



دانشکده مهندسی

گروه برق

گرایش قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد

با عنوان

طراحی نیروگاه فتوولتائیک مقیاس بزرگ متصل به

شبکه برای شهر کربلا

ارائه دهنده:

حنان الغانمی

استاد راهنما:

دکتر مجید علومی

دی ماه ۱۳۹۷

تعهدنامه

اینجانب **حنان الغانمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق** دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان نامه **طراحی نیروگاه فتوولتائیک مقیاس بزرگ متصل به شبکه برای شهر کربلا** تحت راهنمایی جناب آقای **دکتر مجید علومی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه فردوسی مشهد" و یا "Ferdowsi University of Mashhad" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقديم به :

پس از سفر تحقيق طولاني و كوشش در تكميل تحقيق بابا نام از خدراوند متعال
كمال تشكر را دارم. و از تلاش ها جناب آفای دکتر مجید علومی در تمام اين تحقيق
سياس گذارم. و همچنين از جناب آفای دکتر جواد ساه و جناب آفای دکتر حسين ليو
نراني بخاطر ولايت بابا نام و در جمله دفاع شركت كردن تشكر ميكنم. و از تمامي
مدرران دانشگاه فرودسي و بخصوص گروه مهندسي برق گرايش قدرت در در ولا همتم. و كماني
كه در جستجو اين تحقيق من را ياري و مسير من را نوراني كردن و خوشبين بودن سياسي
گذارم.

با سباس از:

تقدیم به پدر عزیز و گرانترین شخص زندگی من مامور به معنای عشق و محبت در
دوران زندگی من بودند و تقدیم به کسانی که شمع نارنگی زندگی من بودند. خواله (ساف)
به برادر (ماهر، یاسر و حامد) که نعمت های آنها در راه شیرین زندگی من همراهی
کردند و موفقیت رساندند متشکرم.

چکیده

انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین منابع انرژیهای تجدیدپذیر می باشد. میزان تابش انرژی خورشیدی در مناطق جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین بیشترین مقدار را داراست. کشور عراق با توجه به موقعیت اقلیمی خود در یکی از بهترین شرایط برای استفاده از تابش خورشیدی قرار گرفته است. با این حال ضروری است نصب نیروگاه خورشیدی در عراق از لحاظ فنی و اقتصادی مطالعه و از میان انواع مختلف گزینه بهتر انتخاب شود.

در این پایان نامه یک نیروگاه فتوولتائیک با ظرفیت ۱۰۰ مگا وات برای شهر کربلا طراحی و شبیه سازی شده است. این طراحی بر اساس نیاز بار ۲۰ سال آینده شهر کربلا و با توجه به میزان تابش خورشید در این شهر انجام شده است. همچنین در این پژوهش انواع مختلف نیروگاه خورشیدی شامل نیروگاه با پنل های ثابت، با دنبال کننده محور افقی، با دنبال کننده محور عمودی و با دنبال کننده دوماحوره برای شهر کربلا طراحی شده است. این طراحی شامل انتخاب مازول، تعیین تعداد مازول های مورد نیاز، تعداد مازول های سری و موازی، انتخاب اینورتر و تعیین تعداد اینورتر مورد نیاز می باشد. میزان تولید انرژی سالیانه هر نیروگاه، تلفات آنها و هزینه های آنها تحت شرایط یکسان از نظر میزان تولید انرژی و از نظر اقتصادی مقایسه شده اند. در نهایت بهترین طرح از نظر ارزش اقتصادی انتخاب شده و میزان حساسیت طرح بهینه نسبت به پارامترهای دما، نرخ بهره و نرخ تورم بررسی شده است.

کلمات کلیدی:

نیروگاه فتوولتائیک، دنبال کننده خورشیدی، PVsyst

فهرست علائم و اختصارات:

PV	فتوولتائیک	θ	زاویه انحراف از خط عمود
$ELCOE$	هزینه تمام شده مؤثر انرژی الکتریکی	θ_z	زاویه برخورد با خط افق
$LCOE$	هزینه تمام شده مؤثر انرژی الکتریکی تولیدی	γ	زاویه انحراف از جنوب (آزیموت)
$Etot$	میزان مورد انتظار انرژی تولیدی	ω	زاویه ساعتی خورشید
δ	زاویه انحراف خورشید	C_{inv}	فاکتور سایزینگ اینورتر
I	جریان خروجی سلول	P_{pv}	توان نامی آرایه PV
I_{ph}	جریان نوری	η_{max}	حداکثر ماژول‌های سری
I_s	جریان اشباع در جهت معکوس	η_{min}	حداقل ماژول‌های سری
V	ولتاژ خروجی	η_{string}	جریان ماکزیمم PVها
R_s	مقاومت سری	U_c	ضریب تلفات متناسب با باد
R_p	مقاومت موازی	U_v	ضریب تلفات متناسب به نوع پوشش کلکتور
N	ضریب کیفیت دیود	U	ضریب تلفات گرمایی
K	ثابت Boltzmann	IAM	تلفات تصحیح کننده زاویه تابش
T	دمای سلول	bo	پارامتر مرتبط با جنس ماژول
α_T	نرخ تغییر جریان اتصال کوتاه نسبت به دما	d	عرض آرایه
T_{amb}	دمای محیط	a	فاصله بین آرایه‌ها
$NOCT$	دمای نامی بهره‌برداری سلول	H_s	عرض سایه
G	توان تابشی	L_s	طول سایه
e	شارژ اولیه دیود	S	درصد سایه افتادگی پنل
AM	جرم هوا	E_{pv}	انرژی تولیدی سالانه نیروگاه خورشیدی
h_s	ارتفاع تابش خورشیدی	LCE_{Grid}	نرخ انتشار CO2 شبکه برق کشور مورد نظر
B	زاویه نصب ماژول‌ها	LCE_{pv}	میزان انتشار CO2 به علت تولید و بهره‌برداری از تاسیسات PV
φ	عرض جغرافیایی	$CO2_{saved}$	مقدار CO2 منتشر نشده
$R(\beta, \gamma)$	ضریب تابش سراسری	G_o	ثابت تابش خورشیدی
NPV	شاخص ارزش فعلی	Y_F	خروجی نهائی نیروگاه (خروجی اینورتر)
A	هزینه سالیانه ناشی از هزینه اولیه	Y_A	خروجی آرایه‌ها
P	هزینه اولیه	Y_R	خروجی مرجع (انرژی خورشیدی)
i	نرخ بهره	PR	ضریب عملکرد نیروگاه
N	طول دوره مورد مطالعه	E_{Grid}	انرژی تزریقی شبکه
t	سال مشخص		

۱- فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- طرح مسئله	۱
۲-۱- انگیزه پژوهش	۱
۳-۱- تعریف مسئله	۲
۱-۳-۱- فرضیات	۲
۴-۱- مروری بر پایان نامه	۲
۲- مرور پژوهش های انجام شده در زمینه نیروگاه های فتوولتائیک	۳
۱-۲- مقدمه	۳
۲-۲- طراحی نیروگاه خورشیدی	۴
۳- طراحی نیروگاه فتوولتائیک مقیاس بزرگ	۱۸
۱-۳- مقدمه	۱۸
۲-۳- مفاهیم پایه نیروگاه های فتوولتائیک	۱۸
۳-۳- سیستم های فتوولتائیک	۱۹
۴-۳- کاربردها و چگونگی بکارگیری سیستم های فتوولتائیک	۱۹
۵-۳- طبقه بندی نوع سیستم های فتوولتائیک از لحاظ کاربری	۲۰
۱-۵-۳- روش اتصال به شبکه سراسری برق (Grid Connected)	۲۱
۲-۵-۳- سیستم های مستقل از شبکه ی سراسری برق	۲۲
۶-۳- اجزای سیستم فتوولتائیک	۲۳
۱-۶-۳- آرایه فتوولتائیک	۲۳
۲-۶-۳- اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرت	۲۴
۳-۶-۳- دنبال کننده حداکثر توان	۲۴
۷-۳- اثر دما بر کارکرد ماژول	۲۶
۸-۳- طراحی گام به گام نیروگاه فتوولتائیک	۲۸
۱-۸-۳- اصول طراحی سیستم های فتوولتائیک	۲۹
۲-۸-۳- روند کلی طراحی سیستم های فتوولتائیک	۳۰
۳-۸-۳- محاسبه زاویه نصب پنل خورشیدی (β)	۳۳
۴-۸-۳- محاسبات تعداد ماژول ها سری و موازی مورد نیاز	۴۱
۵-۸-۳- محاسبات مربوط به اینورتر و اندازه و تعداد مورد نیاز	۴۱

۴۳	محاسبه تلفات	۳-۸-۶
۴۷	توان خروجی، تلفات و ضریب عملکرد نرمال شده	۳-۸-۷
۴۷	تعیین فاصله بین ردیف‌ها و مساحت سایه	۳-۸-۸
۴۹	تحلیل‌های اقتصادی	۳-۸-۹
۵۱	تحلیل زیست محیطی	۳-۸-۱۰
۵۲	۴- طراحی نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاوات برای شهر کربلا با استفاده از نرم افزار PVsyst	
۵۲	مقدمه	۴-۱
۵۲	ویژگی‌های شهر کربلا	۴-۲
۵۴	طراحی گام به گام نیروگاه فتوولتائیک باسازه ثابت	۴-۳
۵۴	موقعیت زمین	۴-۳-۱
۵۵	نوع نصب	۴-۳-۲
۵۶	مشخصات ماژول	۴-۳-۳
۵۹	انتخاب اینورتر	۴-۳-۴
۶۱	تلفات نیروگاه خورشیدی	۴-۳-۵
۶۳	تلفات مربوط به افق و سایه‌اندازی	۴-۳-۶
۶۳	سایر تلفات	۴-۳-۷
۶۵	نتایج تولید انرژی در طول سال	۴-۳-۸
۶۸	محاسبات اقتصادی	۴-۳-۹
۷۲	محاسبات محیط زیستی	۴-۳-۱۰
۷۳	نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده محور افقی	۴-۴
۷۳	نحوه نصب آرایه‌ها با دنبال‌کننده محور افقی	۴-۴-۱
۷۴	تلفات و اثر سایه	۴-۴-۲
۷۶	میزان تولید انرژی	۴-۴-۳
۷۷	تحلیل اقتصادی	۴-۴-۴
۷۹	تحلیل محیط زیستی	۴-۴-۵
۷۹	نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده محور عمودی	۴-۵
۸۰	نحوه نصب	۴-۵-۱
۸۰	تلفات و اثر سایه	۴-۵-۲
۸۳	میزان تولید انرژی	۴-۵-۳
۸۴	تحلیل اقتصادی	۴-۵-۴
۸۶	تحلیل محیط زیستی	۴-۵-۵

۶-۴	نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده دو محوره	۸۶
۶-۴-۱	تلفات و اثر سایه	۸۷
۶-۴-۲	میزان تولید انرژی	۸۹
۶-۴-۳	تحلیل اقتصادی	۹۰
۶-۴-۴	تحلیل محیط زیستی	۹۱
۶-۷	مقایسه نتایج	۹۱
۶-۸	تحلیل حساسیت	۹۳
۶-۸-۱	تحلیل حساسیت بر حسب میانگین دمای محیط	۹۳
۶-۸-۲	تحلیل حساسیت نسبت به نرخ بهره و نرخ تورم	۹۴
۶-۸-۳	تحلیل حساسیت بر حسب تعرفه خرید	۹۵
۵	نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۹۷
۵-۱	نتیجه‌گیری	۹۷
۵-۲	پیشنهادها	۹۸
۶	مراجع	۹۹

- شکل ۱-۲: ساختار نیروگاه خورشیدی در نظر گرفته نشده [۴]..... ۶
- شکل ۲-۲: حالات مدل مارکوفی برای سیستم انرژی PV با ni اینورتر [۵]..... ۷
- شکل ۳-۲: نتایج شبیه‌سازی با روش پیشنهادی [۵]..... ۸
- شکل ۴-۲: طرح آرایه‌های ۳-۱۶-۱۶-۳ با وجود سایه [۸]..... ۱۰
- شکل ۵-۲: اثر سایه روی توان در نقطه MPP برای آرایش‌های مختلف ماژول‌های PV [۸]..... ۱۱
- شکل ۶-۲: اثر سایه روی ولتاژ در نقطه MPP برای آرایش‌های مختلف ماژول‌های PV [۸]..... ۱۱
- شکل ۷-۲: میانگین ماهیانه تابش دریافت شده در سازه‌های PV مختلف [۹]..... ۱۲
- شکل ۸-۲: سایه اندازی آرایه‌ها در نیروگاه فتوولتائیک نوع ثابت [۱۱]..... ۱۴
- شکل ۹-۲: مولفه‌های تابش خورشید بر حسب عرض جغرافیایی..... ۱۶
- شکل ۱۰-۲: زوایای بهینه مربوط به محور عمودی و محور EW زاویه‌دار بر حسب عرض جغرافیایی مکان‌ها..... ۱۶
- شکل ۱-۳: مقایسه انرژی الکتریکی تولیدی یک سازه متحرک و یک سازه ثابت پنل خورشیدی [۱۷]..... ۲۰
- شکل ۲-۳: مقایسه درصد استفاده و رشد روش‌های مختلف کاربری از نیروگاه‌های خورشیدی [۲۴]..... ۲۱
- شکل ۳-۳: شکلی از سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه ی برق بدون باتری ذخیره ساز [۲۱]..... ۲۲
- شکل ۴-۳: سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه [۲۲]..... ۲۳
- شکل ۵-۳: طرح سلول، ماژول، پانل و آرایه های فتوولتائیک..... ۲۴
- شکل ۶-۳: منحنی جریان- ولتاژ یک پانل خورشیدی [۲۱]..... ۲۵
- شکل ۷-۳: منحنی توان- ولتاژ یک پانل خورشیدی [۲۱]..... ۲۵
- شکل ۸-۳: نیروگاه خورشیدی با استفاده از مبدل بوست برای افزایش ولتاژ [۲۱]..... ۲۶
- شکل ۹-۳: مدل کلی سلول خورشیدی به همراه مقاومت‌های سری و موازی [۲۳]..... ۲۷
- شکل ۱۰-۳: منحنی مشخصه‌های V-I سلول در دمای ۲۵ درجه و تابش‌های مختلف [۲۳]..... ۲۸

شکل ۳-۱۱: منحنی مشخصه‌های V-I سلول در تابش w/m^2 ۱۰۰۰ و دماهای مختلف [۱]	۲۸
شکل ۳-۱۲: روند کلی طراحی یک سیستم فتوولتائیک [۱۵]	۳۱
شکل ۳-۱۳: معیارهای کلی طراحی سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه [۱۵]	۳۱
شکل ۳-۱۴: مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک با معیار تامین انرژی مصرفی سالانه	۳۲
شکل ۳-۱۵: مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک با معیار طراحی بر اساس میزان فضای موجود	۳۲
شکل ۳-۱۶: مراحل انتخاب ظرفیت و آرایش آرایه فتوولتائیک با معیار طراحی بر اساس بودجه موجود	۳۳
شکل ۳-۱۷: نمایی از تابش مستقیم و انواع تابش پراکنده [۲۳]	۳۴
شکل ۳-۱۸: تشریح موقعیت خورشید با زوایای hs و γ_s [۲۳]	۳۵
شکل ۳-۱۹: مسیر خورشید برای یک روز از هر ماه در عرض جغرافیایی ۴۷ درجه شمالی [۲۳]	۳۶
شکل ۳-۲۰: زاویه انحراف خورشیدی در انقلاب تابستانی، انقلاب زمستانی، اعتدال بهاری و اعتدال پاییزی [۲۳]	۳۷
شکل ۳-۲۱: منحنی تغییرات زاویه δ [۲۳]	۳۸
شکل ۳-۲۲: توان تابشی اندازه‌گیری شده در یک روز ابری زمستانی با زاویه عمودی نصب ۴۵ در شهر بورگدورف	۳۸
شکل ۳-۲۳: زوایای مختلف در ارتباط با تابش خورشید و پنل خورشیدی	۳۹
شکل ۳-۲۴: توان تابشی اندازه‌گیری شده در یک روز آفتابی زمستانی با زاویه عمودی نصب ۴۵ در شهر بورگدورف	۴۰
شکل ۳-۲۵: قانون انعکاس نور Fresnel [۲]	۴۴
شکل ۳-۲۶: منحنی اصلاح ضریب IAM به نسبت زاویه عمودی پنل [۲]	۴۵
شکل ۳-۲۷: نمودار تلفات نیروگاه خورشیدی [۲۳]	۴۷
شکل ۳-۲۸: نحوه محاسبه آرایش بهینه پنل‌ها [۲۳]	۴۸
شکل ۳-۲۹: زوایای مربوط به محاسبات خورشیدی [۲۳]	۴۹
شکل ۳-۳۰: محاسبه سایه روی پنل‌ها [۲۳]	۴۹
شکل ۴-۱: مقایسه میزان انرژی تابشی برای سه شهر مختلف [۲۹]	۵۳
شکل ۴-۲: نحوه نصب پنل‌ها در نیروگاه خورشیدی	۵۵

شکل ۳-۴: انتخاب زاویه نصب ماژول‌ها در نرم‌افزار PVsyst [۲۹].....	۵۶
شکل ۴-۴: جزئیات مشخصات ماژول ۲۵۰ واتی JA Solar	۵۷
شکل ۵-۴: منحنی تغییرات توان و ولتاژ در مقدار تابش‌های مختلف	۵۷
شکل ۶-۴: منحنی راندمان ماژول نسبت به تغییرات دما در میزان تابش‌های مختلف	۵۸
کل ۷-۴: منحنی تغییرات P-V نسبت به تغییرات دما	۵۸
شکل ۸-۴: نحوه قرارگیری پنل‌ها در نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی کربلا	۵۹
شکل ۹-۴: شمای گرافیکی تعداد رشته‌ها موازی برای هر اینورتر	۶۰
شکل ۱۰-۴: منحنی حدود مجاز انتخاب مشخصه‌های اینورتر	۶۱
شکل ۱۱-۴: منحنی V-I تلفات حرارتی در نقطه کار و دمای ۲۵ درجه	۶۲
شکل ۱۲-۴: شمای گرافیکی سیم‌کشی یک نیروگاه خورشیدی	۶۲
شکل ۱۳-۴: تلفات سایه در طول یک روز از ماه‌های مختلف سال	۶۳
شکل ۱۴-۴: تلفات تابشی قبل از تبدیل به انرژی الکتریکی	۶۴
شکل ۱۵-۴: تلفات الکتریکی بعد از تبدیل به انرژی الکتریکی	۶۵
شکل ۱۶-۴: تولید نرمالایز شده توان تزریقی به شبکه بر حسب توان نامی ۱۰۰ مگاوات	۶۶
شکل ۱۷-۴: انرژی تزریقی روزانه به شبکه توسط نیروگاه مورد مطالعه	۶۶
شکل ۱۸-۴: . اندازه ضریب عملکرد (PR) در ماه‌های مختلف	۶۷
شکل ۱۹-۴: قیمت‌های مرتبط با تجهیزات نیروگاه فتوولتائیک در سال ۲۰۱۷ [۲۵].....	۶۸
شکل ۲۰-۴: قیمت‌های مرتبط با تجهیزات نیروگاه فتوولتائیک در سال‌های اخیر [۲۵]	۶۹
شکل ۲۱-۴: هزینه‌های اولیه وارد شده در PVsyst	۷۰
شکل ۲۲-۴: جریان نقدی انباشته نیروگاه فتوولتائیک نوع پنل ثابت	۷۰
شکل ۲۳-۴: تراز مالی نیروگاه فتوولتائیک نوع پنل ثابت	۷۱
شکل ۲۴-۴: میزان تراز Co2 به دلیل استفاده از نیروگاه فتوولتائیک	۷۲

- شکل ۴-۲۵: نحوه نصب آرایه‌ها با دنبال کننده فتوولتائیک محور افقی ۷۳
- شکل ۴-۲۶: نمای نیروگاه خورشیدی با دنبال کننده فتوولتائیک محور افقی در نرم افزار PVsyst ۷۴
- شکل ۴-۲۷: جزئیات تلفات تابشی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور افقی ۷۴
- شکل ۴-۲۸: جزئیات تلفات الکتریکی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور افقی ۷۵
- شکل ۴-۲۹: اثر سایه پنل‌ها روی یکدیگر ۷۶
- شکل ۴-۳۰: تراز مالی نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور افقی ۷۸
- شکل ۴-۳۱: میزان CO₂ که به علت استفاده از نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور افقی ، منتشر نخواهد شد ۷۹
- شکل ۴-۳۲: نمای نیروگاه خورشیدی با دنبال کننده فتوولتائیک محور عمودی در نرم افزار PVsyst ۷۹
- شکل ۴-۳۳: نحوه نصب آرایه‌های PV با دنبال کننده خورشید محور عمودی ۸۰
- شکل ۴-۳۴: مقادیر تلفات در مراحل مختلف تبدیل انرژی به انرژی الکتریکی ۸۱
- شکل ۴-۳۵: جزئیات تلفات تابشی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور عمودی ۸۱
- شکل ۴-۳۶: جزئیات تلفات الکتریکی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور عمودی ۸۲
- شکل ۴-۳۷: اثر سایه پنل‌ها روی یکدیگر در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور عمودی ۸۳
- شکل ۴-۳۸: تراز مالی فتوولتائیک با دنبال کننده محور عمودی ۸۵
- شکل ۴-۳۹: میزان CO₂ که به علت استفاده از نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور عمودی، منتشر نخواهد شد ۸۶
- شکل ۴-۴۰: نمای نیروگاه خورشیدی با دنبال کننده فتوولتائیک دو محوره در نرم افزار PVsyst ۸۷
- شکل ۴-۴۱: جزئیات تلفات تابشی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده دو محوره ۸۸
- شکل ۴-۴۲: جزئیات تلفات الکتریکی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده دو محوره ۸۸
- شکل ۴-۴۳: اثر سایه پنل‌ها روی یکدیگر در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده دو محوره ۸۹
- شکل ۴-۴۴: تراز مالی فتوولتائیک با دنبال کننده دو محوره ۹۱
- شکل ۴-۴۵: میزان CO₂ که به علت استفاده از نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده دو محوره، منتشر نخواهد شد [۲۴].... ۹۱
- شکل ۴-۴۶: تحلیل حساسیت نیروگاه فتوولتائیک با دنبال کننده محور عمودی به دمای محیط ۹۴

شکل ۴-۴۷: حساسیت قدرت خرید سود نسبت به نرخ بهره در تورم ۲/۵ درصد ۹۴

شکل ۴-۴۸: حساسیت قدرت خرید سود نسبت به نرخ تورم در نرخ بهره ۵ درصد ۹۵

جدول ۱-۲: مقایسه روش‌های پیشنهادی با روش‌های سنتی و نرم‌افزاری [۱].....	۵
جدول ۲-۲: شاخص‌های اقتصادی سیستم با احتساب مالیات صفر [۹].....	۱۲
جدول ۳-۲: شاخص‌های اقتصادی سیستم با احتساب مالیات صفر - ادامه.....	۱۳
جدول ۴-۲: نتایج اقتصادی در حالت واقعی و بهینه [۱۰].....	۱۳
جدول ۵-۲: هزینه‌های در نظر گرفته شده در مرجع [۱۲].....	۱۵
جدول ۱-۳: راهنمای مقادیر ضریب بازگشت [۲۳].....	۳۶
جدول ۲-۳: ضریب تابشی سراسری $R(\beta, \gamma)$ برای مناطق مختلف [۲۳].....	۴۱
جدول ۱-۴: اطلاعات مربوط به تابش و دمای شهر کربلا [۲۹].....	۵۳
جدول ۲-۴: مقادیر ضریب تابش سراسری $R(\beta, \gamma)$ برای شهر کربلا [۲۹].....	۵۴
جدول ۳-۴: میزان انرژی در مراحل مختلف از تولید در ماه‌های مختلف.....	۶۸
جدول ۴-۴: جدول تراز اقتصادی بین هزینه‌ها و درآمدها در طول ۲۰ سال.....	۷۱
جدول ۵-۴: نتایج تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده محور افقی.....	۷۷
جدول ۶-۴: تراز اقتصادی بلند مدت نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده محور افقی.....	۷۸
جدول ۷-۴: نتایج تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده محور عمودی.....	۸۴
جدول ۸-۴: تراز اقتصادی بلند مدت نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده محور عمودی.....	۸۵
جدول ۹-۴: نتایج تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده دو محوره [۲۹].....	۸۹
جدول ۱۰-۴: تراز اقتصادی بلند مدت نیروگاه فتوولتائیک با دنبال‌کننده دو محوره [۲۹].....	۹۰
جدول ۱۱-۴: جدول مقایسه نتایج فنی و اقتصادی انواع مختلف نیروگاه خورشیدی.....	۹۳
جدول ۱۲-۴: تحلیل حساسیت برای چهار مدل برحسب تعرفه خرید ۰,۱۵ دلار برکیلو وات.....	۹۶
جدول ۱۳-۴: تحلیل حساسیت برای چهار مدل برحسب تعرفه خرید ۰,۲۵ دلار برکیلو وات.....	۹۶

۱- فصل اول: مقدمه

۱-۱- طرح مسئله

در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت سریع فن آوری و صنعت، شاهد مصرف بی رویه انرژی‌های فسیلی در تولید برق می‌باشیم. به طور قطع اگر به همین منوال پیش رود تا چند سال آینده جهان با کمبود انرژی‌های روبه رو خواهد شد. پس لازم است تا به فکر منابع تجدیدپذیر مناسب نظیر انرژی خورشید، باد و غیره جهت تولید برق باشیم. بعلاوه در جهان امروز، مسائل زیست محیطی و تغییرات آب و هوایی ناشی از تمرکز گازهای گلخانه‌ای و مصرف سوخت‌های فسیلی از یک طرف گرانی این سوخت‌ها، از طرف دیگر استفاده گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر را ضروری نموده است. همچنین استفاده از فناوری‌های جدید جهت تولید توان به عنوان یکی از مباحث‌های مهم در تولید انرژی می‌باشد. استفاده از منابع توزیع شده در کنار مصرف‌کننده‌ها علاوه بر اینکه تولید توان مورد نیاز در محل مصرف را تامین میکند، دارای مزایای دیگری از قبیل کاهش تلفات انتقال توان، بهبود ولتاژ سیستم در شبکه‌های فشار ضعیف و بهبود پارامترهای کیفیت توان می‌باشد.

۱-۲- انگیزه پژوهش

ضروری است که نیروگاه فتوولتائیک در کشور عراق ساخته می شود. برای این منظور لازم است که نصب نیروگاه های فتوولتائیک در عراق از نظر فنی و اقتصادی مورد مطالعه و پژوهش قرار گیرد. در این پایان نامه یک نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه به ظرفیت ۱۰۰ مگاوات برای شهر کربلا طراحی شود.

به دلایل ذیل:

۱- در حال توسعه بودن کشور عراق و نیاز به توسعه تولید در این کشور

۲- آلوده کننده بودن تولید انرژی الکتریکی با استفاده از منابع فسیلی

۳- رو به اتمام بودن منابع فسیلی

۴- گران بودن سوخت‌های فسیلی و گاز طبیعی

۵- برخوردار بودن کشور عراق از انرژی خورشیدی فراوان و مناسب

۱-۳- تعریف مسئله

در این پایان نامه می‌خواهیم یک نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه به ظرفیت ۱۰۰ مگاوات برای شهر کربلا طراحی نماییم. این طراحی بر اساس نیاز بار ۲۰ سال آینده شهر کربلا و با توجه به میزان تابش خورشید در این شهر انجام می‌شود. تعداد پنل‌های مورد نیاز، زاویه نصب پنل‌ها با سطح زمین، ظرفیت و تعداد اینورترهای مورد نیاز و نیاز به دنبال کننده خورشید جز مجهولاتی است که باید در این پایان‌نامه تعیین می‌گردد. همچنین در این پایان نامه نصب نیروگاه فتوولتائیک از نظر اقتصادی مورد مطالعه قرار می‌گیرد [۱].

۱-۳-۱- فرضیات

فرضیات برای انجام این پایان‌نامه عبارت‌اند از:

- طراحی نیروگاه خورشیدی بر اساس داده‌های تابع خورشید شهر کربلا انجام می‌شود.
- ظرفیت نیروگاه بر اساس بار مورد نیاز شهر کربلا برابر با ۱۰۰ میگا وات در نظر گرفته می‌شود.
- فرض می‌شود که مکان در نظر گرفته شده برای نصب نیروگاه فتوولتائیک نزدیک شبکه برق انتقال بوده و نیازی به طراحی خط انتقال نمی‌باشد.
- فرض می‌شود که یک قرارداد خرید تضمینی انرژی بین نیروگاه نصب شده و وزارت نیرو عقد شده است که کلیه انرژی تولیدی توسط نیروگاه در طول ۲۰ سال با قیمت ثابت ۰٫۲ دلار بر کیلو وات ساعت توسط وزارت نیرو خریداری می‌شود.
- نرخ بهره (حد اقل نرخ برگشت جذاب) سرمایه گذار برابر با ۵ درصد است.
- نرخ تورم در کشور سرمایه گذار برابر با ۲٫۵ درصد می‌باشد.
- محدودیت برای زمین نیروگاه وجود ندارد.

۱-۴- مروری بر پایان‌نامه

در این پایان‌نامه، موضوع طراحی نیروگاه خورشیدی مقیاس بزرگ متصل به شبکه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در فصل ۲ مروری بر کارها و پژوهش‌های انجام شده صورت گرفته است. در فصل ۳ کلیات و اصول طراحی نیروگاه خورشیدی بیان شده است. در فصل ۴ نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاواتی متصل به شبکه برای شهر کربلا در انواع مختلف آن بررسی و شبیه‌سازی شده است. در نهایت در فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

۲- مرور پژوهش‌های انجام شده در زمینه نیروگاه‌های فتوولتائیک

۲-۱- مقدمه

بحران انرژی از جمله مسائلی است که موجب تغییرات زیادی در توسعه فناوری‌های مختلف شده است. هر ساله عودت این بحران در بسیاری از کشورهای در سراسر جهان، باعث شده است بسیاری از این کشورها را بر آن داشته است که با حرکت به سمت منابع جایگزین و تجدیدپذیر انرژی، سبد مصرفی انرژی در کشور خود را تغییر داده و با اعمال تغییراتی در برنامه پیش روی خود در این خصوص، زمینه را به منظور توسعه استفاده هرچه بیشتر از این منابع در کشور خود فراهم کنند.

در حال حاضر، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از سبد انرژی برخی کشورهای در حال توسعه نادیدنی است. آیا این حال است که پتانسیل انرژی خورشیدی در کشور عراق، پتانسیل انرژی خورشیدی در عراق بسیار بالاتر از بسیاری از کشورهای پیشرو و موفق جهان است و عدم تحقق اهداف برنامه توسعه کشور عراق برای تامین بخشی از انرژی برق مورد نیاز کشور از محل انرژی‌های تجدیدپذیر اذهان را به سمت بازبینی چگونگی توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر، استفاده مناسب از پتانسیل نیروگاه‌های تجدیدپذیر و حذف استفاده از سوخت‌های فسیلی در تولید برق هدایت می‌کند. در این راستا حرکت به سوی یک ساخت پویا و منعطف در بخش اجرایی و سیاست‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور ضروری است، که اکنون باید مورد توجه قرار گیرد، به طوری که می‌توان اقدامات موثرتری برای ساختن ساختار موثر تر انجام داد.

۲-۲- طراحی نیروگاه خورشیدی

نصب آرایه های فتوولتائیک در یک دهه اخیر در دنیا و در اکثر سطوح خانه ها، روستایی، سیار، صنعتی و در مقیاس نیروگاهی رشد چشمگیری داشته است. در کل این موارد، بهبود زمان برگشت سرمایه و تولید انرژی برای تاسیسات PV یک مساله طراحی پیچیده است که با متغیرهای متعددی از قبیل نوسانات تابشی، بازدهی اینورتر، تغییرات دمای بهره‌برداری و نوع پنل PV درگیر است [۱].

در مرجع [۱] یک مطالعه چند منظوره با جزئیات کامل از طراحی نیروگاه خورشیدی ارائه شده که نتیجه آن افزایش توان نیروگاه فتوولتائیک با سرمایه اولیه کمتر می باشد. این روش جدید شامل ملاحظات جزئی دمای ساعتی احتمالی و پروفیل تابش خورشید در سایت تاسیسات، بازدهی و حدود بهره‌برداری اینورترهای متصل به شبکه و مدل‌های جزئی از ماژول‌های PV مختلف در فرآیند طراحی بهینه می‌باشد. در این مقاله طراحی نیروگاه فتوولتائیک با سه تابع هدف شامل (۱) حد اکثر سازی میزان انرژی نیروگاه فتوولتائیک (۲) حد اکثر سازی سود حاصل از نیروگاه فتوولتائیک (۳) حد اقل سازی زمان برگشت سرمایه انجام شده است. در این روش تعداد پنل‌های سری و موازی، زاویه عمودی، تکنولوژی اینورتر و نوع ماژول PV از لیست کاندیداهای ممکن تعیین می‌شود. فرآیند بهینه‌سازی برای یک سیستم نمونه پیاده‌سازی شده و نتایج آن با نتایج روش‌های سنتی و طراحی نرم افزاری مقایسه شده است. در مرجع [۱] با بکارگیری روش پیشنهادی، با هزینه اولیه کمتر، میزان استحصال انرژی، منافع مالی و زمان بازگشت سرمایه را می‌توان به ترتیب ۹,۳ درصد، ۱ درصد و ۶,۹۵ درصد بهبود داد. چندین مورد مطالعاتی برای تحقیق در خصوص حساسیت و استحکام طراحی با در نظر گیری تغییرات دمای محیط، نوسانات تابش خورشید و مساحت سطح موجود برای تاسیسات ماژول PV ارائه شده است. در جدول ۱-۲ نتایج بدست آمده از روش‌های پیشنهادی با روش سنتی و روش نرم‌افزاری مقایسه شده است. روش نرم‌افزاری با نرم افزار PVsyst [۲] انجام شده است. روش سنتی نیز مطابق روش پیشنهادی شرکت SMA [۳] می‌باشد. روش‌های پیشنهادی هر کدام با در نظرگیری یکی از سه تابع هدف بیان شده، طراحی شده است. در این جدول N_S تعداد ماژول‌های سری، N_P تعداد رشته‌های موازی، A مساحت اشغال شده، I_{Cst} سرمایه اولیه و $F1$, $F2$, $F3$ سه تابع هدف مسئله می باشند.

جدول ۱-۲: مقایسه روش‌های پیشنهادی با روش‌های سنتی و نرم‌افزاری [۱]

Design Approach	N _s	N _p	Inv	PV	A (m ²)	I _{Cst} (KS)	F ₁ (MWh/y)	F ₂ (KS)	F ₃ (Days)
Proposed-1	17	12	I5	PV2	390	69.2	56.4	69	4558
Proposed-2	19	6	I5	PV3	191	39.1	51.9	103	2481
Proposed-3	23	4	I5	PV3	154	33.2	46.7	96	2329
Traditional	23	5	I5	PV3	193	39.2	51.6	102	2503
PVSYST	17	3	I5	PV3	97	21.7	26.0	49	2720

در مرجع [۴] روشی برای طراحی بهینه نیروگاه خورشیدی ارائه شده است که در مقایسه با روش‌های مرسوم طراحی نیروگاه خورشیدی، برای کار و اجرای داده‌های زیاد و ریز مربوط به هواشناسی مناسب است. به دلیل عملکرد غیرخطی تجهیزات تشکیل دهنده نیروگاه خورشیدی، این موضوع اجازه می‌دهد که تخمین دقیقی از عملکرد نیروگاه خورشیدی در طول عمر بهره‌برداری داشته باشیم. در مرجع [۴] یک روش الگوریتم ژنتیک مبتنی بر پردازش موازی^۱ به کار گرفته شده است که در مقایسه با روش اجرای سری^۲ توانایی انجام فرآیند طراحی پیشنهادی را در زمان خیلی کمتر فراهم می‌آورد. شکل ۱-۲ ساختار نیروگاه خورشیدی در نظر گرفته شده در [۴] را نشان می‌دهد.

هدف فرآیند طراحی بهینه پیشنهادی [۴] رسیدن به آرایش بهینه نیروگاه خورشیدی است که در حداقل‌سازی هزینه تمام شده انرژی الکتریکی تولیدی (LCOE^۳) خلاصه می‌شود. تابع هدف مسئله به صورت رابطه ۱-۲ در نظر گرفته شده است.

$$\underset{\mathbf{X}}{\text{minimize}}\{\text{LCOE}(\mathbf{X})\} = \underset{\mathbf{X}}{\text{minimize}}\left\{\frac{C_c(\mathbf{X}) + C_m(\mathbf{X})}{E_{\text{tot}}(\mathbf{X})}\right\} \quad (1-2)$$

^۱ Parallel Processing-based Genetic Algorithms

^۲ Serial Execution

^۳ Levelized Cost of generated Electricity