

Polymerization
Quarterly, 2021
Volume 11, Number 1
Pages 41-51
ISSN: 2252-0449

Application of Bioceramics in Heating Textiles with Far Infrared Waves: A Review

Mahdi Nakhaei Khoniki, Mohamad Reza Mohaddes Mojtahedi,
Mohamad Ali Tavanaie*, and Amin Ebrahimzade
Textile Engineering Department, Amirkabir University of Technology,
P.O. Box 15875-4413, Tehran, Iran

Received: 25 February 2020, Accepted: 13 September 2020

Abstract

All living organs are exposed to sunlight electromagnetic rays. Infrared rays (thermal energy) are part of energy in the electromagnetic spectrum. The infrared spectrum is divided into three main categories according to its wavelength; near, middle and far infrared. The use of far infrared waves in medical textiles to regulate human body temperature has a variety of applications. For example, textile composites made with suitable materials can meet this demand. In this review, first fundamental theories of the infrared spectrum and its application in the industry are discussed, then the biological effect and how it affects living cells are reviewed. Bioceramics are one of the effective materials in the preparation of heating medical textiles in medical applications. The results of researchers' works in the field of thermal properties of bioceramic treated textiles activated with infrared rays are compared and presented. The results show that the thermal properties of textiles should be measured in the wavelength range of 5 μm to 20 μm of the far infrared waves. Furthermore, studies have also shown that zirconium-based bioceramic nanoparticles show higher radiative power and heat transfer than other bioceramics. Also, despite the type of bioceramic used, the particle size, cross section of the fibers, additives and dispersion factor are very important parameters.

Key Words

electromagnetic waves,
far infrared,
bioceramic,
thermal efficiency,
heating textiles

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: tavanaie@aut.ac.ir

بسیار

فصلنامه علمی

سال یازدهم، شماره ۱،

صفحه ۵۱-۴۱، ۱۳۹۹

ISSN: 2252-0449

مروری بر کاربرد زیست‌سرامیک‌ها در منسوجات گرمابخش با امواج زیرقرمز دور

مهدی نخعی خونیک، محمدرضا محدث مجتهدی، محمدعلی توانایی*، امین ابراهیم‌زاده

تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۶، پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۳

تمام اندام‌های زنده در برابر امواج الکترومغناطیس قرار دارند که از سوی خورشید به زمین می‌رسند. تابش زیرقرمز بخشی از انرژی (انرژی گرمایی) در طیف الکترومغناطیس هستند که با توجه به طول موج آن‌ها به سه دسته اصلی زیرقرمز نزدیک، زیرقرمز میانه و زیرقرمز دور تقسیم می‌شوند. استفاده از امواج زیرقرمز دور در منسوجات پزشکی به منظور تنظیم دمای بدن انسان کاربردهای متنوعی دارد. به طور مثال، کامپوزیت‌های نساجی با به کارگیری مواد مناسب می‌توانند این ویژگی را ایجاد کنند. در این مطالعه، ابتدا به تعریف امواج زیرقرمز و کاربردهای آن‌ها در صنایع پرداخته شده، سپس اثر زیستی و نحوه تأثیر این امواج بر سلول‌های زنده مرور شده است. زیست‌سرامیک‌ها از مواد مؤثر در تهیه منسوجات گرمابخش در کاربردهای پزشکی هستند. از این رو، نتایج کار پژوهشگران برای ایجاد خواص گرمایی تابش زیرقرمز دور با استفاده از زیست‌سرامیک‌ها، در این مقاله مقایسه و ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد، برای بررسی خواص امواج زیرقرمز دور اندازه‌گیری‌های گرمایی باید در بازه طول موج 5μ تا 20μ انجام شود. همچنین مطالعات نشان داد، نانوذرات زیست‌سرامیک برپایه زیرکونیم، توان تابشی و انتشار گرمایی بیشتری نسبت به سایر زیست‌سرامیک‌ها دارند. صرف‌نظر از نوع زیست‌سرامیک استفاده‌شده، اندازه ذرات، شکل سطح مقطع الیاف حاوی زیست‌سرامیک‌ها، افزودنی‌ها و نحوه توزیع ذرات می‌تواند بر عملکرد تابش امواج زیرقرمز دور، مؤثر باشد.

چکیده



مهدی نخعی خونیک



محمدرضا محدث مجتهدی



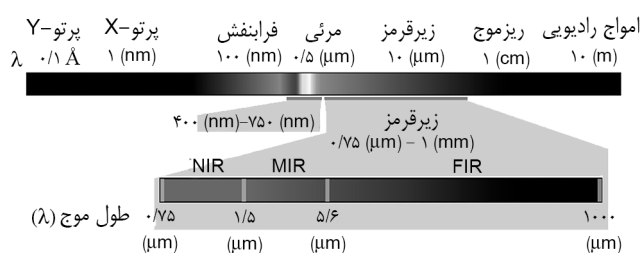
محمدعلی توانایی



امین ابراهیم‌زاده

واژگان کلیدی

امواج الکترومغناطیس،
زیرقرمز دور،
زیست‌سرامیک،
بازده گرمایی،
منسوجات گرمابخش



شکل ۱- طیف امواج الکترومغناطیسی [۴].

می‌توانند برای ایجاد گرما با FIR و استفاده از مزایای سلامتی آن برای درمان یا تسکین برخی بیماری‌ها استفاده شوند [۴]. شیوه گرمابخشی منسوجات با جذب و بازتابش امواج زیرقرمز موضوعی است که در این بخش برای درک بهتر مطالب بعدی باید تشریح شود. عملکرد امواج FIR در منسوجات گرمابخش براساس دو ویژگی کلیدی، الف) جذب امواج FIR از بافت‌های بدن انسان و ب) بازتابش مجدد آن از سطح پارچه به بدن، است [۳]. بنابراین، منسوجاتی که از این ویژگی برخوردارند، گرمای بدن انتقالی به محیط را جذب و به شکل FIR دوباره به بدن بازمی‌گردانند. این منسوجات می‌توانند خاصیت محافظت از سرما و کاربرد پزشکی مناسب نیز داشته باشند.

پیشرفت فناوری، روش‌های جدیدتری برای دستیابی بدن انسان به امواج زیرقرمز دور ارائه کرده است. به عنوان نمونه می‌توان به ساخت و عرضه لامپ‌های ویژه‌ای اشاره کرد که با حذف امواج زیرقرمز نزدیک و میانه، فقط امواج FIR را می‌تابانند و می‌توانند منبع بی‌خطری برای درمان بیماری‌ها باشند.

اثر زیستی FIR در سطح سلولی، با سازوکار زیست‌فیزیکی بین امواج الکترومغناطیس و سلول‌های زنده می‌تواند به صورت

جدول ۱- دسته‌بندی کمیته بین‌المللی روشنایی CIE و ISO 204/3 برای امواج زیرقرمز [۴].

نام و مخفف	طول موج (μm)	استاندارد
زیرقرمز نزدیک (NIR)	۰/۷۸ - ۳	ISO
زیرقرمز متوسط (MIR)	۳ - ۵۰	
زیرقرمز دور (FIR)	۵۰ - ۱۰۰۰	
زیرقرمز نزدیک (IR-A)	۰/۷ - ۱/۴	CIE
زیرقرمز متوسط (IR-B)	۱/۴ - ۳	
زیرقرمز دور (IR-C)	۳ - ۱۰۰	

مقدمه

اخیراً به ارتباط میان منسوجات و خواص تابش زیرقرمز دور (far infrared radiation, FIR)، به دلیل کاربردهای مختلف، از گرم کردن بدن گرفته تا فرایند خشک کردن صنعتی، توجه زیادی شده است [۱]. محافظت از بدن در برابر سرما، اولین هدف لباس است. گرچه چالش‌های بسیاری در زمینه منسوجات هوشمند و تجاری‌سازی فناوری‌های جدید وجود دارد، ولی همچنان نیاز به فناوری‌های پیشرفته در زمینه گرم کردن یا نگهداری گرما، احساس می‌شود. تولیدکنندگان و پژوهشگران در زمینه بهبود ظرفیت گرمایی پارچه و لباس پژوهش‌هایی انجام داده‌اند تا عملکرد آن‌ها را در فصل‌های سرد سال بهبود بخشند [۲].

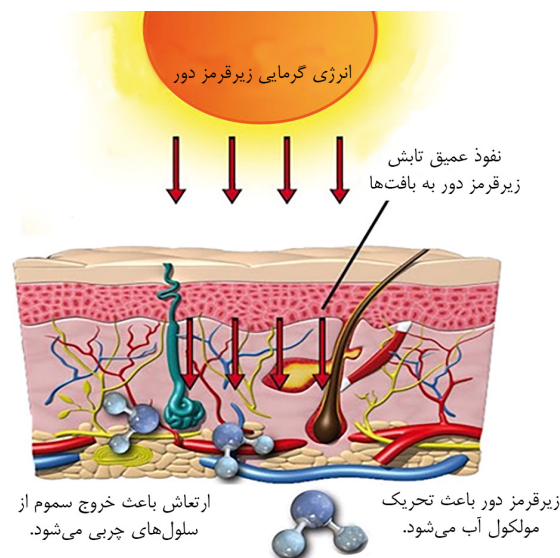
امروزه تأکید شرکت‌های نساجی بر افزایش کارایی منسوجات با خاصیت گرمابخشی امواج زیرقرمز دور است. تولیدکنندگان منسوجات فنی، عموماً در شرایط مالی خوبی قرار دارند و می‌توانند به راحتی سرمایه‌های درخور توجهی را برای توسعه محصولات با خاصیت گرمابخشی امواج زیرقرمز دور به کار گیرند. اختراعات پیوسته سبب شده است، این طیف از منسوجات در سراسر دنیا گسترش یابند و ضمن هدایت شرکت‌ها به سمت محصولات متنوعی از منسوجات گرمابخش با FIR، پذیرش آن‌ها را نیز میان مشتریان افزایش دهد.

امواج زیرقرمز دور (FIR)

تابش امواج الکترومغناطیس در تمام بسامدها به گرم شدن مواد جاذب آن‌ها منجر می‌شود. نیمی از گرمایش زمین با تابش IR نور خورشید و نیمی دیگر با جذب نور مرئی و سپس بازتابش دوباره آن در طول موج‌های بلندتر انجام می‌شود [۳]. در تابش طیف امواج زیرقرمز، فقط امواج زیرقرمز دور است که انرژی را به طور خالص به شکل گرما انتقال می‌دهد. این گرما می‌تواند با گرماسنج‌ها احساس و توسط بدن انسان جذب شود [۴].

همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، دامنه امواج زیرقرمز از ۰/۷۵ μm تا ۱ mm است و میان امواج مرئی و ماکرو قرار دارد. در این دامنه، امواج FIR در طول موج‌های ۵/۶ μm تا ۱۰۰۰ μm در انتها قرار دارند. برای بررسی دقیق‌تر این محدوده، از دسته‌بندی‌های کمیته بین‌المللی روشنایی (CIE) و استاندارد ایزو ISO 204/3 برای امواج زیرقرمز استفاده شده که خلاصه نتایج برگرفته از آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

الیاف تولیدشده با نانوذرات سرامیک بازتابنده امواج FIR که به شکل پارچه بافته شده و در قالب لباس استفاده می‌شوند،



شکل ۲- اثر انرژی گرمایی زیرقرمز دور بر بدن [۶].

اپیدرمال بدن در تماس با امواج FIR نسبت به هنگامی که در تماس با طول موج‌های کوتاه‌تر قرار می‌گیرد، بیشتر افزایش پیدا می‌کند. اصل اساسی رویکردهای درمانی امواج FIR این است که می‌توان از آن‌ها برای افزایش دمای موضعی بافت استفاده کرد. بدین ترتیب که امواج FIR با افزایش دمای موضعی، موجب انقباض رگ‌های خونی و در نتیجه افزایش جریان خون می‌شوند. این افزایش جریان خون، باعث ازدیاد انتقال اکسیژن و مواد مغذی و از بین بردن کربن دی‌اکسید و سایر مواد زائد می‌شود [۳]. افزایش موضعی دما با روش‌های متداول در هر نقطه از بدن، به دلیل افزایش جریان خون، دمای مدنظر را فراهم نمی‌کند. گرچه امروز، افزایش دمای موضعی در درمان بافت‌های سرطانی (هایپرترمیای موضعی) به کار می‌رود. اما در سال‌های اخیر، با استفاده از روش‌های فناورانه خاص، مانند استفاده از امواج FIR، نانوذرات مغناطیسی و سایر، این چالش به طور کلی برطرف شده است.

دو نوع اثر امواج FIR وجود دارد. نوع اول که با استفاده از جریان برق، تابش و توان، برای گرم کردن بافت انرژی ایجاد می‌کند. در حالی که نوع دوم، منبعی برای گرم شدن ندارد و انرژی لازم را از بدن انسان می‌گیرد. نوع اخیر، تابش‌های ضعیفی دارد و توان کافی را برای گرم کردن بدن ندارد [۸]. نوع اول به طور معمول در پزشکی کاربرد داشته، ولی نوع دوم قابلیت استفاده در صنعت منسوجات گرمابخش را نیز دارد. کاربرد امواج FIR در پزشکی متنوع است که برخی از آن‌ها عبارتند از:

الف- پتوهایی با خواص انتشار امواج FIR برای بهبود عملکرد بدن هنگام خواب [۴]،

ب- استفاده از دیسک‌هایی با خواص انتشار امواج FIR روی سینه بانوان، برای افزایش میزان شیردهی در دوران بارداری [۴]،

پ- دستکش از پارچه‌هایی با خواص انتشار امواج FIR برای درمان آرتروز دست [۹]،

ت- کمربندهای تولیدشده از پارچه‌هایی با خواص انتشار امواج FIR برای کاهش وزن [۱۰]،

ث- کاهش دردهای بدن، مانند دردهای موضعی دوران قاعدگی [۱۱] و موضعی پا [۱۲]. Liao و همکاران [۱۱] از کمربندی با خاصیت امواج FIR برای بهبود ناراحتی ناشی از دردهای قاعدگی شدید در بانوان استفاده کرده و متغیرهای مختلفی همچون دمای بدن، تغییرات ضربان قلب، جریان خون در ناحیه شکم و مقدار درد را بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند، استفاده از کمربند FIR، موجب افزایش دمای سطحی بدن به طور ناحیه‌ای و همچنین جریان خون شکم شده که سبب کاهش درد و ناراحتی می‌شود.

پتانسیل‌های غشای سلولی و میتوکندری بیان شود. انرژی FIR به وسیله سطوح لرزشی در پیوندهای مولکولی جذب می‌شود. این جذب شدن باعث افزایش میانگین انرژی تحرک مولکولی در بدن و همچنین دما می‌شود که ممکن است به آسانی مشهود باشد (مانند عملکرد امواج ماکرو). با در نظر گرفتن اینکه بیشتر فضای غشاهای سلولی را آب فرا گرفته و آب از دو خاصیت دی‌الکتریکی و ممان‌های دوقطبی برخوردار است، از این رو اثر زیستی امواج FIR بر سلول‌های بدن و افزایش دما توجیه می‌شود.

شایان ذکر است، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مولکول‌های آب در بسامدهای کمتر می‌توانند در یک میدان الکتریکی با صرف انرژی خیلی کم، گردش کنند [۵]. در سامانه‌های زنده، افزون بر مولکول‌های آب که بر میدان مغناطیسی مؤثر هستند، باید اثر میان‌ساختار (meso structure) را در نظر گرفت که در آن پروتئین‌ها و گروه‌های باردار برای کنترل فعالیت‌های زیستی مهم هستند. در نتیجه، خواص دی‌الکتریک بافت‌های زیستی به مقدار آب بستگی دارند و مطابق آن تغییر می‌کنند. همچنین، میزان استراحت میان‌ساختارها می‌تواند متناسب با بسامد تغییر کند. بدین علت، مقدار آب، عاملی اساسی و تعیین‌کننده در ارتباط میان FIR و سلول‌های زنده است [۷].

کاربردهای پزشکی امواج FIR

امواج FIR خیلی بلندتر از آن هستند که با چشم دیده شوند. هرچند، بدن انسان می‌تواند اثر این طول موج را حس کند که به شکل امواج گرمایی تا عمق چند سانتی‌متر در پوست نفوذ می‌کنند. دمای

- شیشه،

- سرامیک تولیدشده از سنتز شیمیایی یا پیوندزنی و
- سرامیک های طبیعی [۱۶].

هر یک از مواد سرامیکی این دسته بندی در شرایطی که زیست سازگار باشند، نوعی زیست سرامیک به شمار می روند.

پودرهای زیست سرامیک که برای افزایش اثر FIR می توانند در ساختار منسوجات گنجانده شوند، شامل منیزیم اکسید، زیرکونیم، آهن اکسید، سیلیکون کاربید و ترکیبات برپایه ژرمانیم هستند [۳].

به طور کلی، دو روش درمانی برای سرطان وجود دارد: هایپرترمی (درمان بافت بدن با دمای زیاد) و پرتودرمانی (استفاده از تابش، مانند پرتو ایکس). درمان هایپرترمی شامل کاشت ماده زیست سرامیک در بدن است. در این روش، منطقه مدنظر در معرض میدان مغناطیسی متناوب قرار می گیرد. این کار، باعث گرم شدن محل کاشت و اطراف آن می شود. پرتودرمانی از مهم ترین شاخه های فیزیک پزشکی است. پرتودرمانی با استفاده از پرتوهای نافذ مانند پرتوهای ایکس، آلفا، بتا و گاما برای درمان سرطان استفاده می شود. همچنین، با استفاده از پرتوهای یون ساز نیز می توان بافت های سرطانی را از بین برد یا کوچک کرد [۱۷]. در این میان، استفاده از زیست سرامیک ها به عنوان نوعی روش هایپرترمی برای درمان سرطان، پیشنهاد شده است.

همان طور که پیش تر نیز اشاره شد، سازوکارهای تولید گرما با ذرات سرامیکی، مشابه یکدیگرند. به طور مثال، سازوکار سرامیک های برپایه سیلیکون این گونه است، زمانی که پودر سیلیکات موجود در الیاف انرژی دریافت می کند، این انرژی موجب برانگیختگی الکترون ها می شود. الکترون ها از اوربیتال K به اوربیتال I می روند و پس از پایدارشدن، از اوربیتال I به اوربیتال K منتقل می شوند. در این بازه، انرژی گرمایی زیرقرمز دور را به شکل امواج الکترومغناطیسی بازتاب می کنند که نمایی از آن در شکل ۳ نشان داده شده است. اصولاً این امواج الکترومغناطیسی توسط بدن انسان جذب شده و موجب گرم شدن آن می شود [۱۸]. اوربیتال K و I نام گذاری قراردادی برای اوربیتال های فرضی است. اوربیتال K سطح انرژی کمتری نسبت به اوربیتال I دارد، در نتیجه حالت پایدار الکترون در اوربیتال K است.

مهم ترین ارزیابی در منسوجات گرمابخش حاوی مواد زیست سرامیک، روش های آزمون بازده گرمایی آن هاست. بنابراین، پیش از طرح موضوع منسوجات دارای مواد زیست سرامیک، ابتدا به طور خلاصه به برخی استانداردها و روش های این ارزیابی پرداخته شده است.

همچنین، در مطالعه دیگری از الیاف با نام تجاری Celliant استفاده شده که ترکیبی از الیاف پلی اتیلن ترفتالات با نانوذرات سرامیکی بازتابنده تابش زیرقرمز دور است. در پژوهش York و همکاران [۱۲] که به شکل کاملاً آماری انجام شد، جوراب هایی از الیاف سلنیات تولید و روی بیماران با پادرد شدید ناشی از دیابت یا سایر بیماری ها آزمایش شد. ملاحظه شد، جوراب های ساخته شده از الیاف سلنیات اثر چشمگیری بر درد مزمن پا دارند. این دو پژوهش مؤید افزایش گردش خون در اثر تابش امواج FIR برای درمان درد است. زیرا، با افزایش گردش خون در ناحیه شکمی سامانه عصبی آرام می شود. همچنین، به دلیل کاهش انتقال اکسیژن در افراد مبتلا به دیابت، افزایش گردش خون حاصل از این منسوجات باعث کاهش درد می شود.

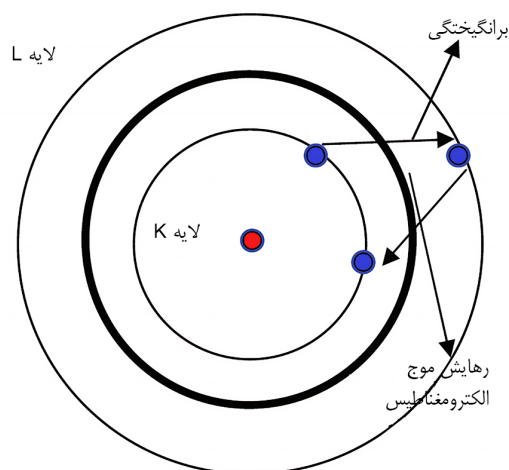
ج- درمان زخم و سرطان [۷]، Tatsumura نشان داد، درمان سرطان بانوی ۶۹ ساله ای، که در بیمارستان ها سرطان وی درمان ناپذیر تشخیص داده شده بود، با تابش امواج FIR امکان پذیر است. او ۶ روز در هفته تحت درمان قرار می گرفت. از این رو، بخش عمده ای از توده سرطانی که حدود ۱۵ cm (۶ in) قطر داشت، طی ۲ هفته از بین رفت.

زیست سرامیک ها

زیست سرامیک ها، نوعی سرامیک زیست سازگار هستند که می توانند امواج FIR را بتابانند [۱۳]. بدین دلیل می توان از زیست سرامیک ها در مجاورت پوست یا حتی درون بدن (در درمان سرطان) استفاده کرد. برخی از رایج ترین زیست سرامیک ها عبارت از کلسیم فسفات، هیدروکسی آپاتیت ($(Ca_3(PO_4)_3(OH))$ ، زیرکونیم، تیتانیم و آلومینیم هستند. مواد موجود در این طبقه اغلب از نظر ساختاری سخت تر هستند، اما بسته به نوع استفاده می توانند ساختار فشرده یا متخلخل داشته باشند. لازم به ذکر است، زیست سرامیک ها موادی هستند که رفتار زیست مواد بدن را تقلید می کنند [۱۴]. هر ماده که در یک اندامگان (organism) انسانی وارد می شود، باید از ویژگی خاصی پیروی کند تا اطمینان حاصل شود که هیچ گونه تعامل منفی با بافت زنده به وجود نمی آورد. زیست مواد ترکیبات معدنی هستند که برای جایگزینی عملکردی از بدن انسان به روش ایمن، قابل اعتماد، اقتصادی از نظر فیزیولوژیکی و زیبایی شناختی طراحی شده اند [۱۵].

موادی که در خانواده سرامیک ها قرار می گیرند به ۴ گروه دسته بندی می شوند:

- سرامیک چندبلوری ساخته شده با عملیات پخت،



شکل ۳ - طرحواره‌ای از سازوکار فرایند تابش زیرقرمز دور [۱۸].

روش‌های آزمون بازده گرمایی منسوجات

بازده گرمایی منسوجات با روش‌های مختلف ارزیابی می‌شود. استانداردهای مختلف مناسب برای ارزیابی خواص گرمایی امواج FIR عبارتند از:

- ۱- عایق‌سازی گرمایی (قابلیت حفظ گرما): این خاصیت پارچه یا لباس با روش‌های زیر آزمون می‌شود [۱۹]:
 - الف- انتقال گرما در مواد نساجی (ASTM D1518)
 - ب- اندازه‌گیری عایق‌سازی گرمایی البسه با استفاده از مانکن گرمایی (ASTM F1291)
 - پ- مقاومت گرمایی و رطوبتی البسه با استفاده از صفحه داغ (ASTM F1868-02)

۲- تولید گرما با استفاده از رطوبت: در این آزمون، قابلیت منسوج در تولید گرما با جذب رطوبت (گرمای جذب) اندازه‌گیری می‌شود. این آزمون براساس اندازه‌گیری دمای منسوج روی یک صفحه است، هنگامی که رطوبت نسبی در یک محفظه با دمای ثابت 20°C از ۱۰٪ تا ۹۰٪ تغییر می‌کند [۲۰].

۳- تولید گرمای خشک: از آنجا که هیچ استاندارد برای اندازه‌گیری گرمای خشک ایجادشده به وسیله منسوجات وجود ندارد، بسیاری از پژوهشگران با استفاده از یک منبع گرمایی که در فاصله مشخصی از پارچه قرار گرفته است، آن را اندازه‌گیری و به طور هم‌زمان دمای نقاط مختلف پارچه را با حسگرهای گرمایی بررسی می‌کنند. به منظور ثبات اندازه‌گیری، آزمایش باید در محیط کنترل‌شده‌ای انجام شود. این آزمون اغلب هنگامی که منبع گرمایی خاموش است، تا زمان خنک‌شدن نمونه ادامه می‌یابد. این روش برای ارزیابی کارایی گرمابخشی امواج FIR در منسوجات استفاده می‌شود [۲۱].

با توجه به روش‌های اشاره‌شده، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که ارزیابی بازده گرمایی منسوجات را می‌توان در سه حالت قابلیت حفظ گرما، ایجاد گرما در اثر جذب رطوبت و ایجاد گرمای خشک انجام داد. به طور طبیعی، هر یک یا ترکیبی از حالت‌های مختلف ارزیابی می‌تواند با توجه به کاربری مدنظر منسوج انتخاب و استفاده شود.

منسوجات حاوی زیست‌سرامیک

مدت طولانی است که سرامیک‌های بازتابنده امواج FIR شناخته شده‌اند. تمام سرامیک‌ها بسته به دمای آن‌ها، دارای خاصیت انتشار IR هستند. باید توجه داشت، ترکیب شیمیایی مواد سرامیکی، ارتباط میان دما و میزان امواج زیرقرمز منتشرشده را مشخص می‌کند [۹]. کارایی امواج FIR بازتابنده، به اندازه ذرات نیز بستگی دارد. به طور مثال، زمانی که ماده معدنی بورسیلیکات یا تورمالین به شکل پودر درمی‌آید، امواج FIR منتشر می‌کند. در حالی که اندازه بزرگ‌تر این ماده از این ویژگی برخوردار نیست [۱۰]. ذرات ریز مواد سرامیکی که امواج FIR را منتشر می‌کنند، می‌توانند در ساختار الیاف قرار گیرند و سپس به نخ و در آخر به پارچه تبدیل شوند. این پارچه‌ها می‌توانند به صورت البسه با طراحی‌های مختلف دوخته شده و برای کاربردهای متفاوت اندام‌های مختلف بدن استفاده شوند.

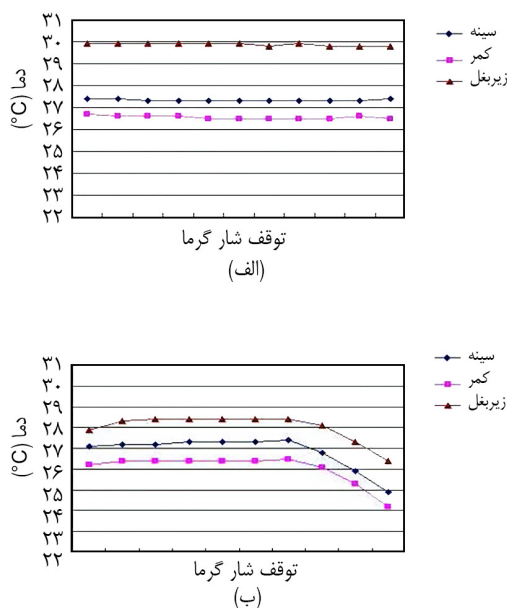
گرمای تولیدشده از تحرک مولکولی به سه صورت، تابش، همرفت و تماس از بدن منتقل می‌شود. در نتیجه واضح است، منبع اصلی انرژی لازم برای تقویت تابش امواج FIR منتشرشده از پارچه، بدن انسان است. چرا که دمای آن به طرز درخور توجهی از محیط سرد بیشتر است. بنابراین، انرژی از بدن انسان به این سرامیک‌ها منتقل می‌شود که به صورت جاذب خیلی خوب رفتار می‌کنند. در این حالت، دمای این سرامیک‌ها افزایش می‌یابد و امواج FIR را به بدن بازتاب می‌کنند. گرچه ممکن است، فرایند خشتی به نظر برسد، اما چنین نیست. زیرا، ذرات سرامیکی از هدررفت انرژی خروجی از لباس معمولی، جلوگیری می‌کنند [۱۹].

بررسی عوامل مؤثر بر میزان تابش FIR در منسوجات حاوی زیست‌سرامیک

در بررسی‌های انجام‌شده، عوامل مختلفی بر میزان تابش امواج FIR در منسوجات حاوی زیست‌سرامیک‌ها اثرگذارند که در پی بررسی می‌شوند.

نوع زیست‌سرامیک و اندازه ذرات آن

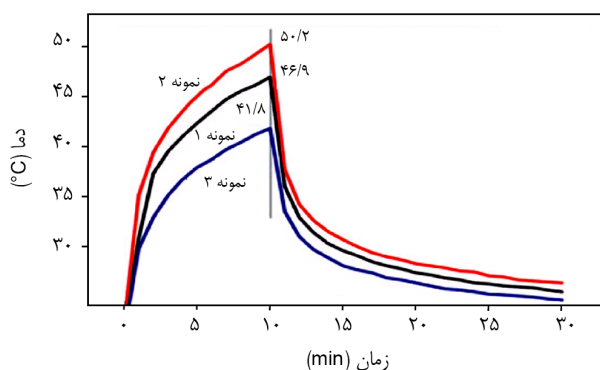
نوع مواد سرامیکی و همچنین اندازه ذرات آن بر میزان تابش



شکل ۴ - نتایج آزمون مانکن گرمایی [۲۲].

زیرکونیم (نمونه ۲) و آلومینیم اکسید (نمونه ۱) بدین نتیجه رسیدند که در هر دو آزمون، اندازه‌گیری انتشار و تولید گرمای خشک (توضیح بیشتر در بخش روش آزمون بازده گرمایی) نمونه ۲ بهتر از نمونه ۱ و هر دو بهتر از نمونه شاهد (نمونه ۳) بودند [۲۴]. در شکل ۵ نتایج مطالعات این پژوهشگران آورده شده است.

با توجه به نتایج این دو مطالعه می‌توان نتیجه گرفت، زیست‌سرامیک‌های برپایه زیرکونیم دارای توان تابشی بیشتر و عایق گرمایی بهتری نسبت به نمونه‌های دیگر هستند. همچنین، در نمونه نانوذرات سرامیکی (S-PET) که نتایجی نزدیک به پودر سرامیکی برپایه زیرکونیم (H-PET) داشت، می‌توان اثر اندازه مواد



شکل ۵- انتشار گرما در نمونه‌های دارای مواد زیست‌سرامیک مختلف، نمونه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ذرات سرامیکی برپایه زیرکونیم و آلومینیم و نمونه ۳، شاهد است [۲۴].

امواج FIR اثر دارد. Park و همکاران [۲۲] چند نوع ماده شامل صفحات آب‌دوست، آب‌گریز و آب‌دوست حاوی ذرات سرامیک (MU-4N) را به شکل فیلم نازک تهیه کردند. سپس، آن‌ها را در یک پارچه بافته شده از نخ پلی‌استر قرار دادند. در شکل ۴ نتایج آزمون بازده گرمایی این نمونه‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودارهای سمت چپ شکل دیده می‌شود، سرامیک‌های داخل صفحات، گرما را پس از توقف شار گرما حفظ می‌کنند و این ناشی از انتشار امواج FIR صفحات حاوی سرامیک پس از قطع شار گرماست. در حالی که پارچه پلی‌استر خالص از این ویژگی برخوردار نیست و تصاویر سمت راست شکل ۴ نیز به وضوح اختلاف در حفظ گرمای بدن را در این منسوج نشان می‌دهند.

Kim و همکاران [۲۳] به مطالعه اثر نوع ذره سرامیکی و همچنین ابعاد آن‌ها پرداختند. آن‌ها خواص تابش زیرقرمز دور پودر سرامیک برپایه زیرکونیم (H-PET)، تیتانیوم و آلومینیم (C-PET) و نانوذرات سرامیکی برپایه اکسید آهن (S-PET) را که در بخش میانی الیاف پلی‌استر در حین ذوب‌ریسی قرار گرفتند، با الیاف پلی‌استر معمولی (نمونه شاهد) مقایسه کردند. این پژوهشگران مشاهده کردند، میزان انتشار FIR نمونه‌های حاوی H-PET و S-PET از دو نمونه دیگر بیشتر است. با تحلیل نتایج می‌توان نتیجه گرفت، نمونه H-PET به دلیل نوع ماده و نمونه S-PET به دلیل ابعاد ماده دارای بیشترین تابش FIR بودند.

همچنین، Kim و همکاران با مقایسه ذرات سرامیکی برپایه

بر میزان انتشار را مشاهده کرد. نتیجه آنکه هرچه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد، می‌تواند خواص گرمایی بهتری را از تابش امواج FIR نشان دهد.

روش استفاده از ذره سرامیکی در منسوج

روش استفاده از ذرات سرامیکی در منسوجات حائز اهمیت است. بدین دلیل که بر نوع و میزان در دسترس بودن ذرات سرامیکی اثر دارد. ذرات سرامیکی در منسوجات به‌طور معمول در دو حالت (۱) استفاده در مرحله شکل‌دهی الیاف اولیه یا (۲) استفاده در مرحله نهایی تکمیل منسوج استفاده می‌شوند. استفاده در مرحله تکمیل منسوجات نیز به‌طور معمول به سه روش پد، پوشش‌دهی و چاپ انجام می‌شود.

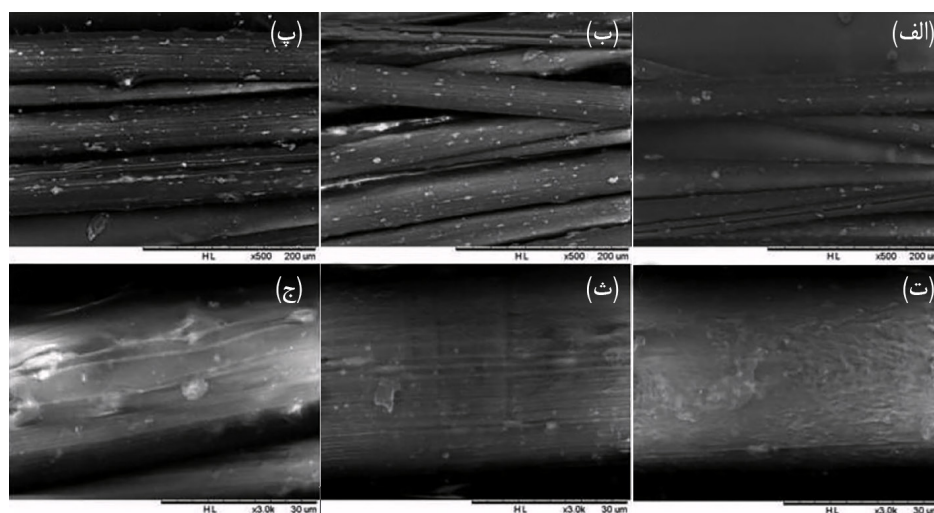
Kubiliene و همکاران [۲۵] عملکرد خواص تابشی و ثبات شست‌وشویی روش‌های مختلف افزودن ذرات زیست‌سرامیک را بر خواص گرمایی منسوجات بافته‌شده پلی‌استر دارای زیست‌سرامیک‌ها مقایسه کردند. هدف از این پژوهش، مقایسه خواص گرمایی روش‌های قراردادی ذرات سرامیک در منسوج بود. چهار روش تکمیل، چاپ، عبور از محلول حاوی این ذرات و سپس عبور از غلتک فشار و ترکیب در هنگام ذوب‌ریسی بررسی و مقایسه شدند. نتایج نشان داد، چاپ و تکمیل به ترتیب از دو روش دیگر، خواص تابش گرمایی بهتر، ولی ثبات‌های شست‌وشویی خیلی کمی نسبت به آن دو داشتند. در نتیجه، استفاده از روش افزودن ذرات حین ذوب‌ریسی، گرچه خواص تابش گرمایی کمتری دارد، ولی به دلیل ثبات شست‌وشویی عالی، مورد توجه است.

از مهم‌ترین چالش‌ها در قراردادن ذرات زیست‌سرامیک، حین فرایند شکل‌دهی الیاف، میزان پراکنش ذرات در بستر پلیمر است. میزان پراکنش که از تجمع ذرات سرامیکی در لیف یا منسوج جلوگیری می‌کند، از دو نظر حائز اهمیت است:

- ۱- کاهش نقاط تمرکز تنش برای جلوگیری از کاهش استحکام و
- ۲- جلوگیری از انبوهش باعث افزایش در دسترس بودن ذرات سرامیکی شده و در نتیجه افزایش تابش FIR می‌شود. البته باید در نظر داشت، در این باره کاهش انبوهش باید همراه با افزایش قرارگیری ذرات روی سطح باشد.

از روش‌های کاهش انبوهش استفاده از پراکنش‌یار (dispersant) مناسب است. هرچند مقدار این پراکنش‌یار باید با توجه به مقدار ذرات سرامیکی تغییر یابد، در غیر این صورت با افزایش ماده سرامیکی، انبوهش افزایش می‌یابد. به‌طور مثال، Kuo و همکاران [۱۸] از پراکنش‌یار به مقدار ۰/۱٪ وزنی استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد، با افزایش مقدار ذرات سرامیکی، مقدار انبوهش نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۶-الف تا پ، با افزایش مقدار ذرات سرامیکی از ۰/۵٪ تا ۱/۵٪، به‌وضوح افزایش انبوهش دیده می‌شود. تصاویر ۶-ت تا ج همان نمونه‌های قبلی با بزرگ‌نمایی دو برابر هستند.

Leung و همکاران [۲۶] نیز به‌منظور پراکنش بهتر نانوذرات در بستر پلیمر پلی‌آمید حین فرایند ذوب‌ریسی از برخی آنزیم‌های پراکنش‌یار استفاده کردند. Woong و همکاران [۲۷] نیز در پژوهشی در فرایند تولید الیاف پلی‌استر، سعی در کاهش انبوهش به‌وسیله پراکنش‌یار و افزایش تعداد مراحل اختلاط داشتند. آن‌ها گزارش کردند، با این فرایند اختلاط تدریجی، امکان توزیع مناسب



شکل ۶ - تصاویر SEM از کامپوزیت‌ها با افزایش مقدار ذرات سرامیکی: (الف) تا (پ) ۰/۵٪ تا ۱/۵٪ و (ت) تا (ث) همان نمونه‌ها با بزرگ‌نمایی دو برابر [۱۸].

پودر سرامیک در رشته پلی‌استر تأیید شده است.

اثر سطح مقطع لیف بر تابش امواج FIR

عملکرد تابش FIR نه تنها به مواد، بلکه به شکل سطح مقطع لیاف و نحوه قرارگیری آن‌ها در نخ نیز بستگی دارد. لیاف با سطح مقطع‌های متفاوت، طیف‌های نوری مختلف نشان می‌دهند. لیاف با سطح مقطع مثلی دارای احتمال بیشتری برای تولید مسیرهای نوری متفاوت است که سبب سرعت‌بخشیدن به تابش و جذب FIR می‌شود [۲۸].

اثر مواد افزودنی بر تابش امواج FIR

برای کمک به افزایش میزان تابش امواج FIR می‌توان از افزودنی‌های ویژه‌ای استفاده کرد. به‌طور مثال، Lin و همکاران [۲۹] به بررسی خواص تابش امواج FIR کامپوزیت پلی‌استر-فلز پرداختند. در این مطالعه، کامپوزیت یادشده یک پارچه بافته شده بود. نخ تار آن دارای مغزی فلزی بود که اطراف آن نخ پلی‌استر حاوی پودر سرامیک، تابیده شده بود. درباره نوع ذره سرامیکی استفاده‌شده اطلاعاتی گزارش نشده است. با ایجاد گرما پودر سرامیکی موجود در رشته پلی‌استر، امواج FIR را بازتاب می‌کند. نتایج نشان می‌دهد، نمونه‌های دو و سه‌لایه از فلز، دارای تابش

امواج FIR بیشتری نسبت به نمونه تک‌لایه است. درواقع میزان تابش زیرقرمز در واحد سطح، در نمونه دولایه به مقدار بیشینه می‌رسد و سه‌لایه کردن نمونه موجب افزایش این مقدار نمی‌شود. برای مقایسه بهتر و جمع‌بندی کلی از اثر مواد افزودنی حین فرایند بر توان تابش امواج FIR، در جدول ۲ به بیان نتایج اندازه‌گیری تابش این امواج در پژوهش‌های مختلف پرداخته شده است. شایان ذکر است، Kim در مطالعه دومش از ترکیب گرافیت-ذرات سرامیکی استفاده کرده و این دلیل اختلاف میزان تابش بین دو مطالعه این پژوهشگر است. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، استفاده از نانوذرات سرامیکی برپایه آهن اکسید بیشترین اثر را بر گرمابخشی منسوج داشته است و پس از آن نانوذرات سرامیک برپایه زیرکونیم، تیتانیم و آلومینیم گزارش شده‌اند. Shin و همکاران [۳۰] به بررسی عملکرد گرمایی بافت تهیه‌شده از نانولوله‌های کربنی (CNTs) و سرامیک معدنی روی اکسید (ZnO) پرداختند. نانولوله‌های کربنی و سرامیک مخلوط‌شده و با پلیمر به شکل یک مسترچ (MB) تهیه شد. پس از ذوب‌ریسی، از آن نخ تابیده شده و نخ کامپوزیتی CNT-سرامیک، تولید شد. با بررسی تصاویر SEM مشاهده شد، سطح نمونه کامپوزیتی با سطح نمونه شاهد اختلاف کمی دارند و این خود به دلیل استفاده از نانولوله‌های کربنی است. از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت،

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری تابش امواج FIR در مطالعات مختلف.

مرجع	محدوده بررسی طیف (μm)	ماده	ضریب نشر FIR*	توان تابش FIR (W.m ⁻²)
۲۲	۱۴-۶	نانو ذرات ترکیبی** نمونه شاهد	-	۳۴۲ ۳۳۰
۲۳	۵-۲۰	نانوذرات سرامیک برپایه زیرکونیم نانوذرات سرامیک برپایه اکسید آهن نانوذرات سرامیک برپایه تیتانیم و آلومینیم نمونه شاهد	۰/۹۰۶ ۰/۹۰۷ ۰/۸۹۸ ۰/۸۳۶	۳۶۵ ۳۶۵ ۳۶۲ ۳۵۸
۲۴	۵-۲۰	اکسید آلومینیم زیرکونیم نمونه شاهد	۰/۸۹۱ ۰/۸۹۴ ۰/۸۶۶	۳۶۰ ۳۶۱ ۳۵۷
۲۵	-	نمونه با دولایه محافظ فلزی	۰/۸۹	-

*ضریب نشر: نسبت تابش از یک سطح با تابش از جسم سیاه کامل در همان دما و **ترکیبی از نانوذرات CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و Na_2O .

الکترومغناطیس هستند. طبق مطالعات انجام‌شده، به‌طور کلی خواص امواج FIR در بازه $4\text{ }\mu\text{m}$ تا $20\text{ }\mu\text{m}$ بررسی می‌شوند. براساس مطالعات انجام‌شده، نانوذرات سرامیک برپایه زیرکونیم، تابش، توان تابشی و همچنین انتشار گرمایی بهتری دارند. دلیل آن به اندازه این ذرات در ابعاد نانو و همچنین استفاده از لایه‌های فلزی روی الیاف و نخ‌ها بازمی‌گردد که می‌تواند به بهبود تابش امواج FIR کمک کند. برخی عوامل مؤثر بر عملکرد تابش امواج FIR در منسوجات حاوی زیست‌سرامیک عبارت از نوع زیست‌سرامیک استفاده‌شده، اندازه ذرات آن، شکل سطح مقطع الیاف حاوی زیست‌سرامیک‌ها، افزودنی‌ها و نحوه توزیع ذرات هستند. استفاده از ذرات با اندازه کوچک‌تر و پراکنش یکنواخت‌تر و برخی افزودنی‌های مناسب می‌تواند سبب تشدید خواص انتشار امواج FIR شود. روش اعمال ذرات زیست‌سرامیک در منسوج نیز اثر چشمگیری بر خواص گرمایی حاصل از انتشار امواج FIR در منسوج گرمابخش دارد. گرچه روش‌های تکمیل سطحی منسوجات با ذرات زیست‌سرامیک، کارایی بیشتری نسبت به امواج FIR در مقایسه با روش پراکنش آن در هنگام شکل‌گیری الیاف دارد، ولی این خاصیت، در شست‌وشوهای خانگی در مدت زمان کوتاهی از دست می‌رود. در حالی که منسوج تهیه‌شده از نخ با الیافی که ذرات زیست‌سرامیک در آن‌ها در مرحله شکل‌گیری قرار می‌گیرند، این خاصیت را به مدت طولانی حفظ می‌کند. با وجود ویژگی‌های گرمابخشی زیست‌سرامیک‌ها در منسوجات، ورود این مواد به سیال پلیمر هنگام شکل‌دهی الیاف می‌تواند کاهش خواص کششی الیاف را به‌همراه داشته باشد.

مراجع

1. Luongo J.P., Far-infrared Spectra of Piezoelectric Polyvinylidene Fluoride, *J. Polym. Sci. A-2: Polym. Phys.*, **10**, 1119-1123, 1972.
2. Stygiene L., Varnaitė-Žuravliova S., Abraitienė A., Krauledas S., Baltušnikaitė-Guzaitienė J., and Padleckienė I., Investigation of Thermoregulation Properties of Various Ceramic-Containing Knitted Fabric Structures, *J. Ind. Text.*, **50**, 716-739, 2020.
3. Dyer J., Infrared Functional Textiles, In *Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health*, Pan N. and Sun G. (Eds.), Elsevier, 184-197, 2011.
4. Vatansever F. and Hamblin M.R., Far Infrared Radiation (FIR): Its Biological Effects and Medical Applications, *Photonics*

برخی مواد افزودنی می‌توانند توان تابشی امواج FIR را کاهش دهند و عامل منفی به حساب آیند، هرچند ویژگی‌های دیگری را به‌وجود آورده باشند.

اثر افزودن زیست‌سرامیک‌ها بر خواص مکانیکی منسوج

به‌طور کلی، هرگونه مواد افزودنی در فرایند ریسندگی الیاف موجب ایجاد تمرکز تنش در لیف و کاهش استحکام آن می‌شود. از این رو، افزودن ذرات سرامیکی نیز ممکن است به کاهش استحکام منجر شود. برای کم کردن این اثر منفی بر لیف باید نایک‌نواختی‌های ایجادشده با ذرات سرامیکی در لیف کاهش یابد. بنابراین، باید تا حد امکان از تجمع این ذرات در لیف جلوگیری شود. برای دست‌یابی به این هدف، می‌توان از نانوذرات سرامیکی یا از روش‌های پراکنش بیشتر ذرات سرامیکی برای جلوگیری از انبوهش بهره برد. در برخی از مطالعات انجام‌شده نیز اثر مواد سرامیکی بر خواص مکانیکی لیف نشان داده شده است [۲۳، ۲۶]. در هر دو پژوهش، نمونه‌های شاهد (بدون استفاده از ذرات سرامیکی) خواص کششی بهتری نسبت به نمونه‌های حاوی ذرات سرامیکی نشان داده‌اند. البته هرچه اندازه ذرات سرامیکی اضافه‌شده کوچک‌تر باشد، به دلیل پراکنش بهتر، کاهش خواص کششی کمتر است.

نتیجه‌گیری

امواج IR در بازه $3\text{ }\mu\text{m}$ تا $1000\text{ }\mu\text{m}$ از طول موج طیف امواج

Lasers Med., **1**, 255-266, 2012.

5. Sheppard A.R., Swicord M.L., and Balzano Q., Quantitative Evaluations of Mechanisms of Radiofrequency Interactions with Biological Molecules and Processes, *Health Phys.*, **95**, 365-396, 2008.
6. Tatsumura-Hillyer K., Effects of Far-infrared and Terahertz Onnetsu Therapy on Cancer, Rheumatoid Arthritis and Other Diseases, *J. Med. Oncol. Ther.*, **3**, 123, 2018.
7. Lee M., Baletto F., Kanhere D.G., and Scandolo S., Far-Infrared Absorption of Water Clusters by First-Principles Molecular Dynamics, *J. Chem. Phys.*, **128**, 214506, 2008.

8. Chung H., Dai T., Sharma S.K., Huang Y.Y., Carroll J.D., and Hamblin M.R., The Nuts and Bolts of Low-level Laser (Light) Therapy, *Ann. Biomed. Eng.*, **40**, 516-533, 2012.
9. Heald M.A., Where Is the "Wien Peak", *Am. J. Phys.*, **71**, 1322-1323, 2003.
10. Conrado L.A.L. and Munin E., Reduction in Body Measurements After Use of a Garment Made with Synthetic Fibers Embedded with Ceramic Nanoparticles, *J. Cosmet. Dermatol.*, **10**, 30-35, 2011.
11. Liao B.Y., Leung T.K., Ou M.C., Ho C.K., Yang A., and Lin Y.S., Inhibitory Effects of Far-Infrared Ray-Emitting Belts on Primary Dysmenorrhea, *Int. J. Photoenergy*, 2012. doi:10.1155/2012/238468
12. York R.M. and Gordon I.L., Effect of Optically Modified Polyethylene Terephthalate Fiber Socks on Chronic Foot Pain, *BMC Complement. Med. Ther.*, **9**, 1-7, 2009.
13. Shackelford J.F., Bioceramics (Applications of Ceramic and Glass Materials in Medicine), In *Materials Science Forum*, Trans Tech, Springer, 293, 1-109, 1999.
14. Hench L.L., Bioceramics: From Concept to Clinic, *J. Am. Ceram. Soc.*, **72**, 93-98, 1993.
15. Heimann R.B., Materials Science of Crystalline Bioceramics: A Review of Basic Properties and Applications, *CMU J.*, **1**, 23-46, 2002.
16. Richerson D.W. and Lee W.E., *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design*, CRC, Francis, 2005.
17. John L., Janeta M., and Szafert S., Designing of Macroporous Magnetic Bioscaffold Based on Functionalized Methacrylate Network Covered by Hydroxyapatites and Doped with Nano-MgFe₂O₄ for Potential Cancer Hyperthermia Therapy, *Mater. Sci. Eng.: C*, **78**, 901-911, 2017.
18. Kuo C.F.J., Fan C.C., Te-Li S., Chen S.H., and Lan W.L., Nano Composite Fiber Process Optimization for Polypropylene with Antibacterial and Far-Infrared Ray Emission Properties, *Text. Res. J.*, **86**, 1677-1687, 2016.
19. Ko G.D. and Berbrayer D., Effect of Ceramic-Impregnated "Thermoflow" Gloves on Patients with Raynaud's Syndrome: Randomized, Placebo-controlled Study, *Altern. Med. Rev. A: J. Clin. Ther.*, **7**, 328-335, 2002.
20. Test Method of Specified Requirements of Far Infrared Textiles, FTTSA-010.
21. Miao D., Fabrication of High Infrared Reflective Textiles by Magnetron Sputtering Technology, Ph.D. Thesis, The Hong Kong Polytechnic University, Institute of Textiles and Clothing, 2015.
22. Park C.H., Shim M.H., and Shim H.S., Far IR Emission and Thermal Properties of Ceramics Coated Fabrics by IR Thermography, *Key Eng. Mater.*, **321**, 849-852, 2006.
23. Kim H.A. and Kim S.J., Far-Infrared Emission Characteristics and Wear Comfort Property of ZrC-Imbedded Heat Storage Knitted Fabrics for Emotional Garments, *Autex Res. J.*, **17**, 142-151, 2017.
24. Kim H.A. and Kim S.J., Wear Comfort Properties of ZrC/Al₂O₃/Graphite-Embedded, Heat-Storage Woven Fabrics for Garments, *Text. Res. J.*, **89**, 1394-1407, 2019.
25. Kubiliene D., Sankauskaite A., Abraitienė A., Krauledas S., and Barauskas R., Investigation of Thermal Properties of Ceramic-Containing Knitted Textile Materials, *Fibres Text. East. Eur.*, **24**, 63-66, 2016.
26. Leung T.K., Lin J.M., Chien H.S., and Day T.C., Biological Effects of Melt Spinning Fabrics Composed of 1% Bioceramic Material, *Text. Res. J.*, **82**, 1121-1130, 2012.
27. Bahng G.W. and Lee J.D., Development of Heat-Generating Polyester Fiber Harnessing Catalytic Ceramic Powder Combined with Heat-Generating Super Microorganisms, *Text. Res. J.*, **84**, 1220-30, 2014.
28. Tao Y., Li T., Yang C., Wang N., Yan F., and Li L., The Influence of Fiber Cross-Section On Fabric Far-Infrared Properties, *Polymers (Basel)*, **10**, 1147, 2018.
29. Lin J.H., Lin T.A., Lin T.R., Jhang J.C., and Lou C.W., Processing Techniques and Properties of Metal/Polyester Composite Plain Material: Electromagnetic Shielding Effectiveness and Far-Infrared Emissivity, *J. Ind. Text.*, **49**, 365-382, 2019.
30. Shin Y. and Park Y., Preparation and Application of Polymer-Composited Yarn and Knit Containing CNT/Ceramic, *Cloth. Text. Res. J.*, **36**, 3-16, 2018.