وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی برق

پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد
**برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق- قدرت**

عنوان

# طراحی، مدلسازی و ساخت یک مبدل افزاینده جدید چند ورودی، تک خروجی برای منابع هیبریدی با استفاده از روش کنترل پیش‌بین مدل (MPC)

استاد راهنما

**دکتر علی عجمی**

استاد مشاور

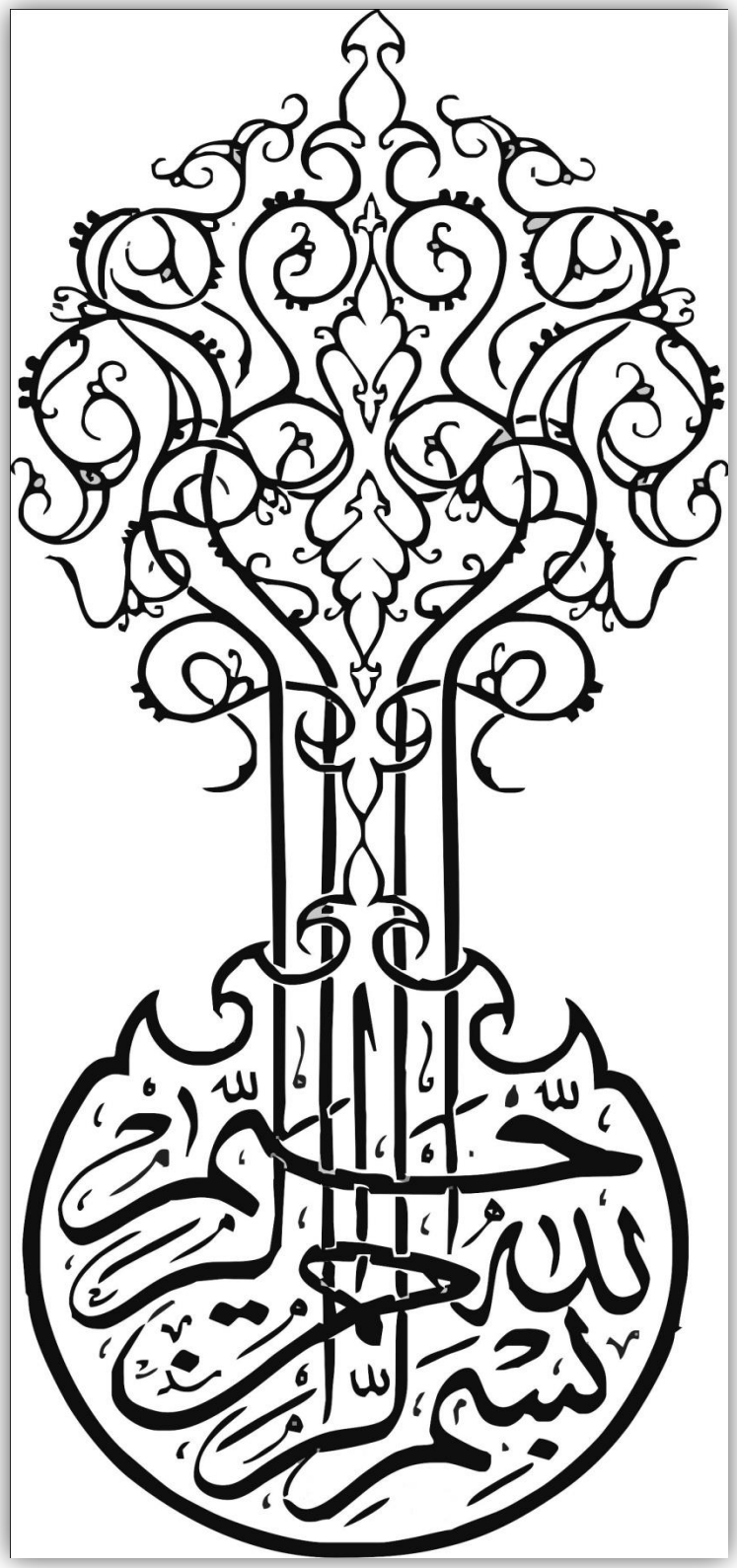
**دکتر سید حسین حسینی**

پژوهشگر

**امیر فراخور**

اردیبهشت ۹۳

تبریز- ایران


بسم الله الرحمن الرحيم

سپاس و ستایش خداوندی را که از ازل تا ابد قابل اعتمادترین راهنما و بی‌منت-ترین راه‌گشاست.

خداوند منان را شاکرم که با لطف و عنایت بی‌منتهای خویش به بنده این فرصت را عنایت فرمودند که بتوانم این مجموعهٔ بسیار بسیار کوچک را به پایان برسانم. امید است که روزی این نهال کوچک علم درختی تناور شود و ما بتوانیم این درخت تناور را گشن‌تر و پرشاخسارتر گردانیم تا بر سر تا سر دنیای علم سایه گستراند و هم گام با آن رشد شتاب آلود و پیشروی به درون و اعماق هستی آغاز شود و به مشتاقان عرصه‌ی علم عرضه گردد. در آخر نیز به رسم همهٔ نوشته‌ها باید این مجموعه را به کسی تقدیم کنیم، اما هر چه با خود می‌اندیشم این مجموعه‌ی ناچیز را آنقدر کوچک می‌یابم که نمی‌توانم آن را به پدر و مادر ارجمندم تقدیم نمایم. بنابراین، این مجموعه را تنها به یک نگاه مهربانانه‌ی

پدر

و

مادر

عزیزم

تقدیم می‌نمایم

## چکیده

در این پایان‌نامه یک مبدل DC به DC افزاینده برای منابع انرژی تجدیدپذیر PV/FC به همراه یک المان ذخیره‌کننده انرژی، باتری، پیشنهاد می‌شود. مبدل پیشنهادی دو پورت توان یک‌جهته برای منابع توان ورودی و یک پورت توان دوجهته برای المان ذخیره‌کننده انرژی را در یک ساختار واحد فراهم می‌آورد. این مبدل به‌منظور ترکیب منابع انرژی‌های نو از جمله منبع فتوولتائیک، منبع پیل سوختی و باتری (به‌عنوان منبع ذخیره توان) توصیه می‌شود. تامین بار خروجی و شارژ یا دشارژ باتری می‌تواند توسط هر کدام از منابع ورودی چه به‌صورت ترکیبی و چه به‌صورت منفرد صورت پذیرد. در ساختار مبدل پیشنهادی فقط از چهار کلید قدرت استفاده شده است. با کنترل مناسب این کلیدها، استحصال حداکثر توان از منبع توان فتوولتائیک، تنظیم توان منبع FC، کنترل میزان توان شارژ و دشارژ باتری و تنظیم ولتاژ خروجی میسر می‌شود. در این مبدل، بسته به حالت استفاده از باتری، سه مد عملکرد متفاوت برای باتری تعریف می‌شود. به‌منظور بررسی دینامیکی مبدل، در هر کدام از مدهای عملکرد مدار، مدل سیگنال کوچک مبدل محاسبه می‌شود. برای کنترل مبدل پیشنهادی از روش کنترل پیش‌بین براساس مدل استفاده شده است. در این پایان‌نامه، عملکرد مبدل پیشنهادی و سیستم کنترلی طراحی شده برای آن، توسط شبیه‌سازی و نتایج نمونه آزمایشگاهی برای مدهای متفاوت عملکرد مبدل پیشنهادی ارزیابی می‌شود.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- مقدمه ..... ٦

۲-۲- سیستمهای هیبرید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر ..... ۸

۲-۲-۱- سیستمهای مستقل از شبکه (Stand Alone) ..... ۱۰

۲-۲-۲- سیستمهای متصل به شبکه (Grid Connected) ..... ۱۰

۲-۳- اصول اساسی شکل گیری مبدلهای الکترونیک قدرت در سیستمهای PV و FC ..... ۱۱

۲-٤- مرور مراجع سیستم‌های هیبرید ..... ۱۱

۲-٤-۱- روشهای سنتی تشکیل ساختار سیستمهای هیبرید ..... ۱۲

۲-٤-۲- سیستمهای هیبرید مبتنی بر مبدلهای چند ورودی (MICs) ..... ۱٤

۲-٤-۲-۱ مبدلهای چند ورودی غیر ایزوله ..... ۱۴

۲-٤-۲-۲ مبدلهای چند ورودی ایزوله ..... ۲۲

۲-۵- کنترل نوین مبدل‌های قدرت ..... ۲۷

۲-۵-۱- ملزومات کنترلی و چالش‌ها ..... ۲۹

۲-۵-۲- علت مناسب بودن کنترل پیش‌بین برای مبدل‌های الکترونیک قدرت ..... ۳۰

۲-۵-۳- روش کنترل پیش‌بین برای مبدل‌های الکترونیک قدرت و درایوها ..... ۳۱

۲-٦- برنامه ریزی و مدیریت توان در سیستمهای هیبرید ..... ۳۲

۲-٦-۱- تعیین اندازه منابع سیستمهای هیبرید ..... ۳۲

۲-٦-۲- مدیریت توان سیستمهای هیبرید ..... ۳۳

۲-۷- هدف و لزوم انجام پایاننامه ..... ۳٤

فصل سوم: مواد و روش ها

۳-۱- مقدمه ..... ۳۷

۳-۲- مولد توان فتوولتائیک (PV) ..... ۳۹

۳-۲-۱- طرح مسئله MPPT (ردیابی نقطه توان ماکزیمم ) ..... ٤۱

۳-۲-۱-۱ روش P&O ..... ٤٢
۳-۳- مولد توان پیل سوختی (FC) ..... ٤٢
۳-۳-۱- انواع پیل سوختی ..... ٤٣
۳-۳-۲- اصول کارکرد پیل سوختی پلیمری (PEMFC) ..... ٤٤
۳-۳-۳- بازده پیل سوختی ..... ٤٥
۳-۳-٤- مدار معادل پیل سوختی ..... ٤٥
۳-٤- مولد توان باتری ..... ٤٩
۳-٤-۱- دسته بندی باتریها ..... ٤٩
۳-٤-۲- باتریهای سربی- اسیدی (Lead-acid battery) ..... ٥٠
۳-٤-۲-۱ حالت دشارژ باتری ..... ٥٠
۳-٤-۲-۲ حالت شارژ باتری ..... ٥٠
۳-٤-۳- مدلسازی باتری سربی- اسیدی ..... ٥١
۳-٤-٤- حالت شارژ باتری (SOC) ..... ٥٢
۳-٥- کنترل مبدلهای الکترونیک قدرت چند ورودی ..... ٥٢
۳-٥-۱- اصول پایه کنترل پیش‌بین مدل (MPC) ..... ٥٣
۳-٥-۱-۱ کنترل پیش‌بین مدل برای مبدل‌های الکترونیک قدرت و درایوها ..... ٥٥
۳-٥-۱-۲ طراحی کنترل‌کننده ..... ٥٦
۳-٥-۱-۳ پیاده‌سازی روش کنترلی MPC ..... ٥٩
۳-٥-۲- روند عمومی کنترل ..... ٦٠
۳-٥-۳- ردیابی مرجع ..... ٦١
۳-٥-٤- محدودیت‌های راه‌اندازی ..... ٦٢
۳-٥-٥- طبقه‌بندی تابع هزینه ..... ٦٣
۳-٥-٥-۱ تابع هزینه بدون استفاده از ضرایب وزنی ..... ٦٣
۳-٥-٥-۲ تابع هزینه با عبارات ثانویه ..... ٦٤
۳-٥-٥-۳ تابع هزینه شامل عبارات با اهمیت‌های یکسان ..... ٦٥
۳-٦- جمع‌بندی فصل ..... ٦٥

فصل چهارم: بحث و نتایج

٤-١- مقدمه ..... ٦٧
٤-٢- ساختار مبدل پیشنهادی و مدهای عملکرد آن ..... ٦٨
٤-٢-١- مد عملکرد اول (تامین توان مورد نیاز بار توسط PV و FC بدون مشارکت باتری) ..... ٦٩
٤-٢-٢- مد عملکرد دوم (تامین بار توسط PV، FC و باتری) ..... ٧١
٤-٢-٣- مد عملکرد سوم (تامین توان مورد نیاز بار توسط PV و FC و شارژ باتری) ..... ٧٤
٤-٣- مدلسازی دینامیکی مبدل پیشنهادی ..... ٧٧
٤-٤- نحوه عملکرد مبدل در حالت وجود تنها یک منبع ..... ٨٢
٤-٥-سیستم کنترل ..... ٨٤
٤-٦- تعیین مد عملکرد مدار ..... ٨٨
٤-٧- استرس ولتاژ و جریان بر روی کلیدها و دیودها ..... ٩٠
٤-٨- بررسی نتایج شبیه‌سازی و عملی ..... ٩٠
٤-٨-١- نتایج شبیه‌سازی ..... ٩٠
٤-٨-٢- نتایج عملی ..... ٩٦
٤-٩- مزایای مبدل پیشنهادی ..... ١٠٤
٤-١٠- نتیجه‌گیری ..... ١٠٦

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

٥-١- نتیجه‌گیری کلی ..... ١٠٩
٥-٢- پیشنهادات ..... ١١٠
فصل ششم: مراجع ..... ١١٢

فهرست شکل‌ها

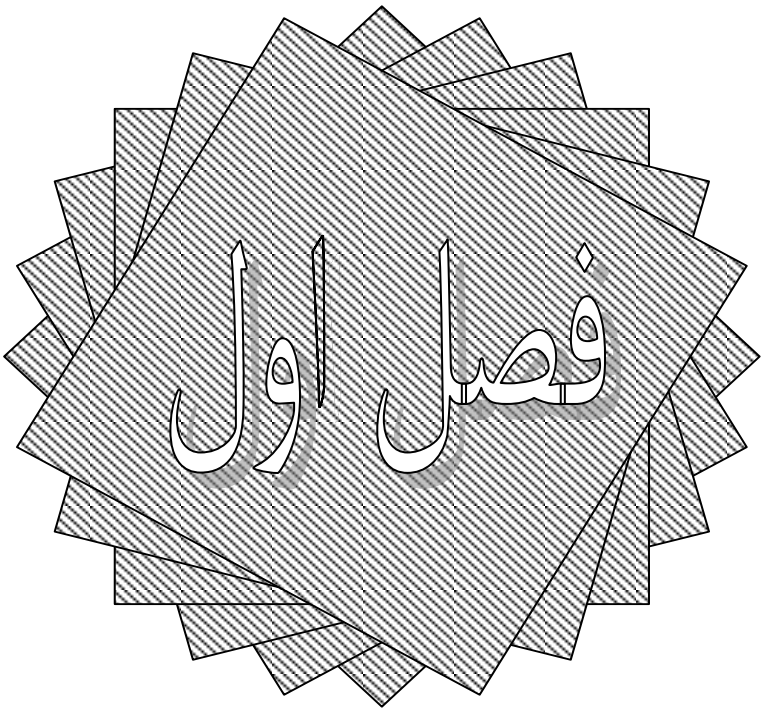
شکل ۲-۱: نمونهای از سیستم کوپل شده در لینک AC از مرجع [۳] ..... ۱۳
شکل ۲-۲: نمونهای از سیستم کوپل شده در لینک DC از مرجع [٦] ..... ۱۳
شکل ۲-۳: سیستم هیبرید با کوپل لینک DC [۱۱] ..... ۱۵
شکل ۲-٤: سیستم هیبرید مرجع [۱۲] ..... ۱۵
شکل ۲-۵: سیستم هیبرید مرجع [۱۷] ..... ۱٦
شکل ۲-٦: شماتیک مداری مبدل MIC مرجع [۱۸] ..... ۱۷
شکل ۲-۷: سیستم هیبرید مرجع [۱۹] ..... ۱۸
شکل ۲-۸: سیستم هیبرید مرجع [۲۰] ..... ۱۸
شکل ۲-۹: سیستم هیبرید مرجع [۲۱] ..... ۱۹
شکل ۲-۱۰: سیستم هیبرید مرجع [۲۲] ..... ۱۹
شکل ۲-۱۱: سیستم هیبرید مرجع [۲۳] ..... ۲۰
شکل ۲-۱۲: سیستم کنترلی مبدل هیبرید مرجع [۲۳] ..... ۲۰
شکل ۲-۱۳: شماتیک مداری پیشنهاد شده در [۲٤] ..... ۲۱
شکل ۲-۱٤: شماتیک مداری پیشنهاد شده در [۲۵] ..... ۲۱
شکل ۲-۱۵: مبدل دو ورودی ایزوله مرجع [۲٦] ..... ۲۲
شکل ۲-۱٦: مبدل دو ورودی ایزوله مرجع [۲۷] ..... ۲۳
شکل ۲-۱۷: سیستم هیبرید مرجع [۲۸] ..... ۲۳
شکل ۲-۱۸: سیستم هیبرید مرجع [۳۰] ..... ۲٤
شکل ۲-۱۹: سیستم هیبرید مرجع [۳۲] ..... ۲۵
شکل ۲-۲۰: سیستم هیبرید مرجع [۳۳] ..... ۲۵
شکل ۲-۲۱: سیستم هیبرید مرجع [۳۵] ..... ۲٦
شکل ۲-۲۲: سیستم هیبرید مرجع [۳٦] ..... ۲٦
شکل ۲-۲۳: سیستم هیبرید مرجع [۳۷] ..... ۲۷
شکل ۲-۲٤: سیستم هیبرید مرجع [۳۸] ..... ۲۷
شکل ۲-۲۵: انواع مختلف روشهای کنترلی مبدلهای قدرت ..... ۲۸

شکل ۲-۲۶: ویژگی‌های مبدل‌های الکترونیک قدرت و درایوها با روش کنترل پیش‌بین ..... ۳۰
شکل ۲-۲۷: طبقه‌بندی روشهای کنترل پیش‌بین استفاده شده برای کنترل مبدلهای الکترونیک قدرت ..... ۳۲
شکل ۳-۱: مدار معادل سلول فتوولتائیک ..... ۳۹
شکل ۳-۳: تغییرات جریان و توان PV برحسب تغییرات ولتاژ PV برای تابشهای متفاوت و درجه حرارت یکسان ۴۰
شکل ۳-۳: تغییرات توان PV برحسب تغییرات جریان PV برای تابشهای متفاوت و درجه حرارت یکسان..... ۴۱
شکل ۳-۴: فلوچارت الگوریتم P&O. ..... ۴۲
شکل ۳-۵: نمای کلی یک پیل سوختی. ..... ۴۳
شکل ۳-۶: نحوه عملکرد یک پیل سوختی PEM. ..... ۴۴
شکل ۳-۷: مدار معادل یک پیل سوختی. ..... ۴۸
شکل ۳-۸: مشخصه ولتاژ-جریان و توان جریان یک پیل سوختی. ..... ۴۹
شکل ۳-۹: حالت دشارژ باتری. ..... ۵۰
شکل ۳-۱۰: حالت شارژ باتری. ..... ۵۱
شکل ۳-۱۱: مدار معادل باتری. ..... ۵۱
شکل ۳-۱۲: اصول کاری کنترل پیش بین مدل. ..... ۵۵
شکل ۳-۱۳: رابطه بین حالتهای کلیدزنی و بردارهای ولتاژ برای ساختارهای دو مبدل متفاوت. ..... ۵۸
شکل ۳-۱۴: روش کنترل MPC برای مبدلهای الکترونیک قدرت. ..... ۶۰
شکل ۴-۱: شماتیک کلی از مبدل پیشنهادی. ..... ۶۸
شکل ۴-۲: مدار مبدل چند ورودی-تک خروجی پیشنهادی. ..... ۶۸
شکل ۴-۳: حالت‌های کلیدزنی مختلف در مد عملکرد اول مبدل. ..... ۷۰
شکل ۴-۴: شکل موجهای حالت دائم سیگنالهای گیت برای هر چهار کلید قدرت و تغییرات شکل موجهای جریان و ولتاژ سلف‌های $L_1$ و $L_2$ در مد عملکرد اول مدار. ..... ۷۰
شکل ۴-۵: حالت‌های کلیدزنی مختلف در مد عملکرد دوم مبدل. ..... ۷۲
شکل ۴-۶: شکل موجهای حالت دائم سیگنالهای گیت برای هر چهار کلید قدرت و تغییرات شکل موجهای جریان و ولتاژ سلف‌های $L_1$ و $L_2$ در مد عملکرد دوم مدار. ..... ۷۳
شکل ۴-۷: حالت‌های کلیدزنی مختلف در مد عملکرد سوم مبدل. ..... ۷۵

شکل ٤-٨: شکل موجهای حالت دائم سیگنالهای گیت برای هر چهار کلید قدرت و تغییرات شکل موجهای جریان و ولتاژهای اندوکتانس‌های $L_1$ و $L_2$ در مد عملکرد سوم مدار. ..... ٧٦
شکل ٤-٩: حالت‌های کلیدزنی مختلف در حالت عدم حضور پیل سوختی. ..... ٨٣
شکل ٤-١٠: حالت‌های کلیدزنی مختلف درحالت عدم حضور پنل خورشیدی. ..... ٨٤
شکل ٤-١١: بلوک دیاگرام سیستم کنترلی مد عملکرد اول. ..... ٨٥
شکل ٤-١٢: بلوک دیاگرام سیستم کنترلی مد عملکرد دوم. ..... ٨٦
شکل ٤-١٣: بلوک دیاگرام سیستم کنترلی مد عملکرد سوم. ..... ٨٨
شکل ٤-١٤: نتایج شبیه‌سازی در مد عملکرد اول. ..... ٩٢
شکل ٤-١٥: نتایج شبیه‌سازی در مد عملکرد دوم. ..... ٩٤
شکل ٤-١٦: نتایج شبیه‌سازی در مد عملکرد سوم. ..... ٩٥
شکل ٤-١٧: نمونه آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی. ..... ٩٦
شکل ٤-١٨: شکل موجهای نتایج عملی قسمت‌های مختلف مدار در مد عملکرد اول. ..... ٩٩
شکل ٤-١٩: شکل موجهای نتایج عملی قسمت‌های مختلف مدار در مد عملکرد دوم. ..... ١٠١
شکل ٤-٢٠: شکل موجهای نتایج عملی قسمت‌های مختلف مدار در مد عملکرد سوم. ..... ١٠٣

فهرست جداول

جدول ٣-١: پارامترهای آرایه فتوولتائیک. ..... ٤٠
جدول ٣-٢: مشخصات پشته FC. ..... ٤٨
جدول ٣-٣: توابع هزینه بدون ضرایب وزنی. ..... ٦٤
جدول ٣-٤: توابع هزینه با عبارات ثانویه. ..... ٦٤
جدول ٣-٥: توابع هزینه شامل عبارات با اهمیت یکسان. ..... ٦٥
جدول ٤-١: استرس ولتاژ و جریان بر روی کلیدها و دیودها. ..... ٩٠
جدول ٤-٢: پارامترهای شبیه سازی مبدل. ..... ٩١
جدول ٤-٣: پارامترهای مدل آزمایشگاهی مبدل. ..... ٩٦
جدول ٤-٤: مقایسه مبدل پیشنهادی با مبدل مرسوم. ..... ١٠٥




# مقدمه

## مقدمه

در حال حاضر تولید انرژی الکتریکی در دنیا به مقدار زیادی بر ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی تکیه دارد. سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیرند، آنها بر منابع محدودی بنا شده‌اند که رفته رفته به پایان می‌رسند. در مقابل، انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد و انرژی خورشیدی، پیوسته جایگزین می‌شوند و هیچ گاه به پایان نمی‌رسند.

انرژی خورشید را می‌توان به صورت مستقیم توسط پنل‌های خورشیدی جذب و به انرژی الکتریکی تبدیل کرد. هیدروژن می‌تواند در بسیاری از ترکیبات اصلی، مثل آب، یافت شود. هیدروژن فراوان‌ترین عنصر روی زمین است، اما بصورت یک گاز طبیعی موجود نیست. هیدروژن همیشه با دیگر عناصر ترکیب شده است، مثل ترکیبش با اکسیژن برای ساخت آب. وقتی هیدروژن از عنصر ترکیبی‌اش جدا شود، می‌تواند بعنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد. انرژی زمین گرمایی دریچه گرمای درون زمین برای کاربردهای متنوع شامل: تولید توان الکتریکی و گرم و سرد کردن ساختمان‌هاست. انرژی جزر و مد اقیانوس‌ها از نیروی کشش ماه و خورشید بر روی زمین ناشی می‌شود. در حقیقت، انرژی اقیانوس از منابع متعددی ناشی می‌شود. علاوه بر انرژی جزر و مد، انرژی امواج اقیانوس بوسیله هر دو انرژی جزر و مد و باد، بوجود می‌آید. هم چنین خورشید بیش از آنکه عمق اقیانوس را گرم کند سطح آنرا گرم می‌کند. ایجاد یک اختلاف دما می‌تواند بعنوان یک منبع انرژی بکار گرفته شود. تمامی اشکال انرژی اقیانوسی می‌توانند برای تولید الکتریسیته به کار برده

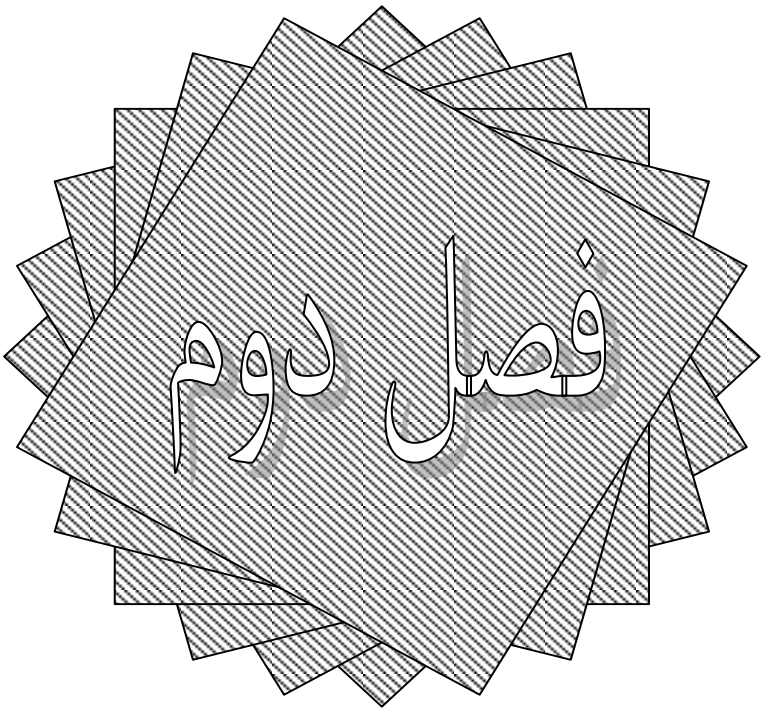
شوند. یکی از بارزترین مشکلات تکنولوژی و فن‌آوری در عرصه بهره‌گیری از منابع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، علاوه بر خود منابع، مبدل‌های توان بکار رفته در این منابع می‌باشند. اغلب منابع انرژی-های نو و تجدیدپذیر نیازمند مبدل‌های توان برای تبدیل توان خروجی به انرژی الکتریکی قابل بهره-برداری توسط مصرف‌کننده می‌باشند.

امروزه در مراجع علمی و عملی، استفاده از انرژی خورشیدی در قالب سیستمهای فتوولتائیک (PV) برای کاربردهای کم توان شهری و مصرف‌کننده‌های دور از شبکه برق بسیار تحقیق می‌شود. اما از آنجاییکه تولید توان الکتریکی از این انرژی به دلیل صفر شدن تولید در شب و وابستگی آن به شدت روشنایی و دمای محیط در روز دارای قابلیت اطمینان پایینی است، استفاده از یک منبع انرژی تکمیلی جهت افزایش قابلیت اطمینان تولید احساس می‌شود. در این میان پیل سوختی (FC) به عنوان یک منبع انرژی الکتریکی سبز و با قابلیت اطمینان بالا در قالب یک سیستم هیبرید در کنار منبع PV قرار می‌گیرد. منبع FC نیز به نوبه خود دارای مسائل بهره‌برداری از جمله زمان راه‌اندازی بالا، دینامیک پایین در تولید توان و همچنین ریپل وسیع نقطه کار است.

در سال‌های اخیر مطالعات و تحقیقات در زمینه تولید انرژی از منابع انرژی‌های نو، به سمت استفاده ترکیبی از این منابع انرژی سوق داده شده است. این سیستم‌ها با عنوان سیستم‌های هیبریدی از منابع انرژی نو شناخته می‌شوند و به دلیل قابلیت اطمینان بالاتر نسبت به سیستم‌های منفرد در تولید توان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. با رویکرد به سمت سیستم‌های هیبریدی از منابع انرژی‌های نو، طراحی مبدل‌های توان متناسب با این سیستم‌ها نیز مورد توجه قرار گرفتند. تا به امروز مبدل‌های الکترونیک قدرت متنوعی برای سیستم‌های هیبریدی در مقالات و تحقیقات مختلف، ارائه شده‌اند اما هنوز، خلاء در برخی قسمت‌های این سیستم‌ها احساس می‌شود. این مبدل‌ها بایستی دارای بهره ولتاژ بالاتری نسبت به مبدل‌های افزاینده مرسوم داشته باشند. علاوه بر این، قابلیت شارژ و دشارژ باتری را باید به میزان لازم داشته و همچنین بتواند حداکثر توان را با کنترل مناسب از سلول خورشیدی دریافت کند. با توجه به سرعت کم پیل سوختی در پاسخ دهی به تغییرات توان، باید نوسان جریان کشیده شده از آن حداقل باشد. در این مبدل‌ها با استفاده از ساختار مناسب سعی بر آن می‌شود که نوسانات جریان در حداقل خود قرار گیرند.

در این پایان‌نامه، مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد استفاده در سیستم‌های هیبریدی از منابع انرژی‌های نو، مورد بررسی قرار می‌گیرد و با بررسی مشکلات مبدل‌های موجود، سعی در طراحی و ارائه مبدلی دارد که تا حداکثر پوشش بر مشکلات مبدل‌های موجود را ارائه نماید. در این پایان‌نامه، یک سیستم هیبریدی از منابع انرژی‌های نو (PV/FC/Battery) برای طراحی مبدل، در نظر گرفته

می‌شود و تحلیل، مدلسازی و طراحی کنترل‌کننده و در حالت کلی سیستم کنترلی، برای آن سیستم ارائه می‌گردد. مبدل پیشنهادی در این پایان‌نامه در رنج آزمایشگاهی ساخته شده و نتایج حاصل از آن با نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری در حالت‌های کاری مختلف سیستم، مقایسه می‌شوند. در فصل بعدی، یک مرور جامعی از مبدل‌های به کار گرفته شده برای سیستم‌های هیبریدی و سیستم‌های کنترلی آنها آورده شده است. در فصل سوم، ابزارها و روش‌های مورد نیاز برای تحلیل، مدل‌سازی و کنترل سیستم مورد بررسی قرار گرفته شده است. در فصل چهارم نیز، مبدل پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی و عملی در این فصل گنجانده شده است. در پایان، نتیجه‌گیری‌های کلی و برخی پیشنهادات برای مبدل پیشنهادی ارائه شده است.




# بررسی منابع

## ۲-۱- مقدمه

امروزه، تقاضای روز افزون برای انرژی الکتریکی، محدودیت انرژی‌های فسیلی و افزایش قیمت آنها علاوه بر نگرانی‌های ناشی از آلودگی محیط زیست، توجه محققان را به بهره‌گیری از سیستم‌های قدرت مبتنی بر منابع انرژی سبز (انرژی‌های تجدیدپذیر و یا برگرفته از سوخت‌های پاک) معطوف کرده است. در مقایسه با نیروگاه‌های قدرت متمرکز، این سیستم‌ها کوچک در اندازه و قابل نصب نزدیک به مراکز بار می‌باشند. بنابراین، سیستم‌های جدید انرژی بایستی متکی بر تغییرات ساختاری و بنیادی باشد که در آن منابع انرژی بدون کربن نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و کربن خنثی مانند انرژی بیوماس مورد استفاده قرار گیرند. بدون تردید انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به سادگی فن‌آوریشان در مقابل فن‌آوری انرژی هسته‌ای از یک طرف و نیز بدلیل عدم ایجاد مشکلاتی نظیر زباله‌های اتمی از طرف دیگر، نقش مهمی در سیستم‌های جدید انرژی در جهان ایفا می‌کنند. از انواع انرژی‌های سبز می‌توان انرژی خورشیدی، انرژی بادی و امواج، انرژی زمین گرمایی و بیوماس و انرژی پیل سوختی را نام برد. انرژی خورشیدی در قالب سیستم‌های فتوولتائیک و انرژی بادی در قالب توربین‌های بادی از مهمترین این نوع انرژی‌ها می‌باشند.

انرژی خورشیدی در قالب سیستم‌های فتوولتائیک، اولین بار برای کاربردهای فضایی ابداع شده بودند و بعداً کاربرد آنها به‌عنوان مبدل انرژی خورشیدی به الکتریکی در کره زمین متداول گردید. اگرچه انرژی خورشیدی هنوز به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست، ولی در سال‌های اخیر

کاهش چشمگیری در هزینه‌های بهره‌برداری آنها مشاهده گردیده است و انتظار می‌رود در آینده نیز با تحقیقات بیشتر، این کاهش قیمت ادامه یابد. این انرژی دارای مزایای مهمی همچون ناتمام بودن، عملکرد بدون صدا، نداشتن قسمت محرک و مکانیکی، سازگار با محیط زیست و عدم آلودگی می-باشد. استفاده از این نوع انرژی می‌تواند در جهت تامین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان شهری و مصرف‌کنندگانی که به شبکه توزیع برق به علت شرایط جغرافیایی دسترسی ندارند، بسیار مقرون به‌صرفه و مشکل‌گشا واقع شود. اساساً این نوع سیستم‌ها، به دو صورت متصل و یا منفصل از شبکه قدرت بهره‌برداری می‌شود. سیستم‌های متصل به شبکه قدرت، به‌منظور تزریق توان آرایه‌های فتوولتائیک به شبکه توزیع در ضریب توان واحد و در حد امکان کمک به افزایش کیفیت توان شبکه و بار متصل به آن به کار می‌روند. این سیستم‌ها غالباً در سقف یا حیاط ساختمان‌های مسکونی و یا اداری نصب و استفاده می‌شوند. سیستم‌های منفصل از شبکه برای تامین انرژی الکتریکی بارهای دور از شبکه توزیع و یا با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی به طور مستقل از شبکه توزیع بکار می‌روند. پمپ‌های آب صحرایی، شارژکننده‌های باتری و آبگرمکن‌های خورشیدی نمونه‌ای از این کاربردها می‌باشند.

هیدروژن می‌تواند در بسیاری از ترکیبات اصلی، مثل آب، یافت شود. هیدروژن فراوان‌ترین عنصر روی زمین است، اما بصورت یک گاز طبیعی موجود نیست. هیدروژن همیشه با دیگر عناصر ترکیب شده است، مثل ترکیب‌اش با اکسیژن برای ساخت آب. وقتی هیدروژن از عنصر ترکیبی‌اش جدا شود می تواند بعنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد. پیل سوختی، نوعی سلول الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی حاصل از واکنش هیدروژن با اکسیژن را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. سازه و بدنه اصلی پیل سوختی از الکترولیت، الکترود آند و الکترود کاتد تشکیل شده است. در یک پیل سوختی، سوخت به طور پیوسته به الکترود آند و اکسیژن به الکترود کاتد تزریق می‌شود و واکنش‌های شیمیایی در الکترودها انجام شده و با ایجاد یک پتانسیل الکتریکی، جریان الکتریکی برقرار می‌گردد.

انرژی باد از نوع انرژی جنبشی می‌باشد. به کمک یک توربین بادی می‌توان انرژی جنبشی باد را به الکتریسیته تبدیل کرد. انرژی الکتریکی تولید شده توسط توربین بادی بین ۳ کیلووات تا ۳ مگاوات است. بازده یک توربین بادی در حدود ۲۵ درصد است که با توجه به تجدیدپذیر بودن آن، این مقدار بازده رقم بالایی است. مزایای استفاده از این انرژی، عدم نیاز توربین بادی به سوخت، تامین بخشی از تقاضاهای انرژی برق، بازده قابل قبول، تنوع بخشیدن به منابع، قدرت مانور زیاد در بهره برداری (از چند وات تا چندین مگاوات)، عدم نیاز به آب و نداشتن آلودگی محیط زیست می‌باشد.

## ۲-۲- سیستم‌های هیبرید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر

تولید اکثر انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر باد و خورشید به شرایط محیطی در شبانه‌روز و فصل سال بستگی دارد. بنابراین در تولیدات پراکنده‌ای که منبع اصلی انرژی، این نوع منابع می‌باشند، نوسان انرژی خروجی آنها با تغییر شرایط آب و هوایی به‌عنوان مهمترین مشکل مطرح می‌باشد. در سال‌های اخیر برای رفع این مشکل، از روش ترکیب این منابع با دیگر منابع انرژی برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم استفاده شده است. در این‌گونه سیستم‌ها، به یک عنصر ذخیره‌کننده انرژی به‌منظور جلوگیری از کاهش و یا وقفه‌های کوتاه‌مدت در تولید توان نیز نیاز می‌باشد. این نوع استفاده از منابع انرژی را سیستم‌های هیبرید انرژی الکتریکی[۱] می‌گویند.

برای ساخت یک سیستم هیبرید، ترکیب‌های مختلفی از منابع انرژی تجدیدپذیر به همراه عنصر ذخیره‌کننده انرژی را می‌توان در نظر گرفت. مهمترین این ترکیب‌ها به صورت مجزا و یا وصل به شبکه، در مقالات متعدد آورده شده است. در زیر به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

1) Wind/PV/FC/Battery system
2) PV/Battery
3) PV/FC
4) PV/FC/Battery system
5) Wind/FC system
6) Wind/Diesel system
7) Wind/PV/Battery system
8) PV/Diesel system
9) PV /Wind/ Diesel system

با توجه به سیستم‌های هیبرید ممکن بالا، می‌توان دریافت که در سیستم‌های هیبریدی منابع اصلی انرژی، PV، Wind و یا هردو هستند. به دلیل طبیعت متناوب این نوع منابع در تولید انرژی، سیستم‌های انرژی شامل این نوع منابع، بایستی به عناصر ذخیره‌کننده انرژی و یا شکل دیگری از تولید مجهز باشد. عنصر ذخیره‌کننده می‌تواند یک باتری پشتیبان، یک بانک ابرخازنی، SMES و یا پیل سوختی (FC) باشند.

[۱] Hybrid Electrical Power Systems

در این پایان‌نامه، به دلیل اهمیت تولید محلی انرژی الکتریکی در ساختمان‌های مسکونی، اداری یا کارگاهی، مطالعه بر روی سیستم‌های هیبرید با منبع اصلی PV و انتخاب منبع انرژی جایگزین دیگر متمرکز شده است. در شهرها غالباً سیستم‌های هیبرید با منبع اصلی PV مورد مطالعه و بحث قرار می‌گیرد. در این نوع کاربردها، منابع PV به صورت گسترده در توان‌های پایین استفاده می‌شود. توان الکتریکی سیستم‌های PV تابعی از تابش، دما و ضرایب مخصوص این فناوری می‌باشد. بنابراین در سیستم‌های هیبرید با منبع اصلی PV، با توجه به تغییرات فصلی و شبانه‌روزی در وضعیت آب و هوایی، توان تولیدی مولدهای PV در بازه قابل توجهی متغیر خواهد بود. به عبارت دیگر، تولید انرژی توسط این مولدها از یک الگوی متغیر نوسانی و تقریباً غیر قابل پیش‌بینی پیروی می‌کند. بنابراین، این مولدها به تنهایی نمی‌توانند جوابگوی مصرف بار مربوطه باشند، لذا برای استمرار در تولید توان و افزایش قابلیت اطمینان این نوع سیستم‌ها، نیاز به منابع دیگر انرژی می‌باشد. این رویکرد توجه را به استفاده ترکیبی از مولدهای PV با دیزل ژنراتورها، پیل‌های سوختی و باتری‌های پشتیبان سوق می‌دهد.

استفاده از دیزل ژنراتورها تولید توان به صورت مستمر را تضمین می‌کند؛ با این وجود دارای چندین عیب مهم از جمله پر سر و صدا بودن، تولید گازهای آلاینده و نیاز به سوخت می‌باشند. همچنین، پشتیبانی دیزل ژنراتور زمانی منطقی به نظر می‌رسد که رنج توان تولیدی زیاد باشد، لذا در رنج توان متوسط و یا پایین استفاده از دیزل ژنراتور بهینه نمی‌باشد.

پیل‌های سوختی با داشتن راندمان خوب، پاسخ بار مناسب، امکان تولید انرژی ماژول‌گونه و یکپارچه و انعطاف‌پذیری سوخت، گزینه جالب و کارا برای ترکیب با مولدهای PV می‌باشند. مولد-های FC تبدیل مستقیم سوخت به انرژی الکتریکی را انجام می‌دهند که این تبدیل سوخت به انرژی الکتریکی مشابه ژنراتورهای سنتی نمی‌باشد. پیل‌های سوختی مانند یک باتری کار می‌کنند. به علت اینکه در یک پیل سوختی هیچ محرک اولیه مکانیکی وجود ندارد، اتلاف توان به شکل مکانیکی و اصطکاک وجود ندارد. پیل‌های سوختی انرژی را ذخیره نکرده و تا زمانیکه سوخت به آن برسد، انرژی الکتریکی تولید می‌کنند. عموماً هیدروژن یا گاز طبیعی و گاهی متانول و برخی سوخت‌های هیدروژن‌دار در پیل سوختی به کار می‌رود. به دلیل عدم وجود فرآیند احتراق، ضایعات پیل سوختی از ضایعات ناشی از توربین‌های گازی، موتورهای درون‌سوز و سایر نیروگاه‌های با سوخت فسیلی تمیزتر است. هنگامیکه هیدروژن خالص به‌عنوان سوخت استفاده می‌شود، تنها محصولات آن انرژی، گرما و آب می‌باشند.

اما از مشکلات FC می‌توان به زمان راه‌اندازی بالا، عدم توانایی در پاسخ به تغییرات سریع بار، نوسان پردامنه نقطه کار به دلیل ریپل موجود در جریان آن اشاره کرد. در این راستا استفاده از بانک باتری پشتیبان در مقالات بسیار پیشنهاد شده است. هدف از بکارگیری باتری در این سیستم‌ها بهبود عملکرد حالت گذرای سیستم هیبرید، جذب نوسانات توان، کاهش ریپل جریان، تزریق موقت انرژی در پیک بار و امکان ذخیره انرژی در هنگام اضافه تولید گزارش شده است. وجود باتری در چنین سیستم‌هایی علاوه بر بهبود مسائل فنی و تکنیکی، موجب پیچیدگی بیشتر سیستم، افزایش قیمت و پیدایش مطالعه مدیریت توان برای سیستم هیبرید PV/FC/Battery خواهد شد؛ به طوریکه امروزه در مقالات، بحث‌های تعیین اندازه منابع، مدیریت توان و نحوه استفاده از باتری، کاهش هزینه‌ها و بهینه‌سازی مبدل‌های الکترونیک قدرت مربوط به آنها، مطرح شده است. به طور کلی، سیستم‌های انرژی نو به دو صورت مستقل و یا متصل به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند، که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

### ۲-۲-۱- *سیستم‌های مستقل از شبکه (Stand Alone)*

غالب استفاده از سیستم‌های انرژی نو به صوت مجزا و مستقل از شبکه است. در این سیستم‌ها، هدف، تغذیه بارهای حساس دور از شبکه می‌باشد که مسلماً مستلزم بهره‌گیری از عناصر ذخیره‌کننده انرژی برای جبران تغییرات طبیعی توان منابع می‌باشد. موتورهای الکتریکی، پمپ‌های آب، فن‌های تهویه، سیستم‌های تغذیه و روشنایی تونل‌ها، معدن‌ها و انبارها می‌توانند توسط سیستم‌های مستقل از شبکه تغذیه گردند. در این نوع سیستم‌ها نسبت به حالت متصل به شبکه، به دلیل عدم نیاز به سنکرون‌سازی، مدیریت ساده توان و مشکلات حفاظتی کمتر، کنترل توان ساده‌تر انجام می‌پذیرد.

### ۲-۲-۲- *سیستم‌های متصل به شبکه (Grid Connected)*

در حالت متصل به شبکه، انرژی منابع توان در سیستم هیبرید به مجموعه شبکه و بار تحویل داده می‌شود. در این حالت علاوه بر تزریق توان اکتیو، سیستم هیبرید می‌تواند جهت تزریق توان راکتیو و پشتیبانی ولتاژ شبکه نیز به‌کار گرفته شود. اصولاً در این سیستم‌ها بکارگیری عنصر ذخیره-کننده توجیه مفیدی پیدا نمی‌کند. علت آن این است که به لحاظ پخش توان، خود شبکه عملکردی مشابه عنصر ذخیره‌کننده در تامین کمبود تولید منابع اصلی نسبت به بار را ایفا خواهد کرد، از طرف دیگر در مقایسه با عنصر ذخیره‌کننده انرژی، چنین بهره‌برداری از شبکه قدرت موجب کاهش هزینه، تلفات، حجم و توجهات در نگهداری و تعمیر این سیستم‌ها را در پی خواهد داشت. استفاده همزمان باتری و شبکه در سیستمهای هیبرید در مواردی جهت افزایش قابلیت اطمینان سیستم هیبرید توجیه می‌شود. در چنین سیستم‌هایی، در حالت طبیعی از باتری هیچ استفاده‌ای به عمل نمی‌آید ولی به