امکان سنجی تولید انرژی الکتریسیته از جریان هوای ایجاد شده توسط خودروهای در حال حرکت در جاده‌ها

محمد جمشیدپویا[۱]، غلامحسن نجفی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

* ایمیل نویسنده مسئول: najafi14@gmail.com

چکیده

باد یکی از منابع تجدیدپذیر انرژی در طبیعت می‌باشد که در سالهای اخیر به عنوان یک منبع مناسب برای تولید انرژی الکتریسیته مورد استفاده قرار گرفته است. اما احداث نیروگاه‌های برق بادی در هر منطقه‌ای امکان پذیر نیست و از طرفی هم هزینه‌های بالایی دارد و هم نیازمند مطالعات دراز مدت و محاسبات دقیق می‌باشد. به منظور تولید توان الکتریسیته از انرژی باد می‌توان از روش‌های دیگری ا ستفاده نمود. در این تحقیق امکان سنجی تولید انرژی الکتریسیته با ا ستفاده از جریان هوای ایجاد شده توسط خودروهای در حال حرکت در جاده‌ها مورد بررسی قرار گرفت است. بدین منظور، در بزرگراه شیخ فضل الله نوری (بزرگراه تهران- کرج)، در محدوده‌ی پل صادقیه، آزمایش‌هایی در ۷ نقطه و در م سیر حرکت اتومبیل‌ها صورت گرفت و سپس با ا ستفاده از یک مدل ریا ضی میزان توان تولیدی در هر نقطه تخمین زده شد. نتایج حا صل از این پژوهش نشان داد که در محدوده انتخاب شده، خودروهای درحال عبور از خطوط سبقت بزرگراه (نقاط ۴ و ۷) می‌توانند به صورت میانگین جریان هوایی با سرعت حدودا ۵/۵ متر بر ثانیه تولید کنند که این مقدار در مقایسه با میانگین سرعت باد در مناطق بادخیز کشور مقدار مناسبی بوده و می‌توان از آن به منظور تولید انرژی الکتریسیته استفاده نمود. به طور کلی این پژوهش نشان داد که در صورت وجود شرایط مناسب (تعداد خودروهای در حال عبور در واحد زمان و سرعت مناسب خودروها) ، می‌توان به راحتی از این پتانسیل موجود در جاده‌ها برای تولید توان الکتریسیته استفاده نمود.

کلمات کلیدی: انرژی باد، برق بادی، تولید برق در جاده، میکروتوربین

مقدمه

مطالعه امکان ســـنجی، مطالعه ای اســـت که قبل از آغاز عملیات اجرایی پروژه انجام و در آن توجیه پذیری یا معقول بودن اجرای پروژه برر سی می شود (سازمان انرژهای نو، ۲۰۱۴). سوخت‌های فسیلی از بیش از سیصد میلیون سال پیش شروع به شکل‌گیری کرده‌اند، به بیان دیگر سوخت‌های فسیلی موجود در جهان طی سیصد میلیون سال تشکیل شده‌اند. بنابراین اگر این منابع روزی به پایان بر سند، برای تشکیل دوباره، چند صد میلیون سال زمان لازم ا ست. علاوه بر این، ا ستفاده از این مواد همواره باعث شده که سالانه چندین تن گازهای سمی گوگرد دی‌اک سید، نیتروژن دی‌اک سید و کربن مونواک سید در جو زمین رها شود. بنابراین جهان خواه ناخواه باید به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر پیش برود.

باد یکی از منابع تجدیدپذیر در طبیعت می‌با شد که می‌تواند به عنوان یک منبع منا سب برای تولید انرژی مورد ا ستفاده قرار گیرد. علاوه بر کاربردهایی مانند آ سیاب کردن و پمپاژ آب که در گذ شته مورد ا ستفاده بوده، در حال حا ضر از توان بادی به منظور تولید انرژی الکتریسیته استفاده می‌شود. تولید برق از نیروی باد توسط توربین‌های بادی و در نیروگاه‌های برق بادی صورت می‌گیرد. چون ظرفیت این نیروگاه‌ها در مقایسه با نیروگاه‌های متداول سوخت فسیلی پایین ا ست در عمل تعدادی از این توربین‌ها بصورت یک نیروگاه بکار گرفته می‌شـوند. برای احداث یک نیروگاه برق بادی باید موارد زیادی در نظر گرفته شـود. با توجه به آنکه منبع تولید انرژی (باد) در اختیار طبیعت بوده و د ستر سی دائم به آن میسر نیست، لذا در این پروژه‌ها مطالعه امکان سنجی و ا ستفاده از آمار و داده‌های طولانی مدت در مورد منبع انرژی تجدیدپذیر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود (ســـازمان انرژی‌های نو، ۲۰۱۴). در این نیروگاه‌ها توربین‌های بادی باید در مکان‌هایی نصب شوند که مقدار انرژی تولید شده جواب‌گوی مصرف با شد و از نصب توربین‌ها در مکان‌هایی که امکان آسیب رسیدن به توربین وجود دارد، پرهیز شود. نحوه‌ی چیدن و نصب توربین‌های بادی در این نیروگاه‌ها به محاســـبات دقیقی نیاز دارد که تداخل جریان باد بین توربین‌ها به صـــورت بهینه انجام گیرد و برق تولیدی حداکثر شود و در ضمن آلودگی صوتی در منطقه ایجاد نشود (جمیل و همکاران، ۱۳۸۵). به طور کلی می‌توان گفت که احداث یک نیروگاه برق بادی نیازمند مطالعات زیاد و صـــرف هزینه‌های مالی بالایی می‌باشـــد. برای تولید برق با اســـتفاده از پتانســـیل باد می‌توان از روش‌های دیگری استفاده نمود که علاوه بر هزینه اولیه کمتر نیازمند طول دوره مطالعه کوتاه‌تری نیز باشد. هنگامی که یک خودرو در یک مسیر شروع به حرکت می‌کند در قسمت انتهای آن یک ناحیه کم فشار ایجاد می‌شود. که پس از عبور خودرو هوای اطراف به دلیل اختلاف فشار، به سمت این ناحیه حرکت می‌کند تا فشار ناحیه کم فشار با محیط به تعادل برسد. این پدیده با حرکت خودرو به صورت پیو سته در طول مسیر حرکت به وقوع می‌پیوندد. جابجایی هوای محیط به این ناحیه کم فشار باعث می شود که پس از عبور خودرو جریان هوایی در مسیر حرکت به وجود آید که شدت این جریان به سرعت، ابعاد و شکل خودرو بستگی دارد.

هدف از این تحقیق اندازه‌گیری سرعت جریان هوای به وجود آمده توسط خودروهای در حال حرکت در خطوط مختلف یک بزرگراه و پیش بینی توان تولید شده با استفاده از یک مدل ریاضی، به منظور امکان‌سنجی تولید انرژی الکتریسیته از جریان هوای ایجاد شده توسط خودروها و همچنین تشخیص مناسب‌ترین خطوط برای نصب میکروتوربین‌های بادی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، بزرگراه شیخ فضل الله نوری (بزرگراه تهران–کرج) جهت انجام آزمایشات امکان‌سنجی انتخاب شده و اندازه‌گیری‌ها در نقاطی که در شکل ۱ نشان داده شده است صورت پذیرفت. در این شکل نقطه‌ی ۱ در فاصله حدودا ۴ متری از بزرگراه، به منظور اندازه‌گیری سرعت هوای محیط انتخاب شد. نقطه ۲ در حاشیه سمت راست مسیر کندرو کرج به تهران، نقطه ۳ روی گاردریل سمت راست مسیر تندرو کرج به تهران، نقطه ۴ و ۷ روی گاردریل سمت چپ مسیر تندرو کرج به تهران، نقطه ۵ روی گاردریل سمت چپ مسیر تهران به کرج و نقطه ۶ در حاشیه‌ی سمت راست مسیر کندرو تهران به کرج انتخاب شد.

شکل ۱- نقاط مشخص شده برای اندازه‌گیری

آزمایش‌ها در یک روز آفتابی و آرام انجام شدند. سرعت جریان باد تولید شده توسط خودروها با استفاده از یک بادسنج پره‌ای مدل Lutron با کد LU0805078، اندازه‌گیری شد. در تمامی آزمون‌های انجام شده در این نقاط حسگر باد سنج (پروانه) روی لبه گاردریل کنار جاده و به صورتی که محور آن موازی با جهت حرکت خودروها باشد قرار گرفت (شکل ۲).

شکل ۲- موقعیت سنسور باد سنج

به منظور تفکیک سرعت باد نا شی از حرکت خودروها از سرعت باد محیط، همزمان با هر اندازه‌گیری در هر نقطه، سرعت باد محیط نیز با اســتفاده از یک باد ســنج فنجانی مدل Lutron با کد AM4220 اندازه‌گیری شــد. ســرعت باد محیط در نقطه ۱ اندازه‌گیری شد. موقعیت این نقطه به صورتی انتخاب شد که هم کمترین فاصله را با نقاط تعیین شده برای اندازه‌گیری سرعت باد در بزرگراه دا شته با شد و هم فا صله آن تا بزرگراه به اندازه‌ای با شد که تحت تاثیر جریان هوای تولید شده نا شی از حرکت خودروها نباشد.

در هر کدام از نقاط مشخص شده در شکل ۱ سرعت هوای نا شی از حرکت خودروها در سه بازه‌ی یک دقیقه‌ای به صورت جداگانه و بدون هیچ ترتیب خا صی اندازه‌گیری شد. چون باد سنج‌های ا ستفاده شده در این تحقیق فاقد قابلیت ذخیره اطلاعات بودند، به منظور ذخیره داده‌ها، در طول هر آزمون از صفحه نمایشگر باد سنج فیلم برداری شد تا به این و سیله اطلاعات به د ست آمده از هر آزمایش ذخیره شوند. بعد از اتمام آزمایشات با ا ستفاده از فیلم‌های ضبط شده داده‌های هر آزمون در فوا صل زمانی ۴ ثانیه‌ای یادداشت شده و در یک فایل اکسل ذخیره شدند. دمای هوا در حین انجام آزمایش بین ۳۶-۳۷/۵°C بود.

مدل ریاضی

محاســبه توان و در نتیجه انرژی تولید شــده در انواع مختلف توربین‌های بادی، در شــرایط مختلف، از نظر اقتصــادی دارای اهمیت زیادی ا ست. معادله زیر رابطه‌ای ا ست که تو سط شرکت RWE npower به منظور محا سبه توان تولید شده تو سط یک توربین بادی، ارائه شده است.

$$P_{avail} = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_P \quad (1)$$

در جدول ۱ متغیرهای مربوط به رابطه (۱) به ترتیب آورده شده است.

جدول ۱-نماد و واحد متغیرهای رابطه

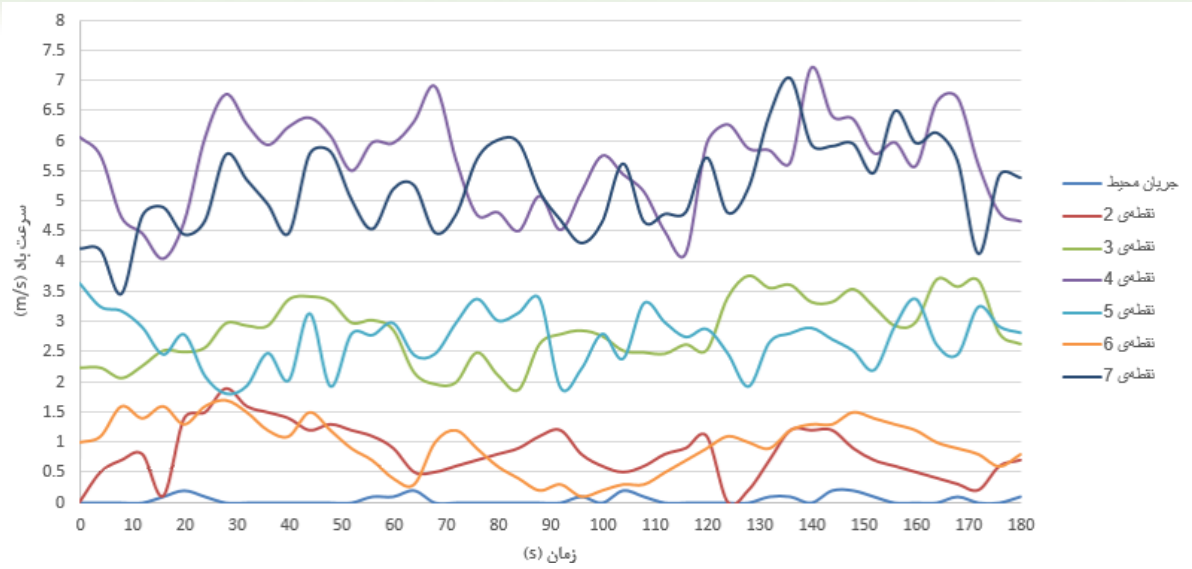
ردیف	نماد متغیر	عنوان	واحد
۱	ρ	توان	W
۲	P	دانسیته	Kg/m^3
۳	A	مساحت جاروب شده	m^2
۴	V	سرعت بار	m/s
۵	C_p	ضریب توان	–

C_P به عنوان حد بتز یا قانون بتز شناخته می‌شود. آلبرت بتز یک فیزیکدان آلمانی بود که در سال ۱۹۱۹، به این نتیجه رسید که هیچ توربین بادی نمی‌تواند بیش از ۵۹٫۳٪ از انرژی جنبشی باد را به انرژی مکانیکی روتور تبدیل کند. C_P برای هر نوع توربین منحصر به فرد است و تابع سرعت بادی است که توربین درآن عمل می‌کند. در دنیای واقعی C_p کمتر از حد بتز است و حد بتز برای بهترین طراحی‌های صورت گرفته برای توربین‌های بادی بین ۳۵٪ تا ۴۵٪ است.

برای استفاده از مدل ارایه شده در این تحقیق، فرض ما بر این است که برای تبدیل انرژی باد به توان مکانیکی از میکروتوربین‌های محور افقی، با طول پره‌های ۵۰ cm استفاده شود و چگالی هوا نیز ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب (چگالی هوا در دمای ۴۰°C) باشد. در محاسبات مقدار C_p برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شده است.

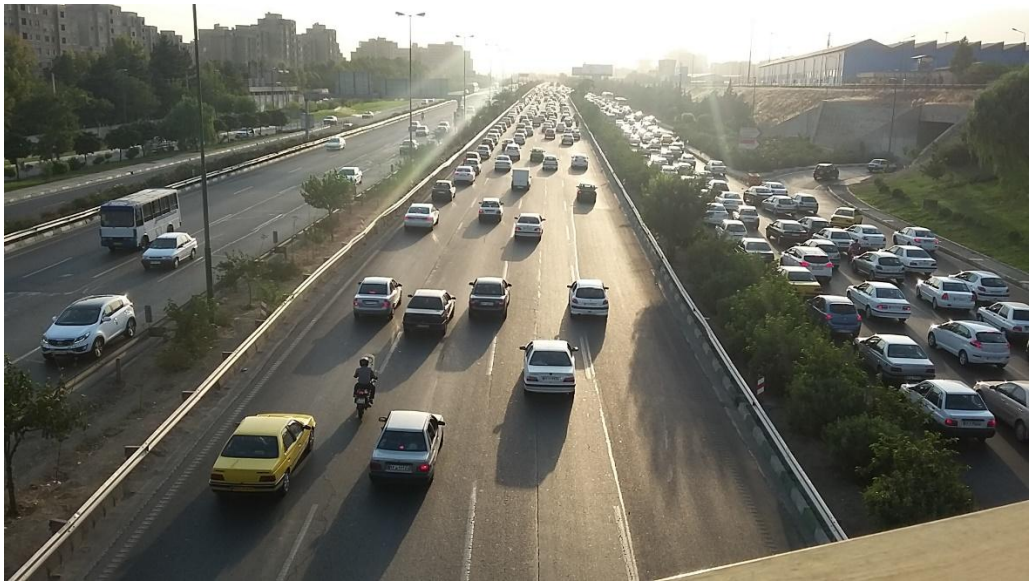
نتایج و بحث

شکل ۳ نمودار تغییرات سرعت باد بر حسب زمان را در نقاط مختلف نشان می‌دهد. در آزمایشات انجام شده همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، جهت حرکت خودروها تقریبا از شرق به غرب یا برعکس است در حالی که جهت وزش باد محیط در حین انجام آزمایش‌ها از جنوب به سمت شمال بود. همان طور که از نمودار پیداست سرعت باد در نقطه ۱ همواره مقداری بین ۰ تا ۰/۲ است. باتوجه به اینکه میانگین سرعت وزش باد در محیط در حدود ۰/۰۵ متر بر ثانیه و جهت وزش نیز تقریبا عمود بر محور پره‌های باد سنج بود، از تاثیر سرعت باد محیط بر روی نتایج حاصل از اندازه‌گیری در دیگر نقاط چشم پوشی شده است.



شکل۳- نمودار نتایج بدست آمده از آزمایشات

نقطه ۲ در سمت راست خط کندرو کرج به تهران قرار دارد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، تعداد بسیار کمی خودرو از این مسیر در حال عبور بودند و همچنین سرعت این خودروها نسبتا پایین بود. به همین خاطر انتظار می‌رفت که در این نقطه جریان هوای ضعیف‌تری شکل بگیرد. سرعت باد در این نقطه بین ۰-۱/۹ m/s و میانگین سرعت باد در این نقطه با توجه به نتایج بدست آمده ۰/۸۳ m/s بدست آمد. باتوجه به مدل ریاضی ارائه شده مقدار توان مکانیکی تولید شده توسط میکروتوربین ۰/۱ W خواهد بود.



شکل٤- وضعیت ترافیک در باندهای مختلف مسیر آزمایش

نقطه ۳ در سمت راست خط تندرو کرج به تهران قرار دارد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، تعداد زیادی خودرو با سرعت بالا از این مسیر در حال عبور هستند. به همین خاطر انتظار می‌رود که در این نقطه جریان هوای قوی‌تری شکل بگیرد.

سرعت باد در این نقطه بین ۳/۷۵ m/s –۱/۸۸ و میانگین سرعت باد، ۲/۸۴ m/s بدست آمد. باتوجه به مدل ریاضی ارائه شده مقدار توان مکانیکی تولید شده توسط میکروتوربین در این نقطه ۴/۳۱ W خواهد بود.

نقاط ۴ و ۷ در سمت چپ خط تندرو کرج به تهران قرار دارند. سرعت خودروها در این خط نسبت به سرعت خودروهای در حال عبور در خطوط سمت راستی بالاتر بود. به همین خاطر انتظار می‌رفت که در این نقاط جریان هوای قوی‌تری نسبت به خطوط کناری تشکیل شود. سرعت باد در این نقاط بین ۷/۲ m/s – ۳/۴۵ بدست آمد. توجه به نتایج بدست آمده میانگین سرعت باد در نقطه ۴ برابر با ۵/۶۲ m/s و در نقطه ۷ برابر با ۵/۲۲ m/s بدست آمد. باتوجه به مدل ریاضی ارائه شده مقدار توان مکانیکی تولید شده توسط هر میکروتوربین در نقطه ۴ برابر با ۳۳/۴۴ W و در نقطه ۷ برابر با ۲۶/۸ W خواهد بود.

نقطه ۵ در سمت راست خط تندرو تهران به کرج قرار دارد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، تعداد زیادی خودرو از این مسیر در حال عبور بودند، اما ورود خودروهای مسیر کندرو به داخل مسیر تندرو در ادامه مسیر، باعث شده بود که ازدحام خودروها بالا رفته و امکان حرکت با سرعت بالا در این مسیر وجود نداشته باشد. به همین خاطر انتظار می‌رفت که جریان هوای نسبتا ضعیفی در این نقطه شکل بگیرد. سرعت باد در این نقطه بین ۳/۷۵ m/s –۱/۸ و میانگین سرعت باد با توجه به نتایج بدست آمده ۲/۷۱ m/s با شد. باتوجه به مدل ریاضی ارائه شده مقدار توان مکانیکی تولید شده توسط هر میکروتوربین در این نقطه W ۳/۷۵ خواهد بود.

نقطه ۶ در سمت راست خط کن رو مسیر تهران به کرج قرار دارد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، تعداد بسیار زیادی خودرو از این مسیر در حال عبور بودند اما بدلیل سرعت بسیار پایین این خودروها انتظار می‌رفت که در این نقطه جریان هوای ضعیفی شکل بگیرد. سرعت باد در این نقطه بین ۱/۷ m/s–۰/۳ و میانگین سرعت باد با توجه به نتایج بدست آمده m/s ۰/۹۶ بدست آمد. باتوجه به مدل ریاضی ارائه شده مقدار توان مکانیکی تولید شده توسط هر میکروتوربین W ۰/۱۶ خواهد بود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که می‌توان از این پتانسیل موجود در جاده‌ها به منظور تولید توان الکتریسیته استفاده نمود. در این تحقیق بیشترین مقدار جریان هوای تولید شده توسط خودروها در محدوده انتخاب شده (زیر پل صادقیه)، بین گاردریل‌های خطوط سبقت (نقطه ۴ و ۷) می‌باشد. مقدار میانگین سرعت در این نقاط حدودا ۵/۴ متر بر ثانیه به دست آمد. با قرار دادن این مقدار در مدل ریاضی ارائه شده، توان خروجی از هر میکروتوربین تقریبا برابر با W ۳۰ خواهد بود. در نتیجه با نصب تعدادی میکروتوربین در طول این مسیر می‌توان براحتی توان لازم برای روشنایی بزرگراه و یا سایر مصارف را تولید کرد. با توجه به اینکه این جریان هوای تولید شده توسط خودروها یکنواخت نیست، به نظر می‌رسد طرح پیشنهاد شده برای تولید جریان برق DC مناسب‌تر و کم هزینه‌تر باشد.

منابع

گندمکار، ا. ۱۳۸۴. ارزیابی پتانسیل باد در کشور ایران. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. شماره ۴. ص ۱۰۰-۸۵.

سازمان انرژی‌های نو. ۱۳۹۳. معیارها و الزاماتی که در نگارش گزارش مطالعه امکان سنجی باید در نظر گرفته شود. ص ۲-۱. قابل دسترس از: www.suna.org.ir/suna_content/media/image/2014/.../3152_orig.pdf

جمیل، م. عباسپور ثانی، ک. خراسانی، ا. ۱۳۸۵. فاصله بهینه بین توربین‌های بادی در یک نیروگاه برق بادی. نشریه بین المللی علوم مهندسی. شماره ۳. جلد ۱۷. ص ۳۶-۳۱.

Y.Zakaria, M. A.Pereira, D. R.Hajj, M. 2015. Experimental investigation and performance modeling of centimeter-scale micro-wind turbine energy harvesters. University of São Paulo

John D. Anderson, JR. 1997. A History of Aerodynamics And Its Impact on Flying Machines. Cambridge University Press

RWE npower company. Wind Turbine Power Calculations. Available from: www.raeng.org.uk/publications/other/23-wind-turbine

TeacherGeek. 2006. Type of Wind Turbines**.** Available from: teachergeek.org/wind_turbine_types.pdf

Anonymous. 2012. Aerodynamics of Car, Seminar Report. Available from: http://pediain.com/seminar/aerodynamics-of-car-seminar.php