۱۳۳۷۵

۹۳۸۱۷

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–قدرت

# بهبود کیفیت توان توربین‌های بادی سرعت‌متغیر DFIG

مجید ابدی مرزونی

استاد راهنما:

دکتر مصطفی محمدیان

استاد مشاور:

دکتر علی یزدیان ورجانی

۱۳۸۷ /۲/ ۲۵

آذرماه ۱۳۸۶

۹۳۸۱۷

تقدیم به پدر و مادرم

اسوه‌های استقامت و ایثار

و

تقدیم به همسرم

اسوه محبت و گذشت

# تشکر و قدردانی

در اینجا جا دارد از زحمات جناب آقای دکتر محمدیان، استاد راهنما، جناب آقای دکتر یزدیان، استاد مشاور، و دیگر اساتید گروه قدرت دانشگاه تربیت مدرس؛آقایان دکتر سیفی، دکتر پارسامقدم و دکتر حقی‌فام، تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از جناب سردار صمدی و خانواده محترمشان، به خاطر کمک و محبت بی‌دریغشان در طول این مدت، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

مجید ابدی مرزونی

کارشناسی ارشد ۸۴

آذر ۱۳۸۶

# چکیده

« در این پایان‌نامه انتشار فلیکر توربین‌های بادی سرعت متغیر با ژنراتور القایی تغذیه دوبل(DFIG)، مورد بررسی قرارگرفته و تأثیر عواملی چون سرعت متوسط باد، میزان اغتشاشات باد، ظرفیت اتصال کوتاه شبکه و زاویه امپدانس شبکه، بر روی انتشار فلیکر این نوع توربین‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین با استفاده از کنترل توان راکتیو خروجی ژنراتور، که از طریق کانورتر طرف شبکه توربین انجام می‌گیرد، میزان فلیکر موجود در ولتاژ خروجی بهبود یافته است. برای کنترل جریان این مبدل، سه روش کنترل ضریب توان (Q=0)، کنترل توان راکتیو و کنترل ولتاژ مورد استفاده قرار گرفته است. این سه روش از نظر توانایی در بهبود فلیکر، میزان توان راکتیو مصرفی و ظرفیت مبدل مورد نیاز، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. همچنین یک روش ترکیبی از روشهای ارائه شده، جهت بهبود توأم فلیکر و ضریب توان پیشنهاد شده است. نتایج شبیه‌سازی عملکرد صحیح سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهد »

**کلید واژه:** توربین‌های بادی سرعت متغیر، ژنراتور القایی تغذیه دوبل، فلیکر

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


فهرست جدول‌ها ..... د
فهرست شکل‌ها ..... ه
**مقدمه ..... ۱**
**فصل ۱- سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تأمین انرژی الکتریکی ..... ۴**
۱-۱- مقدمه ..... ۴
۱-۲- اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر ..... ۴
۱-۳- سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین آینده انرژی جهان ..... ۶
۱-۴- انرژی خورشید ..... ۷
۱-۴-۱- سیستم‌های خورشیدی پسیو ..... ۸
۱-۴-۲- سیستم‌های خورشیدی اکتیو ..... ۸
۱-۴-۳- سیستم‌های حرارت خورشیدی ..... ۹
۱-۴-۴- سیستم‌های فتوولتائیک ..... ۹
۱-۵- انرژی باد ..... ۹
۱-۵-۱- منابع باد و تقاضای برق ..... ۱۱
۱-۵-۲- سرمایه‌گذاری، هزینه و استخدام ..... ۱۱
۱-۵-۳- مزایای زیست‌محیطی ..... ۱۲
۱-۶- نکاتی در رابطه با انرژی‌های تجدیدپذیر ..... ۱۲
**فصل ۲- تولید انرژی الکتریکی به وسیله باد ..... ۱۵**
۲-۱- مقدمه ..... ۱۵
۲-۲- تاریخچه توربین‌های بادی ..... ۱۶
۲-۲-۱- تولید انرژی مکانیکی ..... ۱۶
۲-۲-۲- تولید انرژی الکتریکی ..... ۱۷
۲-۳- مشخصه‌های انرژی باد ..... ۱۹
۲-۴- فن‌آوری توربین‌های بادی ..... ۲۴
۲-۵- عملکرد توربین‌های بادی از نظر سرعت ..... ۲۶
۲-۵-۱- توربین‌های بادی سرعت ثابت ..... ۲۷
۲-۵-۲- توربین‌های بادی سرعت متغیر ..... ۲۹
۲-۵-۲-۱- توربین‌های بادی با تغییرات سرعت محدود ..... ۳۰
۲-۵-۲-۲- توربین‌های بادی سرعت متغیر با ژنراتورالقائی تغذیه دوبل (DFIG) ..... ۳۲

۲-۶- کنترل آیرودینامیکی توربین‌های بادی ..... ۳۴
۲-۶-۱- کنترل ایستا (Stall Control) ..... ۳۴
۲-۶-۲- کنترل زاویه پره (Pitch Control) ..... ۳۴
۲-۶-۳- کنترل ایستای اکتیو (Active Stall Control) ..... ۳۵
۲-۷- ژنراتورهای توربین‌های بادی ..... ۳۵
۲-۷-۱- ژنراتور القایی ..... ۳۶
۲-۷-۱-۱- ژنراتور القایی قفس سنجابی ..... ۳۶
۲-۷-۱-۲- ژنراتورهای القایی روتور سیم‌پیچی شده ..... ۳۷
۲-۷-۲- ژنراتورسنکرون ..... ۳۹
۲-۷-۲-۱- ژنراتورهای سنکرون روتور سیم‌پیچی شده ..... ۴۰
۲-۷-۲-۲- ژنراتورهای سنکرون مغناطیس دائم ..... ۴۰
۲-۷-۳- ژنراتور DC ..... ۴۱
۲-۷-۴- ژنراتورهای ولتاژ بالا ..... ۴۲
۲-۸- کاربرد الکترونیک قدرت در توربین‌های بادی ..... ۴۲
۲-۸-۱- راه‌انداز نرم (Soft Starter) ..... ۴۳
۲-۸-۲- بانک خازنی ..... ۴۳
۲-۸-۳- یکسوساز و اینورتر ..... ۴۴
۲-۸-۴- مبدل فرکانس ..... ۴۵
۲-۹- نتیجه‌گیری ..... ۴۵

**فصل ۳- توربین‌های بادی سرعت‌متغیر DFIG ..... ۴۷**
۳-۱- مقدمه ..... ۴۷
۳-۲- نمای کلی سیستم تولید ..... ۴۸
۳-۳- تحلیل عملکرد و معادلات ژنراتور القایی دو تغذیه‌ای[۹و۱۰] ..... ۴۹
۳-۳-۱- مدل مرتبه ۵ ژنراتور القایی دوتغذیه‌ای ..... ۵۰
۳-۳-۲- مدل مرتبه ۳ ژنراتور القایی دوتغذیه‌ای ..... ۵۴
۳-۴- طراحی سیستم کنترل [۱۱و۱۲] ..... ۵۵
۳-۴-۱- کنترل برداری ..... ۵۵
۳-۴-۲- بلوک دیاگرم کنترل DFIG ..... ۵۶
۳-۵- نتیجه‌گیری ..... ۵۹

**فصل ۴- بهبود کیفیت توان توربین‌های بادی سرعت متغیر DFIG ..... ۶۱**
۴-۱- مقدمه ..... ۶۱
۴-۲- تغییرات ولتاژ ..... ۶۱
۴-۳- فلیکر ..... ۶۲
۴-۳-۱- عملکرد حالت دائم ..... ۶۲
۴-۳-۲- عملیات کلیدزنی ..... ۶۳

۴-۴- هارمونیک‌ها ..... ۶۳
۴-۵- گذراها ..... ۶۴
۴-۶- اغتشاشات فرکانس ..... ۶۴
۴-۷- بهبود کیفیت توان توربین‌های بادی DFIG ..... ۶۵
۴-۷-۱- استفاده از مبدل طرف شبکه به عنوان فیلتر اکتیو موازی [۱۵] ..... ۶۵
۴-۷-۲- بهبود نامتعادلی ولتاژ شبکه با استفاده از مبدل طرف روتور [۱۶] ..... ۶۶
۴-۷-۳- استفاده از مبدل طرف روتور جهت بهبود هارمونیک ولتاژ شبکه [۱۷و۱۸] ..... ۶۶
۴-۷-۴- استفاده از اینرسی توربین جهت کاهش نوسانات توان اکتیو [۱۹] ..... ۶۷
۴-۷-۵- استفاده از سیستم ذخیره‌ساز انرژی در لینک DC [۲۰] ..... ۶۸
۴-۷-۶- استفاده از ادوات FACTS جهت بهبود فلیکر توربین بادی DFIG[۲۱] ..... ۶۹
۴-۸- نتیجه‌گیری ..... ۷۰

**فصل ۵- بررسی فلیکر توربین‌های بادی DFIG و بهبود آن ..... ۷۲**
۵-۱- مقدمه ..... ۷۲
۵-۲- مدلسازی سیستم توربین بادی ..... ۷۳
۵-۲-۱- مدل باد ..... ۷۴
۵-۲-۲- مدل توربین بادی ..... ۷۵
۵-۲-۳- مدل ژنراتور القایی تغذیه دوبل و کانورتر PWM ..... ۷۶
۵-۳- سیستم کنترل DFIG ..... ۷۷
۵-۴- شبیه‌سازی سیستم مورد مطالعه در حالت پایه ..... ۷۸
۵-۵- طراحی فلیکرمتر ..... ۸۵
۵-۶- بررسی انتشار فلیکر ..... ۸۸
۵-۶-۱- مشخصات باد ..... ۹۱
۵-۶-۲- وضعیت شبکه ..... ۹۳
۵-۷- بهبود فلیکر با استفاده از مبدل طرف شبکه ..... ۹۶
۵-۷-۱- ظرفیت مبدل ..... ۱۰۷

**فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۱۰۹**
۶-۱- نتیجه‌گیری ..... ۱۰۹
۶-۲- پیشنهادات ..... ۱۱۱

**فهرست مراجع ..... ۱۱۲**

# فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**

جدول(۱-۱) : برآورد سرمایه گذاری انباشته در منابع انرژی تجدیدپذیر(میلیارد دلار)[۱] ..... ۶
جدول (۱-۲) : تقسیم‌بندی بادها بر اساس چگالی قدرت و سرعت در ارتفاع ۱۰ و ۵۰ متری[۱]..... ۱۰
جدول (۵-۱) : پارامترهای ماشین القایی ..... ۷۹
جدول (۵-۲) : مشخصات شبکه و باد در حالت پایه..... ۷۹
جدول (۵-۳) : پارامترهای مربوط به رابطه (۵-۹)..... ۸۶
جدول (۵-۴) : مشخصات سیگنالهای تست برای کلاس بندی فلیکرمتر ..... ۸۷

# فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل (۲-۱): طیف فرکانسی سرعت باد[۲۹] ..... ۲۰
شکل (۲-۲) : منحنی توان مکانیکی توربین بر حسب سرعت روتور در سرعت‌های مختلف باد ..... ۲۲
شکل (۲-۳) : منحنی توان خروجی توربین ۱۵۰۰kw با کاهش خطی توان ..... ۲۳
شکل (۲-۴) : منحنی توان خروجی توربین ۱۵۰۰kw با کاهش خطی توان ..... ۲۳
شکل(۲-۵) : انواع توربین‌های بادی با محور عمودی ..... ۲۵
شکل(۲-۶) : انواع توربین‌های بادی با محور افقی ..... ۲۶
شکل (۲-۷) : محدوده عملکرد توربین های بادی با سرعت متغیر و سرعت ثابت ..... ۲۷
شکل (۲-۸) : توربین بادی با سرعت ثابت و اتصال آن به شبکه ..... ۲۹
شکل (۲-۹): توربین بادی با تغییر سرعت محدود با استفاده از تغییر مقاومت روتور ..... ۳۱
شکل (۲-۱۰): توربین بادی با تغییر سرعت محدود نوع D ..... ۳۱
شکل (۲-۱۱) : توربین بادی سرعت متغیر با ژنراتور القایی تغذیه دوبل ..... ۳۳
شکل (۲-۱۲) : شمای کلی راه‌انداز نرم ..... ۴۳
شکل(۳-۱) : طرح کلی تولید انرژی الکتریکی با استفاده از ژنراتور القائی تغذیه دوبل ..... ۴۸
شکل (۳-۲) : منحنی توان و جریان بر حسب سرعت ماشین القائی ..... ۴۹
شکل(۳-۳) : سیم‌پیچی‌های d-q ژنراتور القائی دو تغذیه‌ای ..... ۵۰
شکل (۳-۴) : مدار کنترل مبدل سمت روتور ..... ۵۷
شکل (۳-۵) : مدار کنترل مبدل طرف شبکه ..... ۵۸
شکل (۴-۱) : منحنی فلیکر طبق استاندارد IEC 60868 ..... ۶۲
شکل (۴-۲) : بلوک دیاگرام کنترل مبدل طرف شبکه به عنوان فیلتر اکتیو موازی ..... ۶۵
شکل (۴-۳) : بلوک دیاگرام کنترل مبدل طرف روتور با قابلیت فیلتر هارمونیکی ..... ۶۷
شکل (۴-۴) : بلوک دیاگرام کنترل مبدل طرف روتور در روش استفاده از اینرسی توربین ..... ۶۸
شکل (۴-۵) : استفاده از STATCOM جهت بهبود فلیکر توربین بادی DFIG ..... ۶۹
شکل (۵-۱) : سیستم شبیه سازی شده در نرم‌افزار MATLAB ..... ۷۳
شکل (۵-۲) : مدل شبیه سازی شده باد ..... ۷۵
شکل (۵-۳) : بلوک دیاگرام کنترل کانورترهای DFIG ..... ۷۸
شکل (۵-۴) : سرعت باد و سرعت ژنراتور القایی در حالت پایه ..... ۸۰
شکل (۵-۵) : توان اکتیو خروجی و ولتاژ پایانه ژنراتور در حالت پایه ..... ۸۱
شکل (۵-۶) : طیف فرکانسی توان اکتیو خروجی ..... ۸۱
شکل (۵-۷) : سرعت باد ..... ۸۲

شکل (۵-۸) : سرعت ژنراتور ..... ۸۲
شکل (۵-۹) : توان اکتیو خروجی توربین ..... ۸۳
شکل (۵-۱۰) : توان راکتیو خروجی توربین ..... ۸۳
شکل (۵-۱۱) : ولتاژ باس DC ..... ۸۳
شکل (۵-۱۲) : ولتاژ نقطه اتصال توربین به شبکه (نقطه PCC) ..... ۸۴
شکل (۵-۱۳) : جریان نقطه اتصال توربین به شبکه (نقطه PCC) ..... ۸۴
شکل (۵-۱۴) : بلوک دیاگرام فلیکرمتر طبق استاندارد IEC ..... ۸۵
شکل (۵-۱۵): ولتاژ، سطح فلیکر لحظه‌ای(IFL) و تابع تجمعی احتمال (CPF) سطوح فلیکر ..... ۸۷
شکل (۵-۱۶): سطح فلیکر لحظه‌ای(IFL) برای تغییر ولتاژ با دامنه 2.72% ..... ۸۸
شکل (۵-۱۷): سطح فلیکر لحظه‌ای(IFL) برای تغییر ولتاژ با دامنه 2.21% ..... ۸۸
شکل (۵-۱۸): سطح فلیکر لحظه‌ای(IFL) برای تغییر ولتاژ با دامنه 0.905% ..... ۸۹
شکل (۵-۱۹): سطح فلیکر لحظه‌ای(IFL) برای تغییر ولتاژ با دامنه 0.725% ..... ۸۹
شکل (۵-۲۰): سطح فلیکر لحظه‌ای(IFL) برای تغییر ولتاژ با دامنه 0.402% ..... ۹۰
شکل (۵-۲۱) : شدت فلیکر کوتاه‌مدت در سرعتهای مختلف باد ..... ۹۱
شکل (۵-۲۲) : سطح فلیکر لحظه‌ای برای سرعت‌های باد نمونه ..... ۹۲
شکل (۵-۲۳) : شدت فلیکر کوتاه‌مدت در اغتشاشات مختلف باد ..... ۹۲
شکل(۵-۲۴) :سرعت باد با شدت اغتشاشات مختلف ..... ۹۳
شکل (۵-۲۵) : مدار معادل یک توربین بادی متصل به شبکه ..... ۹۴
شکل (۵-۲۶) : تغییرات شدت فلیکر کوتاه‌مدت با ظرفیت اتصال کوتاه ..... ۹۵
شکل (۵-۲۷) : تغییرات شدت فلیکر کوتاه‌مدت با زاویه امپدانس شبکه ..... ۹۵
شکل (۵-۲۸) : تغییرات شدت فلیکر کوتاه‌مدت با اختلاف زاویه $\psi_k$ و $\theta$ ..... ۹۶
شکل (۵-۲۹) : بلوک‌دیاگرام کنترل مبدل طرف شبکه ..... ۹۸
شکل (۵-۳۰) : شدت فلیکر کوتاه‌مدت در سرعتهای مختلف باد ..... ۹۹
شکل (۵-۳۱) : شدت فلیکر کوتاه‌مدت در اغتشاشات مختلف باد ..... ۱۰۰
(۵-۳۲) : ولتاژ نقطه PCC ..... ۱۰۱
(۵-۳۳) : سطح فلیکر لحظه‌ای(IFL) ..... ۱۰۱
..... ۱۰۲
(۵-۳۴) :توان راکتیو مصرفی در سه روش کنترل ..... ۱۰۲
(۵-۳۵) :سرعت باد نمونه ..... ۱۰۳
..... ۱۰۴
..... ۱۰۴
(۵-۳۶) :ولتاژ نقطه PCC ..... ۱۰۴
(۵-۳۷) :سطح فلیکر لحظه‌ای (IFL) ..... ۱۰۵
(۵-۳۸) :توان راکتیو مصرفی ..... ۱۰۶

(۵-۳۹) : شدت فلیکر در ریتینگ‌های مختلف مبدل ..... ۱۰۷

# مقدمه

عرضه و تقاضایای انرژی در جهان به صورت یکی ازمهمترین مسائل روز در آمده است. به طوری که جهان تا پایان قرن بیستم و حتی بعد از آن به طور جدی درگیر آن خواهد بود. انرژی فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ سرانجام روزی به پایان خواهد رسید و با پایان گرفتن آنها تمدن بشری که بستگی مستقیم به انرژی دارد دچار یک چالش جدید بزرگ خواهد شد. این امر سبب شده است که کشورهای توسعه یافته صنعتی با جدیت هر چه تمامتر استفاده از سایر انرژیهای موجود در طبیعت و به خصوص انرژی‌های نو را مورد توجه قرار دهند.

انرژی خورشید، باد، امواج، زمین گرمایی، هیدروژن، زیست توده و ... که به انرژی های نو یا انرژی های تجدیدپذیر موسومند، جزء مهمترین منابع تجدیدپذیر تولید انرژی برق به حساب می آیند. در این میان، انرژی باد به عنوان یکی از انواع اصلی انرژی های تجدیدپذیر به شمار می رود که در شرایط کنونی از نظر اقتصادی در مقایسه با سایر منابع انرژی های نو دارای توجیه پذیری بیشتری می باشد.

در سال‌های اخیر بحران‌های نفتی و آلودگی‌های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و شتاب فزاینده بشر در جهت پایان بردن این منابع، تمایلات جدیدی در زمینه فن‌آوری استفاده از باد جهت تولید برق ایجاد کرده است به طوری که هم اکنون انرژی باد به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدپذیر در تولید برق شناخته شده است. با افزایش استفاده از انرژی باد در شبکه‌های قدرت، تأثیر توربین‌های بادی بر روی کیفیت توان شبکه‌های قدرت، به عنوان یک مشکل جدی مورد توجه قرار گرفته است.یکی از مسائل بسیار مهم در زمینه کیفیت توان توربین های بادی، بحث فلیکر یا نوسانات ولتاژ می باشد.

یکی از انواع توربین‌های بادی سرعت‌متغیر، توربین‌های بادی با ژنراتور القایی تغذیه دوبل[1](DFIG) می‌باشد که امروزه به عنوان یکی از رایج‌ترین و پرطرفدارترین توربین‌های بادی در جهان به حساب می‌آید. در این پایان‌نامه یک نمونه شبیه‌سازی شده از این نوع توربین‌ها به همراه سیستم کنترل آن با

[1] Doubly Fed Induction Generator

استفاده از نرم‌افزار MATLAB ارائه شده است. همچنین انتشار فلیکر توربین‌های بادی DFIG مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر عواملی چون مشخصات باد (میانگین سرعت باد و شدت آشفتگی) و وضعیت شبکه (سطح اتصال کوتاه و زاویه امپدانس شبکه) بر روی انتشار فلیکر این نوع توربین‌ها مورد آنالیز قرار می‌گیرد.

تا کنون روش‌های مختلفی برای بهبود کیفیت توان توربین‌های DFIG و به خصوص بهبود فلیکر آن ارائه شده است که از جمله آن می‌توان به استفاده از ادوات FACTS مانند STATCOM در کنار توربین جهت بهبود فلیکر این توربین‌ها[۲۱]، استفاده از کانورتر طرف شبکه به عنوان یک فیلتر اکتیو موازی جهت بهبود هارمونیک ولتاژ شبکه[۱۵]، استفاده از کانورتر طرف روتور و کنترل جریان روتور جهت بهبود هارمونیک و نامتعادلی ولتاژ[۱۶و۱۷و۱۸] و بالاخره استفاده از اینرسی توربین برای کاهش نوسانات ولتاژ خروجی این توربین‌ها[۱۹]، اشاره نمود. در این پایان‌نامه با استفاده از کنترل توان راکتیو خروجی ژنراتور، که از طریق کانورتر طرف شبکه توربین انجام می‌گیرد، میزان فلیکر موجود در ولتاژ خروجی بهبود می‌یابد. در واقع این کانورتر، همانند یک STATCOM عمل می‌کند. برای کنترل جریان این مبدل از سه روش کنترل ولتاژ و کنترل توان راکتیو استفاده شده است. این سه روش از نظر توانایی در بهبود فلیکر، میزان توان راکتیو مصرفی و ظرفیت مبدل مورد نیاز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

در این پایان‌نامه، ابتدا در فصل اول انواع انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی گردیده و سپس در فصل دوم به معرفی انرژی باد و تکنولوژی توربین‌های بادی پرداخته شده است. در فصل سوم نیز توربین‌های سرعت متغیر DFIG، معرفی گردیده است. امروزه این نوع توربین‌ها به علت مزایای مختلف آن به عنوان یکی از رایج ترین و پرطرفدارترین توربین‌های بادی در جهان شناخته شده است. در فصل چهارم نیز راه‌های بهبود کیفیت توان این توربین‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل آخر نیز به بررسی فلیکر توربین‌های بادی سرعت‌متغیر DFIG پرداخته و استفاده از مبدل طرف شبکه این توربین جهت بهبود فلیکر آن ارائه گردیده است. نتایج شبیه‌سازی صحت سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

# فصل اول:

# سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تأمین انرژی الکتریکی

# فصل ۱- سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تأمین انرژی الکتریکی

## ۱-۱- مقدمه

انرژی‌هایی که امروزه بعنوان انرژی‌های نو شناخته می‌شوند، از دیرباز بعنوان ابتدایی ترین صور انرژی بشر مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفته‌اند و علیرغم « نو » بودن واژه انرژی‌های نو، پیشینه آن بسیار قدیمی است. بحرانهای جهانی انرژی که به جنگ اعراب و اسرائیل در سال ۱۹۷۳ میلادی و انقلاب اسلامی ایران در سال ۱۹۷۹ میلادی نسبت داده می‌شود ، بعنوان شتاب‌دهنده و سوق‌دهنده کشورهای مصرف‌کننده انرژی در جهت استخراج و بکارگیری سیستماتیک انرژی‌های نو شناخته می‌شوند.کشورهای فوق در این راستا از یک سو بدنبال صرفه‌جویی در مصرف انرژی فسیلی از طریق جایگزینی انرژی های نو و در نتیجه کاهش هر چه بیشتر وابستگی بازار انرژی خود به واردات اینگونه منابع بوده و از سوی دیگر بدنبال چاره‌جویی برای آینده انرژی جهان می باشند.

## ۱-۲- اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر

با نگرشی دقیق‌تر به مقوله مصرف انرژی مشخص می‌شود که میزان مصرف کل انرژی به دو فاکتور اصلی جمعیت و استاندارد زندگی که خود با توجه به میزان تولید ناخالص ملی ارزیابی می‌گردد، بستگی دارد. با توجه به رشد طبیعی و نیاز به رشد معقول تولید ناخالص ملی هر کشور، میزان مصرف انرژی، به ناچار در حال افزایش است . آمارهای موجود حاکی از رشد مصرف انرژی جهانی به میزان ۴ الی ۸ درصد می‌باشد. در ایران شاخص‌های موجود بیانگر رشد سالانه ۶ درصدی مصرف انرژی در دهه گذشته می‌باشد. این بدان معنا است که مصرف کل انرژی کشور در کمتر از بیست سال آینده به دو برابر افزایش می‌یابد.[۱]

این خود فاکتور مهمی در تاثیر بر اقتصاد بازار انرژی بوده و قطعاً تحمیل چنین رشدی بر منابع سنتی موجود که عمدتاً فسیلی می باشند، چندان معقول بنظر نمی‌رسد . لذا بکارگیری انرژی‌های نو در کنار

روشهای بهره‌وری انرژی راه حل مناسب در تدوین برنامه‌های درازمدت انرژی می‌باشد. یکی دیگر از دلایل اهمیت و ضرورت استفاده از انرژی های نو توجه به مسائل زیست محیطی است که روز به روز این توجه بیشتر نیز می‌شود، بطوریکه سازمانهای بین المللی از جمله IEA[1] را برآن شده که تصمیمات جدی در جهت حفظ سلامت کره زمین و کاهش آلودگی های جوی اتخاذ نماید. کاهش هر چه بیشتر $SO_2, CO_2, NO_x$، بعنوان مهمترین پس‌مانده احتراق سوختهای فسیلی، از جمله مواردی است که در دستور کار ارگانهای ذیربط قرار گرفته و چه بسا در آینده‌ای نه چندان دور ، مقررات و دستورالعملهایی در خصوص تعیین سهمیه و پیش‌بینی محدودیتهایی در ایجاد آلودگی مذکور برای هر منطقه وضع گردد. این مسئله به نوبه خود می تواند به آینده‌نگری جدی در بکارگیری منابع انرژی نو کمک شایانی کند.

توجیه اقتصادی یکی دیگر از دلایل استفاده از انرژی‌های نو است. معمولاً در مقایسه اقتصادی بین انرژی‌های سنتی و انرژی‌های نو، صرفاً هزینه تاسیسات مربوط به تبدیل انرژی و یا احداث نیروگاه در نظر گرفته می شود، حال آنکه صحیح‌تر در این مقوله آن است که زنجیره‌ای که از منبع انرژی شروع شده و به مصرف‌کننده ختم می‌شود بطور یکپارچه مورد ارزیابی اقتصادی واقع گردد . علاوه بر سرمایه‌گذاری اولیه، عمر مفید، هزینه‌های جاری، پرسنلی، تعمیرات و نگهداری و تامین امنیت تجهیزات و تاسیسات مربوطه نیز به دلیل گستردگی از اهمیت خاصی برخوردار می باشند. حال اگر در مقایسه اقتصادی بین انرژی‌های نو و سنتی تمام این عوامل در نظر گرفته شوند مشخص می‌شود که استفاده از انرژی‌های نو بسیار اقتصادی‌تر از انرژی‌های سنتی است.[۱]

یکی دیگر از دلایل استفاده از انرژی‌های نو، پراکنده بودن آنها در زمین و امکان استفاده از آنها در مناطق دورافتاده است. به این صورت که در مناطقی که به هر دلیل مانند دورافتاده بودن یا موقعیت جغرافیایی سخت و دشوار منطقه، به شبکه سراسری دسترسی ندارند می توان با احداث واحدهای تولید پراکنده (DG[2])، انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کننده را فراهم آورد.

[1] -International Energy Agency
[2] -Distributed Generation

تکنولوژی عصر حاضر سه انتخاب عمده برای آینده انرژی جهان پیش روی بشر گذاشته است :

- استفاده از انرژی ناشی از شکست اورانیم ( نیروگاههای هسته‌ای فعلی )
- استفاده از انرژی ناشی از جوش هسته هیدروژن ( تکنولوژی مهارنشده )
- استفاده از انرژی‌های نو ( باد ، خورشید ، زمین گرمایی و ... )

معضلات عمده فنی ، سیاسی و امنیتی مربوط به تکنولوژیهای هسته‌ای ( موارد اول و دوم ) متوجه کشورهای در حال توسعه مانند ایران می‌باشد . لذا جایگزینی انرژی های نو بعنوان ممکن‌ترین راه حل برای چنین کشورها و منجمله ایران می‌باشد . ویژگیهای خاص اقلیمی ایران نیز بر تحقق این فرضیه کمک می‌کند. برآورد سرمایه‌گذاری انباشته شده برای منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، به تفکیک انواع آن در جدول(۱-۱)آمده است.

**جدول(۱-۱) : برآورد سرمایه گذاری انباشته در منابع انرژی تجدیدپذیر(میلیارد دلار)[۱]**

| | تحول پایدار | | | حمایت سیاسی عمده | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۲۰۰۰ | ۲۰۱۰ | ۲۰۲۰ | ۲۰۰۰ | ۲۰۱۰ | ۲۰۲۰ |
| خورشیدی | ۵۲ | ۱۳۴ | ۳۱۳ | ۶۵ | ۲۶۵ | ۱۲۰۵ |
| ژئوترمال | ۱۵ | ۲۰ | ۳۵ | ۲۰ | ۶۰ | ۱۱۰ |
| بیوماس نوین | ۵۰ | ۱۰۰ | ۱۵۰ | ۶۶ | ۱۴۰ | ۲۶۰ |
| انرژی اقیانوس ها | ۱ | ۱۰ | ۵۵ | ۱ | ۵۰ | ۱۵۰ |
| نیروگاه های آبی | ۲۱ | ۵۰ | ۱۰۰ | ۳۶ | ۸۸ | ۱۵۰ |
| جمع فرعی | ۱۵۹ | ۳۷۴ | ۸۳۳ | ۲۲۳ | ۷۳۸ | ۲۲۸۰ |
| انتقال | ۱۰ | ۲۳ | ۵۶ | ۱۵ | ۴۹ | ۱۴۷ |
| جمع کل | ۱۶۹ | ۳۹۷ | ۸۸۹ | ۲۳۸ | ۷۸۹ | ۲۴۲۷ |

## ۱-۳- سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین آینده انرژی جهان

عقیده غالب این است که در درازمدت (فراتر از قرن آینده)،انواع انرژی‌های تجدیدپذیر پتانسیل فنی لازم برای برآوردن قسمت اعظم احتیاجات انرژی جهان را دارند.اما در کوتاه‌مدت سهم این انرژی‌ها در

تامین انرژی جهان کم خواهد بود. به عقیده کمیته شورای جهانی انرژی، مقدار کل انرژی تجدیدپذیر قابل دسترس تا سال ۲۰۲۰ بسته به شدت حمایت دولتها بین حدود ۲/۹Gtoe[1] (حالت محتمل تر) تا ۳/۳Gtoe خواهد بود.[۱]

در سال ۱۹۹۰ ، حدود ۶۰٪ از انرژی تجدیدپذیر قابل دسترس،به بیوماس سنتی شامل هیزم، پس‌مانده محصولات کشاورزی و فضولات دامی و ۳۰٪ دیگر به پتانسیل های آبی بزرگ تعلق داشت.این دو ۹۰٪ از کل انرژی تجدیدپذیر قابل دسترسی را تشکیل دادند.حتی در حالت بسیار خوشبینانه، برای انواع جدیدتر انرژی تجدیدپذیر، انتظار می‌رود سهم دو نوع اخیر تا سال ۲۰۲۰ همچنان بیشتر از ۵۰٪ کل انرژی تجدید پذیر قابل دسترس باشد.[۱]

به عقیده کمیته شورای جهانی انرژی، در صورت حمایت عمده سیاسی انتظار می‌رود که سهم منابع انرژی تجدیدپذیر جدید، به حد ۱/۳Gtoe برسد. بنابراین کمیسیون جهانی انرژی، سهم منابع انرژی تجدیدپذیر جدید را(در سطحی جهانی)تا سال ۲۰۲۰ حداقل ۵۳۹ Gtoe و حداکثر ۱۳۴۵ Gtoe در نظر گرفته است که برای تحقق حالت اخیر، حمایت‌های سیاسی شرط اساسی است.[۱]

منابع انرژی‌های نو در جهان متنوع‌اند، خورشید، باد، جزر و مد، گرمای زمین و .... از انواع این منابع‌اند که هر کشور با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خود از هر کدام از این منابع استفاده کمتر یا بیشتری می‌برند. در ایران نیز با توجه به شرایط اقلیمی انرژی خورشیدی و بادی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است .

## ۱-۴- انرژی خورشید

خورشید عامل و منشاء انرژی‌های گوناگونی است که در طبیعت یافت می‌شوند که از جمله آنها می‌توان سوخت‌های فسیلی ، باد ، امواج و جز و مد دریا را نام برد . خورشید یکی از دو منبع مهم انرژی است که باید به آن رو آورد که در ضمن سادگی و ارزانی، خطرات و اثرات نامطلوب استفاده از انرژی

[1] - گیگا تن معادل نفت

هسته ای را نیز ندارد . در ایران علیرغم منابع عظیم نفتی و گازی ، خوشبختانه به علت تابش خورشید در اکثر مناطق کشور اجرای طرحهای خورشیدی میسر می‌باشد، چرا که استفاده از انرژی خورشید در شهرها و شصت‌هزار روستای پراکنده در سطح کشور می‌تواند صرفه‌جویی زیادی در مصرف سوختهای فسیلی را به همراه داشته باشد .

انرژی حاصل از خورشید، در اثر فعل و انفعالات هسته‌ای ( جوش هسته‌ای[1]) در داخل آن بوجود می‌آید و در داخل خورشید حرارتی در حدود $۱۰^{۷}$ درجه کلوین و روی سطح آن ۵۸۰۰ درجه کلوین ایجاد می‌کند. قسمت بسیار کمی از انرژی خورشید به سمت زمین می‌آید که مقدار آن در بیرون جو برابر ۱۳۰۰ وات بر متر مربع و مقدار متوسط آن در سطح زمین ، یک کیلو وات بر متر مربع است . از این انرژی می توان به روشهای مختلفی بهره‌برداری کرد . روشهای مختلفی را که برای استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد را می توان به چهار دسته کلی تقسیم کرد:

۱- سیستم‌های خورشیدی پسیو

۲- سیستم‌های خورشیدی اکتیو

۳- سیستم‌های حرارت خورشیدی

۴- سیستم‌های فتوولتائیک

### ۱-۴-۱- سیستم‌های خورشیدی پسیو

شامل سیستم‌هایی هستند که انرژی خورشید را بطور مستقیم و بدون استفاده از سیستم‌های واسط جهت کاربردهای مختلف مانند گرما بکار می‌گیرند.

### ۱-۴-۲- سیستم‌های خورشیدی اکتیو

شامل سیستم هایی هستند که برای دریافت انرژی خورشید از کلکتورهای خورشیدی به عنوان جمع‌کننده انرژی خورشید استفاده می‌کنند و سپس آن را در کاربردهای مختلف بکار می‌برند.

[1] -Fusion