# میکروتوربین‌ها و کاربرد آن در حمل‌ونقل

**امیر کریمی : کارشناس‌ارشد بهبود روش‌های حمل‌ونقل**

## چکیده

میکروتوربین‌ها از جدیدترین انواع توربین‌های احتراقی هستند که به منظور تولید الکتریسیته و گرما به کار گرفته می‌شوند. سابقه توسعه و گسترش روزافزون این سیستم‌ها چندان طولانی نیست و به دهه اخیر بازمی‌گردد. توسعه سیستم‌های تولید توان الکتریکی و حرارتی پربازده‌تر، با قابلیت اطمینان بالاتر و آلودگی کمتر یکی از نیازهای رو به رشد صنعت در سال‌های آینده می‌باشد و پیشرفت در این عرصه می‌تواند موجب کاهش هزینه ، افزایش کیفیت و کاهش خطرات زیست محیطی شود. یکی از راه‌هایی که فرصت دسترسی به چنین اهدافی را فراهم می‌سازد. سرمایه‌گذاری در منابع و وسایل با ابعاد کوچک جهت تولید انرژی به صورت غیرمتمرکز و در محل‌های مورد نیاز می‌باشد. سیستم‌های تولید انرژی غیرمتمرکز سیستم‌هایی هستند که الکتریسیته، حرارت و یا توان مکانیکی را در نزدیکی محل مصرف‌کننده تولید می‌کنند. توربین‌های احتراقی , موتورهای رفت و برگشتی, سیستم‌های خورشیدی , توربین‌های بادی و سلول‌های سوختی از جمله وسایل تولید انرژی به صورت غیرمتمرکز هستند، از دلایل استقبال روز افزون استفاده از چنین سیستم‌هایی می توان به تردید داشتن درباره ی قابلیت اطمینان سیستم‌های موجود، به حداقل رساندن افت انرژی, قابلیت استفاده از سوخت‌های مختلف، حذف شبکه‌های توزیع و بالا بردن امنیت اشاره کرد، در این گزارش ما به بررسی یکی از مولدهای انرژی با کیفیت و پرکاربرد در صنعت، میکروتوربین‌ها، پرداخته‌ایم.

یکی از کاربردهای دیگر استفاده از میکروتوربین‌ها علاوه بر تولید انرژی غیرمتمرکز، استفاده آن در خودروهای برقی می‌باشد که مورد استقبال بسیاری از کشورهای پیشرفته و یا در حال توسعه قرار گرفته است. با توجه به وزن و قیمت نسبتا بالای باتری می‌توان از مولد برق همراه در خودروهای برقی به منظور افزایش رنج باتری استفاده نمود و بدون نیاز به شارژ مداوم در طول روز و بدون نیاز به نصب ایستگاه‌های شارژ در طول مسیر از مزایای خودروهای برقی بدون اعمال بار در طول روز بر شبکه برق بهره برد. از طرفی به دلیل آلایندگی نزدیک به صفر میکروتوربین‌ها، طول عمر بالا و هزینه نگهداری پایین آنها، استفاده از تکنولوژی میکروتوربین در خودروهای برقی به‌عنوان مولد برق به منظور شارژ باتری‌ها رویکردی است که مورد توجه سازندگان این خودروها قرار گرفته است.

در ادامه ابتدا به توضیح کارکرد و کاربرد میکروتوربین‌ها می‌پردازیم و سپس به‌کارگیری آن در خودروهای برقی- توربینی به منظور استفاده در ناوگان حمل‌ونقل مورد بررسی قرار می‌گیرد و این نتیجه حاصل می‌شود که استفاده از میکروتوربین‌ها در کنار باتری در خودروهای هیبریدی هم از نظر اقتصادی و هم زیست محیطی توجیه‌پذیر می‌باشد.

## مقدمه

تاکنون یک تعریف دقیق برای میکروتوربین نشده است ولی معمولاً این لفظ برای توربین‌های گازی با سرعت بالا در گستره قدرت ۲۵ تا ۵۰۰ کیلووات بکار می‌رود. این فناوری در حقیقت الهام گرفته از تکنولوژی مورد استفاده در توربوشارژرهای خودروها و کامیون‌ها و واحدهای توان کمکی هواپیماها می‌باشد. چندین کمپانی در جهان به تولید انبوه این نوع سیستم‌ها پرداخته‌اند. محور این نوع توربین‌ها به طور معمول دارای سرعت بسیار زیادی تا ۱۰۰۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشند که با دوران آن ژنراتور با سرعت بالا، برق تولید می‌کند. فرکانس بالای برق خروجی پس از تبدیل به فرکانس برق معمول که ۵۰ Hz یا ۶۰ HZ می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از ویژگی‌های مثبت میکروتوربین، وزن کم و تعداد اندک قطعات متحرک است. خصوصیت عمده این نوع سیستم‌ها انعطاف‌پذیری آن‌هاست که به واسطه این ویژگی، می‌توان از آن‌ها بصورت ترکیبی با سیستم‌های بزرگ که شامل چندین واحد هستند استفاده نمود. هم‌چنین می‌توان به مزیت‌های این سیستم برای محیط زیست اشاره نمود، از جمله دمای احتراق پایین‌تر این سیستم‌ها باعث کاهش آلاینده NOx شده و همچنین میزان نویز تولیدی آن‌ها از یک موتور با قدرت معادل به مراتب کمتر است. از سوی دیگر از گرمای تولیدی میکروتوربین‌ها می توان برای تولید بخار فشار پایین یا آب داغ برای نیازمندی‌های موجود در محل، بهره برد. بطورکلی می‌توان به مزایای زیر اشاره کرد:

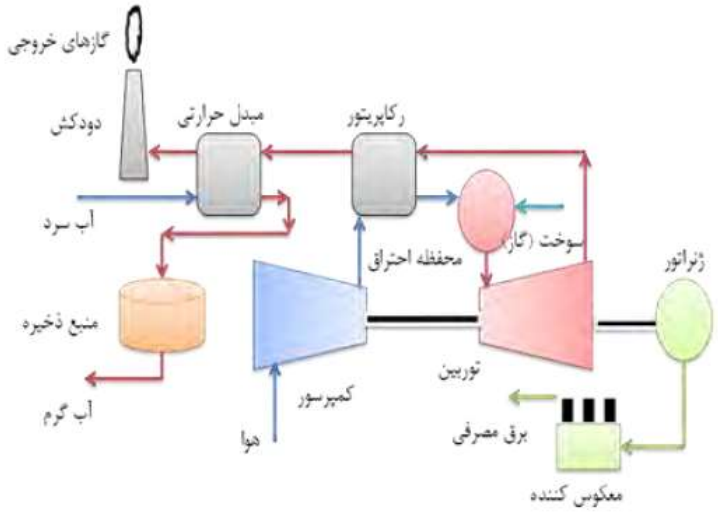
- راندمان بالا (هنگام استفاده‌ی هم زمان الکتریسیته و حرارت)
- تعداد قطعات متحرک کم
- وزن کم
- قابلیت استفاده در محل مورد نظر
- تولید هم زمان برق و حرارت
- آلودگی بسیار پایین محیط زیست
- عمر کاری بالا
- هزینه تعمیر و نگهداری بسیار کم
- قابلیت استفاده از سوخت‌های مختلف
- هزینه پایین تولید الکتریسیته.

اجزاء اصلی میکروتوربین عبارتند از:

- کمپرسور و توربین شعاعی تک مرحله ای
- ژنراتور مغناطیسی دائمی سرعت بالا
- رکوپراتور(یک نوع مبدل حرارتی هوا به گاز برای پیش‌گرمایش هوای ورودی به کمپرسور توسط گازهای خروجی از اگزوز)
- محفظه احتراق

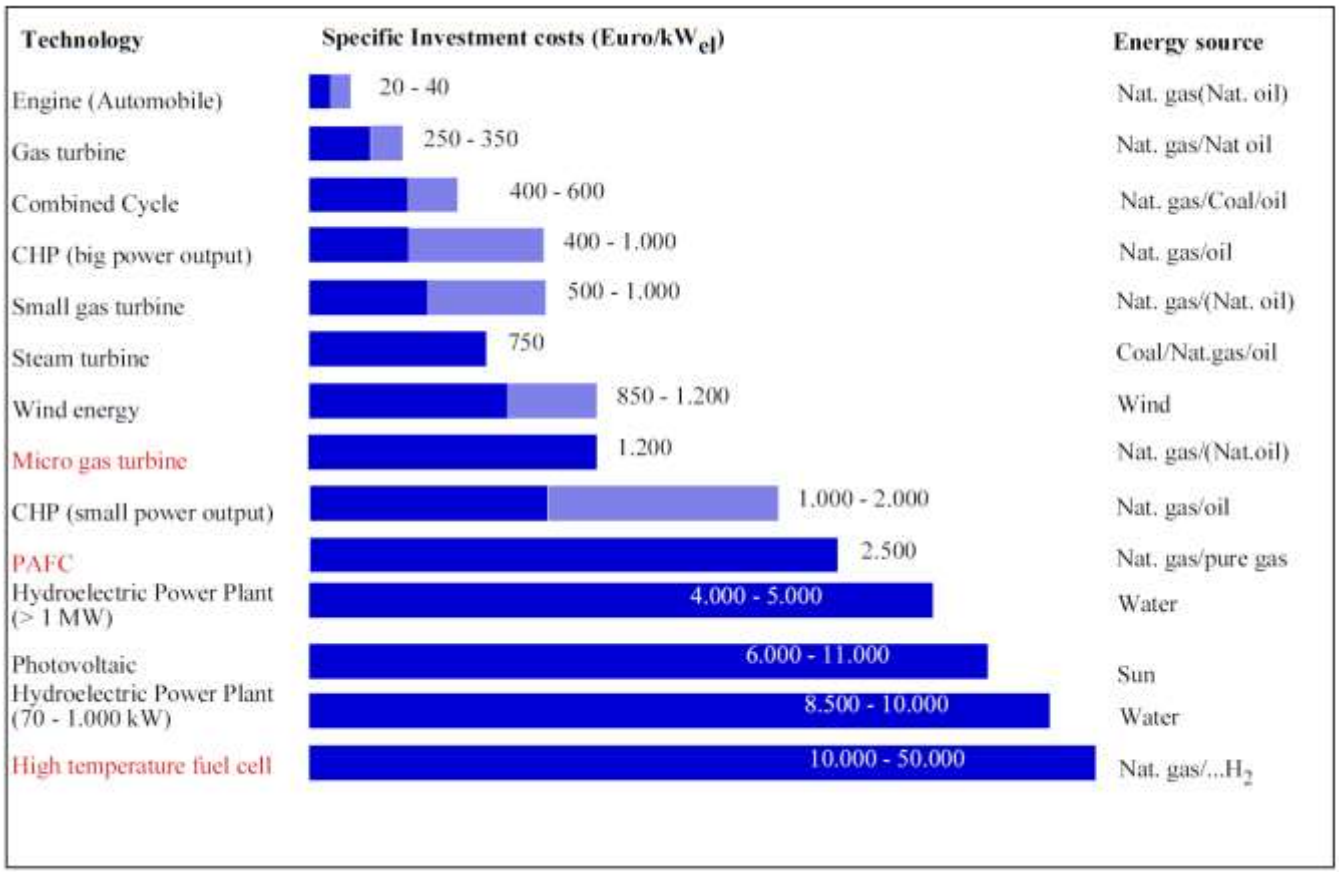
- تجهیزات رگلاتور ولتاژ تولیدی و مبدل‌ها

با ادامه روند موجود در بسیاری از مکان‌ها، ژنراتورهای خصوصی جایگزین تغذیه از سوی شرکت‌های برق سراسری یا منطقه‌ای را خواهد گرفت پدیده‌ای که امروز Power Deregulation نامیده می‌شود. هزینه انتقال و توزیع برق سهم بالایی از هزینه تولید انرژی را در برمی‌گیرد. این میزان برای شبکه‌های رایج می‌تواند تا ۲ سنت دلار به ازای هر کیلووات ساعت برسد. در مسیر انتقال و توزیع الکتریسیته تا ۷٪ انرژی هدر می‌رود. بنابراین چنانچه توزیع تولید جایگزین انتقال و توزیع الکتریسیته گردد هزینه انرژی الکتریکی به مقدار قابل توجهی کاهش خواهد یافت. در شکل زیر مدار استفاده از میکروتوربین و استفاده از گازهای خروجی توربین جهت رفع نیاز گرمایش کاربر با تولید آب گرم به صورت شماتیک آورده شده است:




شکل۱- استفاده از توربین در سیستم CHP

میکروتوربین‌ها نسبت به موتورهای احتراق داخلی گران‌تر می باشند اما از سوی دیگر هزینه تعمیر و نگهداری کمتری خواهند داشت، در شکل زیر هزینه اولیه مولدهای مختلف توان جهت مقایسه میکروتوربین با دیگر مولدها آورده شده است:



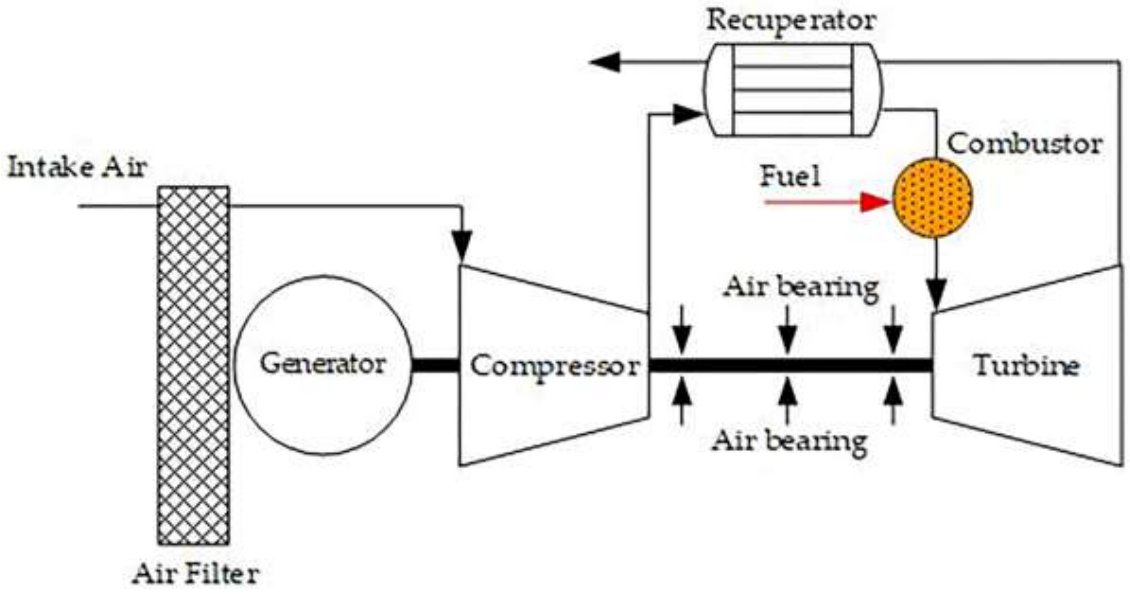

شکل۲- مقایسه هزینه اولیه مولدهای مختلف انرژی

چند شرکت سازنده میکروتوربین‌ها و دامنه تولید توان آن در ادامه آورده شده است:

| | | |
|---|---|---|
| PBS | Czech Republic | 25kW units |
| Capstone | US | 30 and 60kW units |
| Honeywell | US | 100 kW units |
| Pratt and Whitney | Canada | 250 to 500 kW units |

## اساس کار و اجزای اصلی میکروتوربین‌ها

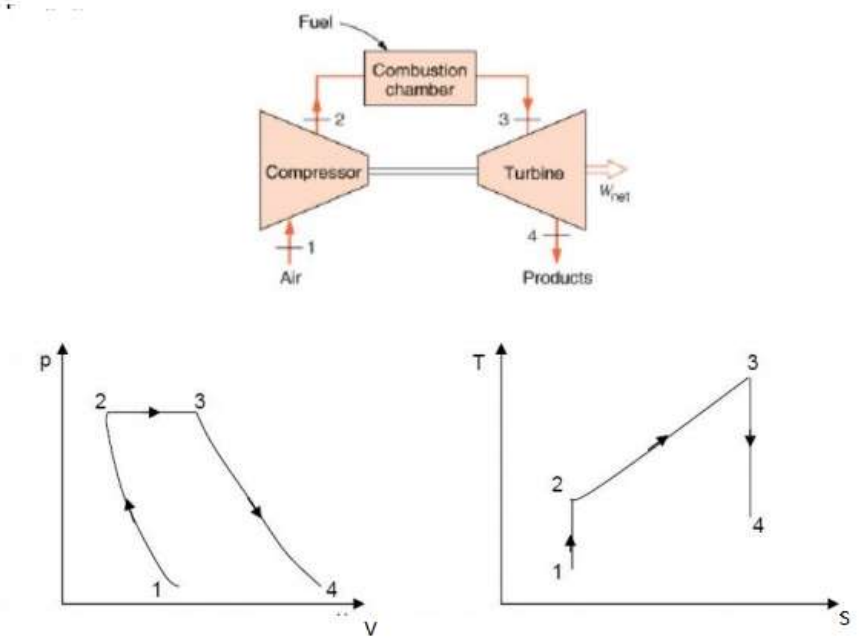
میکروتوربین‌ها معمولا دارای یک مبدل حرارتی (رکاپوریتور) جهت بازیافت انرژی از گاز داغ خروجی جهت پیش‌گرم‌کردن هوای ورودی به کمپرسور می‌باشند. معمولا میکروتوربین‌ها دارای یک کمپرسور هوای گریز از مرکز یا شعایی هستند که هوای فشرده پیش‌گرم‌شده را با سوخت مخلوط نموده و در اتاقک احتراق می‌سوزاند، گاز داغ حاصل سپس در یک یا دو بخش توربینی منبسط شده که در نتیجه تولید قدرت دورانی می‌نماید. این قدرت دورانی  سپس جهت به حرکت در آوردن کمپرسور و ژنراتور تولید انرژی الکتریکی به کار گرفته می‌شود.




شکل۳- مدار استفاده از میکروتوربین به همراه بازیاب حرارتی

### سیکل ترمودینامیکی میکروتوربین‌ها

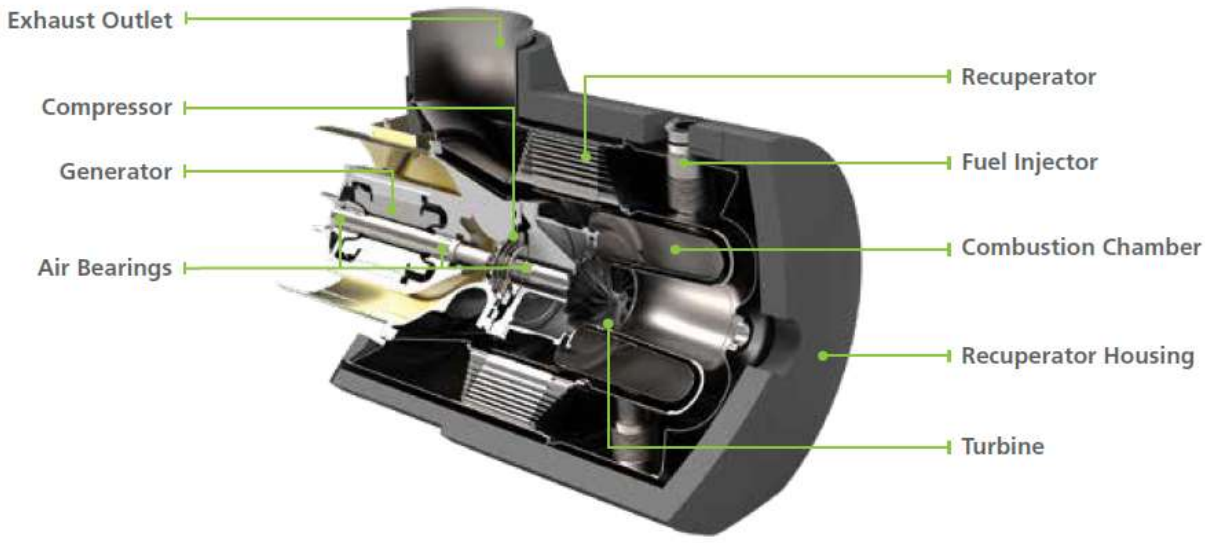
سیکل ترمودینامیکی میکروتوربین‌ها مشابه توربین‌های گاز بزرگ (سیکل براتیون) می باشد. در سیکل براتیون هوا با فشار اتمسفر در کمپرسور فشرده شده و سپس در فشار ثابت تحت حرارت قرار می‌گیرند. در ادامه گاز داغ حاصل از سوزاندن سوخت و هوای فشرده پیش‌گرم‌شده منبسط می‌گردد که قدرت تولید شده توسط انبساط دهنده (توربین) جهت دوران کمپرسور و ژنراتور باعث تولید انرژی الکتریکی می‌گردد. میزان قدرت تولیدی توسط توربین وابسته به درجه حرارت مطلق می‌باشد. هرچه درجه حرارت و فشار گاز ورودی به توربین بیشتر باشد راندمان و قدرت مخصوص بیشتری حاصل می‌گردد. بنابراین برای به دست آوردن قدرت و راندمان مناسب و قابل قبول، بایستی دو عامل رعایت گردد: اولا این که توربین در بالاترین درجه حرارت گاز ورودی قابل دسترس به کار گرفته شود(که محدوده آن توسط مواد استفاده شده در پره‌ی توربین تعیین می‌شود)، ثانیا هوا با پایین‌ترین درجه حرارت ممکن وارد کمپرسور شود.. در شکل زیر سیکل ترمودینامیکی توربین گاز نشان داده شده است:




شکل۴- نمودار دما-آنتروپی و فشار حجم سیکل توربین گاز

## اجزای اصلی میکروتوربین

اجزای اصلی یک میکروتوربین شامل کمپرسور، توربین، ژنراتور و مبدل حرارتی است که در شکل زیر شرح داده شده است.




شکل۵- اجزای میکروتوربین گاز

# کاربرد میکروتوربین‌ها

به دلیل ویژگی‌های گوناگون استفاده از میکروتوربین‌ها در کاربردهای مختلف تولید توان الکتریکی و حرارتی در محیط‌های صنعتی, تجاری و نیز محل‌های عمومی روز به روز بیشتر می‌شود. صنایع استخراج و فرآوری نفت, صنایع شیمیایی، چوب، کشاورزی، کاشی، سرامیک، معدن و نیز حمل‌ونقل عمده‌ترین مراکز صنعتی هستند که فرصت‌های مناسبی جهت استفاده از میکروتوربین‌ها را فراهم می سازد. علاوه بر این مراکز دیگری هم چون ساختمان‌های اداری مجتمع‌های مسکونی، رستوران‌ها، فروشگاه‌های بزرگ، مجموعه‌های ورزشی، بیمارستان‌ها، دانشگاه‌ها، مدارس، مراکز استراتژیک و.... نیز می‌توانند از استفاده‌کنندگان میکروتوربین‌ها باشند.

در حال حاضر می‌توان از میکروتوربین‌ها در موارد زیر استفاده کرد:

**۱- تولید پیوسته‌ی توان الکتریکی**

**۲- تولید حرارت، سرما و الکتریسیته**

**۳- پیک‌سایی**

**۴- تامین نیروی الکتریکی پشتیبان**

**۵- بازیابی منابع سوختی**

**۶- کاربرد در صنایع نفتی، گاز و پتروشیمی**

**۷- کاربرد در سیستم‌های حمل و نقل شهری**

## ۱- تولید پیوسته توان الکتریکی

در این کاربرد میکروتوربین‌ها به عموان منابع اصلی تولید الکتریسیته به کار گرفته می‌شوند. این کاربرد از نظر راندمان شاید مزیت چندانی بر سایر روش‌های تولید توان نداشته باشد اما اهمیت این موضوع در قابلیت استفاده از آن در محل مورد نیاز می‌باشد. بدین ترتیب می توان مراکز حساس را از شبکه ی اصلی مستقل ساخت و امنیت این مراکز را بالا برد. از طرف دیگر با توجه به قابلیت میکروتوربین‌ها در استفاده از سوخت‌های مختلف می توان از آن‌ها به سادگی در نقاط دوردست و مکان‌هایی که عبور از آن بسیار مشکل است مانند سکوهای نفتی، میدان‌های حفاری، تلمبه خانه‌ها، روستاها، مراکز دور افتاده ی نظامی و...برای تولید انرژی استفاده کرد.

## ۲- تولید حرارت و سرما و الکتریسیته

در این کاربرد از میکروتوربین‌ها علاوه بر تولید الکتریسیته، از حرارت تولیدی آن به منظور تولید آب گرم، آب سرد و تامین هوای خنک ساختمان‌ها نیز استفاده می‌شود. به کارگیری حرارت ایجاد شده توسط میکروتوربین، می‌تواند بازده کل سیستم تهویه‌مطبوع را افزایش دهد چنین کاربردی بهترین و مناسب‌ترین روش استفاده از انرژی هدررفته در سیستم‌های اولید توان است.

### ۳- پیک سایی

در این کاربرد به منظور اجتناب از پرداخت مبالغ سنگین ناشی از ایجاد بار پیک و هزینه‌های بالای آن از میکروتوربین‌ها استفاده می‌شود. این هزینه‌ها (که در زمان پیک ممکن است به ۳ الی ۵ برابر زمان عادی برسد) می‌تواند سرمایه‌گذاری انجام شده جهت خرید و نصب چنین تجهیزاتی را از نظر اقتصادی موجه سازد.

### ۴- تامین نیروی الکتریکی پشتیبان

برخی مصرف‌کنندگان نیاز به انرژی الکتریکی کاملا قابل اطمینان و همیشگی دارند مکان‌هایی همچون تلمبه خانه‌ها، سکوهای نفتی، مراکز مخابراتی و امنیتی ، بیمارستان‌ها، فرودگاه‌ها در زمره این مصرف‌کنندگان هستند. به همین منظور استفاده از سیستم‌هایی که در صورت نیاز بتوان آن‌ها را به سرعت وارد عمل نمود در چنین مکان‌هایی الزامی است. سرعت راه اندازی میکروتوربین‌ها اطمینان بالای آن‌ها و هزینه پایین تعمیر و نگه‌داری آن‌ها از مزیت‌های میکروتوربین‌ها برای استفاده به عنوان سیستم پشتیبان می‌باشند.

### ۵- بازیابی منابع سوختی

بارزترین نمونه این کاربرد استفاده از گازهای ترش و با قابلیت اشتعال پایین در چاه‌ها و میادین نفتی و گازی است که در حال معمول بهره اقتصادی ندارند و سوزانده می‌شوند. میکروتوربین‌ها این قابلیت را دارند که این گازها را به عنوان سوخت، سوزانده و توان و حرارت مورد نیاز در آن محل را تامین کنند.

### ۶- کاربرد در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

یکی از محل‌های مناسب برای استفاده از میکروتوربین‌ها در صنعت نفت ، چاه‌ها و سکوهای نفتی و گازی است. در این محل‌ها برای راه اندازی پمپ‌های مکش نفت و گاز از چاه و هم‌چنین راه‌اندازی کمپروسورهای موجود در خط لوله انتقال به انرژی الکتریکی نیاز است. میکروتوربین‌ها می‌توانند مستقیما گاز خیس بدست آمده از چاه را بسوزاند (برای انجام این کار تنها به کاهنده فشار نیاز است) بدین ترتیب هم باعث صرفه‌جویی زیادی در در مصرف سوخت شده و هم باعث کاهش آلودگی محیط زیست می‌گردند. مزیت عمده دیگر میکروتوربین‌ها عمر کاری بالای آن‌ها است. عمر کاری میکروتوربین‌ها تقریبا **۸ هزار ساعت** کاری است و لذا در سال اول نیاز به هیچ گونه تعمیر ندارد. پس از سال اول در اولین عملیات سرویس و نگهداری تنها بایستی فیلترهای هوا و سوخت آن‌ها عوض شود که فقط ۱۵ دقیقه به طول می‌انجامد، بدین ترتیب داشتن تنها یک قطعه متحرک را به منحنی قابل اطمینان برای تولید انرژی تبدیل کرده است که نیاز به رسیدگی و سرویس بسیار کمی دارند. امروزه بر روی بسیاری از سکوهای نفتی برای تولید انرژی از موتورهای دیزلی استفاده می‌شود. لذا سوخت دیزل مورد نیاز بایستی به وسیله ی مخازن و یا هلی‌کوپتر به محل سکو حمل شود. علاوه بر مشکلات و هزینه بالا انتقال سوخت به سکو احتمال جاری شدن سوخت و آتش گرفته سکو نیز وجود دارد. شاید بتوان گفت که استفاده از توربین‌های گازی بر روی سکوها به جای موتورهای دیزلی راه حل این مشکل است. اما بایستی به یک نکته توجه کرد و

آن این که توربین‌های گازی نمی‌توانند گاز خیس بدست آمده در سکو را بسوزانند و لذا زمان بسیار زیادی برای پالایش و فرآوری گاز موجود جهت سوزاندن در توربین گاز احتیاج است از طرف دیگر هزینه‌های تعمیر و نگه داری توربین‌های گازی در مقایسه با میکروتوربین‌ها بسیار بالاتر است و زمان انجام این تعمیرات نیز بسیار طولانی‌تر است و بایستی طی دوره‌های منظم در طول سال مورد بازدید و بازنگری قرارگیرد بدین ترتیب میکروتوربین‌ها با قابلیت سوزاندن مستقیم گاز خیس و هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری پایین دارای مزیت‌های بیشتری هستند.

**۷- کاربرد در سیستم‌های حمل نقل شهری**

اتومبیل‌های برقی ، پاک و سازگار با محیط زیست بوده و جایگزین بسیار مناسبی برای موتورهای دیزلی یا گازی آلوده‌کننده می‌باشند اما عیب عمده‌ی ماشین‌ها در مسافتی است که می‌توانند با هر بار شارژ باتری‌ها طی کنند. امروزه میکروتوربین‌ها به کمک این ماشین‌ها آمده‌اند و نیاز آن‌ها را به سیستم‌های شارژ باتری قطع کرده و خود وظیفه شارژ را به عهده گرفته است. علاوه بر این میکروتوربین‌ها توان تولید الکتریسیته‌ی اضافی را برای سیستم‌های تهویه هوا و شتاب‌دهی سریع آن خودروها فراهم می‌کنند. در نتیجه در طی روز این خودروها نیازی به شارژ ندارند و زمانی که مصرف الکتریسیته بسیار پایین می‌آید می‌توانند به شبکه برق سراسری متصل شده و خود را شارژ کنند. این امر سبب می‌شود که هزینه سوخت این خودروها در مقایسه با سایر سیستم‌های دیزلی یا گازی بسیار پایین بیاید. علاوه بر این به دلیل آن که میکروتوربین‌ها با هوا ، خنک شده و نیازی به روغن ندارند هزینه تعمیر و نگه‌داری این خودروها بسیار پایین است.

# کاربرد میکروتوربین در حمل و نقل

امروزه بحث کاهش آلایندگی‌های زیست محیطی و کاهش مصرف انرژی فسیلی با توجه به افزایش انتشار گازهای سمی و گلخانه‌ای و گرم‌شدن زمین، دارای اهمیت زیادی در جهان می‌باشد، به طوری که کشورهای پیشرفته با وجود هزینه‌بربودن جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های نو، به این سمت حرکت نموده‌اند و برنامه‌ریزی‌های انجام شده در بحث انرژی در کشورهای پیشرفته، نوید تامین بخش عمدهای از نیاز انرژی بشر توسط انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آتی را می‌دهد. با توجه به نقش گسترده خودروها در ایجاد آلایندگی‌های شهری، یکی از موضوعات مهمی که در چند دهه اخیر در جهان مطرح می‌باشد بحث بهینه‌سازی مصرف خودروها در حد امکان و کاهش آلایندگی خودروها به طرق مختلف می‌باشد. بدین منظور، مهمترین اقدامی که در این مورد در جهان صورت گرفته، استفاده از تکنولوژی باتری و موتورهای الکتریکی در خودروها می‌باشد.

امروزه این خودروها که به خودروهای هیبرید شناخته می‌شوند در دو نوع هیبرید سری و موازی ساخته می‌شوند. با بکارگیری این خودروها به میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد از انتشار اکسیدهای نیتروژن به محیط کاسته می‌شود در حال حاضر، شرکت خودروسازی تویوتا با بیشترین فروش خودروی برقی هیبریدی پیشتاز است. شرکت‌های دیگر از قبیل هوندا، فورد، گروه هیوندای و شرکت کیاموتور، در تعقیب کمپانی تویوتا از لحاظ بیشترین فروش قرار دارند. این امر مختص خودروهای سواری نبوده و شامل خودروهای سنگین نظیر اتوبوس‌ها نیز می‌شود. به طوری که شرکت‌های سازنده اتوبوس از قبیل ای باس ، بی وای دی ، رایت باس و چندین کمپانی دیگر نیز از این رویکرد استقبال کرده و به این سمت حرکت نموده‌اند. در این خودروها با توجه به استفاده از باتری در ظرفیت‌های متنوع، امکان کاهش حجم موتورهای احتراقی و استفاده از موتورهای احتراقی در ظرفیت‌های کمتر با توجه به ظرفیت باتری وجود دارد. باتری‌های استفاده شده در این خودروها قابلیت شارژ توسط شبکه برق از طریق ایستگاه‌های شارژ و همچنین شارژ توسط مولد برق همراه را دارا می‌باشند. نکته مهم اینکه به دو دلیل، استفاده از باتری در خودروها باعث کاهش آلایندگی شهری و همچنین کاهش مصرف انرژی فسیلی می‌شود.

دلیل اول اینکه، با استفاده از باتری، امکان ذخیره توان تولیدی موتور احتراقی در هنگام توقف‌های پی‌درپی و درجازدن‌های موتور احتراقی و همچنین استفاده از دور پربازده موتور احتراقی با توجه به نوع خودرو برقی، وجود دارد. دلیل دوم نیز، امکان شارژ باتری توسط برق شبکه و استفاده از این توان ذخیره شده در باتری، می‌باشد. موضوع مهم دیگر اینکه با توجه به استفاده از باتری در این خودروها، دیگر نیاز به استفاده از موتورهای احتراقی با توان بالا به منظور تامین توان خودرو در بار حداکثری نبوده و این توان توسط باتری‌ها در مواقع لزوم تامین می‌گردد .

### استفاده از میکروتوربین در خودروهای هیبریدی

ساختار خودروهای برقی توربینی، مشابه خودروهای هیبرید سری می‌باشد، با این تفاوت که به‌جای استفاده از موتور احتراق داخلی، از میکروتوربین جهت ایجاد توان مکانیکی لازم به منظور تغذیه ژنراتور و به عنوان مولد برق همراه در حین رانندگی استفاده می‌شود. اگرچه استفاده از تکنولوژی خودروهای برقی توربینی موجب افزایش هزینه‌های اولیه نسبت به خودروهای مرسوم دیزلی یا بنزینی می‌شود، اما آلایندگی کمتر توربین‌ها، هزینه نگهداری پایین‌تر و عدم نیاز به روغنکاری، کارایی بیشینه توربین‌ها در دور بیشینه طول

عمر بیشتر میکروتوربین‌ها و همچنین استفاده از این خودروها به عنوان یک نیروگاه پرتابل در مواقع نیاز، ساخت و استفاده از میکروتوربین‌های گازی در خودروهای برقی را با اقبال گسترده‌ای در جهان در سال‌های اخیر روبرو نموده است.

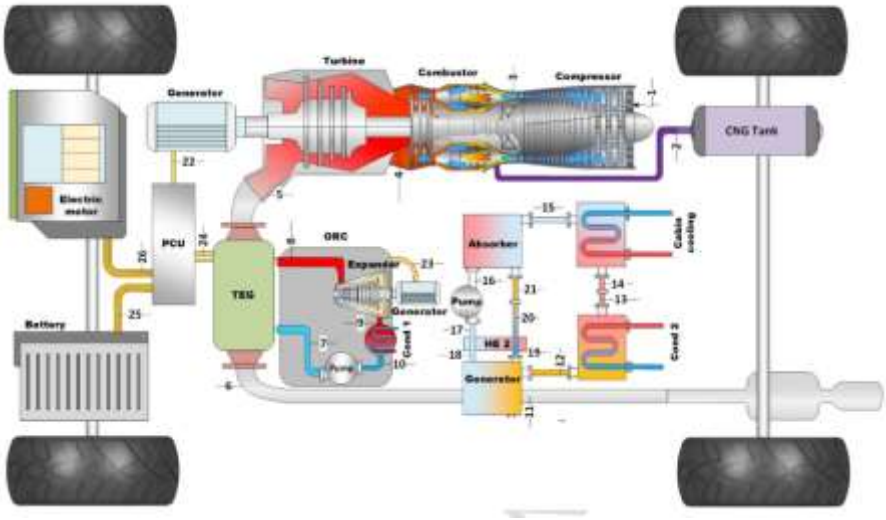
شرکت ایباس آمریکا برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ میلادی، به جای استفاده از موتور احتراقی، اقدام به استفاده از میکروتوربین با توجه به آلایندگی نزدیک به صفر این مولدهای برق در اتوبوس‌های ۶,۵ متری با ظرفیت حمل ۲۹ مسافر نمود و به نتایج مطلوبی در این زمینه دست یافت به طوریکه امروزه این اتوبوس‌ها در دو نوع اتوبوس ۶,۵ و ۱۲ متری با استفاده از میکروتوربین در ظرفیت ۳۰ الی ۶۵ کیلووات توسط این شرکت تولید می‌شود که امکان راندن این اتوبوس‌ها به میزان ۴۸۰ کیلومتر بدون نیاز مراجعه به ایستگاه شارژ، به منظور شارژ باتری وجود دارد.

شرکت‌های جگوار ، نسیان، فورد نیز از توربین‌های کپستون در تولید خود استفاده کرده‌اند. به طور کلی در خودروهای برقی توربینی تولید شده، از یک یا دو میکروتوربین به منظور شارژ باتری و تامین توان موتور الکتریکی استفاده می‌شود. وظیفه تامین توان اضافه مورد نیاز در کولر، فن‌های خنک‌کننده، کمپرسور هوا و تجهیزات کنترلی نیز بر عهده میکروتوربین می‌باشد. در نتیجه‌ی استفاده از توربین در خودرو، نیاز به شارژ و یا تعویض باتری در طول روز برطرف می‌شود. شب هنگام، زمانیکه استفاده از برق شبکه در کمترین میزان خود می‌باشد، با اتصال برق شبکه به باتری‌ها، شارژ مجدد باتری‌ها انجام می‌شود.

در شکل زیر یک نمونه موفق میکروتوربین ساخت شرکت Delta Motorsport که در خودروهای سواری هیبرید چند شرکت بکار گرفته شده است نمایش داده شده است:

شکل۶- موتور میکروتوربین استفاده شده در کمپانی دلتااسپرت

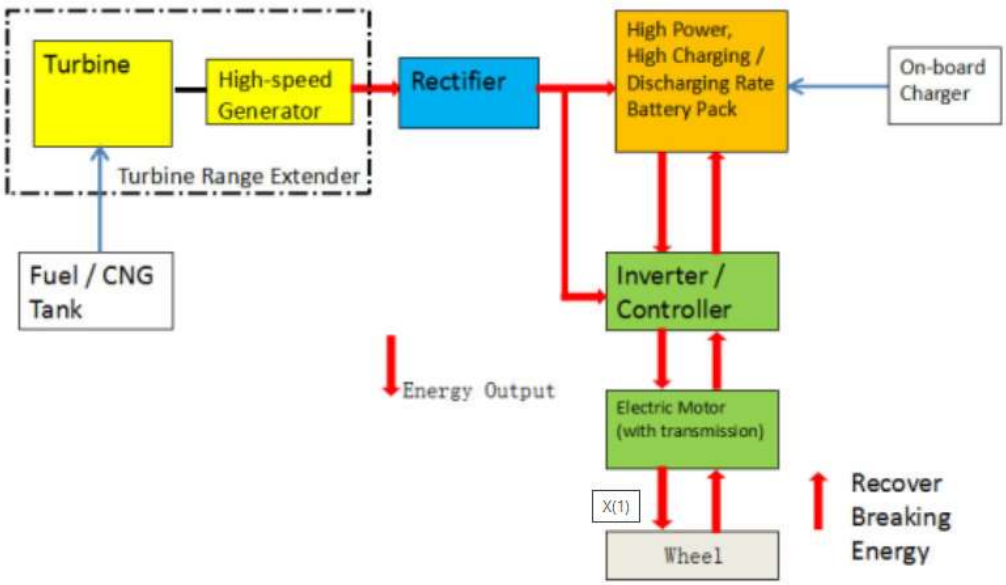
در دانشگاه ONTARIO خودروی هیبریدی ساخته شد که از باتری به همراه میکروتوربین گاز و هم‌چنین از گازهای خروجی توربین برای تامین نیاز حرارتی سیستم تهویه و سرمایش خودرو استفاده می‌کند. در شکل زیر جزییات این سیستم آورده شده است:




شکل۷- استفاده از میکروتوربین در کنار باتری به همراه تولید سرمایش در خودرو

**المان‌های خودرو برقی**

سیستم هیبرید سری شامل بخش تولید توان الکتریکی در میکروتوربین، تبدیل برق متناوب به برق مستقیم در اینورتر و ارسال این برق تولیدی به منظور ذخیره‌سازی به باتری و به منظور راندن چرخ‌ها به موتور الکتریکی توسط واحد کنترل قدرت، می‌باشد. در موتور الکتریکی، برق مستقیم ورودی به برق متناوب تبدیل شده و فرکانس ورودی به درایو موتور بر اساس دستورات ارسالی کنترلر جهت رسیدن به سرعت و دورهای مورد نیاز تغییر می‌کند. قدرت تولیدی در دو موتور الکتریکی، در گیربکس کوپل شده و توان مکانیکی به دیفرانسیل جهت انتقال به چرخ‌ها منتقل می‌شود. در بخش کنترلی نیز کنترل کل اتفاقات درحال اجرا در خودرو توسط یک کنترلر مرکزی و توسط ارتباط این کنترلر با موتور و ژنراتور مولد برق، هر یک از اینورترهای تجهیزات گوناگون شامل اینورتر ژنراتور، اینورتر درایو موتور، اینورتور موتورکمکی و سیستم مدیریت باتری، انجام می‌پذیرد. عمل مدیریت باتری به منظور بررسی میزان شارژ و تامین شارژ باتری و استفاده از توان باتری در درایو موتورها و همچنین کنترل دمای باتری و موارد امنیتی آن، توسط سیستم مدیریت باتری انجام می‌پذیرد. در شکل زیر شماتیک مدار یک خودروی هیبریدی (میکروتوربین- الکتریکی) آورده شده است:




شکل۸- مدار استفاده از میکروتوربین گاز همراه باتری در خودرو هیبریدی

**تحلیل اقتصادی استفاده ار میکروتوربین در خودروهای هیبریدی**

برای بررسی توجیه‌پذیر بودن استفاده از میکروتوربین فرض شده است از این مولد در اتوبوس‌های درون‌شهری استفاده شود، ۳ حالت اتوبوس تمام برقی، برقی- گازی و دیزلی با یکدیگر مقایسه شده است.

| حالت | توضیح |
|---|---|
| **اتوبوس درون‌شهری دیزلی** | **اتوبوس دیزلی موجود بدون اعمال تغییرات** |
| **اتوبوس درون‌شهری تمام برقی** | **استفاده از باتری با ظرفیت ۳۵۰ کیلووات ساعت** |
| **اتوبوس درون‌شهری نیمه برقی** | **استفاده از میکروتوربین ۳۰ کیلوواتی به همراه باتری ۱۵۰ کیلووات ساعت** |

جدول۱- حالت مختلف فرض شده جهت امکان‌سنجی اقتصادی

در ادامه فرضیات صورت گرفته در جدول زیر نشان داده شده است

| | |
|---|---|
| **هزینه میکروتوربین (دلار بر کیلووات)** | **۱۲۰۰** |
| **هزینه استفاده از بازیاب حرارتی در میکروتوربین(دلار بر کیلووات)** | **۳۰۰** |
| **هزینه باتری لیتیوم یونی(دلار بر کیلووات ساعت)** | **۳۰۰** |

| | |
|---|---|
| **هزینه اتوبوس بدون قوای محرکه(دلار)** | **۸۰۰۰۰** |
| **پیمایش سالانه هر اتوبوس درون‌شهری(کیلومتر)** | **۵۰،۰۰۰** |
| **مصرف نفت‌گاز اتوبوس درون‌شهری (لیتر بر کیلومتر)** | **۰,۶** |
| **مصرف برق هر اتوبوس برقی درون‌شهری(کیلووات ساعت بر کیلومتر)** | **۲,۰** |

جدول۲- فرضیات در نظر گرفته شده جهت تحلیل اقتصادی

برای استفاده از برق در اتوبوس‌ها نیاز به موتورهای الکتریکی و تجهیزات کنترلی دیگری نیز می‌باشیم که ۵۰ درصد هزینه قوای الکتریکی فرض شده است، همچنین ۱۰ درصد هم هزینه نصب تجهیزات در نظر گرفته شده است. در جدول میزان سرمایه‌گذاری لازم و هزینه سوخت تمام شده (نرخ‌های بین‌المللی) برای حالات مختلف فرض‌شده، آورده شده است:

| نوع اتوبوس | هزینه کل اتوبوس(دلار) | نوع سوخت مصرفی | میزان مصرف در سال | هزینه مصرف سوخت(دلار) |
|---|---|---|---|---|
| **دیزلی موجود** | **۱۵۰،۰۰۰** | **نفت‌گاز** | **۳۰۰۰۰ لیتر** | **۱۴۱۰۰** |
| **تمام برقی** | **۲۵۰،۰۰۰** | **غیرمستقیم گاز(راندمان ۳۸ درصدی نیروگاه)** | **۲۹۰۰۰ مترمکعب** | **۳۷۷۰** |
| **نیمه برقی(میکروتوربین گازسوز+ باتری)** | **۲۵۰،۰۰۰** | **مستقیم و غیرمستقیم گاز(راندمان ۳۸ درصدی نیروگاه و ۳۰ درصدی میکروتوربین)** | **۳۴،۰۰۰ مترمکعب** | **۴۴۲۰** |

جدول۳- خلاصه محاسبات برای حالت‌های مختلف فرض شده

همانطور که از جداول بالا مشخص است استفاده از اتوبوس‌های تمام برقی و نیمه برقی هزینه اولیه بیشتری خواهد داشت که این هزینه اولیه بیشتر در طول حدود ۱۱ سال جبران خواهد شد با ذکر این نکته استفاده از این نوع اتوبوس‌ها مزیت‌های دیگری مانند آلودگی محیط‌زیستی، صوتی و هزینه تعمیر و نگه‌داری کمتر نیز خواهد داشت و سوخت مصرفی میکروتوربین می‌تواند انواع مختلف سوخت باشد که باعث برتری آن نسبت به دیگر موتورها باشد. هم‌چنین استفاده از میکروتوربین موجب می‌شود با ظرفیت یکسان باتری، مسافت بیشتری را بتوان طی کرد و نیاز به شارژ باتری کمتر شود .

**با توجه به زمان زیاد بازگشت سرمایه استفاده از این تکنولوژی در خودروها، بایستی تسهیلاتی برای تشویق سرمایه‌گذاران در این حوزه در نظر گرفته شود.**

## جمع بندی

به طور کلی خودرو های برقی را می‌توان در دو دسته خودرو های برقی با باتری صرف و خودرو های هیبرید در انواع موتورهای احتراق داخلی و یا توربینی تقسیم‌بندی نمود. به دلیل قیمت و وزن بالای باتری‌ها در ظرفیت‌های بالا، در بسیاری موارد، به منظور استفاده از باتری‌ها در ظرفیت کمتر و همچنین عدم نصب ایستگاه‌های شارژ به تعداد زیاد در مسیر خودروها، رویکرد استفاده از موتور احتراق داخلی و یا توربین‌های گاز، روشی مناسب جهت شارژ باتری در حین راندن این خودروها بوده و می‌باشد. توربین‌های گازی به دلیل ایجاد آلودگی صوتی کمتر و انتشار کمتر گازهای آلاینده و هزینه‌های راهبری و مصرف پایین‌تر و طول عمر بیشتر، مورد توجه چند کمپانی معتبر جهانی بوده است.

در سیستم‌های برقی- توربینی اجرا شده بر روی خودروهای برقی در جهان، از میکروتوربین جهت شارژ باتری و تغذیه موتور الکتریکی در حین کار بهره برده می‌شود. به بیان دیگر، سیستم هیبرید سری در این خودروها به منظور راندن خودرو کاربرد دارد. میزان آلایندگی توربین گاز نیز از آلایندگی موتورهای بنزینی و دیزلی و گازی متناظر کمتر بوده و در حد آلایندگی نزدیک به صفر قرار دارد. نکته مهم اینکه با توجه به عدم نیاز خودرو های برقی توربینی به شارژ باتری توسط برق شبکه در طی روز، با اجرایی نمودن این طرح می‌توان از مزایای خودرو برقی بدون اعمال بار بر شبکه برق شهری سود برد، چراکه برق مورد نیاز باتری توسط مولد برق همراه که میکروتوربین در ظرفیت‌های پایین است تامین می‌شود.

در حال حاضر، با توجه به دردسترس نبودن زیرساخت ایستگاه‌های شارژ سریع در کشور، رویکرد طراحی و ساخت خودروهای هیبرید برقی به همراه یک مولد برق همراه، مانند میکروتوربین، با توجه به نیاز کلان‌شهرهای بزرگ کشور به اصلاح حمل و نقل عمومی به خصوص اتوبوس‌های قدیمی ناوگان‌های حمل و نقل عمومی به منظور کاهش مصرف سوخت و کاهش آلایندگی انتشار یافته به محیط، طرحی پرفایده بوده که این کار را می توان در دو بخش اصلاح اتوبوس‌های احتراق داخلی و اتوبوس‌های برقی کابلی بازویی قدیمی و همچنین ساخت اتوبوس‌های برقی توربینی، انجام داد.