**

Cizilmeye Karşı Dayanım


Chevrolet Impala


Kompozit


Nanokompozit

 **Diğer Uygulamalar-1**

- Renault Clio ve Megane modellerinin çamurluklarında nanotüp dolgulu Poliamid/Polifenilen eter (PA/PPE) kullanmaktadır.
- Súd Chemie AG ELAN XP ticari isimli otomotiv iç giydirmelerinde uygulanmak için polipropilen/polistiren nanokompozit karışımını geliştirmiştir.
- Ashland Specialty Chemical bütün fiziksel özellikleri koruyarak sertliği arttırmak için konvansiyonel dolgular yerine nanokilleri kullanarak A sınıfında bir reçine üretmiştir.
- OPM ve NaturalNano tarafından poliketon bazlı bir nanokompozit geliştirmiştir. OXPEKK-DRT ticari isimli kompozitteki nanodolgu halloysit kil nanotüpleridir. Otomobil ve uçak gövdelerinde kullanılmaktadır.
- BASF (Germany) bir iletken polimer olan polioksimetileni(POM) Hyperion nanotüpleri ile kullanarak özellikle otomotiv yakıt sistemleri için ticarileştirmiştir.
- Audi ve DaimlerChrysler kamyonlarının camlarında, ışığı yansıtmayan kaplamalar kullanılmaktadır.
- Otobüslerde (evobus) kızılötesi yansıtımlı güneşten koruyan cilalar kullanılmaktadır.



Diger Uygulamalar-2

- Hyperion Catalysis International çok duvarlı karbon nanotüp içeren beş adet reçineyi ticarileştirerek bunlardan bir miktarda termoplastik masterbatch yapmıştır. Yeni masterbatchler: Polieterketon (PEEK), Polieterimid (PEI), Polifenilen Sülfid (PPS), Polistiren (PS) ve Naylon'dur. Karbon nanotüp içeren bu termoplastikler otomotiv sektöründe A sınıfı gövde paneli ve giydirmeler parçalarında kullanılmak için üretilmektedir.
- Diger bir uygulama, **Degussa** karbon nanotüp takviyeli Naylon-6 üretmiştir ve bunu Kuzey Amerika'da yapılan arabaların %70'inin yakıt hattı esnek hortumlarında kullanmaktadır.
- Hyperion aynı zamanda GE Plastics gibi birçok iletken termoplastik üreticilerine elektrostatik olarak boyanan gövde parçaları, ayna muhafazaları, kapı kolları ve çamurluklar gibi enjeksiyonluk malzemeler için karbon nanotüp tedarik etmektedir.
- Nycoa, nanokilli Naylon-6 nanokompozit üreten diğer bir şirket dir. "In-situ polimerizasyon" ile tek cidarlı yakıt tankı üretmektedir.
- SiC, SiO₂, TiO₂, BN₂, C elmas dan yapılan ve Teflonun Ni, Al ve Fe ile yapmış olduğu nanokompozitler, tribolojik kaplamalarda kullanılmaktadır.
- Apnano Materials'ın Volkswagen ile geliştirdiği katı yağlama yağları
- Nissan'ın Renault ile geliştirdiği katalitik konvertörler
- CleanTecnology'nin geliştirdiği nanokarbon malzemesi yağlama yağında katkı ve otomotivde nanokompozitlerde kullanılmaktadır.



Motivasyonlar

Motivasyonlar	İzlenebilecek Yollar
Çevresel ayak izini azaltmak	Yakıt verimliliği teknolojileri Ağırlığın azaltılması Yeni güç üniteleri
Güvenlik ve Konfor	Güvenlik ve konforu kontrol edebilmek için elektronik sistemler
Rekabet edebilirlik	Yenilikçilik Nanokompozitler gibi yeni ürünler



Engeller ve Kısıtlamalar

Motivasyonlar	Etkileri
Sıkı mevzuat	Gelişmedeki uzun zamanlar
Kapasite fazlası	Ekipman yatırımlarına karşı gösterilen direnç
Üniversite-Endüstri arasındaki iletişim eksikliği	En son teknolojilerin uygulanmasındaki gecikmeler



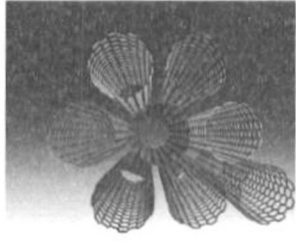
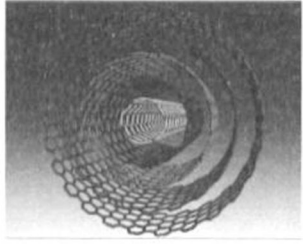


SONUÇ

- Arabalar, atmosferdeki CO₂ emisyonunun %12 sini oluşturmaktadırlar. Araçların çevresel ayak izlerini düşürmek otomotiv endüstrisinin en önemli sorunlarından biridir. Bu durum otomotiv endüstrisini araç ağırlığının düşürülmesine ve yeni güç sistemlerine doğru çalışmalar yapmaya yönlendirmektedir.
- Farklı araba parçaları açısından bakıldığında başlangıçta uygulamalar yüksek sınıf ve lüks sınıflarda olmaktadır. Bu nedenle, birçok popüler araba parçalarında hacim ve maliyet sınırlamaları bulunmaktadır. Bu nanoteknoloji ürünlerinin yüksek hacimlerinden dolayı henüz C sınıfı arabalarda, kullanılmadığını göstermektedir.
- Nanoteknolojinin maliyeti, sektörün tutuculuğu ve uzun ürün geri dönüşleri nanoteknolojik gelişmelerin yaygınlaşmasını engelleyebilmektedir. Nanoteknolojinin yapısal uygulanması için anlamlı testlere ve akreditasyona ve pazarın güvenini kazanmaya ihtiyaç vardır. Son kullanıcının farkındalığının olmayışı ve geri dönüştürülebilirlik alt yapısının olgunlaşmaması nanoteknolojinin otomotiv uygulamalarında yaygın adaptasyonunu engelleyebilmektedir.



 **Karbon Nanotüpler**



Çok duvarlı nanotüpler Tek duvarlı nanotüpler



 **Karbon Nanotüplerin Özellikleri**

- **Çap :** SWCNT, 0.6-1.8 nm, MWCNT ve CNF, 5-100 nm
- **Yoğunluk:** 1.33-1.40 g/cm³ (Al:2.7 g/cm³)
- **Gerilme Mukavemeti :** 45 GPa(Çelik alaşımlarda :~ 2GPa)
- **Akım Taşıma Kapasitesi:** 10⁹ A/cm² (Bakır:10⁶ A/cm²)
- **Isı İletkenliği:** 6000 W/mK (Elmas : 3320 W/mK)



Petkim

SONUÇ

➤ Şimdiden otomotiv pazarında bulunan ürünler, kauçuk lastikler için nanokatkılar, aynalar için ışığı yansıtmayan kaplamalar, kontrol panelleri, nano yağlama yağları çizilme dayanımlı cilalar ve boyalardır. Araştırmalar, 3-7 yıl gibi kısa dönemde pazara sürülecek hidrofobik kaplamalar, kir tutmayan tekstiller, nanogözenekli hava filtreleri, nano camlar, yapışkanlar, iç giydirmelerde polimer nanokompozitler, korozyon önleyici nano kaplamalar, nano sensörler, güç bölümlerinin verimliliğini geliştirmek için araba-araba ve araba-altı yapı iletişimi ve tribolojik kaplamalar.

➤ Diğer araştırma alanları, 10-15 yıl gibi uzun zaman içinde pazara sunulacak ürünler, motorlarda kullanılacak nanoseramikler ve daha hafif araba gövde parçaları ve güç bölümleri için nanokompozitler ve nanometal yapılarıdır. Otomotiv endüstrisi nanoteknoloji uygulamalarından ve gelişiminden etkilenmektedir. Hedef, nanoteknoloji farkındalığını artırarak gelecek yıllarda otomotiv endüstrisini pozitif etkilemektir.

Petkim

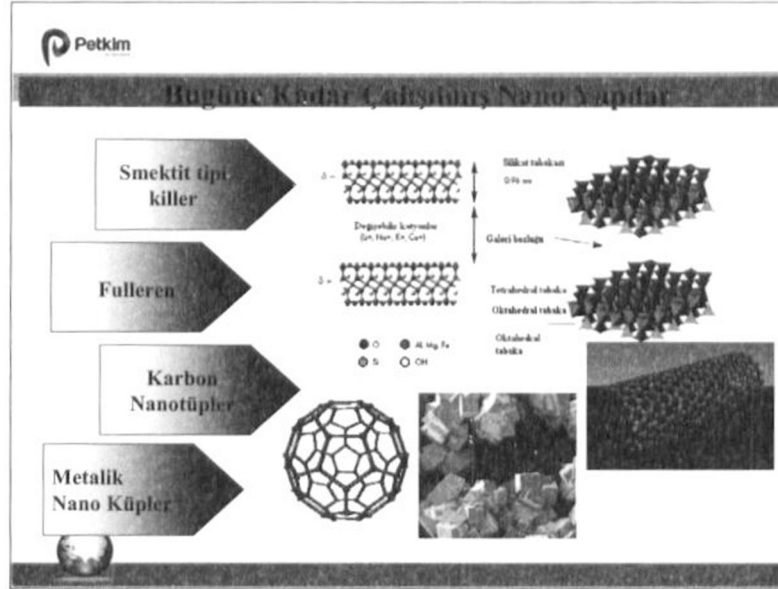
İlk Ticari Nanokompozit

	NCH, ag.%5	Nylon-6
Gerilme Modülü, GPa	2,1	1,1
Gerilme Mukavemeti, GPa	107	69
Isı İle Bozunma Sic., °C	145	65
Darbe Mukavemeti, kJ/m ²	2,8	2,3
Su adsorbsiyonu, %	0,51	0,87
CTE (X ₁)	6,3x10 ⁻⁵	13x10 ⁻⁵
Isı Yayıma Hızı, kW/m ²	378	1011

Okada et al. Mat. Sci. Eng. 1995, C3, 109
Gilman et al. SAMPE, May 1998

Nylon-6 Nanokompoziti

Diagram illustrating the synthesis of Nylon-6 Nanocomposite. The process starts with the reaction of 6-aminocaproic acid and caprolactam to form Nylon-6. This is followed by the incorporation of nanoclay (NCH) into the polymer matrix through a process labeled 'Polymerization'. The final product is a Nylon-6 Nanocomposite, shown as a polymer matrix with embedded nanoclay layers.



Petkim

Parça Kalınlığının Azaltılması Örneği 1

- Poliolefin
- Sertliği arttırmak için nanokil ilavesi
- Sertlikte % 50 artış
- Parça kalınlığının % 10 azaltılması
- Darbe dayanımında olumsuz bir etki olmaması

2. ULUSLARARASI KATILIMLI POLİMERİK KOMPOZİTLER SEMPOZYUM, SERGİ VE PROJE PAZARI
2nd POLIMERIC COMPOSITE SYMPOSIUM, EXHIBITION AND BROKERAGE EVENT (INTERNATIONAL PARTICIPANT)

 Petkim	Şekil	Boyut (nm)	Boy Çap Oranı	Elastik Modülü (GPa)	Elektriksel İletkenlik (S/cm)	Termal İletkenlik (W/mK)
Karbon Siyahı	Küresel	10-100	1-5	na	10-100	0.1-0.4
Karbon Elyaf	Çubuk	5,000-20,000	10-50	300-800	0.1-10	100-1000
Karbon Grafit	Tabakalı	250-500	15-50	500-600	1-10	100-500
E-Cam	Çubuk	10,000-20,000	20-30	75	na	na
CaCO ₃	Küre tabakalı	45-70 600-4,000	~1 1-30	35	na	3-5
Silika	Küre	8,000-30,000	5-10	30-200	na	1-10
Talk, Çin Kili	Tabakalı	5,000-20,000	5-10	1-70	na	1-10
Nano Boyutlu Dolgular						
Karbon Nano elyaf	Çubuk	50-100	50-200	500	700-1000	10-20
Karbon MWNT	Çubuk	5-50	100-10000	1000	500-10,000	100-1000
Karbon SWNT	Çubuk	0.6-1.8	100-10000	1,500	1000-10,000	1000
Alüminasilikat	Tabakalı	1-10	50-1000	200-250	na	1-10
Nanokil	Tabakalı	1-10	50-1000	200-250	na	1-10
Nanograft Grafen	Tabakalı	0.4-10	100-1000	1,000	1000-10,000	1000
Nano TiO ₂	Küresel	10-40	~1	230,000	10 ¹¹ -10 ¹²	12
Nano Al ₂ O ₃	Küresel	300	~1	50	10 ¹⁴	20-30
Nano Seldü	Çubuk	10-100	~100	100-200	10 ¹²	1-10