

## پیش‌بینی تقاضای انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل ایران توسط مدل MAED تا سال ۱۳۹۵

امید شاه‌حسینی<sup>۱</sup>، زهره سلیمیان<sup>۱</sup>، رضا گودرزی<sup>۲</sup>، محمد علیمردانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۸۸/۸/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله:

۸۸/۱۱/۲۸

### چکیده:

بحران انرژی یکی از موضوعاتی است که به شدت مورد توجه جوامع امروزی می‌باشد. گسترش قطارهای برقی شهری یکی از راه‌حلهای اساسی مطرح شده برای مهار رشد تقاضای سوخت خودروها در سفرهای درون شهری است. این راه‌حل در کشور ما از سی سال قبل تاکنون مطرح بوده و هم‌اکنون رشد قابل توجهی یافته است. از دیگر وسایل حمل و نقل عمومی در کشور ناوگان اتوبوس برقی است که هر چند در ابتدا به دلایل زیست محیطی (به خصوص در شهر تهران) مورد استقبال قرار گرفت، ولی، در ادامه به علت عدم وجود زیرساختهای مناسب برای احداث خطوط جدید توسعه چندانی نیافت. با وجود این دو سیستم حمل و نقل عمومی لازم است که همانند سایر بخشها، تقاضای مورد نیاز این بخش نیز محاسبه و در برنامه‌ریزی انرژی کشور لحاظ گردد. پیش‌بینی تقاضا بر اساس مدل‌های مصرف نهایی<sup>۳</sup> یکی از روشهای پیش‌بینی بوده و مدل‌های مختلفی نظیر MAED برای این منظور توسعه داده شده‌اند. در این راستا کلیه اطلاعات مورد نیاز از شرکت‌های مترو، اتوبوس برقی و سازمانهای وابسته جمع‌آوری شده و پس از پردازش و انجام محاسبات لازم، نیازمندیهای اطلاعاتی مدل MAED تولید می‌شود و با استفاده از این مدل تقاضای انرژی الکتریکی بخش حمل و نقل پیش‌بینی می‌شود و با اهداف تعیین شده در سند چشم‌انداز توسعه بیست ساله کشور مقایسه می‌گردد.

### کلمات کلیدی:

انرژی الکتریکی، تقاضا، حمل و نقل، ایران

omid.shahhoseini@gmail.com

(۱) پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده انرژی و محیط زیست - نویسنده مسئول

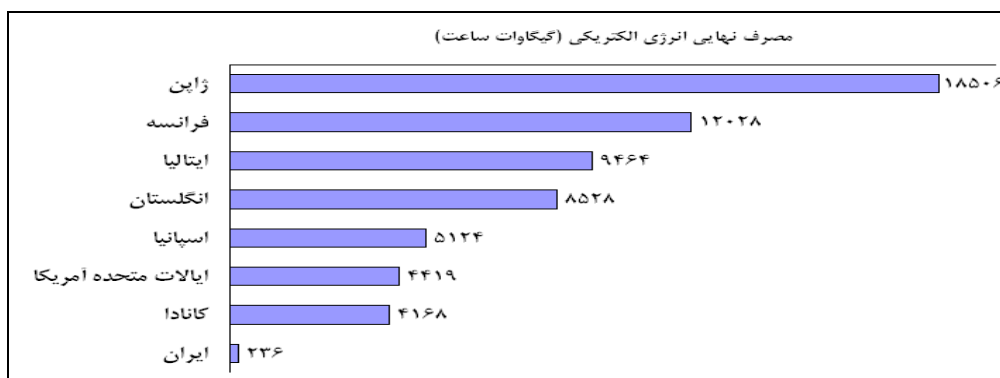
(۲) وزارت نیرو، معاونت برق و انرژی

۳) End use

## مقدمه

امروزه، کاربرد انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل در سراسر جهان رو به افزایش است. مصرف الکتریسته در بخش حمل و نقل در دنیا در سال ۲۰۰۶ به رقم ۲۵۵ تراوات ساعت رسیده است [۲]. بخش عمده‌ای از مصرف انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل در سراسر دنیا، به سیستم‌های قطار شهری اختصاص می‌یابد. نداشتن آلاینده‌گی، صرفه‌جویی در فضا، کاهش چشمگیر سوخت و قابلیت استفاده از تکنولوژی‌های روز دنیا موجب شده که سیستم‌های قطار شهری به سرعت گسترش یابد به گونه‌ای که روزانه ۱۵۰ میلیون سفر در شهرهای جهان با استفاده از این سیستم حمل و نقل انجام می‌شود. در ایران نیز هر چند پروژه احداث قطار شهری در تهران به سال ۱۳۵۴ برمی‌گردد، اما، اولین خط مترو در سال ۱۳۷۷ و با ظرفیت انجام ۳۰۰ هزار سفر در سال کار خود را آغاز کرد و طی ۱۰ سال گذشته به گونه‌ای توسعه یافته که در حال حاضر سالیانه یک میلیارد سفر در تهران با مترو انجام می‌شود. مصرف برق مترو تهران نیز در سال ۱۳۸۵ برابر با ۲۳۶ گیگاوات ساعت بوده است [۶]. شکل (۱) نمایان گر مقایسه هر چه بهتر میزان مصرف برق مترو در ایران در مقایسه با سایر کشورهای پیشگام دنیا در سال ۲۰۰۶ است.

سابقه استفاده از اتوبوس برقی در دنیا به سال ۱۹۰۱ فرانسه باز می‌گردد. هر چند در ابتدا استفاده از این اتوبوسها به دلیل کاهش قابل ملاحظه در میزان انتشار آلاینده‌ها (ناشی از سوختهای موتوری) با استقبال فراوانی روبرو شد، لیکن در ادامه با فراز و نشیبهای زیادی همراه شد. در هر یک از کشورهای دنیا نیز بسته به معماری شهرها، نیاز حمل و نقل و سایر امکانات موجود ناوگان اتوبوس برقی گسترش یافته است. سیستم اتوبوس برقی در ایران، در سال ۱۳۷۱ راه‌اندازی شد ولی در ادامه به علت عدم وجود زیرساختهای مناسب برای احداث تاسیسات برق رسانی عملیات توسعه آن متوقف و فعالیت آن محدود شد. (در حال حاضر، حدود ۳۰ میلیون سفر در سال با استفاده از این وسیله نقلیه عمومی در تهران جابجا می‌شوند. همچنین، مصرف برق اتوبوس برقی در تهران در سال ۱۳۸۵ معادل ۷۰۰۰ مگاوات ساعت بوده است [۵].



شکل ۱: مصرف نهایی برق در بخش مترو کشورهای پیشرفته دنیا در سال ۲۰۰۶

بر طبق آمار ارائه شده در ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۸۵، مصرف برق در بخش حمل و نقل ایران معادل ۰/۱۱ میلیون بشکه نفت خام بوده که در مقایسه با کل برق مصرفی معادل ۹۱ میلیون بشکه نفت خام ناچیز به شمار می‌رود. لیکن، با توجه به اهداف بلندمدت در بخش انرژی و سیاستهای تدوین شده در سند چشم‌انداز توسعه بیست ساله این کشور، مقرر شده است مصرف بخش حمل و نقل از کل مصرف برق در سال ۱۴۰۴ به ۱ میلیون بشکه معادل نفت خام برسد. با عنایت به مطلب فوق و با توجه به مصرف انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل و افزایش آن (توسعه سیستمهای حمل و نقل قطار شهری و اتوبوس برقی در سراسر ایران) و همچنین در راستای برنامه‌ریزی ۱۰ ساله برای تولید انرژی الکتریکی مورد نیاز متناسب با میزان تقاضا، در این مقاله به پیش بینی تقاضای انرژی الکتریکی مربوط به بخش حمل و نقل تا سال ۱۳۹۵ با استفاده از مدل مصارف نهایی MAED می‌پردازیم.

مدل MAED، در واقع نسخه‌ای تغییر یافته از مدل برآورد انرژی MEDEE است که برای اولین بار در سال ۱۹۷۷ در دانشگاه گلوبرن فرانسه تهیه شده است. فرایند تغییر مدل توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی انجام شده و در این خصوص هدف اصلی تهیه ابزار محاسباتی برای تعیین میزان مصرف نهایی و مفید انواع حاملهای انرژی در بخشهای مختلف اقتصادی و اجتماعی بوده که قابلیت استفاده از آن در سایر کشورهای عضو آژانس فراهم شد. این مدل، با تغییرات اعمال شده در آن در حال حاضر به عنوان یکی از مدلهای مناسب در خصوص پیش‌بینی تقاضای حاملهای انرژی مطرح بوده و در کنار سایر مدلهای موجود برای برنامه‌ریزی انرژی در کشورهای مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله، ابتدا، بخش حمل و نقل مدل MAED و پارامترهای مورد نیاز برای اجرای آن معرفی می‌شوند. در ادامه، میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل تا سال ۱۳۹۵ با استفاده از زیر مدل انرژی مدل MAED برآورد می‌شود. پیش بینی پارامترهای زمانی تا سال ۱۳۹۵ در این بخش با استفاده از رشد متوسط پارامترها در سالهای قبل صورت می‌پذیرد. در پایان نتایج حاصل از پیش بینی با اهداف مورد نظر در سند چشم‌انداز توسعه بیست ساله ایران مقایسه شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

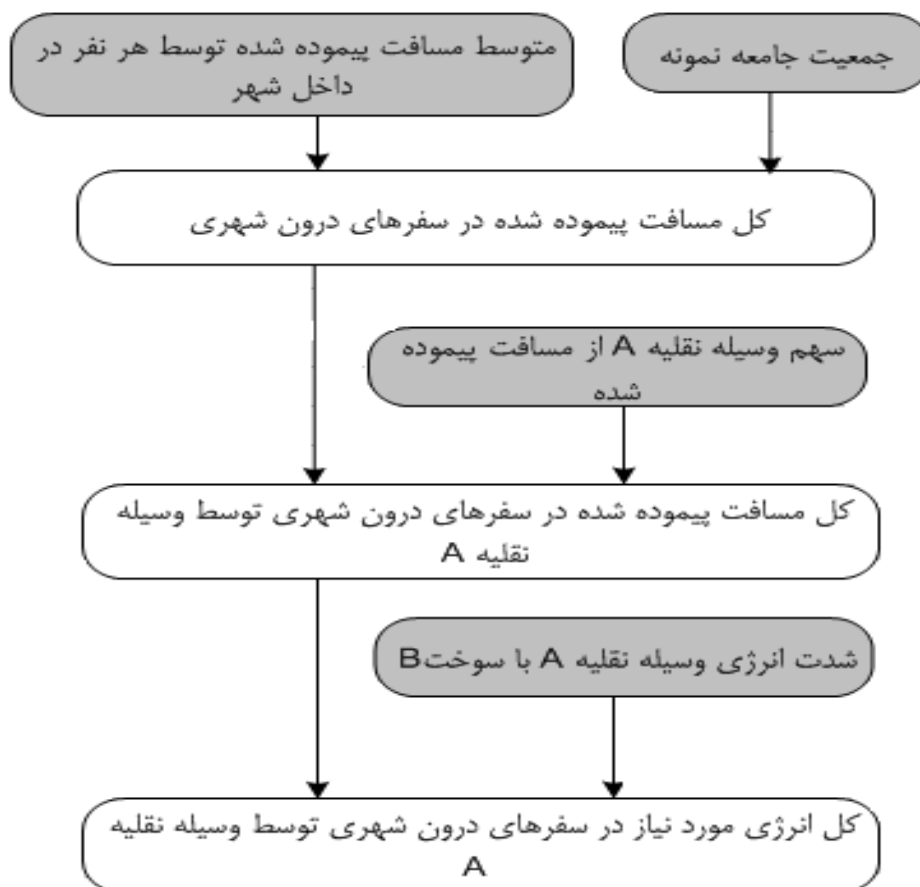
### روش برآورد تقاضای انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل توسط مدل MAED

بخش حمل و نقل در مدل MAED به سه زیر بخش کلی جا به جایی مسافر، جابجایی بار، ترانزیت، نظامی و سایر تقسیم بندی می‌شود. در بخش حمل و نقل مسافر نیز، دو زیر مجموعه حمل و نقل شهری و بین شهری در نظر گرفته شده است. در هر یک از زیر بخشها وسایل نقلیه عمومی و شخصی لحاظ شده و این وسایل می‌توانند از حاملهای مختلف انرژی استفاده کنند و بدین ترتیب کلیه حالت‌های مربوط به جابجایی یک شئی و یا شخص توسط مدل MAED پوشش داده می‌شود. جدول (۱)، کلیه حالات و انواع وسایل حمل و نقل را که در مدل MAED مورد توجه قرار می‌گیرند، نشان می‌دهد.

جدول ۱: انواع حالات حمل و نقل در مدل MAED

بیشترین تعداد سوخت مورد استفاده	بیشترین تعداد حالات حمل و نقل	انواع حمل و نقل
۸	۱۵	مسافر (سطح کشوری) - درون شهری
۸	۵ نوع ماشین و ۱۰ نوع حالت	- بین شهری
۸	۱۵	بار

برای آشنایی با روش به کار گرفته شده توسط مدل برای محاسبه و پیش‌بینی حامل‌های انرژی مورد نیاز حمل و نقل در بازه زمانی خواسته شده وسیله نقلیه A با حامل انرژی B را در نظر بگیرید. در مطالعه ما این وسایل اتوبوس برقی و قطار برقی با حامل انرژی برق هستند. روش بکار رفته در مدل MAED برای پیش‌بینی تقاضای انرژی مورد نیاز وسیله مورد نظر مطابق شکل (۲) است. در این شکل، خانه‌های هاشور خورده ورودی‌های مدل هستند که برای بازه زمانی برآورد تقاضای انرژی توسط کاربر پیش‌بینی شده و به مدل داده می‌شود. خانه‌های سفید، پارامترهای میانی هستند که توسط مدل محاسبه شده، تا در نهایت میزان انرژی مورد نیاز یک وسیله (اعم از شخصی و عمومی) برای انجام سفرهای درون شهری در یک سال استخراج گردد. در این مطالعه، نمودار توضیح داده شده برای هر یک از وسایل نقلیه مطرح شده مورد استفاده قرار گرفته و در پایان میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز هر دو وسیله با یک دیگر جمع شده است [۳ و ۹].



شکل ۲: نمودار محاسبه انرژی سالیانه مورد نیاز یک وسیله نقلیه عمومی درون شهری در مدل MAED

### تولید اطلاعات ورودی مدل MAED

در این بخش، پارامترهای معرفی شده در شکل (۲) پیش بینی و برای ورود اطلاعات در مدل MAED ارائه می‌گردند. از آنجا که در سایر شهرهای کشور مانند شهر تهران تاکنون مطالعات جامعی در خصوص سایر پارامترهای حمل و نقل صورت نپذیرفته است، لذا، استفاده از روشهای فنی و مهندسی برای محاسبه انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل امکان پذیر نیست و تنها پیش بینی شرکتیهای بهره بردار در بخشهای اتوبوس برقی و قطار شهری می تواند راهگشا باشد [۱۷]. در این راستا و پس از بررسی های کارشناسی با شرکتیهای قطار شهری در شهرهای اصفهان، کرج، مشهد، شیراز، تبریز و اهواز مکاتبه و پیش بینی هر یک از

آنها در خصوص انرژی الکتریکی مورد نیاز ناوگان مترو در شهرهای مزبور تا سال ۱۳۹۵ اخذ گردید که در ادامه آورده شده است.

### پیش‌بینی انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل در شهر تهران

#### پیش‌بینی جمعیت شهر تهران

کل جمعیت شهر تهران در سال ۱۳۸۵ برابر با ۷۷۷۵۰۰۰ نفر بوده است [۵]. نرخ رشد جمعیت در شهر تهران نصف میانگین کل کشور اعلام شده است و نرخ رشد جمعیت در کل کشور ۱/۷ درصد می باشد [۴]. با اعمال درصد رشد اعلام شده، جمعیت تهران در سال ۱۳۹۵ برابر با ۸۴۶۲۰۰۰ نفر خواهد بود. نتایج حاصل از این پیش بینی در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: پیش‌بینی جمعیت شهر تهران تا سال ۱۳۹۵

سال	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
جمعیت (میلیون نفر)	۷,۷۷۵	۷,۸۲۱	۷,۹۰۸	۷,۹۷۵	۸,۰۴۳	۸,۱۱۱	۸,۱۸۰	۸,۲۵۰	۸,۳۲۰	۸,۳۹۰	۸,۴۶۲

#### پیش‌بینی مسافت پیموده شده در سفرهای داخل شهری در تهران در هر روز بر حسب کیلومتر

براساس مطالعات انجام شده در سال ۱۳۸۵، تعداد کل سفرهای انجام شده در یک سال در شهر تهران معادل ۵۹۱۳۰۰۰۰۰ است. همچنین، بر اساس همین مطالعات، متوسط مسافت پیموده شده در هر سفر درون شهری در تهران برای هر فرد حداقل ۵ کیلومتر است [۸]. با توجه به این دو پارامتر کل مسافت طی شده در شهر تهران برای تمامی سفرها ۲۹۵۶۵۰۰۰۰۰ نفر کیلومتر خواهد بود.

مطابق رابطه ذیل:

$$(۱) \quad \text{کل جمعیت} / \text{کل مسافت پیموده شده} = \text{مسافت پیموده شده توسط هر نفر}$$

مسافت پیموده شده توسط هر فرد در کلیه سفرهای انجام شده در یک سال معادل با ۳۸۰۱ کیلومتر خواهد شد. از تقسیم عدد حاصل بر ۳۶۵ کل مسافت پیموده شده توسط هر فرد در یک روز برابر با ۱۰/۴ کیلومتر به دست خواهد آمد. در این مطالعه، پارامتر مزبور در طول دوره پیش‌بینی ثابت فرض شده است.

## ضریب بار قطارهای مترو

ضریب بار هر وسیله نقلیه عبارت است از تعداد متوسط مسافرینی که در هر سفر جابجا می‌شوند. با توجه به آمار ارائه شده توسط شرکت بهره‌برداری مترو تهران و حومه، ضریب بار هر قطار مترو در سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ برابر با ارقام ارائه شده در جدول (۳) بوده است. بر این اساس و با در نظر گرفتن نرخ رشد متوسط (۱۰ درصد کاهش در سال ۱۳۸۴ و ۸,۳ درصد افزایش در سال ۱۳۸۵) برابر با ۰,۸۵ درصد و کاهش، ضریب بار قطارهای مترو برای حد فاصل سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵ برابر با جدول (۳) به دست خواهد آمد.

جدول ۳ ضریب بار قطارهای مترو تا سال ۱۳۹۵

سال	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
ضریب بار (نفر بر وسيله)	۶۶۰	۵۹۸,۵										

## ضریب بار اتوبوس برقی

با توجه به آمار ارائه شده توسط شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه، ضریب بار هر اتوبوس برقی در سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ برابر با ارقام ارائه شده در جدول (۴) بوده است. بر این اساس و با در نظر گرفتن سری زمانی در حد فاصل سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ ضریب بار هر اتوبوس برقی برابر با ۳,۸ درصد در سال کاهش داشته است. ذکر این نکته ضروری است که تفاضل مقادیر در هر سه سال همین مقدار را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن نرخ رشد ۳,۸ درصد در سال و به صورت کاهش، ضریب بار اتوبوس برقی برای حد فاصل سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵ برابر با جدول (۴) به دست خواهد آمد.

جدول ۴: ضریب بار اتوبوس‌های برقی تا سال ۱۳۹۵

سال	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
ضریب بار (نفر بر وسيله)	۴۹,۲	۴۷,۴	۴۵,۷	۴۲,۳	۴۰,۷	۳۹,۱	۳۷,۷	۳۶,۲	۳۴,۸	۳۳,۵	۳۲,۲	۳۱

### سهام اتوبوس برقی از حمل و نقل عمومی

با توجه به اطلاعات اخذ شده از شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه، سهم اتوبوس برقی از کل مسافت پیموده شده در تهران حد فاصل سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ برابر با اعداد ارائه شده در جدول (۵) بوده است. همان گونه که ارقام جدول نشان می دهد، سهم اتوبوس برقی از حمل و نقل عمومی در سال ۱۳۸۴، ۲۸ درصد کاهش داشته و در سال ۱۳۸۵، ۱۷ درصد رشد داشته است. نرخ رشد متوسط در این دوره سه ساله برابر با ۵,۵ درصد و کاهشی بوده است. بر اساس همین نرخ رشد سهم اتوبوس برقی از حمل و نقل عمومی در حد فاصل سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵ قابل محاسبه است. ارقام محاسبه شده در جدول (۵) آورده شده است. لازم به توضیح است که این سهم به صورت نسبت کل مسافت طی شده توسط اشخاص با استفاده از اتوبوس برقی به کل مسافت طی شده محاسبه شده است.

جدول ۵: سهم اتوبوس برقی از حمل و نقل عمومی تا سال ۱۳۹۵

سال	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
سهم اتوبوس برقی (درصد)	۱,۸۳	۱,۴۳	۱,۷۱	۱,۵۳	۱,۴۴	۱,۳۶	۱,۲۹	۱,۲۲	۱,۱۵	۱,۰۹	۱,۰۳	۰,۹۷

### سهم مترو از حمل و نقل عمومی

بر طبق بررسیهای انجام شده توسط کارشناسان شرکت بهره برداری مترو تهران انجام شده سهم این ناوگان از کل مسافت پیموده شده در تهران (سال ۱۳۸۵) برابر با ۱۰,۲ درصد بوده است. از سوی دیگر مطابق آمار و اطلاعات ارائه شده توسط شرکت بهره برداری مترو تهران، این شاخص قرار است تا ده سال آینده بیش از دو برابر رشد داشته باشد و به همین علت سهم مترو از کل جابجایی انجام شده در سفرهای درون شهری به بیش از ۲۰ درصد خواهد رسید. با در نظر گرفتن این رقم برای سال ۱۳۹۵ و با فرض یک نرخ رشد ثابت، نحوه تغییرات سهم مترو از حمل و نقل در شهر تهران تا سال ۱۳۹۵ قابل استحصال است. جدول (۶) نحوه تغییرات سهم مترو از حمل و نقل در شهر تهران تا سال ۱۳۹۵ را نشان می دهد.

جدول ۶: پیش بینی سهم مترو از سفرهای درون شهر تهران تا سال ۱۳۹۵

سال	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
سهم مترو (درصد)	۱۰,۲	۱۱,۶۶	۱۲,۴۸	۱۳,۳۴	۱۴,۲۶	۱۵,۲۶	۱۶,۳۴	۱۷,۴۶	۱۸,۶۸	۲۰

## شدت انرژی اتوبوس برقی و قطار مترو

بر طبق اطلاعات اخذ شده از شرکت اتوبوسرانی، شدت انرژی الکتریکی هر اتوبوس برابر با ۶۶ کیلووات ساعت در هر ۱۰۰ کیلومتر است. این رقم برای حد فاصل سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ به صورت ثابت ارائه شده و طی سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ نیز ثابت فرض می‌شود. همچنین، بر طبق مطالعات انجام شده توسط شرکت بهره‌برداری مترو تهران شدت انرژی هر قطار مترو در سال ۱۳۸۵ برابر با ۲۰٫۵ کیلووات ساعت بر کیلومتر بوده است. این پارامتر نیز در طی دوره مطالعه ثابت فرض شده است.

جدول ۷: شدت انرژی الکتریکی ناوگان مترو اتوبوس برقی تا سال ۱۳۹۵

سال	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
شدت انرژی قطار مترو (کیلووات ساعت بر صد کیلومتر)	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵	۲۰٫۵
شدت انرژی اتوبوس برقی (کیلووات ساعت بر صد کیلومتر)	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶	۶۶

## پیش‌بینی انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل در سایر شهرها

پیش‌بینی انرژی الکتریکی مورد نیاز قطار شهری بر اساس طرحهای توسعه و یا در حال احداث در سایر شهرها تا سال ۱۳۹۵ در جدول (۸) آورده شده است.

جدول (۸): برق مصرفی سیستم های قطار شهری در ایران تا سال ۱۳۹۵

نام شهر	سال								
	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵
اصفهان	۲۰۲	۲۰۳	۲۱۸	۲۱۹	۲۲۲	۲۲۴	۲۴۰	۲۴۲	۲۴۴
کرج	۰	۰	۹۸	۱۳۷	۱۳۷	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۲	۱۹۲
مشهد	۰	۰	۰	۲۲۶	۲۲۶	۲۲۶	۲۲۶	۲۲۶	۲۲۶
شیراز	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تبریز	۰	۰	۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
اهواز	۰	۰	۰	۲۴۸	۲۴۸	۲۴۸	۲۴۸	۲۴۸	۲۴۸
مجموع روزانه (مگاوات ساعت)	۲۰۲	۲۰۳	۳۱۶	۱۱۴۱	۱۱۴۲	۱۲۰۰	۱۲۱۶	۱۲۱۸	۱۲۲۰
مجموع سالیانه (مگاوات ساعت)	۷۳۵۸۴	۷۴۱۹۷	۱۱۵۲۶۸	۴۱۶۳۰۷	۴۱۶۹۶۷	۴۳۷۷۱۹	۴۴۳۸۱۵	۴۴۴۵۲۶	۴۴۵۲۵۹
مجموع سالیانه (گیگاوات ساعت)	۷۳٫۶	۷۴٫۲	۱۱۵٫۳	۴۱۶٫۳	۴۱۷٫۰	۴۳۷٫۷	۴۴۳٫۸	۴۴۴٫۵	۴۴۵٫۳

### محاسبه انرژی الکتریکی مصرفی بخش حمل و نقل تهران در مدل MAED

با وارد کردن سایر متغیرهایی که در قسمتهای قبل به آنها اشاره شد چندین محاسبه فنی برای به دست آوردن پارامترهای میانی و در نهایت استحصال کل انرژی الکتریکی مورد نیاز در بخش حمل و نقل در MAED انجام می‌شود. در نهایت انرژی الکتریکی مصرفی بخش حمل و نقل تهران با استفاده از مدل MAED مطابق جدول (۹) به دست آمد.

جدول ۹: انرژی الکتریکی مورد نیاز برای سفرهای درون شهری در تهران تا سال ۱۳۹۵

سال	۱۳۸۵	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
کل برق مصرفی توسط ناوگان مترو (گیگاوات ساعت)	۲۳۵٫۶	۲۸۸٫۲	۳۰۴٫۰	۳۳۰٫۳	۳۵۹٫۲	۳۹۰٫۷	۴۲۷٫۵	۴۶۳٫۴	۵۰۴٫۶	۵۵۰٫۱
کل برق مصرفی توسط ناوگان اتوبوس برقی (گیگاوات ساعت)	۷٫۰	۷٫۹	۷٫۰	۷٫۰	۷٫۰	۷٫۰	۷٫۰	۶٫۱	۷٫۰	۶٫۱
کل انرژی الکتریکی (گیگاوات ساعت)	۲۴۲٫۷	۲۹۶٫۱	۳۱۱٫۰	۳۳۷٫۳	۳۶۶٫۲	۳۹۷٫۷	۴۳۴٫۵	۴۶۹٫۵	۵۱۱٫۶	۵۵۶٫۳

ذکر این نکته ضروری است که برق مورد نیاز برای ناوگان مترو در مقایسه با اتوبوس برقی بیشتر بوده و بنابراین در سطح کلان کل انرژی الکتریکی مورد نیاز در بخش حمل و نقل شهر تهران به قطار شهری یا همان مترو بر می‌گردد. همچنین، توسعه ناوگان مترو موجبات افزایش مصرف انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل را فراهم خواهد ساخت و این در حالی است که مطابق اطلاعات اخذ شده برنامه مدون و جامعی در خصوص افزایش تعداد اتوبوسهای برقی و در نتیجه افزایش مصرف الکتریسیته در این بخش وجود ندارد.

### پیش‌بینی انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل در ایران تا سال ۱۳۹۵

از مجموع انرژی الکتریکی مورد نیاز سیستم‌های قطار شهری در سایر شهرهای ایران و انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل در شهر تهران کل برق مورد نیاز در بخش حمل و نقل در کشور تا سال ۱۳۹۵ به دست می‌آید. نتایج حاصل بر حسب گیگاوات ساعت (واحد متداول در MAED) در جدول (۱۰) آورده شده است.

جدول ۱۰: انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل در ایران تا سال ۱۳۹۵

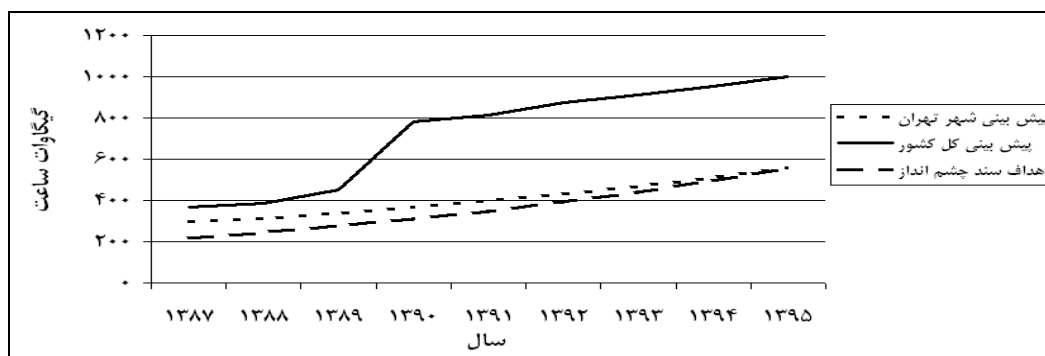
سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
برق مصرفی بخش حمل و نقل در تهران (گیگاوات ساعت)	۲۹۶,۱	۳۱۱,۰	۳۳۷,۳	۳۶۶,۲	۳۹۷,۷	۴۳۴,۵	۴۶۹,۵	۵۱۱,۶	۵۵۶,۳
برق مصرفی بخش حمل و نقل در سایر شهرها (گیگاوات ساعت)	۷۳,۶	۷۴,۵	۱۱۵,۶	۴۱۶,۱	۴۱۷,۰	۴۲۸,۰	۴۴۴,۱	۴۴۴,۱	۴۴۵,۰
برق مصرفی بخش حمل و نقل در ایران (گیگاوات ساعت)	۳۶۹,۷	۳۸۵,۴	۴۵۲,۹	۷۸۲,۳	۸۱۴,۷	۸۷۲,۵	۹۱۳,۷	۹۵۵,۷	۱۰۰۱,۳

## مقایسه پیش بینی انجام شده با اهداف مورد نظر در سند چشم انداز توسعه ایران

جدول شماره (۱۱)، میزان برق مصرفی در بخش حمل و نقل ایران تا سال ۱۳۹۵ بر اساس سند چشم انداز توسعه بیست ساله کشور را نشان می‌دهد. برای مقایسه هر چه بیشتر با پیش‌بینی انجام شده در این مقاله برق مصرفی بخش حمل و نقل در شهر تهران و همچنین کل کشور به همراه اهداف سند چشم انداز در شکل (۳) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، اگر سایر طرح‌های پیش بینی شده در تمامی نقاط کشور تحقق یابد پیش بینی انجام شده توسط مدل MAED از اهداف مورد نظر در سند چشم انداز توسعه بیست ساله ایران در سال ۱۳۹۵ بیشتر خواهد بود و در صورتی که تنها در شهر تهران طرح‌های توسعه اجرایی و بهره‌برداری شود، نتیجه پیش بینی و اهداف سند بر یکدیگر منطبق خواهند شد.

جدول ۱۱: انرژی الکتریکی مورد نیاز بخش حمل و نقل در ایران تا سال ۱۳۹۵ بر اساس اهداف سند چشم انداز

سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
برق مصرفی بخش حمل و نقل در ایران (گیگاوات ساعت)	۲۱۹,۹	۲۴۷,۰	۲۷۷,۷	۳۱۱,۹	۳۵۰,۴	۳۹۳,۳	۴۴۲,۴	۴۹۶,۷	۵۵۸,۰



شکل ۳: مقایسه پیش بینی حاصل از مدل MAED با اهداف سند چشم انداز توسعه تا افق ۱۳۹۵

## نتیجه گیری

پیش بینی انرژی الکتریکی مورد نیاز برای بخش حمل و نقل در ایران را می توان به دو بخش پیش بینی انرژی الکتریکی مورد نیاز در شهر تهران و پیش بینی انرژی الکتریکی مورد نیاز در سایر شهرها تقسیم بندی نمود. در شهر تهران با توجه به اطلاعات اخذ شده سیستم قطار شهری یا همان مترو در حال گسترش است و این در حالی است که ناوگان اتوبوس برقی به دلیل عدم وجود زیرساختهای مناسب چندان توسعه نخواهد یافت. بر این اساس، محاسبات فنی نشان داد که برق مصرفی در ناوگان مترو تهران از ۲۳۵ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۸۵ به ۵۵۰ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۹۵ خواهد رسید و بدین ترتیب دو برابر رشد خواهد داشت. همچنین، انرژی الکتریکی مصرفی در بخش اتوبوس برقی در مقایسه با مترو ناچیز بوده و قابل صرف نظر کردن است. در سایر شهرهای ایران انرژی الکتریکی مورد نیاز در بخش حمل و نقل در آینده به مترو مربوط می شود. با توجه به این نکته و اطلاعات اخذ شده از سایر شرکتهای بهره برداری قطار شهری در ایران کل برق مصرفی در بخش حمل و نقل در سایر شهرهای ایران در سال ۱۳۹۵ به ۴۴۵ گیگاوات ساعت خواهد رسید. نتایج پیش بینی ها نشان می دهد که در مجموع مصرف انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل در کل کشور از ۲۳۵ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۸۵ به ۱۰۰۱ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۹۵ خواهد رسید. همچنین، در صورتی که سایر طرحهای گسترش ناوگان قطار شهری در سایر شهرهای ایران اجرایی و در زمان مقرر به بهره برداری برسد، میزان برق مصرفی در بخش حمل و نقل ایران بیشتر از اهداف سند چشم انداز توسعه ایران در سال ۱۳۹۵ خواهد شد و در صورتی که این ناوگان تنها در شهر تهران گسترش یابد، میزان برق مصرفی و اهداف سند چشم انداز به یک نقطه همگرا خواهند شد.

## منابع

- [۱] آمار تفصیلی صنعت برق ایران، شرکت توانیر، وزارت نیرو جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵.
- [۲] ترازنامه انرژی ایران، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۴.
- [۳] ترازنامه انرژی ایران، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵.
- [۴] سرشماری عمومی نفوس و مسکن در ایران، مرکز آمار ایران، ۱۳۸۵.
- [۵] شرکت اتوبوس برقی تهران.
- [۶] شرکت بهره برداری مترو تهران و حومه.
- [۷] مدل تقاضای بار الکتریکی به تفکیک پیک و غیر پیک و به تفکیک بخشهای اقتصادی و اجتماعی، پژوهشگاه نیرو، وزارت نیرو جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۷.
- [۸] مطالعات حمل و نقل در شهر تهران، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، ۱۳۸۵.
- [9] Computer Manual Series of Model for Analysis of Energy Demand (MAED 2), IAEA, 2002.
- [10] www.iranurbanstudies.com.