فناوری جاده‌های هوشمند با استفاده از سلول‌های خورشیدی نانوساختاری

مهناز ذاکری[1]، امیرحسین چهره‌آرا[2]

۱ استادیار دانشکدهٔ مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، m.zakeri@kntu.ac.ir

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۲

چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی هستند. جاده‌های خورشیدی زیرساختی برای بزرگراه هوشمندند که شبکهٔ برق غیرمتمرکز خودکفا و ایمن ایجاد می‌کنند و شرایطی برای کاربردهای مختلفی از فناوری‌های مورد استفاده در جاده‌ها برای تولید انرژی از طریق خورشید به‌وجود می‌آورند که از آن جمله می‌توان به بهبود بهره‌برداری از خودروهای خودکار، تأمین روشنایی، نظارت بر وضعیت جاده‌ها و جز این‌ها اشاره کرد. جادهٔ هوشمند از یک سری پنل‌های خورشیدی تشکیل شده است که از لحاظ ساختار مهندسی شده است و با حرکت و ضربه روی آن انرژی تولید می‌شود. در این جاده‌ها از اثر فتوولتائیک، ال.ای.دی.ها[1] و تراشه‌های ریزپردازنده استفاده می‌کنند. از جمله ترکیبات جدیدی که امروزه در ساخت سلول‌های فوتوولتایی استفاده می شوند، انواع نانوساختارهای کربن هستند که به‌دلیل خواص نوری، فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردشان به‌عنوان موادی ارزان و پاک برای تولید انرژی پیشنهاد می‌شوند. جاده‌های خورشیدی مزایای متعددی دارند که از جمله می‌توان حفظ حیات وحش، کاهش گازهای گلخانه‌ای، حفظ محیط زیست و اقلیم زمین، اجرای قوانین و تشخیص نحوهٔ رانندگی در شرایط اختلالات روحی و ذهنی[2] را نام برد. در این مقاله، مروری بر سلول‌های خورشیدی و پیشینهٔ جادهٔ خورشیدی داشته و سپس به ساختارها، مزایا، کاستی‌ها و چالش‌های موجود پرداخته می‌شود.

واژگان کلیدی

پنل‌های خورشیدی، جاده‌های هوشمند، نانوساختار کربن، سطح کامپوزیتی، فتوولتاییک

۱. مقدمه

از جمله مهمترین چالش‌های فرارو طی سال‌های اخیر، تأمین و یافتن منابع جدید انرژی است. امروزه به‌دلیل اهمیت انرژی‌های نو، ساخت موادی که توانایی تولید انرژی الکتریکی از منابع طبیعی را داشته باشد اهمیت به‌سزایی یافته است. انرژی خورشیدی یکی

از تجدیدپذیرترین منابع در حال رشد برای تولید الکتریسیته است. ایده‌های گوناگونی برای استفاده از امکانات ثابت و زیرساخت‌های ایجادشده در کشورهای صنعتی برای تولید برق مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این ایده‌ها استفاده از فعالیت‌های روزمرهٔ شهروندان نظیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری برای تولید برق است. در این فرایندها، مردم علاوه بر تشویق‌شدن به فعالیت‌های بدنی، بخشی از برق مورد نیاز محل زندگی یا کار خود را بدون هیچ آسیبی به محیط زیست تأمین می‌کنند. گسترهٔ این اقدامات امروزه به حوزه‌های دیگری چون سیستم‌های حمل‌ونقل به‌ویژه حمل‌ونقل هوشمند هم وارد شده است. حمل‌ونقل هوشمند بر نحوهٔ مدیریت ترابری انسان و کالا با استفاده از زیرساخت‌های مخابراتی، رایانه‌ای و ماهواره‌ای متمرکز می‌شود. برای هوشمندسازی وسائل نقلیه و جاده‌ها نیز تحقیقات زیادی انجام شده و سازوکارهایی به‌ویژه طی بیست سال گذشته طراحی و اجرا شده است. صاحب‌نظران علم حمل‌ونقل هوشمند، همچنین در زمینهٔ جاده‌هایی که از گذشته تا به‌حال به‌عنوان امکانات ثابت حمل‌ونقل در قالب ساختارهایی که فقط برای ایجاد سطح صاف و هموار و ایمن ساخته شده‌اند، نگرش‌های نوینی را مطرح کرده‌اند. برای مثال، نگرش مهندسان برای ساخت خودروهای برقی و کم‌توانی آنها در طی مسافت‌های زیاد بدون شارژشدن تا حد زیادی دگرگون شده است.

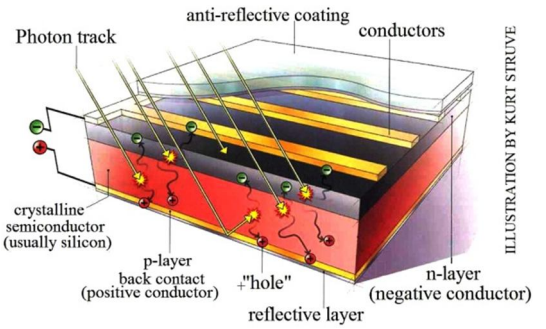
مسئلهٔ اصلی، رفع موانع گسترش استفاده از وسائل برقی در کشورهای صنعتی بوده است. مسئله‌ای که با ظهور حمل‌ونقل هوشمند و رویکرد چندکاربردی بودن مؤلفه‌های آن و همچنین به مخاطره افتادن محیط زیست و افزایش گازهای گلخانه‌ای، اینک راه‌حلی به نام جاده‌هایی با روسازی خورشیدی برای تولید برق مورد نیاز خودروهای برقی در حین حرکت، و انجام اموری در مدیریت ترافیک البته به‌صورت هوشمندانه پیدا کرده است. جادهٔ خورشیدی، جاده‌ای است که سطح آن، حجم قابل توجهی از پرتوهای خورشیدی را جذب و با استفاده از فتوولتائیک، انرژی الکتریکی تولید نماید. چنین جاده‌ای شامل پنل‌های خورشیدی و ال. ای. دی. های علامت‌دهنده می‌باشد، که می‌تواند رانندگی ایمنی را در هر زمانی میسر سازد [۱-۲]. طراحان عقیده دارند که می‌توان روسازی جاده‌ها را به‌جای استفاده از آسفالت و بتن، با روکش شیشه‌ای شفاف کامپوزیتی و سلول‌های خورشیدی ساخت. شیوه‌ای که در صورت حمایت، می‌تواند تا حد زیادی نیاز به تولید برق در جهان با شیوه‌های سنتی نظیر نیروگاه‌های حرارتی را برطرف نماید [۲-۳].

۲. سلول‌های خورشیدی

سلول‌های خورشیدی اولیه بر پایهٔ مواد نیمه‌رسانا شکل گرفتند. اولین نسل از سلول‌های خورشیدی، سلول‌های خورشیدی غیرآلی مبتنی بر سیلیکون بوده‌اند. اما با گذشت زمان و به‌وجود آمدن نیازهای جدید، محققان به‌سمت طراحی سلول‌های خورشیدی نوین متمایل شدند. در سال‌های اخیر، ساخت و توسعهٔ سلول‌های خورشیدی کم‌هزینه‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از اینرو مواد آلی که در مقایسه با مواد غیرآلی ارزان‌تر بوده و به روش ساده‌تری سنتز می‌شوند، مورد استفاده قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داده است که سلول‌های خورشیدی پلیمری نیمه‌هادی، توانایی جذب انرژی نورانی خورشید و تبدیل آن به الکتریسیته را دارا هستند و از طرف دیگر مزایایی چون انعطاف‌پذیری و قابلیت ساخت در ابعاد بزرگ را دارند. همچنین نسبت به سلول‌های خورشیدی سیلیکونی ارزان‌ترند که این امر سبب می‌شود بازدهی کمتر این سلول‌ها قابل اغماض باشد. در واقع مسئلهٔ اصلی در انواع مختلف سلول‌های خورشیدی، مسئلهٔ بازدهی است. بیش از یک دهه است که محققان در حال تحقیق روی افزایش بازده این سلول‌ها هستند. همزمان با بهبود بازدهی، دانشمندان سعی در افزایش طول عمر و انعطاف‌پذیری سلول‌های خورشیدی دارند. سلول‌های فتوولتایی یکی از منابع خوش‌آتیهٔ تأمین انرژی در جهان هستند که در آنها با استفاده از مواد فتوولتاییک نور خورشید به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. در سال‌های اخیر، مواد حساس به نور که در این سلول‌ها به‌کار می‌روند موضوع تحقیقات بسیاری را به‌خود اختصاص داده‌اند. سلول فتوولتائیک (شکل ۱) یک ابزار تولید برق است که با استفاده از نیمه‌هادی که اثر فتوولتائیک را ارائه می‌کند، تابش و تشعشع خورشید را به جریان مستقیم برق تبدیل می‌نماید. برای تولید برق فتوولتائیک باید پنل‌های خورشیدی متشکل از سلول‌های خورشیدی حاوی مواد فتوولتائیک را به‌کار برد [۴].

در سال‌های اخیر، با توجه به افزایش تقاضای منابع انرژی تجدیدپذیر، ساخت سلول‌های خورشیدی و آرایه‌های فتوولتائیک به‌طور قابل‌توجهی توسعه یافته است [۲]. اغلب سیستم‌های فتوولتایی از مونوکریستال‌ها یا پلی‌کریستال‌های سیلیکون ساخته می‌شوند. از جمله ترکیبات جدیدی که امروزه در ساخت سلول‌های

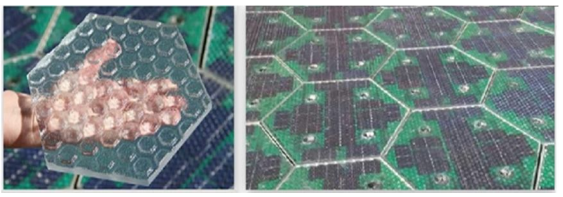
فوتوولتایی استفاده می‌شوند، انواع نانوساختارهای کربن هستند که به‌دلیل خواص نوری، فیزیکی، و شیمیایی منحصر به فردشان به‌عنوان موادی ارزان و پاک برای تولید انرژی پیشنهاد می‌شوند. در این سلول‌ها به منظور افزایش شفافیت از شیشه‌های ITO [۳] استفاده می‌شود. به‌دلیل هزینهٔ بالای این شیشه‌ها، تلاش‌هایی برای جایگزینی آنها با مواد ارزان‌تر و انعطاف پذیرتر در جریان است. به‌عنوان مثال، ایهن و همکاران (۲۰۱۱) با جایگزین‌کردن GZO [۴] به‌جای ITO سلول خورشیدی پلیمری تولید کردند که با وجود شفافیت کمتر دچار افت بازده نشد [۵]. برای افزایش بازده تبدیل انرژی نورانی خورشید نیز ابتکارات متنوعی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به استفاده از نانوساختارهای کربن در نقش الکترودهای حساس به فوتون برای تبدیل انرژی نورانی خورشید به جریان الکتریسیته اشاره نمود.



شکل ۱. ساختار سلول فتوولتاییک خورشیدی برای تولید الکتریسیته [٤]

۳. پیشینهٔ جاده‌های خورشیدی

ابداع جادهٔ خورشیدی نخستین‌بار توسط شرکت جاده‌های خورشیدی [۵] در ایالت آیداهو آغاز شد. فناوری مورد استفاده، یک سطح کامپوزیتی شفاف را با سلول‌های خورشیدی، که در زیر آن قرار گرفته‌اند، ترکیب می‌کند. قطعات الکترونیکی و حسگرها نیز به‌عنوان آرایهٔ خورشیدی با قابلیت برنامه‌ریزی عمل می‌کنند. شرکت جاده‌های خورشیدی در سال ۲۰۰۶ م تأسیس شد و برای نصب پنل‌ها در جاده‌ها و ایمن‌سازی جاده، سیستمی تحت عنوان جادهٔ خورشیدی را وارد فاز تجاری‌سازی نمود [۳–۱]. پژوهشگران این شرکت صفحات خورشیدی ویژه‌ای طراحی کرده‌اند که از توان بالایی در تحمل فشار ناشی از حرکت خودروهای سبک و سنگین برخوردارند و بلوک‌های آن قادر خواهند بود تا بار کامیون‌هایی به وزن تقریبی تا ۱۱۵ تن را نیز تحمل کنند. پیش‌بینی شده است که با جایگزینی حدود ۷۵۰۰۰ کیلومتر مربع از روسازی جاده‌های موجود امریکا با روسازی خورشیدی، دیگر نیازی به استفاده از ژنراتورهای برق با سوخت فسیلی نخواهد بود [۸–۶]. با طراحی بلوکی شش‌ضلعی حاوی سلول خورشیدی محافظت‌شده با پوششی ضخیم و مقاوم از جنس شیشه (شکل ۲)، گام مهمی در این فناوری؛ یعنی تولید برق با صفحات خورشیدی، برداشته شده است. به‌عنوان ایده‌ای دیگر تصور کنید چنانچه از لامپ های ال. ای. دی. در این روسازی استفاده شود، دیگر نیازی به خط‌کشی و درج علائم نوشتاری و یا علائم افقی ترافیکی نخواهد بود [۸–۹].



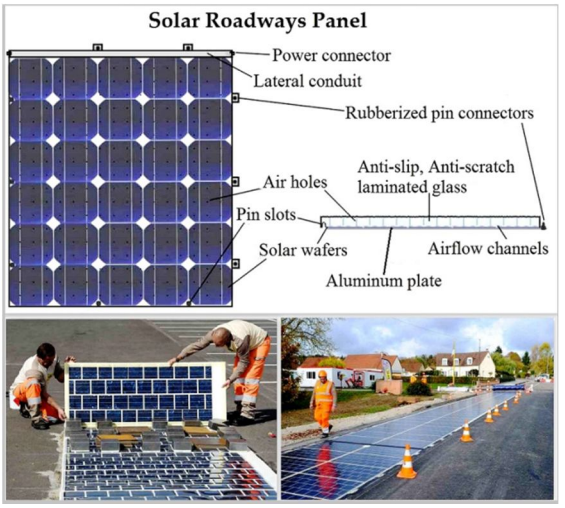
شکل ۲. نمایی از بلوک شش‌ضلعی و شیشهٔ شفاف مقاوم مورد استفاده در پنل خورشیدی [٦]

نخستین نصب و راه‌اندازی برای استفادهٔ عموم، در اواخر سال ۲۰۱۶ م، در شهر سندپوینت ایالت آیداهو در محل پیاده‌روی مردم بود (شکل ۳). این مجموعه شامل ۳۰ پنل جادهٔ خورشیدی است و مساحتی در حدود ۱۴ مترمربع را پوشش می دهد. این شرکت در حال توسعهٔ پنل‌های جاده‌های هوشمند خورشیدی به‌شکل یک بزرگراه هوشمند است و برای توسعه و تجاری‌سازی تولید پنل‌های جاده، که از مواد بازیافتی و ترکیب سلول‌های فتوولتائیک ساخته می شوند، تلاش می‌کند.

شکل ۳. نمایی از جاده خورشیدی در شهر سندپوینت [۱۰]

در اواخر سال ۲۰۱۶ م، یک جادهٔ خورشیدی در فرانسه نیز افتتاح شد. این جادهٔ یک‌کیلومتری، که مراحل توسعهٔ آن حدود پنج سال به طول انجامید، تقریباً ۲۷۸۷ متر مربع پنل خورشیدی استفاده می‌کند و هزینه‌ای معادل ۵/۲ میلیون دلار داشته است

[۱۱]؛ یعنی حدود ۱۸۷۰ دلار برای هر متر مربع. سطح این پنل‌ها به‌طور کامل با رزین سیلیکونی پوشانده شده تا عبور و مرور خودروها آسیبی به آن وارد نکند. در واقع این پنل‌ها از سلول‌های خورشیدی معمول ساخته می‌شوند، اما چند لایه پلاستیک روی آنها به‌کار رفته تا قالب سختی برای مقاومت در برابر فشار زیاد ایجاد کند. همچنین در پنل‌ها سیم‌کشی الکتریکی نیز انجام شده و رویهٔ سیم‌ها دارای لایه‌ای از شیشه شفاف پلیمری مقاوم هستند تا از لیز خوردن جلوگیری شود (شکل ۴).



شکل ٤. نمایی جادهٔ خورشیدی در فرانسه و پنل مورد استفاده در آن

٤. پنل‌های خورشیدی

ساختار پنل‌های خورشیدی در شکل ۵ نمایش داده شده است. یک پنل خورشیدی از سه لایه تشکیل می‌شود [۳]:

٤-١. لایهٔ سطح جاده

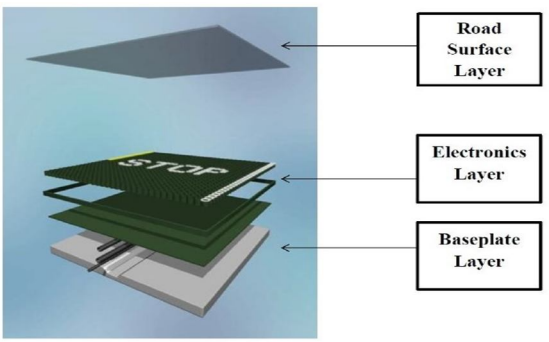
لایهٔ سطح جاده از جنس شیشهٔ منسوج با شفافیت و مقاومت بالاست که می‌تواند مقدار کافی از نور خورشید را برای رسیدن به سلول‌های خورشیدی تجمیع‌کننده تعبیه‌شده در داخلش، همراه با ال. ای. دی. ها و المان‌های حرارتی عبور دهد. بافت این لایه باید قادر به تحمل سنگین‌ترین بار تحت بدترین شرایط و وضعیت آب و هوایی باشد، تا از لایه‌های الکترونیکی زیرین نیز محافظت کند.

٤-٢. لایهٔ الکترونیکی

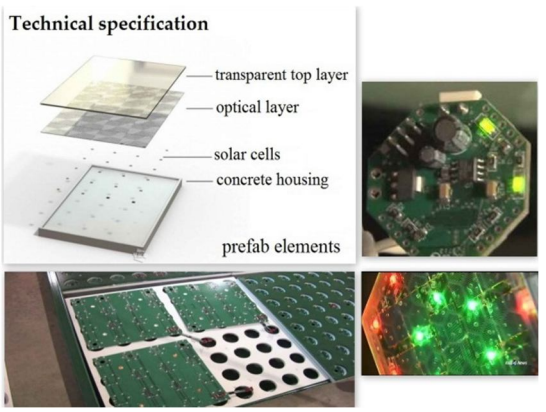
این لایه شامل سلول‌های فتوولتائیک می‌باشد که انرژی خورشیدی را جذب می‌کند. شکل ۶ آرایش الکترونیکی این لایه را به‌خوبی نشان می‌دهد که شامل یک بورد ریزپردازنده با مدار پشتیبانی برای سنجش بار روی سطح و کنترل یک المان حرارتی است. با این فناوری دیگر نیازی به زدودن برف و یخ از جاده نخواهد بود. ریزپردازنده‌ها که به فاصلهٔ ۱۲ فوت (۳/۶۶ متر) از هم نصب می‌شوند، ارتباطات، روشنایی، نظارت و غیره را کنترل می‌کنند و جادهٔ خورشیدی را به یک جادهٔ هوشمند ارتقاء می‌دهند.

٤-٣. لایهٔ صفحهٔ پایه

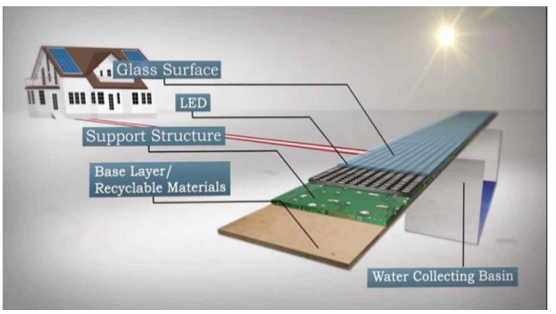
ضمن تجمیع انرژی خورشیدی توسط لایهٔ الکترونیکی، لایهٔ پایه باید بتواند توان تأمین‌شده و همچنین سیگنال‌های داده‌ای (مانند تلفن، اینترنت و جز این‌ها) را به تمام منازل مسکونی و مراکز تجاری متصل به جادهٔ خورشیدی توزیع نماید (شکل ۷). ضمناً این لایه ضدآب است تا از لایه‌های الکترونیکی بالایی نیز محافظت کند.



شکل ۵. اجزای سه‌گانهٔ یک جادهٔ خورشیدی [۳]



شکل ٦. آرایش الکترونیکی در پنل‌های خورشیدی [٦].



شکل ۷. توزیع توان و سیگنال‌های داده‌ای توسط لایه پایه [۱]

۵. مزایای جادهٔ خورشیدی

در این بخش برخی از مزایای جادهٔ خورشیدی به اختصار بیان می‌شود.

۵-۱. تجدیدپذیری و طول عمر

مزیت اصلی جادهٔ خورشیدی این است که یک منبع انرژی تجدیدپذیر و دائمی برای تولید برق است. همچنین وابستگی به منابع مرسوم مانند ذغال سنگ، نفت و سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد.

۵-۲. حفاظت از محیط زیست

محققان با آگاهی از مضرات روسازی‌های سنتی آسفالتی و بتنی در مراحل تهیه و ساخت آن در قبال محیط زیست و منابع انرژی تجدیدناپذیر، برای جایگزینی سطح روسازی با صفحات خورشیدی که از نظر عملکرد بتواند پاسخگوی کاربران باشد و همچنین بخشی از انرژی مورد نیاز را تامین کند، تلاش کرده‌اند [۱-۲]. در واقع با طراحی بلوک شش‌ضلعی سلول خورشیدی محافظت شده با پوششی ضخیم از شیشه، گام مهمی در حفاظت از محیط زیست و کاهش گازهای گل خانه‌ای برداشته شده است [۳ ، ۸].

۵-۳. روشنایی جاده‌ها

با اضافه‌کردن ال. ای. دی. زیر پنل شفاف، جاده می‌تواند در هنگام شب مطمئن و ایمن، با ظاهری زیبا و روشن باشد [۱-۲]. در این جاده‌ها به‌دلیل امکان استفاده از لامپ‌های ال. ای. دی.، دیگر نیازی به اجرای علائم و خط‌کشی به‌صورت سنتی نیست. همچنین این فناوری اجازه می‌دهد تا پیام‌های مورد نظر روی سطح جاده ترسیم شود. مانند شکل ۸ که پیام هشداردهندهٔ کاهش سرعت، یا تصادف پیش‌رو را نشان می‌دهد. دید بهتر در شب با خطوط روشن جاده و وضوح دید لبه‌های جاده، باعث کاهش تصادفات و سوانح رانندگی نیز می‌گردد [۲].

شکل ۸. پیام های هشداردهنده روی سطح جاده

۵-۴. شارژ خودروهای برقی و وسائل الکترونیکی

علاوه بر بهره‌مندی مناطق مسکونی و تجاری اطراف از انرژی الکتریکی، حریم جاده نیز از آن بهره‌مند می‌گردد. ضعف عمدهٔ خودروهای برقی، محدودیت در شارژ باطری آنهاست که از طریق شارژ بی‌سیم در این جاده‌ها برطرف می‌شود. این مزیت، انسان را به رؤیای سیستم جاده‌ها و خودروهای هوشمند در حوزهٔ فناوری حمل‌ونقل هوشمند نزدیکتر می‌کند [۱۲].

۵-۵. گرمکن خودکار جاده‌ها

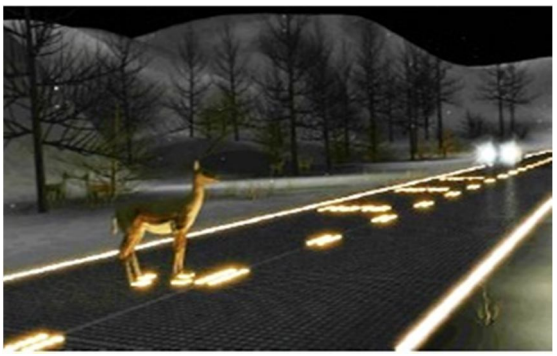
در مناطق سردسیر با تعبیهٔ تجهیزات گرمایشی کوچک در مسیر جاده می‌توان از یخزدگی و لغزنده‌شدن سطح جاده جلوگیری کرد [۹]. نمونهٔ آن در شکل ۹ مشاهده می‌شود. با استفاده از حسگرهای حرارتی یا سرمایی در مواقع لازم با بهره‌گیری از برق ذخیره‌شده در سطح جاده‌ها سیستم گرمکن خودکار جاده‌ها را فعال می نمایند [۸-۷].

شکل ۹. نمایی از کارکرد گرمکن پنل خورشیدی

۵-۶. کاهش تصادفات جاده‌ای و تصادف با حیوانات

یکی دیگر از مزایای مهم این فناوری، توجه به حیات وحش در اطراف جاده‌هاست [۳]. همه‌ساله شمار قابل توجهی از حیوانات در حالی‌که از جاده‌ها عبور می‌کنند، قربانی برخورد شدید با خودروها می‌شوند. در کنار روش‌های مختلف جلوگیری از این برخوردها، روش سیستم جاده‌های خورشیدی هوشمند مطرح می‌باشد. در صورت توسعهٔ این فناوری، این مشکل برای همیشه برطرف می‌شود. چون محققان با استفاده از حسگرهایی مخصوص، این صفحات خورشیدی را به‌گونه‌ای ساخته‌اند که به راحتی احشام در

حال عبور را تشخیص داده و در چنین حالتی علائم هشداردهنده‌ای را منتشر می‌کند که حتی در هنگام شب نیز به‌راحتی قابل رؤیت است. شکل ۱۰ طرح شناسایی حیوانات به‌وسیلهٔ حسگر و علائم هشداردهنده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. طرحی از جاده‌های هوشمند برای شناسایی حیوانات [۳]

٦. چالش‌ها

۱. هزینهٔ تعمیر و نگهداری: با گذشت زمان، سطح جاده با لاستیک، نمک، خاک و مواد دیگر انباشته می‌شود که باعث مسدودشدن دریافت نور خورشید توسط پنل شده و باید برطرف شوند. در این شرایط دوام پنل‌ها نیز ممکن است کمتر شود، در نتیجه هزینهٔ تعمیر و نگهداری افزایش می‌یابد [۱–۲].

۲. عدم ثبات کارایی در فصل‌های مختلف: برای مثال در هند، جادهٔ خورشیدی در فصل تابستان به‌طور کارآمد و مؤثر کار خواهد کرد، اما بهره‌وری آن در فصول دیگر به‌علت عدم تابش کافی خورشید، نسبتاً کمتر است. در حالی‌که در برخی از کشورها علاوه بر تابستان، بیش از نیمی از سال این روش می‌تواند کاملاً مؤثر باشد [۱–۲].

۳. هزینهٔ بالا و مشکلات اجرایی سیستم هوشمند: مهمترین مانع اجرای این سیستم، هزینهٔ بسیار بالای آن است. طبق برآورد ادارهٔ بزرگراه فدرال، در حال حاضر قیمت یک پنل خورشیدی مربع شکل با طول ضلع ۳/۶۶ متر، تقریباً ۱۰۰۰۰ دلار است. بنابراین ساخت و نصب یک متر مربع از این پنل‌ها هزینه‌ای در حدود ۷۵۰ دلار دارد. البته اگر وارد مرحلهٔ تولید انبوه شود، قیمت هر پنل به کمتر از ۷۰۰۰ دلار خواهد رسید [۱۳]. این رقم گرچه در نگاه نخست بسیار بزرگ به نظر می‌رسد، اما طی برآوردهای انجام‌شده توسط محققان، هزینه‌های مرگ‌ومیر ناشی از تلفات جاده‌ای به‌مراتب بیشتر از هزینهٔ ساخت چنین جاده‌هایی می‌باشد [۷–۸].

۷. نتیجه‌گیری

جاده های خورشیدی گامی ارزشمند در ایجاد بزرگترین پنل‌های خورشیدی جهان هستند. این جاده‌ها انرژی تابشی خورشید را جذب می‌کنند و می‌توانند به‌صورت کاملاً هوشمند توسط المان‌های حرارتی، خود را از یخزدگی مصون نگاه دارند و همچنین عبور حیوانات را از روی سطح خود تشخیص داده و توسط ال. ای. دی. ها علامت دهند. این جاده‌ها همچنین وسائل الکترونیکی را به‌طور بی‌سیم شارژ می‌کنند. مهمترین مزایای جاده خورشیدی عبارت‌اند از: ایجاد زیرساخت یک بزرگراه امن هوشمند، ایجاد یک منطقهٔ امن، غیر متمرکز، شبکهٔ برق خودکفا و هوشمند، از بین بردن نیاز به نیروگاه‌های ذغال سنگی یا هسته‌ای، کاهش وابستگی به نفت و دیگر سوخت‌های فسیلی مانند ذغال سنگ و گاز طبیعی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارائهٔ شرایط رانندگی ایمن‌تر، جلوگیری از نشست برف و یخزدگی روی جاده یا در معابر پیاده‌رو و حفاظت از حیات وحش. این فناوری اکنون در مراحل اجرا و آزمایش است و نتایج موجود، اهمیت و منحصر به‌فرد بودن جادهٔ انرژی خورشیدی را نشان می‌دهند. با اینحال، هزینهٔ نصب و راه‌اندازی بسیار بالای این فناوری جدید برای جایگزین‌کردن سیستم‌های سوخت فسیلی قابل توجه است. اگرچه می‌تواند انرژی پاک و بدون هیچ‌گونه تغییرات اقلیمی و آب‌وهوایی را تأمین نماید.

۸. مآخذ

[1] A. Mehta, N. Aggrawal, A. Tiwari, Solar Roadways-The future of roadways, *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, Vol. 2, Special Issue 1, pp. 161-163, May 2015.

[2] A. A. Kulkarni, Solar Roadways, Rebuilding our Infrastructure and Economy, *International*

Journal of Engineering Research and Applications, Vol.3, Issue 3, pp.1429-1436, May-Jun 2013.

[3] A. J. Renoald, V. Hemalatha, R. Punitha, M. Sasikala, M. Sasikala, Solar Roadways-Rebuilding our Infrastructure and Economy, *Int. Journal of Electrical and Electronics Research*, Vol.4, Issue 2, pp.14-19, April-June 2016.

[4] J. Chaname, the Power of the Sun Gods: Future of Solar Energy, *UC Merced Undergraduate Research Journal*, Vol. 8, No. 2, 2016.

[5] S. Gh. Ihn, K. Sik Shin, Mi. Jin Jin, X. Bulliard, et al., ITO-free inverted polymer solar cells using a GZO cathode modified by ZnO, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 95, pp. 1610–1614, 2011.

[6] Er. R. Ranjan, Solar Power Roads: Revitalising Solar Highways, Electrical Power and Smart Grids, *Int. Journal of Engineering Research and General Science*, Vol. 3, Issue1, pp. 380-385, Jan.-Feb. 2015.

[7] A. Northmore, S. Tighe, Innovative Pavement Design: Are Solar Roads Feasible?, In Conference of the Transportation Association of Canada Fredericton, New Brunswick, 2012.

[8] B. Hartwig, Solar Roadways: The Future We has Been Looking For, University of Southern California, September 6, 2014.

[9] P. Harrop, Solar roads find many uses, Electricity+Control, April 2016, pp. 46-7.

[10] IDTechEx Research, World's first ever public installation of Solar Roadways! Oct 2016, http://www.cityofsandpoint.com/visiting-sandpoint/solar-roadways.

[11] World's First Solar Road Opens in France, https://www.cnet.com/news/worlds-first-solar-road-opens-in-france (accessed 02/08/2017).

[12] P. Oad, A. Kumar, S. L. Kajewski, Innovative Technologies in Road Sector, In the Eighth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements, Singapore, July 2016, pp. 765-773.

[13] M. Randelhoff, Solarautobahnen: stromerzeugende Straßen aus Glas und Solarzellen, at: http://www.zukunft-mobilitaet.net/2496/umwelt/solarautobahnen-stromerzeugende-strassen-scott-brusaw-glas-und-solarzellen (accessed 5/2/2017).

پی‌نوشت

1. LEDs
2. driving under the influence (DUI)
3. Indium-Tin-Oxide
4. Gallium-doped Zinc Oxide (ZnO)
5. solar roadways