بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اراک

دانشکده فنی مهندسی

کارشناسی ارشد مکاترونیک

طراحی استراتژی کنترلی یک شناور هیبرید الکتریکی در کلاس متوسط

پژوهشگر

علی یوسفی

استاد راهنما

دکتر مهدی سلیمانی

شهریور ۹۲

بسم ا... الرحمن الرحیم

طراحی استراتژی کنترلی یک شناور هیبرید الکتریکی در کلاس متوسط

توسط:

علی یوسفی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی

لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مکاترونیک

از

دانشگاه اراک

اراک - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: .....

دکتر	**استادیار**
دکتر	**استادیار**
دکتر	**استادیار**

شهریور ۹۲

تشکر و قدر دانی

از کمک‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغ جناب آقای **دکتر مهدی سلیمانی** که در تمامی مراحل و لحظات به طور دلسوزانه و مستمر مرا یاری کردند کمال تشکر را دارم و از خداوند منان موفقیت و سربلندی ایشان را خواهانم.

چکیده

طراحی استراتژی کنترلی یک شناور هیبرید الکتریکی در کلاس متوسط

توسط

علی یوسفی

درسال‌های اخیر به علت ازیاد جهانی قیمت سوخت و افزایش آلودگی محیط زیست، یکی از دغدغه‌های جامعه بشری رهایی از این دو معزل مهم می‌باشد. از این میان، مؤسسات حمل و نقل سهم بزرگی در مصرف سوخت و ایجاد آلودگی دارند. راه‌حل‌های متفاوتی برای کاهش مصرف سوخت پیشنهاد شده است، که یکی از این روش‌ها هیبریدسازی وسایل نقلیه می‌باشد. از آن‌جا که این مطالعه در پی شبیه‌سازی یک شناور هیبرید ۱۴متری با وزن ۱۱۶۱۱ کیلوگرم می‌باشد، از تکنولوژی هیبرید سری استفاده شده است. در این شبیه‌سازی که از نرم‌افزارADVISOR استفاده شده، جهت بهینه‌سازی اندازه اجزای اصلی شناور، یعنی موتور احتراقی، موتور الکتریکی، ژنراتور و تعداد باتری‌های آن، از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و الگوریتم ژنتیک استفاده شده و نتایج این دو بهینه‌سازی با یکدیگر مقایسه شده است. در این بهینه‌سازی مصرف سوخت ۳۳ درصد کاهش یافت. در ادامه استراتژی کنترلی شناور هیبرید سری از حالت ترموستاتی به فازی اولیه تغییر داده شده و سپس با استفاده از دو الگوریتم نام برده شده، به بهینه نمودن توابع عضویت فازی اولیه مبادرت ورزیده شده است. نتایج نهایی به‌دست آمده حاکی از کاهش ۴۳ درصدی مصرف سوخت می‌باشد.

کلمات کلیدی: شناور هیبرید الکتریکی، بهینه‌سازی ابعادی، استراتژی کنترلی

فهرست جداول

جدول صفحه

جدول ۲ - ۱ مشخصات کلی شناور ۳۶

جدول ۲ – ۲ قیود عملکردی شناور مرسوم ۳۷

جدول ۳ – ۱ مقادیر حداقل و حداکثر ضرایب مقیاس اجزای اصلی ۴۶

جدول ۳ – ۲ نتایج به دست آمده از بهینه‌سازی ابعادی توسط الگوریتم ژنتیک ۴۷

جدول ۳ – ۳ قیود عملکردی شناور هیبرید سری بهینه‌سازی ابعادی شده توسط الگوریتم ژنتیک ۴۸

جدول ۳ – ۴ نتایج به‌دست آمده از بهینه‌سازی ابعادی توسط الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۲

جدول ۳ – ۵ قیود عملکردی شناور هیبرید سری بهینه‌سازی ابعادی شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۲

جدول ۴ – ۱ جدول قواعد فازی ۶۰

جدول ۴ – ۲ مشخصات عملکردی شناور هیبرید سری با استراتژی کنترلی فازی اولیه ۶۱

جدول ۴ – ۳ مقادیر عددی متغیرهای به دست آمده از طریق الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۶۳

جدول ۴ – ۴ مشخصات عملکردی شناور هیبرید سری با استراتژی کنترلی فازی - بهینه‌سازی انبوه ذرات ۶۵

جدول ۴ – ۵ مقادیر عددی متغیرهای به دست آمده از طریق الگوریتم ژنتیک ۶۵

جدول ۴ – ۶ مشخصات عملکردی شناور هیبرید سری با استراتژی کنترلی فازی- ژنتیک ۶۷

فهرست شکل‌ها

شکل	صفحه
شکل۱ – ۱ شماتیک سیستم رانش مرسوم	۳
شکل ۱ – ۲ شماتیک سیستم رانش الکتریکی	۴
شکل ۱ – ۳ نمونه‌ای از نقشه راندمان موتور احتراقی	۶
شکل ۱ – ۴ نمونه‌ای از نمودار راندمان موتور الکتریکی	۷
شکل ۱ – ۵ روش‌های انتقال توان در سیستم هیبرید	۹
شکل ۱ – ۶ پیکره‌بندی سیستم هیبرید سری	۱۰
شکل ۱ – ۷ پیکره‌بندی سیستم هیبرید موازی	۱۴
شکل ۱ – ۸ پیکره‌بندی سیستم هیبرید سری_موازی	۱۶
شکل ۲ – ۱ شماتیک مدل‌سازی ADVISOR برای خودروی مرسوم	۱۹
شکل ۲ – ۲ شماتیک مدل‌سازی ADVISOR برای خودروی هیبرید سری	۲۰
شکل ۲- ۳ مدل شناور هیبرید سری (با حذف دیفرانسیل) در ADVISOR	۲۱
شکل ۲ – ۴ نمودار مقاومت شناور ۱۳/۷ متری	۲۸
شکل ۲ – ۵ نتایج مقاومت حاصل از شبیه‌سازی	۲۹
شکل ۲ – ۶ سیکل دریانوردی شناور مورد طراحی	۲۹
شکل ۲ – ۷ نمونه ای از نمودار پروانه های سری استاندارد B-Wageningen	۳۱
شکل ۲ – ۸ شماتیک شبیه‌سازی رو به جلو	۳۲
شکل ۲ – ۹ شماتیک شبیه‌سازی رو به عقب	۳۳
شکل ۲ – ۱۰ پنجره نخست نرم‌افزار ADVISOR	۳۴
شکل ۲ – ۱۱ نمودار نشان دهنده سیکل دریانوردی	۳۵

شکل ۲ – ۱۲ پنجره نمایش دهنده نتایج در ADVISOR ۳۶

شکل ۳ – ۱ چارت عملکرد الگوریتم ژنتیک ۴۳

شکل ۳ – ۲ نمودار راندمان موتور احتراقی مورد استفاده با توان ۱۲۱ KW ۴۴

شکل ۳ – ۳ روند کاهشی تابع هزینه در فرآیند بهینه‌سازی ابعادی اجزا اصلی توسط الگوریتم ژنتیک ۴۷

شکل ۳ – ۴ چارت عملکردی الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۰

شکل ۳ – ۵ روند افزایشی تابع برازندگی در فرآیند بهینه‌سازی اندازه اجزا اصلی توسط الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۱

شکل ۴ – ۱ نمودار راندمان موتور احتراقی با توان ۵۳۲ KW ۵۶

شکل ۴ – ۲ ورودی وخروجی های فازی در استراتژی کنترلی هیبرید سری ۵۸

شکل ۴ – ۳ توابع عضویت تنظیم شده برای کنترل فازی اولیه ۵۹

شکل ۴ – ۴ نمایش متغیرهای توابع عضویت جهت بهینه‌سازی ۶۲

شکل ۴ – ۵ توابع عضویت به دست آمده از طریق الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۶۴

شکل ۴ – ۶ توابع عضویت به دست آمده از طریق الگوریتم ژنتیک ۶۶

فهرست علائم اختصاری

R_T مقاومت کل شناور

R_F مقاومت اصطکاکی

R_{APP} مقاومت ملحقات

R_W مقاومت موج سازی

R_{TR} مقاومت فشاری اضافی که در ناحیه غوطه‌ور پاشنه ایجاد می‌شود

R_A مقاومت هوا

R_P مقاومت ویسکوز فشاری

R_{KTS} مقاومت فشاری پاشنه شناور

R_{SPRAY} مقاومت ناشی از پاشش آب

g شتاب گرانش

v حجم آن قسمت از شناور که در زیر سطح آب قرار دارد

w وزن شناور

K_1 فاکتور فرم

τ زاویه تریم

β زاویه خیز کف

ρ چگالی

V_S سرعت شناور

S_{wet} سطح خیس شده بدنه

R_n عدد رینولدز

L طول خط آب شناور

υ لزجت سینماتیکی آب دریا

T آبخور

B ماکزیمم عرض شناور

C_{F0} ضریب مقاومت اصطکاکی

C_M ضریب مقطع میانی شناور

C_B ضریب کلی فرم بدنه

C_{WP} ضریب سطح صفحه آبخور

C_Pضریب منشوری شناور

C_{stern} ضریب مربوط به شکل پاشنه

C_{spray} ضریب مقاومت ناشی از پاشش آب

C_A ضریب مقاومت اصطکاکی هوا با بدنه

CP ضریب فشار

∇ حجم ناحیه مغروق

L_R طول فرار آب

L_{CB} مرکز طولی بویانسی

$1+k_2$ ضریب مقاومت ملحقات

S_{APP} سطح ملحقات شناور

F_n عدد فرود

λ نسبت طول خیس شده به عرض متوسط شناور

i_E زاویه آب به هنگام برخورد با سینه شناور

A_{BT} مساحت سینه شناور

T_F آبخور جلوی شناور

h_B مرکز سطح عمودی ناحیه غرق شده پاشنه شناور

A_t سطح عمودی غرق شده پاشنه شناور

F_{nT} عدد فرود بر مبنای سطح پاشنه مغروق در آب

Re_b عدد رینولدز بر مبنای کف شناور

V_1 سرعت متوسط کف شناور

A_{SP} سطح تحت اسپری آب

L_{KC} طول اسپری

L_P مرکز فشار طولی هیدرودینامیکی

J ضریب پیشروی

Q گشتاور

T نیروی تراست

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	۱
معرفی انواع سیستم پیشرانه	۱
۱ – ۱ مقدمه	۲
۱ - ۲ معرفی انواع پیشرانه‌ها	۳
۱ - ۲ – ۱ شناورهای با پیشرانه مرسوم	۳
۱ – ۲ – ۲ شناورهای با پیشرانه الکتریکی	۴
۱ – ۳ اجزای اصلی یک سیستم هیبریدی	۵
۱ – ۳ – ۱ موتور احتراق داخلی	۵
۱ – ۳ – ۲ ژنراتور و موتور الکتریکی	۶
۱ – ۳ – ۳ سیستم ذخیره انرژی	۷
۱ – ۳ – ۴ سیستم کنترلی توان	۸
۱ – ۴ روش‌های انتقال توان در پیکره‌بندی شناورهای هیبرید	۸
۱ – ۵ انواع پیکره‌بندی شناورهای هیبرید	۱۰
۱ – ۵ – ۱ حالت سری	۱۰
۱ – ۵ – ۲ حالت موازی	۱۳
۱ – ۵ – ۳ حالت سری-موازی	۱۵
فصل دوم	۱۷
مدل‌سازی و شبیه‌سازی	۱۷
۲ – ۱ مقدمه	۱۸

۲ – ۲ مدل‌سازی شناور هیبرید سری در محیط نرم‌افزار ADVISOR ۱۹
۲ – ۲ ۱ نیروی مقاوم در برابر حرکت شناور ۲۱
۲ – ۲ – ۲ پروانه ۳۰
۲ – ۳ شبیه‌سازی شناور هیبرید سری به کمک نرم‌افزار ADVISOR ۳۲
۲ – ۳ – ۱ شبیه‌سازی رو به جلو ۳۲
۲ – ۳ – ۲ شبیه‌سازی رو به عقب ۳۲
۲ – ۳ – ۳ روش شبیه‌سازی در نرم‌افزار ADVISOR ۳۳
۲ – ۴ معرفی پنجره ها و امکانات نرم‌افزار ADVISOR ۳۳
۲ – ۵ شبیه‌سازی شناور مرسوم در نرم‌افزار ADVISOR ۳۶
فصل سوم ۳۸
بهینه‌سازی ابعادی ۳۸
۳ – ۱ مقدمه ۳۹
۳ – ۲ مروری بر کارهای گذشته در زمینه بهینه‌سازی ابعادی ۳۹
۳ – ۳ مقدمه ای بر الگوریتم ژنتیک ۴۰
۳- ۳ – ۱ تابع هدف ۴۱
۳ – ۳ – ۲ کروموزوم و ژن ۴۱
۳ – ۳ – ۳ نسل ۴۲
۳ – ۳ – ۴ آمیزش ۴۲
۳ – ۳ – ۵ جهش ۴۲
۳ – ۴ بهینه‌سازی ابعادی شناور هیبرید سری با الگوریتم ژنتیک ۴۳

۳ – ۴ – ۱ تابع هدف در بهینه‌سازی متغیرهای شناور هیبرید سری ۴۵

۳ – ۵ مقدمه‌ای بر الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۴۸

۳ – ۶ بهینه‌سازی ابعادی شناور هیبرید سری با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۱

۳ - ۷ بحث و نتیجه‌گیری ۵۳

فصل چهارم ۵۳

طراحی استراتژی کنترلی فازی اولیه و فازی بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات ۵۴

۴ – ۱ مقدمه ۵۵

۴ – ۲ استراتژی کنترلی شناورهای هیبرید سری ۵۵

۴ – ۳ استراتژی کنترلی ترموستاتی ۵۵

۴ – ۴ استراتژی کنترلی فازی ۵۶

۴ – ۴ – ۱ ساختار قواعد فازی برای شناور هیبرید سری ۵۷

۴ – ۴ – ۲ توابع عضویت ۵۹

۴ – ۴ – ۳ نتایج شبیه‌سازی برای کنترل کننده فازی اولیه ۶۰

۴ – ۴ بهینه‌سازی کنترل فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی انبوه ذرات ۶۱

فصل پنجم ۶۸

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها ۶۸

۵ – ۱ نتیجه‌گیری ۶۹

۵ – ۲ پیشنهادها ۶۹

پیوست ۷۲

مراجع ۹۰

فصل اول

معرفی انواع سیستم پیشرانه

۱-۱ مقدمه

کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش قیمت سوخت، حمل و نقل و صنعت دریایی را وادار کرده است تا به هر طریقی مصرف این‌گونه سوخت‌ها را کاهش دهند. راه‌های متفاوتی برای کاهش مصرف سوخت در شناورها وجود دارد، به طور مثال کاهش مقاومت بدنه، افزایش راندمان پروانه، کاهش وزن شناور، دریانوردی اقتصادی و همچنین تکنولوژی هیبرید که اخیراً به کمک این قضیه آمده است. اما باید به این نکته نیز توجه داشت که شناورهای هیبریدی سنگین‌تر از شناورهای مرسوم می‌باشند و تکنیک پیشرفته و اجزای اضافی به کار رفته درآن‌ها موجب افزایش قیمتشان می‌شود.

پیشران شناورهای هیبریدی ترکیبی از دو نوع پیشرانه موتور احتراقی و موتور الکتریکی می‌باشد. از آن‌جا که شناورهای مرسوم با موتور احتراق داخلی مصرف زیاد و آلودگی بالایی دارند و شناورهای الکتریکی تأمین انرژی الکتریسیته آن‌ها مشکل و پیل‌های سوختی نیز راه‌حل دراز مدتی به این مهم می‌باشند، ناگزیر به سراغ هیبریدسازی شناورها می‌رویم. شناورهای هیبریدی ضمن این‌که توان درخواستی را فراهم می‌نمایند، مصرف سوخت و راندمان آن‌ها نیز در سطح مطلوبی می‌باشد. نکته مهمی که در طراحی شناورهای هیبریدی باید به آن توجه کرد تخمین توان مورد نیاز اجزای اصلی و بهینه‌سازی ابعادی صحیح آن‌ها می‌باشد به گونه‌ای که اگر این مهم به درستی صورت نگیرد راندمان عملکرد در حد قابل قبولی نخواهد بود. از طرفی از آن‌جا که در سیستم‌های هیبرید عملکرد موتور احتراقی و موتور الکتریکی به طور همزمان صورت می‌گیرد، استراتژی کنترلی آن مهارت خاصی را می‌طلبد.

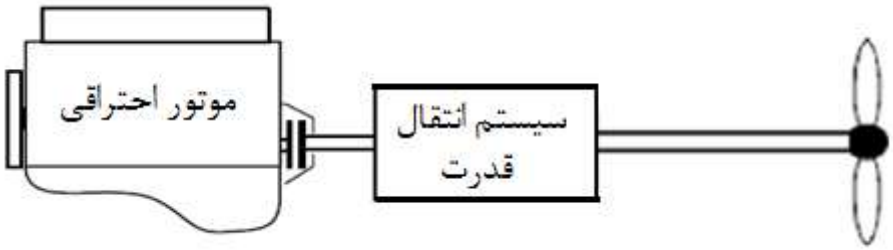
در این پایان‌نامه در ابتدا به معرفی انواع پیکره‌بندی پیشرانه‌ها، در فصل دوم نحوه مدل‌سازی و شبیه‌سازی به‌کار رفته در این پایان‌نامه، در فصل سوم بهینه‌سازی ابعادی اجزای اصلی شناور، در فصل چهارم بهینه نمودن استراتژی کنترلی و در نهایت در فصل پنجم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهای لازم، پرداخته شده است.

۱ – ۲ معرفی انواع پیشرانه‌ها

بسته به این‌که از موتور احتراقی یا از موتور الکتریکی و یا از هر دو نوع موتور جهت رانش استفاده شود و همچنین، ترتیب قرار گرفتن آن‌ها انواع متفاوتی از پیکره‌بندی در شناورها به وجود می‌آید که در زیر به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱ – ۲ – ۱ شناورهای با پیشرانه مرسوم[۱]

همان‌طور که در شکل ۱ – ۱ نشان داده شده است، یک پیشرانه مرسوم دارای طراحی ساده با یک موتور احتراق داخلی می‌باشد که از طریق جعبه دنده، گشتاور را به پروانه منتقل می‌کند. از آن‌جا که در این سیستم، گشتاور موتور در ارتباط مستقیم با پروانه می‌باشد موتور قادر نیست که در بهترین راندمان خود عمل نماید. بیشترین راندمان موتور احتراقی می‌تواند نزدیک به ۴۰ درصد باشد اما در حالت کلی راندمان آن به طور میانگین۳۰ درصد است. در نتیجه استفاده از موتور احتراقی، اتلاف انرژی زیادی را به همراه دارد که آن را برای استفاده در وسایل نقلیه پیشرفته امروزی به عنوان پیشرانه اصلی دچار تردید می‌نماید.

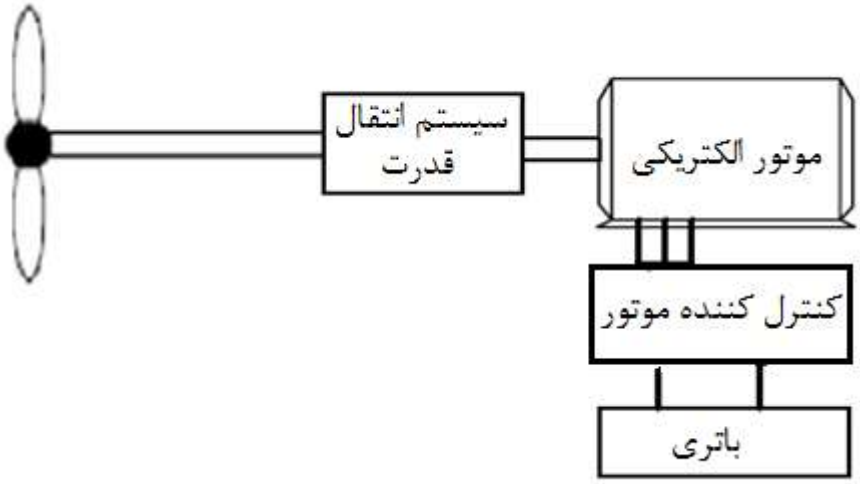


شکل ۱ - ۱ شماتیک سیستم رانش مرسوم [۱]

[۱] - Conventional Boat

۱ – ۲ –۲ شناورهای با پیشرانه الکتریکی[۱]

با توجه به شکل ۱ – ۲، در پیشرانه‌های الکتریکی، موتور الکتریکی جایگزین موتور احتراق داخلی شده است. این نوع موتورها معمولاً انرژی خود را از باتری دریافت می‌کنند. در این شناورها انتخاب منبع تأمین توان از اهمیت خاصی برخوردار است که اگر این مهم به درستی انتخاب نشود میزان کارایی موتور الکتریکی کاهش می‌یابد. جهت شارژ منبع توان، می‌توان از سیستم برق شهری استفاده نمود اما به دلیل زمان‌بر بودن شارژ و از طرفی دیگر در دسترس نبودن سیستم شبکه برق به خصوص در محدوده فراساحلی این گونه سیستم‌ها با مشکلی بزرگ روبه‌رو هستند. موتورهای الکتریکی راندمانی نزدیک به ۹۵ درصد دارند و این به عنوان یک مزیت بزرگ نسبت به موتورهای احتراقی می‌باشد.



شکل ۱ - ۲ شماتیک سیستم رانش الکتریکی [۱]

۱ – ۲ –۳ شناورهای با پیشرانه هیبرید الکتریکی[۲]

پیشرانه شناور هیبریدی، ترکیبی از پیشرانه مرسوم و پیشرانه الکتریکی می باشد، به گونه‌ای که علاوه بر بهره‌مندی از قدرت گشتاور پیشرانه شناور مرسوم و مزایای پیشرانه شناور الکتریکی از راندمان بالایی نیز برخوردار می‌باشد.

---

۱ - Electric Boat
۲ - Hybrid Electric Boat

اولین بار خودروی هیبریدی در سال ۱۹۰۵ توسط یک مهندس آمریکایی به نام پایپر[۱] ساخته شد. اما در آن زمان به علت ارزان بودن سوخت‌های فسیلی و عدم آلودگی هوا نتوانست توجه زیادی را به خود جلب نماید. تا اینکه در سال ۱۹۷۰ به دلیل بحران‌های شدید نفتی این گونه خودروها، راه‌حل مناسبی به نظر رسیدند. امروزه شرکت‌های خودروسازی بزرگی چون تویوتا، هوندا، میتسوبیشی، فورد، فیات، جنرال موتورز، دایملر کرایسلر، نیسان، پژو و در صنعت حمل‌ونقل دریایی نیز که از این امر مستثنی نمی‌باشد، شرکت‌هایی مانند استایرسابلاجت[۲]، مسترولت و... از این تکنولوژی استفاده می‌کنند.

یک موسسه اروپایی به نام Hymar وظیفه تحقیق و رده‌بندی و توسعه این نوع شناورها را بر عهده دارد.

۱ – ۳ اجزای اصلی یک سیستم هیبریدی

برای طراحی یک سیستم هیبرید یک سری پارامترها مانند موتور احتراقی، موتور الکتریکی، ژنراتور و باتری، به عنوان اجزای اصلی سیستم هیبرید به حساب می‌آیند که عملکرد اصلی سیستم هیبرید را بر عهده دارند و در زیر به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود.

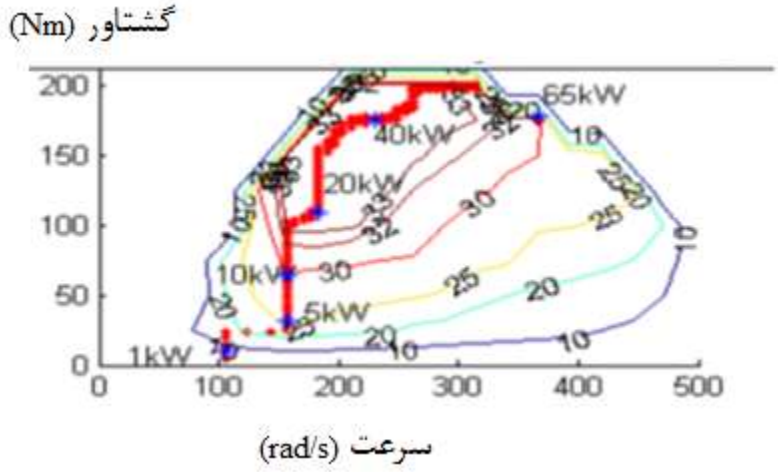
۱ – ۳ – ۱ موتور احتراق داخلی[۳] (ICE)

معمولاً موتور احتراق داخلی منبع اصلی تولید توان در سیستم هیبرید می‌باشد. با توجه به نوع سیستم هیبرید که در مباحث بعد توضیح داده خواهد شد از دو نوع موتور احتراقی اشتعال جرقه‌ای[۴] (SI) و تراکم جرقه‌ای[۵] (CI) استفاده می‌شود. که نوع اول در خودروهای گازوئیلی و نوع دوم در خودروهای

---

۱ - Piper
۲ - Styrsöbolaget
۳ - Internal combustion engine
۴ - Spark Ignition
۵ - Compression Ignition

دیزلی کاربرد دارد. شکل ۱ – ۳، یک نمونه نقشه راندمان موتور احتراقی را با ماکزیمم راندمان ۴۰ درصد نشان می‌دهد.



شکل ۱ - ۳ نمونه‌ای از نقشه راندمان موتور احتراقی[۱]

۱ – ۳ – ۲ ژنراتور و موتور الکتریکی

انواع متفاوتی از موتورهای الکتریکی از جمله موتورهای جریان متناوب (AC)[۱] و جریان مستقیم[۲](DC) وجود دارند که به عنوان موتور و ژنراتور به کار می روند. موتورهای DC، کنترل آن‌ها ساده‌تر می‌باشد اما به دلیل راندمان بالاتر موتورهای AC، کاربرد موتورهای جریان متناوب بیشتر می‌باشد. موتور الکتریکی باید این توانایی را داشته باشد تا بتواند در حالت‌های مختلف مانورهای لازم را به شناور اعمال کند و برای رفع این نیاز، لازم به گشتاور بالا و کنترل سرعت دورانی می‌باشد.

مزایای استفاده از موتور الکتریکی به قرار زیر است:

- ✓ عدم وجود گازهای خروجی
- ✓ کاهش میزان صدا و ارتعاشات
- ✓ امکان حرکات بسیار آرام و انعطاف‌پذیر

[۱] - Alternative Curent

[۲] - Direct Curent