

کاربرد فناوری نانو در صنایع ورزشی

سال انتشار: ۱۳۹۹

ویرایش نخست



شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
پست الکترونیک:	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
اینستاگرام نانو و صنعت:	IND@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴
تهیه کننده:	دکتر سیدفرزاد حسینی نسب		

فهرست مطالب

۳	کاربرد فناوری نانو در صنعت ساخت محصولات ورزشی
۳	جایگاه فناوری نانو در ورزش
۶	فناوری نانو در کف پوش ورزشی
۷	فناوری نانو در لباس و کفش ورزشی
۸	ویژگی ضدآب بودن
۹	ویژگی ضدباکتری
۱۰	ویژگی محافظت از اشعه UV
۱۰	ویژگی خودتمیزشونده
۱۱	محافظ گرما و سرما
۱۲	ویژگی خنکی و راحتی
۱۲	ویژگی بهبود گردش خون و بازیابی عضلات
۱۳	فناوری نانو در تجهیزات ورزشی
۱۳	چوب و توپ گلف
۱۴	دوچرخه
۱۵	راکت و توپ تنیس
۱۶	واکس اسکی
۱۶	خودرو
۱۶	قایق های ورزشی
۱۶	نیزه پرش
۱۸	معرفی برخی محصولات ورزشی داخلی تولیدشده با استفاده از فناوری نانو
۱۹	خلاصه

کاربرد فناوری نانو در صنعت ساخت محصولات ورزشی

تجهیزات ورزشی و بدن انسان، در مطالعات مربوط به ارزیابی و بهینه‌سازی فعالیت‌های ورزشی، به‌عنوان یک سیستم واحد و یکپارچه در نظر گرفته می‌شوند. دلیل این است که بهینه‌سازی این تجهیزات، توسط انسان و غالباً از طریق اصلاح طرح‌های مکانیکی، ارزیابی تجهیزات، اطلاعات آماری و مقایسه کارایی طرح‌های مختلف، انجام می‌شود. از سوی دیگر، هرگونه تغییر در نحوه عملکرد تجهیزات، باعث خواهد شد که فرد ورزشکار، برخی از دامنه‌های حرکتی خود را به جهت تطبیق با دستگاه، تغییر دهد. [۱].

بنابراین محصولات ورزشی نقش اساسی در کارایی ورزشکاران دارند. با پیشرفت فناوری، شرکت‌های تولیدی دست به تولید محصولاتی زده‌اند که باعث پیشرفت ورزشکاران و راحتی بیشتر آن‌ها شده‌اند. از جمله این پیشرفت‌ها می‌توان به نوآوری در صنعت منسوجات اشاره کرد. در این میان فناوری‌های نوین ورزشی نیز در موفقیت و بهبود رکورد ورزشکاران تأثیر دارند. هرچند تأثیر این تکنولوژی‌ها هرگز به اندازه‌ای نیست که یک فرد عادی را به سطح ورزشکار حرفه‌ای برساند؛ اما در دنیای رقابت این مسئله می‌تواند به راحتی روی عملکرد ورزشکار تأثیرگذار باشد؛ بنابراین پیشرفت علم در ورزش نیز همانند سایر جنبه‌های زندگی تأثیرگذار بوده است. [۲].

یکی از فناوری‌های جدید در این زمینه فناوری نانو است که به دنبال روش‌های جدید و نوآورانه برای بهبود محصولات ورزشی موجود است. در حال حاضر، دانشمندان کاربردهای متعددی از فناوری نانو را برای بهبود فناوری ورزشی فعلی به کار برده‌اند.

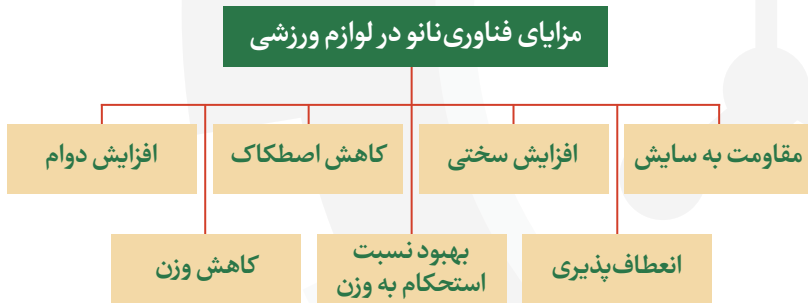
این پیشرفت‌ها از ایجاد چوب‌های گلف قوی‌تر و در عین حال سبک‌تر تا از بین بردن بوی نامطبوع از لباس ورزشکار پس از استفاده است [۳].

جایگاه فناوری نانو در ورزش

اگر یک راکت تنیس قدیمی چوبی یا توپ فوتبال چرمی به دست گرفته باشید، متوجه شده‌اید که چقدر سنگین هستند یا اینکه چقدر این مواد خشن هستند و ورزشکارانی که از این وسایل استفاده می‌کنند، مدام زخمی هستند. تجهیزات ورزشی به طرز چشمگیری با پیشرفت فناوری ساخت آن‌ها تغییر کرده‌اند. چوب‌های گلف و دوچرخه‌های مسابقه‌ای سبک‌تر هستند، توپ‌های تنیس و توپ‌های فوتبال طول عمر بیشتری دارند و شناگران و اسکیت‌بازان می‌توانند به لطف مواد به‌کاررفته در لوازشان سرعت بالاتری داشته باشند.

سطح رقابت در ورزش به طرز چشمگیری تحت تأثیر فناوری نانو در علم مواد قرار گرفته است. فناوری نانو، مزایا و قابلیت‌های بسیار بالایی را برای بهبود تجهیزات ورزشی فراهم می‌آورد که باعث می‌شود ورزشکاران ایمن‌تر، راحت‌تر و سریع‌تر از همیشه باشند. برخی از این مزایا در شکل ۱ آورده شده است [۴].

تغییرات کوچک می‌تواند تفاوت زیادی در عرصه ورزش ایجاد کند و بسیاری از تجهیزات ورزشی از چوب‌های بیس‌بال تا چوب‌های هاکی و از قایق‌های مسابقه تا تیرهای تیراندازی با کمان در حال حاضر از فناوری نانو استفاده می‌کنند. استفاده از هر کدام از نانو مواد شامل نانولوله‌های کربنی (CNTs)، نانوذرات سیلیکا (SNPs)، نانورس‌ها و فولرین‌ها، می‌تواند مزیتی همچون استحکام بالا، سختی، دوام، کاهش وزن و اصطکاک و مقاومت در برابر سایش را فراهم کند.



شکل ۱- مزایای فناوری نانو در تجهیزات ورزشی

نانولوله های کربنی رایج ترین نانومواد موجود در تجهیزات ورزشی هستند به طوری که ۱۴ درصد کل مصرف سالانه این ماده در تجهیزات ورزشی است. نانولوله های کربنی سفتی و استحکام بالایی دارند، ۱۰۰ برابر قوی تر و ۶ برابر سبک تر از فولاد هستند و به سختی الماس اند.

به همین دلیل نانولوله کربنی ماده ای ایدئال برای ساخت تجهیزات ورزشی با وزن کم و استحکام بالا مانند بدنه دوچرخه های فوق سبک و دسته چوب گلف است. از دیگر نانومواد کربنی فولرین ها هستند که با کاهش مرکز ثقل، باعث افزایش قدرت و دقت گلف باز می شوند. اکسید گرافن نیز از دیگر نانومواد کربنی است که در ورزش های آبی مانند قایقرانی موجب کاهش وزن، افزایش مقاومت بدنه و راحتی سُرخوردن قایق در آب می شود. مقایسه سفتی^۱ و سختی نانولوله کربنی و مواد دیگر در شکل ۲ آورده شده است.

فناوری نانودر فوتبال نیز تأثیرگذار است. ایجاد یک لایه از نانورس در توپ های فوتبال و تنیس به عنوان مانع عمل کرده و از کاهش فشار درون توپ جلوگیری می کند و زمان استفاده از توپ را بالا می برد. ساق بندها نیز از پلاستیک نانوساختار ساخته شده اند. این مواد سبک وزن هستند اما استحکام بالایی دارند که موجب می شود از لایه نازک تری به عنوان ساق بند استفاده کرد که هم به اندازه کافی قوی باشد و هم حفاظت کامل داشته باشد.

لباس های ورزشی به ویژه ست های فوتبال نیز از فناوری نانوبهره مند شده اند. جوراب های ورزشکاران محیط مناسبی برای تولید قارچ و باکتری هستند. نقره به طور طبیعی دارای ویژگی های ضدباکتری و ضدقارچ است، به همین دلیل جوراب های فوتبالیست ها می تواند با لایه ای از نانوذرات نقره پوشش داده شود تا از بوی بد ناشی از تولید باکتری و قارچ در جوراب جلوگیری شود.

این نانوذرات به همراه الیاف کتان، نایلون و یا پلاستیک برای تولید لوازم ورزشی استفاده می شوند. با آنکه حجم این نانوذرات کم است ولی به دلیل مساحت سطحی بالا فعل و انفعال زیادی با قارچ ها و باکتری ها ایجاد می کند و مانع رشد و تولید مثل آن ها می شود که متعاقباً بوی بد از بین می رود. افزودن عناصر دیگر مانند تیتانیوم می تواند موجب افزودن خاصیت ضد عفونی کنندگی، ضد آب، ضد بو و ضد لکه در لباس و تجهیزات ورزشی شود.



شکل ۲- مقایسه سختی و سختی نانولوله کربنی و مواد دیگر

در اوایل سال ۲۰۰۰، راجر فدرر؛ مرد نفاول تنیس، شروع به استفاده از راکت های مجهز به فناوری نانو کرد که منجر به برد او در مسابقه ویمبلدون شد. بسیاری از راکت های تنیس که حاوی نانولوله های کربنی هستند با استفاده از نانوذرات سیلیکا نیز تقویت می شوند. این کار باعث می شود که راکت ها با ثبات تر و قوی تر باشند و ۲۲ درصد قدرت بیشتری را نسبت به راکت های معمولی ایجاد کنند. نانوذرات سیلیکا در اسکی کاربرد دارند و ضمن صیقلی کردن سطح چوب اسکی و انعطاف پذیری اسکی باز، باعث می شود که وی سواری راحت تری داشته باشد.

در مسابقات فرمول یک که برنده شدن به وزن ماشین، لاستیک ها و شرایط آب و هوایی بستگی دارد، نانوکامپوزیت ها نقش مهمی ایفا می کنند. این مواد با استفاده در بدنه ماشین موجب کاهش وزن و پوشش صوتی می شوند که برای سرعت ۳۰۰ مایل در ساعت ضروری است. همچنین نانوذرات هوشمند می توانند شکاف بین مولکول رنگ و فلز را پر کنند و به ماشین کمک کنند تا ۳۷ مایل بر ساعت سریع تر حرکت کند؛ اما این موارد تنها مزیت فناوری نانو در این ماشین ها نیست. استفاده از نانوالیاف در لنت ترمز و نانوذرات در روغن ها موجب کاهش ساییش و فرسودگی قطعات موتور می شود [۵].

نانومواد رایج مورد استفاده در لوازم ورزشی با خواص آن ها در جدول ۱ آمده است [۶].

جدول ۱- نانومواد رایج مورد استفاده در لوازم ورزشی به همراه نوع عملکرد

عملکرد	انواع نانومواد						
	نقره	ZnO	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	نانورس	CNT
مقاومت به سایش	*	*	*	*	*	*	*
حامل مواد فعال	*	*	*	*	*	*	*
ضدمیکروب	*	*	*	*	*	*	*
ضدالکتریسته ساکن	*	*	*	*	*	*	*
مقاومت شیمیایی	*	*	*	*	*	*	*
ضدگردوخاک	*	*	*	*	*	*	*
هدایت الکتریکی	*	*	*	*	*	*	*
ضدشعله	*	*	*	*	*	*	*
فوتوکاتالیست	*	*	*	*	*	*	*
خودتمیزشونده	*	*	*	*	*	*	*
استحکام کششی	*	*	*	*	*	*	*
محافظ UV	*	*	*	*	*	*	*
ضدآب	*	*	*	*	*	*	*

فناوری نانو در کف پوش ورزشی

یکی از کاربردهای مهم فناوری نانو در صنایع نساجی، پوشش کف ورزشگاه هاست که بر عملکرد و ایمنی ورزشکاران تأثیر می‌گذارد و از سوی دیگر، دوام و پاکیزگی کف را بهبود می‌بخشد. استفاده از نانومواد در کف سالن های ورزشی موجب ایجاد خاصیت ضدآب و روغن و در نتیجه پاکیزگی آن ها شده است [۷]. نانومواد مورد استفاده در مهندسی ورزش عبارتند از نانومواد کربنی و نانو اکسیدهای فلزی مانند SiO₂ و Al₂O₃ [۸]. نانوذرات کربنات کلسیم که در الیاف پلی یورتان پراکنده شده‌اند، افزایش طول و مقاومت حرارتی چمن های ورزشی را تشدید می‌کنند [۹]. پیست های دو و میدانی که با نانوذرات تقویت شده‌اند دارای قابلیت

انعطاف پذیری عالی، بازیابی فشردگی، الاستیسیته، سختی، دوام، ضد اشتعال، ضد خش و ضد الکتریسیته ساکن هستند. خصوصیات مکانیکی پیست های دو و میدانی تقویت شده با استفاده از فناوری نانو بر اساس شواهد تجربی دو برابر بهتر از پلی یورتان طبیعی است [۱۰].

فناوری نانو در لباس و کفش ورزشی

استفاده از فناوری نانو در مواد نساجی از جمله نانوالیاف، الیاف نانوکامپوزیت و پارچه های تولید شده با فناوری نانو، خواص متعددی برای تولید لباس های ورزشی فراهم می کند. بسیاری از شرکت های تولیدی از فناوری نانو برای توسعه طیف وسیعی از لباس های ورزشی استفاده کرده اند. یک شرکت سوئسی به نام Schoeller، فناوری مبتنی بر نانو را برای تولید لباس هایی با خواص نفوذ پذیری هوا، مقاومت در برابر باد و آب و خود تمیز شونده برای آب و هوای بسیار سرد مانند کوهنوردی و اسکی توسعه داده است. این لباس ورزشی از ویژگی ضد باران و برف نیز برخوردار است [۱۱].

شرکت بریتانیایی JR Nanotech، جورایی با نام SoleFresh™ را که با نانوذرات نقره فراوری شده است تولید کرده که بوی پای ورزشکار را از بین می برد [۱۲]. الیاف نایلونی نانو نقره با زمینه های کاربردی شامل فعالیت های روزانه و ورزشی، لباس های ورزشی، کیف های ورزشی و کفش های دو توسط شرکت کره ای Hyosung تولید شده است [۱۳]. فناوری نانو، همچنین پیشرفت خوبی در خواص ضد لغزش کف کفش با استفاده از نانوکامپوزیت های لاستیکی ارائه کرده است [۱۴].

به طور کلی خواصی که فناوری نانو در کفش و لباس ورزشی ایجاد می کند، در شکل ۳ آورده شده است.

منسوجات الکترونیک	گردش خون موثر و بازیابی عضلات	ضد آب	ضد باکتری
دو، کوهنوردی، شمشیر بازی و ابزار داور	زانوبند، آرنج بند و پشت بند، طبی مخصوص وزنه برداری	لباس شنا، شیرجه، قایقرانی و کفش ورزشی	تمام انواع لباس های ورزشی و کفش
محافظ UV	خود تمیز شونده	محافظ گرما و سرما	راحتی
لباس ورزش های بیرون از محوطه پوشیده	چادرهای کوهنوردان	اسکی، اسنوبرد، کوهنوردی، قایقرانی، شیرجه و دوچرخه سواری	تمام انواع لباس های ورزشی

شکل ۳- خواص ایجاد شده در کفش و لباس ورزشی با استفاده از فناوری نانو

برخی از مهم ترین ویژگی های لباس و کفش ورزشی تولید شده با فناوری نانو شامل ضد آب، ضد باکتری، محافظ UV، خود تمیز شونده، محافظ گرما و سرما، راحتی و بهبود گردش خون و بازیابی عضلات در ادامه به طور کامل مورد بحث قرار می گیرند.

ویژگی ضدآب بودن

پیشرفت فناوری در لباس‌های ورزشی با استفاده از پارچه‌های ضدآب قابل تنفس که برای حفاظت از باد، باران و از دست دادن حرارت بدن نیز مناسب هستند، صورت پذیرفته است. پارچه‌های ضدآب از نفوذ آب به الیاف جلوگیری می‌کنند و قابل تنفس هستند، یعنی بخارهای آب از طریق الیاف قابل انتقال هستند. انواع مختلفی از پارچه‌های قابل تنفس وجود دارد که به پارچه‌های بافته شده، غشای میکرومتخلخل، پوشش و پارچه‌های قابل تنفس هوشمند طبقه‌بندی شده‌اند. اگرچه اولین پارچه قابل تنفس مقاوم در برابر آب با پارچه بافته شده متراکم یا پوشش پلیمری و رزین آماده شده است، فناوری نانو فرصت‌های جدیدی برای تولید پارچه‌های قابل تنفس ضدآب ارائه کرده است. برای مثال پارچه پلی استر ضدآب با پوشش نانوسیلیکاتی ساخته شده است که پس از گذشت دو ماه غوطه‌وری درون آب، خشکی خود را حفظ کرده است؛ از این رو برای لباس شنا بسیار مناسب است [۸]. در دیگر موارد بهبود خواص لباس ورزشی، کفش‌های ضدباکتری و ضدآب «LSMZTM» با استفاده از نانوغشای نانوکامپوزیت‌های TiO_2 و ZnO در فلوتورات‌ها و زیرلایه پورفلوروآلکیل با اثر لوتوس (ابرآب‌گریز) تولید شده است به طوری که این کفش‌ها قابلیت نفوذ تک‌جهته آب را دارند [۸]. الکترورسی قابلیت تولید شبکه غشا مانند بسیار نازک با الیاف فوق‌العاده و کارایی تحت عنوان راحتی (انتقال عرق از بدن ورزشکار به محیط بیرون) در تولید لباس‌های ضدآب قابل تنفس می‌شود. پارچه‌های لایه‌ای مبتنی بر شبکه‌های نانوالیاف الکترورسی شده با ساختارهای مختلف کامپوزیتی، زیرلایه‌های متنوع و مقادیر مختلف چگالی شبکه نانوالیاف، برای لباس ورزش‌هایی که در فضای باز انجام می‌شوند، تهیه شده‌اند که برای کاربر خواصی مانند مقاومت بالا در برابر نفوذ آب و نفوذپذیری بالای بخار آب و هوا را فراهم می‌کند. به علاوه راحتی حرارتی پارچه‌های لایه‌ای ضدآب قابل تنفس با ایجاد لایه‌ای از آلومینیوم بر روی شبکه‌های نانوالیاف بهبود می‌یابد. شکل ۴ لباس نمونه‌ای از لباس‌های ورزشی مقاوم در برابر نفوذ آب را نشان می‌دهد.



شکل ۴ - لباس ورزشی مقاوم در برابر نفوذ آب

در لباس‌های شنای Speedo's LZR Racer که در المپیک ۲۰۰۸ پکن توسط ورزشکاران استفاده می‌شد (شکل ۵) و بیش از ۹۰ درصد دریافت‌کنندگان مدال‌های طلا از این لباس استفاده می‌کردند، از نانوژاتی استفاده شده بود که نه تنها سبب ایجاد خاصیت ضدآب در لباس‌های شنا می‌شد، بلکه به دلیل خواص ساختاری منحصر به فرد پلی‌اورتان خاصیت شناوری لباس افزایش و کشیدگی لباس شنا کاهش می‌یافت [۲].



شکل ۵- لباس های شنا Speedo's LZR Racer

ویژگی ضدباکتری

با توجه به اهمیت بالای بهداشت عمومی، تقاضا برای مواد ضدباکتری در بسیاری از حوزه‌های کاربردی از جمله ورزش وجود دارد. عرق کردن در فعالیت‌های ورزشی، محیط مناسبی را برای رشد باکتری‌ها و تولید بوی بد فراهم می‌کند. استافیلوکوکوس اورئوس یک باکتری رایج است که باعث بیماری‌های عفونی می‌شود؛ بنابراین لباس ورزشی ضدباکتری می‌تواند با جلوگیری از آسیب و پوسیدگی الیاف از ورزشکاران در مقابل میکروارگانیسم‌ها و بوی‌های ناخوشایند محافظت کند. پارچه‌های ساخته شده از الیاف کیتوسان با کنترل رطوبت، در لباس‌ها و جوراب‌های ورزشی خواص ضدباکتری و قارچ‌کش ایجاد می‌کند.

به طور کلی، اثر ضد میکروبی از طریق استفاده از نانومواد در مرحله تکمیل یا از طریق ترکیب نانوذرات در الیاف در طی فرایند ریسندگی به دست می‌آید. گرچه فلزات آلی، ترکیبات آمونیم و سیلیکون‌های آلی نیز برای ایجاد خواص ضدباکتری مواد نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرند، لباس‌های ضدباکتریایی ورزشی، کفش‌های ورزشی و کف پوش‌ها به طور گسترده از نانوذرات نقره تهیه می‌شوند. علاوه بر این، گزارش‌هایی در مورد استفاده از نانوذرات اکسیدروی نیز برای لباس ورزشی ضدباکتری وجود دارد [۱۵].

کارایی ضدباکتری نانوذرات نقره به علت یون‌های فلزی و اندازه ذرات کوچک آن‌ها و سطح مشخصه بالای آن‌هاست. آسیب به چربی‌ها، پروتئین‌ها و DNA میکروارگانیسم‌ها، مکانیسم‌های اصلی ضدباکتری نقره هستند.

بر اساس تحقیقات انجام شده در مؤسسه Hohenstein آلمان، اقدام سریع در برابر باکتری‌ها و اثربخشی دائمی در حین ورزش برای لباس‌های ورزشی ضدباکتری ضروری است. همچنین ممانعت از واکنش‌های پوستی (حساسیت، تحریک) و یا تأثیر منفی بر میکروفلور پوست نیز باید در نظر گرفته شود. برای جلوگیری از این موارد

عامل مهمی که باید در نظر گرفته شود غلظت نقره است که باید در کمترین میزان ممکن استفاده شود [۱۶]. در شکل ۶ شماتیک مکانیسم ضدباکتری نانوذرات نقره نمایش داده شده است.



شکل ۶- نانوذرات نقره با خاصیت ضدباکتری به عنوان محافظ سلامت پای ورزشکاران

ویژگی محافظت از اشعه UV

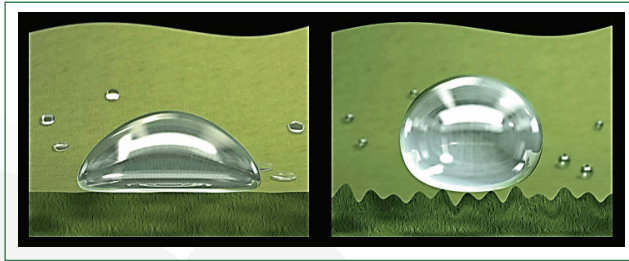
استفاده از نانوذرات با خواص حفاظتی اشعه UV در لباس ورزشی به علت خطر بالای آسیب پوستی به اشعه ماوراءبنفش به ویژه در ورزش هایی که در فضای باز انجام می شود، توسعه داده شده است. از مواد آلی و معدنی محافظ UV، نیمه هادی ها مانند ZnO ، SiO_2 ، TiO_2 و Al_2O_3 به دلیل پایداری شیمیایی، هزینه کم، در دسترس بودن و غیرسمی بودن، کاربردی هستند و توجه بیشتری را به خود جلب کرده اند. حفاظت در برابر UV بیشتر به پتانسیل جذب اشعه ماورای بنفش به جای بازتاب و یا پراکندگی مربوط است. توزیع یکنواخت نانوذرات بر روی سطح پارچه موجب می شود ممانعت از نفوذ اشعه UV به حداکثر میزان خود برسد [۱۷]. در تحقیقی در این زمینه سیستم های لایه ای با یک لایه بسیار نازک از الیاف نانوکامپوزیت پلی اورتان و اکسیدروی به عنوان محافظ UV با خواص ضد میکروبی تولید شده اند که در لباس ورزشکارانی که در فضای باز ورزش می کنند، استفاده می شود [۱۵].

ویژگی خودتمیزشوندگی

یکی از کاربردهای موفقیت آمیز فناوری نانو در صنعت نساجی، تولید لباس ورزشی و چادرهای کوهنوردی با خاصیت خودتمیزشوندگی است. در این محصولات علاوه بر مهندسی سطح ابرآب گریز با استفاده از اثر لوتوس، نانوذرات فوتوکاتالیستی مانند TiO_2 و ZnO برای تولید سطوح آب دوست با فعالیت خودتمیزکنندگی استفاده شده اند و پارچه های خودتمیزکننده فوتوکاتالیستی می توانند برای لباس ورزشی استفاده شوند. فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات نیمه هادی به علت تهییج نوری تحت نور تابیده شده با انرژی بیشتری برابر با گاف

انرژی آن است که از طریق آن جفت الکترون-حفره بین نوار رسانش و باند هدایت تولید می شود. الکترون های تهییج شده در اثر تابش می توانند به اکسیژن منتقل شوند و رادیکال های سوپراکسید، هیدروپروکسی و هیدروکسیل را ایجاد کنند. حفره ها و یا رادیکال های هیدروکسیل تولید شده همچنین نقش اکسیدکننده در لکه های مخرب را دارند که دارای خواص خودتمیزشونده برای فعالیت های ورزشی و چادر کوهنوردی از فناوری تحت عنوان Nanosphere™ استفاده می کند [۱۸].

در سطوح معمولی، آب، روغن و خاک، توسط پارچه جذب می شوند، زیرا سطح تماس بزرگتر اجازه می دهد تا چسبندگی بالاتری وجود داشته باشد. در سطح nanosphere، نانوذرات ساختار ریزی را تشکیل می دهند که آب، خاک و روغن تنها در قله نانو ساختارها باقی می مانند و سطح تماس کمتری دارند. در این صورت چسبندگی به طور قابل توجهی کاهش می یابد و قطره ها به راحتی از بین می روند و یا می توانند با آب شسته شوند. شکل ۷ مقایسه سطح اصلاح شده با اثر لوتوس و سطح معمولی را نشان می دهد [۱۸].



شکل ۷- مکانیزم خودتمیزشوندگی با استفاده از اثر لوتوس (سمت راست سطح اصلاح شده با اثر لوتوس را نشان می دهد)

محافظ گرما و سرما

با توجه به رابطه بین حرارت بدن انسان، شرایط محیطی و فعالیت بدنی، لباس ورزشی با خاصیت عایق گرما و سرما مخصوصاً برای اسکی، اسنوبورد، غواصی، کوهنوردی و دوچرخه سواری مورد نیاز است. به تازگی، ترکیب مواد تغییرفازدهنده با منسوجات برای ساخت پارچه های هوشمند با قابلیت تنظیم دمایی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. مواد تغییرفازدهنده به طور کلی به مواد آلی شامل پارافین مانند هیدروکربن های آلکیل و غیرپارافین مانند اسیدهای چرب، الکل ها و اسیدهای گلیکولیک و مواد معدنی شامل نمک های غیرآلی هیدراته دسته بندی می شوند [۱۹].

مواد تغییرفازدهنده به درون میکروکپسول ها یا نانوکپسول ها قرار می گیرند تا واکنش پذیری آن ها نسبت به محیط خارجی کاهش یافته و تغییرات حجم این مواد در طول دوره تغییرفاز کنترل شود. نانوکپسول های حاوی این مواد به دلیل اندازه ذرات کوچک تر و سرعت انتقال حرارت بیشتر، از میکروکپسول ها کاربردی تر هستند. ملامین فرمالدئید، اوره فرمالدئید، سیلیکون دی اسید، پلی استایرن و پلی متاکریلات، برخی از موادی هستند که به عنوان پوسته برای مواد تغییرفازدهنده استفاده می شوند. نانوکپسول های حاوی مواد تغییرفازدهنده را می توان با استفاده

از یک اتصال دهنده مانند پلی اورتان به مرحله نخریسی اضافه کرد و یا روی مواد نساجی در طی اتمام فرایند پوشش داد.

نانوالیاف حاوی مواد تغییرفازدهنده که توسط الکتروریسی کامپوزیتی و الکتروریسی چندمحوره تولید می شوند، یکی دیگر از روش های استفاده از مواد تغییرفازدهنده در منسوجات هستند. مواد تغییرفازدهنده که در لباس های ورزشی استفاده می شوند، می توانند حرارت بیش از حد بدن را در حین فعالیت ورزشی جذب کنند و در صورت لزوم انرژی را آزاد کنند که موجب کاهش فشار حرارتی می شود. مواد تغییرفازدهنده با محدوده خاصی از دما (کمتر یا بیشتر از دمای بدن) نامزد خوبی برای استفاده در محصولات ورزشی هستند. این مواد در لباس ورزشی، بلافاصله پس از افزایش دما، حرارت را جذب می کنند و زمانی که دما افت می کند انرژی را آزاد می کنند. عایق حرارتی مورد نیاز لباس و میزان استفاده از مواد تغییرفازدهنده کاربردی بستگی به نوع و مدت فعالیت بدنی دارد [۲۰].

ویژگی خنکی و راحتی

خاصیت انتقال رطوبت که تحت تأثیر موئینگی و نرخ تبخیر است، یک جنبه مهم از لباس ورزشی است که بر سطح راحتی و ورزشکار تأثیر می گذارد. جذب رطوبت سریع از طریق پارچه، باعث افزایش تبخیر به علت سطح بالای آن می شود و باعث می شود بدن ورزشکار خشک و راحت باشد. پارچه های با خاصیت انتقال رطوبت، رطوبت و عرق را از سطح پوست به سطح پارچه منتقل کرده و در فضا آزاد می کنند و مانع از چسبیدن پارچه پلی استر به بدن می شوند [۲۱]. بهبود رطوبت با استفاده از فناوری پلاسمای به عنوان یک فرایند سازگار با محیط زیست نیز گزارش شده است. با استفاده از این فناوری لباس های ورزشی با خاصیت آب دوستی در لایه درونی و آب گریزی در لایه بیرونی تولید شده است تا به صورت هوشمند عرق را از بدن انسان بلافاصله خارج کند. به دلیل معایب این روش در حالت معمول در تولید لباس ورزشی به تازگی پلاسمای غیرحرارتی در فشار اتمسفر به همراه پلیمریزاسیون توسعه داده شده است که عملکرد بالایی در کنترل رطوبت و بو در فعالیت های ورزشی دارد [۲۲].

ویژگی بهبود گردش خون و بازیابی عضلات

فعالیت های جسمانی به ویژه ورزش های سنگین مانند بدن سازی، کشتی و وزنه برداری ممکن است سبب خستگی، آسیب دیدگی ماهیچه ها شود که می تواند با استفاده از لباس ورزشی با اثرات درمانی بهبود یابد. امواج مادون قرمز توان بالایی برای نفوذ به مواد بیولوژیکی دارند و اثرات مثبت آن ها بر افزایش گردش خون و متابولیسم، توسط محققان ثابت شده است [۲۳]. استفاده از موادی مانند ژئانیم و پودرهای سرامیکی مانند آلومینا، دی اکسید تیتانیوم و دی اکسید سیلیکون به عنوان نانوساختار با اثرات تابش مادون قرمز در منسوجات ورزشی که تماس نزدیک با پوست دارند، می تواند زمینه های کاربردی فراوانی شامل ژانویی، آرنج بند و کمربند طبی داشته باشد. موادی که پرتوی مادون قرمز منتشر می کنند، نور خورشید و یا گرما را از بدن انسان جذب می کنند و انرژی را به اشعه مادون قرمز در یک طیف مشخصی از طول موج حدود ۶ تا ۱۴ میلی متر تبدیل می کنند و انرژی را به بدن انسان منتقل می کنند و موجب افزایش گردش خون و متابولیسم و همچنین بهبود عضلات خسته می شوند. به تازگی، غشاهای نانوالیاف PVA-حاوی ژئانیم و SiO_2 با اثرات ضدباکتری و درمان سریع برای فعالیت های ورزشی مانند پشتیبان های پزشکی پوشیدنی در فعالیت های بدنی معرفی شده اند [۲۴].

نانومواد معمول مورد استفاده در نساجی به همراه خواص اصلی آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است [۷]:

جدول ۲- نانومواد معمول مورد استفاده در نساجی به همراه خواص اصلی آن‌ها

خواص	نانومواد
فوتوکاتالیست، خودتمیزشونده، ضد باکتری، محافظ UV، خواص آب دوستی و آب‌گریزی	نانومواد اکسید فلزی مانند: TiO_2 , ZnO , CuO , CuO_2 , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , ZrO_2 , Mn_3O_4 , MnO_2 , MgO , Go
ضد باکتری، ضد قارچ، هدایت	نانوذرات فلزی مانند: Ag , Au , Pd , Pt , Cu , Ni
مقاومت سایشی و شیمیایی، هدایت الکتریکی	نانوذرات کربن بلک
هدایت الکتریکی و گرمایی	نانولوله‌های کربنی
مقاومت به شعله و محافظ UV	نانوذرات خاک رس

فناوری نانو در تجهیزات ورزشی

تمام وسایلی که با فناوری نانو تولید شده‌اند با هدف بهبود عملکرد ورزشکاران و جلوگیری از آسیب‌های احتمالی آن‌ها بوده است. فناوری نانو به تجهیزات استحکام بالا را در حالی می‌بخشد که وزن آن را نیز کاهش می‌دهد. همین امر سبب شده است که در بسیاری از تجهیزات از سوی شرکت‌های معتبر مورد استفاده قرار بگیرد. بیشترین استفاده از این فناوری در حوزه‌هایی مانند توپ‌های ورزشی، راکت‌های ورزشی، تجهیزات کوهنوردی و قایقرانی، دوچرخه و خودروی ورزشی بوده است. برخی وسایل ورزشی که در آن‌ها از فناوری نانو بهره گرفته شده است به بهبود عملکرد تجهیزات کمک شایانی می‌کنند. در ادامه به بررسی تجهیزات موجود در این حوزه پرداخته می‌شود [۲۵].

چوب و توپ گلف

شرکت مارومان واقع در توکیو، از فولرین‌های شرکت مواد شیمیایی هانجوبیرای ساخت انتهای چوب گلف استفاده کرده است. مواد جدید فولرین تیتانیوم در ساخت انتهای چوب گلف به کار رفته است. چوب جدید در مقایسه با تیتانیوم معمولی به میزان ۱۰ درصد بیشتر در مقابل خمیدگی مقاومت می‌کند. سختی آن ۳۶ درصد بهتر است و سر آن به میزان ۲۰ درصد الاستیسیته بیشتری از خود نشان می‌دهد و مسافت پرواز توپ به میزان حدود ۱۳،۵ متر افزایش یافته است. شرکت نانودینامیک واقع در نیویورک محصول مکمل خوبی برای این چوب تولید کرده است. این شرکت توپ گلفی را که می‌تواند مسیر پرواز خود را اصلاح نماید، معرفی کرده است؛ بدین معنا که نسبت به توپ‌های معمولی می‌تواند مستقیم‌تر حرکت کند. این توپ در هوا تغییر جهت ۴۵ درجه‌ای نمی‌دهد، طراحی توپ و نانومواد مجهول به کار رفته در آن، انرژی دریافتی از سرچوب گلف را بهتر جهت‌دهی کرده و بنابراین از تلو تلو خوردن و انحراف توپ جلوگیری می‌کند. این دو محصول (شکل ۸) در رده‌بندی ۱۰ محصول برتر فناوری نانو جهان در سال ۲۰۰۴ میلادی جای داشته‌اند [۲۶].



شکل ۸- چوب و توپ گلف اصلاح شده با فناوری نانو

دوچرخه

تور سال ۲۰۰۵ فرانسه شاهد دوچرخه سوارانی از تیم فوناک بود که از دوچرخه‌هایی با بدنه حاوی نانولوله‌های کربنی استفاده می‌کردند. کارخانه سوئسی BMC تولیدکننده این دوچرخه‌ها ادعا می‌کند، این محصول با نام پرو ماشین کمتر از یک کیلوگرم وزن داشته و از استحکام و سختی عالی برخوردار است (شکل ۹). برای ساخت این رزین بهبود یافته، الیاف کربنی را در ماده رزینی که به وسیله نانولوله‌های کربنی تقویت شده است، وارد می‌کنند. این کار استحکام و سختی را در فضاهای مابین الیاف کربنی افزایش می‌دهد. سطح نانولوله‌ها به نحوی تغییر داده شده است که پخش آن‌ها در مواد دیگر ساده‌تر صورت گیرد. این دوچرخه تنها یک بخش آلیاژی دارد که زه قلاب پایینی است. ساختار این بدنه به وسیله قالب‌گیری تولید می‌شود که پس از تولید نیاز به ماشین‌کاری ندارد، این امر از آسیب دیدن الیاف کربنی جلوگیری می‌کند [۲۷].



شکل ۹- دوچرخه ساخته شده مبتنی بر فناوری نانو

راکت و توپ تنیس

شرکت بابلوات یک خط تولید از راکت های تنیس (شکل ۱۰) ساخته شده با فناوری نانو ایجاد کرده است. این شرکت با استفاده از فناوری نانو، توانسته مقاومت راکت ها را افزایش دهد. شرکت بابلوات فرانسوی با اعمال نفوذ کربن در ابعاد نانو و به کارگیری نانولوله های کربنی این راکت ها را به تولید رسانده است. این راکت ها را معمولاً با الیافی مشتق شده از گرافیت و کربن تولید می کنند. این شرکت ترکیبی از نانولوله های کربنی با الیاف کربن منظم به منظور تولید راکت های مستحکم تولید کرده است. این ترکیب پنج بار مستحکم تر و منظم تر از کربن در حالت عادی است. در حالی که خم شدن قاب در زمان ضربه، باعث کند شدن سرعت توپ در راکت های معمولی می شود، این راکت ها به خاطر وجود زه مقاوم، عکس العمل خوبی در زمان ضربه از خود نشان می دهند. به دلیل وجود تثبیت کننده هایی در دو طرف مرکز این راکت ها، مقاومت در برابر تنش افزایش پیدا کرده است. مقاومت در برابر تنش در این راکت ها ۵۰ درصد بیش از راکت هایی با کربن استاندارد است. این مدل دارای تثبیت کننده دیگری نیز هست که تنش را از بالای دسته به وسط قاب در هر طرف از راکت انتقال می دهد که باعث کاهش خمش عمودی و چرخش قاب راکت در زمان ضربه زدن به توپ می شود [۲۶].

مکمل راکت تنیس، توپ آن است. شرکت ویلسون توپی تولید کرده که دارای دو هسته است. پوشش های ما بین آن از هوا مستحکم شده و این روش مانعی برای حفظ فشار است. لایه هایی از خاک رس به همراه یک پلیمر مایع به توپ اضافه می شود که خطوط داخل توپ را ایجاد می کند، صفحات خاک رس با یکدیگر در روش موازی هم پوشانی می شوند. از آنجا که چندین لایه روی هم قرار می گیرند، هر یک از صفحات باید هوا را از طریق لایه های دیگری داخل کیسه وارد کنند، بنابراین هوا بهتر در داخل توپ باقی می ماند. پوشش نانو در دومین هسته داخل توپ تنیس است که از طریق اسپری و یا غلتاندن آن بر روی لاستیک به وجود می آید. پوسته روی هسته دوم از صفحات روی هم قرار گرفته ای از خاک رس تولید شده است. این صفحات حدود یک نانومتر ضخامت دارند. از مزایای این توپ ها نسبت به توپ های معمولی این است که دیرتر پر زار می شوند. بیشترین زمان برای استفاده از توپ های معمولی یک و نیم جلسه است این در حالی است که بیشترین زمان توپ های دو هسته ای ویلسون ۳ جلسه است. همچنین این توپ ها دارای ملاحظات زیست محیطی نیز هستند [۲۶].



شکل ۱۰- راکت تنیس ساخته شده با فناوری نانو

واکس اسکی

کراکس نانو واکس یکی از اولین محصولات جهانی است که با استفاده از فناوری نانوشیمیایی، پوشش هوشمندی با خواص چندعملکردی ایجاد می نماید. این واکس به وسیله شرکت آلمانی نانوگیت تولید شده است که سطح بسیار لغزنده و سختی را ایجاد می نماید. این پوشش هوشمند با کاهش دما بسیار مستحکم می شود و با کریستال های برف و پوست، سازگاری بسیار خوبی دارد. محصولات نانو واکس با فرمول های مختلفی برای انواع ورزش های زمستانی که در شرایط مختلف انجام می شوند، تولید شده اند [۲۶]. این محصول نیز در رده بندی ۱۰ محصول برتر فناوری نانو در سال ۲۰۰۴ قرار داشت.

خودرو

یک شرکت روسی خودرویی (شکل ۱۱) را با استفاده از نانومواد تولید و پرده برداری کرد. این خودرو با نام ماروسیا، دارای قدرتی معادل ۲۴۰ اسب بخار است که باعث تحسین و تردید همگان شد زیرا تولیدکنندگان این خودروی ورزشی برای غلبه بر دیگر رقبای خود، سرمایه گذاری عظیمی در زمینه تولید بدنه ای تمام غیرفلزی انجام داده اند که این بدنه باعث سبک تر شدن این خودرو شده است [۲۵].



شکل ۱۱- خودروی ورزشی روسی ساخته شده با فناوری نانو

قایق های ورزشی

رشته قایقرانی نوعی از ورزش های آبی است که در آن از چندین نوع قایق در سبک های مختلف استفاده می شود ولی یک نکته مشترک در تمامی آن ها خیس نشدن ورزشکاران و ضدآب بودن تجهیزات آن ها است، زیرا در صورت خیس شدن وزن آن ها و تجهیزاتشان زیاد شده و از لحاظ روانی نیز برای آن ها خوشایند نخواهد بود زیرا در این حالت نمی توانند مهارت خود را نشان دهند. با استفاده از نانوپوشش ها این تجهیزات آب گریز شده و قطرات آب به داخل آن ها نفوذ نمی کند. تجهیزات کوهنوردی نیز همانند قایقرانی نیاز دارند که در حین استحکام بالا، ضدآب باشند [۲۵].

نیزه پرش

یکی از رشته هایی که استفاده از نانومواد به خصوص نانولوله های کربنی در آن احساس می شود پرش با نیزه است. مهم ترین پارامتر در نیزه پرش انعطاف مناسب آن است. نیزه پرش به طور معمول از الیاف شیشه ساخته

می‌شوند و در بین ورزشکاران این نوع نیزه‌ها از محبوبیت خاصی برخوردار است. نیزه‌های فایبرگلاس از پارچه بافته شده فایبرگلاس که با رزین اپوکسی اشباع شده است ساخته شده‌اند. در چند سال اخیر نیزه‌هایی با الیاف کربن ساخته شده‌اند ولی به علت محبوبیت نیزه‌های با فیبر شیشه زیاد استفاده نمی‌شود. الیاف کربن و شیشه چگالی مشابهی دارند اما شیب منحنی تنش-کرنش الیاف کربن بیشتر است؛ بنابراین در یک نیزه با مقاومت مشابه الیاف کربن کمتری مورد نیاز است. نتایج نشان می‌دهد که الیاف کربن بهتر از الیاف شیشه هستند. این داده‌ها در مورد نانولوله‌های کربنی در دست نیست و نیزه پرشی با استفاده از آن‌ها طراحی و آزمایش نشده است و این نیاز دیده می‌شود که امر در نیزه‌های پرش مورد بررسی قرار گیرد [۲۵]. در جدول ۳ بعضی از مزیت‌های استفاده از فناوری نانو در ورزش ذکر شده است [۲]:

جدول ۳- مزیت‌های استفاده از فناوری نانو در ورزش

مزایا	رشته ورزشی	نانومواد
افزایش سختی، پایداری، انعطاف، انرژی ضربه و دفاع و کنترل نوسان راکت	تنیس / بدمینتون	نانولوله کربنی
کاهش وزن، گشتاور و چرخش کمتر	گolf	
بهبود مقاومت سایشی و مقاومت در برابر ترک و سهولت پارویدن	قایق‌رانی	
کنترل بهتر نوسانات در پیکان	تیراندازی	نانوذرات سیلیکا
افزایش پایداری و توان راکت	تنیس / بدمینتون	
کاهش شاخص خمش و تسهیل انتقال ورزشکار	اسکی	
افزایش استحکام خمشی میله	ماهگیری	فولرین
کاهش وزن و قابلیت پیچش قاب راکت	تنیس / بدمینتون	
بهبود انعطاف‌پذیری	گolf	
کاهش پوسته شدن و ایجاد ترک در توپ	بولینگ	نانوالیاف کربن
کاهش وزن و افزایش سختی دوچرخه	دوچرخه سواری	
افزایش انعطاف و شناوری توپ	تنیس / گلف	نانو خاک رس
کاهش وزن و افزایش سرعت	قایق موتوری	
مقاومت در برابر تغییر شکل و افزایش استحکام	تنیس / بدمینتون	نانوتینانیوم
کاهش مقاومت چرخشی، افزایش سطح تماس با جاده	موتورسواری	نانوذرات کربن
افزایش ممان اینرسی و پایداری چوب گلف	گolf	نانونیکل

تعدادی از لوازم ورزشی تولید شده با استفاده از فناوری نانو در شرکت‌های مختلف در جدول ۴ آورده شده است [۲۸].

جدول ۴- برخی محصولات ورزشی تولید شده با استفاده از فناوری نانو

شرکت	محصول	مزایا
InMat	لایه مانع نانوکامپوزیت	جلوگیری از خروج گاز از توپ تنیس و...
Wilson	راکت تنیس حاوی نانوذرات اکسید سیلیسیم	افزایش استحکام، دوام و قدرت
Re-Turn AS	پوشش اپوکسی حاوی نانولوله کربنی بدنه کایاک	افزایش مقاومت به سایش
Yonex	رزین حاوی فولرین برای ساخت راکت بدمینتون	افزایش دوام و قدرت
Maruman	دسته چوب گلف ساخته شده از کامپوزیت حاوی فولرین	افزایش استحکام، دوام و قدرت
Eston Cycling	قطعات دوچرخه با استفاده از نانولوله کربنی	افزایش سفتی بدون افزایش وزن
Holmenkol	واکس اسکی با نانوکامپوزیت	افزایش صیقلی و حداکثر سرعت
St Croix Rods	چوب ماهیگیری با رزین اپوکسی و نانوذرات سیلیکا	افزایش استحکام بدون افزایش وزن

معرفی برخی محصولات ورزشی داخلی تولید شده با استفاده از فناوری نانو

عینک آفتابی ورزشی



عینک آفتابی صایران با قابلیت محافظت از چشمان در برابر تابش های UV و با استفاده از فناوری طراحی و ساخت پوشش نانومتری نابازتابنده پهن باند (پوشش نابازتابنده ای که طول موج وسیعی را فیلتر می کند) تولید می شود و باعث ایجاد خاصیت Anti-Reflection و حذف بازتاب های مزاحم در محصول می شود. این عینک های آفتابی در دو مدل معمولی (خلبانی) و چندمنظوره (اسپرت) تولید شده اند.

الیاف سلامتی بخش



الیاف سلامتی بخش با قابلیت افزایش مقطعی دمای بدن و نشر پرتو فروسرخ، محصولی از شرکت تهران زرنخ است که با بهره گیری از فناوری نانو، تولید شده است. استفاده از این الیاف در پوشاک، سبب افزایش سطح انرژی بدن و همچنین تاثیرات مفید دیگر مانند کاهش تنش ها، افزایش متابولیسم و بهبود چرخه خون می شود. تولید منسوجات درمانی نظیر گن، جوراب واریس، کمربند و گردن بند طبی و لباس های ورزشی با استفاده از این نخ ها امکان پذیر است.

خلاصه

بسیاری از ورزشکاران ایرانی توانایی خوبی در رشته‌های ورزشی مخصوص به خود دارند که این امر در مسابقات آسیایی و حتی جهانی و المپیک در بسیاری از رشته‌ها مانند کشتی، والیبال، ورزش‌های رزمی شامل کاراته، تکواندو، جودو و... به اثبات رسیده است.

رقابت در بین ورزشکاران در سطح جهانی در سطح صدم ثانیه اتفاق می‌افتد. موفقیت ورزشکاران در مسابقات تنها با تمرینات سخت ورزشی حاصل نمی‌شود بلکه وجود تجهیزات ورزشی پیشرفته کمک شایانی به برد ورزشکار می‌کند. برای بهبود تجهیزات ورزشکاران در تمام رشته‌های ورزشی می‌توان از فناوری نانو استفاده کرد. این فناوری علاوه بر بهبود ویژگی‌های لباس و کفش ورزشکاران در ارتقای کیفی وسایل ورزشی نیز تأثیر سگفتی دارد.

امید است با توسعه سیاست‌های وزارت ورزش و جوانان در حوزه فناوری نانو و سرمایه‌گذاری و ارائه تسهیلات به شرکت‌های صنعتی در این حوزه شاهد موفقیت روزافزون ورزشکاران ایرانی در سطوح بین‌المللی باشیم.

پی‌نوشت

۱ stiffness

مراجع

۱ G.B. Shan, Sport Equipment Evaluation and Optimization – A Review of the Relationship between Sport Science Research and Engineering, The Open Sports Sciences Journal, 2008, 1, 5-11.

۲ <http://nanotexnet.ir>

۳ Nanotechnology in Sports, EE453 Project Report submitted by, Devin Taylor, RDWreckingCrew@yahoo.com, Fall 2008

۴ <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=30661.php>

۵ <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=4859>

۶ <https://www.nanalyze.com/2018/02/7-startups-nano-clothing-technologies/>

۷ Tina Harifi and Majid Montazer, Application of nanotechnology in sports clothing and flooring for enhanced sport activities, performance, efficiency and comfort: a review, Journal of Industrial Textiles, 2015

۸ Chunyan L, Xingliang L, Sijin M, et al. Study on application and biosafety of nanomaterials in sports engineering. In: International conference on future computer science and education, Xian, China, 20–21 Aug 2011, pp.131–134.

۹ Song ZQ and Cai YT. Application of nano-materials in sports engineering. Adv Mater Res 2012; 602–604: 281–284.

- ۱۰ Bao-feng L. Design of sports field based on nanometer materials. *Appl Mech Mater* 2013; 340: 366–369.
- ۱۱ <https://www.mountain-equipment.co.uk/scholler>
- ۱۲ <http://www.nanotechproject.org/cpi/products/solefreshtm-socks>
- ۱۳ <http://product.statnano.com/company/hyosung>
- ۱۴ Baydal-Bertome JM, Puigcerver SA, Gonzalez JC, et al. Nanotechnology can provide a real breakthrough in the anti-slip properties of safety footwear soles. *Footwear Sci* 2015; 7: S58–S60.
- ۱۵ Lee S. Multifunctionality of layered fabric systems based on electrospun polyurethane/zinc oxide nanocomposite fibers. *J Appl Polym Sci* 2009; 114: 3652–3658.
- ۱۶ https://www.hohenstein.de/en/inline/pressrelease_4714.xhtml
- ۱۷ Kathirvelu S, Dsouza L and Dhurai B. UV protection finishing of textiles using ZnO nanoparticles. *Ind J Fiber Text Res* 2009; 34: 267–273.
- ۱۸ <https://www.schoeller-textiles.com/en/technologies/nanosphere>
- ۱۹ Fung W. Coated and laminated textiles in sportswear. In: Shishoo R (ed.) *Textiles in sports*. England: Wood Head Publishing in Textiles, 2005, pp.134–174.
- ۲۰ Mondal S. Phase change materials for smart textiles: an overview. *Appl Therm Eng* 2008; 28: 1536–1550.
- ۲۱ Manshahia M and Das A. High active sportswear - a critical review. *Ind J Fiber Text Res* 2014; 39: 441–449.
- ۲۲ Okubo M, Saeki N and Yamamoto T. Development of functional sportswear for controlling moisture and odor prepared by atmospheric pressure nonthermal plasma graft polymerization induced by RF glow discharge. *J Electrostat* 2008; 66: 381–387.
- ۲۳ Toyokawa H, Matsui Y, Uhara J, et al. Promotive effects of far-infrared ray on full thickness skin wound healing in rats. *Exp Biol Med* 2003; 228: 724–729.
- ۲۴ Chung J and Lee S. Development of nanofibrous membranes with Far-Infrared radiation and their antimicrobial properties. *Fiber Polym* 2014; 15: 1153–1159.
- ۲۵ <https://www.toospars.ir>
- ۲۶ <http://nano-tech.blogspot.com/treatise40>
- ۲۷ https://www.bmc-switzerland.com/int-en/experience/bmc-tempo/the_bmc_teammachine_a_story_of_success/
- ۲۸ http://www.understandingnano.com/sporting_goods.html