فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیستم، شماره ۸۲، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۲-۲۱

تعیین خطوط مناسب برای بکارگیری اتوبوس برقی باتری با شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی و مدل درخت تصمیم مطالعه موردی خطوط اتوبوسرانی تهران

امیررضا مهدوی (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد حمل و نقل، شرکت مهندسان مشاور طرح و تدبیر طابران، تهران، ایران

مهرسا مبین، کارشناس ارشد حمل و نقل، شرکت مهندسان مشاور اندیشکار، تهران، ایران

یاسر تقی‌زاده، مدیرعامل شرکت مهندسان مشاور طرح و تدبیر طابران، تهران، ایران

علیرضا کهندانی تفرشی، معاون برنامه‌ریزی و توسعه شهری شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه، تهران، ایران

E-mail: amirrezamahdavi@modares.ac.ir

چکیده

با توجه به چالش‌های زیست محیطی روزافزون، امروزه شیوه‌های حمل و نقل همگانی پاک بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای بکارگیری اتوبوس‌های برقی باتری که از سوخت پاک بهره می‌برند محدودیت‌هایی همچون میزان پیمایش روزانه وجود دارد. از این‌رو در این پژوهش سعی بر آن شده که با استفاده از داده‌های ۲۰٤ خط اتوبوسرانی شهر تهران (به جز سامانه اتوبوسرانی تندرو) و روابط پیشنهادی برای میزان مصرف انرژی، میزان پیمایش روزانه اتوبوس‌ها در تمامی خطوط شهر تهران با استفاده از شبیه‌سازی حرکت اتوبوس محاسبه شود. همچنین با استفاده از نتایج شبیه‌سازی، یک مدل درخت تصمیم نیز برای تعیین خطوطی که امکان بکارگیری اتوبوس برقی باتری را دارند، پرداخت می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که در ۱۳۲ امکان بکارگیری اتوبوس برقی باتری وجود دارد که متوسط مصرف انرژی در این خطوط ۹۲/۹ کیلووات ساعت است. همچنین نتایج مدل درخت تصمیم بیانگر آن است که شیب مسیر بیشترین تاثیر را در امکان بکارگیری اتوبوس برقی دارد و متغیرهای سرعت متوسط و تعداد مسافران در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند که این نتایج کاملا با نتایج تحلیل حساسیت مصرف انرژی مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: اتوبوس برقی، شبیه‌سازی مصرف انرژی، درخت تصمیم، اتوبوس برقی باتری

۱. مقدمه

شبکه اتوبوسرانی همواره یکی از حیاتی‌ترین زیرساخت‌های شهرها بوده‌اند و نقش مهمی را در جابه‌جایی مسافران ایفا می‌نمایند. یکی از چالش‌های برنامه‌ریزان شهری، انتخاب نوع ناوگان مناسب برای شبکه اتوبوسرانی از نظر هزینه خرید و تعمیر و نگهداری، شاخص‌های زیست محیطی، توانایی پاسخ به تقاضای موجود و... بوده است. در دهه‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر در فناوری تولید باتری‌ها، استفاده از اتوبوس‌های برقی باتری به عنوان شیوه‌ی دوستدار محیط زیست مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان شهری در بسیاری از نقاط جهان قرار گرفته‌است اما علی‌رغم این پیشرفت‌ها، بکارگیری اتوبوس برقی دارای محدودیت‌هایی است و نمی‌توان از آن‌ها در هر شرایطی استفاده نمود.

در پژوهش جاری هدف تعیین خطوط مناسب برای بکارگیری اتوبوس برقی باتری با توجه به میزان پیمایش روزانه آن در شرایط خط است. برای این منظور از داده‌های خطوط اتوبوسرانی شهر تهران (به جز خطوط سامانه اتوبوسرانی تندرو) استفاده می‌گردد. در بخش دوم مقاله، به مرور ادبیات تخصصی، در بخش سوم به روش‌شناسی پژوهش و بعد از آن به تحلیل نتایج پرداخته خواهد شد. در نهایت در بخش آخر جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پژوهش ارائه می‌گردد.

۲. مرور ادبیات تخصصی

استفاده از اتوبوس‌های برقی باتری به‌عنوان یک شیوه حمل‌ونقل همگانی قدمت چندانی ندارد به‌نحوی‌که اولین استفاده و توسعه موفق از اتوبوس‌های برقی به‌عنوان یکی از شیوه‌های ناوگان حمل‌ونقل همگانی، در المپیک سال ۲۰۰۸ در شهر پکن اتفاق افتاد که در آن پروژه از ۵۰ دستگاه اتوبوس تمام برقی ۱۲ متری که دارای باتری‌های ۲٤ ساعته بودند، استفاده گردید. این اتوبوس‌ها با هر بار شارژ مسافتی در حدود ۲۵۰ الی ۳۰۰ کیلومتر را پیمایش می‌کردند. نوع باتری آن‌ها لیتیوم یون با مصرف ۰/٦۳ کیلووات بر کیلومتر بود که هر ۲٤ ساعت با باتری‌های کاملاً شارژ شده جایگزین می‌شدند که برای مکان‌یابی ایستگاه‌های شارژ، تجهیزات مورد نیاز و بررسی عملکرد اتوبوس‌ها مطالعاتی صورت گرفت. بعد از آن با توجه به پیشرفت‌های چشمگیری که در فناوری ساخت باتری‌ها صورت گرفت، استفاده از اتوبوس‌های برقی روز به روز افزایش یافت.

به طور کلی اتوبوس‌های برقی باتری دارای دو نوع شارژ سریع و شارژ شبانه هستند. اتوبوس‌های شارژ سریع دارای باتری‌هایی کوچک، با وزن‌کم و با قابیت ذخیره انرژی کم هستند. این نوع اتوبوس‌ها با توجه به میزان شارژ باتری، در مسیر حرکت در فرصت‌های مناسب در ایستگاه‌های مخصوص شارژ می‌شوند. اتوبوس‌های شارژ شبانه، دارای باتری‌هایی بزرگ، با وزن زیاد و با قابلیت ذخیره انرژی زیاد هستند. این نوع اتوبوس‌ها در محل دپوی شبانه، شارژ می‌شوند و در طی روز مشغول سرویس‌دهی هستند.

لبکوسکی در مطالعه خود با استفاده از روابط فیزیک کلاسیک به شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی باتری، هیبریدی و دیزلی پرداختند. نتایج کار آن‌ها حاکی از آن بود که اتوبوس برقی باتری با مصرف انرژی ۸۵۵ وات ساعت به ازای یک کیلومتر پیمایش، کمترین میزان مصرف انرژی را دارد. در حالی که اتوبوس‌های دیزلی با مصرف ۳۹٦۷ وات ساعت بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که استفاده از اتوبوس‌های برقی با توجه به نوع منبع الکتریکی می‌تواند ۲۷ تا ٤۷ درصد میزان انتشار گاز کربن دی اکسید را کاهش دهد.

در مطالعه دیگری گائو و همکاران با استفاده از روابط فیزیکی کلاسیک و شبیه‌سازی مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی، تاثیر سیستم ترمز احیاکننده (شارژ باتری در هنگام ترمزگیری با انرژی ایجاد شده) را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که استفاده از این سیستم می‌توانند میزان مصرف باتری را تا ۲۹ درصد کاهش دهد.

در برخی مطالعه‌ها به جای استفاده از روابط فیزیک کلاسیک برای محاسبه میزان مصرف انرژی و پیمایش اتوبوس برقی، از تعدادی اتوبوس برقی در مسیرهای مختلف استفاده شده است. در شهر ادمونتن کانادا برای امکانسجی استفاده از اتوبوس برقی از دو نوع اتوبوس برقی در چندین خط مختلف استفاده شد. نتایج این آزمایش حاکی از آن بود که هر دو نوع اتوبوس برقی در شرایط آزمایش، روزانه به طور متوسط حدقل ۲۰۰ کیلومتر پیمایش دارند. ژائو و همکاران در مطالعه‌ای دیگر تعدادی اتوبوس برقی را به صورت آمازیشی بکارگرفتند که نتایج آن‌ها حاکی از آن بود میزان مصرف انرژی اتوبوس‌های برقی باتری ۱۳۸ الی ۱۷۵ کیلووات ساعت به ازای ۱۰۰ کیلومتر پیمایش است. همچنین نتایج آن‌ها نشانگر کاهش چشمگیر میزان مصرف سوخت و انتشار کربن دی اکسید در صورت استفاده از اتوبوس برقی است.

در برخی مطالعه‌های دیگر هزینه‌های چرخه عمر اتوبوس برقی در رقابت با سایر انواع اتوبوس مورد بررسی قرار گرفته است. معیارهایی که برای محاسبه هزینه‌های چرخه عمر مورد استفاده قرار گرفته است شامل هزینه‌ی خرید، هزینه تجهیزات و زیرساخت‌های لازم، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، هزینه‌های ناشی از انتشار آلاینده‌ها، هزینه سوخت و... است. لازم به به ذکر است که در اکثر این مطالعات اتوبوس برقی در مقایسه با سایر اتوبوس‌ها دارای هزینه‌های چرخه عمر کمتری است.

در ادبیات تخصصی از مدل‌های یادگیری ماشین برای تعیین خطوطی که امکان بکارگیری اتوبوس برقی را دارند، کمتر استفاده شده‌است. از این‌رو در پژوهش سعی بر آن است که با استفاده از نتایج شبیه سازی میزان مصرف انرژی، یک مدل درخت تصمیم برای تعیین خطوطی که قابلیت بکارگیری اتوبوس برقی باتری را دارند ارائه گردد.

۳. روش‌شناسی

برای محاسبه میزان پیمایش روزانه اتوبوس برقی باتری در خطوط اتوبوس‌رانی شهر تهران ابتدا با استفاده از روابط (۱) الی (۸) میزان مصرف انرژی اتوبوس برقی در یک نیم‌راه رفت و برگشت محاسبه می‌شود، سپس با توجه به متوسط تعداد نیم‌راه پیش‌بینی شده برای اتوبوس در هر خط، میزان مصرف انرژی اتوبوس در هر خط محاسبه خواهد شد.

$$W_t = W_{Accel} + W_A + W_{RR} + W_{RG} + W_{acc} \quad (۱)$$

$$W_t = W_{acc} \quad (۲)$$

$$W_{Accel} = m.v.{}^{dv}/_{dt} \quad (۳)$$

$$W_A = \frac{1}{2}\rho C_d A_f v^3 \quad (٤)$$

$$W_{rr} = m.g.C_{rr}.v \quad (٥)$$

$$W_{RG} = m.g.v.sin(\theta) \quad (٦)$$

$$W_{Actual} = {W_t}/{\eta_{mot}\eta_{bat}\eta_{fi}\eta_{wh}} \quad (۷)$$

$$EC = W_{Actual} \times Time \quad (۸)$$

در روابط (۲) الی (۵) به ترتیب توان مورد نیاز برای شتاب‌گیری، مقابله با مقاومت هوا، مقابله با مقاومت چرخشی و توان مورد نیاز برای حرکت در شیب محاسبه می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه (۱) توان کل و با استفاده از رابطه (۸) انرژی مورد نیاز برای مسیر رفت و برگشت و متوسط میزان مصرف انرژی برای یک کیلومتر پیمایش در خط محاسبه می‌شود. برای محاسبه میزان مصرف انرژی مقادیر پیش فرض برای یک اتوبوس ۱۲ متری با شارژ شبانه مطابق با جدول (۱) است.

جدول ۱. مقادیر پیش فرض برای محاسبه میزان مصرف انرژی اتوبوس برقی باتری

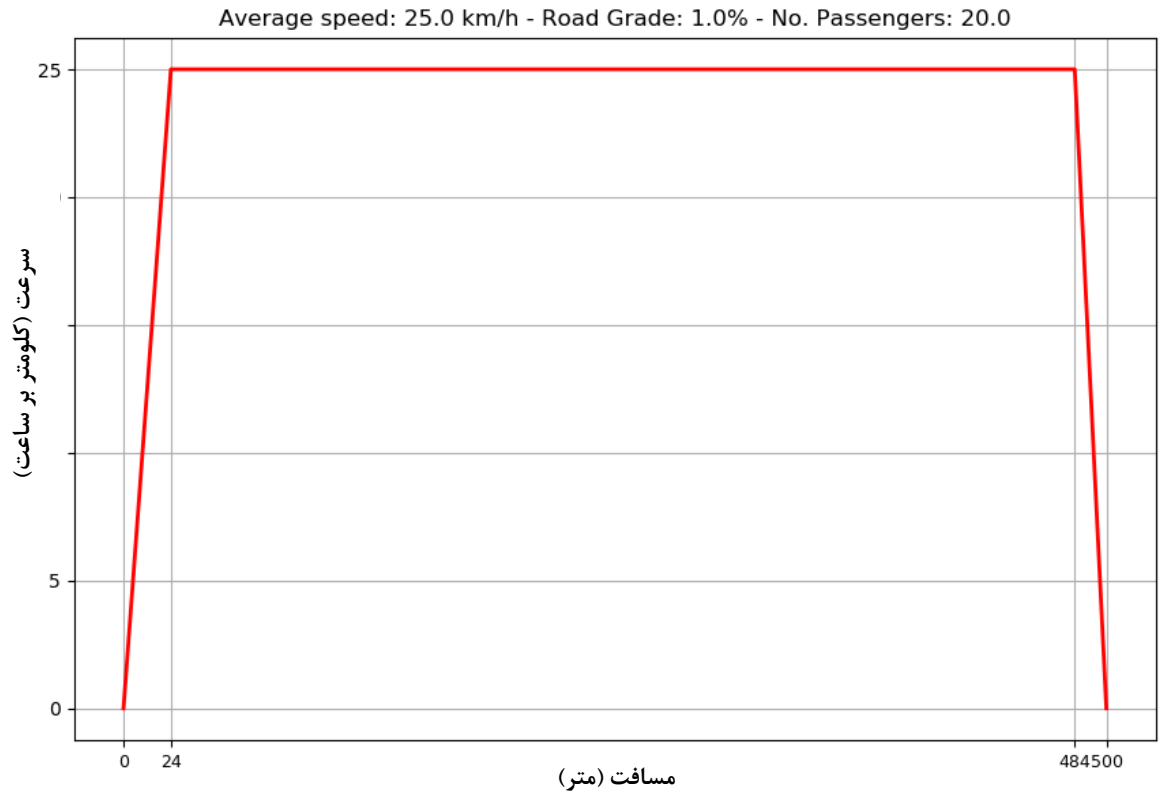
نام (واحد)	نماد	مقدار	نام (واحد)	نماد	مقدار
مساحت جلوی اتوبوس (متر مربع)	A_f	۸/۵	ضریب کارایی موتور برقی	η_{mot}	۰/۸۸
ضریب مقاومت چرخشی	C_{rr}	۰/۰۰۹۸	ضریب کارایی باتری	η_{bat}	۰/۹۸

نام (واحد)	نماد	مقدار	نام (واحد)	نماد	مقدار
ضریب کشش آیرودینامیک	C_d	۰/۷۹	ضریب کارایی نهایی راندن	η_{fd}	۰/۹۸
جرم اتوبوس به همراه باتری (کیلوگرم)	m	۱۳۵۰۰	ضریب کارایی راندن کارایی راندن چرخ‌ها	η_{wh}	۰/۹۹
شتاب (متر بر مجذور ثانیه)	a_{acc}	۱	شتاب ترمزگیری	a_{dec}	۱/۵
ظرفیت باتری (کیلووات ساعت)	BC	۳۰۰	توان مورد نیاز برای پیمایش تحت بارهای جانبی (کیلووات)	W_{acc}	۳/۷۵

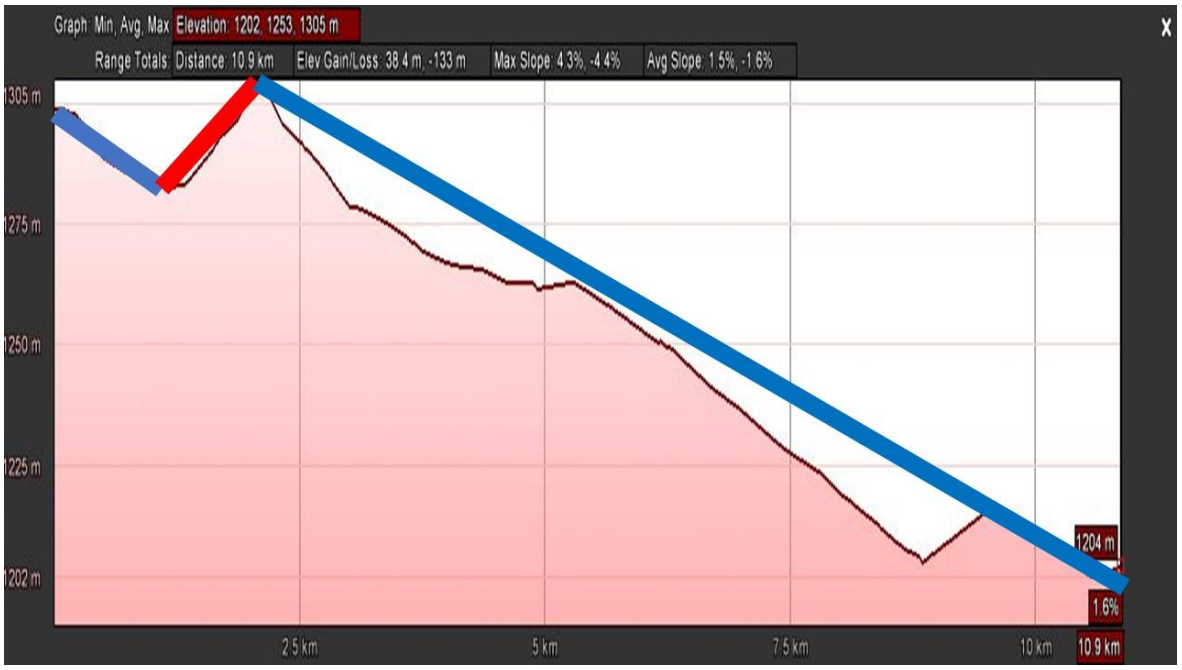
در این پژوهش فرض بر آن است که اتوبوس در فاصله بین ایستگاه‌ها با سرعت متوسط حرکت می‌نماید. برای به دست آوردن سرعت متوسط و فاصله بین ایستگاه‌ها و تعداد مسافران از نرم افزار AVL اتوبوسرانی شهر تهران استفاده می‌گردد سپس با استفاده از روابط پایه فیزیک کلاسیک، پروفیل سرعت مطابق با شکل ۱ رسم می‌گردد. همچنین برای به دست آوردن پروفیل طولی مسیر حرکت اتوبوس‌ها از نرم افزارهای GIS و Google Earth استفاده شده‌است که برای راحتی کار، پروفیل طولی با چندین خط با شیب‌های مختلف تقریب زده می‌شود (شکل ۲). به طور کلی مراحل محاسبه میزان مصرف انرژی اتوبوس برقی باتری مطابق با فلوچارت شکل ۳ خواهد بود.

مصوبه کمیته فنی اتحادیه اتوبوس‌رانی شهری کشور بیان می‌کند که اتوبوس برقی باتری باید تضمین کننده پیمایش ۲۵۰ کیلومتر و حداکثر افت ذخیره انرژی باتری ۳۰ درصد باشد. از طرفی دیگر با توجه به داده‌های گردآوری شده مشخص می‌گردد متوسط پیمایش روزانه فعلی اتوبوس‌های شهر تهران در حدود ۱۳۰ کیلومتر است. بنابراین می‌توان گفت اگر پیمایش محاسبه شده برای اتوبوس برقی از ۲۵۰ کیلومتر بیشتر و همچنین از ۱/۳ پیمایش فعلی اتوبوس موجود در خط بیشتر باشد، اتوبوس برقی می‌تواند در این خط مورد استفاده قرار گیرد.

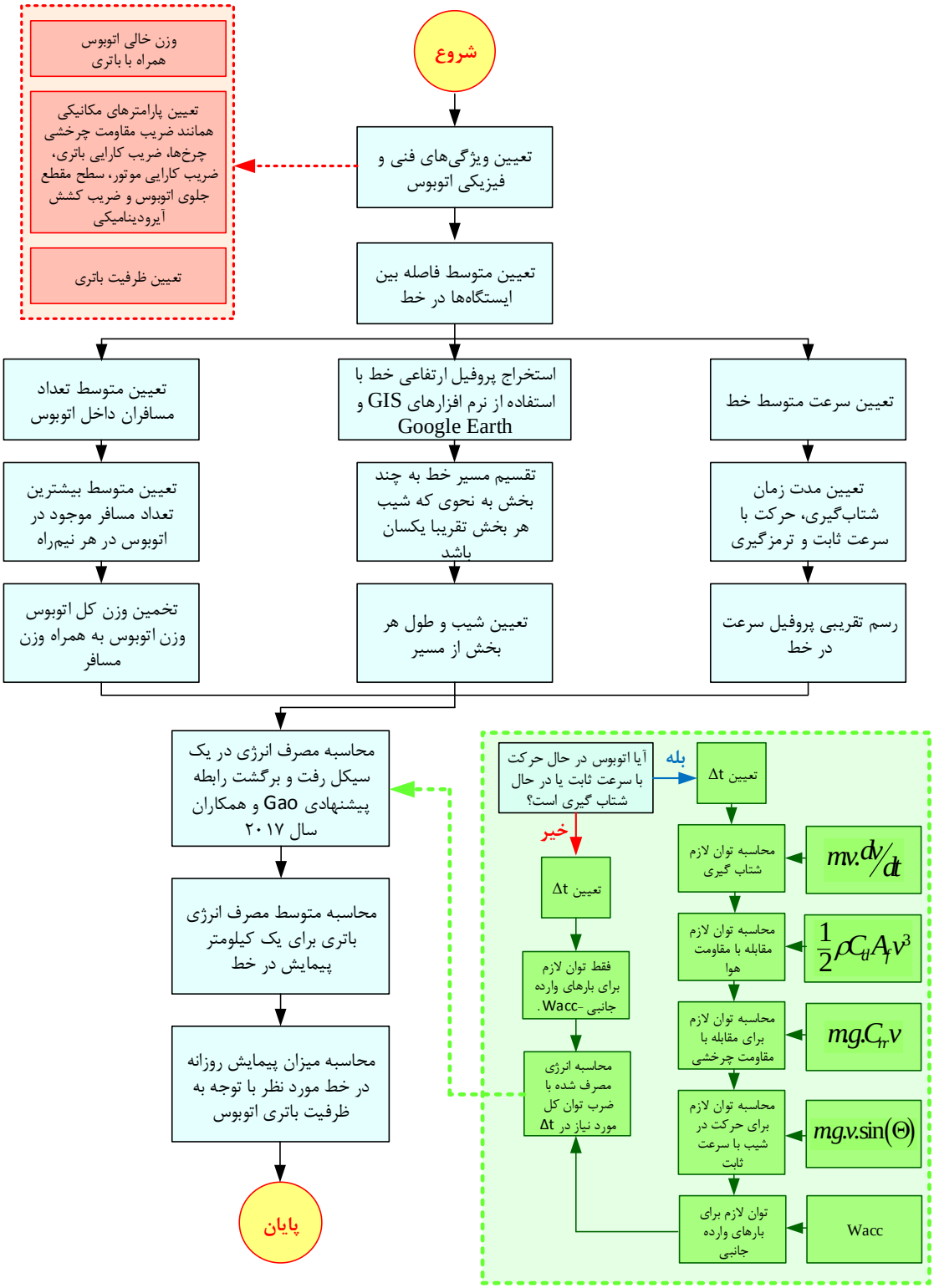
پس از آنکه در تمام خطوط اتوبوسرانی شهر تهران، امکان بکارگیری اتوبوس برقی باتری بررسی شد با استفاده روش درخت تصمیم که یکی از روش‌های یادگیری ماشین نظارت شده است، مدلی جهت امکان بکارگیری اتوبوس برقی در خطوط شهر تهران ارائه خواهد شد.



شکل ۱. نمونه پروفیل سرعت اتوبوس بافرض فاصله بین ایستگاه ۵۰۰ متر و سرعت متوسط ۲۵ کیلومتر بر ساعت



شکل ۲. نمونه پروفیل طولی خط ۲۰۶ (پایانه شهید براری – پایانه علم و صنعت)



شکل ۳. فلوچارت نحوه محاسبه متوسط پیمایش روزانه اتوبوس برقی در هر خط

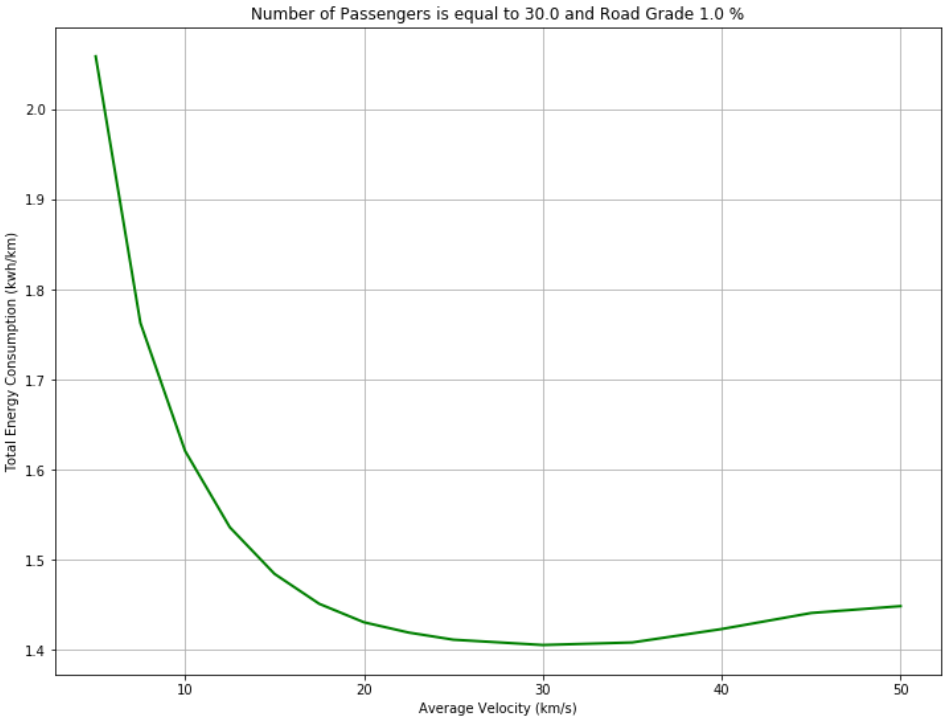
٤. تحلیل و بررسی

شبیه سازی میزان مصرف انرژی اتوبوس برقی در خطوط اتوبوسرانی تهران با استفاده از روابط (۱) الی (۸) و داده‌های ۲۰٤ خط اتوبوسرانی شهر تهران که خلاصه مشخصات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده‌است، حاکی از آن است که در ۱۳۲ خط امکان استفاده از اتوبوس برقی وجود دارد. به بیان ساده‌تر در این ۱۳۲ خط، پیمایش اتوبوس برقی باتری با یک بار شارژ کامل به نحوی خواهد بود که می‌تواند یک روز کامل را بدون نیاز به شارژ مجدد سرویس دهی نماید. نتایج شبیه سازی بیان می‌کند که در این ۱۳۲ خط، متوسط مصرف انرژی ۹۲/۹ کیووات ساعت به ازای ۱۰۰ کیلومتر پیمایش و متوسط پیمایش برآورد شده برابر با ۳۳۰ کیلومتر به ازای یک بار شارژ کامل است.

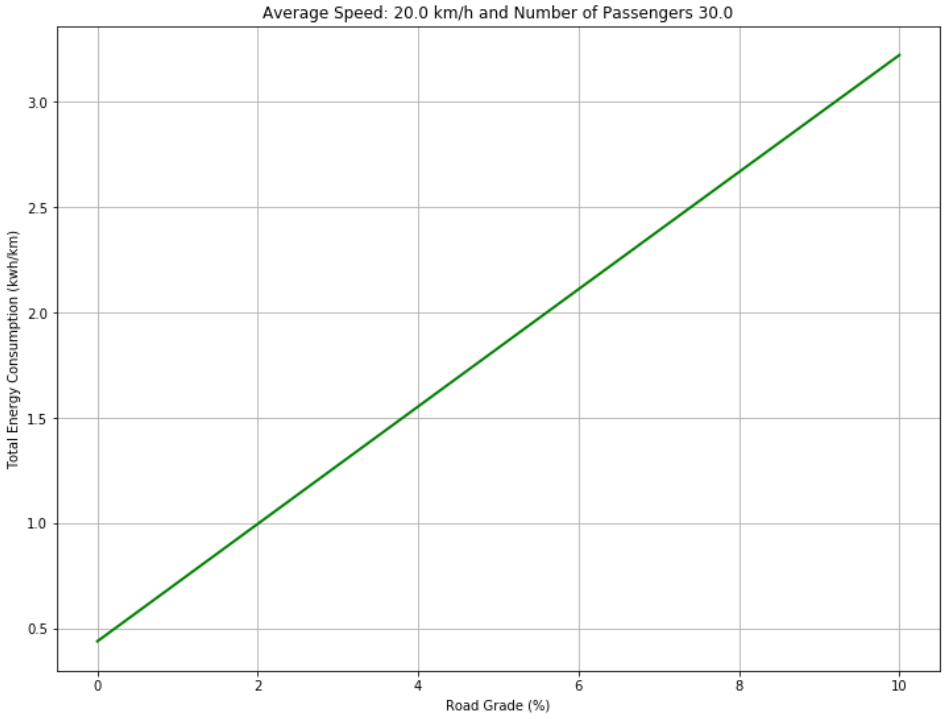
جدول ۲. خلاصه مشخصات ۲۰٤ خط اتوبوسرانی شهر تهران

متغیر (واحد)	بیشینه	میانگین	کمینه	انحراف معیار
تعداد اتوبوس مورد نیاز (دستگاه)	٦۳	۱۱	۳	٦
تعداد ایستگاه‌های مسیر رفت	٤٦	۲۱	٦	۷
تعداد ایستگاه‌های مسیر برگشت	٤٦	۲۱	٤	۷
طول مسیر رفت (متر)	۳۰۱۲۲	۱۱۸۲۸	۲۹٥٤	٤۸٤۹
طول مسیر برگشت (متر)	۲۷۰٤۷	۱۱۷۹۱	۳۳۱۹	٤٦۱۳
طول کل مسیر (متر)	٥٤۹۸۸	۲۲۸٥٦	۲۹٥٤	۹۱۲۳
متوسط فاصله ایستگاه‌های مسیر رفت (متر)	۱۳۸۲	٥۷۹	۳٤۰	۱۸۷
متوسط فاصله ایستگاه‌های مسیر برگشت (متر)	۱٥۰۹	٥۸٤	۲۹۹	۱۸۸
متوسط تعداد مسافر روزانه (نفر)	٥٥۳۰۲	۳۸٥٥	۱۲۱	٤۸۹۱
سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت)	۳٥/۱	۱٦/۱	۸/٥	٤/۲

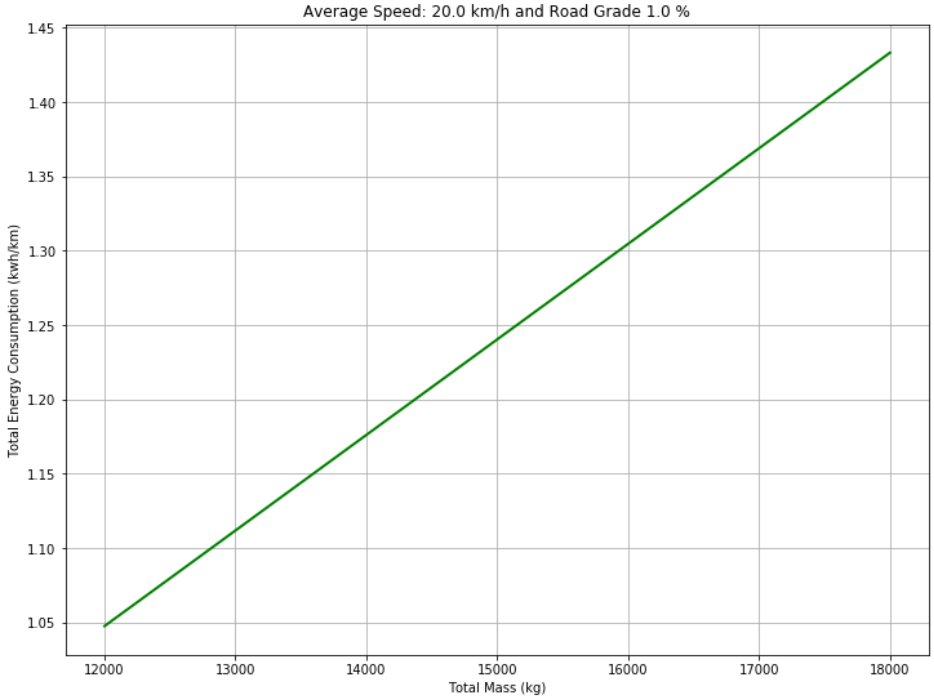
با توجه به رابطه ۱، تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی در برابر تغییر سرعت متوسط اتوبوس و با فرض ثابت بودن جرم و شیب (جرم اتوبوس با فرض ۳۰ مسافر و شیب ۱ درصد) حاکی از آن است که با افزایش سرعت اتوبوس میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد (شکل ٤) این در حالی است که تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی با تغییر شیب (جرم ثابت با فرض ۳۰ مسافر و سرعت ثابت برابر با ۲۰ کیلومتر برساعت) و تحلیل حساسیت با تغییر جرم (شیب ثابت ۱ درصد و سرعت ثابت ۲۰ کیلومتر برساعت) بیان می‌کند با افزایش این دو مقدار، میزان مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد (شکل‌های ٥ و ٦). همچنین این دیاگرام‌ها بیان می‌کند که مصرف انرژی با جرم کل اتوبوس و شیب مسیر رابطه تقریبا خطی دارد این در حالی است که با سرعت رابطه غیرخطی دارد. همچنین مشخص می‌گردد که تاثیرگذارترین عامل در میزان مصرف انرژی شیب مسیر است، که به ازای هر یک درصد افزایش شیب، مصرف انرژی در هر کیلومتر پیمایش ۰/۳ کیلووات ساعت افزایش می‌یابد در حالی که با افزایش ۱۰۰۰ کیلوگرمی جرم اتوبوس، مصرف انرژی تنها ۰/۰٦ کیلووات ساعت به ازای یک کیلومتر پیمایش افزایش می‌یابد.



شکل ٤. تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی اتوبوس برقی باتری با تغییرات سرعت متوسط



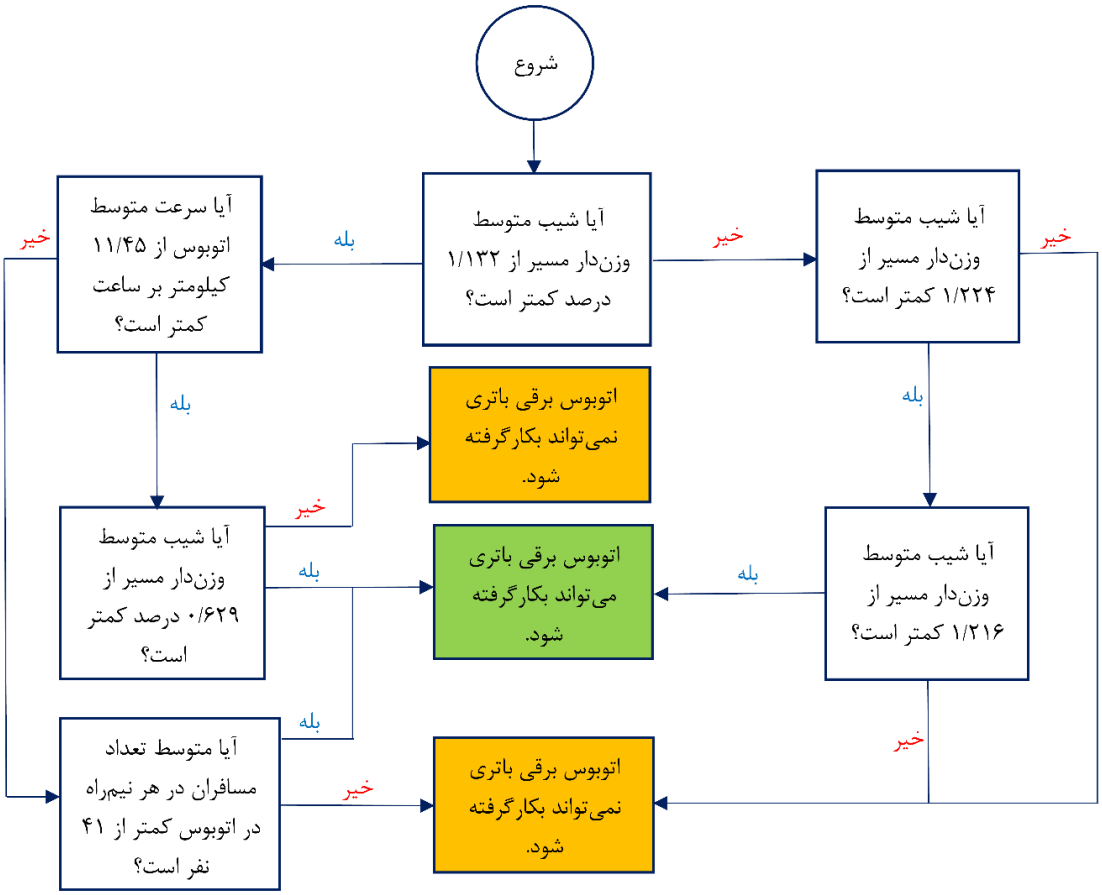
شکل ٥. تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی اتوبوس برقی باتری در برابر تغییر شیب مسیر



شکل ٦. تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی اتوبوس برقی باتری در برابر تغییر جرم

با استفاده از نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی و مسخصات خطوط اتوبوسرانی، مدل درخت تصمیم پرداخت می‌گردد (شکل ۷).

لازم به ذکر است که دقت برازش این مدل ۱۰۰ درصد است و تمام نمونه را به طور کامل و درست تفکیک می‌نماید.



شکل ۷. مدل درخت تصمیم برای امکان بکارگیری اتوبوس برقی باتری در خطوط اتوبوسرانی شهر تهران

مطابق با شکل ۷ مشخص می‌گردد، تاثیرگذارترین عامل در تعیین امکان استفاده از اتوبوس برقی باتری، شیب مسیر خط است که نتیجه کاملا مطابق با نتایج تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی در مقابل تغییرات سه متغیر شیب، سرعت و جرم است. مدل درخت تصمیم بیان می‌کند چنانچه شیب متوسط وزن‌دار مسیر خط از ۱/۲۲٤ درصد بیشتر باشد، نمی‌توان از اتوبوس برقی باتری در این خط استفاده نمود.

از طرفی دیگر مدل درخت تصمیم ارائه شده بیان می‌کند اتوبوس برقی در خطهایی که دارای شیب متوسط کم، سرعت متوسط زیاد و تعداد مسافر کم هستند قابل بکارگیری است. همچنین چنانچه در خطی سرعت متوسط از ۱۱/٤٥ کیلومتر برساعت بیشتر باشد و شیب متوسط وزن‌دار آن بین ۰/٦۲۹ درصد و ۱/۱۳۲ درصد باشد، امکان استفاده از اتوبوس برقی باتری در آن وجود دارد.

با توجه به اینکه در در مدل درخت تصمیم متغیرهای مورد استفاده برای شاخه کردن بر اساس ضریب جینی به نحوی انتخاب می‌شوند که بیشترین تفکیک پذیری را در داده‌ها ایجاد نمایند، می‌توان گفت اولین متغیری که بیشترین تفکیک را ایجاد می‌کند شیب متوسط وزن‌دار مسیر است و بعد از سرعت متوسط و تعداد مسافران خط که به نحوی نماینده جرم اتوبوس است در رتبه سوم قرار می‌گیرد.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

وسایل نقلیه برقی به دلیل سازگاری با محیط‌زیست همواره مورد توجه مهندسان حمل و نقل و برنامه‌ریزان شهری بوده‌اند. اما در بین وسایل نقلیه برقی، بکارگیری وسایلی که از باتری به عنوان منبع تولید کننده انرژی بهره می‌برند، با محدودیت‌هایی همچون میزان پیمایش رو به رو است. از این رو در پژوهش با استفاده از

روابط پیشنهادی در ادبیات تخصصی میزان مصرف انرژی و پیمایش اتوبوس‌های برقی باتری در ۲۰٤ خط اتوبوسرانی شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با استفاده از نتایج شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی و داده‌های خطوط اتوبوسرانی شهر تهران، یک مدل درخت تصمیم برای تعیین خطوطی که امکان بکارگیری اتوبوس برقی باتری را دارند، پرداخت گردید. نتایج حاکی از آن بود که در ۱۳۲ خط اتوبوسرانی شهر تهران می‌توان از اتوبوس برقی باتری استفاده نمود. همچنین با تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی با تغییر سرعت متوسط، مشخص گردید که سرعت متوسط با مصرف انرژی رابطه غیرخطی دارد و با افزایش سرعت میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد. تحلیل حساسیت میزان مصرف انرژی با تغییر جرم اتوبوس و شیب مسیر بیانگر آن است که مصرف انرژی با جرم و شیب رابطه خطی دارد و با افزایش این دو متغیر افزایش می‌یابد. مطابق با مدل درخت تصمیم می‌توان گفت شیب مسیر بیشترین تاثیر را در امکان بکارگیری اتوبوس برقی باتری دارد و متغیرهای سرعت و تعداد مسافران در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

٦. پیشنهادها

با توجه به اینکه محل پارکینگ شبانه اتوبوس‌ها در برخی خطوط، فاصله قابل ملاحظه تا پایانه‌ها دارند، پیشنهاد می‌گردد برای تدقیق نتایج در پژوهش‌های آتی این نکته نیز برای تعیین امکان بکارگیری اتوبوس برقی باتری در نظر گرفته شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد شبیه سازی میزان مصرف انرژی با پروفیل دقیق سرعت نیز محاسبه شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد امکان بکارگیری اتوبوس برقی در رقابت با سایر انواع اتوبوس نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۷. تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند که از شرکت واحد اتوبوسرانی شهر تهران و حومه بابت در اختیار قرار دادن داده‌های خطوط اتوبوسرانی شهر تهران تشکر و قدردانی نمایند.

۸. مراجع

– مشخصات فنی اتوبوس‌های برقی برای حمل و نقل مسافر درونشهری کشور، مصوبه کمیته فنی اتحادیه اتوبوس‌رانی شهری کشور، زمستان ۱۳۹٦.

– مطالعات انتخاب نوع ناوگان مناسب (دیزل، گازسوز، هیبریدی و برقی)، مشاور شرکت مهندسان مشاور طرح و تدبیر طابران، کارفرما شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه، تابستان ۱۳۹۷.

- C. Lin, and L. Zhang, 2009. Using theory and demonstration of olympic electric buses. Second International Conference on Transportation Engineering 2009.

- L. Cheng, W. Yansheng and M. Xiangfeng, 2008. Technology and application of olympic electric bus, Beijing Institute of Technology Press.

- H. Li, Z. Weige, and J. Jiuchun, 2007. The design and the running mode of the vehicle charge-station for the 2008 olympic games. Modern Transportation Technology, vol 5, 73-75.

- A. Łebkowski, 2019, Studies of energy consumption by a city bus powered by a hybrid energy storage system in variable road conditions, energies, vol. 951, no. 12, 1–39.

- Z. Gao, Z. Lin, T.J. LaClair, C. Liu, J.M. Li, A.K. Birky, and J. Ward, 2017. Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. Energy, vol 122, 588-600.

Report of Electric bus feasibility study for the city of Edmonton, Marcon, 2016.

- B. Zhou, Y. Wu, B. Zhou, R. Wang, W. Ke, S. Zhang, and J. Hao, 2016. Real-world performance of battery electric buses and their

different charging methods. Journal of cleaner production, vol 172, 56-67.
- A. Lajunen, and T. Lipman, 2016. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. Energy, vol 106, 329-342.

- M. Potkány, M. Hlatká, M. Debnár, and J. Hanzl, 2018. Comparison of the lifecycle cost structure of electric and diesel buses. NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo, vol 65, 270-275.

- T. Ercan, Y. Zhao, O. Tatari, and J.A. Pazour, 2015. Optimization of transit bus fleet's life cycle assessment impacts with alternative fuel options. Energy, vol 93, 323-334.

life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions. Energy, vol 96, 603-613.

- Z. Bi, R. De Kleine, and G. A. Keoleian, 2017, Integrated life cycle assessment and life cycle cost model for comparing plug-in versus wireless charging for an electric bus system, Journal of Industrial Ecology, vol. 21, no. 2, 344–355.

- T. Ercan, Y. Zhao, O. Tatari, and J.A. Pazour, 2015. Optimization of transit bus fleet's life cycle assessment impacts with alternative fuel options. Energy, vol 93, 323-334.

- A. Lajunen, 2018. Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with