

FARKLI KARBON ESASLI POLİPROPİLEN NANOKOMPOZİTLERİN EFEKTİF ISI İLETİM KATSAYILARININ FARKLI MODELLERLE HESAPLANMASI

Ela KATI SUNAY¹, Süleyman Görkem CANKARA²

Accepted: 2022-09-07

DOI: 10.47118/somatbd.1142088

ÖZET

Çalışmamızda; karbon esaslı (grafen katkı, çok duvarlı karbon nanotüp katkı ve iki farklı konsantrasyonda grafit katkı) dört farklı polipropilen (PP) kompozit malzemenin efektif ısı iletim katsayılarının belirlenmesine yönelik teorik modeller ve hesaplama yaklaşımları incelenmiştir. Öncelikle polipropilen kompozit malzemelere uygun olan ve uygun olabileceği düşünülen efektif ısı iletim katsayısı modelleri seçilmiştir. Seçilen modeller için gerekli olan temel veriler bulunarak efektif ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar tablolar halinde listelenerek yorumlanmıştır. Yapılan çalışmada; polipropilen kompozitler için hesaplanan efektif ısı iletim katsayısı modellerinden Seri Model, Geometrik Ortalama Modeli, Maxwell Modeli 1, Jeffrey Modeli ve Sheldon ve Chawla Modeli'nin hem birbirlerine hem de dolgu malzemesi olan polipropilene yakın değerler verdiği görülmüştür. Dört farklı polipropilen kompozitin hepsinde de Russel Modeli ve Babanov Modelinin birbirleri ile aynı değerleri verdiği görülmüştür. Deneme amacıyla seçilen Maxwell-Eucken modeli 2, Levy modeli, Efektif ortam modeli, Hill modeli ve Bauer modelinin ise hem aynı kompozitte diğer modellere göre farklı değerler verdiği hem de her kompozitte aynı model için farklı değerler verdikleri görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Polipropilen, grafit, grafen, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT), efektif ısı iletim katsayısı, kompozit malzeme.

CALCULATION OF THE EFFECTIVE THERMAL CONDUCTIVITIES OF DIFFERENT CARBON-BASED POLYPROPYLENE NANOCOMPOSITES WITH DIFFERENT MODELS

ABSTRACT

In this research; theoretical models and calculation approaches for the determination of the effective heat transfer coefficients of four different carbon-based polypropylene (PP) composite materials (graphene doped, multi-walled carbon nanotube doped and graphite doped at two different concentrations) are investigated. First of all, effective thermal conductivity models that are suitable for polypropylene composite materials and which are thought to be suitable have been selected. The effective thermal conductivities were calculated by finding the basic data required for the selected models. The obtained results are listed in tables and interpreted. In the study; it has been observed that the Serial Model, Geometric Average Model, Maxwell Model 1, Jeffrey Model and Sheldon and Chawla Model, which are the thermal conductivity models

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., Isparta/TÜRKİYE.

² Burdur İl Özel İdaresi, Burdur/TÜRKİYE.

calculated for polypropylene composites, give values close to each other and to the polypropylene filling material. It was determined that the Russel Model and the Babanov Model produced the same results in all four different polypropylene composites. It was seen that Maxwell-Eucken model 2, Levy model, Effective environment model, Hill model and Bauer model, which were selected for trial purposes, both gave different values in the same composite compared to other models and gave different values for the same model in each composite.

Keywords: Polypropylene, graphite, graphene, multi-wall carbon nanotube(MWCNT), effective thermal conductivity, composite material.

1. GİRİŞ

Sanayileşmenin ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanoğlunun malzeme ihtiyacı da giderek artmaktadır. Bu nedenle kullanışlı ve avantajlı malzeme bulma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. İki veya daha fazla farklı malzemenin makro seviyede yani birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleşmesi ile oluşturulan malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemelerin bileşenleri, birleşerek tek başlarına sahip olmadıkları üstün özellikleri sergilemektedir [1]. Polipropilen; otomotiv sektörü başta olmak üzere, uçak-uzay sanayisi, elektrik-elektronik sanayisi, denizcilik ve spor ekipmanları, tekstil ürünleri, yiyecek paketlenme, ambalaj ve etiketlenme, alt yapı ve inşaat sektöründe kullanılan boru ve ek parçaları, kırtasiye ürünleri, plastik parçalar, yeniden kullanılabilir kap çeşitleri, laboratuvar ekipmanları vb. gibi teknolojinin hemen hemen her alanında kullanımı olan termoplastik bir polimerdir. Her endüstriyel sektör, farklı özelliklere sahip polipropilen malzemeler talep etmektedir. Polipropilen kompozitlerin içerisindeki katkı malzemesi ve miktarı, mekanik ve ısı özellikleri değiştirmektedir. Kullanım alanına bağlı olarak polipropilen matris içerisine; grafit, grafen, karbon nanotüp, karbon fiber, metal ve metal oksitler gibi katkı malzemeleri eklenebilmektedir. Çalışmamızda polipropilene eklenen karbon esasları; grafit, grafen ve çok duvarlı karbon nanotüptür. Belirlenen karbon esasları, karbonun birbirine farklı şekillerde bağlanması sonucu oluşmuştur ve birbirlerine göre farklı özellikler göstermektedirler. Grafitin yapısı altıgen karbon atom halkaları ile oluşmuş katmanlı bir yapıdır. Grafenin yapısı tek bir karbon atomu kalınlığındaki grafit katmanlarına denilmektedir. Karbon nanotüpleri ise karbon atomları altıgen şekilde bağlyken bu yapıya grafen ilave edilmesi ile elde edilir. Bu yapılar grafitin kimyasal ve fiziksel işlemler sonucunda karbon nanotüpe veya grafene dönüşmesiyle meydana gelir [2].

Kumlutaş [3]; alüminyum ya da kalay ilave edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin efektif ısı iletim katsayısını dolgu malzemesi konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak araştırdığı çalışmada, partikül katkılı kompozitlerin ısı iletkenliğini bu kompozitlerin mikro görüntülerinden yararlanarak nümerik olarak hesaplamıştır.

Nalçacı [4] çalışmada; yüksek yoğunluklu polietilene değişik hacimsel oranlarda katılan alüminyum ve çinko metal tozlarının, tek tek ve birlikte kullanılmalarının kompozitin ısı özelliklerine olan etkisini araştırarak, değişik hacimsel konsantrasyonlar için ANYSY sonlu elemanlar paket programında üç boyutlu termal analiz gerçekleştirildiğinde; matris malzemeye ilave edilen alüminyumun, ısı iletim katsayısını en çok etkileyen metal katkı maddesi olduğunu kanıtlamıştır.

Yüksel ve Avcı [5] yapmış oldukları çalışmada; gözenekli maddelerin efektif ısı iletkenliğinin modellenmesine ve tahminine yönelik literatürdeki mevcut çalışmaları incelemişlerdir. Bu doğrultuda; paralel, seri, geometrik ortalama, maxwell, nielsen, halphin-tsai,

levy, efektif ortam teori, krischer yaklaşımı ve russell modellerini inceleyerek bu modellerin uygulamasını anlatmışlardır.

Karaağaç vd. [6], yapmış oldukları çalışmada, kompozit ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının belirlenmesine yönelik teorik modeller ve hesaplama yaklaşımlarını irdelemişlerdir. Teorik modellerin kullanılabilirlik alanlarını ve sınırlarını analiz etmişlerdir. Çalışmalarında paralel, seri, geometrik ortalama, maxwell, nielsen, halphin-tsai, levy, efektif ortam teori, krischer yaklaşımı, russell, cheng ve vachon teorisi, agari ve uno modellerini kullanmışlardır. Kompozit ısı yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı tespiti için kullanılan seri, paralel, geometrik ve maxwell modellerin çözümlerine göre yapıda gözeneklilik arttıkça kompozit ısı yalıtım malzemesinin efektif ısı iletim katsayısının düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Pehlivanlı [7], çalışmasında bilhassa yalıtım özellik önemiyetinin olduğu alanlarda kullanılacak polipropilenin ısı iletkenliği düşürülerek enerji ve yalıtım tasarrufuna ek katkı sağlamayı amaçlamıştır. Bunun için polipropilene düşük ısı iletkenliğe sahip parçacık şeklinde borik asit ekleyerek kompozit malzemeler üretmiştir. Çift vidalı ekstruderle hazırlığı kompozit karışımları ardından plastik enjeksiyon yöntemi yardımıyla kalıplayarak deney numunelerini üretmiştir. Ürettiği numunelerden deneysel ölçüm yolu ile elde ettiği ısı iletim değeri sonuçlarını kaynaklardaki efektif ısı iletim modelleriyle karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada seri, paralel, geometrik, maxwell-eucken ve russell efektif ısı iletkenlik modellerini kullanmıştır.

Literatürde; ısı iletkenlik açısından polipropilen kompozite katılan grafit, grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ile ilgili fazla çalışma yoktur. Yapmış olduğumuz çalışma bu açıdan diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir. Bu doğrultuda; dört farklı gruptan oluşan farklı karbon bileşenlerine sahip polipropilen (PP) kompozitlerin ısı iletim katsayıları, 'efektif ısı iletim katsayısı modelleri' kullanılarak hesaplanmıştır. Efektif ısı iletim katsayısı modelleri kullanılarak hesaplanan ısı iletim katsayısı değerleri tablolarda verilerek kendi içlerinde değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Çalışmamızda kullandığımız polipropilen (PP) kompozitlerin yüzdelik karışım değerleri; Kaya [2] tarafından yapılmış olan yüksek lisans tezinde kullanılan numunelerden alınmıştır. Böylece otomotiv sektöründe kullanılması planlanarak; mekanik özellik çalışmaları yapılmış olan numunelerin ısı özellik çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapmış olduğumuz çalışmada; %0.1 çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) katkılı, %0.01 grafen katkılı, %0.1 grafit katkılı ve %1 grafit katkılı dört farklı polipropilen (PP) kompozit malzemenin ısı iletim katsayıları 'efektif ısı iletim katsayısı modelleri' kullanılarak hesaplanmıştır. Bu kompozitlerdeki karışımlar 1 kilogram polipropilen içerisine belirlenen ağırlık oranlarındaki takviye elemanları ilave edilerek oluşturulmuştur.

Efektif ısı iletim katsayısı hesaplamaları için kullanılan yoğunluklar Tablo 1'de [2], ısı iletim katsayıları ise Tablo 2'de [7, 8] verilmiştir.

Tablo 1. Kompozit numunelerdeki bileşenlerin yoğunlukları

Malzeme	Polipropilen	MWCNT	Grafen	Grafit
Yoğunluk (Kg/m ³)	946	2100	2266	2266

Tablo 2. Isı iletim katsayıları

Malzeme	Polipropilen	MWCNT	Grafen	Grafit
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0.106	3000	2000	470

2.1. Efektif Isı İletim Katsayısı Modellerinde Kullanılan Hacim Ve Hacimsel Oranların Hesaplanması

Polipropilen ve katkı malzemeleri olan grafen, grafit ve çok duvarlı karbon nanotüpün literatürdeki yoğunluklarından yola çıkarak oran oranı yapılmak suretiyle 1 Kg polipropilen, 10 gr grafit, 1 gr grafit, 0.1 gr grafen ve 1 gr MWCNT'ün hacimleri bulunmuştur. Daha sonra bulunan hacimler kullanılarak hacimsel oranlara geçilmiştir. Bu işlem yapılırken 1 kg polipropilen ve içine eklenen katkı malzemesinin hacmi toplanarak toplam hacim bulunmuştur. Toplanarak bulunan bu hacim %100 olarak alınmış ve katkı malzemesinin hacmi ile oran orantıya tabi tutularak hacimsel oranlar elde edilmiştir. Bulunan bu hacim oranları efektif ısı iletim katsayısı modellerinde kullanılmıştır.

2.2. Çalışmada Kullanılan Efektif Isı İletim Katsayısı Modelleri

Efektif ısı iletim katsayılarını belirlemek için; Seri ve Paralel Modeller, Geometrik Ortalama Modeli, Maxwell Modeli 1, Maxwell-Eucken Modeli 2, Levy Modeli, Efektif Ortam Teori (EMT) Modeli, Krischer Yaklaşımı, Russel Modeli, Cheng ve Vachon Teorik Modeli, Hill Modeli, Jeffrey Modeli, Bauer Modeli, Babanov Modeli, Singh ve Ark Modeli ve son olarak Sheldon ve Chawla Modelleri seçilmiştir. Bu modellerin seçilmesindeki amaç, çalışmamız kapsamında kullandığımız farklı karbon esaslı polipropilen nanokompozitlerin gözenekli malzemeler olmasıdır. Buradaki gözeneklilikten kastedilen polipropilen içinde çözünmeyen farklı karbon esaslarıdır.

Levy Modeli, Maxwell-Eucken Modeli-2, Efektif Ortam Teori Modeli, Hill Modeli, Jeffrey Modeli ve Bauer Modeli deneme amaçlı seçilmiş olup karışımların efektif ısı iletim katsayısını bulmada diğer modellerden elde edilen sonuçlarla aralarındaki uyuma bakılmıştır. Seri model ve paralel model iki bileşenli malzemeler için en yalın modellerdir. İki bileşenli malzemelerde ısı akısı doğrultusuna dik ve paralel hazırlanmış, iletim yoluyla ısı aktarımı sistemine özen gösterilerek seri ve paralel model yapılandırılmaktadır [9]. Geometrik ortalama modeli, gözenekli iki bileşenli bir malzemenin efektif ısı iletkenliğini, bileşenlerin sahip olduğu ısı iletkenliği ve hacim oranları ile ilişkili ağırlıklı geometrik ortalamasını kullanarak hesaplamaktadır [6]. Maxwell modeli, dağılı fazların bir biri ile bağlantılı olmadığı bir yaklaşımdır. Maxwell modeline bakılırsa dağılı fazların hiçbir zaman sürekli iletim yolları kuramadığı anlaşılmaktadır. Maxwell modeli, seyrek fazlar için ortalama alan yaklaşımı olarak tanınmaktadır ve dolgu fazlarının düşük dağılımlı olduğu durumlarda efektif ısıl iletkenlik için çok iyi sonuçlar vermektedir [6]. Maxwell – Eucken 1 modeli izotropik dış gözenekli malzemelerin alt sınırını belirtirken; Maxwell–Eucken 2 modeli izotropik iç gözenekli malzemelerin üst sınırını belirlenmiştir [11]. Levy Modeli, sürekli ve dağılı fazlar arasında simetri olmasını sağlamak maksadıyla Maxwell-Eucken modeline dayalı bir model ortaya koymuştur [6]. Efektif Ortam Teori Modeli, sürekli veya dağılı faz rastgele dağıtılmış şekilde olan heterojen bir malzemeyi göstermektedir [12]. Krischer yaklaşımında, kompleks yapı basit yapıların karışımı olarak ele alınmaktadır. Krischer yaklaşımında basit yapıların ampirik olarak tanımlanmış bağıl miktarları karışımın ısıl iletkenliği belirlemektedir [6]. Russel modelinde, sürekli ortamda aynı boyutlarda dağılı izole küplerin var olduğu düşünülmektedir. Elektrik

analojisi yardımıyla oluşturulan russel modeli, matris malzeme içerisinde dağılı olan aynı boyutlarda izole küpler halindeki fazların var olduğuna dayanmaktadır [13]. Cheng ve Vachon, parabolik dağılıma sahip ilave malzemenin sürekli olmayan bir faz olduğunu kabul etmektedir. İki çeşit kompozit malzeme de, ilave malzemesinin hacimsel oranına bağlantılı olarak kapalı formda anlatılmaktadır [14].

Çalışma kapsamında kullanılan polipropilen nanokompozitler için seçilen efektif ısı iletim katsayısı modelleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Seri ve paralel modeller [9]:

$$k_{e(\text{seri})} = [(V_d/k_d) + (\varepsilon/k_s)]^{-1}$$

$$k_{e(\text{paralel})} = (V_d * k_d) + (\varepsilon * k_s)$$

Burada k_e efektif ısı iletim katsayısını, k_d dolgu fazının ısı iletim katsayısını, k_s sürekli fazın ısı iletim katsayısını, ε sürekli fazın hacim oranını, V_d dolgu fazının hacim oranını ($1 - \varepsilon$) ifade etmektedir.

Geometrik ortalama modeli [6]:

$$k_{e(\text{Geometrik ortalama modeli})} = (k_s)^\varepsilon (k_d)^{(1-\varepsilon)}$$

Maxwell modeli [10]:

$$k_{e(\text{maxwell})} = k_s \left[\frac{2k_s + k_d - 2(k_s - k_d) \cdot V_d}{2k_s + k_d + (k_s - k_d) \cdot V_d} \right]$$

Maxwell-Eucken Modeli 2 [11]:

$$k_{e(\text{maxwell-eucken 2})} = k_d \left[\frac{2k_d + k_s - 2(k_d - k_s) \cdot \varepsilon}{2k_s + k_d + (k_s - k_d) \cdot V_d} \right]$$

Levy modeli [6]:

$$k_{e(\text{levy})} = k_d \left[\frac{2k_d + k_s - 2(k_d - k_s) \cdot F}{2k_d + k_s + (k_d - k_s) \cdot F} \right]$$

$$F = \frac{\left[(2/G) - 1 + 2V_d - \sqrt{\left((2/G) - 1 + 2V_d \right)^2 - \left(\frac{8V_d}{G} \right)} \right]}{2}$$

$$G = \frac{(k_d - k_s)^2}{(k_d + k_s)^2 + (k_d k_s / 2)}$$

Levy modelinde F dağılım faktörü/oranı veya ampriksel parametre, G ise ısı iletkenliklere bağlı parametredir.

Efektif Ortam Teori Modeli (iki bileşenli kompozit için) [12]:

$$k_{e(\text{efektif ortam teorisi})} = \frac{1}{4 \left[(3\varepsilon - 1)k_s + (3(1 - \varepsilon) - 1)k_d + \sqrt{[(3\varepsilon - 1)k_s + (3(1 - \varepsilon) - 1)k_d]^2 + 8k_s k_d} \right]}$$

Krischer yaklaşımında [6]:

$$k_{e(\text{krischer yaklaşımı})} = \left[\left(\frac{1 - F}{k_{\text{paralel}}} \right) + \left(\frac{F}{k_{\text{seri}}} \right) \right]^{-1}$$

Russel modeli [13]:

$$k_{e(\text{russel})} = k_s \left[\frac{V_d^{2/3} + (k_s/k_d)(1 - V_d^{2/3})}{V_d^{2/3} - V_d + (k_s/k_d)(1 - V_d^{2/3} + V_d)} \right]$$

Cheng ve Vachon [14]:

$$k_s > k_d \rightarrow \frac{1}{k_e} = \frac{2}{\sqrt{C_2(k_d - k_s)[k_s + C_1(k_d - k_s)]}} \tan^{-1} \frac{C_1}{2} \sqrt{\frac{C_2(k_d - k_s)}{k_s + C_1(k_d - k_s)}} + \frac{1 - C_1}{k_s}$$

$$k_d > k_s \rightarrow \frac{1}{k_e}$$

$$= \frac{2}{\sqrt{C_2(k_d - k_s)[k_s + C_1(k_d - k_s)]}} \ln \frac{(\sqrt{k_s + C_1(k_d - k_s)} + \frac{C_1}{2} \sqrt{C_2(k_d - k_s)})}{\sqrt{(k_s + C_1(k_d - k_s)) - \frac{C_1}{2} \sqrt{C_2(k_d - k_s)}}} + \frac{1 - C_1}{k_s}$$

$$C_1 = \sqrt{(3V_d)/2} \text{ ve } C_2 = -4\sqrt{2/(3V_d)}$$

Cheng ve Vachon denklemlerindeki C_1 ve C_2 bileşene göre değişebilen parametrelerdir.

Hill modeli [15]:

$$k_{e(\text{hill})} = k_d(2F - F^2) + k_s(1 - 4F + 3F^2) + \frac{8k_d k_s (F - F^2)}{k_d F + k_s (4 - F)}$$

$$F = 2 - \sqrt{4 - 2V_d}$$

Jeffrey modeli [16]:

$$\frac{k_{e(\text{jeffrey})}}{k_s} = 1 + 3\beta V_d + \left(3\beta^2 + \frac{3\beta^2}{4} + \frac{9\beta^2}{16} + \frac{\alpha + 2}{2\alpha + 3} \right) V_d^2$$

$$\beta = \frac{(\alpha - 1)}{(\alpha + 1)} \text{ ve } \alpha = \frac{k_d}{k_s}$$

Jeffrey modelinde, β indirgenmiş ısıl parametre (faz dağılımının bağıl eğilimi) ve α ise dolgu fazının ısı iletkenliğinin sürekli fazın ısı iletkenliğine oranıdır.

Bauer modeli [17]:

$$\frac{k_{e(\text{bauer})}}{k_s} = \alpha V_d^{\frac{3}{2}} \quad \left(\alpha = \frac{k_d}{k_s} \right)$$

Babanov modeli [18]:

$$k_{e(\text{babanov})} = \frac{k_s (k_s + V_d^{2/3} (k_d - k_s))}{(k_s + V_d^{2/3} (k_d - k_s) (1 - V_d^{1/3}))}$$

Singh ve ark. modeli [5]:

$$k_{e(\text{singh ve ark})} = \frac{k_s (k_s + 0,806 V_d^{2/3} (k_s - k_d))}{(k_s + 0,806 V_d^{2/3} (k_s - k_d) (1 - 1,2407 V_d^{1/3}))}$$

Sheldon ve Chawla modeli [19]:

$$\log k_{e(\text{sheldon ve chawla})} = V_d \log k_d + V_s \log k_s$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Efektif ısı iletim katsayısı model hesaplamalarında kullanılan hacimler Tablo 3'te, hacim oranları ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Hesaplamalarda kullanılan hacimler

Bileşen	Bileşenin ağırlığı (kg)	Hacim (m ³)
Saf Polipropilen	1	1.0571x10 ⁻³
Grafen	0.0001	4.4131x10 ⁻⁸
Grafit	0.001	4.4131x10 ⁻⁷
Grafit	0.01	4.4131x10 ⁻⁶
MWCNT	0.001	4.7619x10 ⁻⁷

Tablo 4. Hesaplamalarda kullanılan hacimsel oranlar

Kompozit	Toplam hacim (m ³)	ϵ	V_d
Saf Polipropilen (PP) (1kg)	1.0571x10 ⁻³	-	-
PP+0.1 gr Grafen (%0.01 grafen katkı PP)	1.057144131x10 ⁻³	0.999958	0.000042
PP+1 gr Grafit (%0.1 grafit katkı PP)	1.05754131x10 ⁻³	0.999583	0.000417
PP+10 gr Grafit (%1 grafit katkı PP)	1.0615131x10 ⁻³	0.995843	0.004157
PP+1 gr MWCNT (%0.1 MWCNT katkı PP)	1.05757619x10 ⁻³	0.99955	0.00045

Efektif ısı iletim katsayısı modelleri Tablo 2 ve Tablo 4'deki veriler kullanılarak çözümlenmiştir. Polipropilen kompozitler için aşağıdaki efektif ısı iletim katsayıları bulunmuştur.

Tablo 5. %0.01 grafen katkılı polipropilenin efektif ısı iletim katsayıları

Efektif ısı iletim modeli		Efektif ısı iletim katsayısı (k_e)(W/mK)
Seri Model		0.106004452
Paralel Model		0.189995548
Geometrik Ortalama Modeli		0.10604384
Maxwell Modeli 1		0.1060133545
Maxwell-Eucken Modeli 2		0.4859599936
Levy Modeli		1999.748091
Efektif Ortam Teori (EMT) Modeli		0.5895483609
Krischer Yaklaşımı	F=0.24	0.1596385889
	F=0.25	0.158582842
	F=0.5	0.136083607
	F=0.75	0.11917538
Russel Modeli		0.1096513384
Cheng ve Vachon Teorik Modeli		0.1068116529
Hill Modeli		0.266418973
Jeffrey Modeli		0.1060133555
Bauer Modeli		$5.443822187 \times 10^{-4}$
Babanov Modeli		0.1096513384
Singh ve Ark. Modeli		0.1110656309
Sheldon ve Chawla Modeli		0.10604384

Tablo 6. %0.1 grafit katkılı polipropilenin efektif ısı iletim katsayıları

Efektif ısı iletim modeli		Efektif ısı iletim katsayısı (k_e)(W/mK)
Seri Model		0.1060442105
Paralel Model		0.301945798
Geometrik Ortalama Modeli		0.1063718169
Maxwell Modeli 1		0.1061325716
Maxwell-Eucken Modeli 2		0.7098673484
Levy Modeli		469.4130694
Efektif Ortam Teori (EMT) Modeli		0.5888855228
Krischer Yaklaşımı	F=0.25	0.20655196
	F=0.43	0.1682745701
	F=0.5	0.156962685
	F=0.75	0.126574506
Russel Modeli		0.1142004902
Cheng ve Vachon Teorik Modeli		0.1085665459
Hill Modeli		0.4610681407

Jeffrey Modeli	0.1061327174
Bauer Modeli	$4.002229054 \times 10^{-3}$
Babanov Modeli	0.1142004902
Singh ve Ark. Modeli	0.1174627136
Sheldon ve Chawla Modeli	0.1063718169

Tablo 7. %1 grafit katkılı polipropilenin efektif ısı iletim katsayıları

Efektif ısı iletim modeli		Efektif ısı iletim katsayısı (k_e)(W/mK)
Seri Model		0.1064423812
Paralel Model		2.059349358
Geometrik Ortalama Modeli		0.1097654291
Maxwell Modeli 1		0.1073265427
Maxwell-Eucken Modeli 2		4.240409428
Levy Modeli		464.1707986
Efektif Ortam Teori (EMT) Modeli		0.5822744722
Krischer Yaklaşımı	F=0.25	0.368611787
	F=0.5	0.202422093
	F=0.64	0.1616173335
	F=0.75	0.139519377
Russel Modeli		0.1261003345
Cheng ve Vachon Teorik Modeli		0.1148830224
Hill Modeli		2.64819054
Jeffrey Modeli		0.1074185875
Bauer Modeli		0.125970222
Babanov Modeli		0.1261003345
Singh ve Ark. Modeli		0.1327781465
Sheldon ve Chawla Modeli		0.1097654291

Tablo 8. %0.1 MWCNT katkılı polipropilenin efektif ısı iletim katsayıları

Efektif ısı iletim modeli		Efektif ısı iletim katsayısı (k_e)(W/mK)
Seri Model		0.1060477198
Paralel Model		1.4559523
Geometrik Ortalama Modeli		0.1064900871
Maxwell Modeli 1		0.1061431492
Maxwell-Eucken Modeli 2		3.019049778
Levy Modeli		2995.952704
Efektif Ortam Teori (EMT) Modeli		0.5888046881

Krischer Yaklaşımı	F=0.25	0.348122015
	F=0.5	0.197695799
	F=0.61	0.1661131398
	F=0.75	0.13804534
Russel Modeli		0.1147400478
Cheng ve Vachon Teorik Modeli		0.1087959167
Hill Modeli		1.976571197
Jeffrey Modeli		0.1061431771
Bauer Modeli		0.02863782464
Babanov Modeli		0.1147400478
Singh ve Ark. Modeli		0.117229552
Sheldon ve Chawla Modeli		0.1064900871

Elde edilen sonuçları genel olarak değerlendirmek gerekirse; dört farklı karbon esaslı polipropilen nanokompozitin her biri için ayrı ayrı hesaplanan modellerden Seri Model, Geometrik Ortalama Modeli, Maxwell Modeli 1, Jeffrey Modeli ve Sheldon ve Chawla Modeli'nin dolgu malzemesi olan polipropilene ve birbirlerine çok yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.

Hesaplanan tüm kompozitler için, Russel Modeli ve Babanov Modelinin aynı kompozitte birbirleri ile aynı değeri verdiği görülmüştür. % 0.01 grafen katkılı polipropilen kompozitte Russel Modeli ve Babanov Modeli de dolgu malzemesi olan polipropilenin ısı iletim katsayısına yakın değerler verirken, diğer kompozitlerde bu değerden uzaklaşma görülmüştür. Paralel model ise tüm kompozitlerde birbirinden farklı sonuçlar vermiştir.

Deneme amacıyla seçilen Maxwell-eucken modeli 2, Levy modeli, Efektif ortam modeli, Hill modeli ve Bauer modeli ise hem aynı kompozitte diğer modellere göre oldukça farklı sonuçlar vermiştir hem de farklı kompozitlerde aynı modeller için farklı değerler vermiştir. Hesaplanan efektif ısı iletim modellerinin (Bauer Modeli hariç) hepsinde de ısı iletim katsayısı değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

4. SONUÇ

Çalışmanın sonucu olarak dört farklı karbon esaslı polipropilen nanokompozit malzemenin her biri için ayrı ayrı hesaplanan modellerden Seri Model, Geometrik Ortalama Modeli, Maxwell Modeli 1, Jeffrey Modeli ve Sheldon ve Chawla Modeli'nin dolgu malzemesi olan polipropilene ve birbirlerine çok yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni dolgu malzemesi olan polipropilen miktarının, katkı malzemelerine göre yüksek olmasıdır. Hesaplamalarda kullanılan dolgu malzemesi (polipropilen) hacimsel oranının yüksek olması nedeniyle, kompozitlerin efektif ısı iletim katsayısı değeri dolgu malzemesinin ısı iletim katsayısı değerine yakın çıkmaktadır. Deneme amacıyla seçilen Maxwell-eucken modeli 2, Levy modeli, Efektif ortam modeli, Hill modeli ve Bauer modeli ise hem aynı numunede diğer modellere göre oldukça farklı sonuçlar vermiştir hem de farklı numunelerde aynı modeller için farklı değerler vermiştir. Bu çalışmayla; literatürde yaygın olarak kullanılan efektif ısı iletim katsayısı modelleri polipropilen nanokompozit malzemeler için incelenmiş, aralarındaki benzerlikler ve farklılıklar ortaya konulmuştur.

5. KAYNAKLAR

- [1] Giryay, Ç., 2018. Kompozit Malzeme Nedir? Kullanım Alanları ve Avantajları Nelerdir?. Erişim Tarihi: 28.02.2018. <https://www.tech-worm.com/kompozit-malzeme-nedir-kullanim-alanlari-avantajlari-nelerdir/>.
- [2] Kaya Ö., 2019. Farklı Karbon Esaslı Polipropilen Nanokompozitlerin Titreşimsel Sönümlenme Davranışları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67, Isparta.
- [3] Kumlutaş, D., 1999. Heat Conduction in Isotropic Heterogeneous Media. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2-3), 1025-1032.
- [4] Nağacı, O.Ö., 2005. Kompozit Malzemelerin Termal Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitirme Tezi, 23, İzmir.
- [5] Yüksel, N. ve Avcı, A., 2010. Gözenekli Malzemelerin Etken Isıl İletkenlikleri Üzerine Mevcut Çalışmalar. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(2), 331-346.
- [6] Karaağaç, İ., Durmuş, G., Uluer, O., Aktaş, M., Tülü, F. A., 2016. Kompozit Isı Yalıtım Levhalarında Isı İletim Katsayısı Tespit Yaklaşımları. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 3(1), 133-142.
- [7] Pehlivanlı, Z.O., 2016. H_3 BO_3/PP Kompozitlerinin Isı İletim Katsayılarının incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part: C, Tasarım ve Teknoloji, 4(3): 91-96.
- [8] Balandin, A.A., 2011. Thermal Properties of Graphene and Nanostructured Carbon Materials. Nature Materials vol:10 569-581.
- [9] Bart, G.C.J., 1994. Thermal Conduction in Non Homogeneous and Phase Change Media. Doctoral Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- [10] Maxwell, J.C., 1954. A Treatise on Electricity and Magnetism, third ed, Dover Publications Inc., New York, A.B.D.
- [11] Carson, J.K., Lovatt, S.J., Tanner, D.J. ve Cleland, A.C., 2006. Predicting the Effective Thermal Conductivity of Unfrozen, Porous Foods. Journal of Food Engineering, 75, 297-307.
- [12] Carson, J.K., Lovatt, S.J., Tanner, D.J., Cleland, A.C., 2005. Thermal Conductivity Bounds for Isotropic Porous Materials. International Journal of Heat and Mass Transfer, 48, 2150-2158.
- [13] Tavman, I.H., 1998. Effective Thermal Conductivity of Isotropic Polymer Composites. Int. Comm. Heat Mass Transfer, 25, 723-732.
- [14] Cheng, S.C., Vachon, R.I., 1970. A Technique for Predicting the Thermal Conductivity of Suspensions, Emulsions, and Porous Materials. Int. J. Heat and Mass Transfer, 13, 537.

- [15] Hill, J.E., Leitman, J.D., Sunderland, J.E., 1967. Thermal Conductivity of Various Meats. Food Technology, 21, 1143-1148.
- [16] Jeffrey, D.J., 1973. Conduction Through a Random Suspension of Spheres. Proc. R. Soc. Lond. A, 335, 355-367.
- [17] Gonzo, E.E., 2002. Estimating Correlations for the Effective Thermal Conductivity of Granular Materials. Short Communication, Chemical Engineering Journal, 90, 299-302.
- [18] Belova, I.V., Murch, G.E., 2004. Monte Carlo Simulation of the Effective Thermal Conductivity in Two-Phase Material. Journal of Materials Processing Technology, 153-154, 741-745.
- [19] Gemici, R., 1996. Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerde Aşınma ve Isı İletimlerinin İyileştirilmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 102, Bursa.